

DB

甘肃省地方标准

DB62/T 3237—2023

备案号：J16835—2023

建筑钢结构防火技术标准

Technical standard for fire safety of
steel structures in buildings

2023-02-27 发布

2023-06-01 实施

甘肃省住房和城乡建设厅
甘肃省市场监督管理局

联合发布

甘肃省住房和城乡建设厅 甘肃省市场监督管理局

公告

甘建公告[2023]48号

甘肃省住房和城乡建设厅 甘肃省市场监督管理局 关于发布《装配式混凝土建筑深化设计技术标准》等 5项甘肃省地方标准的公告

经甘肃省住房和城乡建设厅、甘肃省市场监督管理局共同组织专家审查,现批准发布《装配式混凝土建筑深化设计技术标准》《承插型轮扣式模板支架施工技术标准》《干混砂浆应用技术标准》《建筑钢结构防火技术标准》《建筑信息模型交付标准》等5项标准(见附件)为甘肃省地方标准。

附件:甘肃省地方标准发布信息

甘肃省住房和城乡建设厅 甘肃省市场监督管理局

2023年2月27日

附件

甘肃省地方标准发布信息

序号	标准编号	标准名称	主编单位	实施日期
1	DB62/T 3234-2023	装配式混凝土建筑深化设计技术标准	甘肃天水绿色装配式建筑产业发展有限公司、甘肃省建设设计咨询集团有限公司	2023-06-01
2	DB62/T 3235-2023	承插型轮扣式模板支架施工技术标准	甘肃建投建设有限公司	2023-06-01
3	DB62/T 3236-2023	干混砂浆应用技术标准	甘肃建投绿色建材产业发展集团有限公司、甘肃建投矿业有限公司	2023-06-01
4	DB62/T 3237-2023	建筑钢结构防火技术标准	兰州大学土木工程与力学学院、甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司	2023-06-01
5	DB62/T 3238-2023	建筑信息模型交付标准	甘肃建投科技研发有限公司、甘肃一安建设科技集团有限公司	2023-06-01

前 言

根据甘肃省住房和城乡建设厅《关于下达〈2021年甘肃省工程建设标准及标准设计编制项目计划〉(第一批)的通知》(甘建标〔2021〕185号)的要求,标准编制组经过深入调查研究,认真总结实践经验,参考有关技术标准和资料,并在广泛征求意见的基础上,制定本标准。

本标准的主要内容是:1.总则;2.术语和符号;3.基本规定;4.材料特性;5.钢结构耐火验算与防火保护设计;6.钢管混凝土柱的耐火验算与防火保护设计;7.防火保护工程的施工、验收与维护;附录A~D。

本标准由甘肃省工程建设标准管理办公室负责管理,由兰州大学土木工程与力学学院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请寄送兰州大学《建筑钢结构防火技术标准》编制组(地址:甘肃省兰州市城关区天水南路222号兰州大学土木工程与力学学院,邮编:730000)。

主 编 单 位:兰州大学土木工程与力学学院

甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司

参 编 单 位:兰州理工大学土木工程学院

兰州有色冶金设计研究院有限公司

中国能源建设集团甘肃省电力设计院有限公司

兰州理工大学建筑勘察设计院有限责任公司

甘肃新发展城市开发建设运营集团有限公司

中建五局第三建设有限公司

西北永新涂料有限公司

甘肃农业大学水利水电工程学院

主要起草人:张敬书 刘占科 臧兴震(以下按姓氏笔画排列)

王文达 毛文婧 师 杰 李青春 李宝祥

李银文 张广平 张兆波 陈 明 林景祥

胡恩繁 曹永军 崔大力 雍 涛 魏小龙

主要审查人:黄 锐 刘 胜 王卫永 樊锦仁 杨忠平

王大军 马张永 徐海涛

目 录

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	7
3.1	防火要求	7
3.2	防火设计	8
3.3	火灾升温曲线	10
4	材料特性	11
4.1	钢材	11
4.2	混凝土	13
4.3	防火保护材料	15
5	钢结构耐火验算与防火保护设计	17
5.1	耐火验算步骤	17
5.2	防火保护方法	18
5.3	钢构件升温计算	22
5.4	钢结构耐火验算与防火保护设计	30
I	基本钢构件	30
II	钢框架梁、柱	35
5.5	结构防火保护构造	36
6	钢管混凝土柱的耐火验算与防火保护设计	42
6.1	防火保护方法	42
6.2	钢管混凝土柱的耐火验算	45

6.3	结构防火保护构造	48
7	防火保护工程的施工、验收与维护	53
7.1	一般规定	53
7.2	防火保护材料进场	54
7.3	防火涂料保护工程的施工	54
I	一般要求	54
II	主控项目	55
III	一般项目	56
7.4	其他防火保护工程的施工	57
7.5	防火保护工程的验收与维护管理	57
附录 A	高温下钢材的屈服强度、弹性模量的折减系数	59
附录 B	火灾下无防火保护钢构件的温度	75
附录 C	标准火灾下轻质防火保护钢构件的温度	78
附录 C.1	以纤维类物质为主的火灾下轻质防火 保护钢构件的温度	78
附录 C.2	以烃类物质为主的火灾下轻质防火 保护钢构件的温度	125
附录 D	火灾下钢管混凝土柱承载力	139
	本标准用词说明	158
	引用标准名录	159
附:	条文说明	161

1 总 则

1.0.1 为了建筑钢结构设计、施工、验收及维护的安全与合理,结合甘肃省建筑设计、施工、维护和材料供应等实际情况,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于工业与民用建筑中的钢结构、钢管混凝土柱的防火设计及其防火保护的施工、验收及维护。不适用于室外管道支架等露天钢构件。

1.0.3 建筑高度大于 250m 的建筑,除应符合本标准的要求外,尚应结合实际情况采取更加严格的加强性防火措施。加强性防火措施应提交省级建设工程消防设计审查主管部门组织研究论证。

1.0.4 建筑钢结构的防火材料、防火设计及其防火保护的施工、验收及维护除应符合本标准外,尚应符合国家和甘肃省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 耐火钢 fire-resisant steel

在 600℃ 温度时的屈服强度不小于其常温屈服强度 2/3 的钢材。

2.1.2 耐火极限 fire resistance rating

在标准耐火试验条件下,建筑构件、配件或结构从受到火的作用时起,至失去承载能力、完整性或隔热性时止所用时间,用小时(h)表示。

2.1.3 截面形状系数 section factor

钢构件的受火表面积与其相应的体积之比。

2.1.4 标准火灾升温曲线 standard fire temperature - time curve

在标准耐火试验中,耐火试验炉内的空气平均温度随时间变化的曲线。

2.1.5 标准火灾 standard fire

热烟气温度按标准火灾升温曲线确定的火灾。

2.1.6 等效曝火时间 equivalent time of fire exposure

钢构件受标准火灾作用后的温度与其受实际火灾作用时达到相同温度的时间。

2.1.7 温度效应 temperature effects on structural behavior

结构(构件)因其温度变化所产生的结构内力和变形。

2.1.8 耐火承载力极限状态 fire limit state

结构或构件受火灾作用达到不能承受外部作用或不适于继续

承载的变形的状态。

2.1.9 荷载比 load ratio

火灾下结构或构件的荷载效应设计值与其常温下的承载力设计值的比值。

2.1.10 临界温度 critical temperature

钢构件受火灾作用达到其耐火承载力极限状态时的温度。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

c_c ——混凝土的比热容；

c_i ——防火保护材料的比热容；

c_s ——钢材的比热容；

E_c ——常温下混凝土的弹性模量；

E_{cT} ——高温下混凝土的弹性模量；

E_s ——常温下钢材的弹性模量；

E_{sT} ——高温下钢材的弹性模量；

f ——常温下钢材的强度设计值；

f_c ——常温下混凝土的轴心抗压强度设计值；

f_t ——常温下混凝土的抗拉强度设计值；

f_T ——高温下钢材的强度设计值；

R_i ——保护层的等效热阻；防火保护材料的等效热阻；

α_c ——混凝土的热膨胀系数；

α_s ——钢材的热膨胀系数；

λ_c ——混凝土的热传导系数；

λ_i ——等效热传导系数；

λ_{i1} ——钢结构防火设计技术文件规定的非膨胀型防火涂料、防火板的等效热传导系数；

λ_{i2} ——施工采用的非膨胀型防火涂料、防火板的等效热传

导系数；

λ_s ——钢材的热传导系数；

ρ_i ——防火保护材料的密度；

ρ_c ——混凝土的密度；

ρ_s ——钢材的密度。

2.2.2 作用、效应、抗力

N_u ——常温下钢管混凝土柱的抗压承载力设计值；

R_d ——结构构件抗力的设计值；

S_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的荷载效应值；

S_m ——作用效应组合的设计值；

S_{Qk} ——按楼面或屋面活荷载标准值计算的荷载效应值；

S_{Tk} ——按火灾下结构的温度标准值计算的作用效应值；

S_{Wk} ——按风荷载标准值计算的荷载效应值。

2.2.3 几何参数

A ——钢框架柱的毛截面面积；

A_c ——钢管混凝土柱中混凝土的截面面积；

A_k ——钢管混凝土柱中空心部分面积；

A_n ——净截面面积；

A_s ——钢管混凝土柱中钢管的截面面积；

C ——截面周长；

D ——钢管混凝土柱的截面高度；

d_1 ——防火保护层的厚度；

d_{i1} ——钢结构防火设计技术文件规定的防火保护层的厚度；

d_{i2} ——防火保护层实际施用厚度；

\bar{d}_s ——钢管的等效厚度；

F ——单位长度钢构件的受火表面积；

F_i ——有防火保护钢构件单位长度的受火表面积；

L ——计算长度；
 L_e ——混凝土的等效厚度；
 V ——单位长度钢构件的体积；
 W ——毛截面模量；
 W_n ——净截面模量；
 W_p ——截面塑性模量。

2.2.4 时间、温度

t ——火灾持续时间；
 t_0 ——钢试件的平均温度达到 540℃ 的时间；
 t_e ——等效曝火时间；
 T_c ——混凝土的温度；
 \bar{T}_c ——混凝土的平均温度；
 T_g ——火灾发展到 t 时刻的热烟气平均温度；
 T_{g0} ——火灾前室内环境的温度；
 T_s ——钢材或钢构件的温度；钢试件的平均温度；
 T_{s0} ——开始时钢试件的温度；
 Δt ——时间步长；
 ΔT_s ——钢构件在 Δt 内的温升。

2.2.5 其他耐火计算相关参数

F/V ——无防火保护构件的截面形状系数；
 F_i/V ——有防火保护钢构件的截面形状系数；
 k_T ——火灾下钢管混凝土柱的承载力系数；
 R ——荷载比；
 α ——综合热传递系数；
 α_b ——高温下受弯钢构件的稳定验算参数；
 α_c ——热对流传热系数或高温下轴心受压钢构件的稳定验算参数；
 α_r ——热辐射传热系数；

β_{mx}, β_{my} ——弯矩作用平面内的等效弯矩系数；
 β_{tx}, β_{ty} ——弯矩作用平面外的等效弯矩系数；
 γ, γ_m ——截面塑性发展系数；
 γ_{0T} ——结构重要性系数；
 γ_G ——永久荷载的分项系数；
 ε_r ——综合辐射率；
 η ——截面影响系数；
 η_{ct} ——高温下混凝土的轴心抗压强度折减系数；
 η_{st} ——高温下钢材的屈服强度折减系数；
 λ ——构件的长细比；
 σ ——斯蒂芬 - 波尔兹曼常数；
 φ ——常温下轴心受压钢构件的稳定系数；
 φ_b ——常温下受弯钢构件的稳定系数；
 φ_T ——高温下轴心受压钢构件的稳定系数；
 φ_{bT} ——高温下受弯钢构件的稳定系数；
 φ_f ——楼面或屋面活荷载的频遇值系数；
 φ_q ——楼面或屋面活荷载的准永久值系数；
 φ_w ——风荷载的频遇值系数；
 χ_{ct} ——高温下混凝土的弹性模量折减系数；
 χ_{st} ——高温下钢材的弹性模量折减系数；
 ψ ——空心率。

3 基本规定

3.1 防火要求

3.1.1 钢结构构件的设计耐火极限应根据建筑的耐火等级按表 3.1.1 确定。

表 3.1.1 构件的设计耐火极限(h)

构件类型	建筑耐火等级	
	一级	二级
柱、柱间支撑	3.00	2.50
楼面梁、楼面桁架、楼盖支撑	2.00	1.50
楼板	1.50	1.00
屋顶承重构件、屋盖支撑、系杆、第二类檩条	1.50	1.00
上人平屋面板	1.50	1.00
疏散楼梯	1.50	1.00

注:1 建筑物中的墙等其他建筑构件的设计耐火极限应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定。

2 一、二级耐火等级的单层厂房(仓库)的柱,其设计耐火极限可按表 3.1.1 规定降低 0.50h。

3 一级耐火等级的单层、多层厂房(仓库)设置自动喷水灭火系统时,其屋顶承重构件的设计耐火极限可按表 3.1.1 规定降低 0.50h。

4 吊车梁的设计耐火极限不应低于表 3.1.1 中梁的设计耐火极限。

5 第一类檩条仅对屋面板起支承作用。对屋盖结构整体受力性能影响很小,这类檩条的耐火极限不作要求。第二类檩条兼作纵向系杆,檩条破坏可能导致主体结构失去整体稳定性,造成整体倾覆。

6 三、四级耐火极限详见现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016。

3.1.2 钢结构应根据设计耐火极限采取相应的防火保护措施,

或进行耐火验算与防火设计。耐火极限经验算低于设计耐火极限时,应采取防火保护措施,保证达到规定的设计耐火极限。

3.1.3 钢结构节点的防火保护应与被连接构件中防火保护要求最高者相同。采用防火涂料保护时,节点处防火涂层的厚度不应小于所连接构件防火涂层的最大厚度。

3.1.4 当采用自动灭火系统时,耐火极限、构件的防火保护措施等按相关标准执行。

3.1.5 钢结构的防火设计文件应注明建筑的耐火等级、构件的设计耐火极限、构件的防火保护措施、防火材料的性能要求及设计指标、防火保护的施工及维护要求。

3.1.6 建筑缝隙、贯穿孔口等的防火封堵设计、施工和验收应符合现行国家标准《建筑防火封堵应用技术标准》GB/T 51410 的规定。

3.2 防火设计

3.2.1 钢结构耐火承载力极限状态的最不利作用效应组合设计值,应考虑火灾时结构上可能同时出现的作用,且应按下列组合值中的最不利值确定:

$$S_m = \gamma_{0T} (\gamma_G S_{Gk} + S_{Tk} + \varphi_r S_{Qk}) \quad (3.2.1-1)$$

$$S_m = \gamma_{0T} (\gamma_G S_{Gk} + S_{Tk} + \varphi_q S_{Qk} + \varphi_w S_{wk}) \quad (3.2.1-2)$$

式中: S_m ——荷载(作用)效应组合的设计值;

S_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的荷载效应值;

S_{Tk} ——按火灾下结构的温度标准值计算的作用效应值;

S_{Qk} ——按楼面或屋面活荷载标准值计算的荷载效应值;

S_{wk} ——按风荷载标准值计算的荷载效应值;

γ_{0T} ——结构重要性系数;对于耐火等级为一级的建筑, $\gamma_{0T} = 1.1$;对于其他建筑, $\gamma_{0T} = 1.0$;

γ_G ——永久荷载的分项系数,一般可取 $\gamma_G = 1.0$;当永久荷载有利时,取 $\gamma_G = 0.9$;

φ_w ——风荷载的频遇值系数,取 $\varphi_w = 0.4$;

φ_f ——楼面或屋面活荷载的频遇值系数,应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 的规定取值;

φ_q ——楼面或屋面活荷载的准永久值系数,应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 的规定取值。

3.2.2 钢结构防火设计分为按整体结构耐火验算的防火设计方法和按构件耐火验算的防火设计方法。预应力钢结构和跨度不小于 60m 的大跨度建筑中的钢结构,应采用基于整体结构耐火验算的防火设计方法。其他结构可采用基于构件耐火验算的防火设计方法。

3.2.3 基于整体结构耐火验算的钢结构防火设计方法应符合下列规定:

- 1 各防火分区应分别作为一个火灾工况并选用最不利火灾场景进行验算;
- 2 应考虑结构的热膨胀效应、结构材料性能受高温作用的影响,宜考虑结构几何非线性的影响。

3.2.4 基于构件耐火验算的钢结构防火设计方法应符合下列规定:

- 1 计算火灾下构件的组合效应时,对于受弯构件、拉弯构件和压弯构件等以弯曲变形为主的构件,可不考虑热膨胀效应,且火灾下构件的边界约束和在外荷载作用下产生的内力可采用常温下的边界约束和内力,计算构件在火灾下的组合效应;对于轴心受拉、轴心受压等以轴向变形为主的构件,应考虑热膨胀效应对内力的影响;

- 2 计算火灾下构件的承载力时,构件温度应取其截面的最高平均温度,并应采用结构材料在相应温度下的强度与弹性模量。

3.2.5 在设计耐火极限时间内,火灾下钢结构构件的承载力设计值不应小于其最不利的荷载(作用)组合效应设计值,按式(3.2.5)进行验算。除按式(3.2.5)表达的承载力法进行验算外,

也可按《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的规定采用耐火极限法、临界温度法进行验算。

$$S_m \leq R_d \quad (3.2.5)$$

式中： S_m ——荷载(作用)效应组合的设计值，应按本标准第 3.2.1 条的规定确定；

R_d ——结构构件抗力的设计值，应根据本标准第 5 章、第 6 章的规定确定。

3.3 火灾升温曲线

3.3.1 除高大空间外，常见建筑的室内火灾升温曲线可按下列规定确定：

1 对于以纤维类物质为主的火灾，可按下式确定：

$$T_g - T_{g0} = 345 \lg(8t + 1) \quad (3.3.1-1)$$

2 对于以烃类物质为主的火灾，可按下式确定：

$$T_g - T_{g0} = 1080 \times (1 - 0.325e^{-t/6} - 0.675e^{-2.5t}) \quad (3.3.1-2)$$

式中： t ——火灾持续时间(min)；

T_g ——火灾发展到 t 时刻的热烟气平均温度(℃)；

T_{g0} ——火灾前室内环境的温度(℃)，可取 20℃。

3 当能准确确定建筑的火灾荷载、可燃物类型及其分布、几何特征等参数时，建筑内着火空间的环境温度也可按其他有可靠依据的火灾模型计算。

3.3.2 高大空间还应考虑可能被火焰吞没、火焰辐射对其升温的影响，采用符合实际情况的火灾升温曲线。

3.3.3 当实际火灾升温曲线不同于标准火灾升温曲线时，钢结构在实际火灾作用下的等效曝火时间 t_e 可按实际火灾升温曲线、时间轴、时刻 t 直线三者所围成的面积与标准火灾升温曲线、时间轴、时刻 t_e 直线三者所围成的面积相等的原则经计算确定。

4 材料特性

4.1 钢材

4.1.1 高温下钢材的物理参数应按表 4.1.1 确定。

表 4.1.1 高温下钢材的物理参数

参数	符号	数值	单位
热膨胀系数	α_s	1.4×10^{-5}	$\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$
热传导系数	λ_s	45	$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$
比热容	c_s	600	$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
密度	ρ_s	7850	kg/m^3

4.1.2 高温下钢材的强度设计值应按式(4.1.2-1)计算,其中高温下钢材的屈服强度折减系数 η_{sT} 可按式(4.1.2-2)计算或按本标准附录 A 表 A.0.1 取值。

$$f_T = \eta_{sT} f \quad (4.1.2-1)$$

$$\eta_{sT} = \begin{cases} 1.0 & 20^\circ\text{C} \leq T_s \leq 300^\circ\text{C} \\ 1.24 \times 10^{-8} T_s^3 - 2.096 \times 10^{-5} T_s^2 \\ + 9.228 \times 10^{-3} T_s - 0.2168 & 300^\circ\text{C} < T_s < 800^\circ\text{C} \\ 0.5 - T_s/2000 & 800^\circ\text{C} \leq T_s \leq 1000^\circ\text{C} \end{cases} \quad (4.1.2-2)$$

式中: T_s ——钢材的温度($^\circ\text{C}$);

f_T ——高温下钢材的强度设计值(N/mm^2);

f ——常温下钢材的强度设计值(N/mm^2),应按现行国家标

准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定取值；

η_{sT} ——高温下钢材的屈服强度折减系数。

4.1.3 高温下钢材的弹性模量应按下列公式计算，其中高温下钢材的弹性模量折减系数 χ_{sT} 可按式(4.1.3-2)计算或按本标准附录 A 表 A.0.2 取值。

$$E_{sT} = \chi_{sT} E_s \quad (4.1.3-1)$$

$$\chi_{sT} = \begin{cases} \frac{7T_s - 4780}{6T_s - 4760} & 20^\circ\text{C} \leq T_s < 600^\circ\text{C} \\ \frac{1000 - T_s}{6T_s - 2800} & 600^\circ\text{C} \leq T_s \leq 1000^\circ\text{C} \end{cases} \quad (4.1.3-2)$$

式中： E_{sT} ——高温下钢材的弹性模量(N/mm²)；

E_s ——常温下钢材的弹性模量(N/mm²)，应按照国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定取值；

χ_{sT} ——高温下钢材的弹性模量折减系数。

4.1.4 高温下耐火钢的强度可按本标准公式(4.1.2-1)确定。其中，屈服强度折减系数 η_{sT} 应按下式计算，或按本标准附录 A 表 A.0.3 取值。

$$\eta_{sT} = \begin{cases} \frac{6(T_s - 768)}{5(T_s - 918)} & 20^\circ\text{C} \leq T_s < 700^\circ\text{C} \\ \frac{1000 - T_s}{8(T_s - 600)} & 700^\circ\text{C} \leq T_s \leq 1000^\circ\text{C} \end{cases} \quad (4.1.4)$$

4.1.5 高温下耐火钢的弹性模量可按本标准公式(4.1.3-1)确定。其中，弹性模量折减系数 χ_{sT} 应按下式计算，或按本标准附录 A 表 A.0.4 取值。

$$\chi_{sT} = \begin{cases} 1 - \frac{T_s - 20}{2520} & 20^\circ\text{C} \leq T_s < 650^\circ\text{C} \\ 0.75 - \frac{7(T_s - 650)}{2500} & 650^\circ\text{C} \leq T_s < 900^\circ\text{C} \\ 0.5 - 0.0005T_s & 900^\circ\text{C} \leq T_s \leq 1000^\circ\text{C} \end{cases} \quad (4.1.5)$$

4.2 混凝土

4.2.1 高温下含水率不大于4%的普通混凝土的热工参数应按下列规定确定:

1 热膨胀系数 α_c 应为 $1.8 \times 10^{-5} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, 密度 ρ_c 应为 $2300 \text{ kg}/\text{m}^3$;

2 热传导系数 λ_c 应按下列公式计算:

$$\lambda_c = 1.68 - 0.19 \frac{T_c}{100} + 0.0082 \left(\frac{T_c}{100} \right)^2 \quad (4.2.1-1)$$

3 比热容 c_c 应按下列公式计算:

$$c_c = 890 + 56.2 \frac{T_c}{100} - 3.4 \left(\frac{T_c}{100} \right)^2 \quad (4.2.1-2)$$

式中: T_c ——混凝土的温度($^\circ\text{C}$);

λ_c ——混凝土的热传导系数 [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$];

c_c ——混凝土的比热容 [$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$].

4.2.2 高温下强度等级不高于C60的普通混凝土的轴心抗压强度、弹性模量应分别按下列公式计算确定。

$$f_{cT} = \eta_{cT} f_c \quad (4.2.2-1)$$

$$E_{cT} = \chi_{cT} E_c \quad (4.2.2-2)$$

式中: f_{cT} ——温度为 T_c 时混凝土的轴心抗压强度设计值 (N/mm^2);

f_c ——常温下混凝土的轴心抗压强度设计值 (N/mm^2), 应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值;

E_{cT} ——高温下混凝土的弹性模量 (N/mm^2);

E_c ——常温下混凝土的弹性模量 (N/mm^2), 应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值;

η_{cT} ——高温下混凝土的轴心抗压强度折减系数; 对于强度等级不高于C60的混凝土, 应按表4.2.2取值; 其他温

度下的值,可采用线性插值方法确定;

χ_{ct} ——高温下混凝土的弹性模量折减系数;对于强度等级不高于 C60 的混凝土,应按表 4.2.2 取值;其他温度下的值,可采用线性插值方法确定。

表 4.2.2 高温下普通混凝土的轴心抗压强度折减系数 η_{ct} 及弹性模量折减系数 χ_{ct}

T_c (°C)	η_{ct}	χ_{ct}
20	1.00	1.000
100	1.00	0.625
200	0.95	0.432
300	0.85	0.304
400	0.75	0.188
500	0.60	0.100
600	0.45	0.045
700	0.30	0.030
800	0.15	0.015
900	0.08	0.008
1000	0.04	0.004
1100	0.01	0.001
1200	0	0

4.2.3 高温下轻骨料混凝土的热工性能应符合下列规定确定:

1 热膨胀系数 α_c 应为 $0.8 \times 10^{-5} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, 密度 ρ_c 应在 $1600 \text{ kg}/\text{m}^3 \sim 2300 \text{ kg}/\text{m}^3$ 间取值;

2 热传导系数 λ_c 应按下式计算:

$$\begin{cases} \lambda_c = 1.0 - \frac{T_c}{1600} & 20^\circ\text{C} \leq T_c < 800^\circ\text{C} \\ \lambda_c = 0.5 & 800^\circ\text{C} \leq T_c < 1200^\circ\text{C} \end{cases} \quad (4.2.3)$$

3 比热容 c_c 应为 $840\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

4.2.4 高温下轻骨料混凝土的轴心抗压强度和弹性模量可按本标准公式(4.2.2)计算。当轻骨料混凝土的强度等级低于或等于C60时,高温下轻骨料混凝土的轴心抗压强度折减系数 η_{ct} 、弹性模量折减系数 χ_{ct} 可按表4.2.4确定;其他温度下的值,可采用线性插值方法确定。

表 4.2.4 高温下轻骨料混凝土的轴心抗压强度折减系数 η_{ct}
及弹性模量折减系数 χ_{ct}

T_c ($^\circ\text{C}$)	η_{ct}	χ_{ct}
20	1.00	1.000
100	1.00	0.625
200	1.00	0.432
300	1.00	0.304
400	0.88	0.188
500	0.76	0.100
600	0.64	0.045
700	0.52	0.030
800	0.40	0.015
900	0.28	0.008
1000	0.16	0.004
1100	0.04	0.001
1200	0	0

4.3 防火保护材料

4.3.1 非膨胀型防火涂料的等效热传导系数,可根据标准耐火试验得到的钢试件实测升温曲线和试件的保护层厚度按下式计算:

$$\lambda_i = \frac{d_i}{\frac{5 \times 10^{-5}}{\left(\frac{T_s - T_{s0}}{t_0} + 0.2\right)^2 - 0.044} \cdot \frac{F_i}{V}} \quad (4.3.1)$$

式中： λ_i ——等效热传导系数[$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]；

d_i ——防火保护层的厚度(m)；

F_i/V ——有防火保护钢试件的截面形状系数(m^{-1})，应按本标准第5.3.2条计算；

T_{s0} ——开始时钢试件的温度，可取 20°C ；

T_s ——钢试件的平均温度($^\circ\text{C}$)，取 540°C ；

t_0 ——钢试件的平均温度达到 540°C 的时间(s)。

4.3.2 膨胀型防火涂料保护层的等效热阻，可根据标准耐火试验得到的钢构件实测升温曲线按下式计算：

$$R_i = \frac{5 \times 10^{-5}}{\left(\frac{T_s - T_{s0}}{t_0} + 0.2\right)^2 - 0.044} \cdot \frac{F_i}{V} \quad (4.3.2)$$

式中： R_i ——防火保护层的等效热阻(对应于该防火保护层厚度)($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)。

4.3.3 膨胀型防火涂料应给出最大使用厚度、最小使用厚度的等效热阻以及防火涂料使用厚度按最大使用厚度与最小使用厚度之差的1/4递增的等效热阻，其他厚度下的等效热阻可采用线性插值方法确定。

4.3.4 防火板、柔性毡状隔热材料和混凝土、金属网抹砂浆或砌体等防火保护材料的等效热传导系数宜通过试验确定。

5 钢结构耐火验算与防火保护设计

5.1 耐火验算步骤

5.1.1 钢结构耐火验算可按下列步骤进行:

- 1 确定防火保护方法,设定钢构件的防火保护层厚度;
- 2 计算构件在设计耐火极限时间内的最高温度;
- 3 按本标准第 4.1 节的规定确定高温下钢材的力学参数;
- 4 按本标准第 3.2.1 条的规定计算构件的最不利荷载(作用)效应组合设计值;
- 5 验算构件的耐火承载力;
- 6 当设定的防火保护层厚度过小或过大时,调整防火保护层厚度,重复上述 1~5 步骤。

5.1.2 钢柱、钢梁的防火保护层厚度可按表 5.1.2 初选。

表 5.1.2 钢柱、钢梁的防火保护层厚度

构件名称	材料	厚度 (mm)	耐火极限 (h)
钢柱	膨胀型防火涂料	7	1.5
		30	2.0
	非膨胀型防火涂料	40	2.5
		50	3.0
		70	2.0
	加气混凝土	80	2.33
		50	2.0
	C20 混凝土	100	2.85

续表 5.1.2

构件名称	材料	厚度 (mm)	耐火极限 (h)
钢柱	普通黏土砖	120	2.85
	陶粒混凝土	80	3.00
钢梁	非膨胀型防火涂料	15	1.50
	非膨胀型防火涂料	20	2.30
	钢丝网抹灰	20	1.00
		30	1.25

5.2 防火保护方法

5.2.1 钢结构的防火保护措施应根据结构类型、设计耐火极限和使用环境等因素,按照下列原则确定:

- 1 钢构件受火后发生允许变形时,防火保护不发生结构性破坏与失效;
- 2 施工方便且不影响前续已完工的施工及后续施工;
- 3 具有良好的耐久性。

5.2.2 钢结构的防火保护可采用下列措施之一或其中几种的复(组)合或其他防火保护措施。钢结构防火保护方法的特点与适应范围可按表 5.2.2 选用。

- 1 喷涂(抹涂)防火涂料;
- 2 包覆防火板;
- 3 包覆柔性毡状隔热材料;
- 4 外包混凝土、金属网抹砂浆或砌筑砌体。

表 5.2.2 钢结构防火保护方法的特点与适应范围

序号	方法		特点及适应范围	
1	喷涂防火涂料	(a)膨胀型 (薄型、超薄型)	重量轻、施工简便,适用于任何形状、任何部位的构件,应用广,但对涂刷的基底和环境条件要求严	可用于要求外观好、有装饰要求的外露钢构件
		(b)非膨胀型 (厚型)		耐久性好、防火保护效果好
2	包裹防火板		性能稳定,表面平整、光洁,装饰性好,施工不受环境条件限制	
3	包裹柔性毡状隔热材料		隔热性好,施工简便,造价较高,适用于室内不易受机械伤害和免受水湿的部位	
4	外包混凝土、砂浆或砌筑砖砌体		保护层强度高、耐冲击,占用空间较大,在钢梁和斜撑上施工难度大,适用于容易碰撞、无护面板的钢柱防火保护	
5	复合防火保护	1(b) + 2	有良好的隔热性和完整性,装饰性,适用于耐火性能要求高,并有较高装饰要求的钢柱、钢梁	
		1(b) + 3		

注:表中 2、3、4 的外包构造宜与结构同寿命。

5.2.3 防火保护层做法可分为外边缘型保护和非外边缘型保护。外边缘型保护的防火保护层全部沿着钢构件的外表面进行保护;非外边缘型保护的全部或部分防火保护层不沿着钢构件的外表面进行保护。

5.2.4 防火保护层可选用非膨胀型防火涂料、膨胀型防火涂料、蛭石防火板、硅酸钙防火板、硅酸铝纤维毡等轻质防火保护层,也可选用混凝土、金属网抹砂浆、砌体等非轻质防火保护层。

5.2.5 钢结构防火涂料可根据使用场所、分散介质、防火机理及成膜物质,按表 5.2.5 进行分类。

表 5.2.5 钢结构防火涂料类别

分类依据	类别		备注
火灾防护对象	普通钢结构防火涂料		适用于普通工业与民用建筑物
	特种钢结构防火涂料		适用于特殊建筑物(如石油化工设施、变配电站等)
使用场所	室内钢结构防火涂料		室内或隐蔽工程
	室外钢结构防火涂料		室外或露天工程
分散介质	水基性钢结构防火涂料		水作为分散介质
	溶剂性钢结构防火涂料		有机溶剂作为分散介质
防火机理	非膨胀型钢结构防火涂料		涂层在高温时不膨胀发泡,其自身成为耐火隔热保护层
	膨胀型钢结构防火涂料	环氧类膨胀型钢结构防火涂料	涂层在高温时膨胀发泡,形成耐火隔热保护层。环氧类膨胀型钢结构防火涂料以环氧树脂为成膜物质,非环氧类膨胀型钢结构防火涂料以非环氧树脂为成膜物质
		非环氧类膨胀型钢结构防火涂料	

5.2.6 设计耐火极限大于 1.50h 的构件和全钢结构建筑,宜选用非膨胀型钢结构防火涂料或环氧类膨胀型钢结构防火涂料。设计耐火极限大于 2.00h 的构件应选用非膨胀型钢结构防火涂料或环氧类膨胀型钢结构防火涂料。

5.2.7 膨胀型钢结构防火涂料的涂层厚度不应小于 1.5mm,非膨胀型钢结构防火涂料的涂层厚度不应小于 15mm。

5.2.8 常用防火板主要技术性能可按表 5.2.8 选用。

5.2.9 柔性毡状隔热材料可采用硅酸铝纤维毡、岩棉毡、玻璃棉毡等各种矿物棉毡。

表 5.2.8 常用防火板主要技术性能

防火板类型	常用外形尺寸 (长 × 宽 × 厚) (mm × mm × mm)	密度 (kg/m ³)	最高使用 温度(℃)	热传导系数 [W/(m·℃)]	使用范围
防火 薄板	纸面石膏板	800	600	0.19 左右	不单独用于钢结构 的防火保护,常用 作龙骨隔墙的面板、 吊顶板以及钢梁、钢 柱经非膨胀型防火 涂料涂覆后的饰 面板
	纤维增强水泥板	1700	600	0.35 左右	
	纤维增强硅酸钙板	1000	600	≤ 0.28	
	玻镁平板	1200 ~ 1500	600	≤ 0.29	
防火 厚板	蛭石防火板	430	1000	0.11 左右	可直接用于钢结构 防火,使用厚度可 按设计耐火极限 确定
	硅酸钙防火板	400	1100	≤ 0.08	

- 5.2.10 钢结构防火做法也可采用外包混凝土、砂浆或砌筑砌体。
- 5.2.11 钢结构防火可采用在钢构件表面涂敷非膨胀防火涂料或采用柔性防火毡包覆,再用纤维增强无机板材、石膏板等作饰面板等复合防火保护。
- 5.2.12 防火涂料宜按以下规定选用:
- 1 室内隐蔽钢结构,宜选用非膨胀型防火涂料或环氧类钢结构防火涂料;
 - 2 室外或露天工程的钢结构应选用室外钢结构防火涂料;
 - 3 海洋工程及石化工程钢结构建筑,应选用室外非膨胀型钢结构防火涂料或室外环氧类膨胀型钢结构防火涂料。

5.3 钢构件升温计算

5.3.1 在标准火灾下,采用轻质防火保护层的钢构件且满足 $\alpha F_1/V \leq 500$ 的温度可按式近似计算。

$$T_s = \left(\sqrt{0.044 + 5.0 \times 10^{-5} \alpha \frac{F_1}{V} - 0.2} \right) t + T_{g0} \quad (5.3.1)$$

$$T_s \leq 700^\circ\text{C}$$

式中: α ——综合热传递系数[$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$];

F_1/V ——有防火保护钢构件的截面形状系数(m^{-1});

F_1 ——有防火保护钢构件单位长度的受火表面积(m^2);对于外边缘型防火保护,取单位长度钢构件的防火保护材料内表面积;对于非外边缘型防火保护,取沿单位长度钢构件所测得的可能的矩形包装的最小内表面积;

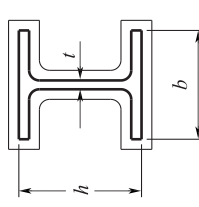
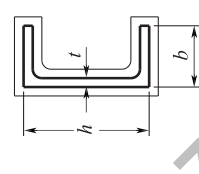
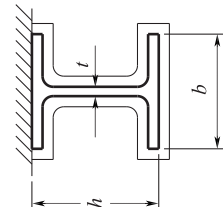
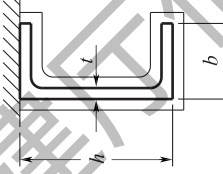
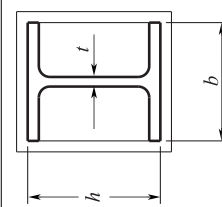
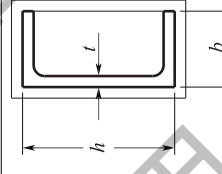
V ——单位长度钢构件的体积(m^3);

t ——火灾持续时间(s);

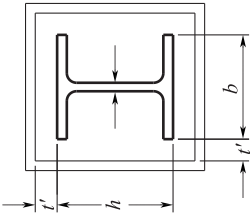
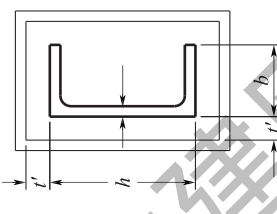
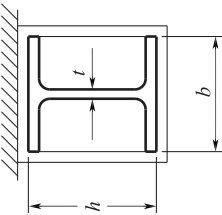
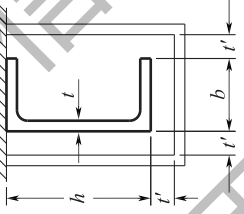
T_{g0} ——火灾前室内环境的温度($^\circ\text{C}$),可取 20°C 。

5.3.2 常见的有防火保护钢构件的截面形状系数可按表 5.3.2 计算。

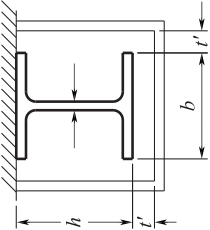
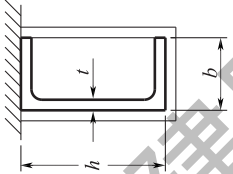
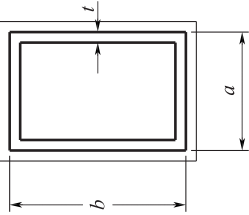
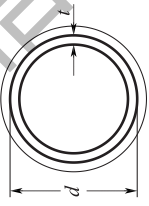
表 5.3.2 有防火保护钢构件的截面形状系数

截面形状	截面形状系数 F_i/V	备注	截面形状	截面形状系数 F_i/V	备注
	$\frac{2h + 4b - 2t}{A}$	外边缘型		$\frac{2h + 4b - 2t}{A}$	外边缘型
	$\frac{2h + 3b - 2t}{A}$	外边缘型		$\frac{2h + 3b - 2t}{A}$	外边缘型
	$\frac{2(h+b)}{A}$	非外边缘型		$\frac{2(h+b)}{A}$	非外边缘型

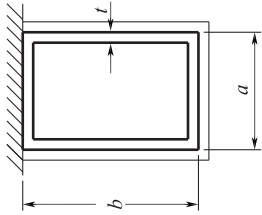
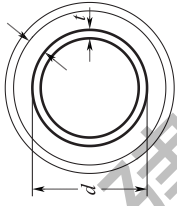
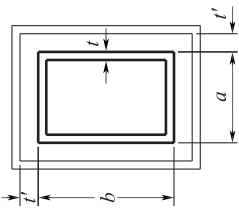
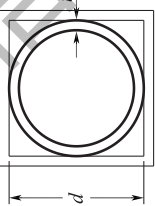
续表 5.3.2

<p>截面形状</p> 	<p>截面形状系数 F_y/V</p> $\frac{2(h+b)}{A}$	<p>备注</p> <p>非外边缘型 应用限值 $t \leq \frac{h}{4}$</p>	<p>截面形状</p> 	<p>截面形状系数 F_y/V</p> $\frac{2(h+b)}{A}$	<p>备注</p> <p>非外边缘型 应用限值 $t \leq \frac{h}{4}$</p>
	<p>截面形状系数 F_y/V</p> $\frac{2(h+b)}{A}$	<p>备注</p> <p>非外边缘型</p>		<p>截面形状系数 F_y/V</p> $\frac{2(h+b)}{A}$	<p>备注</p> <p>非外边缘型 应用限值 $t \leq \frac{h}{4}$</p>

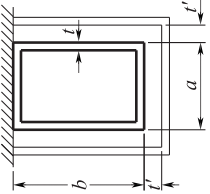
续表 5.3.2

截面形状	截面形状系数 F_i/V	备注	截面形状	截面形状系数 F_i/V	备注
	$\frac{2(h+b)}{A}$	非外边缘型 应用限值 $t \leq \frac{h}{4}$		$\frac{2(h+b)}{A}$	非外边缘型
	$\frac{a+b}{i(a+b-2t)}$	外边缘型		$\frac{d}{i(d-t)}$	外边缘型

续表 5.3.2

<p>截面形状</p> 	<p>截面形状系数 F_i/V</p> $\frac{a+b/2}{t(a+b-2t)}$	<p>备注</p> <p>外边缘型</p>	<p>截面形状</p> 	<p>截面形状系数 F_i/V</p> $\frac{d}{t(d-t)}$	<p>备注</p> <p>非外边缘型 应用限值 $t \leq \frac{d}{4}$</p>
	<p>截面形状系数 F_i/V</p> $\frac{a+b}{t(a+b-2t)}$	<p>备注</p> <p>非外边缘型 应用限值 $t \leq \frac{b}{4}$</p>	<p>截面形状</p> 	<p>截面形状系数 F_i/V</p> $\frac{d}{t(d-t)}$	<p>备注</p> <p>非外边缘型</p>

续表 5.3.2

截面形状	截面形状系数 F_i/V	备注	截面形状	截面形状系数 F_i/V	备注
	$\frac{a+b/2}{t(a+b-2t)}$	非外边缘型 应用限值 $i \leq \frac{d}{4}$			

注：表中 A 为构件截面面积。

5.3.3 不符合第 5.3.1 条适用条件的钢构件中钢材在 $t + \Delta t$ 时刻的温度 $T_s(t + \Delta t)$ 可由下式迭代计算。

$$T_s(t + \Delta t) = T_s(t) + \Delta T_s \quad (5.3.3)$$

式中： ΔT_s ——钢构件中钢材在 Δt 内的温升；

$T_s(t)$ ——钢构件中钢材在 t 时的温度。

5.3.4 火灾下无防火保护钢构件在 Δt 内的温升可按下列公式计算，或按本标准附录 B 表 B.0.1、表 B.0.2 取值。

$$\Delta T_s = \frac{(F/V)}{\rho_s c_s} \{ \alpha_c (T_g - T_s) + \varepsilon_r \sigma [(T_g + 273)^4 - (T_s + 273)^4] \} \Delta t \quad (5.3.4)$$

式中： ΔT_s ——钢构件在时间 $(t, t + \Delta t)$ 内的温升(°C)；

Δt ——时间步长(s)；取值不宜大于 5s；

T_s 、 T_g ——分别为 t 时刻钢构件的内部温度和热烟气的平均温度(°C)；

ρ_s 、 c_s ——分别为钢材的密度(kg/m^3)和比热容[$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$]；

F/V ——无防火保护钢构件的截面形状系数(m^{-1})；

F ——单位长度钢构件的受火表面积(m^2)；

V ——单位长度钢构件的体积(m^3)；

α_c ——热对流传热系数[$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]，可取 $25\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ；

ε_r ——综合辐射率，可按表 5.3.4 取值；

σ ——斯蒂芬-波尔兹曼常数，为 $5.67 \times 10^{-8}\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^4)$ 。

表 5.3.4 综合辐射率 ε_r

钢结构形式		综合辐射率 ε_r	
四面受火的钢柱		0.7	
钢梁	上翼缘埋于混凝土楼板内。仅下翼缘、腹板受火	0.5	
	混凝土楼板放置 在上翼缘	上翼缘的宽度与梁高之比大于或等于 0.5	0.5
		上翼缘的宽度与梁高之比小于 0.5	0.7
箱梁、格构梁		0.7	

5.3.5 火灾下有防火保护钢构件在 Δt 内的温升可按下式计算,或按本标准附录 C 表 C.1.1~表 C.1.7、表 C.2.1~表 C.2.2 取值。

$$\Delta T_s = \alpha \cdot \frac{1}{\rho_s c_s} \cdot \frac{F_i}{V} \cdot (T_g - T_s) \Delta t \quad (5.3.5-1)$$

