

上海市工程建设规范

大空间建筑铝合金结构防火技术标准

Technical standard for fire safety of aluminum structures in large-space building

DG/TJ08—2420—2023

J 17037—2023

主编单位：华东建筑设计研究院有限公司

上海市消防救援总队

同济大学

批准部门：上海市住房和城乡建设管理委员会

施行日期：2023年 12月 1日

2024 上海

上海市住房和城乡建设管理委员会文件

沪建标定〔2023〕249号

上海市住房和城乡建设管理委员会关于 批准《大空间建筑铝合金结构防火技术标准》为 上海市工程建设规范的通知

各有关单位：

由华东建筑设计研究院有限公司、上海市消防救援总队和同济大学主编的《大空间建筑铝合金结构防火技术标准》，经我委审核，现批准为上海市工程建设规范，统一编号为 DG/TJ 08—2420—2023，自 2023 年 12 月 1 日起实施。

本标准由上海市住房和城乡建设管理委员会负责管理，华东建筑设计研究院有限公司负责解释。

上海市住房和城乡建设管理委员会
2023 年 5 月 22 日

前 言

本标准根据上海市住房和城乡建设管理委员会《关于印发〈2020年上海市工程建设规范、建筑标准设计编制计划〉的通知》(沪建标定〔2019〕752号)的要求,由华东建筑设计研究院有限公司、上海市消防救援总队、同济大学会同有关单位共同联合编制而成。

本标准共 10 章,主要包括:总则;术语与符号;基本规定;材料特性;温度计算;构件与节点抗火承载力验算;结构整体耐火验算;防火保护措施;施工与验收;维护与保养。

各单位及相关人员在执行本标准过程中,如有意见和建议,请反馈至上海市住房和城乡建设管理委员会(地址:上海市大沽路 100号;邮编:200003;E-mail:shjsbzgl@163. com),华东建筑设计研究院有限公司(地址:上海市石门二路 258号;邮编:200041;E-mail:jch_cui@163. com),上海市建筑建材业市场管理总站(地址:上海市小木桥路 683号;邮编:200032;E-mail:shgcbz@163. com),以供今后修订时参考。

主 编 单 位:华东建筑设计研究院有限公司
上海市消防救援总队
同济大学

参 编 单 位:上海通正铝结构建设科技有限公司
上海建筑设计研究院有限公司
应急管理部四川消防研究所
上海建工集团股份有限公司
上海建筑空间结构工程技术研究中心
上海建科铝合金结构工程研究院

主要起草人:崔家春 杨 波 张其林 李亚明 郭小农
欧阳元文 蒋首超 王 薇 张泽江
王平山 赵 晨 高振锋 寿炜炜 颜明强
尹 建 罗晓群 李志强 谈凤婕 杨 凯
赵华亮 贾水钟 王 朔 巫燕贞 曹晴烨
徐自然 冷友伟 邱丽秋 刘小蔚
主要审查人:丁洁民 杨联萍 李向民 楼国彪 马 哲
姜文伟 陈务军

上海市建筑建材业市场管理总站

目 次

| | | |
|-----|--------------------|----|
| 1 | 总 则 | 1 |
| 2 | 术语与符号 | 2 |
| 2.1 | 术 语 | 2 |
| 2.2 | 符 号 | 3 |
| 3 | 基本规定 | 8 |
| 3.1 | 防火要求 | 8 |
| 3.2 | 防火设计 | 8 |
| 4 | 材料特性 | 11 |
| 4.1 | 铝合金 | 11 |
| 4.2 | 防火保护材料 | 13 |
| 5 | 温度计算 | 14 |
| 5.1 | 火灾升温曲线 | 14 |
| 5.2 | 铝合金构件升温计算 | 15 |
| 6 | 构件与节点抗火承载力验算 | 22 |
| 6.1 | 轴心受力构件 | 22 |
| 6.2 | 受弯构件 | 24 |
| 6.3 | 拉弯、压弯构件 | 26 |
| 6.4 | 板式节点 | 28 |
| 7 | 结构整体耐火验算 | 30 |
| 7.1 | 一般规定 | 30 |
| 7.2 | 荷载与火灾工况 | 30 |
| 7.3 | 分析模型 | 30 |
| 7.4 | 结果判定 | 31 |