1 当防火保护层为非轻质防火保护层,即 $\frac{\rho_i c_i d_i F_i}{2\rho_s c_s V} > \frac{1}{4}$ 时:

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{\rho_i c_i d_i F_i}{2\rho_s c_s V}} \cdot \frac{\lambda_i}{d_i} \quad (5.3.5-2)$$

2 当防火保护层为轻质防火保护层,即 $\frac{\rho_i c_i d_i F_i}{2\rho_s c_s V} \leq \frac{1}{4}$ 时:

对于膨胀型防火涂料防火保护层:

$$\alpha = \frac{1}{R_i} \quad (5.3.5-3)$$

对于非膨胀型防火涂料、防火板等防火保护层:

$$\alpha = \frac{\lambda_i}{d_i} \quad (5.3.5-4)$$

式中: c_i ——防火保护材料的比热容 [$J/(kg \cdot ^\circ C)$];

ρ_i ——防火保护材料的密度 (kg/m^3);

R_i ——防火保护材料的等效热阻 ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);

λ_i ——防火保护材料的等效热传导系数 [$W/(m \cdot ^\circ C)$];

d_i ——防火保护层的厚度 (m);

F_i/V ——有防火保护钢构件的截面形状系数 (m^{-1});

F_i ——有防火保护钢构件单位长度的受火表面积 (m^2);对于外边缘型防火保护,取单位长度钢构件的防火保护材料内表面积;对于非外边缘型防火保护,取沿单位长度钢构件所测得的可能的矩形包装的最小内表面积;

V ——单位长度钢构件的体积 (m^3)。

5.4 钢结构耐火验算与防火保护设计

I 基本钢构件

5.4.1 火灾下轴心受拉钢构件或轴心受压钢构件的强度应按下列公式验算：

$$\frac{N}{A_n} \leq f_T \quad (5.4.1)$$

式中： N ——火灾下钢构件的轴拉(压)力设计值；

A_n ——净截面面积；

f_T ——高温下钢材的强度设计值，按本标准第4.1节的规定确定。

5.4.2 火灾下轴心受压钢构件的稳定性应按下列公式验算：

$$\frac{N}{\varphi_T A f_T} \leq 1.0 \quad (5.4.2-1)$$

$$\varphi_T = \alpha_c \varphi \quad (5.4.2-2)$$

式中： N ——火灾下钢构件的轴向压力设计值；

A ——毛截面面积；

φ_T ——高温下轴心受压钢构件的稳定系数；

φ ——常温下轴心受压钢构件的稳定系数，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定确定；

α_c ——高温下轴心受压钢构件的稳定验算参数，应根据构件长细比和构件温度按表5.4.2确定。

表 5.4.2 高温下轴心受压钢构件的稳定验算参数 α_c

构件材料		结构钢构件						耐火钢构件					
		≤ 10	50	100	150	200	250	≤ 10	50	100	150	200	250
温度 ($^{\circ}\text{C}$)	≤ 50	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	100	0.998	0.995	0.988	0.983	0.982	0.981	0.999	0.997	0.993	0.989	0.989	0.988

续表 5.4.2

构件材料		结构钢构件						耐火钢构件					
λ/ε_k		≤ 10	50	100	150	200	250	≤ 10	50	100	150	200	250
温度 (°C)	150	0.997	0.991	0.979	0.970	0.968	0.968	0.998	0.995	0.989	0.984	0.983	0.983
	200	0.995	0.986	0.968	0.955	0.952	0.951	0.998	0.994	0.987	0.980	0.979	0.979
	250	0.993	0.980	0.955	0.937	0.933	0.932	0.998	0.994	0.986	0.979	0.978	0.977
	300	0.990	0.973	0.939	0.915	0.910	0.909	0.998	0.994	0.987	0.980	0.979	0.979
	350	0.989	0.970	0.933	0.906	0.902	0.900	0.998	0.996	0.990	0.986	0.985	0.985
	400	0.991	0.977	0.947	0.926	0.922	0.920	1.000	0.999	0.998	0.997	0.996	0.996
	450	0.996	0.990	0.977	0.967	0.965	0.965	1.000	1.001	1.008	1.012	1.014	1.015
	500	1.001	1.002	1.013	1.019	1.023	1.024	1.001	1.004	1.023	1.035	1.041	1.045
	550	1.002	1.007	1.046	1.063	1.075	1.081	1.002	1.008	1.054	1.073	1.087	1.094
	600	1.002	1.007	1.050	1.069	1.082	1.088	1.004	1.014	1.105	1.136	1.164	1.179
	650	0.996	0.989	0.976	0.965	0.963	0.962	1.006	1.023	1.188	1.250	1.309	1.341
	700	0.995	0.986	0.969	0.955	0.952	0.952	1.008	1.030	1.245	1.350	1.444	1.497
750	1.000	1.001	1.005	1.008	1.009	1.009	1.011	1.044	1.345	1.589	1.793	1.921	
800	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.012	1.050	1.378	1.722	1.970	2.149	

注:1 表中 λ 为构件的长细比, ε_k 为钢号修正系数,其值为235与钢材牌号中屈服点数值的比值的平方根。

2 温度小于或等于50°C时, α_c 可取1.0;温度大于50°C时,表中未规定温度时的 α_c 应按线性插值方法确定。

5.4.3 火灾下单轴受弯钢构件的强度应按下式验算:

$$\frac{M}{\gamma W_n} \leq f_T \quad (5.4.3)$$

式中: M ——火灾下构件的最不利截面处的弯矩设计值;

W_n ——钢构件最不利截面的净截面模量;

γ ——截面塑性发展系数;

f_T ——高温下钢材的强度设计值,按本标准第4.1.2条确定。

5.4.4 火灾下单轴受弯钢构件的稳定性应按下式验算:

$$\frac{M}{\varphi_{bT} W_T f_T} \leq 1.0 \quad (5.4.4-1)$$

$$\varphi_{bT} = \begin{cases} \alpha_b \varphi_b & \alpha_b \varphi_b \leq 0.6 \\ 1.07 - \frac{0.282}{\alpha_b \varphi_b} \leq 1.0 & \alpha_b \varphi_b > 0.6 \end{cases} \quad (5.4.4-2)$$

式中： M ——火灾下构件的最大弯矩设计值；

W ——按受压最大纤维确定的构件毛截面模量；

φ_{bT} ——高温下受弯钢构件的稳定系数；

φ_b ——常温下受弯钢构件的稳定系数，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定确定；当 $\varphi_b > 0.6$ 时， φ_b 不作修正；

α_b ——高温下受弯钢构件的稳定验算参数，应按表 5.4.4 确定。

表 5.4.4 高温下受弯钢构件的稳定验算参数 α_b

温度(℃)	材料	
	结构钢构件	耐火钢构件
20	1.000	1.000
100	0.980	0.988
150	0.966	0.982
200	0.949	0.978
250	0.929	0.977
300	0.905	0.978
350	0.896	0.984
400	0.917	0.996
450	0.962	1.017
500	1.027	1.052
550	1.094	1.111
600	1.101	1.214
650	0.961	1.419

续表 5.4.4

温度 (°C)	材料	
	结构钢构件	耐火钢构件
700	0.950	1.630
750	1.011	2.256
800	1.000	2.640

5.4.5 火灾下拉弯或压弯钢构件的强度应按式(5.4.5)验算:

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \pm \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f_T \quad (5.4.5)$$

式中: M_x 、 M_y ——火灾下最不利截面处对应于强轴 x 轴和弱轴 y 轴的弯矩设计值;

W_{nx} 、 W_{ny} ——绕 x 轴和 y 轴的净截面模量;

γ_x 、 γ_y ——绕强轴和弱轴弯曲的截面塑性发展系数,按现行国标 GB 50017 确定。

5.4.6 火灾下压弯钢构件绕强轴 x 轴弯曲和绕弱轴 y 轴弯曲时的稳定性应分别按下列公式验算:

$$\frac{N}{\varphi_{xT} A f_T} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_x (1 - 0.8N/N'_{ExT}) f_T} + \eta \frac{\beta_{ly} M_y}{\varphi_{lyT} W_y f_T} \leq 1.0 \quad (5.4.6-1)$$

$$N'_{ExT} = \pi^2 E_{sT} A / (1.1 \lambda_x^2) \quad (5.4.6-2)$$

$$\frac{N}{\varphi_{yT} A f_T} + \eta \frac{\beta_{lx} M_x}{\varphi_{lxT} W_x f_T} + \frac{\beta_{my} M_y}{\gamma_y W_y (1 - 0.8N/N'_{EyT}) f_T} \leq 1.0 \quad (5.4.6-3)$$

$$N'_{EyT} = \pi^2 E_{sT} A / (1.1 \lambda_y^2) \quad (5.4.6-4)$$

式中: N ——火灾下钢构件的轴向压力设计值;

M_x 、 M_y ——火灾下所计算钢构件段范围内对强轴和弱轴的最大弯矩设计值;

- A ——毛截面面积；
- W_x 、 W_y ——对强轴和弱轴按其最大受压纤维确定的毛截面模量；
- N'_{ExT} 、 N'_{EyT} ——高温下绕强轴和弱轴弯曲的参数；
- λ_x 、 λ_y ——对强轴和弱轴的长细比；
- φ_{xT} 、 φ_{yT} ——高温下轴心受压钢构件对应于强轴和弱轴失稳的稳定系数,应按本标准的式(5.4.2-2)计算；
- φ_{bxT} 、 φ_{byT} ——高温下均匀弯曲受弯钢构件对应于强轴和弱轴失稳的稳定系数,应按本标准的式(5.4.4-2)计算；
- η ——截面影响系数,对于闭口截面,取0.7;对于其他截面,取1.0；
- β_{mx} 、 β_{my} ——弯矩作用平面内的等效弯矩系数,应按下列规定采用(β_{m} 表示 β_{mx} 、 β_{my})；
- β_{tx} 、 β_{ty} ——弯矩作用平面外的等效弯矩系数,应按下列规定采用(β_{t} 表示 β_{tx} 、 β_{ty})。

5.4.7 弯矩作用平面内的等效弯矩系数,应按下列规定采用(β_{m} 表示 β_{mx} 、 β_{my})：

1 框架柱和两端支承的构件：

- 1) 无横向荷载作用时:取 $\beta_{\text{m}} = 0.65 + 0.35M_2/M_1$, M_1 和 M_2 为端弯矩,使构件产生同向曲率(无反弯点)时取同号;使构件产生反向曲率(有反弯点)时取异号, $|M_1| \geq |M_2|$;
- 2) 有端弯矩和横向荷载同时作用时:使构件产生同向曲率时, $\beta_{\text{m}} = 1.0$;使构件产生反向曲率时, $\beta_{\text{m}} = 0.85$;
- 3) 无端弯矩但有横向荷载作用时: $\beta_{\text{m}} = 1.0$ 。

2 悬臂构件和分析内力未考虑二阶效应的无支撑纯框架和弱支撑框架柱, $\beta_{\text{m}} = 1.0$;

5.4.8 弯矩作用平面外的等效弯矩系数,应按下列规定采用(β_x 表示 β_{bx} , β_y):

- 1 在弯矩作用平面外有支承的构件,应根据两相邻支承点间构件段内的荷载和能力情况确定:
 - 1) 所考虑构件段无横向荷载作用时:取 $\beta_1 = 0.65 + 0.35M_2/M_1$, M_1 和 M_2 为在弯矩作用平面内的端弯矩,使构件产生同向曲率(无反弯点)时取同号;使构件产生反向曲率(有反弯点)时取异号, $|M_1| \geq |M_2|$;
 - 2) 所考虑构件段有端弯矩和横向荷载同时作用时:使构件产生同向曲率时, $\beta_1 = 1.0$;使构件产生反向曲率时, $\beta_1 = 0.85$;
 - 3) 所考虑构件段无端弯矩但有横向荷载作用时: $\beta_1 = 1.0$ 。
- 2 弯矩作用平面外为悬臂的构件, $\beta_1 = 1.0$ 。

II 钢框架梁、柱

5.4.9 火灾下受楼板侧向约束的钢框架梁的承载力可按下式验算:

$$M \leq f_T W_p \quad (5.4.9)$$

式中: M ——火灾下钢框架梁上荷载产生的最大弯矩设计值,不考虑温度内力;

W_p ——钢框架梁截面的截面塑性模量。

5.4.10 火灾下钢框架柱的承载力可按下式验算:

$$\frac{N}{\varphi_T A f_T} \leq 0.7 \quad (5.4.10)$$

式中: N ——火灾下钢框架柱所受的轴压力设计值;

A ——钢框架柱的毛截面面积;

φ_T ——高温下轴心受压钢构件的稳定系数,应按本标准式(5.4.2-2)计算,其中钢框架柱计算长度应按柱子长度确定。

5.5 结构防火保护构造

5.5.1 钢结构采用包覆防火板保护时,应符合下列要求:

1 防火板应为不燃材料,且受火时不应出现炸裂和穿透裂缝等现象;

2 固定防火板的龙骨及黏结剂应为不燃材料。龙骨应便于与构件及防火板连接,黏结剂在高温下应能保持一定的强度,并应能保证防火板的包敷完整。

5.5.2 钢结构采用包覆柔性毡状隔热材料保护时,应符合下列规定:

1 不宜用于易受潮或受水的钢结构;

2 在自重作用下,毡状材料不应发生压缩不均的现象。

5.5.3 钢结构采用外包混凝土、金属网抹砂浆或砌筑砌体保护时,应符合下列规定:

1 当采用外包混凝土时,混凝土的强度等级不宜低于 C20;

2 当采用外包金属网抹砂浆时,砂浆的强度等级不宜低于 M5;金属丝网的网格不应大于 20mm,丝径不应小于 0.6mm;砂浆最小厚度不应小于 25mm;

3 当采用砌筑砌体时,砌块的强度等级不宜低于 MU10,砂浆的强度等级不宜低于 M5。

5.5.4 钢结构采用涂覆非膨胀型防火涂料保护时,有下列情况之一,宜在涂层内设置与钢构件相连接的镀锌铁丝网或玻璃纤维布:

1 构件承受冲击、振动荷载;

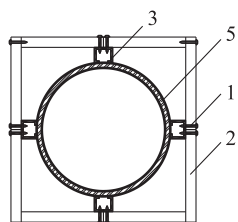
2 防火涂料的黏结强度不大于 $0.05\text{N}/\text{mm}^2$;

3 构件的腹板高度大于 500mm 且涂层厚度不小于 30mm;

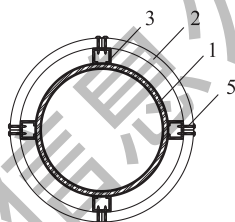
4 构件的腹板高度大于 500mm 且涂层长期暴露在室外。

5.5.5 钢结构采用包覆防火板保护时,钢柱的防火板保护构造

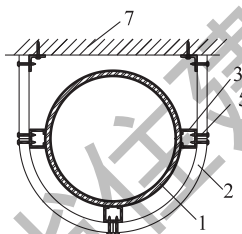
宜按图 5.5.5-1 选用, 钢梁的防火板保护构造宜按图 5.5.5-2 选用。



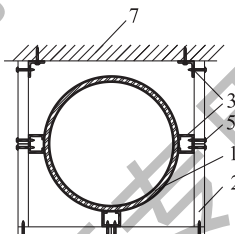
(a) 圆柱包矩形防火板



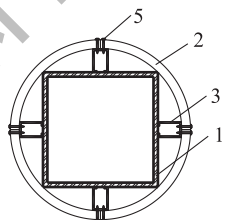
(b) 圆柱包圆弧形防火板



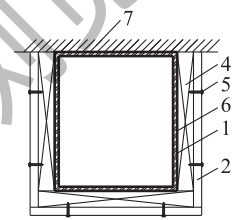
(c) 靠墙圆柱包弧形防火板



(d) 靠墙圆柱包矩形防火板



(e) 箱形柱包圆弧形防火板



(f) 靠墙箱形柱包矩形防火板

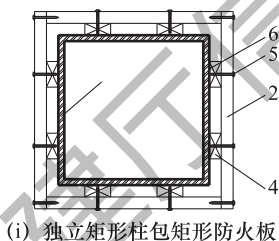
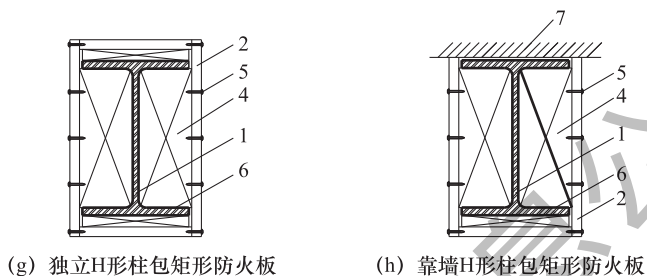


图 5.5.5-1 防火板保护钢柱的构造图

1—钢柱;2—防火板;3—钢龙骨;4—垫块;
5—自攻螺钉(射钉);6—高温黏贴剂;7—墙体

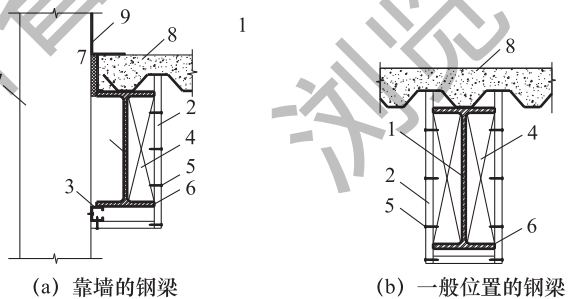


图 5.5.5-2 防火板保护钢梁的构造图

1—钢梁;2—防火板;3—钢龙骨;4—垫块;
5—自攻螺钉(射钉);6—高温黏贴剂;7—墙体;8—楼板;9—金属防火板

5.5.6 钢结构采用包覆柔性毡状隔热材料保护时,其防火保护构造宜按图 5.5.6 选用。

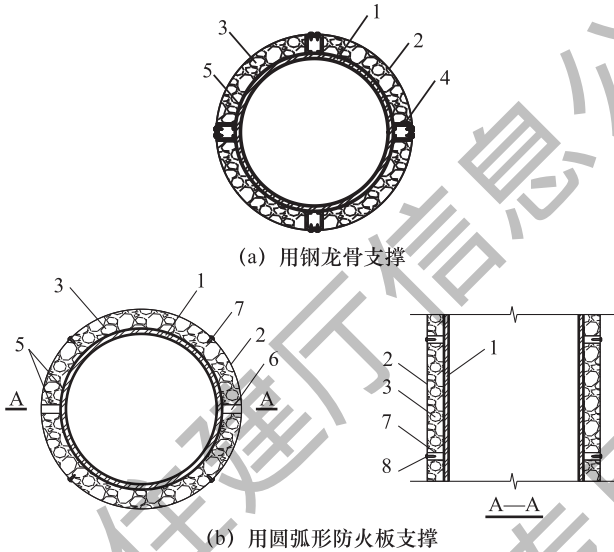


图 5.5.6 柔性毡状隔热材料防火保护的构造图

- 1—钢柱;2—金属保护板;3—柔性毡状隔热材料;4—钢龙骨;
5—高温黏结剂;6—支撑板;7—弧形支撑板;8—自攻螺钉(射钉)

5.5.7 钢结构采用外包混凝土或砌筑砌体保护时,其防火保护构造宜按图 5.5.7 选用,外包混凝土宜配构造钢筋。

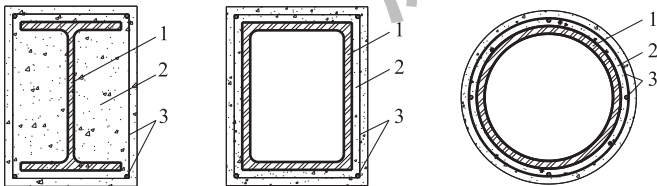


图 5.5.7 外包混凝土防火保护构造图

- 1—钢构件;2—混凝土;3—构造钢筋

5.5.8 钢结构采用复合防火保护时,钢柱的防火保护构造宜按图 5.5.8-1、5.5.8-2 选用,钢梁的防火保护构造宜按图 5.5.8-3 选用。

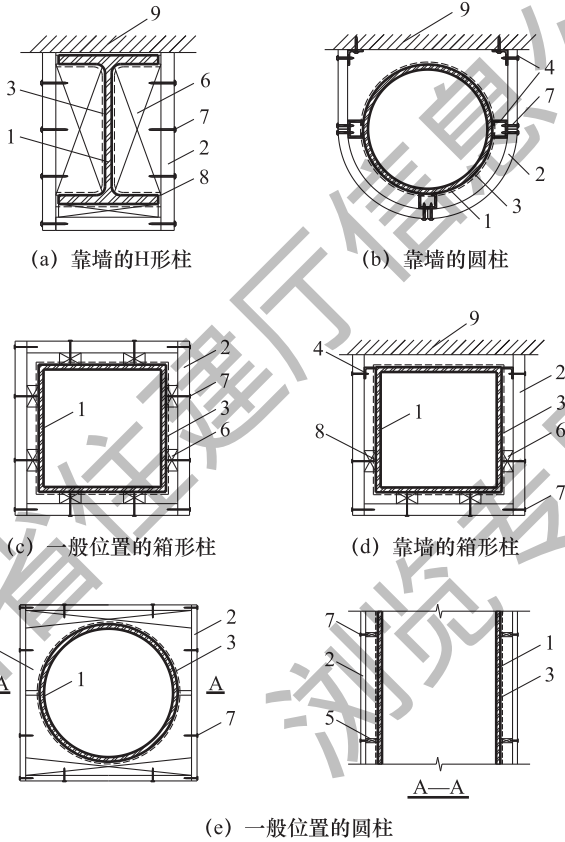


图 5.5.8-1 钢柱采用防火涂料和防火板复合保护的构造图

1—钢柱;2—防火板;3—防火涂料;4—钢龙骨;5—支撑板;
6—垫块;7—自攻螺钉(射钉);8—高温黏结剂;9—墙体

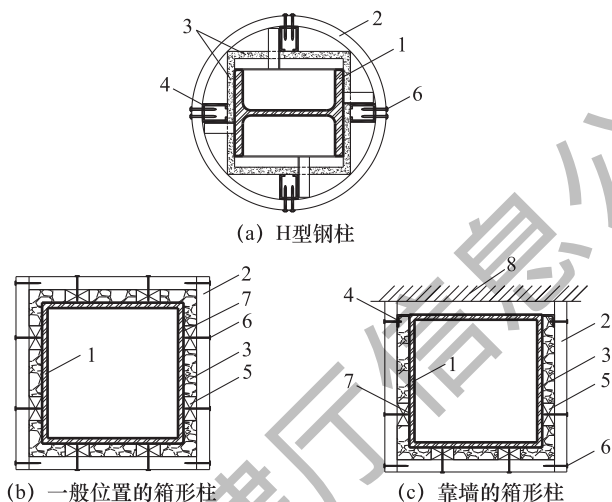


图 5.5.8-2 钢柱采用柔性毡和防火板复合保护的构造图

1—钢柱;2—防火板;3—柔性毡状隔热材料;4—钢龙骨;
5—垫块;6—自攻螺钉(射钉);7—高温黏结剂;8—墙体

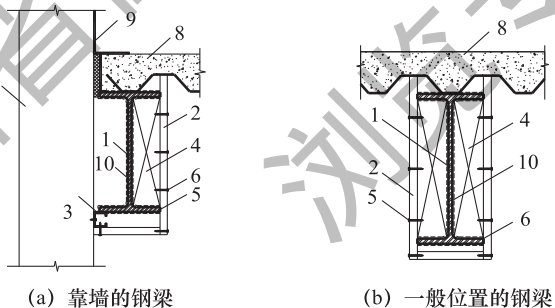


图 5.5.8-3 钢梁采用防火涂料和防火板复合保护的构造图

1—钢梁;2—防火板;3—钢龙骨;4—垫块;5—自攻螺钉(射钉);
6—高温黏贴剂;7—墙体;8—楼板;9—金属防火板;10—防火涂料

6 钢管混凝土柱的耐火验算与防火保护设计

6.1 防火保护方法

6.1.1 钢管混凝土柱的防火保护可采用下列措施之一或其中几种的复(组)合。

- 1 喷涂(抹涂)防火涂料;
- 2 包覆防火板;
- 3 包覆柔性毡状隔热材料;
- 4 外包混凝土或金属网抹砂浆。

6.1.2 钢管混凝土圆柱、矩形柱的非膨胀型钢结构防火涂料保护层厚度可按表 6.1.2-1、6.1.2-2 初选。

表 6.1.2-1 钢管混凝土圆柱($\lambda \leq 60$)的非膨胀型钢结构
防火涂料保护层的耐火极限

非膨胀型钢结构防火涂料厚度 (mm)	构件厚度或截面最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
14	$D = 200$	2.00
16	$D = 200$	2.50
20	$D = 200$	3.00
14	$D = 600$	2.50
16	$D = 600$	3.00
14	$D = 1000$	3.00
12	$D \geq 1400$	3.00

表 6.1.2-2 钢管混凝土矩形柱($\lambda \leq 60$)的厚涂型钢结构
防火涂料保护层的耐火极限

非膨胀型钢结构防火涂料厚度 (mm)	构件厚度或截面最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
14	$B = 200$	2.00
18	$B = 200$	2.50
25	$B = 200$	3.00
15	$B = 600$	3.00
12	$B = 1000$	3.00
10	$B \geq 1400$	3.00

6.1.3 钢管混凝土圆柱、矩形柱的金属网抹 M5 砂浆保护层厚度可按表 6.1.3-1、6.1.3-2 初选。

表 6.1.3-1 钢管混凝土圆柱($\lambda \leq 60$)的金属网抹
M5 砂浆保护层的耐火极限

金属网抹 M5 砂浆厚度 (mm)	构件厚度或截面最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
25	$D = 200$	1.00
35	$D = 200$	1.50
45	$D = 200$	2.00
60	$D = 200$	2.50
70	$D = 200$	3.00
20	$D = 600$	1.00
30	$D = 600$	1.50
35	$D = 600$	2.00
45	$D = 600$	2.50
50	$D = 600$	3.00
26	$D = 1000$	1.50

续表 6. 1. 3-1

金属网抹 M5 砂浆厚度 (mm)	构件厚度或截面最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
32	$D = 1000$	2.00
40	$D = 1000$	2.50
45	$D = 1000$	3.00
25	$D \geq 1400$	1.50
30	$D \geq 1400$	2.00
36	$D \geq 1400$	2.50
40	$D \geq 1400$	3.00

表 6. 1. 3-2 钢管混凝土矩形柱($\lambda \leq 60$)的金属网
抹 M5 砂浆保护层的耐火极限

金属网抹 M5 砂浆厚度 (mm)	构件厚度或截面最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
40	$B = 200$	1.00
55	$B = 200$	1.50
70	$B = 200$	2.00
80	$B = 200$	2.50
90	$B = 200$	3.00
30	$B = 600$	1.00
40	$B = 600$	1.50
55	$B = 600$	2.00
65	$B = 600$	2.50
70	$B = 600$	3.00
25	$B = 1000$	1.00
35	$B = 1000$	1.50
45	$B = 1000$	2.00

续表 6. 1. 3-2

金属网抹 M5 砂浆厚度 (mm)	构件厚度或截面最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
55	$B = 1000$	2.50
65	$B = 1000$	3.00
20	$B \geq 1400$	1.00
30	$B \geq 1400$	1.50
40	$B \geq 1400$	2.00
45	$B \geq 1400$	2.50
55	$B \geq 1400$	3.00

6.2 钢管混凝土柱的耐火验算

6.2.1 同时符合下列条件的实心矩形和圆形钢管混凝土柱,可按本标准第 6.2.2 条 ~ 第 6.2.8 条进行耐火验算与防火保护设计。

- 1 钢管采用 Q235、Q355、Q390 和 Q420 钢,混凝土强度等级为 C30 ~ C80,且含钢率 A_s/A_c 为 0.04 ~ 0.20;
- 2 柱长细比 λ 为 10 ~ 80;
- 3 圆钢管混凝土柱的截面外直径为 200mm ~ 2000mm,荷载偏心率 e/r 为 0 ~ 3.0 (e 为荷载偏心距, r 为钢管截面外半径); 矩形钢管混凝土柱的截面短边长度为 200mm ~ 2000mm,荷载偏心率 e/r 为 0 ~ 3.0 (e 为荷载偏心距, r 为荷载偏心方向边长的一半)。

6.2.2 钢管混凝土柱应根据其荷载比 R 、火灾下的承载力系数 k_T 按下列规定采取防火保护措施。荷载比 R 应按本标准第 6.2.3 条计算,圆钢管混凝土柱、矩形钢管混凝土柱火灾下的承载力系数 k_T 应分别按本标准第 6.2.5 条、第 6.2.6 条、第 6.2.7 条的规定计算,且应符合下列规定:

- 1 当 $R < 0.75k_T$ 时,可不采取防火保护措施;
- 2 当 $R \geq 0.75k_T$ 时,应采取防火保护措施。对于圆钢管混凝土柱,按第 6.2.8 条计算防火保护层厚度;对于矩形钢管混凝土柱,按第 6.2.8 条计算防火保护层厚度。

6.2.3 钢管混凝土柱的荷载比应按下式计算:

$$R = \frac{N}{N_u} \quad (6.2.3)$$

式中: R ——钢管混凝土柱的荷载比;

N ——火灾下钢管混凝土柱的轴压力设计值;

N_u ——常温下钢管混凝土柱的抗压承载力设计值,可按本标准第 6.2.5 条的规定确定。

6.2.4 标准火灾升温曲线下钢管混凝土柱的升温计算应符合下列规定:

1 钢管的温度 T_s 应按下列公式计算:

$$T_s = A \left(1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{t}{B} \right)^C} \right) + 20 \quad (6.2.4-1)$$

$$A = 1200 \quad (6.2.4-2)$$

$$B = 20.22 + 0.15 \bar{d}_s \quad (6.2.4-3)$$

$$C = 0.996 + 0.014 \bar{d}_s \quad (6.2.4-4)$$

$$\bar{d}_s = \sqrt{\frac{A_c + A_k + A_s}{\pi}} - \sqrt{\frac{A_c + A_k}{\pi}} \quad (6.2.4-5)$$

式中: t ——时间(min);

T_s ——钢管的温度(°C);

\bar{d}_s ——钢管的等效厚度(mm),根据面积等效成圆形的厚度;

A_c 、 A_k ——分别为钢管混凝土柱中混凝土面积和空心部分面积(mm^2);

A_s ——钢管混凝土柱中钢管的截面面积。

2 混凝土的平均温度 \bar{T}_c 应按下列公式计算：

$$\bar{T}_c = \frac{2}{1 + \sqrt{\psi}} \times A \left(1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{t}{B} \right)^C} \right) + 20 \quad (6.2.4-6)$$

$$A = 120 + 1080e^{-0.00447L_e} \quad (6.2.4-7)$$

$$B = 20.22 + 0.51 \bar{d}_s + 1.8L_e (L_e^2 \times 10^{-6} - 0.00146L_e + 0.64) \quad (6.2.4-8)$$

$$C = 0.996 + 0.014 \bar{d}_s \quad (6.2.4-9)$$

$$L_e = \sqrt{\frac{A_c + A_k}{\pi}} - \sqrt{\frac{A_k}{\pi}} \quad (6.2.4-10)$$

$$\psi = \frac{A_k}{A_c + A_k} \quad (6.2.4-11)$$

式中： t ——时间 (min)；

\bar{T}_c ——混凝土的平均温度 (°C)；

L_e ——混凝土的等效厚度 (mm)，根据面积等效成圆形的厚度；

ψ ——空心率，可按式 (6.2.4-11) 进行计算；对于实心构件，取 0；

A_c 、 A_k ——分别为钢管混凝土柱中混凝土面积和空心部分面积 (mm²)。

6.2.5 标准火灾升温曲线下，钢管混凝土柱的承载力系数应符合式 (6.2.5) 的规定；无防火保护的实心钢管混凝土构件的承载力系数可按表 D.1-1、表 D.1-2 取值。

$$k_T = \frac{N(t)}{N_u} \quad (6.2.5)$$

式中： $N(t)$ ——火灾持续时间 t 时刻钢管混凝土柱的承载力 (kN)；

N_u ——常温下钢管混凝土柱的抗压承载力设计值(kN)。

6.2.6 无防火保护的空心钢管混凝土构件,其耐火时间可按表 D.2 取值。

6.2.7 当混凝土中内置型钢时,考虑型钢对构件耐火极限的影响,标准火灾作用下内置型钢钢管混凝土构件的火灾荷载比限值不应超过火灾下承载力系数可按本标准附录 D 表 D.3-1、表 D.3-2 取值。

6.2.8 实心钢管混凝土柱可根据耐火极限采用涂覆防火涂料或包覆其他防火材料等措施。

1 当采用金属网抹 M5 普通水泥砂浆时,钢管混凝土柱在标准火灾升温曲线条件下的防火保护层厚度 a 可按本标准附录 D 表 D.4-1、D.4-2 取值;

2 涂覆非膨胀型防火涂料时,实心钢管混凝土构件防火保护层厚度 a 可按本标准附录 D 表 D.4-3、表 D.4-4 取值。

6.3 结构防火保护构造

6.3.1 采用金属网抹水泥砂浆进行防火保护时,构造如图 6.3.1-1 所示;采用外包混凝土进行防火保护时,构造如图 6.3.1-2 所示;涂覆防火涂料进行防火保护时,构造如图 6.3.1-3 所示。

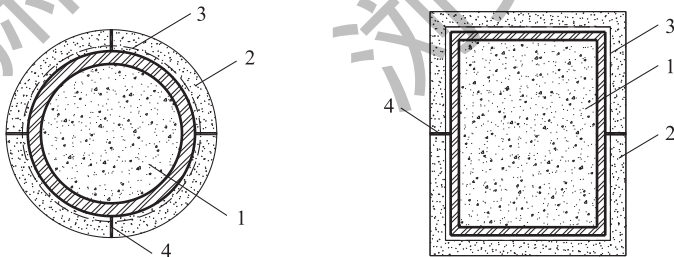


图 6.3.1-1 采用金属网抹水泥砂浆的钢管混凝土柱防火保护构造
1—钢管混凝土柱;2—砂浆保护层;3—金属网;4—定位钢筋

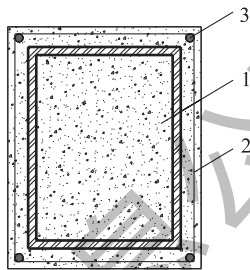
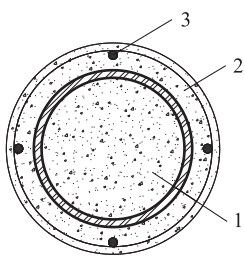


图 6.3.1-2 采用外包混凝土的钢管混凝土柱防火保护构造
(外包混凝土防火保护应配构造钢筋)

1—钢管混凝土柱;2—混凝土保护层;3—构造钢筋

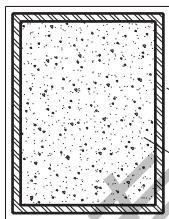
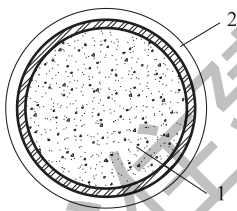


图 6.3.1-3 采用防火涂料的钢管混凝土柱防火保护构造

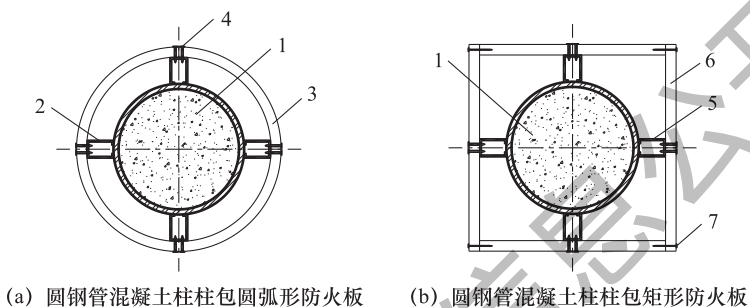
1—钢管混凝土柱;2—防火涂料

6.3.2 在采用包覆防火板进行防火保护时,构造如图 6.3.2 所示,应符合以下要求:

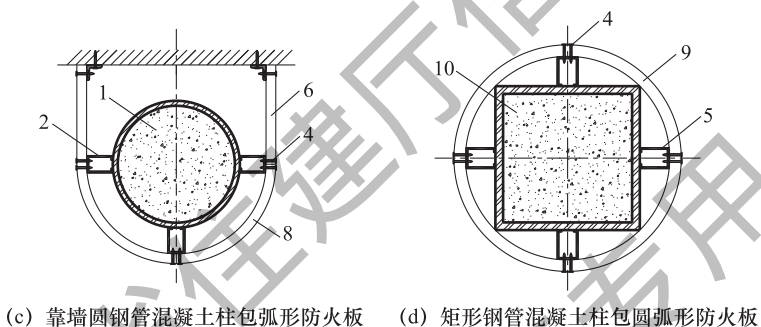
1 防火板的包覆构造必须根据构件形状,构件所处部位,在满足耐火性能的条件下,充分考虑牢固稳定,进行包覆构造设计;

2 固定防火板的龙骨及粘结剂应为不燃材料,龙骨材料应能便于和构件,防火板连接,粘接剂应能在高温下仍能保持一定的强度,保证结构的稳定和完整;

3 防火板的燃烧性能和物理化学性能应符合有关标准的规定。



(a) 圆钢管混凝土柱包圆弧形防火板 (b) 圆钢管混凝土柱包矩形防火板



(c) 靠墙圆钢管混凝土柱包弧形防火板 (d) 矩形钢管混凝土柱包圆弧形防火板

图 6.3.2 钢管混凝土柱用钢龙骨固定的防火板构造

- 1—圆钢管混凝土柱;2—钢龙骨;3—弧形防火板;4—自攻螺钉;
5—钢龙骨或防火板支撑件;6—防火板;7—钢钉;8—弧形防火板;
9—圆弧形防火板;10—矩形钢管混凝土柱

6.3.3 当钢管混凝土构件采用复合防火保护时,构造如图 6.3.3 所示,应符合下列要求:

- 1 须根据构件形状及所处部位,在满足耐火性能的条件下,充分考虑结构的牢固稳定,进行包覆构造设计;
- 2 在包覆构造设计时,应充分考虑外层包覆施工时,不应对内层防火层造成结构破坏的损伤。

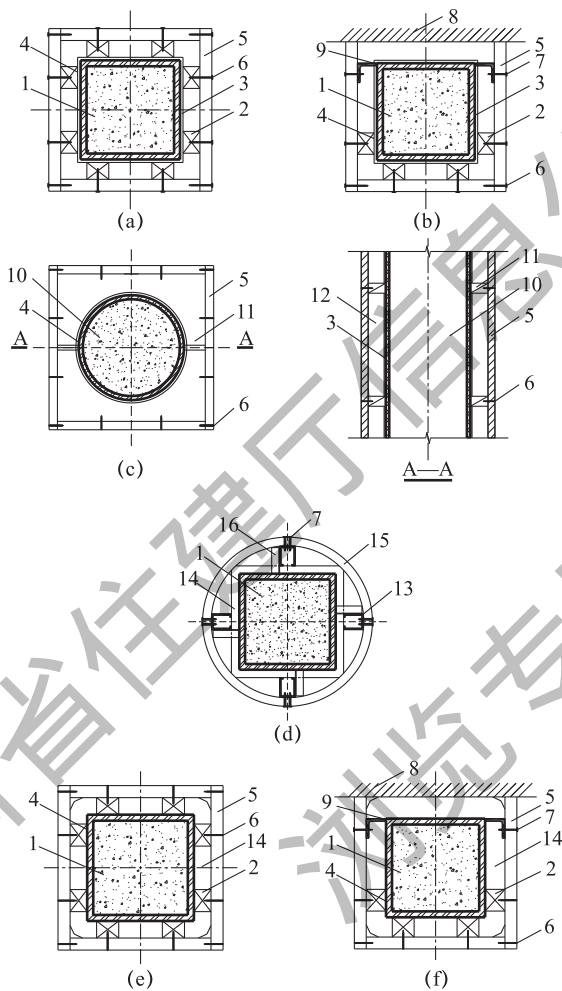


图 6.3.3 采用复合防火保护的钢管混凝土柱构造图

- 1—矩形钢管混凝土柱；2—防火板龙骨；3—防火涂料；4—高温粘结剂固定；
 5—防火板；6—钢钉；7—自攻螺钉；8—墙体；9—点焊；10—圆钢管混凝土柱；
 11—凹形支撑板；12—空气腔；13—钢龙骨或防火板支撑件；14—柔性毡状隔热材料；
 15—圆弧形防火板；16—支撑固定件(点焊)

6.3.4 当钢管混凝土构件采用包覆柔性毡状隔热材料进行防火保护时,如图 6.3.4 所示,应符合下列要求:

- 1 本方法仅适用于平时不受机械伤害和不易被人为破坏,而且应免受水湿的部位;
- 2 包覆构造的外层应设金属保护壳;
- 3 包覆构造应满足在材料自重下,不应使毡状材料发生体积压缩不均的现象。金属保护壳应固定在支撑构件上,支撑构件应固定在钢构件上,支撑构件为不燃材料。

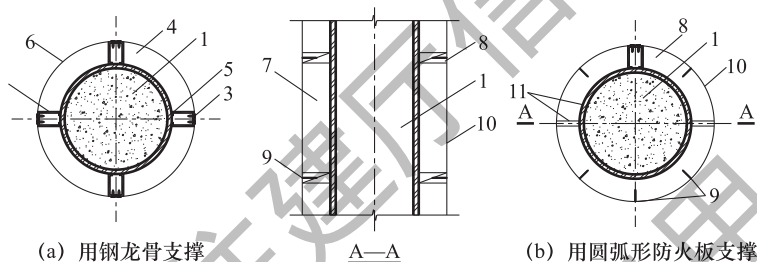


图 6.3.4 柔性毡状隔热材料防火构造图

- 1—圆钢管混凝土柱;2—钢龙骨或防火板龙骨;3—自攻螺钉;4—包裹柔性毡状隔热材料;
5—点焊或高温粘结剂固定;6—金属保护;7—粘状隔热材料;8—弧形防火支撑板;
9—钢钉;10—金属保护板;11—高温粘结剂或钢龙骨固定

6.3.5 为保证火灾发生时核心混凝土中水蒸气的排放,每个楼层的柱均应设置直径为 20mm 的排气孔,其位置宜位于柱与楼板相交位置上方及下方 100mm 处,并沿柱身反对称布设。当采用溢浆孔时,排气孔与溢浆孔合并设置。

7 防火保护工程的施工、验收与维护

7.1 一般规定

7.1.1 钢结构防火保护工程的施工、验收与维护,应按照批准的工程设计文件及相应的施工技术标准进行。当需要变更设计、材料代用或采用新材料时,必须征得建设单位、设计单位和监理单位的同意,并出具设计变更文件。

7.1.2 钢结构防火保护工程施工质量的验收,必须采用经法定计量检定机构检定、校准合格的计量器具。

7.1.3 钢结构防火保护分项工程的质量验收,应在所含检验批质量验收合格的基础上检查质量验收记录。钢结构防火保护分项工程质量验收合格应符合下列规定:

- 1 所含检验批的质量均应验收合格;
- 2 所含检验批的质量验收记录应完整。

7.1.4 钢结构防火保护工程施工前应具备下列条件:

- 1 相应的工程设计技术文件、资料齐全;
- 2 设计单位已向施工、监理单位进行技术交底;
- 3 施工现场及施工中使用的水、电、气满足施工要求,并能保证连续施工;
- 4 钢结构安装工程检验批质量检验合格;
- 5 施工现场的防火措施、管理措施和消防器材配备符合消防安全要求;
- 6 钢材表面除锈、防腐涂装检验批质量检验合格。

7.2 防火保护材料进场

7.2.1 对于主控项目的防火保护材料进场,防火涂料、防火板、毡状防火材料等防火保护材料的质量,应符合国家现行产品标准的规定和设计要求,并应具备产品合格证、国家权威质量监督检验机构出具的检验合格报告或型式认可证书。

检查数量:全数检查。

检验方法:查验产品合格证、检验合格报告或型式认可证书。

7.2.2 除本标准第7.2.1条之外的其他防火保护材料进场时,应按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的规定进行检验。

7.3 防火涂料保护工程的施工

I 一般要求

7.3.1 当施工所用防火涂料的等效热传导系数与设计文件要求不一致时,应根据防火保护层的等效热阻相等的原则确定保护层的施用厚度,并应经设计单位认可。对于膨胀型防火涂料,可根据涂层的等效热阻确定其施用厚度;对于非膨胀型钢结构防火涂料、防火板,当工程实际使用的非膨胀型防火涂料(防火板)的等效热传导系数与设计文件要求不一致时,可按下式确定防火保护层的施用厚度:

$$d_{i2} = d_{i1} \frac{\lambda_{i2}}{\lambda_{i1}} \quad (7.3.1)$$

式中: d_{i1} ——钢结构防火设计技术文件规定的防火保护层的厚度(mm);

d_{i2} ——防火保护层实际施用厚度(mm);

λ_{i1} ——钢结构防火设计技术文件规定的非膨胀型防火涂料、防火板的等效热传导系数[W/(m·℃)];

λ_{12} ——施工采用的非膨胀型防火涂料、防火板的等效热传导系数[$W/(m \cdot ^\circ C)$]。

7.3.2 钢结构采用防火涂料进行防火保护时,防腐涂料应与防火涂料相容。防腐涂料宜选用环氧类防锈涂料,不宜选用调和漆。膨胀型防火涂料宜选用双组分环氧类防腐涂料,非膨胀型防火涂料宜选用磷酸锌环氧类防腐涂料。

7.3.3 钢结构防火涂料应具备与设计耐火极限对应的型式检验报告或型式试验报告。

7.3.4 建筑物或构筑物钢结构设计的耐火极限确定后,当设计厚度和型式检验报告或型式试验报告载明的厚度不一致时,应将型式检验报告或型式试验报告载明的厚度作为能够满足钢结构防火需求的防火涂层厚度。

II 主控项目

7.3.5 防火涂料涂装时的环境温度和相对湿度应符合涂料产品说明书的要求。当产品说明书无要求时,环境温度宜为 $5^\circ C \sim 38^\circ C$,相对湿度不应大于85%,钢板表面温度至少高于露点温度 $3^\circ C$ 以上。涂装时,构件表面不应有结露,涂装后4.0h内应保护免受雨淋、水冲等,并应防止机械撞击。

检查数量:全数检查。

检验方法:直观检查。

7.3.6 防火涂料的涂装遍数和每遍涂装的厚度均应符合产品说明书的要求。防火涂料涂层的厚度不得小于型式检验报告中满足对应耐火极限时间的涂层总厚度。防火涂料涂层最薄处的厚度不得小于型式检验报告中满足对应耐火极限时间的涂层总厚度的85%;平均厚度的允许偏差应为设计厚度的 $\pm 10\%$,对于非膨胀型的厚度不应大于 $\pm 2mm$ 。膨胀型防火涂料涂层最薄处厚度的允许偏差应为设计厚度的 $\pm 5\%$,且不应大于 $\pm 0.2mm$ 。

检查数量:按同类构件基数抽查 10%,且均不应少于 3 件。

检查方法:每一构件选取至少 5 个不同的涂层部位,用测厚仪分别测量其厚度。

7.3.7 防火涂料型式检验报告或型式试验报告标明在防火涂料检测过程中防火涂层内有加网的情况时,施工时应加网,加网的材料和规格应与型式检验报告或型式试验报告一致。当防火涂料型式检验报告或型式试验报告未标明在防火涂料检测过程中防火涂层内有加网的情况时,如非膨胀型钢结构防火涂料涂层厚度大于或等于 25mm,应在涂层内加网施工,加网材料宜选用铁丝网、耐碱玻璃纤维网或碳纤维网。

对于结构尺寸太小的构件或者因空间狭小加网困难的构件,可以采用在钢结构表面密植保温钉的方式代替加网措施。

7.3.8 膨胀型防火涂料涂层表面的裂纹宽度不应大于 0.5mm,且 1m 长度内均不得多于 1 条;当涂层厚度小于或等于 3mm 时,不应大于 0.1mm。非膨胀型防火涂料涂层表面的裂纹宽度不应大于 1mm,且 1m 长度内不得多于 3 条。

检查数量:按同类构件基数抽查 10%,且均不应少于 3 件。

检验方法:直观和用尺量检查。

III 一般项目

7.3.9 防火涂料涂装基层不应有油污、灰尘和泥沙等污垢。

检查数量:全数检查。

检验方法:直观检查。

7.3.10 防火涂层不应有误涂、漏涂,涂层应闭合无脱层、空鼓、明显凹陷、粉化松散和浮浆等外观缺陷,乳突应剔除。

检查数量:全数检查。

检验方法:直观检查。

7.4 其他防火保护工程的施工

7.4.1 防火板保护工程的施工应按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的规定执行。

7.4.2 柔性毡状材料防火保护工程的施工应按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的规定执行。

7.4.3 混凝土、砂浆和砌体防火保护工程的施工应按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的规定执行。

7.4.4 复合防火保护工程的施工应按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的规定执行。

7.4.5 当施工所用防火保护材料的等效热传导系数与设计文件要求不一致时,应根据防火保护层的等效热阻相等的原则确定保护层的施用厚度,并应经设计单位认可。

7.5 防火保护工程的验收与维护管理

7.5.1 防火保护分项工程验收应按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的规定执行。

7.5.2 建筑钢结构的防火维护管理应包括下列内容:

1 应根据定期检查和特殊检查情况,判断钢结构和防火保护层的状态;

2 应根据检查的结果对钢结构的防火效果做出判断,确定更新或修复的范围,进行更新或修复。

7.5.3 建筑钢结构的防火检查可分为定期检查和特殊检查。定期检查的项目、内容和周期应符合表 7.5.3 的规定。重大灾害后(如地震、台风、火灾等)应对钢结构防火进行外观、防火性能在内的特殊检查。

表 7.5.3 定期检查的项目、内容和周期

检查项目	检查内容	检查周期(年)
防火涂料涂层外观检查	涂层破损情况	1
防火涂料涂层防火性能检查	鼓泡、剥落、锈蚀	5
包覆防火板、包覆柔性毡状隔热材料、 外包混凝土、金属网抹砂浆或 砌筑砌体的外观检查	破损情况	5
柔性毡状隔热材料的防火性能检查	干燥状态、剥落	5

7.5.4 钢结构防火涂装的现场修复应符合下列规定：

- 1 防火保护层破损处的钢材表面应除锈，除锈等级应达到 St3 级；
- 2 搭接部位的防火保护层表面应无污染、附着物，并应具有一定的表面粗糙度；
- 3 修补涂料宜采用与原涂装配套或能相容的防火涂料，并应能满足现场的施工环境条件，修补涂料的存储和使用应符合产品使用说明书的要求。

7.5.5 钢结构防火维护施工应有妥善的安全防护措施和环境保护措施。

7.5.6 钢结构防火维护管理档案应包括下列内容：

- 1 钢结构的设计资料、施工资料和竣工资料；
- 2 防火保护层的设计资料、施工资料和竣工资料；
- 3 定期检查、特殊检查的检查记录，检查记录包括工程名称、检查方式、日期、环境条件和发现异常的部位与程度；
- 4 各项检查所提出的建议、结论和处理意见；
- 5 涂装维护的设计和施工方案；
- 6 涂装维护的施工记录、检测记录和验收结论。

附录 A 高温下钢材的屈服强度、 弹性模量的折减系数

A. 0.1 高温下钢材的屈服强度折减系数可按表 A. 0.1 取值。

表 A. 0.1 高温下钢材的屈服强度折减系数 η_{st}

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
300 ≤	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
300	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999
310	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998	0.997	0.997	0.997
320	0.996	0.996	0.995	0.995	0.995	0.994	0.994	0.993	0.993	0.992
330	0.992	0.991	0.990	0.990	0.989	0.989	0.988	0.987	0.987	0.986
340	0.985	0.984	0.984	0.983	0.982	0.981	0.980	0.980	0.979	0.978
350	0.977	0.976	0.975	0.974	0.973	0.972	0.971	0.970	0.969	0.968
360	0.967	0.966	0.965	0.964	0.963	0.962	0.961	0.960	0.959	0.957
370	0.956	0.955	0.954	0.953	0.951	0.950	0.949	0.948	0.946	0.945
380	0.944	0.942	0.941	0.940	0.938	0.937	0.935	0.934	0.933	0.931
390	0.930	0.928	0.927	0.925	0.924	0.922	0.921	0.919	0.918	0.916
400	0.914	0.913	0.911	0.910	0.908	0.906	0.905	0.903	0.901	0.900
410	0.898	0.896	0.894	0.893	0.891	0.889	0.887	0.886	0.884	0.882
420	0.880	0.878	0.877	0.875	0.873	0.871	0.869	0.867	0.865	0.864
430	0.862	0.860	0.858	0.856	0.854	0.852	0.850	0.848	0.846	0.844
440	0.842	0.840	0.838	0.836	0.834	0.832	0.830	0.828	0.826	0.823
450	0.821	0.819	0.817	0.815	0.813	0.811	0.809	0.806	0.804	0.802
460	0.800	0.798	0.796	0.793	0.791	0.789	0.787	0.784	0.782	0.780

续表 A. 0. 1

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
470	0.778	0.775	0.773	0.771	0.769	0.766	0.764	0.762	0.759	0.757
480	0.755	0.752	0.750	0.748	0.745	0.743	0.741	0.738	0.736	0.734
490	0.731	0.729	0.726	0.724	0.722	0.719	0.717	0.714	0.712	0.710
500	0.707	0.705	0.702	0.700	0.697	0.695	0.693	0.690	0.688	0.685
510	0.683	0.680	0.678	0.675	0.673	0.670	0.668	0.665	0.663	0.660
520	0.658	0.655	0.653	0.650	0.648	0.645	0.643	0.640	0.638	0.635
530	0.632	0.630	0.627	0.625	0.622	0.620	0.617	0.615	0.612	0.609
540	0.607	0.604	0.602	0.599	0.597	0.594	0.592	0.589	0.586	0.584
550	0.581	0.579	0.576	0.574	0.571	0.568	0.566	0.563	0.561	0.558
560	0.555	0.553	0.550	0.548	0.545	0.543	0.540	0.537	0.535	0.532
570	0.530	0.527	0.524	0.522	0.519	0.517	0.514	0.512	0.509	0.506
580	0.504	0.501	0.499	0.496	0.494	0.491	0.488	0.486	0.483	0.481
590	0.478	0.476	0.473	0.471	0.468	0.465	0.463	0.460	0.458	0.455
600	0.453	0.450	0.448	0.445	0.443	0.440	0.438	0.435	0.433	0.430
610	0.428	0.425	0.423	0.420	0.418	0.415	0.413	0.410	0.408	0.405
620	0.403	0.400	0.398	0.395	0.393	0.391	0.388	0.386	0.383	0.381
630	0.378	0.376	0.374	0.371	0.369	0.366	0.364	0.362	0.359	0.357
640	0.354	0.352	0.350	0.347	0.345	0.343	0.340	0.338	0.336	0.333
650	0.331	0.329	0.327	0.324	0.322	0.320	0.317	0.315	0.313	0.311
660	0.308	0.306	0.304	0.302	0.300	0.297	0.295	0.293	0.291	0.289
670	0.286	0.284	0.282	0.280	0.278	0.276	0.274	0.272	0.269	0.267
680	0.265	0.263	0.261	0.259	0.257	0.255	0.253	0.251	0.249	0.247
690	0.245	0.243	0.241	0.239	0.237	0.235	0.233	0.231	0.229	0.227
700	0.226	0.224	0.222	0.220	0.218	0.216	0.214	0.213	0.211	0.209
710	0.207	0.205	0.204	0.202	0.200	0.198	0.197	0.195	0.193	0.192

续表 A. 0. 1

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
720	0.190	0.188	0.187	0.185	0.183	0.182	0.180	0.179	0.177	0.175
730	0.174	0.172	0.171	0.169	0.168	0.166	0.165	0.163	0.162	0.160
740	0.159	0.158	0.156	0.155	0.153	0.152	0.151	0.149	0.148	0.147
750	0.145	0.144	0.143	0.142	0.140	0.139	0.138	0.137	0.136	0.134
760	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129	0.128	0.127	0.126	0.125	0.124
770	0.123	0.122	0.121	0.120	0.119	0.118	0.117	0.116	0.115	0.114
780	0.113	0.113	0.112	0.111	0.110	0.109	0.109	0.108	0.107	0.107
790	0.106	0.105	0.105	0.104	0.103	0.103	0.102	0.102	0.101	0.101
800	0.100	0.100	0.099	0.099	0.098	0.098	0.097	0.097	0.096	0.096
810	0.095	0.095	0.094	0.094	0.093	0.093	0.092	0.092	0.091	0.091
820	0.090	0.090	0.089	0.089	0.088	0.088	0.087	0.087	0.086	0.086
830	0.085	0.085	0.084	0.084	0.083	0.083	0.082	0.082	0.081	0.081
840	0.080	0.080	0.079	0.079	0.078	0.078	0.077	0.077	0.076	0.076
850	0.075	0.075	0.074	0.074	0.073	0.073	0.072	0.072	0.071	0.071
860	0.070	0.070	0.069	0.069	0.068	0.068	0.067	0.067	0.066	0.066
870	0.065	0.065	0.064	0.064	0.063	0.063	0.062	0.062	0.061	0.061
880	0.060	0.060	0.059	0.059	0.058	0.058	0.057	0.057	0.056	0.056
890	0.055	0.055	0.054	0.054	0.053	0.053	0.052	0.052	0.051	0.051
900	0.050	0.050	0.049	0.049	0.048	0.048	0.047	0.047	0.046	0.046
910	0.045	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.042	0.042	0.041	0.041
920	0.040	0.040	0.039	0.039	0.038	0.038	0.037	0.037	0.036	0.036
930	0.035	0.035	0.034	0.034	0.033	0.033	0.032	0.032	0.031	0.031
940	0.030	0.030	0.029	0.029	0.028	0.028	0.027	0.027	0.026	0.026
950	0.025	0.025	0.024	0.024	0.023	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
960	0.020	0.020	0.019	0.019	0.018	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016

续表 A. 0. 1

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
970	0.015	0.015	0.014	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.011	0.011
980	0.010	0.010	0.009	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006
990	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001
1000	0.000									

A. 0. 2 高温下钢材的弹性模量折减系数可按表 A. 0. 2 取值。

表 A. 0. 2 高温下钢材的弹性模量折减系数 χ_{sT}

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998
30	0.998	0.998	0.997	0.997	0.997	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996
40	0.996	0.995	0.995	0.995	0.995	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994
50	0.993	0.993	0.993	0.993	0.992	0.992	0.992	0.992	0.991	0.991
60	0.991	0.991	0.990	0.990	0.990	0.990	0.989	0.989	0.989	0.989
70	0.988	0.988	0.988	0.988	0.987	0.987	0.987	0.987	0.986	0.986
80	0.986	0.986	0.985	0.985	0.985	0.985	0.984	0.984	0.984	0.984
90	0.983	0.983	0.983	0.983	0.982	0.982	0.982	0.982	0.981	0.981
100	0.981	0.981	0.980	0.980	0.980	0.979	0.979	0.979	0.979	0.978
110	0.978	0.978	0.977	0.977	0.977	0.977	0.976	0.976	0.976	0.976
120	0.975	0.975	0.975	0.974	0.974	0.974	0.974	0.973	0.973	0.973
130	0.972	0.972	0.972	0.971	0.971	0.971	0.971	0.970	0.970	0.970
140	0.969	0.969	0.969	0.968	0.968	0.968	0.968	0.967	0.967	0.967
150	0.966	0.966	0.966	0.965	0.965	0.965	0.964	0.964	0.964	0.963
160	0.963	0.963	0.963	0.962	0.962	0.962	0.961	0.961	0.961	0.960
170	0.960	0.960	0.959	0.959	0.959	0.958	0.958	0.958	0.957	0.957
180	0.957	0.956	0.956	0.955	0.955	0.955	0.954	0.954	0.954	0.953

续表 A. 0. 2

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
190	0.953	0.953	0.952	0.952	0.952	0.951	0.951	0.951	0.950	0.950
200	0.949	0.949	0.949	0.948	0.948	0.948	0.947	0.947	0.946	0.946
210	0.946	0.945	0.945	0.945	0.944	0.944	0.943	0.943	0.943	0.942
220	0.942	0.941	0.941	0.941	0.940	0.940	0.939	0.939	0.939	0.938
230	0.938	0.937	0.937	0.937	0.936	0.936	0.935	0.935	0.935	0.934
240	0.934	0.933	0.933	0.932	0.932	0.932	0.931	0.931	0.930	0.930
250	0.929	0.929	0.929	0.928	0.928	0.927	0.927	0.926	0.926	0.925
260	0.925	0.925	0.924	0.924	0.923	0.923	0.922	0.922	0.921	0.921
270	0.920	0.920	0.919	0.919	0.918	0.918	0.918	0.917	0.917	0.916
280	0.916	0.915	0.915	0.914	0.914	0.913	0.913	0.912	0.912	0.911
290	0.911	0.910	0.910	0.909	0.909	0.908	0.908	0.907	0.906	0.906
300	0.905	0.905	0.904	0.904	0.903	0.903	0.902	0.902	0.901	0.901
310	0.900	0.899	0.899	0.898	0.898	0.897	0.897	0.896	0.896	0.895
320	0.894	0.894	0.893	0.893	0.892	0.891	0.891	0.890	0.890	0.889
330	0.888	0.888	0.887	0.887	0.886	0.885	0.885	0.884	0.884	0.883
340	0.882	0.882	0.881	0.880	0.880	0.879	0.879	0.878	0.877	0.877
350	0.876	0.875	0.875	0.874	0.873	0.873	0.872	0.871	0.871	0.870
360	0.869	0.869	0.868	0.867	0.866	0.866	0.865	0.864	0.864	0.863
370	0.862	0.861	0.861	0.860	0.859	0.859	0.858	0.857	0.856	0.856
380	0.855	0.854	0.853	0.853	0.852	0.851	0.850	0.849	0.849	0.848
390	0.847	0.846	0.846	0.845	0.844	0.843	0.842	0.841	0.841	0.840
400	0.839	0.838	0.837	0.836	0.836	0.835	0.834	0.833	0.832	0.831
410	0.830	0.830	0.829	0.828	0.827	0.826	0.825	0.824	0.823	0.822
420	0.821	0.821	0.820	0.819	0.818	0.817	0.816	0.815	0.814	0.813
430	0.812	0.811	0.810	0.809	0.808	0.807	0.806	0.805	0.804	0.803

续表 A. 0. 2

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
440	0. 802	0. 801	0. 800	0. 799	0. 798	0. 797	0. 796	0. 795	0. 793	0. 792
450	0. 791	0. 790	0. 789	0. 788	0. 787	0. 786	0. 785	0. 783	0. 782	0. 781
460	0. 780	0. 779	0. 778	0. 776	0. 775	0. 774	0. 773	0. 772	0. 770	0. 769
470	0. 768	0. 767	0. 766	0. 764	0. 763	0. 762	0. 761	0. 759	0. 758	0. 757
480	0. 755	0. 754	0. 753	0. 751	0. 750	0. 749	0. 747	0. 746	0. 745	0. 743
490	0. 742	0. 740	0. 739	0. 738	0. 736	0. 735	0. 733	0. 732	0. 730	0. 729
500	0. 727	0. 726	0. 724	0. 723	0. 721	0. 720	0. 718	0. 717	0. 715	0. 713
510	0. 712	0. 710	0. 709	0. 707	0. 705	0. 704	0. 702	0. 700	0. 699	0. 697
520	0. 695	0. 693	0. 692	0. 690	0. 688	0. 686	0. 685	0. 683	0. 681	0. 679
530	0. 677	0. 675	0. 673	0. 672	0. 670	0. 668	0. 666	0. 664	0. 662	0. 660
540	0. 658	0. 656	0. 654	0. 652	0. 650	0. 648	0. 646	0. 643	0. 641	0. 639
550	0. 637	0. 635	0. 633	0. 630	0. 628	0. 626	0. 624	0. 621	0. 619	0. 617
560	0. 614	0. 612	0. 610	0. 607	0. 605	0. 602	0. 600	0. 597	0. 595	0. 592
570	0. 590	0. 587	0. 584	0. 582	0. 579	0. 576	0. 574	0. 571	0. 568	0. 565
580	0. 563	0. 560	0. 557	0. 554	0. 551	0. 548	0. 545	0. 542	0. 539	0. 536
590	0. 533	0. 530	0. 526	0. 523	0. 520	0. 517	0. 514	0. 510	0. 507	0. 503
600	0. 500	0. 495	0. 490	0. 485	0. 481	0. 476	0. 471	0. 467	0. 462	0. 458
610	0. 453	0. 449	0. 445	0. 441	0. 437	0. 433	0. 429	0. 425	0. 421	0. 417
620	0. 413	0. 409	0. 406	0. 402	0. 398	0. 395	0. 391	0. 388	0. 384	0. 381
630	0. 378	0. 374	0. 371	0. 368	0. 365	0. 361	0. 358	0. 355	0. 352	0. 349
640	0. 346	0. 343	0. 340	0. 337	0. 335	0. 332	0. 329	0. 326	0. 324	0. 321
650	0. 318	0. 316	0. 313	0. 310	0. 308	0. 305	0. 303	0. 300	0. 298	0. 295
660	0. 293	0. 291	0. 288	0. 286	0. 284	0. 282	0. 279	0. 277	0. 275	0. 273
670	0. 270	0. 268	0. 266	0. 264	0. 262	0. 260	0. 258	0. 256	0. 254	0. 252
680	0. 250	0. 248	0. 246	0. 244	0. 242	0. 240	0. 239	0. 237	0. 235	0. 233

续表 A. 0. 2

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
690	0.231	0.230	0.228	0.226	0.224	0.223	0.221	0.219	0.218	0.216
700	0.214	0.213	0.211	0.209	0.208	0.206	0.205	0.203	0.202	0.200
710	0.199	0.197	0.196	0.194	0.193	0.191	0.190	0.188	0.187	0.186
720	0.184	0.183	0.181	0.180	0.179	0.177	0.176	0.175	0.173	0.172
730	0.171	0.170	0.168	0.167	0.166	0.165	0.163	0.162	0.161	0.160
740	0.159	0.157	0.156	0.155	0.154	0.153	0.152	0.150	0.149	0.148
750	0.147	0.146	0.145	0.144	0.143	0.142	0.141	0.139	0.138	0.137
760	0.136	0.135	0.134	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129	0.128	0.127
770	0.126	0.125	0.124	0.124	0.123	0.122	0.121	0.120	0.119	0.118
780	0.117	0.116	0.115	0.114	0.113	0.113	0.112	0.111	0.110	0.109
790	0.108	0.107	0.107	0.106	0.105	0.104	0.103	0.102	0.102	0.101
800	0.100	0.099	0.098	0.098	0.097	0.096	0.095	0.095	0.094	0.093
810	0.092	0.091	0.091	0.090	0.089	0.089	0.088	0.087	0.086	0.086
820	0.085	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080	0.079	0.079
830	0.078	0.077	0.077	0.076	0.075	0.075	0.074	0.073	0.073	0.072
840	0.071	0.071	0.070	0.070	0.069	0.068	0.068	0.067	0.066	0.066
850	0.065	0.065	0.064	0.063	0.063	0.062	0.062	0.061	0.060	0.060
860	0.059	0.059	0.058	0.058	0.057	0.056	0.056	0.055	0.055	0.054
870	0.054	0.053	0.053	0.052	0.052	0.051	0.050	0.050	0.049	0.049
880	0.048	0.048	0.047	0.047	0.046	0.046	0.045	0.045	0.044	0.044
890	0.043	0.043	0.042	0.042	0.041	0.041	0.040	0.040	0.039	0.039
900	0.038	0.038	0.038	0.037	0.037	0.036	0.036	0.035	0.035	0.034
910	0.034	0.033	0.033	0.032	0.032	0.032	0.031	0.031	0.030	0.030
920	0.029	0.029	0.029	0.028	0.028	0.027	0.027	0.026	0.026	0.026
930	0.025	0.025	0.024	0.024	0.024	0.023	0.023	0.022	0.022	0.022

续表 A. 0. 2

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
940	0.021	0.021	0.020	0.020	0.020	0.019	0.019	0.018	0.018	0.018
950	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.015	0.015	0.015	0.014	0.014
960	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011	0.011	0.010
970	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007
980	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004
990	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000
1000	0.000									

A. 0. 3 高温下耐火钢的屈服强度折减系数可按表 A. 0. 3 取值。

表 A. 0. 3 高温下耐火钢的屈服强度折减系数 η_{sT}

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
30	0.997	0.997	0.997	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.995	0.995
40	0.995	0.995	0.995	0.994	0.994	0.994	0.994	0.993	0.993	0.993
50	0.993	0.992	0.992	0.992	0.992	0.991	0.991	0.991	0.991	0.990
60	0.990	0.990	0.990	0.989	0.989	0.989	0.989	0.988	0.988	0.988
70	0.988	0.987	0.987	0.987	0.987	0.986	0.986	0.986	0.986	0.985
80	0.985	0.985	0.985	0.984	0.984	0.984	0.984	0.983	0.983	0.983
90	0.983	0.982	0.982	0.982	0.982	0.981	0.981	0.981	0.980	0.980
100	0.980	0.980	0.979	0.979	0.979	0.979	0.978	0.978	0.978	0.978
110	0.977	0.977	0.977	0.976	0.976	0.976	0.976	0.975	0.975	0.975
120	0.974	0.974	0.974	0.974	0.973	0.973	0.973	0.972	0.972	0.972
130	0.972	0.971	0.971	0.971	0.970	0.970	0.970	0.970	0.969	0.969
140	0.969	0.968	0.968	0.968	0.967	0.967	0.967	0.967	0.966	0.966
150	0.966	0.965	0.965	0.965	0.964	0.964	0.964	0.963	0.963	0.963

续表 A. 0. 3

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
160	0.963	0.962	0.962	0.962	0.961	0.961	0.961	0.960	0.960	0.960
170	0.959	0.959	0.959	0.958	0.958	0.958	0.957	0.957	0.957	0.956
180	0.956	0.956	0.955	0.955	0.955	0.954	0.954	0.954	0.953	0.953
190	0.953	0.952	0.952	0.952	0.951	0.951	0.951	0.950	0.950	0.950
200	0.949	0.949	0.949	0.948	0.948	0.948	0.947	0.947	0.946	0.946
210	0.946	0.945	0.945	0.945	0.944	0.944	0.944	0.943	0.943	0.942
220	0.942	0.942	0.941	0.941	0.941	0.940	0.940	0.940	0.939	0.939
230	0.938	0.938	0.938	0.937	0.937	0.936	0.936	0.936	0.935	0.935
240	0.935	0.934	0.934	0.933	0.933	0.933	0.932	0.932	0.931	0.931
250	0.931	0.930	0.930	0.929	0.929	0.929	0.928	0.928	0.927	0.927
260	0.926	0.926	0.926	0.925	0.925	0.924	0.924	0.924	0.923	0.923
270	0.922	0.922	0.921	0.921	0.920	0.920	0.920	0.919	0.919	0.918
280	0.918	0.917	0.917	0.917	0.916	0.916	0.915	0.915	0.914	0.914
290	0.913	0.913	0.912	0.912	0.912	0.911	0.911	0.910	0.910	0.909
300	0.909	0.908	0.908	0.907	0.907	0.906	0.906	0.905	0.905	0.904
310	0.904	0.903	0.903	0.902	0.902	0.901	0.901	0.900	0.900	0.899
320	0.899	0.898	0.898	0.897	0.897	0.896	0.896	0.895	0.895	0.894
330	0.894	0.893	0.893	0.892	0.892	0.891	0.891	0.890	0.890	0.889
340	0.889	0.888	0.888	0.887	0.886	0.886	0.885	0.885	0.884	0.884
350	0.883	0.883	0.882	0.881	0.881	0.880	0.880	0.879	0.879	0.878
360	0.877	0.877	0.876	0.876	0.875	0.875	0.874	0.873	0.873	0.872
370	0.872	0.871	0.870	0.870	0.869	0.869	0.868	0.867	0.867	0.866
380	0.865	0.865	0.864	0.864	0.863	0.862	0.862	0.861	0.860	0.860
390	0.859	0.858	0.858	0.857	0.856	0.856	0.855	0.855	0.854	0.853
400	0.853	0.852	0.851	0.850	0.850	0.849	0.848	0.848	0.847	0.846

续表 A. 0. 3

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
410	0.846	0.845	0.844	0.844	0.843	0.842	0.841	0.841	0.840	0.839
420	0.839	0.838	0.837	0.836	0.836	0.835	0.834	0.833	0.833	0.832
430	0.831	0.830	0.830	0.829	0.828	0.827	0.827	0.826	0.825	0.824
440	0.823	0.823	0.822	0.821	0.820	0.819	0.819	0.818	0.817	0.816
450	0.815	0.815	0.814	0.813	0.812	0.811	0.810	0.810	0.809	0.808
460	0.807	0.806	0.805	0.804	0.804	0.803	0.802	0.801	0.800	0.799
470	0.798	0.797	0.796	0.796	0.795	0.794	0.793	0.792	0.791	0.790
480	0.789	0.788	0.787	0.786	0.785	0.784	0.783	0.782	0.781	0.780
490	0.779	0.778	0.777	0.776	0.775	0.774	0.773	0.772	0.771	0.770
500	0.769	0.768	0.767	0.766	0.765	0.764	0.763	0.762	0.761	0.760
510	0.759	0.758	0.757	0.756	0.754	0.753	0.752	0.751	0.750	0.749
520	0.748	0.747	0.745	0.744	0.743	0.742	0.741	0.740	0.738	0.737
530	0.736	0.735	0.734	0.732	0.731	0.730	0.729	0.728	0.726	0.725
540	0.724	0.723	0.721	0.720	0.719	0.717	0.716	0.715	0.714	0.712
550	0.711	0.710	0.708	0.707	0.705	0.704	0.703	0.701	0.700	0.699
560	0.697	0.696	0.694	0.693	0.692	0.690	0.689	0.687	0.686	0.684
570	0.683	0.681	0.680	0.678	0.677	0.675	0.674	0.672	0.671	0.669
580	0.667	0.666	0.664	0.663	0.661	0.659	0.658	0.656	0.655	0.653
590	0.651	0.650	0.648	0.646	0.644	0.643	0.641	0.639	0.638	0.636
600	0.634	0.632	0.630	0.629	0.627	0.625	0.623	0.621	0.619	0.617
610	0.616	0.614	0.612	0.610	0.608	0.606	0.604	0.602	0.600	0.598
620	0.596	0.594	0.592	0.590	0.588	0.586	0.584	0.581	0.579	0.577
630	0.575	0.573	0.571	0.568	0.566	0.564	0.562	0.559	0.557	0.555
640	0.553	0.550	0.548	0.545	0.543	0.541	0.538	0.536	0.533	0.531
650	0.528	0.526	0.523	0.521	0.518	0.516	0.513	0.510	0.508	0.505

续表 A. 0. 3

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
660	0.502	0.500	0.497	0.494	0.491	0.489	0.486	0.483	0.480	0.477
670	0.474	0.471	0.468	0.465	0.462	0.459	0.456	0.453	0.450	0.447
680	0.444	0.441	0.437	0.434	0.431	0.427	0.424	0.421	0.417	0.414
690	0.411	0.407	0.404	0.400	0.396	0.393	0.389	0.386	0.382	0.378
700	0.375	0.370	0.365	0.360	0.356	0.351	0.347	0.342	0.338	0.334
710	0.330	0.325	0.321	0.317	0.314	0.310	0.306	0.302	0.299	0.295
720	0.292	0.288	0.285	0.282	0.278	0.275	0.272	0.269	0.266	0.263
730	0.260	0.257	0.254	0.251	0.248	0.245	0.243	0.240	0.237	0.235
740	0.232	0.230	0.227	0.225	0.222	0.220	0.217	0.215	0.213	0.211
750	0.208	0.206	0.204	0.202	0.200	0.198	0.196	0.193	0.191	0.189
760	0.188	0.186	0.184	0.182	0.180	0.178	0.176	0.174	0.173	0.171
770	0.169	0.167	0.166	0.164	0.162	0.161	0.159	0.157	0.156	0.154
780	0.153	0.151	0.150	0.148	0.147	0.145	0.144	0.142	0.141	0.140
790	0.138	0.137	0.135	0.134	0.133	0.131	0.130	0.129	0.128	0.126
800	0.125	0.124	0.123	0.121	0.120	0.119	0.118	0.117	0.115	0.114
810	0.113	0.112	0.111	0.110	0.109	0.108	0.106	0.105	0.104	0.103
820	0.102	0.101	0.100	0.099	0.098	0.097	0.096	0.095	0.094	0.093
830	0.092	0.091	0.091	0.090	0.089	0.088	0.087	0.086	0.085	0.084
840	0.083	0.082	0.082	0.081	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.076
850	0.075	0.074	0.073	0.073	0.072	0.071	0.070	0.070	0.069	0.068
860	0.067	0.067	0.066	0.065	0.064	0.064	0.063	0.062	0.062	0.061
870	0.060	0.060	0.059	0.058	0.057	0.057	0.056	0.056	0.055	0.054
880	0.054	0.053	0.052	0.052	0.051	0.050	0.050	0.049	0.049	0.048
890	0.047	0.047	0.046	0.046	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.042
900	0.042	0.041	0.041	0.040	0.039	0.039	0.038	0.038	0.037	0.037

续表 A. 0. 3

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
910	0.036	0.036	0.035	0.035	0.034	0.034	0.033	0.033	0.032	0.032
920	0.031	0.031	0.030	0.030	0.029	0.029	0.028	0.028	0.027	0.027
930	0.027	0.026	0.026	0.025	0.025	0.024	0.024	0.023	0.023	0.022
940	0.022	0.022	0.021	0.021	0.020	0.020	0.020	0.019	0.019	0.018
950	0.018	0.017	0.017	0.017	0.016	0.016	0.015	0.015	0.015	0.014
960	0.014	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011	0.011
970	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007
980	0.007	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004
990	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000
1000	0.000									

A. 0. 4 高温下耐火钢的弹性模量折减系数可按表 A. 0. 4 取值。

表 A. 0. 4 高温下耐火钢的弹性模量折减系数 χ_{sT}

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.997	0.997	0.996
30	0.996	0.996	0.995	0.995	0.994	0.994	0.994	0.993	0.993	0.992
40	0.992	0.992	0.991	0.991	0.990	0.990	0.990	0.989	0.989	0.988
50	0.988	0.988	0.987	0.987	0.987	0.986	0.986	0.985	0.985	0.985
60	0.984	0.984	0.983	0.983	0.983	0.982	0.982	0.981	0.981	0.981
70	0.980	0.980	0.979	0.979	0.979	0.978	0.978	0.977	0.977	0.977
80	0.976	0.976	0.975	0.975	0.975	0.974	0.974	0.973	0.973	0.973
90	0.972	0.972	0.971	0.971	0.971	0.970	0.970	0.969	0.969	0.969
100	0.968	0.968	0.967	0.967	0.967	0.966	0.966	0.965	0.965	0.965
110	0.964	0.964	0.963	0.963	0.963	0.962	0.962	0.962	0.961	0.961
120	0.960	0.960	0.960	0.959	0.959	0.958	0.958	0.958	0.957	0.957

续表 A.0.4

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
130	0.956	0.956	0.956	0.955	0.955	0.954	0.954	0.954	0.953	0.953
140	0.952	0.952	0.952	0.951	0.951	0.950	0.950	0.950	0.949	0.949
150	0.948	0.948	0.948	0.947	0.947	0.946	0.946	0.946	0.945	0.945
160	0.944	0.944	0.944	0.943	0.943	0.942	0.942	0.942	0.941	0.941
170	0.940	0.940	0.940	0.939	0.939	0.938	0.938	0.938	0.937	0.937
180	0.937	0.936	0.936	0.935	0.935	0.935	0.934	0.934	0.933	0.933
190	0.933	0.932	0.932	0.931	0.931	0.931	0.930	0.930	0.929	0.929
200	0.929	0.928	0.928	0.927	0.927	0.927	0.926	0.926	0.925	0.925
210	0.925	0.924	0.924	0.923	0.923	0.923	0.922	0.922	0.921	0.921
220	0.921	0.920	0.920	0.919	0.919	0.919	0.918	0.918	0.917	0.917
230	0.917	0.916	0.916	0.915	0.915	0.915	0.914	0.914	0.913	0.913
240	0.913	0.912	0.912	0.912	0.911	0.911	0.910	0.910	0.910	0.909
250	0.909	0.908	0.908	0.908	0.907	0.907	0.906	0.906	0.906	0.905
260	0.905	0.904	0.904	0.904	0.903	0.903	0.902	0.902	0.902	0.901
270	0.901	0.900	0.900	0.900	0.899	0.899	0.898	0.898	0.898	0.897
280	0.897	0.896	0.896	0.896	0.895	0.895	0.894	0.894	0.894	0.893
290	0.893	0.892	0.892	0.892	0.891	0.891	0.890	0.890	0.890	0.889
300	0.889	0.888	0.888	0.888	0.887	0.887	0.887	0.886	0.886	0.885
310	0.885	0.885	0.884	0.884	0.883	0.883	0.883	0.882	0.882	0.881
320	0.881	0.881	0.880	0.880	0.879	0.879	0.879	0.878	0.878	0.877
330	0.877	0.877	0.876	0.876	0.875	0.875	0.875	0.874	0.874	0.873
340	0.873	0.873	0.872	0.872	0.871	0.871	0.871	0.870	0.870	0.869
350	0.869	0.869	0.868	0.868	0.867	0.867	0.867	0.866	0.866	0.865
360	0.865	0.865	0.864	0.864	0.863	0.863	0.863	0.862	0.862	0.862
370	0.861	0.861	0.860	0.860	0.860	0.859	0.859	0.858	0.858	0.858

续表 A. 0. 4

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
380	0.857	0.857	0.856	0.856	0.856	0.855	0.855	0.854	0.854	0.854
390	0.853	0.853	0.852	0.852	0.852	0.851	0.851	0.850	0.850	0.850
400	0.849	0.849	0.848	0.848	0.848	0.847	0.847	0.846	0.846	0.846
410	0.845	0.845	0.844	0.844	0.844	0.843	0.843	0.842	0.842	0.842
420	0.841	0.841	0.840	0.840	0.840	0.839	0.839	0.838	0.838	0.838
430	0.837	0.837	0.837	0.836	0.836	0.835	0.835	0.835	0.834	0.834
440	0.833	0.833	0.833	0.832	0.832	0.831	0.831	0.831	0.830	0.830
450	0.829	0.829	0.829	0.828	0.828	0.827	0.827	0.827	0.826	0.826
460	0.825	0.825	0.825	0.824	0.824	0.823	0.823	0.823	0.822	0.822
470	0.821	0.821	0.821	0.820	0.820	0.819	0.819	0.819	0.818	0.818
480	0.817	0.817	0.817	0.816	0.816	0.815	0.815	0.815	0.814	0.814
490	0.813	0.813	0.813	0.812	0.812	0.812	0.811	0.811	0.810	0.810
500	0.810	0.809	0.809	0.808	0.808	0.808	0.807	0.807	0.806	0.806
510	0.806	0.805	0.805	0.804	0.804	0.804	0.803	0.803	0.802	0.802
520	0.802	0.801	0.801	0.800	0.800	0.800	0.799	0.799	0.798	0.798
530	0.798	0.797	0.797	0.796	0.796	0.796	0.795	0.795	0.794	0.794
540	0.794	0.793	0.793	0.792	0.792	0.792	0.791	0.791	0.790	0.790
550	0.790	0.789	0.789	0.788	0.788	0.788	0.787	0.787	0.787	0.786
560	0.786	0.785	0.785	0.785	0.784	0.784	0.783	0.783	0.783	0.782
570	0.782	0.781	0.781	0.781	0.780	0.780	0.779	0.779	0.779	0.778
580	0.778	0.777	0.777	0.777	0.776	0.776	0.775	0.775	0.775	0.774
590	0.774	0.773	0.773	0.773	0.772	0.772	0.771	0.771	0.771	0.770
600	0.770	0.769	0.769	0.769	0.768	0.768	0.767	0.767	0.767	0.766
610	0.766	0.765	0.765	0.765	0.764	0.764	0.763	0.763	0.763	0.762
620	0.762	0.762	0.761	0.761	0.760	0.760	0.760	0.759	0.759	0.758

续表 A. 0. 4

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
630	0.758	0.758	0.757	0.757	0.756	0.756	0.756	0.755	0.755	0.754
640	0.754	0.754	0.753	0.753	0.752	0.752	0.752	0.751	0.751	0.750
650	0.750	0.747	0.744	0.742	0.739	0.736	0.733	0.730	0.728	0.725
660	0.722	0.719	0.716	0.714	0.711	0.708	0.705	0.702	0.700	0.697
670	0.694	0.691	0.688	0.686	0.683	0.680	0.677	0.674	0.672	0.669
680	0.666	0.663	0.660	0.658	0.655	0.652	0.649	0.646	0.644	0.641
690	0.638	0.635	0.632	0.630	0.627	0.624	0.621	0.618	0.616	0.613
700	0.610	0.607	0.604	0.602	0.599	0.596	0.593	0.590	0.588	0.585
710	0.582	0.579	0.576	0.574	0.571	0.568	0.565	0.562	0.560	0.557
720	0.554	0.551	0.548	0.546	0.543	0.540	0.537	0.534	0.532	0.529
730	0.526	0.523	0.520	0.518	0.515	0.512	0.509	0.506	0.504	0.501
740	0.498	0.495	0.492	0.490	0.487	0.484	0.481	0.478	0.476	0.473
750	0.470	0.467	0.464	0.462	0.459	0.456	0.453	0.450	0.448	0.445
760	0.442	0.439	0.436	0.434	0.431	0.428	0.425	0.422	0.420	0.417
770	0.414	0.411	0.408	0.406	0.403	0.400	0.397	0.394	0.392	0.389
780	0.386	0.383	0.380	0.378	0.375	0.372	0.369	0.366	0.364	0.361
790	0.358	0.355	0.352	0.350	0.347	0.344	0.341	0.338	0.336	0.333
800	0.330	0.327	0.324	0.322	0.319	0.316	0.313	0.310	0.308	0.305
810	0.302	0.299	0.296	0.294	0.291	0.288	0.285	0.282	0.280	0.277
820	0.274	0.271	0.268	0.266	0.263	0.260	0.257	0.254	0.252	0.249
830	0.246	0.243	0.240	0.238	0.235	0.232	0.229	0.226	0.224	0.221
840	0.218	0.215	0.212	0.210	0.207	0.204	0.201	0.198	0.196	0.193
850	0.190	0.187	0.184	0.182	0.179	0.176	0.173	0.170	0.168	0.165
860	0.162	0.159	0.156	0.154	0.151	0.148	0.145	0.142	0.140	0.137
870	0.134	0.131	0.128	0.126	0.123	0.120	0.117	0.114	0.112	0.109

续表 A.0.4

T_s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
880	0.106	0.103	0.100	0.098	0.095	0.092	0.089	0.086	0.084	0.081
890	0.078	0.075	0.072	0.070	0.067	0.064	0.061	0.058	0.056	0.053
900	0.050	0.050	0.049	0.049	0.048	0.048	0.047	0.047	0.046	0.046
910	0.045	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.042	0.042	0.041	0.041
920	0.040	0.040	0.039	0.039	0.038	0.038	0.037	0.037	0.036	0.036
930	0.035	0.035	0.034	0.034	0.033	0.033	0.032	0.032	0.031	0.031
940	0.030	0.030	0.029	0.029	0.028	0.028	0.027	0.027	0.026	0.026
950	0.025	0.025	0.024	0.024	0.023	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021
960	0.020	0.020	0.019	0.019	0.018	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016
970	0.015	0.015	0.014	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.011	0.011
980	0.010	0.010	0.009	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006
990	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001
1000	0.000									

附录 B 火灾下无防火保护钢构件的温度

B.0.1 以纤维类物质为主的火灾中不同 t 时刻的 T_s 可按表 B.0.1 取值。

表 B.0.1 以纤维类物质为主的火灾中不同 t 时刻的 $T_s/(^{\circ}\text{C})$

F/V	$\varepsilon_t = 0.5$ 时的 $t/(h)$						$\varepsilon_t = 0.7$ 时的 $t/(h)$					
	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
10	182	431	682	878	999	1067	221	530	803	967	1047	1089
20	327	710	933	1022	1067	1098	397	809	973	1034	1072	1102
30	452	847	981	1036	1073	1103	540	899	991	1040	1076	1105
40	555	899	991	1040	1076	1104	645	922	996	1042	1078	1106
50	635	919	995	1042	1077	1106	716	930	998	1044	1079	1107
60	694	927	997	1043	1078	1106	760	933	999	1045	1079	1107
70	736	931	998	1044	1079	1107	787	935	1000	1045	1080	1108
80	765	933	999	1045	1079	1107	803	937	1001	1046	1080	1108
90	784	935	1000	1045	1080	1107	812	938	1002	1046	1080	1108
100	798	936	1001	1046	1080	1108	818	939	1002	1046	1081	1108
110	807	937	1001	1046	1080	1108	822	939	1003	1047	1081	1108
120	813	938	1002	1046	1080	1108	825	940	1003	1047	1081	1109
130	818	938	1002	1046	1080	1108	827	940	1003	1047	1081	1109
140	821	939	1002	1047	1081	1108	828	941	1003	1047	1081	1109
150	823	939	1003	1047	1081	1108	829	941	1003	1047	1081	1109
160	825	940	1003	1047	1081	1108	830	941	1004	1047	1081	1109
170	826	940	1003	1047	1081	1109	831	942	1004	1048	1081	1109