| | | |
|------|-----------------------------|----|
| 8 | 防火保护措施 | 32 |
| 8.1 | 一般规定 | 32 |
| 8.2 | 防火保护 | 32 |
| 9 | 施工与验收 | 35 |
| 9.1 | 一般规定 | 35 |
| 9.2 | 防火保护材料进场 | 36 |
| 9.3 | 防火保护工程 | 37 |
| 9.4 | 防火保护分项工程验收 | 39 |
| 10 | 维护与保养 | 41 |
| 10.1 | 一般规定 | 41 |
| 10.2 | 防火材料的维护与保养 | 41 |
| 附录 A | 高温下铝合金板式节点在网壳曲面外的弯曲刚度 计算 | 42 |
| 附录 B | 铝合金结构防火保护检验批质量验收记录 | 45 |
| 附录 C | 铝合金结构防火保护分项工程质量验收记录 | 48 |
| | 本标准用词说明 | 49 |
| | 引用标准名录 | 50 |
| | 条文说明 | 51 |

Contents

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | General provisions | 1 |
| 2 | Terms and symbols | 2 |
| 2.1 | Terms | 2 |
| 2.2 | Symbols | 3 |
| 3 | Basic requirements | 8 |
| 3.1 | General requirements | 8 |
| 3.2 | Fire protection design | 8 |
| 4 | Material properties | 11 |
| 4.1 | Aluminum alloy | 11 |
| 4.2 | Fireproof materials | 13 |
| 5 | Temperature calculation | 14 |
| 5.1 | Temperature-time curves of fire | 14 |
| 5.2 | Thermal analysis of aluminum alloy member exposed to fire | 15 |
| 6 | Fire resistance design of members and joints | 22 |
| 6.1 | Axial force members | 22 |
| 6.2 | Flexural members | 24 |
| 6.3 | Eccentric tension/compression members | 26 |
| 6.4 | Gusset joints | 28 |
| 7 | Fire resistance design of aluminum alloy structures | 30 |
| 7.1 | General requirements | 30 |
| 7.2 | Load and fire cases | 30 |
| 7.3 | Analysis model | 30 |
| 7.4 | Result evaluation | 31 |

| | | |
|------------|--|----|
| 8 | Fire protection measures | 32 |
| 8.1 | General requirements | 32 |
| 8.2 | Fire protection | 32 |
| 9 | Acceptance of construction quality of fire protection | 35 |
| 9.1 | General requirements | 35 |
| 9.2 | Fireproof materials entering into construction site | 36 |
| 9.3 | Fire protection engineering | 37 |
| 9.4 | Acceptance of construction quality of fire protection | 39 |
| 10 | Repair and maintenance of fire protection | 41 |
| 10.1 | General requirements | 41 |
| 10.2 | Repair and maintenance of fire protection materials | 41 |
| Appendix A | Calculation of out-of-plane bending stiffness of curved reticulated shell for aluminum gusset joints under high temperatures | 42 |
| Appendix B | Quality acceptance record of inspection lot of fire-protection for aluminum structures | 45 |
| Appendix C | Quality acceptance record of item project of fire-protection for aluminum structures | 48 |
| | Explanation of wording in this standard | 49 |
| | List of quoted standards | 50 |
| | Explanation of provisions | 51 |

1 总 则

1.0.1 为规范大空间建筑铝合金结构的应用,减少火灾危害,保护人身与财产安全,做到安全适用、经济合理、技术先进,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于本市民用大空间建筑铝合金结构防火工程的设计、施工、验收与维护。

1.0.3 大空间建筑铝合金结构防火工程的设计、施工、验收与维护,除应符合本标准外,尚应符合国家、行业和本市现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 大空间建筑 large-space building