续表 B. 0. 1

F/V	$\varepsilon_r = 0.5$ 时的 $t/(h)$						$\varepsilon_r = 0.7$ 时的 $t/(h)$					
	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
180	828	940	1003	1047	1081	1109	832	942	1004	1048	1081	1109
190	829	941	1003	1047	1081	1109	832	942	1004	1048	1081	1109
200	829	941	1003	1047	1081	1109	833	942	1004	1048	1082	1109
210	830	941	1004	1047	1081	1109	833	942	1004	1048	1082	1109
220	831	941	1004	1047	1081	1109	834	942	1004	1048	1082	1109
230	831	941	1004	1048	1081	1109	834	943	1004	1048	1082	1109
240	832	942	1004	1048	1081	1109	835	943	1004	1048	1082	1109
250	832	942	1004	1048	1081	1109	835	943	1005	1048	1082	1109
260	833	942	1004	1048	1081	1109	835	943	1005	1048	1082	1109
270	833	942	1004	1048	1081	1109	835	943	1005	1048	1082	1109
280	833	942	1004	1048	1082	1109	836	943	1005	1048	1082	1109
290	834	942	1004	1048	1082	1109	836	943	1005	1048	1082	1109
300	834	942	1004	1048	1082	1109	836	943	1005	1048	1082	1109

B. 0. 2 以烃类物质为主的火灾中不同 t 时刻的 T_s 可按表 B. 0. 2 取值。

表 B. 0. 2 以烃类物质为主的火灾中不同 t 时刻的 $T_s/(^{\circ}\text{C})$

F/V	$\varepsilon_r = 0.5$ 时的 $t/(h)$						$\varepsilon_r = 0.7$ 时的 $t/(h)$					
	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
10	409	772	977	1060	1088	1096	521	919	1060	1092	1099	1100
20	723	1052	1096	1100	1100	1100	871	1089	1100	1100	1100	1100
30	925	1094	1100	1100	1100	1100	1028	1099	1100	1100	1100	1100
40	1026	1099	1100	1100	1100	1100	1077	1100	1100	1100	1100	1100
50	1068	1100	1100	1100	1100	1100	1090	1100	1100	1100	1100	1100

续表 B.0.2

F/V	$\varepsilon_r = 0.5$ 时的 $t/(h)$						$\varepsilon_r = 0.7$ 时的 $t/(h)$					
	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
60	1085	1100	1100	1100	1100	1100	1094	1100	1100	1100	1100	1100
70	1091	1100	1100	1100	1100	1100	1096	1100	1100	1100	1100	1100
80	1094	1100	1100	1100	1100	1100	1096	1100	1100	1100	1100	1100
90	1095	1100	1100	1100	1100	1100	1096	1100	1100	1100	1100	1100
100	1096	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
110	1096	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
120	1096	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
130	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
140	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
150	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
160	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
170	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
180	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
190	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
200	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
210	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
220	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
230	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
240	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
250	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
260	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
270	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
280	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
290	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100
300	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1097	1100	1100	1100	1100	1100

附录 C 标准火灾下轻质防火保护钢构件的温度

附录 C.1 以纤维类物质为主的火灾下轻质防火保护钢构件的温度

C.1.1 以纤维类物质为主的火灾下等效热阻为 $0.01\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$ 的轻质防火保护钢构件的温度可按表 C.1.1 取值。

表 C.1.1 以纤维类物质为主的火灾下轻质防火保护钢构件的温度(°C):等效热阻 $0.01\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$

时间 (min)	烟气 温度 (°C)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	46	71	94	116	137	157	176	194	211	227
10	678	82	138	188	233	273	309	342	371	397	421
15	739	121	207	279	341	393	437	475	508	535	559
20	781	161	273	363	435	494	541	579	610	635	655
25	815	200	336	439	517	577	623	658	686	707	724
30	842	239	395	507	587	646	689	720	743	761	774
35	865	277	450	567	647	703	741	768	788	802	812
40	885	314	501	621	699	750	784	807	823	834	842
45	902	349	548	668	743	789	819	838	851	860	867
50	918	384	591	710	780	822	848	865	875	883	888

续表 C. 1. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
55	932	417	631	748	813	851	873	887	895	902	906
60	945	450	668	781	841	875	894	906	913	918	922
65	957	481	702	811	866	896	912	922	929	933	936
70	968	510	733	837	888	914	929	937	942	946	949
75	979	539	762	861	907	930	943	950	955	958	961
80	988	566	788	882	925	945	956	962	967	970	972
85	997	593	813	902	940	958	968	974	977	980	982
90	1006	618	836	919	954	970	979	984	987	990	992
95	1014	642	856	935	967	981	989	993	996	999	1000
100	1022	665	876	949	978	991	998	1002	1005	1007	1009
105	1029	688	894	963	989	1001	1007	1011	1013	1015	1017
110	1036	709	910	975	999	1009	1015	1019	1021	1023	1024
115	1043	665	876	949	978	991	998	1002	1005	1007	1009
120	1049	749	940	996	1016	1025	1030	1033	1036	1037	1039
125	1055	768	954	1006	1025	1033	1037	1040	1042	1044	1045
130	1061	785	966	1015	1032	1040	1044	1047	1049	1050	1051
135	1067	803	978	1024	1039	1046	1050	1053	1055	1056	1057
140	1072	819	989	1032	1046	1053	1056	1059	1061	1062	1063
145	1077	835	999	1039	1053	1059	1062	1065	1066	1068	1069
150	1082	850	1009	1046	1059	1065	1068	1070	1072	1073	1074
155	1087	865	1018	1053	1065	1070	1073	1076	1077	1078	1079
160	1092	878	1026	1059	1070	1076	1079	1081	1082	1083	1084
165	1097	892	1035	1066	1076	1081	1084	1086	1087	1088	1089
170	1101	905	1042	1071	1081	1086	1089	1091	1092	1093	1094
175	1106	917	1050	1077	1086	1091	1093	1095	1097	1098	1098
180	1110	929	1057	1082	1091	1095	1098	1100	1101	1102	1103

续表 C. 1. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	243	257	271	284	296	308	320	330	340	350
10	678	442	461	479	494	509	521	533	543	553	561
15	739	579	597	612	625	636	645	654	661	668	673
20	781	672	686	697	707	715	722	727	732	736	740
25	815	737	747	756	762	768	773	776	780	782	785
30	842	784	792	798	803	807	810	813	815	817	818
35	865	820	826	830	834	837	839	841	843	844	845
40	885	848	853	856	859	861	863	865	866	867	868
45	902	872	875	878	880	882	884	885	886	887	888
50	918	892	895	897	899	900	902	903	904	904	905
55	932	909	911	913	915	916	917	918	919	920	921
60	945	924	927	928	930	931	932	933	934	934	935
65	957	938	940	942	943	944	945	946	946	947	948
70	968	951	953	954	955	956	957	958	958	959	959
75	979	963	964	965	967	967	968	969	969	970	970
80	988	974	975	976	977	978	979	979	980	980	981
85	997	984	985	986	987	988	988	989	989	990	990
90	1006	993	994	995	996	997	997	998	998	999	999
95	1014	1002	1003	1004	1005	1005	1006	1006	1007	1007	1008
100	1022	1010	1011	1012	1013	1013	1014	1014	1015	1015	1016
105	1029	1018	1019	1020	1021	1021	1022	1022	1023	1023	1023
110	1036	1026	1027	1027	1028	1029	1029	1029	1030	1030	1030
115	1043	1010	1011	1012	1013	1013	1014	1014	1015	1015	1016

续表 C. 1. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_p/V(m^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
120	1049	1040	1040	1041	1042	1042	1043	1043	1043	1044	1044
125	1055	1046	1047	1048	1048	1049	1049	1049	1050	1050	1050
130	1061	1052	1053	1054	1054	1055	1055	1056	1056	1056	1056
135	1067	1058	1059	1060	1060	1061	1061	1061	1062	1062	1062
140	1072	1064	1065	1065	1066	1066	1067	1067	1067	1068	1068
145	1077	1070	1070	1071	1071	1072	1072	1072	1073	1073	1073
150	1082	1075	1076	1076	1077	1077	1077	1078	1078	1078	1078
155	1087	1080	1081	1081	1082	1082	1082	1083	1083	1083	1083
160	1092	1085	1086	1086	1087	1087	1087	1088	1088	1088	1088
165	1097	1090	1091	1091	1091	1092	1092	1092	1093	1093	1093
170	1101	1095	1095	1096	1096	1096	1097	1097	1097	1097	1098
175	1106	1099	1100	1100	1101	1101	1101	1101	1102	1102	1102
180	1110	1104	1104	1105	1105	1105	1106	1106	1106	1106	1106
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_p/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	359	368	376	384	392	399	405	412	418	424
10	678	569	576	583	589	594	599	604	608	611	615
15	739	678	683	686	690	693	696	698	700	702	704
20	781	743	745	748	750	751	753	754	756	757	758
25	815	787	788	790	791	792	793	794	795	796	797
30	842	820	821	822	823	824	825	826	826	827	827
35	865	847	848	848	849	850	851	851	852	852	853

续表 C. 1. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
40	885	869	870	871	871	872	872	873	873	874	874
45	902	889	889	890	891	891	892	892	892	893	893
50	918	906	907	907	908	908	908	909	909	910	910
55	932	921	922	922	923	923	924	924	924	925	925
60	945	935	936	936	937	937	937	938	938	938	939
65	957	948	949	949	949	950	950	950	951	951	951
70	968	960	960	961	961	961	962	962	962	962	963
75	979	971	971	972	972	972	972	973	973	973	973
80	988	981	981	982	982	982	982	983	983	983	983
85	997	991	991	991	991	992	992	992	992	993	993
90	1006	999	1000	1000	1000	1001	1001	1001	1001	1001	1002
95	1014	1008	1008	1008	1009	1009	1009	1009	1010	1010	1010
100	1022	1016	1016	1016	1017	1017	1017	1017	1017	1018	1018
105	1029	1024	1024	1024	1024	1024	1025	1025	1025	1025	1025
110	1036	1031	1031	1031	1031	1032	1032	1032	1032	1032	1032
115	1043	1016	1016	1016	1017	1017	1017	1017	1017	1018	1018
120	1049	1044	1044	1045	1045	1045	1045	1045	1045	1046	1046
125	1055	1051	1051	1051	1051	1051	1051	1052	1052	1052	1052
130	1061	1057	1057	1057	1057	1057	1057	1058	1058	1058	1058
135	1067	1062	1063	1063	1063	1063	1063	1063	1063	1064	1064
140	1072	1068	1068	1068	1069	1069	1069	1069	1069	1069	1069
145	1077	1073	1074	1074	1074	1074	1074	1074	1074	1075	1075
150	1082	1079	1079	1079	1079	1079	1079	1079	1080	1080	1080
155	1087	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1085	1085	1085

续表 C. 1. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
160	1092	1089	1089	1089	1089	1089	1089	1089	1089	1090	1090
165	1097	1093	1093	1094	1094	1094	1094	1094	1094	1094	1094
170	1101	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1099	1099	1099	1099
175	1106	1102	1102	1103	1103	1103	1103	1103	1103	1103	1103
180	1110	1107	1107	1107	1107	1107	1107	1107	1107	1107	1108
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	429	435	440	445	449	454	458	462	466	469
10	678	618	621	624	626	629	631	633	634	636	638
15	739	706	707	708	710	711	712	713	714	714	715
20	781	759	760	761	761	762	763	763	764	764	765
25	815	797	798	799	799	800	800	801	801	801	802
30	842	828	828	829	829	830	830	830	831	831	831
35	865	853	853	854	854	855	855	855	855	856	856
40	885	875	875	875	876	876	876	876	877	877	877
45	902	893	894	894	894	894	895	895	895	895	896
50	918	910	910	911	911	911	911	911	912	912	912
55	932	925	925	926	926	926	926	926	926	927	927
60	945	939	939	939	939	940	940	940	940	940	940
65	957	951	951	952	952	952	952	952	952	953	953
70	968	963	963	963	963	963	964	964	964	964	964
75	979	973	974	974	974	974	974	974	974	975	975

续表 C. 1. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$										
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	
80	988	983	984	984	984	984	984	984	984	984	985	985
85	997	993	993	993	993	993	993	993	994	994	994	994
90	1006	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1003	1003
95	1014	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1011	1011	1011	1011	1011
100	1022	1018	1018	1018	1018	1018	1018	1018	1019	1019	1019	1019
105	1029	1025	1025	1026	1026	1026	1026	1026	1026	1026	1026	1026
110	1036	1032	1033	1033	1033	1033	1033	1033	1033	1033	1033	1033
115	1043	1018	1018	1018	1018	1018	1018	1018	1019	1019	1019	1019
120	1049	1046	1046	1046	1046	1046	1046	1046	1046	1046	1046	1047
125	1055	1052	1052	1052	1052	1052	1052	1052	1053	1053	1053	1053
130	1061	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1059	1059	1059	1059
135	1067	1064	1064	1064	1064	1064	1064	1064	1064	1064	1064	1064
140	1072	1069	1069	1070	1070	1070	1070	1070	1070	1070	1070	1070
145	1077	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075
150	1082	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080
155	1087	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085
160	1092	1090	1090	1090	1090	1090	1090	1090	1090	1090	1090	1090
165	1097	1094	1094	1095	1095	1095	1095	1095	1095	1095	1095	1095
170	1101	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099
175	1106	1103	1103	1103	1104	1104	1104	1104	1104	1104	1104	1104
180	1110	1108	1108	1108	1108	1108	1108	1108	1108	1108	1108	1108

C. 1. 2 以纤维类物质为主的火灾下等效热阻为 $0.05m^2 \cdot ^\circ C/W$ 的轻质防火保护钢构件的温度可按表 C. 1. 2 取值。

表 C. 1. 2 以纤维类物质为主的火灾下轻质防火保护
 钢构件的温度(℃):等效热阻 $0.05\text{m}^2 \cdot \text{℃}/\text{W}$

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	25	31	36	41	46	51	56	61	66	71
10	678	33	46	58	70	82	94	105	116	127	138
15	739	42	62	83	102	121	139	157	174	191	207
20	781	51	80	108	135	161	185	209	231	252	273
25	815	60	98	134	168	200	230	259	286	312	336
30	842	70	116	160	201	239	274	308	339	368	395
35	865	80	135	186	233	277	317	354	389	420	450
40	885	90	154	212	265	314	358	399	436	470	501
45	902	100	172	237	296	349	397	441	480	516	548
50	918	110	191	263	327	384	435	481	522	558	591
55	932	121	209	288	357	417	471	519	561	598	631
60	945	131	228	312	385	450	506	555	598	635	668
65	957	141	246	336	414	481	539	589	632	669	702
70	968	152	264	359	441	510	570	620	664	701	733
75	979	162	282	382	467	539	599	651	694	731	762
80	988	173	299	405	493	566	628	679	722	758	788
85	997	183	317	427	518	593	655	706	748	784	813
90	1006	193	334	449	542	618	680	731	773	807	836
95	1014	204	351	470	565	642	704	755	796	829	856
100	1022	214	368	490	588	665	728	777	817	850	876
105	1029	224	384	510	609	688	749	799	838	869	894
110	1036	234	401	530	630	709	770	818	856	886	910

续表 C. 1. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_p/V(m^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
115	1043	214	368	490	588	665	728	777	817	850	876
120	1049	255	433	568	670	749	809	855	891	919	940
125	1055	265	448	586	689	768	827	872	906	933	954
130	1061	275	464	603	708	785	844	888	921	947	966
135	1067	285	479	621	725	803	860	903	935	959	978
140	1072	295	494	638	742	819	875	917	948	971	989
145	1077	305	508	654	759	835	890	931	960	982	999
150	1082	315	523	670	775	850	904	943	972	993	1009
155	1087	324	537	686	790	865	917	955	983	1003	1018
160	1092	334	551	701	805	878	930	967	993	1012	1026
165	1097	344	564	715	820	892	942	978	1003	1021	1035
170	1101	353	578	730	833	905	954	988	1012	1030	1042
175	1106	363	591	744	847	917	965	998	1021	1038	1050
180	1110	372	604	757	860	929	975	1007	1030	1045	1057
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_p/V(m^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	75	80	85	89	94	99	103	108	112	116
10	678	149	159	169	179	188	197	207	216	224	233
15	739	222	237	252	266	279	292	305	317	329	341
20	781	293	311	329	347	363	379	394	408	422	435
25	815	359	381	401	421	439	456	473	488	503	517
30	842	420	444	466	487	507	525	542	558	573	587

续表 C. 1. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
35	865	477	502	526	547	567	586	603	619	634	647
40	885	529	555	579	601	621	639	656	671	686	699
45	902	577	603	627	649	668	686	702	717	730	743
50	918	620	647	670	691	710	728	743	757	769	780
55	932	660	686	709	730	748	764	778	791	803	813
60	945	697	722	744	764	781	796	810	822	832	841
65	957	730	755	776	795	811	825	837	848	858	866
70	968	761	784	805	822	837	850	862	872	880	888
75	979	788	811	830	847	861	873	884	893	901	907
80	988	814	836	854	869	882	894	903	911	918	925
85	997	837	858	875	889	902	912	921	928	935	940
90	1006	859	878	894	908	919	929	937	943	949	954
95	1014	879	897	912	925	935	944	951	957	962	967
100	1022	897	914	928	940	949	957	964	970	974	978
105	1029	914	930	943	954	963	970	976	981	985	989
110	1036	929	944	957	967	975	981	987	992	995	999
115	1043	897	914	928	940	949	957	964	970	974	978
120	1049	957	970	981	990	996	1002	1007	1011	1014	1016
125	1055	969	982	992	1000	1006	1011	1016	1019	1022	1025
130	1061	981	993	1002	1009	1015	1020	1024	1027	1030	1032
135	1067	992	1003	1011	1018	1024	1028	1032	1035	1037	1039
140	1072	1002	1012	1020	1027	1032	1036	1039	1042	1044	1046
145	1077	1012	1021	1029	1035	1039	1043	1046	1049	1051	1053
150	1082	1021	1030	1036	1042	1046	1050	1053	1055	1057	1059

续表 C. 1. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
155	1087	1029	1037	1044	1049	1053	1056	1059	1061	1063	1065
160	1092	1037	1045	1051	1056	1059	1062	1065	1067	1069	1070
165	1097	1044	1052	1058	1062	1066	1068	1071	1073	1074	1076
170	1101	1052	1059	1064	1068	1071	1074	1076	1078	1080	1081
175	1106	1058	1065	1070	1074	1077	1079	1082	1083	1085	1086
180	1110	1065	1071	1076	1079	1082	1085	1087	1088	1090	1091
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	121	125	129	133	137	141	145	149	153	157
10	678	241	250	258	266	273	281	288	295	302	309
15	739	352	363	373	383	393	402	412	421	429	437
20	781	448	460	472	483	494	504	514	523	532	541
25	815	531	543	555	566	577	587	597	606	615	623
30	842	601	613	625	636	646	656	665	673	681	689
35	865	660	672	683	693	703	712	720	727	735	741
40	885	711	722	732	741	750	758	765	772	778	784
45	902	754	764	773	782	789	796	803	809	814	819
50	918	791	800	808	816	822	829	834	839	844	848
55	932	822	831	838	845	851	856	861	865	869	873
60	945	850	857	864	870	875	879	884	887	891	894
65	957	874	880	886	891	896	900	903	907	910	912
70	968	895	901	906	910	914	918	921	924	926	929

续表 C. 1. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
75	979	913	918	923	927	930	934	936	939	941	943
80	988	930	934	938	942	945	948	950	952	954	956
85	997	945	949	952	955	958	961	963	965	966	968
90	1006	958	962	965	968	970	972	974	976	977	979
95	1014	970	974	976	979	981	983	985	986	988	989
100	1022	982	985	987	989	991	993	994	996	997	998
105	1029	992	995	997	999	1001	1002	1004	1005	1006	1007
110	1036	1001	1004	1006	1008	1009	1011	1012	1013	1014	1015
115	1043	982	985	987	989	991	993	994	996	997	998
120	1049	1019	1021	1022	1024	1025	1027	1028	1029	1029	1030
125	1055	1027	1028	1030	1031	1033	1034	1035	1036	1037	1037
130	1061	1034	1036	1037	1039	1040	1041	1042	1042	1043	1044
135	1067	1041	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1050
140	1072	1048	1049	1051	1052	1053	1054	1054	1055	1056	1056
145	1077	1054	1055	1057	1058	1059	1060	1060	1061	1062	1062
150	1082	1060	1061	1063	1064	1065	1065	1066	1067	1067	1068
155	1087	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1072	1073	1073
160	1092	1072	1073	1074	1075	1076	1076	1077	1078	1078	1079
165	1097	1077	1078	1079	1080	1081	1081	1082	1083	1083	1084
170	1101	1082	1083	1084	1085	1086	1086	1087	1088	1088	1089
175	1106	1087	1088	1089	1090	1091	1091	1092	1092	1093	1093
180	1110	1092	1093	1094	1095	1095	1096	1096	1097	1097	1098

续表 C. 1. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	161	165	169	172	176	180	183	187	191	194
10	678	316	323	329	336	342	348	354	360	365	371
15	739	446	453	461	468	475	482	489	495	502	508
20	781	549	557	564	572	579	585	592	598	604	610
25	815	631	638	645	652	658	664	670	675	681	686
30	842	696	702	709	714	720	725	730	735	739	743
35	865	747	753	759	764	768	773	777	781	784	788
40	885	789	794	799	803	807	811	814	817	820	823
45	902	824	828	832	835	838	841	844	847	849	851
50	918	852	856	859	862	865	867	869	871	873	875
55	932	876	879	882	884	887	889	891	892	894	895
60	945	897	899	902	904	906	907	909	910	912	913
65	957	915	917	919	921	922	924	925	926	927	929
70	968	931	932	934	936	937	938	939	941	942	942
75	979	945	946	948	949	950	951	952	953	954	955
80	988	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967
85	997	969	970	972	973	974	974	975	976	977	977
90	1006	980	981	982	983	984	985	985	986	987	987
95	1014	990	991	992	993	993	994	995	995	996	996
100	1022	999	1000	1001	1002	1002	1003	1004	1004	1005	1005
105	1029	1008	1009	1009	1010	1011	1011	1012	1012	1013	1013
110	1036	1016	1017	1017	1018	1019	1019	1020	1020	1021	1021
115	1043	999	1000	1001	1002	1002	1003	1004	1004	1005	1005

续表 C. 1. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
120	1049	1031	1032	1032	1033	1033	1034	1034	1035	1035	1036
125	1055	1038	1039	1039	1040	1040	1041	1041	1042	1042	1042
130	1061	1045	1045	1046	1046	1047	1047	1048	1048	1048	1049
135	1067	1051	1051	1052	1053	1053	1053	1054	1054	1055	1055
140	1072	1057	1058	1058	1059	1059	1059	1060	1060	1060	1061
145	1077	1063	1063	1064	1064	1065	1065	1065	1066	1066	1066
150	1082	1068	1069	1069	1070	1070	1071	1071	1071	1072	1072
155	1087	1074	1074	1075	1075	1076	1076	1076	1077	1077	1077
160	1092	1079	1080	1080	1080	1081	1081	1081	1082	1082	1082
165	1097	1084	1085	1085	1085	1086	1086	1086	1087	1087	1087
170	1101	1089	1089	1090	1090	1091	1091	1091	1091	1092	1092
175	1106	1094	1094	1095	1095	1095	1096	1096	1096	1096	1097
180	1110	1098	1099	1099	1099	1100	1100	1100	1101	1101	1101

C. 1. 3 以纤维类物质为主的火灾下等效热阻为 $0.1m^2 \cdot ^\circ C/W$ 的轻质防火保护钢构件的温度可按表 C. 1. 3 取值。

表 C. 1. 3 以纤维类物质为主的火灾下轻质防火保护钢构件的
温度(℃):等效热阻 $0.1m^2 \cdot ^\circ C/W$

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	23	25	28	31	33	36	38	41	43	46
10	678	27	33	39	46	52	58	64	70	76	82
15	739	31	42	52	62	73	83	92	102	112	121

续表 C. 1. 3

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
20	781	36	51	66	80	94	108	122	135	148	161
25	815	40	60	79	98	116	134	151	168	184	200
30	842	45	70	94	116	139	160	181	201	220	239
35	865	50	80	108	135	161	186	210	233	255	277
40	885	56	90	122	154	183	212	239	265	290	314
45	902	61	100	137	172	206	237	268	296	324	349
50	918	66	110	152	191	228	263	296	327	356	384
55	932	72	121	166	209	250	288	323	357	388	417
60	945	77	131	181	228	271	312	350	385	419	450
65	957	83	141	196	246	293	336	376	414	448	481
70	968	89	152	210	264	314	359	402	441	477	510
75	979	94	162	225	282	334	382	427	467	505	539
80	988	100	173	239	299	355	405	451	493	531	566
85	997	105	183	253	317	375	427	475	518	557	593
90	1006	111	193	267	334	394	449	498	542	582	618
95	1014	117	204	281	351	414	470	520	565	606	642
100	1022	123	214	295	368	433	490	542	588	629	665
105	1029	128	224	309	384	451	510	563	609	651	688
110	1036	134	234	323	401	469	530	583	630	672	709
115	1043	123	214	295	368	433	490	542	588	629	665
120	1049	146	255	350	433	505	568	622	670	712	749
125	1055	151	265	363	448	522	586	641	689	731	768
130	1061	157	275	376	464	539	603	659	708	749	785
135	1067	163	285	389	479	555	621	677	725	767	803

续表 C. 1. 3

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
140	1072	169	295	402	494	571	638	694	742	784	819
145	1077	174	305	415	508	587	654	711	759	800	835
150	1082	180	315	427	523	603	670	727	775	816	850
155	1087	186	324	440	537	618	686	742	790	831	865
160	1092	192	334	452	551	632	701	758	805	845	878
165	1097	197	344	464	564	647	715	772	820	859	892
170	1101	203	353	476	578	661	730	787	833	872	905
175	1106	209	363	488	591	675	744	800	847	885	917
180	1110	214	372	500	604	689	757	814	860	898	929
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	49	51	54	56	59	61	63	66	68	71
10	678	88	94	100	105	111	116	122	127	133	138
15	739	130	139	148	157	166	174	182	191	199	207
20	781	173	185	197	209	220	231	242	252	263	273
25	815	215	230	245	259	273	286	299	312	324	336
30	842	257	274	291	308	323	339	353	368	382	395
35	865	297	317	336	354	372	389	405	420	435	450
40	885	336	358	379	399	418	436	453	470	485	501
45	902	374	397	420	441	461	480	498	516	532	548
50	918	410	435	459	481	502	522	541	558	575	591
55	932	445	471	496	519	541	561	580	598	615	631

续表 C. 1. 3

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
60	945	479	506	531	555	577	598	617	635	652	668
65	957	511	539	564	589	611	632	651	669	686	702
70	968	541	570	596	620	643	664	683	701	718	733
75	979	570	599	626	651	673	694	713	731	747	762
80	988	598	628	655	679	701	722	741	758	774	788
85	997	625	655	681	706	728	748	767	784	799	813
90	1006	651	680	707	731	753	773	791	807	822	836
95	1014	675	704	731	755	776	796	813	829	843	856
100	1022	698	728	754	777	798	817	834	850	863	876
105	1029	720	749	775	799	819	838	854	869	882	894
110	1036	741	770	796	818	839	856	872	886	899	910
115	1043	698	728	754	777	798	817	834	850	863	876
120	1049	781	809	834	855	874	891	906	919	930	940
125	1055	799	827	851	872	890	906	921	933	944	954
130	1061	817	844	867	888	906	921	935	947	957	966
135	1067	833	860	883	903	920	935	948	959	969	978
140	1072	849	875	898	917	934	948	960	971	981	989
145	1077	865	890	912	931	947	960	972	982	991	999
150	1082	879	904	925	943	959	972	983	993	1001	1009
155	1087	893	917	938	955	970	983	994	1003	1011	1018
160	1092	906	930	950	967	981	993	1004	1012	1020	1026
165	1097	919	942	961	978	991	1003	1013	1021	1028	1035
170	1101	931	954	972	988	1001	1012	1022	1030	1036	1042
175	1106	943	965	983	998	1011	1021	1030	1038	1044	1050
180	1110	954	975	993	1007	1019	1030	1038	1045	1051	1057

续表 C. 1. 3

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	73	75	78	80	83	85	87	89	92	94
10	678	143	149	154	159	164	169	174	179	183	188
15	739	214	222	230	237	244	252	259	266	272	279
20	781	283	293	302	311	321	329	338	347	355	363
25	815	348	359	370	381	391	401	411	421	430	439
30	842	408	420	432	444	455	466	477	487	497	507
35	865	464	477	490	502	514	526	537	547	557	567
40	885	515	529	542	555	567	579	590	601	611	621
45	902	563	577	590	603	615	627	638	649	659	668
50	918	606	620	634	647	659	670	681	691	701	710
55	932	646	660	674	686	698	709	720	730	739	748
60	945	683	697	710	722	734	744	754	764	773	781
65	957	716	730	743	755	766	776	786	795	803	811
70	968	747	761	773	784	795	805	814	822	830	837
75	979	776	788	800	811	821	830	839	847	854	861
80	988	802	814	825	836	845	854	862	869	876	882
85	997	826	837	848	858	867	875	883	889	896	902
90	1006	848	859	869	878	887	894	901	908	914	919
95	1014	868	879	888	897	905	912	919	925	930	935
100	1022	887	897	906	914	922	928	934	940	945	949
105	1029	904	914	922	930	937	943	949	954	958	963
110	1036	920	929	937	944	951	957	962	967	971	975
115	1043	887	897	906	914	922	928	934	940	945	949

续表 C. 1. 3

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
120	1049	949	957	964	970	976	981	986	990	993	996
125	1055	962	969	976	982	987	992	996	1000	1003	1006
130	1061	974	981	987	993	998	1002	1006	1009	1012	1015
135	1067	985	992	998	1003	1007	1011	1015	1018	1021	1024
140	1072	996	1002	1008	1012	1017	1020	1024	1027	1029	1032
145	1077	1006	1012	1017	1021	1025	1029	1032	1035	1037	1039
150	1082	1015	1021	1025	1030	1033	1036	1039	1042	1044	1046
155	1087	1024	1029	1033	1037	1041	1044	1047	1049	1051	1053
160	1092	1032	1037	1041	1045	1048	1051	1053	1056	1058	1059
165	1097	1040	1044	1048	1052	1055	1058	1060	1062	1064	1066
170	1101	1047	1052	1055	1059	1061	1064	1066	1068	1070	1071
175	1106	1054	1058	1062	1065	1068	1070	1072	1074	1075	1077
180	1110	1061	1065	1068	1071	1073	1076	1078	1079	1081	1082
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	96	99	101	103	105	108	110	112	114	116
10	678	193	197	202	207	211	216	220	224	229	233
15	739	286	292	299	305	311	317	323	329	335	341
20	781	371	379	386	394	401	408	415	422	429	435
25	815	448	456	465	473	481	488	496	503	510	517
30	842	516	525	534	542	550	558	566	573	581	587
35	865	577	586	595	603	611	619	626	634	641	647

续表 C. 1. 3

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
40	885	630	639	648	656	664	671	679	686	692	699
45	902	677	686	694	702	710	717	724	730	737	743
50	918	719	728	735	743	750	757	763	769	775	780
55	932	756	764	771	778	785	791	797	803	808	813
60	945	789	796	803	810	816	822	827	832	837	841
65	957	818	825	831	837	843	848	853	858	862	866
70	968	844	850	856	862	867	872	876	880	884	888
75	979	867	873	879	884	888	893	897	901	904	907
80	988	888	894	899	903	907	911	915	918	922	925
85	997	907	912	916	921	925	928	931	935	937	940
90	1006	924	929	933	937	940	943	946	949	952	954
95	1014	939	944	947	951	954	957	960	962	964	967
100	1022	954	957	961	964	967	970	972	974	976	978
105	1029	966	970	973	976	979	981	983	985	987	989
110	1036	978	981	984	987	989	992	994	995	997	999
115	1043	954	957	961	964	967	970	972	974	976	978
120	1049	999	1002	1005	1007	1009	1011	1012	1014	1015	1016
125	1055	1009	1011	1014	1016	1017	1019	1021	1022	1023	1025
130	1061	1018	1020	1022	1024	1026	1027	1029	1030	1031	1032
135	1067	1026	1028	1030	1032	1033	1035	1036	1037	1038	1039
140	1072	1034	1036	1037	1039	1040	1042	1043	1044	1045	1046
145	1077	1041	1043	1045	1046	1047	1049	1050	1051	1052	1053
150	1082	1048	1050	1051	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059
155	1087	1055	1056	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065

续表 C. 1. 3

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
160	1092	1061	1062	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1070
165	1097	1067	1068	1070	1071	1072	1073	1074	1074	1075	1076
170	1101	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1080	1081
175	1106	1078	1079	1081	1082	1082	1083	1084	1085	1085	1086
180	1110	1084	1085	1086	1087	1087	1088	1089	1090	1090	1091

C. 1. 4 以纤维类物质为主的火灾下等效热阻为 $0.2m^2 \cdot ^\circ C/W$ 的轻质防火保护钢构件的温度可按表 C. 1. 4 取值。

表 C. 1. 4 以纤维类物质为主的火灾下轻质防火保护钢构件
的温度(℃);等效热阻 $0.2m^2 \cdot ^\circ C/W$

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	21	23	24	25	27	28	29	31	32	33
10	678	23	27	30	33	36	39	43	46	49	52
15	739	25	31	36	42	47	52	57	62	68	73
20	781	28	36	43	51	58	66	73	80	87	94
25	815	30	40	50	60	70	79	89	98	107	116
30	842	33	45	58	70	82	94	105	116	128	139
35	865	35	50	65	80	94	108	122	135	148	161
40	885	38	56	73	90	106	122	138	154	169	183
45	902	41	61	81	100	119	137	155	172	189	206
50	918	44	66	89	110	131	152	172	191	210	228

续表 C. 1. 4

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
55	932	46	72	97	121	144	166	188	209	230	250
60	945	49	77	105	131	156	181	205	228	250	271
65	957	52	83	113	141	169	196	221	246	270	293
70	968	55	89	121	152	182	210	238	264	289	314
75	979	58	94	129	162	194	225	254	282	309	334
80	988	61	100	137	173	206	239	270	299	328	355
85	997	64	105	145	183	219	253	286	317	346	375
90	1006	67	111	153	193	231	267	302	334	365	394
95	1014	70	117	161	204	244	281	317	351	383	414
100	1022	73	123	170	214	256	295	333	368	401	433
105	1029	76	128	178	224	268	309	348	384	419	451
110	1036	79	134	186	234	280	323	363	401	436	469
115	1043	73	123	170	214	256	295	333	368	401	433
120	1049	85	146	202	255	304	350	393	433	470	505
125	1055	88	151	210	265	316	363	407	448	486	522
130	1061	91	157	218	275	328	376	422	464	503	539
135	1067	94	163	226	285	339	389	436	479	518	555
140	1072	97	169	234	295	351	402	450	494	534	571
145	1077	100	174	242	305	362	415	463	508	549	587
150	1082	104	180	250	315	373	427	477	523	564	603
155	1087	107	186	258	324	385	440	490	537	579	618
160	1092	110	192	266	334	396	452	504	551	593	632
165	1097	113	197	274	344	407	464	517	564	608	647
170	1101	116	203	282	353	418	476	530	578	621	661
175	1106	119	209	290	363	429	488	542	591	635	675
180	1110	122	214	297	372	439	500	555	604	648	689

续表 C. 1. 4

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	34	36	37	38	40	41	42	43	45	46
10	678	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82
15	739	78	83	88	92	97	102	107	112	116	121
20	781	101	108	115	122	128	135	141	148	154	161
25	815	125	134	143	151	160	168	176	184	192	200
30	842	149	160	170	181	191	201	210	220	229	239
35	865	174	186	198	210	222	233	244	255	266	277
40	885	198	212	226	239	252	265	278	290	302	314
45	902	222	237	253	268	282	296	310	324	337	349
50	918	245	263	279	296	311	327	342	356	370	384
55	932	269	288	306	323	340	357	372	388	403	417
60	945	292	312	331	350	368	385	402	419	434	450
65	957	315	336	356	376	395	414	431	448	465	481
70	968	337	359	381	402	422	441	459	477	494	510
75	979	359	382	405	427	447	467	486	505	522	539
80	988	380	405	429	451	472	493	513	531	549	566
85	997	401	427	451	475	497	518	538	557	575	593
90	1006	422	449	474	498	520	542	562	582	600	618
95	1014	442	470	496	520	543	565	586	606	624	642
100	1022	462	490	517	542	565	588	609	629	648	665
105	1029	482	510	537	563	587	609	631	651	670	688
110	1036	501	530	557	583	608	630	652	672	691	709
115	1043	462	490	517	542	565	588	609	629	648	665

续表 C. 1. 4

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
120	1049	537	568	596	622	647	670	692	712	731	749
125	1055	555	586	614	641	666	689	711	731	750	768
130	1061	572	603	632	659	684	708	729	749	768	785
135	1067	589	621	650	677	702	725	747	767	785	803
140	1072	606	638	667	694	719	742	764	784	802	819
145	1077	622	654	684	711	736	759	780	800	818	835
150	1082	638	670	700	727	752	775	796	816	834	850
155	1087	653	686	715	742	767	790	811	831	848	865
160	1092	668	701	730	758	782	805	826	845	862	878
165	1097	683	715	745	772	797	820	840	859	876	892
170	1101	697	730	760	787	811	833	854	872	889	905
175	1106	711	744	773	800	825	847	867	885	902	917
180	1110	725	757	787	814	838	860	880	898	914	929
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	47	49	50	51	52	54	55	56	57	59
10	678	85	88	91	94	97	100	103	105	108	111
15	739	126	130	135	139	144	148	153	157	161	166
20	781	167	173	179	185	191	197	203	209	214	220
25	815	208	215	223	230	238	245	252	259	266	273
30	842	248	257	266	274	283	291	299	308	316	323
35	865	287	297	307	317	327	336	345	354	363	372

续表 C. 1. 4

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
40	885	325	336	347	358	369	379	389	399	408	418
45	902	362	374	386	397	409	420	430	441	451	461
50	918	397	410	423	435	447	459	470	481	492	502
55	932	432	445	458	471	484	496	507	519	530	541
60	945	464	479	492	506	519	531	543	555	566	577
65	957	496	511	525	539	552	564	577	589	600	611
70	968	526	541	556	570	583	596	609	620	632	643
75	979	555	570	585	599	613	626	639	651	662	673
80	988	583	598	613	628	641	655	667	679	691	701
85	997	609	625	640	655	668	681	694	706	717	728
90	1006	635	651	666	680	694	707	719	731	742	753
95	1014	659	675	690	704	718	731	743	755	766	776
100	1022	682	698	713	728	741	754	766	777	788	798
105	1029	704	720	735	749	763	775	787	799	809	819
110	1036	726	741	756	770	783	796	807	818	829	839
115	1043	682	698	713	728	741	754	766	777	788	798
120	1049	765	781	795	809	822	834	845	855	865	874
125	1055	784	799	813	827	839	851	862	872	881	890
130	1061	802	817	831	844	856	867	878	888	897	906
135	1067	819	833	847	860	872	883	893	903	912	920
140	1072	835	849	863	875	887	898	908	917	926	934
145	1077	850	865	878	890	901	912	922	931	939	947
150	1082	865	879	892	904	915	925	935	943	951	959
155	1087	879	893	906	917	928	938	947	955	963	970

续表 C. 1. 4

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
160	1092	893	906	919	930	940	950	959	967	974	981
165	1097	906	919	931	942	952	961	970	978	985	991
170	1101	919	931	943	954	963	972	981	988	995	1001
175	1106	931	943	954	965	974	983	991	998	1004	1011
180	1110	942	954	965	975	984	993	1000	1007	1014	1019
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	60	61	62	63	65	66	67	68	69	71
10	678	114	116	119	122	125	127	130	133	135	138
15	739	170	174	178	182	187	191	195	199	203	207
20	781	225	231	236	242	247	252	258	263	268	273
25	815	279	286	293	299	305	312	318	324	330	336
30	842	331	339	346	353	361	368	375	382	388	395
35	865	380	389	397	405	413	420	428	435	443	450
40	885	427	436	444	453	461	470	478	485	493	501
45	902	471	480	489	498	507	516	524	532	540	548
50	918	512	522	531	541	550	558	567	575	583	591
55	932	551	561	571	580	589	598	607	615	623	631
60	945	587	598	607	617	626	635	644	652	660	668
65	957	622	632	642	651	660	669	678	686	694	702
70	968	654	664	674	683	692	701	710	718	726	733
75	979	684	694	704	713	722	731	739	747	755	762

续表 C. 1. 4

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
80	988	712	722	732	741	750	758	766	774	781	788
85	997	738	748	758	767	775	784	791	799	806	813
90	1006	763	773	782	791	799	807	815	822	829	836
95	1014	786	796	805	813	821	829	837	843	850	856
100	1022	808	817	826	834	842	850	857	863	870	876
105	1029	829	838	846	854	862	869	875	882	888	894
110	1036	848	856	865	872	880	886	893	899	905	910
115	1043	808	817	826	834	842	850	857	863	870	876
120	1049	883	891	898	906	912	919	924	930	935	940
125	1055	899	906	914	921	927	933	939	944	949	954
130	1061	914	921	928	935	941	947	952	957	962	966
135	1067	928	935	942	948	954	959	964	969	974	978
140	1072	941	948	954	960	966	971	976	981	985	989
145	1077	954	960	966	972	977	982	987	991	995	999
150	1082	966	972	978	983	988	993	997	1001	1005	1009
155	1087	977	983	988	994	998	1003	1007	1011	1015	1018
160	1092	987	993	999	1004	1008	1012	1016	1020	1023	1026
165	1097	997	1003	1008	1013	1017	1021	1025	1028	1032	1035
170	1101	1007	1012	1017	1022	1026	1030	1033	1036	1039	1042
175	1106	1016	1021	1026	1030	1034	1038	1041	1044	1047	1050
180	1110	1025	1030	1034	1038	1042	1045	1048	1051	1054	1057

C. 1. 5 以纤维类物质为主的火灾下等效热阻为 $0.3m^2 \cdot ^\circ C/W$ 的轻质防火保护钢构件的温度可按表 C. 1. 5 取值。

表 C. 1.5 以纤维类物质为主的火灾下轻质防火保护钢构件的
温度 (°C) ;等效热阻 $0.3\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$

时间 (min)	烟气 温度 (°C)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	21	22	23	24	24	25	26	27	28	29
10	678	22	24	27	29	31	33	35	37	39	42
15	739	24	27	31	34	38	42	45	49	52	56
20	781	25	30	36	41	46	51	56	61	66	70
25	815	27	34	40	47	54	60	67	73	79	86
30	842	29	37	45	54	62	70	78	86	94	101
35	865	30	40	50	60	70	80	89	99	108	117
40	885	32	44	56	67	79	90	101	112	122	133
45	902	34	48	61	74	87	100	113	125	137	149
50	918	36	51	66	81	96	110	124	138	152	165
55	932	38	55	72	88	105	121	136	151	166	181
60	945	40	59	77	96	114	131	148	165	181	197
65	957	42	62	83	103	122	141	160	178	196	213
70	968	43	66	89	110	131	152	172	191	210	229
75	979	45	70	94	117	140	162	184	204	225	244
80	988	47	74	100	125	149	173	195	217	239	260
85	997	49	78	105	132	158	183	207	231	253	275
90	1006	51	82	111	140	167	193	219	244	267	290
95	1014	53	86	117	147	176	204	231	256	281	305
100	1022	56	90	123	154	185	214	242	269	295	320
105	1029	58	94	128	162	194	224	254	282	309	335
110	1036	60	98	134	169	202	234	265	295	323	350

续表 C. 1. 5

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
115	1043	56	90	123	154	185	214	242	269	295	320
120	1049	64	106	146	184	220	255	288	320	350	379
125	1055	66	110	151	191	229	265	299	332	363	393
130	1061	68	114	157	198	238	275	310	344	376	407
135	1067	70	118	163	206	246	285	322	356	389	421
140	1072	72	122	169	213	255	295	333	368	402	434
145	1077	74	126	174	220	264	305	344	380	415	448
150	1082	77	130	180	228	272	315	354	392	427	461
155	1087	79	134	186	235	281	324	365	404	440	474
160	1092	81	138	192	242	289	334	376	415	452	487
165	1097	83	142	197	249	298	344	386	427	464	500
170	1101	85	146	203	256	306	353	397	438	476	512
175	1106	87	150	209	264	315	363	407	449	488	525
180	1110	89	154	214	271	323	372	418	460	500	537
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	30	31	31	32	33	34	35	36	37	38
10	678	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62
15	739	59	62	66	69	73	76	79	83	86	89
20	781	75	80	85	90	94	99	103	108	113	117
25	815	92	98	104	110	116	122	128	134	140	145
30	842	109	116	124	131	139	146	153	160	167	174

续表 C. 1. 5

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
35	865	126	135	144	152	161	169	178	186	194	202
40	885	143	154	164	174	183	193	203	212	221	230
45	902	161	172	184	195	206	216	227	237	248	258
50	918	178	191	203	216	228	240	251	263	274	285
55	932	195	209	223	236	250	263	275	288	300	311
60	945	212	228	243	257	271	285	299	312	325	338
65	957	230	246	262	277	293	307	322	336	350	363
70	968	246	264	281	297	314	329	345	359	374	388
75	979	263	282	300	317	334	351	367	382	398	412
80	988	280	299	318	337	355	372	389	405	421	436
85	997	296	317	337	356	375	393	410	427	443	459
90	1006	313	334	355	375	394	413	431	449	466	482
95	1014	329	351	373	394	414	433	452	470	487	504
100	1022	345	368	390	412	433	453	472	490	508	525
105	1029	360	384	408	430	451	472	491	510	528	546
110	1036	376	401	425	447	469	490	511	530	548	566
115	1043	345	368	390	412	433	453	472	490	508	525
120	1049	406	433	458	482	505	527	548	568	587	605
125	1055	421	448	474	498	522	544	565	586	605	624
130	1061	436	464	490	515	539	561	583	603	623	642
135	1067	450	479	505	531	555	578	600	621	640	659
140	1072	465	494	521	547	571	595	617	638	657	676
145	1077	479	508	536	562	587	611	633	654	674	693
150	1082	493	523	551	577	603	626	649	670	690	709

续表 C. 1. 5

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
155	1087	506	537	565	592	618	642	664	686	706	725
160	1092	520	551	580	607	632	657	679	701	721	740
165	1097	533	564	594	621	647	671	694	715	736	754
170	1101	546	578	607	635	661	685	708	730	750	769
175	1106	559	591	621	649	675	699	722	744	764	783
180	1110	572	604	634	662	689	713	736	757	778	796
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	38	39	40	41	42	43	43	44	45	46
10	678	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82
15	739	92	96	99	102	105	109	112	115	118	121
20	781	122	126	131	135	139	144	148	152	156	161
25	815	151	157	162	168	173	179	184	189	195	200
30	842	181	187	194	201	207	214	220	226	233	239
35	865	210	218	226	233	241	248	255	263	270	277
40	885	239	248	257	265	273	282	290	298	306	314
45	902	268	277	287	296	306	315	324	332	341	349
50	918	296	306	317	327	337	347	356	366	375	384
55	932	323	334	346	357	367	378	388	398	408	417
60	945	350	362	374	385	397	408	419	429	440	450
65	957	376	389	401	414	425	437	448	459	470	481
70	968	402	415	428	441	453	465	477	488	500	510

续表 C. 1. 5

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
75	979	427	441	454	467	480	493	505	516	528	539
80	988	451	465	479	493	506	519	531	543	555	566
85	997	475	490	504	518	531	544	557	569	581	593
90	1006	498	513	528	542	556	569	582	594	606	618
95	1014	520	536	551	565	579	593	606	618	630	642
100	1022	542	558	573	588	602	616	629	641	654	665
105	1029	563	579	594	609	624	638	651	664	676	688
110	1036	583	600	615	630	645	659	672	685	697	709
115	1043	542	558	573	588	602	616	629	641	654	665
120	1049	622	639	655	670	685	699	712	725	737	749
125	1055	641	658	674	689	704	718	731	744	756	768
130	1061	659	676	692	708	722	736	749	762	774	785
135	1067	677	694	710	725	740	754	767	779	791	803
140	1072	694	711	727	742	757	771	784	796	808	819
145	1077	711	728	744	759	773	787	800	812	824	835
150	1082	727	744	760	775	789	803	816	828	839	850
155	1087	742	759	775	790	805	818	831	843	854	865
160	1092	758	774	790	805	819	833	845	857	868	878
165	1097	772	789	805	820	833	847	859	871	881	892
170	1101	787	803	819	833	847	860	872	884	894	905
175	1106	800	817	832	847	860	873	885	896	907	917
180	1110	814	830	845	860	873	886	898	909	919	929

续表 C. 1. 5

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	47	48	49	49	50	51	52	53	54	54
10	678	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102
15	739	124	127	130	133	136	139	142	145	148	151
20	781	165	169	173	177	181	185	189	193	197	201
25	815	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
30	842	245	251	257	263	269	274	280	286	291	297
35	865	284	290	297	304	310	317	323	330	336	342
40	885	321	329	336	344	351	358	365	372	379	385
45	902	358	366	374	382	390	397	405	412	420	427
50	918	393	402	410	419	427	435	443	451	459	466
55	932	427	436	445	454	463	471	480	488	496	504
60	945	460	469	479	488	497	506	514	523	531	539
65	957	491	501	511	520	529	539	547	556	564	573
70	968	521	531	541	551	560	570	579	588	596	604
75	979	550	560	570	580	590	599	609	617	626	635
80	988	577	588	598	609	618	628	637	646	655	663
85	997	604	615	625	635	645	655	664	673	681	690
90	1006	629	640	651	661	671	680	689	698	707	715
95	1014	653	664	675	685	695	704	714	722	731	739
100	1022	677	688	698	708	718	728	737	745	754	762
105	1029	699	710	720	730	740	749	758	767	775	783
110	1036	720	731	741	751	761	770	779	788	796	804
115	1043	677	688	698	708	718	728	737	745	754	762

续表 C. 1. 5

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
120	1049	760	771	781	791	800	809	817	826	834	841
125	1055	779	789	799	809	818	827	835	843	851	858
130	1061	796	807	817	826	835	844	852	860	867	875
135	1067	813	824	833	843	852	860	868	876	883	890
140	1072	830	840	849	859	867	875	883	891	898	905
145	1077	845	855	865	874	882	890	898	905	912	918
150	1082	860	870	879	888	896	904	912	919	925	932
155	1087	875	884	893	902	910	917	925	931	938	944
160	1092	888	898	906	915	923	930	937	944	950	956
165	1097	901	911	919	927	935	942	949	955	961	967
170	1101	914	923	931	939	947	954	960	967	972	978
175	1106	926	935	943	951	958	965	971	977	983	988
180	1110	938	946	954	962	969	975	981	987	993	998

C. 1. 6 以纤维类物质为主的火灾下等效热阻为 $0.4\text{m}^2 \cdot \text{℃}/\text{W}$ 的轻质防火保护钢构件的温度可按表 C. 1. 6 取值。

表 C. 1. 6 以纤维类物质为主的火灾下轻质防火保护钢构件的
温度 (℃) ; 等效热阻 $0.4\text{m}^2 \cdot \text{℃}/\text{W}$

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	21	21	22	23	23	24	25	25	26	27
10	678	22	23	25	27	28	30	31	33	35	36
15	739	23	25	28	31	34	36	39	42	44	47

续表 C. 1. 6

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
20	781	24	28	32	36	39	43	47	51	54	58
25	815	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
30	842	26	33	39	45	52	58	64	70	76	82
35	865	28	35	43	50	58	65	73	80	87	94
40	885	29	38	47	56	64	73	81	90	98	106
45	902	30	41	51	61	71	81	90	100	109	119
50	918	32	44	55	66	78	89	100	110	121	131
55	932	33	46	59	72	84	97	109	121	132	144
60	945	35	49	63	77	91	105	118	131	144	156
65	957	36	52	68	83	98	113	127	141	155	169
70	968	38	55	72	89	105	121	136	152	167	182
75	979	39	58	76	94	112	129	146	162	178	194
80	988	41	61	81	100	119	137	155	173	190	206
85	997	42	64	85	105	126	145	164	183	201	219
90	1006	44	67	89	111	133	153	174	193	213	231
95	1014	45	70	94	117	139	161	183	204	224	244
100	1022	47	73	98	123	146	170	192	214	235	256
105	1029	48	76	102	128	153	178	201	224	246	268
110	1036	50	79	107	134	160	186	211	234	258	280
115	1043	47	73	98	123	146	170	192	214	235	256
120	1049	53	85	116	146	174	202	229	255	280	304
125	1055	55	88	120	151	181	210	238	265	291	316
130	1061	56	91	125	157	188	218	247	275	302	328
135	1067	58	94	129	163	195	226	256	285	313	339

续表 C. 1. 6

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
140	1072	59	97	134	169	202	234	265	295	323	351
145	1077	61	100	138	174	209	242	274	305	334	362
150	1082	63	104	143	180	216	250	283	315	345	373
155	1087	64	107	147	186	223	258	292	324	355	385
160	1092	66	110	152	192	230	266	301	334	366	396
165	1097	68	113	156	197	237	274	310	344	376	407
170	1101	69	116	161	203	243	282	318	353	386	418
175	1106	71	119	165	209	250	290	327	363	396	429
180	1110	73	122	170	214	257	297	336	372	407	439
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	27	28	29	29	30	31	31	32	33	33
10	678	38	39	41	43	44	46	47	49	50	52
15	739	49	52	55	57	60	62	65	68	70	73
20	781	62	66	69	73	76	80	84	87	91	94
25	815	75	79	84	89	93	98	103	107	112	116
30	842	88	94	99	105	111	116	122	128	133	139
35	865	101	108	115	122	128	135	142	148	155	161
40	885	114	122	130	138	146	154	161	169	176	183
45	902	128	137	146	155	164	172	181	189	197	206
50	918	142	152	162	172	181	191	200	210	219	228
55	932	155	166	177	188	199	209	220	230	240	250

续表 C. 1. 6

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
60	945	169	181	193	205	216	228	239	250	261	271
65	957	182	196	208	221	234	246	258	270	281	293
70	968	196	210	224	238	251	264	277	289	302	314
75	979	209	225	239	254	268	282	295	309	322	334
80	988	223	239	255	270	285	299	314	328	341	355
85	997	236	253	270	286	302	317	332	346	361	375
90	1006	250	267	285	302	318	334	350	365	380	394
95	1014	263	281	300	317	334	351	367	383	399	414
100	1022	276	295	314	333	351	368	385	401	417	433
105	1029	289	309	329	348	366	384	402	419	435	451
110	1036	302	323	343	363	382	401	419	436	453	469
115	1043	276	295	314	333	351	368	385	401	417	433
120	1049	327	350	372	393	413	433	452	470	488	505
125	1055	340	363	386	407	428	448	468	486	504	522
130	1061	352	376	399	422	443	464	483	503	521	539
135	1067	365	389	413	436	458	479	499	518	537	555
140	1072	377	402	426	450	472	494	514	534	553	571
145	1077	389	415	440	463	486	508	529	549	569	587
150	1082	401	427	453	477	500	523	544	564	584	603
155	1087	413	440	466	490	514	537	558	579	599	618
160	1092	425	452	479	504	528	551	572	593	613	632
165	1097	436	464	491	517	541	564	586	608	628	647
170	1101	448	476	504	530	554	578	600	621	642	661
175	1106	459	488	516	542	567	591	614	635	655	675
180	1110	470	500	528	555	580	604	627	648	669	689

续表 C. 1. 6

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	34	34	35	36	36	37	38	38	39	40
10	678	54	55	57	58	60	61	63	64	66	67
15	739	75	78	80	83	85	88	90	92	95	97
20	781	98	101	105	108	112	115	118	122	125	128
25	815	121	125	130	134	138	143	147	151	155	160
30	842	144	149	155	160	165	170	176	181	186	191
35	865	167	174	180	186	192	198	204	210	216	222
40	885	191	198	205	212	219	226	232	239	246	252
45	902	214	222	230	237	245	253	260	268	275	282
50	918	237	245	254	263	271	279	288	296	304	311
55	932	259	269	278	288	297	306	314	323	332	340
60	945	282	292	302	312	322	331	341	350	359	368
65	957	304	315	325	336	346	356	366	376	386	395
70	968	325	337	348	359	370	381	392	402	412	422
75	979	347	359	371	382	394	405	416	427	437	447
80	988	368	380	393	405	417	429	440	451	462	472
85	997	388	401	414	427	439	451	463	475	486	497
90	1006	408	422	436	449	461	474	486	498	509	520
95	1014	428	442	456	470	483	496	508	520	532	543
100	1022	448	462	476	490	504	517	529	542	554	565
105	1029	467	482	496	510	524	537	550	563	575	587
110	1036	485	501	515	530	544	557	571	583	596	608
115	1043	448	462	476	490	504	517	529	542	554	565

续表 C. 1. 6

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
120	1049	521	537	553	568	582	596	609	622	635	647
125	1055	539	555	571	586	600	614	628	641	654	666
130	1061	556	572	588	603	618	632	646	659	672	684
135	1067	573	589	605	621	636	650	664	677	690	702
140	1072	589	606	622	638	653	667	681	694	707	719
145	1077	605	622	638	654	669	684	697	711	724	736
150	1082	620	638	654	670	685	700	714	727	740	752
155	1087	636	653	670	686	701	715	729	742	755	767
160	1092	651	668	685	701	716	730	744	758	770	782
165	1097	665	683	699	715	731	745	759	772	785	797
170	1101	680	697	714	730	745	760	773	787	799	811
175	1106	693	711	728	744	759	773	787	800	813	825
180	1110	707	725	742	757	773	787	801	814	826	838
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	40	41	42	42	43	43	44	45	45	46
10	678	69	70	72	73	75	76	78	79	81	82
15	739	100	102	105	107	109	112	114	116	119	121
20	781	132	135	138	141	145	148	151	154	157	161
25	815	164	168	172	176	180	184	188	192	196	200
30	842	196	201	206	210	215	220	225	229	234	239
35	865	227	233	239	244	250	255	261	266	271	277

续表 C. 1. 6

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
40	885	259	265	271	278	284	290	296	302	308	314
45	902	289	296	303	310	317	324	330	337	343	349
50	918	319	327	334	342	349	356	363	370	377	384
55	932	348	357	365	372	380	388	395	403	410	417
60	945	377	385	394	402	411	419	427	434	442	450
65	957	404	414	423	431	440	448	457	465	473	481
70	968	431	441	450	459	468	477	486	494	502	510
75	979	458	467	477	486	496	505	514	522	531	539
80	988	483	493	503	513	522	531	540	549	558	566
85	997	507	518	528	538	548	557	566	575	584	593
90	1006	531	542	552	562	572	582	591	600	609	618
95	1014	554	565	576	586	596	606	615	624	633	642
100	1022	577	588	598	609	619	629	638	648	657	665
105	1029	598	609	620	631	641	651	660	670	679	688
110	1036	619	630	641	652	662	672	682	691	700	709
115	1043	577	588	598	609	619	629	638	648	657	665
120	1049	659	670	681	692	702	712	722	731	740	749
125	1055	678	689	700	711	721	731	741	750	759	768
130	1061	696	708	719	729	740	749	759	768	777	785
135	1067	714	725	736	747	757	767	776	785	794	803
140	1072	731	742	753	764	774	784	793	802	811	819
145	1077	748	759	770	780	790	800	809	818	827	835
150	1082	764	775	786	796	806	816	825	834	842	850
155	1087	779	790	801	811	821	831	840	848	857	865

续表 C. 1. 6

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_r/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
160	1092	794	805	816	826	836	845	854	862	871	878
165	1097	809	820	830	840	850	859	868	876	884	892
170	1101	823	833	844	854	863	872	881	889	897	905
175	1106	836	847	857	867	876	885	894	902	909	917
180	1110	849	860	870	880	889	898	906	914	921	929

C. 1. 7 以纤维类物质为主的火灾下等效热阻为 $0.5m^2 \cdot \text{℃}/W$ 的轻质防火保护钢构件的温度可按表 C. 1. 7 取值。

表 C. 1. 7 以纤维类物质为主的火灾下轻质防火保护钢构件的
温度(℃):等效热阻 $0.5m^2 \cdot \text{℃}/W$

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_r/V(m^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	21	21	22	22	23	23	24	24	25	25
10	678	21	23	24	25	27	28	29	30	32	33
15	739	22	24	27	29	31	33	35	37	39	42
20	781	23	26	29	32	36	39	42	45	48	51
25	815	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60
30	842	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
35	865	26	32	38	44	50	56	62	68	74	80
40	885	27	34	42	49	56	63	70	76	83	90
45	902	28	37	45	53	61	69	77	85	92	100
50	918	30	39	48	57	66	75	84	93	102	110
55	932	31	41	52	62	72	82	92	102	111	121

续表 C. 1. 7

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
60	945	32	43	55	66	77	88	99	110	121	131
65	957	33	46	58	71	83	95	107	119	130	141
70	968	34	48	62	75	89	102	114	127	140	152
75	979	35	50	65	80	94	108	122	136	149	162
80	988	37	53	69	84	100	115	130	144	159	173
85	997	38	55	72	89	105	122	137	153	168	183
90	1006	39	58	76	94	111	128	145	161	178	193
95	1014	40	60	79	98	117	135	153	170	187	204
100	1022	41	62	83	103	123	142	160	179	197	214
105	1029	43	65	87	108	128	148	168	187	206	224
110	1036	44	67	90	112	134	155	176	196	215	234
115	1043	41	62	83	103	123	142	160	179	197	214
120	1049	47	72	97	122	146	169	191	213	234	255
125	1055	48	75	101	127	151	175	199	221	243	265
130	1061	49	77	105	131	157	182	206	230	253	275
135	1067	50	80	108	136	163	189	214	238	262	285
140	1072	52	82	112	141	169	196	222	247	271	295
145	1077	53	85	116	146	174	202	229	255	280	305
150	1082	54	87	119	150	180	209	237	264	289	315
155	1087	56	90	123	155	186	216	244	272	299	324
160	1092	57	93	127	160	192	222	252	280	308	334
165	1097	58	95	130	165	197	229	259	288	317	344
170	1101	60	98	134	169	203	235	267	297	325	353
175	1106	61	100	138	174	209	242	274	305	334	363
180	1110	62	103	142	179	214	249	281	313	343	372

续表 C. 1. 7

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	26	26	27	27	28	28	29	30	30	31
10	678	34	36	37	38	39	41	42	43	44	46
15	739	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62
20	781	54	57	60	63	66	68	71	74	77	80
25	815	64	68	72	76	79	83	87	91	94	98
30	842	75	79	84	89	94	98	103	107	112	116
35	865	86	91	97	102	108	113	119	124	130	135
40	885	97	103	110	116	122	129	135	141	148	154
45	902	108	115	122	130	137	144	151	158	165	172
50	918	119	127	135	144	152	160	168	175	183	191
55	932	130	139	148	157	166	175	184	192	201	209
60	945	141	151	161	171	181	191	200	209	219	228
65	957	153	164	174	185	196	206	216	226	236	246
70	968	164	176	187	199	210	221	232	243	253	264
75	979	175	188	200	212	225	236	248	259	271	282
80	988	186	200	213	226	239	251	264	276	288	299
85	997	198	212	226	240	253	266	279	292	305	317
90	1006	209	224	239	253	267	281	295	308	321	334
95	1014	220	236	251	267	281	296	310	324	338	351
100	1022	231	248	264	280	295	311	325	340	354	368
105	1029	242	259	276	293	309	325	340	355	370	384
110	1036	253	271	289	306	323	339	355	371	386	401
115	1043	231	248	264	280	295	311	325	340	354	368

续表 C. 1. 7

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_p/V(m^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
120	1049	275	294	313	332	350	367	384	401	417	433
125	1055	286	306	326	345	363	381	399	416	432	448
130	1061	296	317	338	357	376	395	413	430	447	464
135	1067	307	329	349	370	389	408	427	445	462	479
140	1072	318	340	361	382	402	422	440	459	476	494
145	1077	328	351	373	394	415	435	454	473	491	508
150	1082	339	362	385	406	427	448	467	486	505	523
155	1087	349	373	396	418	440	461	481	500	519	537
160	1092	359	384	408	430	452	473	494	513	532	551
165	1097	370	395	419	442	464	486	507	527	546	564
170	1101	380	405	430	454	476	498	519	540	559	578
175	1106	390	416	441	465	488	510	532	552	572	591
180	1110	400	426	452	476	500	523	544	565	585	604
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_p/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	31	32	32	33	33	34	34	35	35	36
10	678	47	48	49	51	52	53	54	56	57	58
15	739	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83
20	781	83	86	89	91	94	97	100	103	105	108
25	815	102	105	109	113	116	120	123	127	130	134
30	842	121	125	130	134	139	143	147	152	156	160
35	865	140	146	151	156	161	166	171	176	181	186

续表 C. 1. 7

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
40	885	160	166	172	178	183	189	195	201	206	212
45	902	179	186	193	199	206	212	219	225	231	237
50	918	198	206	213	221	228	235	242	249	256	263
55	932	218	226	234	242	250	257	265	273	280	288
60	945	237	245	254	263	271	280	288	296	304	312
65	957	255	265	274	284	293	302	310	319	328	336
70	968	274	284	294	304	314	323	332	342	351	359
75	979	293	303	314	324	334	344	354	364	373	382
80	988	311	322	333	344	355	365	375	385	395	405
85	997	329	341	352	364	375	386	396	407	417	427
90	1006	347	359	371	383	394	406	417	428	438	449
95	1014	364	377	389	402	414	425	437	448	459	470
100	1022	381	395	408	420	433	445	456	468	479	490
105	1029	398	412	425	438	451	464	476	487	499	510
110	1036	415	429	443	456	469	482	494	507	518	530
115	1043	381	395	408	420	433	445	456	468	479	490
120	1049	448	463	477	491	505	518	531	543	556	568
125	1055	464	479	494	508	522	535	549	561	574	586
130	1061	479	495	510	525	539	552	566	579	591	603
135	1067	495	511	526	541	555	569	583	596	608	621
140	1072	510	526	542	557	571	585	599	612	625	638
145	1077	525	541	557	572	587	601	615	629	641	654
150	1082	540	556	572	588	603	617	631	644	657	670
155	1087	554	571	587	603	618	632	646	660	673	686

续表 C. 1. 7

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
160	1092	568	585	601	617	632	647	661	675	688	701
165	1097	582	599	616	632	647	662	676	690	703	715
170	1101	596	613	630	646	661	676	690	704	717	730
175	1106	609	627	643	659	675	690	704	718	731	744
180	1110	622	640	657	673	689	703	718	732	745	757
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	576	36	37	37	38	38	39	39	40	40	41
10	678	59	61	62	63	64	66	67	68	69	70
15	739	85	87	89	91	92	94	96	98	100	102
20	781	111	114	116	119	122	124	127	130	132	135
25	815	137	141	144	148	151	155	158	161	165	168
30	842	164	168	173	177	181	185	189	193	197	201
35	865	191	196	201	205	210	215	219	224	229	233
40	885	217	223	228	234	239	244	250	255	260	265
45	902	244	250	256	262	268	273	279	285	291	296
50	918	269	276	283	289	296	302	308	315	321	327
55	932	295	302	309	316	323	330	337	343	350	357
60	945	320	327	335	343	350	357	364	372	379	385
65	957	344	352	360	368	376	384	391	399	406	414
70	968	368	377	385	394	402	410	418	426	433	441
75	979	392	401	409	418	427	435	443	452	460	467

续表 C. 1. 7

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
80	988	415	424	433	442	451	460	468	477	485	493
85	997	437	447	456	465	475	484	492	501	510	518
90	1006	459	469	479	488	498	507	516	525	533	542
95	1014	480	490	501	510	520	529	539	548	556	565
100	1022	501	512	522	532	542	551	561	570	579	588
105	1029	521	532	543	553	563	573	582	591	601	609
110	1036	541	552	563	573	583	593	603	612	621	630
115	1043	501	512	522	532	542	551	561	570	579	588
120	1049	579	590	601	612	622	633	642	652	661	670
125	1055	598	609	620	631	641	651	661	671	680	689
130	1061	615	627	638	649	659	670	680	689	699	708
135	1067	633	644	656	666	677	687	697	707	716	725
140	1072	650	661	673	684	694	704	714	724	733	742
145	1077	666	678	689	700	711	721	731	741	750	759
150	1082	682	694	705	716	727	737	747	757	766	775
155	1087	698	709	721	732	742	753	763	772	781	790
160	1092	713	725	736	747	758	768	778	787	796	805
165	1097	728	739	751	762	772	782	792	802	811	820
170	1101	742	754	765	776	787	797	806	816	825	833
175	1106	756	768	779	790	800	810	820	829	838	847
180	1110	770	781	793	803	814	824	833	842	851	860

附录 C.2 以烃类物质为主的火灾下 轻质防火保护钢构件的温度

C.2.1 以烃类物质为主的火灾下等效热阻为 $0.01\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ 的轻质防火保护钢构件的温度可按表 C.2.1 取值。

表 C.2.1 以烃类物质为主的火灾下轻质防火保护钢构件的
温度 ($^\circ\text{C}$):等效热阻 $0.01\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$

时间 (min)	烟气 温度 ($^\circ\text{C}$)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	20	20	20	20	600	20	20	20	20	20	20
5	947	68	114	157	198	237	273	308	340	371	400
10	1034	126	220	304	378	445	504	557	604	646	683
15	1071	183	320	434	531	612	679	737	785	825	860
20	1087	238	411	547	654	740	807	861	903	937	964
25	1095	291	492	642	753	836	898	944	979	1005	1024
30	1098	341	565	721	830	907	961	999	1026	1045	1058
35	1099	388	628	786	890	959	1004	1035	1055	1068	1077
40	1100	431	685	841	937	997	1035	1058	1073	1082	1088
45	1100	473	734	886	974	1025	1055	1073	1083	1090	1093
50	1100	511	778	923	1002	1046	1069	1083	1090	1094	1096
55	1100	548	817	954	1024	1060	1079	1089	1094	1097	1098
60	1100	582	850	979	1041	1071	1086	1093	1096	1098	1099
65	1100	614	880	1000	1055	1079	1090	1095	1098	1099	1099
70	1100	644	907	1018	1065	1085	1093	1097	1099	1099	1100

续表 C. 2. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
75	1100	672	930	1032	1073	1089	1095	1098	1099	1100	1100
80	1100	698	950	1044	1079	1092	1097	1099	1100	1100	1100
85	1100	723	968	1054	1084	1094	1098	1099	1100	1100	1100
90	1100	746	984	1062	1087	1096	1099	1100	1100	1100	1100
95	1100	768	998	1068	1090	1097	1099	1100	1100	1100	1100
100	1100	789	1010	1074	1092	1098	1099	1100	1100	1100	1100
105	1100	808	1021	1078	1094	1098	1100	1100	1100	1100	1100
110	1100	826	1030	1082	1095	1099	1100	1100	1100	1100	1100
115	1100	789	1010	1074	1092	1098	1099	1100	1100	1100	1100
120	1100	859	1046	1088	1097	1099	1100	1100	1100	1100	1100
125	1100	874	1052	1090	1098	1100	1100	1100	1100	1100	1100
130	1100	888	1058	1092	1098	1100	1100	1100	1100	1100	1100
135	1100	901	1063	1093	1099	1100	1100	1100	1100	1100	1100
140	1100	913	1068	1094	1099	1100	1100	1100	1100	1100	1100
145	1100	925	1071	1095	1099	1100	1100	1100	1100	1100	1100
150	1100	935	1075	1096	1099	1100	1100	1100	1100	1100	1100
155	1100	946	1078	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
160	1100	955	1080	1097	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
165	1100	964	1083	1098	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
170	1100	972	1085	1098	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
175	1100	980	1087	1099	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
180	1100	988	1088	1099	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100

续表 C. 2. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0	20	20	20	20	600	20	20	20	20	20	20
5	947	428	454	479	502	524	545	565	583	601	618
10	1034	717	747	774	798	819	838	855	871	885	897
15	1071	888	913	934	951	966	979	990	999	1007	1014
20	1087	986	1003	1017	1028	1037	1045	1051	1056	1060	1063
25	1095	1039	1051	1059	1066	1071	1075	1078	1081	1082	1084
30	1098	1068	1075	1080	1084	1087	1089	1090	1092	1092	1093
35	1099	1083	1088	1091	1093	1094	1095	1096	1096	1097	1097
40	1100	1091	1094	1095	1097	1097	1098	1098	1098	1099	1099
45	1100	1096	1097	1098	1098	1099	1099	1099	1099	1099	1099
50	1100	1098	1099	1099	1099	1099	1100	1100	1100	1100	1100
55	1100	1099	1099	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
60	1100	1099	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
65	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
70	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
75	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
80	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
85	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
90	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
95	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
105	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
110	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
115	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100

续表 C. 2. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
120	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
125	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
130	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
135	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
140	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
145	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
150	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
155	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
160	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
165	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
170	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
175	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
180	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0	20	20	20	20	600	20	20	20	20	20	20
5	947	633	648	662	676	689	701	712	723	733	743
10	1034	908	918	927	935	943	949	955	960	965	970
15	1071	1019	1024	1029	1033	1036	1039	1041	1043	1045	1047
20	1087	1066	1068	1070	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078
25	1095	1085	1086	1087	1088	1088	1089	1089	1090	1090	1090
30	1098	1094	1094	1094	1095	1095	1095	1095	1096	1096	1096
35	1099	1097	1097	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098

续表 C. 2. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
40	1100	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099
45	1100	1099	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
50	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
55	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
60	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
65	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
70	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
75	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
80	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
85	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
90	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
95	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
105	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
110	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
115	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
120	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
125	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
130	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
135	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
140	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
145	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
150	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
155	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100

续表 C. 2. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
160	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
165	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
170	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
175	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
180	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
0	20	20	20	20	600	20	20	20	20	20	20
5	947	752	760	769	776	784	791	797	804	810	815
10	1034	974	977	981	984	986	989	991	993	995	997
15	1071	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1056	1057
20	1087	1078	1079	1079	1080	1080	1080	1081	1081	1081	1081
25	1095	1091	1091	1091	1091	1091	1091	1092	1092	1092	1092
30	1098	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096
35	1099	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098
40	1100	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099	1099
45	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
50	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
55	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
60	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
65	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
70	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
75	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100

续表 C. 2. 1

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_1/V(\text{m}^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
80	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
85	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
90	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
95	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
105	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
110	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
115	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
120	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
125	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
130	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
135	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
140	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
145	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
150	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
155	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
160	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
165	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
170	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
175	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
180	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100

C. 2. 2 以烃类物质为主的火灾下等效热阻为 $0.5\text{m}^2 \cdot \text{℃}/\text{W}$ 的轻质防火保护钢构件的温度可按表 C. 2. 2 取值。

表 C.2.2 以烃类物质为主的火灾下轻质防火保护钢构件的
温度 (°C); 等效热阻 $0.5\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$

时间 (min)	烟气 温度 (°C)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	20	20	20	20	600	20	20	20	20	20	20
5	947	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
10	1034	22	24	27	29	31	33	36	38	40	42
15	1071	24	27	31	34	38	41	45	48	52	55
20	1087	25	30	35	39	44	49	54	59	63	68
25	1095	26	32	39	45	51	57	63	69	75	81
30	1098	28	35	43	50	58	65	72	79	87	94
35	1099	29	38	47	55	64	73	81	90	98	106
40	1100	30	41	51	61	71	81	90	100	110	119
45	1100	32	43	55	66	77	88	99	110	121	131
50	1100	33	46	59	71	84	96	108	120	132	144
55	1100	34	49	63	77	90	104	117	130	143	156
60	1100	36	51	67	82	97	111	126	140	154	168
65	1100	37	54	71	87	103	119	134	150	165	180
70	1100	38	57	75	92	109	126	143	159	175	191
75	1100	40	59	78	97	116	134	151	169	186	203
80	1100	41	62	82	102	122	141	160	178	196	214
85	1100	43	65	86	107	128	148	168	188	207	225
90	1100	44	67	90	112	134	156	176	197	217	236
95	1100	45	70	94	117	140	163	185	206	227	247
100	1100	47	72	98	122	146	170	193	215	237	258
105	1100	48	75	102	127	153	177	201	224	247	269
110	1100	49	78	105	132	159	184	209	233	256	279

续表 C. 2. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
115	1100	47	72	98	122	146	170	193	215	237	258
120	1100	52	83	113	142	170	198	225	250	276	300
125	1100	53	85	117	147	176	205	232	259	285	310
130	1100	55	88	120	152	182	212	240	268	294	320
135	1100	56	91	124	157	188	218	248	276	303	330
140	1100	57	93	128	161	194	225	255	284	313	340
145	1100	59	96	132	166	200	232	263	293	321	349
150	1100	60	98	135	171	205	238	270	301	330	359
155	1100	61	101	139	176	211	245	278	309	339	368
160	1100	63	103	143	180	217	251	285	317	348	377
165	1100	64	106	146	185	222	258	292	325	356	387
170	1100	65	108	150	190	228	264	299	333	365	396
175	1100	67	111	154	194	233	271	306	341	373	405
180	1100	68	114	157	199	239	277	313	348	382	413
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0	20	20	20	20	600	20	20	20	20	20	20
5	947	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
10	1034	44	47	49	51	53	55	57	59	62	64
15	1071	58	62	65	69	72	75	79	82	85	89
20	1087	73	77	82	86	91	96	100	105	109	114
25	1095	87	93	98	104	110	116	121	127	133	138
30	1098	101	108	115	122	129	136	142	149	156	162

续表 C. 2. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
35	1099	115	123	131	139	147	155	163	171	178	186
40	1100	128	138	147	156	165	174	183	192	200	209
45	1100	142	152	163	173	183	193	202	212	222	231
50	1100	155	167	178	189	200	211	222	232	243	253
55	1100	168	181	193	205	217	229	241	252	263	274
60	1100	181	195	208	221	234	246	259	271	283	295
65	1100	194	209	223	237	250	264	277	290	303	315
70	1100	207	222	237	252	266	281	295	308	322	335
75	1100	219	235	251	267	282	297	312	326	341	354
80	1100	231	248	265	282	298	313	329	344	359	373
85	1100	244	261	279	296	313	329	345	361	376	391
90	1100	255	274	292	310	328	345	361	378	394	409
95	1100	267	287	306	324	342	360	377	394	411	427
100	1100	279	299	319	338	357	375	393	410	427	444
105	1100	290	311	332	351	371	390	408	426	443	460
110	1100	301	323	344	365	385	404	423	441	459	476
115	1100	279	299	319	338	357	375	393	410	427	444
120	1100	324	346	369	390	411	432	451	471	489	507
125	1100	334	358	381	403	424	445	465	485	504	522
130	1100	345	369	393	415	437	458	479	499	518	537
135	1100	356	380	404	427	450	471	492	512	532	551
140	1100	366	391	416	439	462	484	505	526	546	565
145	1100	376	402	427	451	474	496	518	539	559	578
150	1100	386	413	438	462	486	509	530	551	572	591

续表 C. 2. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
155	1100	396	423	449	474	498	521	543	564	584	604
160	1100	406	433	459	485	509	532	555	576	597	617
165	1100	416	443	470	496	520	544	566	588	609	629
170	1100	425	453	480	506	531	555	578	600	620	641
175	1100	434	463	491	517	542	566	589	611	632	652
180	1100	444	473	501	527	552	577	600	622	643	663
时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0	20	20	20	20	600	20	20	20	20	20	20
5	947	41	42	43	44	45	46	46	47	48	49
10	1034	66	68	70	72	74	77	79	81	83	85
15	1071	92	95	99	102	105	108	112	115	118	121
20	1087	118	123	127	131	136	140	144	149	153	157
25	1095	144	149	155	160	166	171	176	182	187	192
30	1098	169	175	182	188	195	201	208	214	220	226
35	1099	193	201	208	216	223	230	238	245	252	259
40	1100	217	226	234	242	251	259	267	275	283	290
45	1100	241	250	259	268	277	286	295	304	312	321
50	1100	263	273	283	293	303	313	322	332	341	350
55	1100	285	296	307	318	328	338	348	358	368	378
60	1100	307	319	330	341	352	363	374	384	395	405
65	1100	328	340	352	364	376	387	398	410	420	431
70	1100	348	361	374	386	398	410	422	434	445	456

续表 C. 2. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
75	1100	368	382	395	408	420	433	445	457	469	480
80	1100	387	401	415	429	442	455	467	480	492	504
85	1100	406	421	435	449	462	476	489	501	514	526
90	1100	425	439	454	468	482	496	509	522	535	548
95	1100	442	458	473	487	502	516	529	543	556	568
100	1100	460	475	491	506	520	535	549	562	575	588
105	1100	477	493	508	524	539	553	567	581	594	607
110	1100	493	510	526	541	556	571	585	599	613	626
115	1100	460	475	491	506	520	535	549	562	575	588
120	1100	525	542	558	574	590	605	619	634	647	661
125	1100	540	557	574	590	606	621	636	650	664	677
130	1100	555	572	589	605	621	637	651	666	680	693
135	1100	569	587	604	620	636	652	667	681	695	708
140	1100	583	601	618	635	651	666	681	696	710	723
145	1100	597	615	632	649	665	680	695	710	724	737
150	1100	610	628	646	662	678	694	709	723	737	751
155	1100	623	641	659	676	692	707	722	737	751	764
160	1100	636	654	671	688	705	720	735	749	763	776
165	1100	648	666	684	701	717	732	747	762	775	789
170	1100	660	678	696	713	729	744	759	774	787	800
175	1100	671	690	707	724	741	756	771	785	799	812
180	1100	683	701	719	736	752	767	782	796	809	822

续表 C. 2. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(\text{m}^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
0	20	20	20	20	600	20	20	20	20	20	20
5	947	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
10	1034	87	89	91	93	95	97	99	101	104	106
15	1071	124	128	131	134	137	140	143	147	150	153
20	1087	161	166	170	174	178	182	187	191	195	199
25	1095	198	203	208	213	218	223	228	233	238	243
30	1098	232	238	244	250	256	262	268	274	280	286
35	1099	266	273	280	286	293	300	306	313	319	326
40	1100	298	306	313	321	328	336	343	350	357	364
45	1100	329	337	346	354	362	370	378	386	393	401
50	1100	359	368	377	385	394	403	411	419	428	436
55	1100	388	397	407	416	425	434	443	451	460	469
60	1100	415	425	435	445	454	464	473	482	491	500
65	1100	442	452	462	473	482	492	502	511	521	530
70	1100	467	478	489	499	509	519	529	539	549	558
75	1100	492	503	514	525	535	546	556	566	575	585
80	1100	515	527	538	549	560	570	581	591	601	611
85	1100	538	550	561	572	583	594	605	615	625	635
90	1100	560	572	583	595	606	617	627	638	648	658
95	1100	581	593	605	616	627	638	649	660	670	680
100	1100	601	613	625	637	648	659	670	681	691	701
105	1100	620	632	645	656	668	679	690	700	711	721
110	1100	639	651	663	675	687	698	709	719	730	740
115	1100	601	613	625	637	648	659	670	681	691	701

续表 C. 2. 2

时间 (min)	烟气 温度 (℃)	防火保护钢构件的截面形状系数 $F_i/V(m^{-1})$									
		310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
120	1100	674	686	699	710	722	733	744	754	765	774
125	1100	690	703	715	727	738	749	760	771	781	791
130	1100	706	719	731	743	754	765	776	786	796	806
135	1100	721	734	746	758	769	780	791	801	811	821
140	1100	736	749	761	772	784	795	805	815	825	835
145	1100	750	763	775	786	797	808	819	829	838	848
150	1100	764	776	788	800	811	821	832	842	851	860
155	1100	777	789	801	812	823	834	844	854	863	872
160	1100	789	801	813	824	835	846	856	865	875	883
165	1100	801	813	825	836	847	857	867	876	886	894
170	1100	813	825	836	847	858	868	878	887	896	904
175	1100	824	836	847	858	868	878	888	897	906	914
180	1100	835	846	858	868	879	888	898	907	915	923

附录 D 火灾下钢管混凝土柱承载力

D.0.1 火灾下圆钢管混凝土柱承载力系数可按表 D.0.1-1 取值;火灾下矩形钢管混凝土柱承载力系数可按表 D.0.1-2 取值。

表 D.0.1-1 火灾下圆钢管混凝土柱承载力系数 k_f

l	C (mm)	受火时间 (小时)											
		0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0
20	942	0.90	0.61	0.46	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24
	1884	0.91	0.64	0.51	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38
	2826	0.92	0.67	0.55	0.50	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.46
	3768	0.93	0.71	0.58	0.52	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50
	4710	0.95	0.75	0.61	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52
	5652	0.96	0.80	0.64	0.56	0.54	0.54	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
	6280	0.97	0.84	0.67	0.59	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53
40	942	0.85	0.47	0.32	0.28	0.25	0.21	0.18	0.14	0.11	0.07	0.03	0.00
	1884	0.87	0.52	0.39	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21
	2826	0.89	0.57	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34
	3768	0.90	0.61	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.42	0.42	0.41
	4710	0.92	0.66	0.47	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44
	5652	0.94	0.73	0.50	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44
	6280	0.95	0.77	0.54	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45
60	942	0.79	0.33	0.28	0.23	0.18	0.14	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
	1884	0.81	0.39	0.36	0.34	0.31	0.29	0.26	0.24	0.21	0.18	0.16	0.13
	2826	0.83	0.43	0.42	0.40	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	0.31	0.30
	3768	0.85	0.47	0.44	0.44	0.43	0.43	0.42	0.41	0.41	0.40	0.39	0.39
	4710	0.88	0.52	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.42	0.42
	5652	0.91	0.58	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43
	6280	0.93	0.64	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43

续表 D. 0. 1-1

l	C (mm)	受火时间 (小时)											
		0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0
80	942	0.72	0.31	0.26	0.20	0.15	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1884	0.74	0.39	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.18	0.15	0.12	0.09
	2826	0.77	0.43	0.42	0.40	0.39	0.37	0.36	0.34	0.33	0.31	0.30	0.28
	3768	0.80	0.46	0.45	0.44	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.40	0.39	0.38
	4710	0.83	0.47	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.42
	5652	0.87	0.48	0.47	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43
	6280	0.89	0.51	0.47	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43

注:1. $\lambda = 4L/D$, 其中 L 为柱的计算长度, D 为柱截面直径。

2. 表内中间值可采用插值法求得。

表 D. 0. 1-2 火灾下矩形钢管混凝土柱承载力系数 k_T

l	C (mm)	受火时间 (小时)											
		0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0
20	1200	0.75	0.43	0.30	0.23	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18
	2400	0.78	0.47	0.32	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21
	3600	0.81	0.51	0.35	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24
	4800	0.84	0.56	0.39	0.29	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25
	6000	0.87	0.62	0.45	0.33	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26
	7200	0.90	0.70	0.52	0.38	0.29	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26
	8000	0.93	0.77	0.59	0.44	0.33	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26
40	1200	0.75	0.43	0.28	0.19	0.17	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08
	2400	0.78	0.47	0.30	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.12	0.11
	3600	0.81	0.51	0.32	0.24	0.23	0.22	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.13
	4800	0.84	0.56	0.36	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15
	6000	0.87	0.62	0.40	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15
	7200	0.90	0.70	0.46	0.31	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15
	8000	0.93	0.77	0.52	0.35	0.24	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16
60	1200	0.77	0.45	0.23	0.16	0.14	0.11	0.19	0.07	0.05	0.02	0.00	0.00
	2400	0.79	0.49	0.24	0.19	0.17	0.14	0.12	0.10	0.08	0.05	0.03	0.01

续表 D. 0. 1-2

l	C (mm)	受火时间 (小时)											
		0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0
60	3600	0.82	0.53	0.26	0.21	0.19	0.17	0.14	0.12	0.10	0.08	0.05	0.03
	4800	0.85	0.58	0.28	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.10	0.08	0.06	0.04
	6000	0.88	0.64	0.31	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.08	0.06	0.05
	7200	0.91	0.72	0.36	0.23	0.20	0.17	0.16	0.13	0.11	0.08	0.06	0.05
	8000	0.93	0.78	0.40	0.24	0.20	0.17	0.16	0.14	0.12	0.09	0.07	0.06
80	1200	0.78	0.40	0.17	0.13	0.10	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	2400	0.81	0.42	0.18	0.16	0.13	0.10	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
	3600	0.83	0.45	0.20	0.17	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00
	4800	0.86	0.49	0.21	0.18	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00
	6000	0.89	0.53	0.22	0.18	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00
	7200	0.92	0.59	0.26	0.18	0.16	0.13	0.10	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00
	8000	0.94	0.64	0.29	0.19	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00

注:1. $\lambda = 2(3)^{0.5}(L/D)$ 或 $\lambda = 2(3)^{0.5}(L/B)$, 其中 L 为柱的计算长度, D 和 B 分别为柱截面长边和短边尺寸。

2. 表内中间值可采用插值法求得。

D. 0. 2 不同荷载比下空心钢管混凝土构件的耐火时间可按表 D. 0. 2 取值。

表 D. 0. 2 不同荷载比下空心钢管混凝土构件的耐火时间 t (min)

等效 外径 (mm)	荷载比 0.3				荷载比 0.4				荷载比 0.5			
	空心率				空心率				空心率			
	0.00	0.25	0.5	0.75	0.00	0.25	0.5	0.75	0.00	0.25	0.5	0.75
200	33	32	30	30	26	26	25	25	22	21	21	20
400	50	41	35	31	35	31	27	25	27	24	22	21
600	96	59	42	33	50	38	31	26	33	28	24	21
800	219	100	53	35	86	51	36	28	44	34	27	22
1000	>240	187	71	39	168	76	42	29	63	41	30	23