本标准中指室内净高不小于 8 m、独立空间地(楼)面面积不小于 500 m² 的建筑。

2.1.2 大空间建筑铝合金结构 aluminum structure in large-space building

本标准中指应用于大空间建筑的承重铝合金结构。

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

在标准火灾试验中,试验炉内的空气平均温度随火灾持续时间变化的关系曲线。

2.1.4 大空间火灾升温曲线 temperature-time curve for large-space fire

在大空间内发生火灾时,相对于火源中心的某一位置处烟气温度与火灾持续时间的关系曲线。

2.1.5 火灾荷载 fire load

建筑空间内可燃物的多少。一般用单位楼面面积上的可燃物释热量总和表示,有时也用单位楼面面积上的可燃物数量按总释热量等效成标准木材的质量表示。

2.1.6 截面形状系数 section factor

铝合金构件的受火表面积与其相应的体积之比。

2.1.7 等效热阻 equivalent thermal resistance

在特定试验条件下测得的表征防火保护材料阻抗传热能力

的物理量。

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。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

c_{al} —— 铝合金的比热容；

$c_{al, T}$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 下的铝合金材料比热容；

c_i —— 防火保护材料的比热容；

E_T —— 高温下铝合金的弹性模量；

f —— 常温下铝合金名义屈服强度设计值；

$f_{0.2}$ —— 常温下铝合金的名义屈服强度；

$f_{0.2T}$ —— 高温下铝合金的名义屈服强度；

f_b —— 粘结强度；

f_T —— 高温下铝合金强度设计值；

K —— 综合传热系数；

R_i —— 防火保护层的等效热阻；

ε_T —— 高温下铝合金的应变；

λ_{al} —— 铝合金的热传导系数；

λ_i —— 防火保护层的等效热传导系数；

ν —— 铝合金材料的泊松比；

ρ_{al} —— 铝合金材料的密度；

ρ_i —— 防火保护材料的密度；

σ_T —— 高温下铝合金的应力。

2.2.2 作用、效应与抗力

F_{max} —— 最大拉伸荷载；

N —— 高温下构件的轴力设计值；

- $N_{Ex, T}$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 下理想轴压构件的绕 x 轴失稳的欧拉荷载；
 $N_{Ey, T}$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 下理想轴压构件的绕 y 轴失稳的欧拉荷载；
 M_{cr} 受弯构件的临界弯矩；
 M_x 高温下最不利截面处绕 x 轴弯矩设计值；
 M_y ——高温下最不利截面处绕 y 轴弯矩设计值；
 S_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的荷载效应值；
 S_m ——荷载(作用)效应组合设计值；
 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变化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；
 $V_{cr, T}$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 下铝合金板式节点的屈曲破坏承载力；
 $V_{u, T}$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 下铝合金板式节点的块状拉剪破坏承载力；
 V_u ——常温下铝合金板式节点的块状拉剪破坏承载力；
 γ_{0T} ——结构重要性系数；
 γ_G ——永久荷载分项系数；
 $\xi_{cr, T}$ ——节点板屈曲破坏承载力高温影响系数；
 $\xi_{u, T}$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 下节点板块状拉剪破坏承载力高温影响系数；
 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。

2.2.3 几何参数

- A ——构件的毛截面面积；
 A_n ——最不利截面的净截面面积；
 W_{en} ——截面有效净截面模量；
 W_{enx} ——绕 x 轴的有效净截面模量；
 W_{eny} ——绕 y 轴的有效净截面模量；
 W_{ex} ——截面绕强轴的抗弯模量；
 W_{ey} ——截面绕弱轴的抗弯模量；
 W_{1ex} ——在弯矩作用平面内对较大受压纤维的有效截面模量；