续表 D. 0. 2

等效 外径 (mm)	荷载比 0.3				荷载比 0.4				荷载比 0.5			
	空心率				空心率				空心率			
	0.00	0.25	0.5	0.75	0.00	0.25	0.5	0.75	0.00	0.25	0.5	0.75
1200	>240	>240	104	43	>240	126	52	31	102	53	34	25
1400	>240	>240	159	48	>240	216	67	34	183	74	39	26
1600	>240	>240	>240	54	>240	>240	92	36	>240	111	45	27
1800	>240	>240	>240	62	>240	>240	130	39	>240	171	54	29
2000	>240	>240	>240	74	>240	>240	186	43	>240	>240	67	30
等效 外径 (mm)	荷载比 0.6				荷载比 0.7				荷载比 0.8			
	空心率				空心率				空心率			
	0.00	0.25	0.5	0.75	0.00	0.25	0.5	0.75	0.00	0.25	0.5	0.75
200	18	17	17	17	14	14	14	14	11	11	11	11
400	21	19	17	17	16	15	15	14	12	12	11	11
600	25	22	18	18	19	17	16	14	14	13	12	11
800	29	25	18	18	21	19	17	15	15	14	13	11
1000	35	28	19	19	24	20	18	15	16	15	13	12
1200	43	32	20	20	26	22	19	16	18	16	14	12
1400	57	37	20	20	30	24	20	16	19	17	15	12
1600	88	45	21	21	35	27	21	17	21	18	15	13
1800	166	55	22	22	44	29	22	17	23	19	16	13
2000	>240	70	23	23	61	33	24	18	26	20	17	13

注:1. 火灾下构件承载力与常温下相应的承载力的比值。

2. 空心率是空心钢管混凝土构件截面中空管部分的面积与混凝土加空心部分总面积之比。空心率为0时,是实心钢管混凝土构件。

3. 等效外径对于圆形截面取钢管外径;对于多边形截面,按面积相等等效成圆形截面。

D. 0. 3 火灾下内置型钢圆钢管混凝土柱承载力系数可按表 D. 0. 3-1 取值;火灾下内置型钢矩形钢管混凝土柱承载力系数可按表 D. 0. 3-2 取值。

表 D. 0. 3-1 火灾下内置型钢圆钢管混凝土柱承载力系数 k_T

l	C (mm)	受火时间 (小时)											
		0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0
20	628	0.73	0.60	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.28	0.27	0.25	0.23
	942	0.77	0.65	0.56	0.50	0.45	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27
	1884	0.85	0.76	0.69	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.46	0.43	0.41	0.39
	2826	0.88	0.80	0.74	0.68	0.64	0.60	0.57	0.54	0.51	0.49	0.47	0.45
	3768	0.88	0.80	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.52	0.50	0.48	0.46
	4710	0.90	0.83	0.78	0.73	0.69	0.65	0.62	0.59	0.57	0.55	0.52	0.50
	5652	0.99	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.89
40	628	0.65	0.50	0.41	0.35	0.31	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17
	942	0.70	0.55	0.46	0.40	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22	0.20
	1884	0.80	0.68	0.60	0.53	0.49	0.44	0.41	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30
	2826	0.83	0.73	0.65	0.59	0.54	0.50	0.47	0.44	0.42	0.39	0.37	0.36
	3768	0.84	0.73	0.66	0.60	0.55	0.51	0.48	0.45	0.42	0.40	0.38	0.36
	4710	0.86	0.77	0.70	0.64	0.60	0.56	0.52	0.49	0.47	0.45	0.42	0.41
	5652	0.98	0.96	0.95	0.93	0.92	0.91	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84
60	628	0.58	0.42	0.34	0.28	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13
	942	0.63	0.48	0.39	0.33	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16
	1884	0.74	0.61	0.52	0.46	0.41	0.37	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24
	2826	0.78	0.66	0.58	0.52	0.47	0.43	0.39	0.37	0.34	0.32	0.30	0.29
	3768	0.79	0.67	0.59	0.52	0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29
	4710	0.82	0.71	0.63	0.57	0.52	0.48	0.45	0.42	0.39	0.37	0.35	0.33
	5652	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	0.82	0.81	0.79

续表 D. 0. 3-1

l	C (mm)	受火时间 (小时)											
		0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0
80	628	0.47	0.32	0.25	0.21	0.18	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09
	942	0.52	0.37	0.29	0.24	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11
	1884	0.65	0.50	0.41	0.35	0.31	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17
	2826	0.70	0.56	0.47	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21
	3768	0.71	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23	0.21
	4710	0.75	0.62	0.53	0.46	0.42	0.38	0.35	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25
	5652	0.96	0.93	0.90	0.87	0.85	0.82	0.80	0.78	0.77	0.75	0.73	0.72

注:1. $\lambda = 4L/D$, 其中 L 为柱的计算长度, D 为柱截面直径。

2. 表内中间值可采用插值法求得。

表 D. 0. 3-2 火灾下内置型钢矩形钢管混凝土柱承载力系数 k_T

l	C (mm)	受火时间 (小时)											
		0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0
20	800	0.72	0.58	0.49	0.42	0.38	0.34	0.31	0.28	0.26	0.24	0.23	0.21
	1600	0.81	0.70	0.61	0.55	0.50	0.46	0.42	0.39	0.37	0.34	0.32	0.31
	2400	0.86	0.77	0.70	0.64	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46	0.44	0.42	0.40
	3200	0.89	0.80	0.74	0.68	0.64	0.60	0.57	0.54	0.51	0.48	0.46	0.44
	4000	0.89	0.81	0.75	0.69	0.65	0.61	0.57	0.54	0.52	0.49	0.47	0.45
	4800	0.90	0.82	0.76	0.71	0.66	0.63	0.59	0.56	0.54	0.51	0.49	0.47
	6000	0.96	0.93	0.90	0.88	0.86	0.83	0.81	0.79	0.78	0.76	0.74	0.73
40	800	0.66	0.51	0.41	0.35	0.31	0.27	0.25	0.22	0.21	0.19	0.18	0.17
	1600	0.76	0.63	0.54	0.47	0.42	0.38	0.35	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25
	2400	0.82	0.71	0.63	0.57	0.52	0.48	0.44	0.41	0.39	0.36	0.34	0.33
	3200	0.85	0.75	0.68	0.62	0.57	0.53	0.49	0.46	0.43	0.41	0.39	0.37
	4000	0.86	0.76	0.68	0.62	0.58	0.53	0.50	0.47	0.44	0.42	0.40	0.38

续表 D. 0. 3-2

l	C (mm)	受火时间 (小时)											
		0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0
40	4800	0.86	0.77	0.70	0.64	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46	0.44	0.41	0.40
	6000	0.95	0.91	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66
60	800	0.58	0.42	0.33	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13	0.12
	1600	0.69	0.54	0.45	0.39	0.34	0.30	0.28	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19
	2400	0.77	0.64	0.55	0.48	0.43	0.39	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26
	3200	0.80	0.68	0.60	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29
	4000	0.81	0.69	0.61	0.54	0.49	0.45	0.41	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30
	4800	0.82	0.70	0.62	0.56	0.51	0.47	0.43	0.40	0.38	0.35	0.33	0.32
	6000	0.93	0.88	0.83	0.79	0.76	0.72	0.70	0.67	0.64	0.62	0.60	0.58
80	800	0.49	0.34	0.26	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11	0.11	0.10	0.09
	1600	0.61	0.46	0.37	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14
	2400	0.70	0.55	0.46	0.40	0.35	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20
	3200	0.74	0.60	0.51	0.44	0.39	0.36	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23
	4000	0.75	0.61	0.52	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.25	0.23
	4800	0.76	0.63	0.54	0.47	0.42	0.38	0.35	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25
	6000	0.90	0.83	0.78	0.73	0.69	0.65	0.62	0.59	0.56	0.54	0.52	0.50

注:1. $\lambda = 2(3)^{0.5}(L/D)$ 或 $\lambda = 2(3)^{0.5}(L/B)$, 其中 L 为柱的计算长度, D 和 B 分别为柱截面长边和短边尺寸。

2. 表内中间值可采用插值法求得。

D. 0. 4 钢管混凝土圆形截面柱用金属网抹 M5 普通水泥砂浆作保护层的保护层厚度可按表 D. 0. 4-1 取值;钢管混凝土矩形截面柱用金属网抹 M5 普通水泥砂浆作保护层的保护层厚度可按表 D. 0. 4-2 取值;钢管混凝土圆形截面柱用非膨胀型防火涂料作保护层的保护层厚度可按表 D. 0. 4-3 取值;钢管混凝土矩形截面柱用非膨胀型防火涂料作保护层的保护层厚度可按表 D. 0. 4-4 取值。

表 D. 0. 4-1 钢管混凝土圆形截面柱用金属网抹 M5
普通水泥砂浆作保护层的保护层厚度

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土圆形截面柱用金属网抹 M5 普通水泥砂浆作保护层,其厚度 a (mm) 为:					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
22	32	43	51	$D = 200\text{mm}$	1.0
30	42	57	68		1.5
35	51	68	81		2.0
41	58	78	93		2.5
46	66	89	106		3.0
20	29	41	50	$D = 300\text{mm}$	1.0
26	39	54	67		1.5
31	46	65	80		2.0
36	53	74	92		2.5
41	60	84	104		3.0
18	27	39	50	$D = 400\text{mm}$	1.0
24	36	52	66		1.5
29	44	62	79		2.0
33	50	72	91		2.5
37	57	81	103		3.0
17	26	38	49	$D = 500\text{mm}$	1.0
22	35	51	66		1.5
27	42	61	79		2.0
31	48	70	90		2.5
35	54	79	102		3.0

续表 D. 0. 4-1

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土圆形截面柱用金属网抹 M5 普通水泥砂浆作保护层,其厚度 a (mm) 为:					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
16	25	37	49	$D = 600\text{mm}$	1.0
21	33	49	65		1.5
25	40	59	78		2.0
29	46	68	90		2.5
33	52	77	102		3.0
15	24	37	49	$D = 700\text{mm}$	1.0
20	32	48	65		1.5
24	39	58	78		2.0
28	44	67	89		2.5
31	50	76	101		3.0
15	24	36	49	$D = 800\text{mm}$	1.0
20	31	48	65		1.5
24	38	57	77		2.0
28	43	66	89		2.5
31	49	74	101		3.0
14	23	35	48	$D = 900\text{mm}$	1.0
19	31	47	64		1.5
22	37	56	77		2.0
26	42	65	88		2.5
29	48	73	100		3.0
14	22	35	48	$D = 1000\text{mm}$	1.0
18	30	46	64		1.5

续表 D.0.4-1

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土圆形截面柱用金属网抹 M5 普通水泥砂浆作保护层,其厚度 a (mm)为:					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
22	36	56	77	$D = 1000\text{mm}$	2.0
25	41	64	88		2.5
28	47	72	100		3.0
13	22	34	48	$D = 1100\text{mm}$	1.0
18	29	46	64		1.5
21	35	55	77		2.0
24	40	63	88		2.5
27	46	71	100		3.0
13	22	34	48	$D = 1200\text{mm}$	1.0
17	29	45	64		1.5
20	34	54	76		2.0
24	40	62	88		2.5
27	45	71	99		3.0
13	21	34	48	$D = 1300\text{mm}$	1.0
17	28	45	63		1.5
20	34	54	76		2.0
23	39	62	87		2.5
26	44	70	99		3.0
12	21	33	48	$1400\text{mm} \leq D$ $\leq 2000\text{mm}$	1.0
16	28	44	63		1.5
20	33	53	76		2.0
22	38	61	87		2.5
25	43	69	99		3.0

注: $\lambda = 4L/D$,其中 L 为柱的计算长度, D 为柱截面直径。

表 D. 0. 4-2 钢管混凝土矩形截面柱用金属网抹 M5
普通水泥砂浆作保护层的保护层厚度

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土矩形截面柱用金属网抹 M5 普通水泥砂浆作保护层,其厚度 a (mm) 为					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
47	49	51	54	$B = 200\text{mm}$	1.0
62	65	68	71		1.5
78	81	85	88		2.0
93	97	101	106		2.5
108	113	118	123		3.0
42	44	46	48	$B = 300\text{mm}$	1.0
55	58	60	63		1.5
69	72	75	79		2.0
82	86	90	94		2.5
96	100	105	110		3.0
38	40	42	44	$B = 400\text{mm}$	1.0
51	53	56	58		1.5
63	66	69	73		2.0
75	79	83	87		2.5
88	92	96	101		3.0
36	38	39	41	$B = 500\text{mm}$	1.0
47	50	52	55		1.5
59	62	65	68		2.0
70	74	78	82		2.5
82	86	90	95		3.0

续表 D. 0. 4-2

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土矩形截面柱用金属网抹 M5 普通水泥砂浆作保护层,其厚度 a (mm) 为					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
34	36	37	39	$B = 600\text{mm}$	1.0
45	47	50	52		1.5
56	59	62	65		2.0
67	70	74	78		2.5
78	82	86	90		3.0
32	34	36	38	$B = 700\text{mm}$	1.0
43	45	47	50		1.5
53	56	59	62		2.0
64	67	71	74		2.5
74	78	82	86		3.0
31	33	34	36	$B = 800\text{mm}$	1.0
41	43	46	48		1.5
51	54	57	60		2.0
61	64	68	72		2.5
71	75	79	83		3.0
30	32	33	35	$B = 900\text{mm}$	1.0
40	42	44	46		1.5
49	52	55	58		2.0
59	62	66	69		2.5
69	72	76	81		3.0
29	31	32	34	$B = 1000\text{mm}$	1.0
38	40	43	45		1.5

续表 D. 0. 4-2

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土矩形截面柱用金属网抹 M5 普通水泥砂浆作保护层,其厚度 a (mm) 为					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
48	50	53	56	$B = 1000\text{mm}$	2.0
57	60	64	67		2.5
67	70	74	78		3.0
28	30	31	33	$B = 1100\text{mm}$	1.0
37	39	42	44		1.5
46	49	52	55		2.0
56	59	62	65		2.5
65	68	72	76		3.0
27	29	31	32	$B = 1200\text{mm}$	1.0
36	38	41	43		1.5
45	48	50	53		2.0
54	57	60	64		2.5
63	67	70	74		3.0
27	28	30	32	$B = 1300\text{mm}$	1.0
35	37	40	42		1.5
44	47	49	52		2.0
53	56	59	62		2.5
61	65	69	73		3.0
26	28	29	31	$1400\text{mm} \leq B$ $\leq 2000\text{mm}$	1.0
35	37	39	41		1.5
43	46	48	51		2.0
52	55	58	61		2.5
60	64	67	71		3.0

注: $\lambda = 2(3)^{0.5}(L/D)$ 或 $\lambda = 2(3)^{0.5}(L/B)$, 其中 L 为柱的计算长度, D 和 B 分别为柱截面长边和短边尺寸。

表 D. 0. 4-3 钢管混凝土圆形截面柱用非膨胀型防火
涂料作保护层的保护层厚度

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土圆形截面柱用非膨胀型 防火涂料作保护层,其厚度 a (mm) 为					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
6	8	10	13	$D = 200\text{mm}$	1.0
8	11	13	17		1.5
10	13	17	21		2.0
12	16	20	25		2.5
14	18	23	30		3.0
6	7	9	12	$D = 300\text{mm}$	1.0
8	10	13	16		1.5
9	12	16	20		2.0
11	14	19	24		2.5
13	17	22	28		3.0
5	7	9	12	$D = 400\text{mm}$	1.0
7	9	12	16		1.5
9	11	15	19		2.0
10	14	18	23		2.5
12	16	21	27		3.0
5	7	9	11	$D = 500\text{mm}$	1.0
7	9	12	15		1.5
8	11	14	19		2.0
10	13	17	23		2.5
12	15	20	26		3.0

续表 D. 0. 4-3

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土圆形截面柱用非膨胀型 防火涂料作保护层,其厚度 a (mm)为					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
5	6	8	11	$D = 600\text{mm}$	1.0
6	8	11	15		1.5
8	11	14	18		2.0
9	13	17	22		2.5
11	15	19	26		3.0
5	6	8	11	$D = 700\text{mm}$	1.0
6	8	11	15		1.5
8	10	14	18		2.0
9	12	16	22		2.5
11	14	19	25		3.0
5	6	8	11	$D = 800\text{mm}$	1.0
6	8	11	14		1.5
7	10	13	18		2.0
9	12	16	21		2.5
10	14	19	25		3.0
4	6	8	11	$D = 900\text{mm}$	1.0
6	8	10	14		1.5
7	10	13	18		2.0
9	12	16	21		2.5
10	14	18	25		3.0
4	6	8	10	$D = 1000\text{mm}$	1.0
6	8	10	14		1.5
7	9	13	17		2.0

续表 D. 0. 4-3

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土圆形截面柱用非膨胀型 防火涂料作保护层,其厚度 a (mm) 为					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
8	11	16	21	$D = 1000\text{mm}$	2.5
10	13	18	24		3.0
4	6	8	10	$D = 1100\text{mm}$	1.0
6	7	10	14		1.5
7	9	13	17		2.0
8	11	15	20		2.5
10	13	18	24		3.0
4	6	8	10	$D = 1200\text{mm}$	1.0
5	7	10	14		1.5
7	9	12	17		2.0
8	11	15	20		2.5
9	12	17	24		3.0
4	5	7	10	$D = 1300\text{mm}$	1.0
5	7	10	13		1.5
7	9	12	17		2.0
8	11	15	20		2.5
9	13	17	23		3.0
4	5	7	10	$1400\text{mm} \leq D \leq 2000\text{mm}$	1.0
5	7	10	13		1.5
6	9	12	17		2.0
8	11	15	20		2.5
9	12	17	23		3.0

注: $\lambda = 4L/D$,其中 L 为柱的计算长度, D 为柱截面直径。

表 D. 0. 4-4 钢管混凝土矩形截面柱用非膨胀型防火
涂料作保护层的保护层厚度

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土矩形截面柱用非膨胀型防火 涂料作保护层,其厚度 a (mm) 为					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
9	8	9	10	$B = 200\text{mm}$	1.0
13	12	12	14		1.5
16	15	16	19		2.0
20	19	20	23		2.5
24	24	24	27		3.0
7	7	7	8	$B = 300\text{mm}$	1.0
11	10	10	12		1.5
14	13	13	16		2.0
17	16	16	19		2.5
20	19	20	23		3.0
7	6	6	7	$B = 400\text{mm}$	1.0
9	9	9	11		1.5
12	11	12	14		2.0
15	14	15	17		2.5
18	16	17	20		3.0
6	6	6	7	$B = 500\text{mm}$	1.0
9	8	8	10		1.5
11	10	11	13		2.0
14	13	13	16		2.5
16	15	16	18		3.0
6	5	5	6	$B = 600\text{mm}$	1.0
8	7	8	9		1.5

续表 D. 0. 4-4

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土矩形截面柱用非膨胀型防火 涂料作保护层,其厚度 a (mm) 为					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
10	9	10	12	$B = 600\text{mm}$	2.0
13	12	12	14		2.5
15	14	16	17		3.0
5	5	5	6	$B = 700\text{mm}$	1.0
7	7	7	8		1.5
10	9	9	11		2.0
12	11	11	13		2.5
14	13	13	16		3.0
5	5	5	6	$B = 800\text{mm}$	1.0
7	6	7	8		1.5
9	8	9	10		2.0
11	10	11	13		2.5
13	12	13	15		3.0
5	4	5	5	$B = 900\text{mm}$	1.0
7	6	6	8		1.5
9	8	8	10		2.0
10	10	10	12		2.5
12	11	12	14		3.0
4	4	4	5	$B = 1000\text{mm}$	1.0
6	6	6	7		1.5
8	8	8	9		2.0
10	9	10	12		2.5
12	11	11	14		3.0

续表 D. 0. 4-4

构件名称				结构厚度或截面 最小尺寸 (mm)	耐火极限 (h)
有保护层的钢管混凝土矩形截面柱用非膨胀型防火 涂料作保护层,其厚度 a (mm) 为					
$\lambda = 20$	$\lambda = 40$	$\lambda = 60$	$\lambda = 80$		
4	4	4	5	$B = 1100\text{mm}$	1.0
6	6	6	7		1.5
8	7	8	9		2.0
10	9	9	11		2.5
11	10	11	13		3.0
4	4	4	5	$B = 1200\text{mm}$	1.0
6	5	6	7		1.5
8	7	7	9		2.0
9	9	9	11		2.5
11	10	11	13		3.0
4	4	4	5	$B = 1300\text{mm}$	1.0
6	5	5	7		1.5
7	7	7	8		2.0
9	8	8	10		2.5
11	10	10	12		3.0
4	4	4	4	$1400\text{mm} \leq B$ $\leq 2000\text{mm}$	1.0
5	5	5	6		1.5
7	6	7	8		2.0
9	8	8	10		2.5
10	9	10	12		3.0

注: $\lambda = 2(3)^{0.5}(L/D)$ 或 $\lambda = 2(3)^{0.5}(L/B)$, 其中 L 为柱的计算长度, D 和 B 分别为柱截面长边和短边尺寸。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《工程结构通用规范》GB 55001
- 2 《组合结构通用规范》GB 55004
- 3 《钢结构通用规范》GB 55006
- 4 《砌体结构通用规范》GB 55007
- 5 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- 6 《建筑防火通用规范》GB 55037
- 7 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 8 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 9 《建筑设计防火规范》GB 50016
- 10 《钢结构设计标准》GB 50017
- 11 《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203
- 12 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 13 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 14 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 15 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936
- 16 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249
- 17 《建筑防火封堵应用技术标准》GB/T 51410
- 18 《建筑构件耐火试验方法 第1部分:通用要求》GB/T 9978.1
- 19 《建筑构件耐火试验方法 第2部分:耐火试验试件受火作用均匀性的测量指南》GB/T9978.2
- 20 《建筑构件耐火试验方法 第3部分:试验方法和试验数据应用注释》GB/T 9978.3

21 《建筑构件耐火试验方法 第4部分:承重垂直分隔构件的特殊要求》GB/T 9978.4

22 《建筑构件耐火试验方法 第5部分:承重水平分隔构件的特殊要求》GB/T 9978.5

23 《建筑构件耐火试验方法 第6部分:梁的特殊要求》GB/T 9978.6

24 《建筑构件耐火试验方法 第7部分:柱的特殊要求》GB/T 9978.7

25 《建筑构件耐火试验方法 第8部分:非承重垂直分隔构件的特殊要求》GB/T 9978.8

26 《耐火耐候结构钢》GB/T 41324

27 《钢结构防火保护板》XF/T 3012

28 《钢管混凝土结构技术规程》DB 62/T25 - 3041

29 《钢结构防火涂料应用技术规程》T/CECS 24

甘肃省地方标准

建筑钢结构防火技术标准

DB62/T 3237-2023

条文说明

甘肃省住房和城乡建设厅信息公开

浏览专用

目 次

1	总则	165
2	术语和符号	168
2.1	术语	168
2.2	符号	169
3	基本规定	170
3.1	防火要求	170
3.2	防火设计	173
3.3	火灾升温曲线	175
4	材料特性	178
4.1	钢材	178
4.2	混凝土	184
4.3	防火保护材料	185
5	钢结构耐火验算与防火保护设计	188
5.1	耐火验算步骤	188
5.2	防火保护方法	188
5.3	钢构件升温计算	194
5.4	钢结构耐火验算与防火保护设计	201
I	基本钢构件	201
II	钢框架梁、柱	202
6	钢管混凝土柱的耐火验算与防火保护设计	204
6.1	防火保护方法	204

6.2	钢管混凝土柱的耐火验算	204
6.3	结构防火保护构造	218
7	防火保护工程的施工、验收与维护	219
7.1	一般规定	219
7.2	防火保护材料进场	221
7.3	防火涂料保护工程的施工	221
I	一般要求	221
II	主控项目	222
III	一般项目	224
7.4	其他防火保护工程的施工	224
7.5	防火保护工程的验收与维护管理	224

1 总 则

1.0.1 钢结构自重轻、强度高、抗震性能好,工业化生产程度高,施工速度快,可回收再利用,是主要建筑结构形式之一。但与钢筋混凝土结构相比,钢材不但热传导系数大,火灾下钢构件升温快,而且钢材强度随温度升高而迅速降低。因此,钢结构的耐火性能较差,无防火保护的钢结构的耐火时间通常仅为 15min ~ 20min。为了防止和减少建筑钢结构的火灾危害,保护人身和财产安全,必须进行防火设计,采取安全可靠、经济合理的防火保护措施。

本标准以《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 为基础进行编制,主要技术变化如下:

(1)与《工程结构通用规范》GB 55001 - 2021、《钢结构通用规范》GB 55006 - 2021,以及《钢结构设计标准》GB 50017 - 2017 进行了协调;

(2)与《钢结构防火涂料》GB14907 - 2018 进行了协调,纳入了《钢结构防火涂料应用技术规程》T/CECS 24 - 2020 的部分内容;

(3)推荐采用承载力法进行耐火验算;

(4)为便于设计,将难以手算的部分迭代计算公式或较复杂的公式进行计算后以表格的形式给出了数据;

(5)依据《钢结构设计标准》GB 50017 - 2017,对《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 第 7 章的部分设计公式进行了更新;

(6)依据《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 - 2014 和甘肃

省《钢管混凝土结构技术规程》DB62/T 25-3041 - 2009,对钢管混凝土柱耐火设计方法进行了细化和补充;

(7)结合甘肃省的地理、气候特点和钢结构防火涂料的供应现状,对防火涂料的相关部分进行了细化;

(8)对防火保护提出了维护的要求。

1.0.2 本标准适用于建筑钢结构和钢管混凝土柱。不适用于压型钢板-混凝土组合楼板和钢-混凝土组合梁、内置型钢混凝土构件、钢板剪力墙等组合构件。当建筑中压型钢板-混凝土组合楼板和钢-混凝土组合梁、内置型钢混凝土构件、钢板剪力墙等组合构件时,可执行《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017。除特别说明外,本标准所称的“钢结构”,也包括钢管混凝土柱这类组合构件。

1.0.3 建筑高度大于 250m 的民用建筑,一旦发生火灾,往往燃烧时间长,扑救难度大,其主要承重构件应具备更高的耐火性能。依据住房和城乡建设部办公厅《关于做好建筑高度大于 250 米民用建筑防火设计研究论证的通知》(建办科〔2021〕3 号),对于建筑高度大于 250m 民用建筑的防火设计加强性措施,应由省级建设工程消防设计审查主管部门负责组织开展研究论证,研究论证意见作为出具消防设计审查意见的依据之一。

1.0.4 与本标准有关的国家标准、行业标准和地方标准主要有:《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017、《建筑设计防火规范》GB 50016 - 2014(2018 年版)、《钢结构设计标准》GB 50017 - 2017、《建筑构件耐火试验方法 第 1 部分:通用要求》GB/T 9978. 1 - 2008、《钢结构防火涂料》GB 14907 - 2018、《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 - 2013、《建筑防火封堵应用技术标准》GB/T 51410 - 2020、《工程结构通用规范》GB 55001 - 2021、《混凝土结构通用规范》GB 55008 - 2021、《钢结构通用规范》GB

55006 - 2021、《组合结构通用规范》GB 55004 - 2021、《砌体结构通用规范》GB 55007 - 2021、《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》GB 55032 - 2022、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 - 2014、甘肃省《钢管混凝土结构技术规程》DB62/T 25-3041 - 2009 等。

甘肃省住房和城乡建设厅信息中心
浏览专用

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 耐火钢通常按结构钢的规格、等级研制生产,且要求其常温下的机械性能、可焊性、施工性等与结构钢基本一致,以方便应用。耐火钢不同于耐热钢。耐热钢对钢的高温性能,如高温持久强度、蠕变强度等有严格的要求,而耐火钢只要求在构件设计耐火时间内(一般不大于3.0h)能保持较高的强度即可。耐火钢的合金元素含量稍高于结构钢,但比同强度级别的耐热钢低得多。因此,耐火钢的热膨胀系数、热传导系数、比热容等热物理参数与结构钢的差别很小。耐火钢按《耐火耐候结构钢》GB/T 41324 - 2022 执行。

2.1.4 不同耐火试验标准规定的火灾升温曲线可能存在差异。《建筑构件耐火试验方法 第1部分:通用要求》GB/T 9978.1 - 2008 规定的火灾升温曲线适用于以纤维类可燃物为主的建筑火灾。《建筑构件耐火试验 可供选择和附加的试验程序》GB/T 26784 - 2011 规定了其他特定火灾条件的火灾升温曲线,包括碳氢(HC)升温曲线、室外火灾升温曲线、隧道火灾 RABT-ZTV 升温曲线等。在本标准中,除特别注明外,标准火灾升温曲线即为GB/T 9978.1 - 2008 所规定的标准火灾升温曲线。

2.1.6 标准火灾升温曲线有时与真实火灾下的升温曲线相差甚远,为更好地反映真实火灾对构件的破坏程度,同时又保持标准升温曲线的实用性,提出了等效曝火时间的概念,通过等效曝火时间

将真实火灾与标准火灾联系起来。等效曝火时间的确定原则为,实际火灾对构件的破坏程度可等效成在标准火灾作用“等效曝火时间”后对该构件的破坏程度。构件的破坏程度一般可用构件在火灾下的温度来衡量。

2.1.7 因构件温度变化所产生的结构内力和变形可分为两个方面:一是结构材料的力学性能(强度、弹性模量等)的变化,引起的结构内力重分布及变形变化;二是结构材料热膨胀导致的结构内力和变形。

2.1.10 对于四面均匀受火且截面形状系数大于 10 的钢构件,其截面温度可近似为均匀分布进行计算。这类构件的临界温度可取构件达到耐火极限承载力状态时最不利截面的平均温度。对于非均匀受火的钢构件,其临界温度则应取最不利截面上关键部件的平均温度。例如,三面受火的钢梁、钢与混凝土组合梁的临界温度应取受火的下翼缘与腹板的平均温度。

2.2 符 号

符号主要参照现行国家标准《工程结构设计通用符号标准》GB/T 50132 - 2014 和《工程结构设计基本术语标准》GB/T 50083 - 2014、《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 - 2018、《建筑结构荷载规范》GB 50009 - 2012、《消防词汇 第 1 部分 通用术语》GB/T 5907.1 - 2014 等的规定编写,并根据需要增加了一些内容。这些符号都是本标准各章节中所引用的。

3 基本规定

3.1 防火要求

3.1.1 表 3.1.1 以《建筑设计防火规范》GB 50016 - 2014 (2018 年版)为主,给出了各类构件的最低耐火极限要求。由于耐火等级为三级、四级的钢结构建筑很少使用,故本标准未给出耐火等级为三级、四级的耐火极限。通常无防火保护钢构件的耐火时间为 0.25h ~ 0.50h,达不到绝大部分建筑构件的设计耐火极限,需要进行防火保护。防火保护应根据工程实际选用合理的防火保护方法、材料和构造措施。

结合钢结构特点,本条补充增加了柱间支撑、楼盖支撑、屋盖支撑等的规定。

根据受力性质不同,屋盖结构中的檩条可分为两类。第一类檩条仅对屋面板起支承作用。对屋盖结构整体受力性能影响很小,即使在火灾中出现破坏,也不会造成结构整体失效。对于这类檩条,其耐火极限可不作要求。第二类檩条除支承屋面板外,还兼作纵向系杆,对屋架等起到侧向支撑作用;或者作为横向水平支撑开间的腹杆。檩条破坏可能导致主体结构失去整体稳定性,造成整体倾覆。因此,此类檩条应视为屋盖主要结构体系的一个组成部分。

对于落地网格结构、落地拱、落地桁架等,构件的耐火极限由设计单位综合考虑各种因素确定。

3.1.2 本条与《钢结构通用规范》GB 55006 - 2021 的第 6.3.3 条

基本一致。

钢结构防火设计主要是针对不同构件采取相应的防火措施,使实际耐火极限达到设计耐火极限。关于实际耐火极限的确定,现行标准的要求如下:《钢结构设计标准》GB 50017-2017 第 18.1.3 条规定:“钢构件的耐火时间不能达到规定的设计耐火极限要求时,应进行防火保护设计。建筑钢结构应按现行国家标准建筑《钢结构防火技术规范》GB 51249 进行抗火性能验算”。《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017 第 3.2.1 条要求:“钢结构应按结构耐火承载力极限状态进行耐火验算与防火设计”。《钢结构通用规范》GB 55006-2021 第 6.3.3 条规定:“钢结构应根据设计耐火极限采取相应的防火保护措施,或进行耐火验算与防火设计。耐火极限经验算低于设计耐火极限时,应采取防火保护措施”。《建筑设计防火规范》GB 50016-2014(2018 年版)附表 1 给出了“各类建筑构件的燃烧性能和耐火极限”,对于有保护层的钢梁、钢柱和钢管混凝土柱,可以查表确定耐火极限。《建筑防火通用规范》GB 55037-2022 第 5.1.4 条规定,建筑中承重的金属结构或构件、组合结构或构件,应根据设计耐火极限和受力情况等,进行耐火性能验算和防火保护设计,或采用耐火试验验证其耐火性能。

钢结构在火灾下的破坏,本质上是由于随着火灾下钢结构温度的升高,钢材强度下降,其承载力随之下降,致使钢结构不能承受外部作用而失效破坏。钢结构的耐火极限不但与保护层类型、厚度等有关,而且与实际火灾升温曲线、钢材类型和构件的截面形状系数、荷载比等有关。《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017 耐火验算的核心是标准火灾升温曲线下钢构件的升温计算,钢构件的升温与防火保护层的等效热传导系数(非膨胀型防火涂料、防火板等)或等效热阻(膨胀型防火涂料)有关。《建筑钢结

构防火技术规范》GB 51249 - 2017 给出了涂覆防火涂料时的计算方法,需要依赖于进行标准耐火试验后得到的钢试件实测升温曲线。但《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 尚没有给出采用其他防火措施,如包覆防火板、包覆柔性毡状隔热材料 and 外包混凝土、金属网抹砂浆或砌筑砌体时计算等效热传导系数的方法。

3.1.3 火灾下钢结构节点受力复杂,节点处构件、节点板、加劲肋等聚集,其截面形状系数小于邻近构件,节点升温较慢。为了简化设计,基于“强节点、弱构件”的设计原则,规定节点的防火保护要求及其耐火性能均不应低于被连接构件中要求最高者。

3.1.4 本条引用了《建筑设计防火规范》GB 50016 - 2014 (2018年)的规定。自动喷水、水喷雾、七氟丙烷、二氧化碳、泡沫、干粉、细水雾、固定水炮灭火系统等及其他自动灭火装置,对于扑救和控制建筑物内的初起火,减少损失、保障人身安全,具有十分明显的作用。当建筑采用自动灭火系统时,可根据相关规范降低防火保护措施。

3.1.5 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

防火设计文件包括图纸和计算书。防火设计文件应给出:防火保护层的等效热阻、防火保护材料的等效热传导系数、防火保护层的厚度、防火保护的构造、施工及维护要求等。

3.1.6 由于建筑功能的需要,供暖、通风和空调系统管道、给排水管道、热力管道、其他输送各类生产介质的管道和电线电缆等管线需要贯穿楼板、梁柱和墙体,同时建筑中还存在防震缝以及楼板和墙体之间等的缝隙。这些缝隙、贯穿孔口应按《建筑防火封堵应用技术标准》GB/T 51410 - 2020 采取防火封堵措施。

3.2 防火设计

3.2.1 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 – 2017 的规定。

钢结构在火灾下的作用效应组合是根据《工程结构通用规范》GB 55001 – 2021 中关于偶然设计状况的作用效应组合原则制定的,恒载、楼面或屋面活荷载和风荷载等取火灾发生时的最可能出现的值。在火灾过程中发生较大地震的事件为极小概率事件,因此在火灾下作用效应组合中不考虑地震作用。

条文中给出的作用效应组合值的表达式是采用各种作用叠加的形式,理论上仅适用于各种作用的效应与作用为线性关系的情况。实际上,对于端部约束足够强的钢构件,构件升温热膨胀受约束时将产生很大的温度内力,使构件在较低温度时即进入弹塑性受力状态。但由于钢材具有良好的塑性变形能力,将抵消热膨胀变形,因此在结构未形成机构之前,钢构件可在进入屈服后继续承载,故近似采用各种作用叠加的形式。

3.2.2 大跨度钢结构局部构件失效,有可能造成结构连续性破坏甚至倒塌。本条与《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 – 2017 中的规定相比,要求跨度不小于 60m 的大跨结构“应”而不是“宜”进行整体结构耐火验算。

预应力钢结构对温度敏感,热膨胀很可能导致预应力的丧失,改变结构受力方式,设计时应予以特别重视,故要求采用基于整体结构验算的防火设计方法。

3.2.3 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 – 2017 的规定。

基于整体结构耐火验算的防火设计方法适用于各类形式的结构,应考虑结构的热膨胀效应、结构材料性能受高温作用的影响,

先施加永久荷载、楼面活荷载等,再逐步施加与时间相关的温度作用进行结构弹塑性分析,验算结构的耐火承载力。但该方法设计复杂,仅适用于采用通用有限元软件进行数值模拟。

3.2.4 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

基于构件耐火验算的防火设计方法的关键是计算钢构件在火灾下的组合内力。

对于受弯构件、拉弯构件和压弯构件等以弯曲变形为主的构件,当构件两端的连接承载力不低于构件截面的承载力时,可通过构件的塑性变形、大挠度变形来抵消其热膨胀变形,因此可不考虑温度内力的影响,即假定火灾下构件的边界约束和在外荷载作用下产生的内力采用常温下的边界约束和内力,即作用效用组合时忽略温度作用效应。对于轴心受压构件,热膨胀将增大其内力并易造成构件失稳;对于轴心受拉构件,热膨胀将减小轴心受拉构件的拉力。因此,对于以轴向变形为主的构件,应考虑热膨胀效应对内力的影响。

计算火灾下构件的承载力时,构件的温度应取其截面的最高平均温度。对于变截面构件,则应对各不利截面进行耐火验算。

3.2.5 结构受火作用是一个恒载升温的过程,即先施加荷载,再施加温度作用。《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 给出了三种方法:承载力法、临界温度法、耐火极限法。

构件从受火到达到耐火承载力极限状态的时间即为构件的耐火极限;构件达到其耐火承载力极限状态时的温度即为构件的临界温度。耐火极限法是通过比较构件的实际耐火极限和设计耐火极限,来判定构件的耐火性能是否符合要求。但实际耐火极限往往难以计算,需要通过试验才能确定,设计不便。临界温度法计算轴心受力构件的临界温度时,由于热膨胀效应对刚度和内力有影响,且《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 未给出荷载比

在 0.3 ~ 0.9 之外时的临界温度,故临界温度法的适用范围有限。式(3.2.5)即为承载力法,该方法概念清楚,适应性广,故本标准推荐采用承载力法。

3.3 火灾升温曲线

3.3.1 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

式(3.3.1-1)所规定的标准火灾升温曲线是《建筑构件耐火试验方法 第1部分:通用要求》GB/T 9978.1 - 2008 所采用的升温曲线,该曲线和国际标准 ISO 834-1:1999 所采用的标准火灾升温曲线相同,适用于以纤维类火灾为主的建筑,其可燃物主要为一般可燃物,如木材、纸张、棉花、布匹、衣物等,可混有少量塑料或合成材料。

式(3.3.1-2)所规定的升温曲线称为碳氢(HC)升温曲线,适用于可燃物以烃类材料为主的场所,如石油化工建筑及生产、存放烃类材料、产品的厂房等。

图 3-1 为以纤维类物质为主的火灾与以烃类物质为主的火灾的升温曲线的比较。

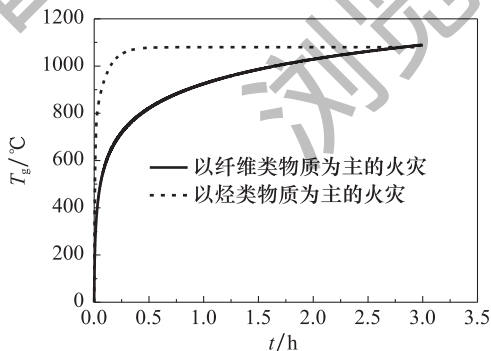


图 3-1 以纤维类物质为主的火灾与以烃类物质为主的火灾的升温曲线比较

采用标准火灾升温曲线给结构防火设计带来了很大的方便,但是标准火灾升温曲线有时与实际火灾(如高大空间火灾)相差甚大。为了更好地反映实际火灾对结构的破坏程度,在能确定建筑物室内的有关参数以及火荷载的情况下,欧洲规范 EN 1993-1-2、英国规范 BS 5950: Part 8 等均允许结构防火设计采用实际火灾升温曲线。近年来提出的性能化防火设计方法(Performance-Based Design Method),则更是要求在设计时应采用能反映实际火灾特性的升温曲线。因此,当能准确确定建筑的火灾荷载、可燃物类型及其分布、几何特征等参数时,建筑内着火空间的环境温度也可按其他有可靠依据的火灾模型计算。

3.3.2 高大空间大体可分为以下两类:

(1)占地面积相当大且具有一定高度的大体积型建筑。如:会堂、展览馆、剧院、体育馆、候车厅和大型仓库等,其面积通常有几百至几千 m^2 ,高度一般在 $8\text{m} \sim 20\text{m}$ 之间;

(2)具有一定的占地面积,但空间相当高的细高型建筑。如:高层建筑的中庭,其面积为几十至几百 m^2 ,高度则有十几 m 至百 m 。

高大空间火灾着火空间的环境温度不一定很高,但是火灾区域及邻近的构件,还应考虑可能被火焰吞没、火焰辐射对其升温的影响。研究表明,考虑火焰辐射的计算温度最多可比不考虑火焰辐射的计算结果增大 13%。但目前尚无公认的适用于高大空间的火灾升温曲线,同时高大空间一般按整体结构进行耐火验算,采用数值模拟进行防火设计,故本标准不提供高大空间火灾升温曲线。如有需要,可查阅《建筑钢结构防火技术规范》CECS 200: 2006。

3.3.3 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

本标准第 2.1.6 条给出了等效曝火时间的定义,本条基于火灾释放热量相等的原则,给出了确定等效曝火时间的方法(图 3-2)。该方法考虑了火灾持续时间的影响,但火灾时从热烟气传递到构件的热量与热烟气和构件的温度差有关,因此当实际火灾升温曲线与标准火灾升温曲线差别很大时,该方法存在较大的误差。

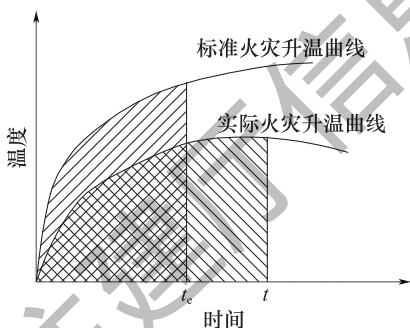


图 3-2 等效曝火时间 t_e

为简化计算,采用数值积分法计算面积时,时间间隔可取 1min,按下式确定等效曝火时间。

$$\sum_{i=1}^{t_e-1} T_{g,i} < \sum_{j=1}^t T'_{g,j} \leq \sum_{i=1}^{t_e} T_{g,i} \quad (3-1)$$

式中: $T_{g,i}$ ——由式(3.3.1-1)确定的标准火灾升温曲线中 i 时刻 (min) 的热烟气平均温度(°C);

$T'_{g,j}$ ——实际火灾升温曲线中 j 时刻 (min) 的热烟气平均温度;

t ——实际火灾作用时间 (min);

t_e ——等效曝火时间 (min)。

4 材料特性

4.1 钢材

4.1.1 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

高温下钢材的热膨胀系数、热传导系数和比热容等随温度的不同会有一些的变化,GB 51249 - 2017 取这些参数在高温下的平均值。

钢材的物理特性主要取决于钢材的化学组分。钢结构工程中常用的碳素结构钢(低碳钢、中碳钢、高碳钢)和低合金结构钢等所含的碳元素、合金元素的比例都很小,基本上小于或等于5%;耐火钢的合金元素稍高于低合金结构钢。因此,这些钢材的高温物理特性基本相同。GB 51249 - 2017 采用了欧洲标准《Eurocode 3: Design of steel structures —Part 1 - 2: General rules — Structural fire design》EN 1993 - 1 - 2: 2005 中的钢材的热膨胀变形率 $\Delta l/l$, 钢材的比热容 c_s 以及钢材的热传导系数 λ_s 的计算式,分别如下。

1 钢材的热膨胀变形率 $\Delta l/l$

当 $20^\circ\text{C} \leq T_s < 750^\circ\text{C}$ 时, $\Delta l/l = 1.2 \times 10^{-5} T_s + 0.4 \times 10^{-8} T_s^2 - 2.416 \times 10^{-4}$;

当 $750^\circ\text{C} \leq T_s \leq 860^\circ\text{C}$ 时, $\Delta l/l = 1.1 \times 10^{-2}$;

当 $860^\circ\text{C} < T_s \leq 1200^\circ\text{C}$ 时, $\Delta l/l = 2.0 \times 10^{-5} T_s - 6.2 \times 10^{-3}$ 。

图 4-1 给出了热膨胀变形率 $\Delta l/l$ 随温度 T_s 的变化关系。

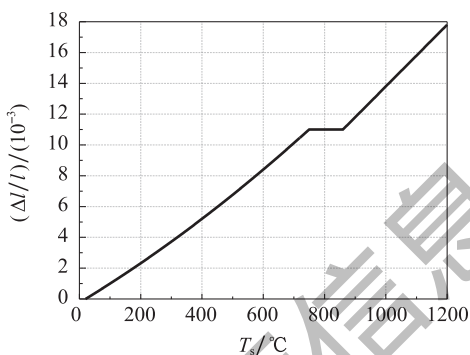


图 4-1 热膨胀变形率 $\Delta l/l$ 随温度 T_s 的变化关系

2 钢材的比热容 c_s [J/(kg·°C)]

当 $20^\circ\text{C} \leq T_s < 600^\circ\text{C}$ 时, $c_s = 425 + 7.73 \times 10^{-1} T_s - 1.69 \times 10^{-3} T_s^2 + 2.22 \times 10^{-6} T_s^3$;

当 $600^\circ\text{C} \leq T_s < 735^\circ\text{C}$ 时, $c_s = 666 + \frac{13002}{738 - T_s}$;

当 $735^\circ\text{C} \leq T_s < 900^\circ\text{C}$ 时, $c_s = 545 + \frac{17820}{T_s - 731}$;

当 $900^\circ\text{C} \leq T_s \leq 1200^\circ\text{C}$ 时, $c_s = 650$ 。

图 4-2 给出了比热容 c_s 随温度 T_s 的变化关系以及与表 4.1.1 中的平均值的对比。

3 钢材的热传导系数 λ_s [W/(m·°C)]

当 $20^\circ\text{C} \leq T_s < 800^\circ\text{C}$ 时, $\lambda_s = 54 - 3.33 \times 10^{-2} T_s$;

当 $800^\circ\text{C} \leq T_s \leq 1200^\circ\text{C}$ 时, $\lambda_s = 27.3$ 。

图 4-3 给出了热传导系数 λ_s 随温度 T_s 的变化关系以及与表 4.1.1 中的平均值的对比。

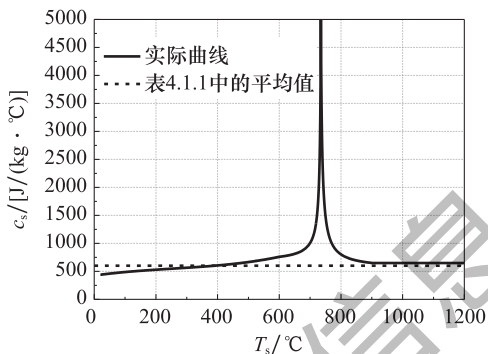


图 4-2 比热容 c_s 随温度 T_s 的变化关系

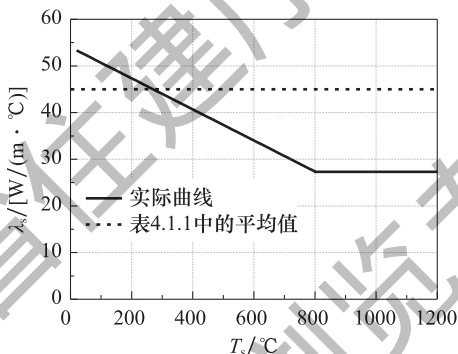


图 4-3 热传导系数 λ_s 随温度 T_s 的变化关系

对于钢材的比热容 c_s 的第一个计算式, GB 51249 - 2017 遗漏了条件“ $20^\circ\text{C} \leq T_s < 600^\circ\text{C}$ ”, 本标准进行了补充。对于钢材的热传导系数 λ_s 的计算式的适用条件, EN 1993-1-2:2005 给出的分别为“ $20^\circ\text{C} \leq T_s < 800^\circ\text{C}$ ”和“ $800^\circ\text{C} \leq T_s \leq 1200^\circ\text{C}$ ”, 与 GB 51249 - 2017 的不同。本标准按照 EN 1993-1-2:2005 进行了修改。

4 钢材的热膨胀系数 α_s [m/(m·°C)]

当 $20^{\circ}\text{C} \leq T_s \leq 750^{\circ}\text{C}$ 时, $\alpha_s = 0.8 \times 10^{-8} T_s + 1.2 \times 10^{-5}$;

当 $750^{\circ}\text{C} \leq T_s < 860^{\circ}\text{C}$ 时, $\alpha_s = 0$;

当 $860^{\circ}\text{C} < T_s \leq 1200^{\circ}\text{C}$ 时, $\alpha_s = 2.0 \times 10^{-5}$ 。

图4-4 给出了热膨胀系数 α_s 随温度 T_s 的变化关系以及与表4.1.1 中的平均值的对比。

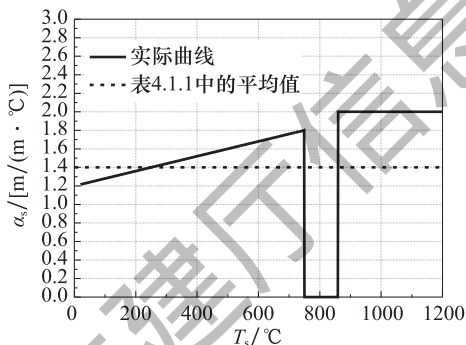


图4-4 热膨胀系数 α_s 随温度 T_s 的变化关系

5 钢材的泊松比 ν_s :

$$\nu_s = 0.3$$

4.1.2、4.1.3 本条引用了国标《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017 的规定。

与高温下钢材的物理特性不同,钢材的生产工艺、加工过程等对高温下钢材的力学性能有较大的影响,并且高温对高强度钢、高强度螺栓、高强度钢绞线、钢索的强度影响要显著地大于结构钢,第4.1.1 条条文中说明的钢材的热传导系数 λ_s 的计算式不适用这些钢材。

钢材在高温下的力学性能有如下特点(图4-5):

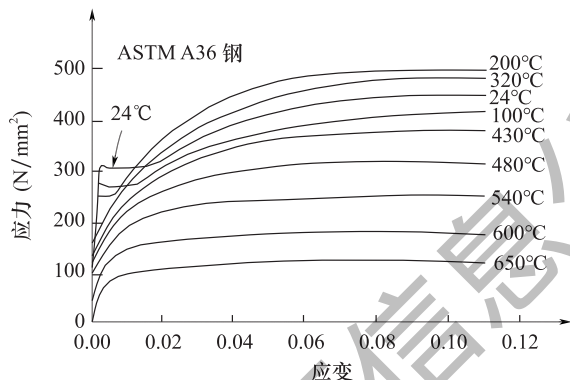


图 4-5 ASTM A36 钢的高温应力-应变曲线

1 温度高于 400℃ 后, 钢材的强度与弹性模量开始急剧下降; 温度达到 650℃ 时, 钢材已基本丧失大部分强度。温度高于 300℃ 后, 钢材已无屈服段, 因此需要指定一个强度作为钢材的名义屈服强度。通常以一定量的塑性残余应变(称为名义应变)所对应的应力作为钢材的名义屈服强度。高温下屈服强度的标准是 0.2% 残余应变对应的数值或 1.0% 的应变对应的数值。

2 钢材的极限强度基本上随温度的升高而降低, 但在 180℃ ~ 370℃ 温度区间内, 极限强度有所提高, 塑性和韧性下降, 出现“蓝脆现象”。

1 欧洲钢结构协会标准

《Design Manual on the European Recommendations for the Fire Safety of Steel Structures》(European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Technical Committee 3-Fire Safety of Steel Structures, 1st Edition, 1985) 规定, 当温度大于 400℃ 时, 以 0.5% 应变作为名义应变, 当温度低于 400℃ 时, 则在 0.2% (20℃ 时) 和 0.5% 应变之间按线性插值确定。钢梁、钢柱耐火试验表明, 按上

述方法确定的名义应变值过于保守。

2 1990年的英国国家标准《The Structural Use of Steelwork in Buildings, Part 8: Code of Practice for Fire Resistant Design》(British Standards Institution, BS 5950)规定了三个名义应变水平的强度,以适应各类构件的不同要求,即:2%应变,适用于有防火保护的受弯组合构件;1.5%应变,适用于受弯钢构件;0.5%应变,适用于除上述两类以外的构件。

3 欧洲标准《Eurocode 3: Design of steel structures —Part 1-2: General rules — Structural fire design》EN 1993-1-2:2005 则取2%应变作为名义应变来确定钢材的名义屈服强度。

目前对于采用较大的名义应变来确定钢材高温下的名义屈服强度已达成共识。

国内对 Q235、Q345 等钢材进行了系统的高温材性试验,得到了 0.2%、0.5%、1% 等名义应变水平的高温屈服强度。综合国内试验资料,并参考 EN 1993-1-2:2005、BS 5950 -8:2003 等,给出了我国钢材高温下的强度设计值和弹性模量。附录 A 给出了采用本标准有关公式计算的各温度下钢材的屈服强度折减系数 η_{st} 和弹性模量折减系数 χ_{st} 。

4.1.4、4.1.5 本条引用了国标《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017 的规定。

在实际工程中,绝大多数钢构件的临界温度在 450℃ ~ 700℃ 范围内,在该温度段内耐火钢的强度损失小于结构钢。

目前,各钢铁公司生产的耐火钢的高温材性有较大的差别,本标准给出的公式不一定适用于所有品种。应用式(4.1.4)、式(4.1.5)时,要求 600℃ 时耐火钢的实测屈服强度折减系数不低于式(4.1.4)计算值的 10%。

4.2 混凝土

4.2.1 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 指出,该条有关高温下普通混凝土的热工性能参数参考了 EN 1994-1-2: 2005 (Eurocode 4 Part 1.2, Design of composite steel and concrete structures: Structural fire design) 的规定。经与《Eurocode 2: Design of concrete structures —Part 1-2: General rules — Structural fire design》EN 1992-1-2: 2004 对比,发现 EN 1994-1-2: 2005 与 EN 1992-1-2: 2004 的规定相同。其中,公式(4.2.1-1)是根据 EN 1994-1-2: 2005 给出的普通混凝土热传导系数上、下限公式取平均值得到的。对于钢与混凝土组合结构建议采用上限公式。

上限公式:

当 $20^{\circ}\text{C} \leq T_c < 1200^{\circ}\text{C}$ 时,

$$\lambda_c = 2 - 0.2451 \frac{T_c}{100} + 0.0107 \left(\frac{T_c}{100} \right)^2 \quad (4-1)$$

下限公式:

当 $20^{\circ}\text{C} \leq T_c < 1200^{\circ}\text{C}$ 时,

$$\lambda_c = 1.36 - 0.136 \frac{T_c}{100} + 0.0057 \left(\frac{T_c}{100} \right)^2 \quad (4-2)$$

混凝土的含水率对比热容和热传导系数等热工性能的影响很大。本条给出的热工参数取值仅适用于干混凝土,即含水率不大于4%的普通混凝土。

4.2.2 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

本条有关高温下普通混凝土的轴心抗压强度和弹性模量参考了 EN 1994-1-2: 2005 的规定。其中,弹性模量折减系数是对 EN

1994-1-2: 2005 中混凝土的高温应力—应变曲线计算公式求导得到的。

4.2.3 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249—2017 的规定。

本条有关高温下轻骨料混凝土的热工性能参数参考了 EN 1994-1-2: 2005 的规定,适用于含水率小于或等于 5% 的轻骨料混凝土。

4.2.4 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249—2017 的规定。

本条有关高温下轻骨料混凝土的轴心抗压强度和弹性模量参考了 EN 1994-1-2: 2005 的规定。表 4.2.4 适用于强度等级 C60 及以下的混凝土。

4.3 防火保护材料

4.3.1 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249—2017 的规定。

本条规定的非膨胀型防火涂料的等效热传导系数计算方法,基于非膨胀型防火涂料保护钢构件的标准耐火试验,可综合反映防火涂料在火灾下传热(隔热防火保护)的实际性能以及火灾下防火涂料外表面的热对流、热辐射传热效应。

非膨胀型防火涂料在火灾下受火温度范围大,其热传导系数随温度有较大的变化,但从工程应用角度,热传导系数采用常数可极大地简化计算。研究表明,采用 540℃ 约(1000 F)时的等效热传导系数,可相当精确地模拟非膨胀型防火涂料保护钢构件在火灾下的升温,并且不同保护层厚度下测得的非膨胀型防火涂料的等效热传导系数变化很小。

《钢结构防火涂料》GB 14907—2018 采用 I36b、I40b(截面形

状系数见表 4-1) 作为钢试件, 按照《建筑构件耐火试验方法 第 1 部分: 通用要求》GB/ T 9978. 1 - 2008 进行耐火性能试验。当涂料型式检验报告中给出钢试件升温曲线时, 可按式 (4. 3. 1) 计算非膨胀型涂料的等效热传导系数; 当没有给出钢试件升温曲线时, 应采用防火保护层厚度 200mm、长度 500mm 的 I36b (或 I40b) 工字钢试件进行不加载耐火试验, 测试钢试件的升温曲线。

表 4-1 钢试件的截面形状系数 (m^{-1})

试件规格	截面形状系数 $F_s/V(m^{-1})$	
	四面受火	三面受火
I36b	142.1	125.6
I40b	137.0	121.7

4. 3. 2、4. 3. 3 第 4. 3. 2 条及第 4. 3. 3 条均引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

第 4. 3. 2 条规定了膨胀型防火涂料保护层的等效热阻计算方法。针对膨胀型防火涂料的特点, 第 4. 3. 3 条规定膨胀型防火涂料应给出 5 个使用厚度的等效热阻。

膨胀型防火涂料受火膨胀, 形成比原涂层厚度大数倍到数十倍的多孔膨胀层。火灾下膨胀层厚度主要取决于涂料自身的特性、涂层的厚度, 受膨胀层自身致密性、强度等的限制, 膨胀层厚度不会一直随着涂层厚度的增大而增大, 而且涂层太厚容易造成膨胀层过早脱落, 因此膨胀型防火涂料存在最大使用厚度。膨胀型防火涂料涂层厚度和膨胀层厚度、热传导系数之间均为非线性关系 (图 4-6)。因此, 膨胀型防火涂料不宜采用等效热传导系数, 而是采用对应于相应涂层厚度的等效热阻。

4. 3. 4 目前, 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 没有给出如包覆防火板、包覆柔性毡状隔热材料 and 外包混凝土、金属网抹砂浆或砌筑砌体时计算等效热传导系数的方法, 只能通过试验

确定。表 4-2 给出了部分防火保护材料常温下的物理力学参数，供设计参考。

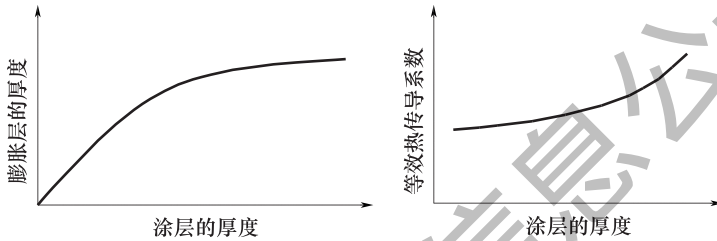


图 4-6 膨胀型防火涂料的膨胀层厚度、等效热传导系数

表 4-2 部分防火保护材料常温下的物理力学参数

材料名称	参考尺寸 (mm)	密度 (kg/m^3)	抗压强度 (N/mm^2)	比热容 [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$]	导热系数 [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]	执行标准
烧结黏土砖	$240 \times 115 \times 50$	1700	7.0 ~ 30	1.0	≤ 0.43	GB/T 5101 - 2017
黏土空心砖	$240 \times 115 \times 90$	1200 ~ 1400	5 ~ 10	—	≤ 0.43	GB 13544 - 2011
加气混凝土砌块	$600 \times 300 \times 240$	400 ~ 700	2.5 ~ 5	1.0 ~ 1.2	0.12 ~ 0.25	GB/T 11968 - 2020
陶粒空心砌块	$390 \times 240 \times 190$	≤ 800	≥ 2.5	—	0.58	GB/T 15229 - 2011
微孔硅酸钙 保温板	$500 \times 300 \times 50$	200 ~ 250	≥ 0.5	—	≤ 0.058	GB/T 10699 - 2015
水泥蛭石板	$500 \times 300 \times 50$	≤ 500	≥ 0.5	—	≤ 0.14	JC/T 442 - 2009
水泥珍珠岩板	$500 \times 300 \times 50$	≤ 400	≥ 0.5	—	≤ 0.087	GB/T 10303 - 2015
硅酸铝棉毡	$1000 \times 500 \times$ (10 ~ 50)	≤ 350	—	0.84	≤ 0.06	GB/T 3003 - 2017
矿渣棉毡	$1000 \times 250 \times 50$	≤ 120	—	0.75	≤ 0.048	GB/T 11835 - 2016
岩棉毡	$900 \times 900 \times 50$	200	—	—	≤ 0.049	GB/T 11835 - 2016
玻璃棉毡	$1200 \times 600 \times 50$	≤ 48	—	—	≤ 0.048	GB/T 13350 - 2017
加气混凝土板	—	400 ~ 650	2.5 ~ 5	1.0 ~ 1.2	0.1 ~ 0.15	GB/T 15762 - 2020
C20 混凝土	—	2200 ~ 2400	13.4	0.9 ~ 0.98	1.0 ~ 2.0	—
M5 砂浆	—	2000	—	—	0.9	—

5 钢结构耐火验算与防火保护设计

5.1 耐火验算步骤

5.1.1 本标准根据《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 – 2017 中承载力法的规定,归纳整理了耐火验算的步骤。

5.1.2 表 5.1.2 来自于《建筑设计防火规范》(2018 年版)GB 50016 – 2014 附表 1,可供耐火验算初选。

5.2 防火保护方法

5.2.1 选用防火保护措施时,一方面应考虑不影响前续已完工的施工及后续施工,另一方面还应保证后续施工不影响防火保护的性。例如,膨胀型防火涂料应与防腐底漆、防腐面漆相容(防腐涂料、防火涂料由里及外的顺序依次为:防腐底漆,防腐中间漆,膨胀型防火涂料,防腐面漆)。为了保证膨胀型防火涂料膨胀不受影响,防腐面漆不应过硬,构件外部应留有足够的膨胀空间,也不应包裹防火毡等。

5.2.2 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 – 2017 的规定。

本条给出了钢结构防火保护的常用措施。根据防火材料的不同,可分为:喷涂(抹涂、刷涂)防火涂料,包覆防火板,包覆柔性毡状隔热材料,外包混凝土、砂浆或砌筑砖砌体,复合防火保护等。外包混凝土、金属网抹砂浆、砌筑砖砌体施工复杂、自重大,使用的较少。

5.2.3 计算截面形状系数时,需确定防火保护钢构件单位长度

的受火表面积。对于外边缘型防火保护,取单位长度钢构件的防火保护材料内表面积;对于非外边缘型防火保护,取沿单位长度钢构件所测得的可能的矩形或其他形状包装的最小内表面积。

5.2.4 钢结构防火保护的种类和施工方法较多,其特性也有较大的差别。有些防火保护层质量很轻,相对钢构件来说,其自身吸收的热量可忽略,这种防火保护层称为轻质防火保护层;而有些防火保护层自身所吸收的热量必须加以考虑,这种防火保护层称为非轻质防火保护层。因此,在第5.3节“钢构件升温计算”时,轻质防火保护层和非轻质防火保护层的计算方法不同。

一般情况下,非膨胀型防火涂料、膨胀型防火涂料、蛭石防火板、硅酸钙防火板、硅酸铝纤维毡等防火保护层为轻质防火保护层;混凝土、金属网抹砂浆、砌体等防火保护层为非轻质防火保护层。实际工程大多采用轻质防火保护层,非轻质防火保护层应用较少。

5.2.5 本条引用了《钢结构防火涂料应用技术规程》T/CECS 24-2020的规定。

在钢构件表面涂覆防火涂料进行防火保护,这种方法施工简便、重量轻,且不受钢构件几何形状限制,具有较好的经济性和适应性。长期以来,涂覆防火涂料一直是应用最多的钢结构防火保护手段。1985年后,国内研制了多种钢结构防火涂料,并已应用于很多重要工程中。

钢结构防火涂料的品种较多,《钢结构防火涂料》GB 14907-2018根据高温下涂层变化情况将防火涂料分为非膨胀型和膨胀型两大类(表5-1);另外,按涂层厚薄、成分、施工方法及性能特征不同可进一步分成不同类别。根据涂层厚度将防火涂料分为超薄型(小于或等于3mm)、薄型(大于3mm且小于或等于7mm)和厚型(大于7mm)防火涂料三种。

表 5-1 防火涂料的分类

类型	代号	涂层特性	主要成分	说明
膨胀型	B	遇火膨胀,形成多孔碳化层,涂层厚度一般小于7mm	有机树脂为基料,还有发泡剂、阻燃剂、成炭剂等	又称超薄型、薄型防火涂料
非膨胀型	H	遇火不膨胀,自身有良好的隔热性,涂层7mm~50mm	无机绝热材料(如膨胀蛭石、飘珠、矿物纤维)为主,还有无机黏结剂等	又称厚型防火涂料

非膨胀型防火涂料,曾经称为厚型防火涂料,其主要成分为无机绝热材料,一般不燃、无毒、耐久,适用于永久性建筑中的钢结构防火保护。非膨胀型防火涂料涂层厚度一般为15mm~50mm,耐火极限可达3.0h。

非膨胀型防火涂料可分为两类:一类是以矿物纤维为主要绝热骨料,掺加水泥和少量添加剂、预先在工厂混合而成的防火材料,需采用专用喷涂机械按干法喷涂工艺施工;另一类是以膨胀蛭石、膨胀珍珠岩等颗粒材料为主要绝热骨料的防火涂料,可采用喷涂、抹涂等湿法施工。矿物纤维类防火涂料的隔热性能良好,但表面疏松,只适合于完全封闭的隐蔽工程,另外干式喷涂时容易产生细微纤维粉尘,对施工人员和环境的保护不利。目前国内大量推广应用非膨胀型防火涂料主要为湿法施工:一是以珍珠岩为骨料,水玻璃(或硅溶胶)为黏结剂,属双组分包装涂料,采用喷涂施工;另一类是以膨胀蛭石、珍珠岩为骨料,水泥为黏结剂,属单组分包装涂料,到现场只需加水拌匀即可使用,能喷也能抹,手工涂抹施工时涂层表面能达到光滑平整。水泥系防火涂料中,密度较高的品种具有优良的耐水性和抗冻融性。

膨胀型防火涂料,曾经称为超薄型、薄型防火涂料,其基料为

有机树脂,配方中还含有发泡剂、阻燃剂、成碳剂等成分,遇火后自身会发泡膨胀,形成比原涂层厚度大数倍到数十倍的多孔碳质层。多孔碳质层可阻挡外部热源对基材的传热,如同绝热屏障。膨胀型防火涂料在一定程度上可起到防腐中间漆的作用,可在外面直接做防腐面漆,能达到很好的外观效果(在外观要求不是特别高的情况下,某些产品可兼作面漆使用)。采用膨胀型防火涂料时,应特别注意防腐涂料、防火涂料的相容性问题。膨胀型防火涂料在设计耐火极限不高于 1.5h 时,具有较好的经济性。但膨胀型防火涂料中有机高分子成分高,耐老化问题可能较为突出,需要引起足够重视。

钢结构防火涂料的耐火性能分级代号按表 5-2 选用,其耐火性能应符合表 5-3 的规定。

表 5-2 耐火性能分级代号

耐火极限 (F_r) h	耐火性能分级代号	
	普通钢结构防火涂料	特种钢结构防火涂料
$0.50 \leq F_r < 1.00$	$F_p 0.50$	$F_t 0.50$
$1.00 \leq F_r < 1.50$	$F_p 1.00$	$F_t 1.00$
$1.50 \leq F_r < 2.00$	$F_p 1.50$	$F_t 1.50$
$2.00 \leq F_r < 2.50$	$F_p 2.00$	$F_t 2.00$
$2.50 \leq F_r < 3.00$	$F_p 2.50$	$F_t 2.50$
$F_r \geq 3.00$	$F_p 3.00$	$F_t 3.00$

注: F_p 采用建筑纤维类火灾升温试验条件; F_t 采用烃类 (HC) 火灾升温试验条件。

表 5-3 钢结构防火涂料的耐火性能

产品分类	耐火性能									
	膨胀型				非膨胀型					
普通钢结构防火涂料	$F_p 0.50$	$F_p 1.00$	$F_p 1.50$	$F_p 2.00$	$F_p 0.50$	$F_p 1.00$	$F_p 1.50$	$F_p 2.00$	$F_p 2.50$	$F_p 3.00$
特种钢结构防火涂料	$F_t 0.50$	$F_t 1.00$	$F_t 1.50$	$F_t 2.00$	$F_t 0.50$	$F_t 1.00$	$F_t 1.50$	$F_t 2.00$	$F_t 2.50$	$F_t 3.00$

5.2.6 本条引用了《钢结构防火涂料应用技术规程》T/CECS 24 - 2020 的规定。

膨胀型钢结构防火涂料含随着时间的延长,部分有机物质存在发生分解、降解、溶出等不可逆过程,使涂料“老化”失效,出现粉化、脱落,涂层耐久性能较差,性能衰减明显。因此,对耐火性能要求较高的场所和构件,不宜选用非环氧类膨胀型钢结构防火涂料。环氧类钢结构防火涂料由于具有优良的黏结性能、耐候性能及防火性能,因此不对使用场所进行限制。

5.2.7 本条引用了《钢结构防火涂料》GB 14907 - 2018 中的第 5.1.5 条。非膨胀型防火涂料中膨胀蛭石、膨胀珍珠岩的粒径一般为 1mm ~ 4mm,如涂层厚度太小,施工难度大,难以保证施工质量,因此,非膨胀型防火涂层的最小厚度为 15mm,比《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 第 4.1.3 条规定的“不应小于 10mm”的要求高。

5.2.8 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

采用防火板将钢构件包覆封闭起来,可起到很好的防火保护效果,且防火板外观良好、可兼做装饰,施工为干作业,综合造价有一定的优势,尤其适用于钢柱的防火保护。

防火板根据其密度可分为低密度、中密度和高密度防火板,根据其使用厚度可分为防火薄板、防火厚板两大类(表 5-4)。

表 5-4 防火板的分类和主要技术性能

性能特点 分类		密度 (kg/m^3)	厚度 (mm)	抗折强度 (N/mm^2)	热传导系数 [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]
厚度	防火薄板	400 ~ 1800	5 ~ 20	—	0.16 ~ 0.35
	防火厚板	300 ~ 500	20 ~ 50	—	0.05 ~ 0.23
密度	低密度防火板	< 450	20 ~ 50	0.8 ~ 2.0	—
	中密度防火板	450 ~ 800	20 ~ 30	1.5 ~ 10	—
	高密度防火板	> 800	9 ~ 20	> 10	—

防火薄板使用厚度大多为 6mm ~ 15mm,使用温度不大于 600℃,不适用于单独作为钢结构的防火保护,常用作轻钢龙骨隔墙的面板、吊顶板以及钢梁、钢柱经非膨胀型防火涂料涂覆后的装饰面板。

防火厚板密度小、热传导系数小、使用温度可达 1000℃ 以上,厚度可按设计耐火极限确定,通常在 10mm ~ 50mm 之间,可直接用于钢结构防火。目前,比较成熟的防火厚板主要有硅酸钙防火板、蛭石防火板两种,这两种防火板的成分也基本上和非膨胀型防火涂料相近。

5.2.9 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017。

柔性毡状隔热材料使用时,可采用钢丝网将防火毡直接固定于钢材表面。这种方法隔热性好、施工简便、造价低,适用于室内不易受机械伤害和免受水湿的部位。硅酸铝纤维毡的热传导系数很小[20℃ 时为 0.034W/(m·℃),400℃ 时为 0.096 W/(m·℃),600℃ 时为 0.132 W/(m·℃)],密度小(80kg/m³ ~ 130 kg/m³),化学稳定性及热稳定性好,又具有较好的柔韧性,在工程中应用较多。

5.2.10 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017。

外包混凝土、砂浆或砌筑砌体的优点是强度高、耐冲击、耐久性好,但占用的空间较大。例如,用 C20 混凝土保护钢柱,其厚度为 5cm ~ 10cm 才能达到 1.5h ~ 3.0h 的耐火极限,故目前应用较少。另外,施工也较麻烦,特别在钢梁、斜撑上,施工十分困难。

5.2.11 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017。

常见的复合防火保护做法有:在钢构件表面涂敷非膨胀防火涂料或采用柔性防火毡包覆,再用防火薄板等作饰面板。这种方法具有良好的隔热性、完整性和装饰性,适用于耐火性能要求高,并有较高装饰要求的钢柱、钢梁。

5.2.12 本条引用了《钢结构防火涂料应用技术规程》T/CECS 24-2020 的规定。

在火灾引起的高温环境下,钢管混凝土柱中的混凝土填充材料具有吸热与蓄热的作用,可以延缓钢管壁的升温过程。同时,高温下钢材机械性能发生软化时,柱承担的内力可以通过重分布由温度相对较低的核心混凝土继续承载。因此,钢管混凝土柱具有较高的耐火极限。采用非环氧类膨胀型钢结构防火涂料涂层作为防火保护措施的钢管混凝土柱能够达到 2.00h 以上。因此,钢管混凝土柱均可选用膨胀型钢结构防火涂料及非膨胀性钢结构防火涂料。

室外或露天工程的钢结构,环境条件苛刻,应选用室外钢结构防火涂料。

海洋工程及石化工程用钢结构可能存在喷射火或爆炸风险,因此应选用非膨胀型钢结构防火涂料或环氧类膨胀型钢结构防火涂料。

5.3 钢构件升温计算

5.3.1 本条取自《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017。式(5.3.1)是标准火灾下采用轻质防火保护的钢构件的近似升温计算公式,该公式不需要进行迭代,计算简便,可优先使用。

图 5-1 对比了迭代计算的精确公式(5.3.5-1)的计算结果(实线)与式(5.3.1)的计算结果(虚线),对比表明,当 $\alpha F_i/V \leq 500$ 时,二者计算结果的偏差较小;而当 $\alpha F_i/V > 500$ 时,即使钢构件的温度不大于 700°C ,也有偏不安全的可能。故本标准要求 $\alpha F_i/V \leq 500$ 。

5.3.3 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 推荐钢构件中钢材的温度采用迭代方法计算,该方法比较准确,但难以采用手算。其中,前 3 个 Δt 的计算过程为:

(1)当 $t = 0$ 时, $T_s(0) = T_{g0}$ 。其中, T_{g0} 为灾前室内环境的温度($^\circ\text{C}$),可取 20°C 。

(2) 当 $t = \Delta t$ 时, $T_s(\Delta t) = T_{g0} + \Delta T_s$

(3) 当 $t = 2\Delta t$ 时, $T_s(2\Delta t) = T_g(\Delta t) + \Delta T_s$

(4) 当 $t = 3\Delta t$ 时, $T_s(3\Delta t) = T_g(2\Delta t) + \Delta T_s$

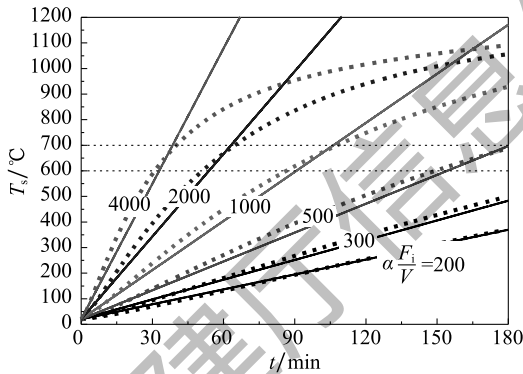


图 5-1 简化升温计算公式(5.3.1)与迭代升温
计算公式(5.3.5-1)的比较

(图中实线为简化公式计算结果,虚线为迭代公式计算结果)

通过如上步骤不断迭代,直至计算得到钢构件中钢材在 t 时刻的温度 $T_s(t)$ 。对于 $t + \Delta t$ 时刻钢构件中钢材的温度,即可采用式(5.3.3)进行计算。

需要说明的是,前 3 个 Δt 的 ΔT_s 以及式(5.3.3)中的 ΔT_s 不一定相等。

5.3.4 在《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 中,火灾下无防火保护钢构件在 Δt 内的升温的计算式为:

$$\Delta T_s = \alpha \cdot \frac{1}{\rho_s c_s} \cdot \frac{F}{V} \cdot (T_g - T_s) \Delta t \quad (5-1)$$

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_r \quad (5-2)$$

$$\alpha_r = \varepsilon_r \sigma \frac{(T_g + 273)^4 - (T_s + 273)^4}{T_g - T_s} \quad (5-3)$$

对于式(5-1)中的综合热传递系数 α ,其计算式由式(5-2)和式(5-3)给出。将式(5-2)和式(5-3)代入式(5-1)即可得到式(5.3.4)。

采用式(5-3)计算热辐射传热系数 α_r 可以发现:

(1)当火灾发生时, $t = 0$,则热烟气的平均温度 T_g 、钢构件的内部温度 T_s 与火灾前室内环境的温度 T_{g0} 完全相同,即 $T_g = T_s = T_{g0}$,此时可取为 $\alpha_r = 0$ 。

(2)当时间为 $t = \Delta t$ 时,需以 $t = 0$ 的 T_g 与 T_s 进行计算,但由于此时 $T_g = T_s = T_{g0}$,故热辐射传热系数 α_r 无法由计算式得到,则 ΔT_s 也无法计算,此时的 T_s 无法确定。

(3)当时间为 $t = 2\Delta t$ 时,需以 $t = \Delta t$ 的 T_g 与 T_s 进行计算,但由于 T_s 未确定,故热辐射传热系数 α_r 、 ΔT_s 也无法计算。

因此,本标准以式(5.3.4)给出了火灾下无防火保护钢构件在 Δt 内的升温计算式。

采用式(5.3.4)进行升温计算,其目的是为了计算 t 时刻钢构件的内部温度 T_s ,为第5.4节的钢结构耐火验算与防火保护设计做准备。然而,采用式(5.3.4)进行升温计算需要进行迭代计算,仍不方便。

为此,本标准计算了 $\varepsilon_r = 0.5$ 和 $\varepsilon_r = 0.7$ 时 F/V 从10到300的钢构件的内部温度 T_s ,并以表B.0.1和表B.0.2的形式给出。其中,表5.3.4与美国标准的ANSI/AISC 360-16中的TABLE C-A-4.1取值一致。

图5-2及图5-3分别给出了以纤维类物质为主的火灾中不同 F/V 时钢构件的温度和以烃类物质为主的火灾中不同 F/V 时钢构件的温度。由图5-2及图5-3可知,当 F/V 及耐火极限(h)均较小时($t < 2.0\text{h}$), T_s 与 F/V 呈现非线性关系较多;而当 F/V 及耐火极

限(h)均较大时($t \geq 2.0$ h), T_s 与 F/V 呈现线性关系较多。

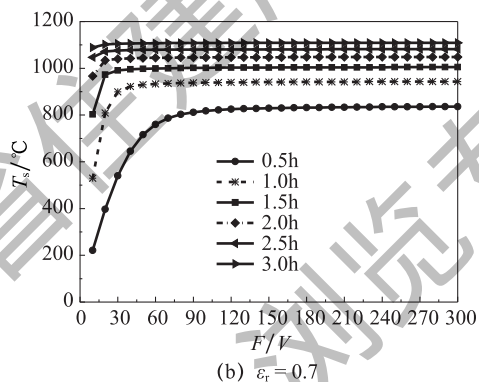
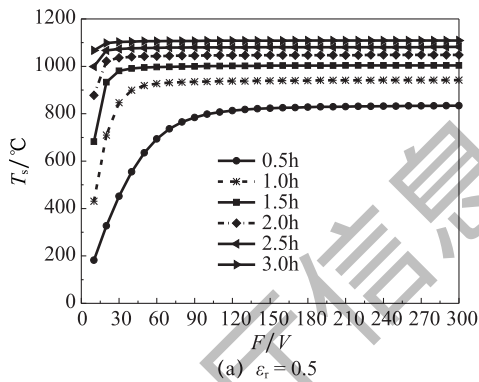
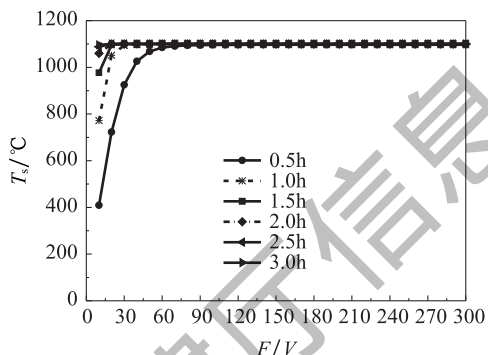


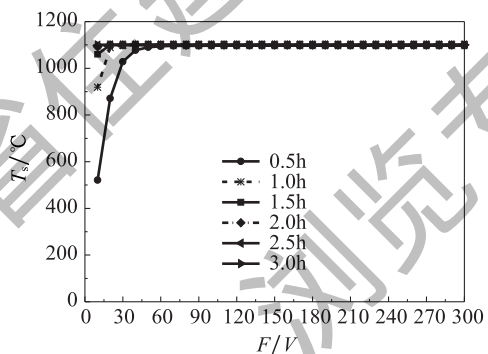
图 5-2 以纤维类物质为主的火灾中
不同 F/V 时钢构件的温度

在《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的条文说明中,给出了以纤维类物质为主的火灾中 $\epsilon_r = 0.5$ 时的无防火保护钢构件的温度 T_s (°C)。而表 B.0.1 和表 B.0.2 不但给出了以纤维类物质为主的火灾中 $\epsilon_r = 0.7$ 时的无防火保护钢构件的温度

T_s (°C), 还给出了以烃类物质为主的火灾中不同 t 时刻的 T_s (°C), 更加便于查表应用。



(a) $\epsilon_r = 0.5$

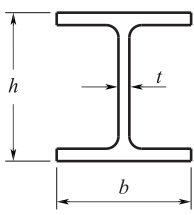
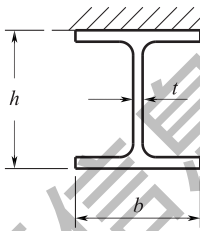
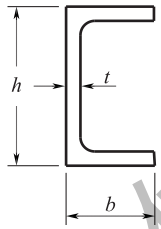
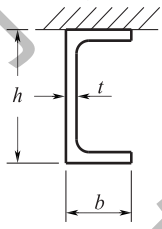
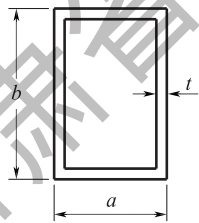
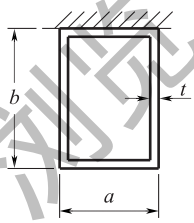
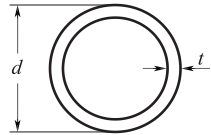
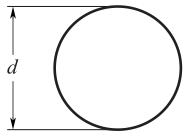


(b) $\epsilon_r = 0.7$

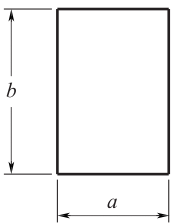
图 5-3 以烃类物质为主的火灾中不同 F/V 时钢构件的温度

表 5-5 给出了常见的无防火保护钢构件的截面形状系数计算示例。

表 5-5 无防火保护钢构件的截面形状系数

截面类型	截面形状系数 F/V	截面类型	截面形状系数 F/V
	$\frac{2h + 4b - 2t}{A}$		$\frac{2h + 3b - 2t}{A}$
	$\frac{2h + 4b - 2t}{A}$		$\frac{2h + 3b - 2t}{A}$
	$\frac{a + b}{t(a + b - 2t)}$		$\frac{b + a/2}{t(a + b - 2t)}$
	$\frac{d}{t(d - t)}$		$\frac{4}{d}$

续表 5-5

截面类型	截面形状系数 F/V	截面类型	截面形状系数 F/V
	$\frac{2(a+b)}{ab}$		

注:表中 A 为构件截面面积。

5.3.5 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

对于标准火灾下采用轻质防火保护层的钢构件,《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 分别给出了等效热阻分别为 $0.01\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 、 $0.05\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 、 $0.1\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 、 $0.2\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 、 $0.3\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 、 $0.4\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 和 $0.5\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 共 7 种情况的数值。在 GB 51249 - 2017 中,火灾分为以纤维类物质为主的火灾、以烃类物质为主的火灾;经本标准计算,GB 51249 - 2017 中有防火保护钢构件的温度与以纤维类物质为主的火灾对应。此外,GB 51249 - 2017 中的数据与本标准计算的数据有出入。

为方便应用,本标准依据式(5.3.5-1),分别计算并给出了不同等效热阻对应的温度。其中,对于以纤维类物质为主的火灾,给出了等效热阻分别为 $0.01\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 、 $0.05\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 、 $0.1\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 、 $0.2\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 、 $0.3\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 、 $0.4\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 和 $0.5\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 共 7 种情况的 T_s ,见附录 C.1;对于以烃类物质为主的火灾,给出了等效热阻分别为 $0.01\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 、 $0.5\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ 共 2 种情况的数值的 T_s ,见附录 C.2。

5.4 钢结构耐火验算与防火保护设计

I 基本钢构件

5.4.1 本标准规定的轴心受拉钢构件、轴心受压钢构件、单轴受弯钢构件、拉弯钢构件、压弯钢构件等基本钢构件的耐火承载力验算公式,这些公式与《钢结构设计标准》GB 50017-2017中常温下验算公式的形式一致,以便于设计人员掌握与应用。

5.4.2 在《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017中,式(5.4.2-1)的表达式为 $N/(\varphi_T A) \leq f_T$ 。而在《钢结构设计标准》GB 50017-2017中,轴压构件整体稳定的计算式为 $N/(\varphi A f) \leq 1.0$ 。为与GB 50017-2017的表达形式保持一致,本标准采用式(5.4.2-1)作为火灾下轴心受压钢构件整体稳定性的计算式。此外,在GB 51249-2017的表5.4.2中, λ/ε_k 原为 $\lambda/\sqrt{f_y}/235$ 。本标准根据GB 50017-2017的符号进行了修改。

5.4.3 在《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017的基础上,补充了高温下钢材的强度设计值 f_T 的符号说明。

5.4.4 式(5.4.4-1)在《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017中的表达式为 $M/(\varphi_{bT} W) \leq f_T$ 。而在《钢结构设计标准》GB 50017-2017中,轴压构件整体稳定的计算式为 $M/(\varphi_b W f) \leq 1.0$ 。为与GB 50017-2017的表达形式保持一致,本标准采用式(5.4.4-1)作为火灾下单轴受弯钢构件整体稳定性的计算式。

此外,《钢结构设计标准》GB 50017-2017规定,当受弯钢构件的稳定系数 $\varphi_b > 0.6$ 时, φ_b 应取式(5.4)计算的 φ'_b 。正文的符号说明中,“当所计算的 $\varphi_b > 0.6$ 时, φ_b 不作修正”是指在此情况下,不采用 φ'_b 代替 φ_b 。

$$\varphi'_b = 1.07 - \frac{0.282}{\varphi_b} \leq 1.0 \quad (5.4)$$

5.4.5 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

5.4.8 在《钢结构设计标准》GB 50017 - 2017 中,对于所考虑构件段有端弯矩和横向荷载同时作用的情况,使构件产生反向曲率时,弯矩作用平面外的等效弯矩系数均取 $\beta_1 = 0.85$ 。故本标准对于该情况取 $\beta_1 = 0.85$ 。

II 钢框架梁、柱

5.4.9 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

框架梁上一般有楼板或其他支撑,起到侧向约束作用,可防止框架梁发生整体失稳,因此钢框架梁的耐火承载力取决于其截面强度。研究发现,对于两端有一定轴向约束的框架梁,火灾下梁的轴力首先为压力,但随着梁挠曲变形的增大,由于悬链线效应,梁中轴压力将逐渐减小,直至为零,再变为拉力。随着轴向拉力的发展,梁仍能再承受较高些的温度才会发生强度破坏(图 5-4)。因此,框架梁的耐火设计,可偏于安全地取梁中温度轴力为零时的状态,进行耐火承载力验算。

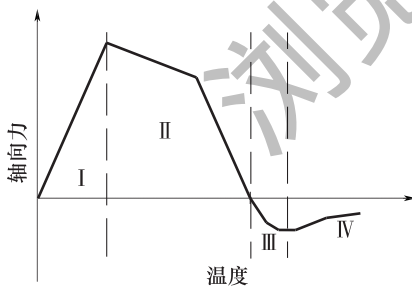


图 5-4 两端约束钢梁轴力随温度的变化图

5.4.10 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 -

2017 的规定。

通常, 框架柱受火时, 相邻框架梁也会受影响而升温膨胀使框架柱受弯。分析表明, 框架柱很可能因框架梁的受火温度效应而受弯形成塑性铰。为简化框架柱耐火设计, 可偏于保守地假设柱两端屈服(图 5-5), 同时忽略框架柱另一方向弯矩的影响, 则本标准第 5.4.6 条有关框架柱平面内、外稳定验算公式(5.4.6-1)、(5.4.6-3)可分别近似为:

$$\text{平面内稳定} \frac{N}{\varphi_{xT} A f_T} + \frac{\beta_m M}{\left(1 - 0.8 \frac{N}{N_{\text{EXT}}}\right) f_T} \leq 1.0 \quad (5-5)$$

$$\text{平面外稳定} \frac{N}{\varphi_{yT} A f_T} + \frac{\beta_y M}{\varphi_{yT} f_T} \leq 1.0 \quad (5-6)$$

由于框架柱的长细比一般较小, 而两端反方向弯矩条件下 β_m 和 β_y 的平均值约为 0.23, 加上考虑所忽略的框架柱另一方向弯矩的影响, 则本标准的式(5.4.6-1)、式(5.4.6-3)左端的第二项可近似取为 $0.3f_T$, 框架柱的耐火验算可仅按式(5.4.10)进行。需注意, 应分别针对框架柱的两个主轴方向, 按式(5.4.10)进行验算。

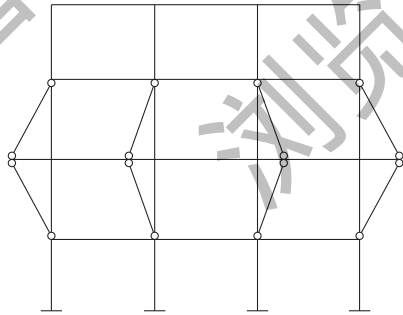


图 5-5 框架梁升温使框架柱端部受弯形成塑性铰

6 钢管混凝土柱的耐火验算与防火保护设计

6.1 防火保护方法

6.1.2 表 6.1.2 取自《建筑设计防火规范》(GB 50016 - 2014) (2018 版)的“附表 1 各类非木结构构件的燃烧性能和耐火极限”。

6.1.3 表 6.1.3 取自《建筑设计防火规范》(GB 50016 - 2014) (2018 版)的“附表 1 各类非木结构构件的燃烧性能和耐火极限”。

6.2 钢管混凝土柱的耐火验算

6.2.1 在钢管内浇灌低强度的素混凝土或轻质混凝土等,可延缓钢管的升温,提高其耐火极限,是一种防火性能稳定、耐久性能良好的防火保护方法,且不影响建筑外观。但对于这类构件,钢管和内部填充混凝土的整体共同受力性能相对较差,因此不能按本标准第 6.1 节规定的钢管混凝土柱耐火验算方法进行耐火验算,而应按纯钢构件进行耐火验算,其中钢管截面的温度计算应考虑内部填充材料的影响。

此外,将《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 中圆钢管混凝土柱的截面外直径的 200mm ~ 1400mm 修改为 200mm ~ 2000mm;将矩形钢管混凝土柱的截面短边长度 200mm ~ 1400mm 修改为了 200mm ~ 2000mm。

6.2.2 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定。

火灾下钢管混凝土柱的承载力系数 k_T ,是指火灾下无防火保护钢管混凝土柱的抗压承载力与其常温下抗压承载力的比值。当

荷载比 R 小于 k_T 时,无防火保护的钢管混凝土柱在火灾下不会发生破坏;当 R 大于 k_T 时,火灾下钢管混凝土柱所能提供的抗力已不足以抵抗外荷载作用,需进行防火保护。为了提高安全性,本条对不采取防火保护措施的适用条件提出了更为严格的要求,荷载比 R 应小于 $0.75k_T$ 。

6.2.3 钢管混凝土柱的荷载比 R 表征受火过程中作用在柱上的荷载水平。

6.2.4 本条基于平均温度概念的方法,给出了钢管和混凝土的平均温度计算公式。

矩形截面可等效成具有相同面积的圆形截面,对其进行平均温度计算,其中:

钢管的等效厚度 \bar{d}_s (单位为 mm),按面积等效成圆形的厚度可以按下式计算:

$$\bar{d}_s = \sqrt{\frac{A_c + A_k + A_s}{\pi}} - \sqrt{\frac{A_c + A_k}{\pi}} \quad (6-1)$$

混凝土的等效厚度 L_e (单位为 mm),按面积等效成圆形的厚度可以按下式计算:

$$L_e = \sqrt{\frac{A_c + A_k}{\pi}} - \sqrt{\frac{A_k}{\pi}} \quad (6-2)$$

6.2.5 本条引用了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定,规定了标准火灾升温曲线下实心钢管混凝土构件的承载力系数计算。

标准火灾升温曲线下,火灾作用对无保护层的实心钢管混凝土构件的承载力有较大的影响。为使裸钢管混凝土满足耐火极限要求,应限制其火灾荷载比,且火灾荷载比值不应超过火灾下承载力系数 k_T 。通过对工程常用参数情况下的 k_T 数值计算结果进行分析,无保护层的实心钢管混凝土构件的承载力系数的计算按

式(6-3)~式(6-4)计算得到。

1 对于圆形截面钢管混凝土柱:

$$k_T = \begin{cases} \frac{1}{1 + a \cdot t_0^{2.5}} & t_0 \leq t_1 \\ \frac{1}{b \cdot t_0 + c} & t_1 < t_0 \leq t_2 \\ k \cdot t_0 + d & t_0 > t_2 \end{cases} \quad (6-3)$$

式中: $a = (-0.13\lambda_0^3 + 0.92\lambda_0^2 - 0.39\lambda_0 + 0.74) \cdot (-2.85C_0 + 19.45)$;

$b = C_0^{-0.46} \cdot (-1.59\lambda_0^2 + 13.0\lambda_0 - 3.0)$;

$c = 1 + a \cdot t_1^{2.5} - b \cdot t_1$;

$d = \frac{1}{b \cdot t_2 + c} - k \cdot t_2$;

$k = (0.02\lambda_0^3 - 0.31\lambda_0^2 + 1.46\lambda_0 + 0.03) \cdot (0.0034C_0^3 - 0.0465C_0^2 + 0.21C_0 - 0.33)$;

$t_1 = (7.2 \times 10^{-3}C_0^2 - 0.02C_0 + 0.27) \cdot (-1.31 \times 10^{-2}\lambda_0^3 + 0.17\lambda_0^2 - 0.72\lambda_0 + 1.49)$;

$t_2 = (0.01C_0^2 - 0.03C_0 + 0.39) \cdot (-0.03\lambda_0^3 + 0.31\lambda_0^2 - 1.12\lambda_0 + 1.89)$;

$t_0 = t/100$; $C_0 = C/1256$; $\lambda_0 = \lambda/40$ 。

2 对于矩形截面钢管混凝土柱:

$$k_T = \begin{cases} \frac{1}{1 + a \cdot t_0^2} & t_0 \leq t_1 \\ \frac{1}{b \cdot t_0^2 + c} & t_1 < t_0 \leq t_2 \\ k \cdot t_0 + d & t_0 > t_2 \end{cases} \quad (6-4)$$

其中, $a = (0.05\lambda_0^3 - 0.28\lambda_0^2 + 0.33\lambda_0 + 0.93) \cdot (-2.56C_0 + 16.08)$;

$b = (-0.19\lambda_0^3 + 1.48\lambda_0^2 - 0.95\lambda_0 + 0.86) \cdot (-0.19C_0^2 +$

$0.15C_0 + 9.05)$;

$$c = 1 + (a - b) \cdot t_1^2; d = \frac{1}{b \cdot t_2^2 + c} - k \cdot t_2;$$

$$k = 0.0336\lambda_0^2 - 0.2\lambda_0 + 0.0744;$$

$$t_1 = 0.38 \cdot (0.02\lambda_0^3 - 0.13\lambda_0^2 + 0.05\lambda_0 + 0.95);$$

$$t_2 = (0.03C_0^2 - 0.13C_0 + 0.71) \cdot (0.03\lambda_0^2 - 0.29\lambda_0 + 1.21);$$

$$t_0 = t/100; C_0 = C/1600; \lambda_0 = \lambda/40$$

式(6-3)和式(6-4)的适用范围是: $f_y = 235\text{N/mm}^2 \sim 420\text{N/mm}^2$ 、C30 ~ C80 混凝土、 $\alpha_s = 0.04 \sim 0.20$ 、 $l = 10 \sim 80$ 、 $e/r = 0 \sim 3.0$ 、 $t \leq 3\text{h}$; 对于圆形截面钢管混凝土、 $C = 628\text{mm} \sim 6280\text{mm}$, 即外直径 $D = 200\text{mm} \sim 2000\text{mm}$; 对于矩形截面钢管混凝土、 $C = 800\text{mm} \sim 8000\text{mm}$, 即短边边长 $B = 200\text{mm} \sim 2000\text{mm}$ 。

只要给定钢管混凝土构件的横截面尺寸、长细比和火灾持续时间(t), 即可利用式(6-3)和式(6-4)方便地计算出构件的承载力系数 k_T , 进而利用下式确定出火灾作用下构件的承载力。

通过对承载力系数的分析发现:

(1) 影响火灾下承载力系数 k_T 的因素主要是构件截面周长(C)、长细比(l)、受火时间(t);

(2) 钢材和混凝土的强度、钢管壁厚、荷载偏心距对承载力有一定影响, 但是影响有限, 在承载力系数计算中可忽略其影响;

(3) 从式(6-3)和式(6-4)可以看出, 对应特定的火灾下的承载力系数 k_T (即火灾下与常温时钢管混凝土柱极限承载力的比值), 均有对应的火灾持续时间 t , 该时间即为对应荷载比 $R = k_T$ 时钢管混凝土柱的耐火极限。

3 最终火灾作用下构件的承载力可表示为:

$$N(t) = k_T N_u \quad (6-5)$$

其中, N_u 和 $N(t)$ 分别为钢管混凝土柱在常温下和火灾下的极限承载力, N_u 可根据式(6-6) ~ 式(6-9)计算。

$$N_u = \varphi N_0 \quad (6-6)$$

$$N_0 = f_{sc} A_{sc} \quad (6-7)$$

$$\varphi = \frac{1}{2 \bar{\lambda}_{sc}^2} \left[\bar{\lambda}_{sc}^2 + (1 + 0.25 \bar{\lambda}_{sc}) - \sqrt{(\bar{\lambda}_{sc}^2 + (1 + 0.25 \bar{\lambda}_{sc}))^2 - 4 \bar{\lambda}_{sc}^2} \right] \quad (6-8)$$

$$\bar{\lambda}_{sc} = \frac{\lambda_{sc}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{sc}}{E_{sc}}} \approx 0.01 \lambda_{sc} (0.001 f_y + 0.781) \quad (6-9)$$

式中： N_0 ——实心或空心钢管混凝土短柱的轴心受压强度承载力设计值(N)；

φ ——轴心受压构件稳定系数；

l_{sc} ——各种构件的长细比，等于构件的计算长度除以回转半径；

$\bar{\lambda}_{sc}$ ——构件正则长细比；

A_{sc} ——钢管混凝土构件的组合截面面积。

钢管混凝土组合轴压强度设计值 f_{sc} 按下式计算：

对于圆钢管混凝土：

$$f_{sc} = (1.14 + 1.02 \xi_o) \cdot f_c \quad (6-10)$$

对于矩形钢管混凝土：

$$f_{sc} = (1.18 + 0.85 \xi_o) \cdot f_c \quad (6-11)$$

式中： f_c ——混凝土的轴心抗压强度设计值；

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

x_o ——构件截面的约束效应系数设计值(= $a_s \cdot f / f_c$)；

a_s ——构件截面含钢率(= A_s / A_c)；

A_s 、 A_c ——分别为钢管和混凝土的横截面积。

为方便设计，基于上述分析，通过计算和插值得到不同外径、长细比和升温时间下的构件承载力系数取值表，具体见本标准表 D. 1-1、表 D. 1-2。

6.2.6 本条规定了标准火灾升温曲线下构件的抗压承载力。

空心钢管混凝土结构在电力行业中得到了较为广泛的应用,其良好的工程特性还可使其应用于民用建筑。与实心钢管混凝土制作方式不同,空心钢管混凝土是采用离心法浇筑管内混凝土,并通过蒸汽养护制成,混凝土内部中心为圆形中空。从几何构造上看,空心钢管混凝土明显区别于实心钢管混凝土的地方是多了一个参数—空心率 ψ ,它的定义为空心部分的面积 A_k 与空心部分的面积加混凝土面积总和 $A_k + A_c$ 的比值,即空心率 $\psi = A_k / (A_k + A_c)$ 。不难看出,当 $\psi = 0$ 时,即为实心钢管混凝土,所以实心钢管混凝土可以看做是空心钢管混凝土的一种特例。

本条采用《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 - 2014 中第 8.0.1 条规定,对空心钢管混凝土柱耐火极限进行计算。该计算方法也适用于空心率 $\psi = 0$ 的实心钢管混凝土柱,但由于计算过程较为复杂,且不能充分考虑偏心率、钢管壁厚等参数对耐火极限的影响。通过采用本标准第 6.2.5 条和第 6.2.6 条分别得到的实心钢管混凝土柱耐火极限,并与大量的实验数据进行对比,本标准第 6.2.5 条计算结果具有更好的精度。因此,针对实心钢管混凝土柱,建议采用本标准第 6.2.5 条对其进行抗火设计。

1 标准火灾升温曲线下构件的抗压强度设计值 f_{sc}^T 应按下列公式计算:

$$f_{sc}^T = k_{sc}^T f_{sc} \quad (6-12)$$

由于钢管很薄且导热性好,因此可以认为钢管的温度处处相等。对于混凝土,由于存在温度梯度,通过研究发现可以采用混凝土的平均温度来统一衡量混凝土的强度变化。同时,火灾下钢管强度降低较快,因此忽略火灾下的套箍作用,则强度的折减系数等于高温下的强度叠加值比上常温下的强度叠加值,见式(6-13)。则火灾下的组合强度等于强度折减系数乘以常温下的组合强度,即:

$$k_{sc}^T = \frac{A_c \bar{f}_c^T + A_s f^T}{A_c f_c + A_s f} \quad (6-13)$$

当混凝土的折减系数简化为线性变化时,可采用平均温度计算材料的强度折减,考虑温度的不均匀性,混凝土的平均温度按图 6-1 中的小值计算,即:

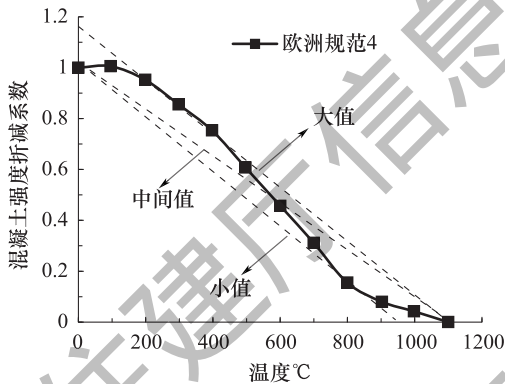


图 6-1 钢管混凝土强度折减系数(稳定系数)随温度的变化曲线

$$\bar{f}_c^T = f_c \times \begin{cases} 1 - \frac{\bar{T}_c - 20}{918}, & 20 < \bar{T}_c \leq 938 \\ 0, & \bar{T}_c > 938 \end{cases} \quad (6-14)$$

式中: f_{sc} ——常温下钢管混凝土构件的抗压强度设计值(N/mm^2),按式(6-10)或式(6-11)计算;

k_{sc}^T ——高温下强度折减系数;

A_s, A_c ——钢管、管内混凝土的面积(mm^2);

f^T —— t 时刻高温下钢管的抗压强度设计值,其中钢管的温度 T_s 应按本标准的式(6.2.4-1)计算(N/mm^2);

\bar{f}_c^T —— t 时刻高温下混凝土的平均抗压强度设计值(N/mm^2);

\bar{T}_c ——混凝土的平均温度,应按本标准的式(6.2.4-6)计算(°C)。

2 火灾下构件的强度承载力设计值应按下式计算:

$$N_0^T = f_{sc}^T A_{sc} \quad (6-15)$$

3 火灾下构件的稳定承载力设计值应按下列公式计算:

$$N_u^T = \varphi_T N_0^T \quad (6-16)$$

常温下,影响构件的稳定系数的主要因素有两个,一个是正则长细比,另一个是等效初始偏心。对于正则长细比,根据统一理论的思想,可以将不同时刻的钢管混凝土看成是一种单一材料组成的构件,对应的参数按不同时间点的材料性质来确定,计算公式和常温相同。对于等效初始偏心系数,由于高温的影响,在这里考虑到高温对残余应力的影响,稳定系数按类似钢结构的“b”类截面考虑。

高温下的稳定系数同样根据静力公式扩展而来,高温下的稳定系数计算公式如下:

$$\varphi_T = \frac{1}{2(\bar{\lambda}_{sc}^T)^2} \left\{ [(\bar{\lambda}_{sc}^T)^2 + 0.25\bar{\lambda}_{sc}^T + 1] - \sqrt{[(\bar{\lambda}_{sc}^T)^2 + 0.25\bar{\lambda}_{sc}^T + 1]^2 - 4(\bar{\lambda}_{sc}^T)^2} \right\} \quad (6-17)$$

$$E_{sc}^T = (\bar{E}_c I_c + E_s^T I_s) / I_{sc} \quad (6-18)$$

$$\bar{E}_c^T = E_c e^{-\frac{\bar{T}_c - 20}{211}} \quad (6-19)$$

式中: N_u^T —— t 时刻,钢管混凝土构件的稳定承载力(N);

N_0^T —— t 时刻,钢管混凝土构件的强度承载力(N);

φ_T —— t 时刻,钢管混凝土构件高温下的稳定系数;

$\bar{\lambda}_{sc}^T$ ——高温下的正则长细比, $\bar{\lambda}_{sc}^T = \frac{\lambda_{sc}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{sc}^T}{E_{sc}^T}}$

- f_{sc}^T —— t 时刻,钢管混凝土构件的抗压强度设计值(N/mm^2);
- A_{sc} ——钢管混凝土构件的截面积,等于钢管和混凝土截面积之和(mm^2);
- E_{sc}^T —— t 时刻,钢管混凝土构件的弹性模量(N/mm^2);
- E_s^T —— t 时刻,高温下钢材弹性模量(N/mm^2);
- \bar{E}_c^T —— t 时刻,高温下混凝土的平均弹性模量,考虑温度的不均匀性(N/mm^2)。

4 空心率对火灾作用下承载力有较大影响,因此采用截面平均温度法对构件在火灾作用下承载力进行计算。构件在标准火灾升温曲线下构件耐火时间计算需要反复迭代或试算,由于公式形式相对复杂,考虑到火灾下钢管软化较快,因此,进一步简化,在计算组合强度时不考虑套箍作用,则最终空心钢管混凝土构件在火灾下的承载力折减系数可以表示为:

$$k_T = \frac{N_u^T}{N_0^T} = \frac{\varphi_T N_0^T}{\varphi N_0} = \frac{\varphi_T A_c \bar{f}_c^T + A_s f^T}{\varphi A_c f_c + A_s f} \quad (6-20)$$

其中,常温和高温下的稳定系数公式中对应的组合强度也不考虑套箍作用。根据上式可知:当承载力折减系数 k_T 等于荷载比 R 时,此时对应的时间即为构件的耐火时间,通过对空心钢管混凝土构件承载力折减系数的分析发现:

- (1) 柱高在 1m ~ 5m 范围内,高度对承载力折减系数的影响较小,在此都按 4m 计算;
- (2) 其他条件相同时,钢材的强度提高会提高构件的耐火性能,反之,混凝土的强度提高会降低构件的耐火性能;偏于安全,简化计算中取钢材为 Q420,混凝土为 C30;
- (3) 钢管的厚度对承载力有一定的影响,但是影响有限,根据常见取值范围,偏于安全取 10mm;
- (4) 外径、空心率和荷载比对构件的承载力折减影响非常明

显,应考虑。

为了方便设计,基于上面的分析和假定,通过迭代插值得到不同外径、空心率和荷载比下的构件耐火时间取值表,具体见本标准表 D.2。表中空心率为 0 时,构件实际为实心钢管混凝土柱,其耐火时间既可根据表 D.2 取值,也可根据第 6.2.5 条得到。

6.2.7 本条规定了内置型钢的钢管混凝土构件承载力系数计算。

实际工程中,对于钢管混凝土巨型柱或主要承重构件,常采用混凝土中内置型钢以达到提高构件承载力、刚度和延性的目的。工程中较常用的构件形式为混凝土中内置 H 或十字型钢。大量的试验研究和理论分析结果表明,内置型钢后的钢管混凝土构件的抗火性能可较普通钢管混凝土构件有显著提高。

目前,针对于内置型钢的钢管混凝土构件,已有较多的学者对其在压、弯、剪、扭等复合受力下的静力性能进行了大量研究,但对其抗火性能的研究较少,且尚未制定该类结构抗火设计方面的规定。采用实心钢管混凝土柱抗火设计方法对其进行设计,虽然也可以保证防火要求和结构的安全性,且大都偏于保守而造成浪费,且缺乏科学性和统一性。国内王文达等研究学者对内置型钢的钢管混凝土柱的耐火极限和防火设计方法进行了系统的理论分析和试验研究(详见:毛文婧. 内配型钢钢管混凝土柱耐火性能及抗火设计方法[D]. 兰州:兰州理工大学,2020.)

参考钢管混凝土柱抗火设计方法,定义均匀火灾作用下内配型钢钢管混凝土柱承载力的影响系数 k_T ,以评估火灾持续时间下内配型钢钢管混凝土柱的承载力。影响火灾下内配型钢钢管混凝土裸柱承载力的因素很多,主要有火灾荷载比(R)、长细比(λ)、截面尺寸(D/B)、材料强度(混凝土强度 f_{cu} 、钢管强度 f_y 和型钢强度 f_{sy})、钢管含钢率(α_{st})、型钢含钢率(α_{ss})、荷载偏心率(e/r_0)和受火时间(t)等。

通过上述承载力系数 k_T 的参数分析可知,截面尺寸 $D(B)$ 、长细比 λ 和受火时间 t 对 k_T 影响较大,其余参数对 k_T 的影响并不显著。此外,参数分析结果表明,型钢含钢率相同时,内置型钢形式(十字型钢或 H 型钢)对该类柱耐火性能的影响有限。因此,考虑 k_T 的主要影响参数,基于 ISO-834 标准升温曲线,对承载力系数的计算方法进行回归分析。内置型钢的钢管混凝土构件的承载力系数的计算可按式(6-21)、式(6-22)计算得到。

根据式(6-21)、式(6-22)可以看出,在给定火灾作用下承载力系数 k_T ,即火灾下内配型钢钢管混凝土柱承载力与常温下极限承载力的比值,均可反算得到对应的火灾持续时间 t ,该时间是对应火灾荷载比 $R(R = k_T)$ 时对应的内配型钢钢管混凝土柱的耐火极限 t_R 。

1 对于圆形截面钢管混凝土柱:

$$k_t = \frac{1}{1 + A \cdot B \cdot t_0^{0.884}} \quad (6-21)$$

$$A = 0.411\lambda_0^3 - 1.163\lambda_0^2 + 1.663\lambda_0 + 0.057$$

$$B = -0.171D_0^3 + 1.396D_0^2 - 3.807D_0 + 4.561$$

2 对于矩形截面钢管混凝土柱:

$$k_t = \frac{1}{1 + A \cdot B \cdot t_0^{0.914}} \quad (6-22)$$

$$A = 0.127\lambda_0^3 + 0.429\lambda_0^2 + 0.563\lambda_0 + 1.609$$

$$B = -0.098B_0^3 + 0.713B_0^2 - 1.741B_0 + 1.779$$

$$\lambda_0 = \lambda/40; B_0 = B/400; t_0 = t/100。$$

式(6-21)、式(6-22)的适用范围是: $f_y = 235\text{N/mm}^2 \sim 500\text{N/mm}^2$ 、C30 ~ C80 混凝土、 $\alpha_s = 0.04 \sim 0.20$ 、 $\alpha_{ss} = 0.04 \sim 0.10$ 、 $l = 10 \sim 80$ 、 $e/r = 0 \sim 3.0$ 、 $t \leq 3\text{h}$ 、对于圆形截面钢管混凝土, $C = 628\text{mm} \sim 6280\text{mm}$,即外直径 $D = 200\text{mm} \sim 2000\text{mm}$ 、对于矩形截面钢管混凝土, $C = 800\text{mm} \sim 8000\text{mm}$,即短边边长 $B = 200\text{mm} \sim$

2000mm, 内置型钢形式为十字型或 H 型。

为了方便设计, 基于上述公式, 通过计算和插值的到不同直径、长细比和升温时间下的承载力系数, 具体见本标准表 D. 3-1 和表 D. 3-2。

6.2.8 本条规定了标准火灾升温曲线下钢管混凝土柱防火保护层厚度计算。

高层建筑中的钢管混凝土柱在荷载作用下, 如果不进行防火保护, 耐火极限一般均不能满足实际要求, 为了使钢管混凝土柱的耐火极限达到设计要求, 需要对其进行适当的防火保护。目前实际工程中对钢管混凝土柱进行防火保护时, 最常用的是非膨胀型钢结构防火涂料, 也有采用抹金属网水泥砂浆作防火保护的。后者的优点是造价低、取材方便, 但由于其导热性能比非膨胀型钢结构防火涂料大, 所需要的保护层厚度相对较大。

对上述两种防火保护层进行计算, 通过回归分析给出了火灾荷载比为 0.77 时钢管混凝土柱在一定耐火极限时对应的保护层厚度。防火保护层性能应符合《钢结构防火涂料》GB 14907-2018。

对影响钢管混凝土柱防火保护层厚度的参数进行分析, 并对数值计算曲线的分析和拟合, 且适当考虑安全度, 最终可给出以耐火极限、构件截面尺寸(为了便于分析, 此处以截面周长 C 考虑截面尺寸的影响, 对于圆钢管混凝土, $C = \pi D$; 对于方钢管混凝土, $C = 4B$, 其中, B 为方钢管混凝土截面边长; 对于矩形钢管混凝土, $C = 2(B + D)$, 其中, B 和 D 分别为矩形钢管混凝土截面短边和长边边长)和长细比 λ 为基本参数的防火保护层 a 的简化计算公式, 可按式(6-23)~式(6-26)计算可得。

钢管混凝土柱在标准火灾升温曲线条件下的防火保护层厚度 a 可按下式计算:

1 当采用金属网抹 M5 普通水泥砂浆时:

对于圆形截面钢管混凝土:

$$a = k_1 k_2 C^{-(0.396 - 0.0045\lambda)} \quad (\text{mm}) \quad (6-23)$$

式中: $k_1 = 135 - 1.12\lambda$; $k_2 = 1.85t - 0.5t^2 + 0.07t^3$;

对于矩形截面钢管混凝土:

$$a = (220.8t + 123.8) C^{-(0.3075 - 3.25 \times 10^{-4}\lambda)} \quad (\text{mm}) \quad (6-24)$$

2 当采用符合《钢结构防火涂料应用技术规程》T/CECS 24-2020 的非膨胀型钢结构防火涂料时:

对于圆形截面钢管混凝土:

$$a = (19.2t + 9.6) C^{-(0.28 - 0.0019\lambda)} \quad (\text{mm}) \quad (6-25)$$

对于矩形截面钢管混凝土:

$$a = (149.6t + 22) C^{-(0.42 + 0.0017\lambda - 2 \times 10^{-5}\lambda^2)} \quad (\text{mm}) \quad (6-26)$$

式(6-23) ~ 式(6-26)中的系数 t 为耐火极限,以小时计; C 为柱截面周长(对于圆形截面钢管混凝土, $C = 628\text{mm} \sim 6280\text{mm}$, 即外直径 $D = 200\text{mm} \sim 2000\text{mm}$; 对于矩形截面钢管混凝土, $C = 800\text{mm} \sim 8000\text{mm}$, 即短边边长 $B = 200\text{mm} \sim 2000\text{mm}$); $l = 10 \sim 80$ 。

火灾荷载比对钢管混凝土柱的耐火极限和防火保护层厚度影响很大,大量参数分析可得,随荷载比和耐火极限的增大,防火保护层厚度逐渐增大。当荷载比 R 小于 0.8 时, a 随 R 变化的趋势比较平缓;当 R 大于 0.8 时, a 随 R 的增大而呈现出显著增大的趋势。为了便于实际工程应用,对于实心钢管混凝土构件,不同火灾荷载比作用下钢管混凝土柱防火保护层厚度可按式(6-27) ~ 式(6-30)计算可得。

3 保护层为水泥砂浆时

1) 对于圆钢管混凝土:

$$a = k_{\text{LR}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot C^{-(0.396 - 0.0045\lambda)} \quad (6-27)$$

式中, $k_1 = 135 - 1.12\lambda$; $k_2 = 1.85t - 0.5t^2 + 0.07t^3$ 。

2) 对于矩形钢管混凝土:

$$a = k_{\text{LR}} \cdot (2208t + 1238) \cdot C^{-(0.3075 - 3.25 \times 10^{-4}\lambda)} \quad (6-28)$$

$$\text{式中, } k_{\text{LR}} = \begin{cases} p \cdot n + q & (k_{\text{T}} < n < 0.77) \\ 1/(r - s \cdot n) & (n \geq 0.77) (k_{\text{T}} < 0.77); p = 1/ \\ \omega \cdot (n - k_{\text{T}})/(1 - k_{\text{T}}) & (k_{\text{T}} \geq 0.77) \end{cases}$$

$(0.77 - k_{\text{T}})$; $q = k_{\text{T}}/(k_{\text{T}} - 0.77)$; 对于圆钢管混凝土, $r = 3.618 - 0.154t$; $s = 3.4 - 0.2t$; $\omega = 2.5t + 2.3$; 对于矩形钢管混凝土, $r = 3.464 - 0.154t$; $s = 3.2 - 0.2t$; $\omega = 5.7t$ 。

4 保护层为厚涂型钢结构防火涂料时

1) 对于圆钢管混凝土:

$$a = k_{\text{LR}} \cdot (19.2t + 9.6) \cdot C^{-(0.28 - 0.0019\lambda)} \quad (6-29)$$

2) 对于矩形钢管混凝土:

$$a = k_{\text{LR}} \cdot (1496t + 22) \cdot C^{-(0.42 + 0.0017\lambda - 2 \times 10^{-5}\lambda^2)} \quad (6-30)$$

$$\text{式中, } k_{\text{LR}} = \begin{cases} p \cdot n + q & (k_{\text{T}} < n < 0.77) \\ 1/(3.695 - 3.5n) & (n \geq 0.77) (k_{\text{T}} < 0.77); p = 1/ \\ \omega \cdot (n - k_{\text{T}})/(1 - k_{\text{T}}) & (k_{\text{T}} \geq 0.77) \end{cases}$$

$(0.77 - k_{\text{T}})$, $q = k_{\text{T}}/(k_{\text{T}} - 0.77)$; 对于圆钢管混凝土, $\omega = 7.2t$; 对于矩形钢管混凝土, $\omega = 10t$ 。

式(6-27)~式(6-30)中, k_{LR} 为考虑火灾荷载比(R)影响的系数, k_{T} 为火灾下构件承载力系数, 表达式见式(6-21)和式(6-22), 耐火极限 t 以 h 计; 截面周长 C 以 mm 计。式(6-27)~式(6-30)表明, 当火灾荷载比小于等于承载力系数 k_{T} 时, 构件不需进行防火保护; 当火灾荷载比大于承载力系数 k_{T} 时, 可按式(6-27)~式(6-30)计算构件所需的防火保护层厚度。

式(6-27)~式(6-30)的适用范围是: $k_{\text{LR}} = 0 \sim 1$, $f_{\text{y}} = 235\text{N/mm}^2 \sim 420\text{N/mm}^2$, C30~C80 混凝土, $\alpha_{\text{s}} = 0.04 \sim 0.20$, $l = 10 \sim 80$, $e/r = 0 \sim 3.0$, $t \leq 3\text{h}$, 对于圆形截面钢管混凝土, $C = 628\text{mm} \sim 6280\text{mm}$, 即外直径 $D = 200\text{mm} \sim 2000\text{mm}$, 对于矩形截面钢管混凝土, $C = 800\text{mm} \sim 8000\text{mm}$, 即短边边长 $B = 200\text{mm} \sim 2000\text{mm}$ 。

5 对于内置型钢的钢管混凝土构件,其保护层厚度可近似按附录中表 D. 3-1、表 D. 3-2 取值。

6.3 结构防火保护构造

6.3.1、6.3.2、6.3.3、6.3.4 此部分条文主要参考实际工程实践中的防火保护做法及欧洲国家所采用的钢管混凝土柱防火保护构造。

6.3.5 当温度超过 100℃时,核心混凝土中的自由水和分解水会发生蒸发现象,为保证火灾发生时核心混凝土中水蒸气的排放,每个楼层的柱均应设置排气孔。根据实际工程情况,一般钢管混凝土柱每间隔 2.0m~2.5m 都要设置直径 25mm 以上的溢浆孔。当钢柱每层设置溢浆孔时,可以不再另设排气孔。

7 防火保护工程的施工、验收与维护

7.1 一般规定

7.1.1 将《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017 中的“设计部门”修改为了“建设单位、设计单位和监理单位”。

7.1.2 根据《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017 的规定,明确了计量器具应由法定计量检定机构检定、校准合格。

7.1.3 根据《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017 的规定,修改“验算”为“验收”。

7.1.4 本条规定了钢结构防火保护工程施工前应具备的技术、物质条件。目前,钢结构防火保护工程的施工通常由具有消防施工资质的分包单位承担,因此必须做好相关的衔接、交底工作。钢结构防火保护工程是防腐涂装工程的后续施工,因此本条特别强调要求防腐涂装检验合格后方可进行防火保护工程的施工。

施工前,需要确认防火涂料与防腐涂料的相容性,可通过与防腐涂料、防火涂料厂家咨询沟通,现场试验等方式确定,重点考察评价防火涂料与防腐涂料的结合力,防火涂料是否对防腐涂料有咬底现象等。对于防火涂料,应在防腐底漆、中间漆涂装检验合格后进行,防腐面漆的施工应在防火涂料涂装检验合格后进行。

防腐涂装的检验应按下列要求进行:

检查数量:按同类构件基数抽查 10%,且均不应少于 3 个。

检验方法:表面除锈采用铲刀检查,按《涂覆涂料前钢材表面

处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB 8928. 1 - 2011 规定的图片对照检查。防腐涂层厚度用漆膜测厚仪检查,每个构件检测 5 处,每处的数值为 3 个相距 50mm 测点涂层干漆膜厚度的平均值。涂装防腐涂层的构件表面不应误涂、漏涂,涂层不应脱皮和返锈等。涂层应均匀、无明显皱皮、流坠、针眼和气泡等。

防火涂料应按《色漆和清漆涂料配套性和再涂性的测定》GB/T 34681 - 2017 规定的方法进行防火涂料和防腐漆的相容性试验,防火涂料和防腐漆之间不能出现溶胀、咬底、起皱、变色等缺陷。遇下列情况时应对防腐漆进行划格试验或粘结强度试验:

1 当钢结构处在有腐蚀介质环境或外露且设计有要求时,涂装防火涂料前应对防腐涂层附着力进行测试,在检测处范围内,当涂层完整程度达到 70% 以上时,涂层附着力需达到防腐涂层合格质量标准的要求。

2 钢结构上涂装的防腐漆和企业提供的型式检验报告或型式试验报告所载明防腐漆不一致时。当防腐涂层厚度小于或等于 $250\mu\text{m}$ 时,应按《色漆和清漆漆膜的划格试验》GB/T 9286 - 2021 的有关规定测定防腐涂层的脱离抗性,或采用《钢结构防火涂料》GB 14907 - 2018 规定的方法测定防火涂层同防腐涂层的粘结强度。当防腐涂层厚度大于 $250\mu\text{m}$ 时,应按《色漆和清漆 拉开法附着力试验》GB/T 5210 - 2006 规定的方法测试防腐涂层的附着力,或按《钢结构防火涂料》GB 14907 - 2018 规定的方法测定涂层同防腐涂层的粘结强度。

检查数量:按构件数抽查 1%,且不应少于 3 件,每件测 3 处。

检验方法:按照《漆膜附着力测定法》GB 1720 - 2020 或《色漆和清漆、漆膜的划格试验》GB 9286 - 2021 或《色漆和清漆 拉开法附着力试验》GB/T 5210 - 2006 执行。

7.2 防火保护材料进场

7.2.1 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 指出,钢结构防火保护材料的使用直接关系到结构构件的耐火性能,关系到结构的耐火能力与防火安全。因此,防火保护材料必须选用经过检验的合格产品,并注意其检验报告的有效性。

由于防火涂料及建筑构件防火堵封材料自 2021 年起已列为自愿性消防认证产品,可以自愿申请认证证书。因此,本标准将 GB 51249 - 2017 第 9.2.1 条中的“检验合格报告和型式认可证书”修改为“检验合格报告或型式认可证书”,并作为本标准的第 7.2.1 条列入。

此外,《钢结构防火涂料应用技术规程》T/CECS 24 - 2020 要求,型式检验报告中满足对应耐火极限时的涂刷厚度进场检验是按照《钢结构防火涂料》GB 14907 - 2018 做全项检验或仅作重要项目(属于 A 类缺陷的项目)检验,由供货方、建设单位及监理单位协商决定。在《钢结构防火涂料》GB 14907 - 2018 中,将防火涂料的耐火极限、粘结强度、耐水性认定为 A 类缺陷,任何一项不合格,就判定为防火涂料不合格。

7.3 防火涂料保护工程的施工

I 一般要求

7.3.1 本条综合了《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的相关规定。等效热阻是衡量防火保护层防火保护性能的技术指标。膨胀型钢结构防火涂料的等效热传导系数与防火保护层厚度有关,宜根据等效热阻确定防火保护层的厚度(涂层厚度)。非膨胀型钢结构防火涂料、防火板等材料的等效热传导系数与防火保护层厚度无关,因此根据防火保护层的等效热阻相等原则可按式

(7.3.1)确定实际施工厚度。

7.3.2 钢结构涂装构造包括防腐底漆、防腐中间漆、防火涂料、防腐面漆。防腐底漆涂装一般在车间内完成。实际工程中,为了节约成本,大量钢结构企业选用调和漆作为防锈漆。工程实践表明,调和漆漆膜附着力差,容易引起防火涂层的空鼓、脱落,因此本标准建议采用环氧类涂料作为防锈漆。

应特别注意防火涂料与防腐涂料的相容性问题,尤其是膨胀型防火涂料,因为它与防腐油漆同为有机材料,可能发生化学反应。在不能出具第三方证明材料证明“防火涂料、防腐涂料相容”的情况下,应委托第三方进行试验验证。

在施工时应控制防腐底漆、中间漆的厚度,避免由于防腐底漆、中间漆的高温变性导致防火涂层的脱落,避免因面漆过厚、过硬而影响膨胀型防火涂料的发泡膨胀。构件外部应留有足够的膨胀空间,也不应包裹防火毡等。

II 主控项目

7.3.5 与《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017相比,本条加了“钢板表面温度至少高于露点温度 3°C 以上”的要求。

本条规定防火涂料涂装时的环境温度以 $5^{\circ}\text{C} \sim 38^{\circ}\text{C}$ 为宜,但该规定只适合于室内无阳光直接照射的情况(通常钢材表面温度要比气温高 $2^{\circ}\text{C} \sim 3^{\circ}\text{C}$)。在阳光直接照射下,钢材表面的温度会比气温高 $8^{\circ}\text{C} \sim 12^{\circ}\text{C}$ 。涂装时漆膜的耐热性一般在 40°C 以下,高于该温度后,漆膜就容易产生气泡而局部鼓起,使附着力降低;低于 0°C 时,在室外钢材表面涂装容易使漆膜冻结而无法固化,出现开裂。湿度大于85%时,防火涂料中溶剂或水分无法完全挥发,影响成膜;构件表面温度必须大于露点温度 3°C 以上,避免构件表面凝露,漆膜附着力差。室外涂装时,最佳涂装时间是日出3.0h之后,这时附在钢材表面的露点基本干燥;在日落后3.0h之内,应

停止作业,此时空气中的相对湿度尚未回升,钢材表面尚存的温度不会导致露点形成。涂层在 4.0h 之内,漆膜表面尚未固化,容易被雨水冲坏,故规定在 4.0h 之内不得淋雨。

对甘肃省陇南地区(潮湿、湿热、低温较高的环境气候),防火涂料施工时应特别注意:涂装前检测前道涂层表面是否出现凝露现象,是否存在水汽;湿度大,涂料干燥减慢,应薄涂多道,且适当延长重涂间隔(确定前道涂层起硬度后再进行重涂。可采用指压法判定,不留手印即可进行下道涂装);涂装后 24 小时内避免淋雨。

对河西地区(温度高、湿度低、昼夜温差大的环境气候),防火涂料施工时应特别注意:钢材表面温度,表面温度必须大于露点温度 3℃ 以上方可施工;涂装前应检测钢构件表面温度,以 5℃ ~ 38℃ 为宜,不能以环境温度判断是否满足施工条件;在日落后 3.0h 之内,应停止作业,避免白昼温差大,涂膜开裂;当风力 >4 级时,应停止作业;避免涂膜厚度不达标、表层干燥过快出现裂纹。

7.3.6 本条规定了防火涂料涂层厚度的允许偏差,涂层厚度对防火保护效果影响重大,应从严要求。膨胀型防火涂料涂层厚度小,施工时要严格控制,因此以涂层最小厚度作为控制。

与《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249-2017 不同的是,本标准对厚度和允许偏差进一步给出了要求,详见表 7-1。

表 7-1 本标准与 GB 51249-2017 中规定的对比

序号	GB 51249-2017	本标准
1	防火涂料涂层的厚度不得小于设计厚度	防火涂料涂层的厚度不得小于型式检验报告中满足对应耐火极限时间的涂层总厚度
2	防火涂料涂层的厚度不得小于设计厚度。非膨胀型防火涂料涂层最薄处的厚度不得小于设计厚度的 85%;平均厚度的允许偏差应为设计厚度的 ±10%,且不应大于 ±2mm	防火涂料涂层最薄处的厚度不得小于型式检验报告中满足对应耐火极限时间的涂层总厚度的 85%;平均厚度的允许偏差应为设计厚度的 ±10%,对于非膨胀型的厚度不应大于 ±2mm

7.3.7 《钢结构防火涂料应用技术规程》T/CECS 24 - 2020 规定,在涂层中加网,可以有效减少涂层开裂,增加涂料的使用年限,防火涂料型式检验报告或型式试验报告标明在防火涂料检测过程中防火涂层内有加网情况,工程应用时应加网施工且加网的材料和规格应与型式检验报告或型式试验报告一致。防火涂料型式检验报告或型式试验报告未标明在防火涂料检测过程中防火涂层内有加网情况,但因涂层较厚,涂层可能开裂、空鼓,应采取加网施工措施。

III 一般项目

7.3.10 型式检验报告中满足对应耐火极限时的涂刷厚度进场检验是按照《钢结构防火涂料》GB 14907 - 2018 做全项检验或仅作重要项目(属于 A 类缺陷的项目)检验,由供货方、建设单位及监理单位协商决定。《钢结构防火涂料》GB 14907 - 2018 中,将防火涂料的耐火极限、粘结强度、耐水性认定为 A 类缺陷,任何一项不合格,就判定为防火涂料不合格。

7.4 其他防火保护工程的施工

7.4.1、7.4.2、7.4.3、7.4.4 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的 9.4 节、9.5 节、9.6 节、9.7 节分别给出了防火板保护工程,柔性毡状材料防火保护工程,混凝土、砂浆和砌体防火保护工程,复合防火保护工程的施工要求。当采用这些防护措施时,应按《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 - 2017 的规定执行。

7.5 防火保护工程的验收与维护管理

7.5.2 根据定期检查和特殊检查情况,判断钢结构和其防火保护层是否处于正常状态。如果未发现异常,将检查记录作为结构

物管理档案的一部分保存;如果发现异常情况,可根据异常情况的性质和程度对钢结构的防火效果作出判断,决定是否需要对防火保护层进行修复或更新,进而决定修复的范围和程度。本条系参考《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 - 2011 中的规定,给出了建筑钢结构的防火维护管理的要求。

7.5.3 特殊检查的检查项目和内容可根据具体情况确定,或选择定期检查项目中的一项或几项。

对定期检查各项目的内容、方式、作用及相互关系说明如下:

防火保护层外观检查是对涂装钢结构进行的一般性检查,主要方法为目视检查保护层是否有破损及分辨破损的类型,估测破损的范围和程度,填写检测记录表,作为防火修复或结构补强的判断依据。

防火保护层防火性能检查是对防火保护层进行详细检查和测定,通过记录防火保护层的变色、粉化、鼓泡、剥落、返锈和破损面积等对防火保护层的保护性能进行评定,以便决定是否采取修复措施。

地震、台风、火灾等重大灾害后,应对钢结构防火进行特殊检查,特殊检查包括外观检查和防火性能检查。