V ——单位长度构件的体积。

2.2.4 时间、温度

t ——时间；

t_d ——火灾持续时间；

T ——构件温度；

T_{al} ——铝合金构件的温度；

T_{al0} ——初始时刻铝合金构件截面的最高平均温度；

T_f ——平均火焰温度；

T_g —— t 时刻热烟气的平均温度；

T_{g0} ——火灾前室内环境的温度；

$T_Z^{m\ ax}$ ——火源中心距地面垂直距离为 z 处的最高空气升温；

$T(x, z, t)$ ——对应于 t 时刻,与火源中心水平距离为 x 、与地面垂直距离为 z 处的空气温度；

Δt ——时间步长；

ΔT_{al} ——铝合金构件的温升。

2.2.5 其他耐火计算相关参数

a, b ——火源辐射面的长度和宽度；

A_c ——粘结面积；

d_f ——防火保护层的厚度；

D ——火源等效直径；

F ——单位长度构件的受火表面积；

F/V ——无防火铝合金构件的截面形状系数；

F_f/V ——有防火保护铝合金构件的截面形状系数；

F_f ——有防火保护铝合金构件单位长度的受火表面积；

H ——构件微元面与火源辐射面的垂直距离；

h_c ——烟气热对流传热系数；

H_f ——火焰辐射面的高度；

$h_{f, r}$ ——火焰热辐射传热系数；

- h_r ——烟气热辐射传热系数；
 k_T —— $T^\circ\text{C}$ 下铝合金强度折减系数；
 K' ——考虑火焰辐射修正的综合传热系数；
 n ——材料硬化指数；
 r ——所计算构件距火源形心点的距离；
 Q ——火源功率设计值；
 Q_c ——火源的对流热释放速率；
 R_c ——节点板中心距杆件端部距离；
 z_l ——临界高度；
 $\alpha_{b,T}$ ——受弯构件初始缺陷计算参数；
 α_g ——烟气吸收率；
 α_T ——轴压构件初始缺陷计算参数；
 β ——高大空间建筑火灾升温形状系数；
 β_{mx} ——等效弯矩系数；
 γ_x ——截面塑性发展系数；
 ε_{al} ——铝合金构件辐射率；
 η ——截面影响系数；
 $\eta_{b,T}$ ——受弯构件考虑初始弯曲及初偏心的系数；
 η_e ——考虑板件局部屈曲的修正系数；
 η_{haz} ——焊接缺陷影响系数；
 η_t ——温度衰减系数；
 η_T ——轴压构件考虑初始弯曲及初偏心的系数；
 λ ——铝合金轴心受压构件的长细比；
 $\lambda_{\bar{}}$ ——铝合金轴心受压构件的相对长细比；
 λ_b ——受弯构件的相对长细比；
 $\lambda_{o,T}^-$ ——轴压构件初始缺陷计算参数；
 $\lambda_{ob,T}^-$ ——受弯构件初始缺陷计算参数；
 σ ——黑体辐射常数；
 φ ——辐射角系数；

- φ_T ——温度为 $T^\circ\text{C}$ 时铝合金轴心受压构件的整体稳定系数；
- $\varphi_{b, T}$ ——高温下铝合金受弯构件的整体稳定系数；
- $\varphi_{x, T}$ —— $T^\circ\text{C}$ 下铝合金轴压构件的整体稳定系数；
- $\varphi_{y, T}$ —— $T^\circ\text{C}$ 下铝合金轴压构件的整体稳定系数；
- $\varphi_{bx, T}$ —— $T^\circ\text{C}$ 下铝合金受弯构件的整体稳定系数；
- $\varphi_{by, T}$ —— $T^\circ\text{C}$ 下铝合金纯弯构件的整体稳定系数；
- φ_T^- ——铝合金轴心受压构件的稳定计算系数；
- $\varphi_{x, T}^-$ ——高温下铝合金轴压构件绕 x 轴的整体稳定系数；
- $\varphi_{y, T}^-$ ——高温下铝合金轴压构件绕 y 轴的整体稳定系数。

3 基本规定

3.1 防火要求

3.1.1 本标准适用于以下三类大空间建筑铝合金结构：

第一类：火灾荷载较小、不具备防火分隔条件，空间内设有具有一定防火分隔要求的商店、休闲、餐饮等小型配套商业服务设施的高大空间建筑。

第二类：使用功能单一、火灾荷载较小且不具备防火分隔条件的高大空间建筑。

第三类：能有效排烟、排热的敞开大空间建筑。

3.1.2 铝合金结构建筑各功能场所之间应进行防火分隔，并符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016的有关规定。

3.1.3 大空间建筑铝合金结构的耐火等级应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016的有关规定。

3.1.4 大空间建筑铝合金结构的柱、梁、屋顶承重构件的耐火等级不宜低于二级。

3.2 防火设计

3.2.1 铝合金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。

3.2.2 铝合金构件耐火承载力极限状态设计时，应考虑火灾发生时结构上可能同时出现的荷载与作用，且应按下列组合值中的最不利值确定：

$$S_m = \gamma_{0T} (\gamma_G S_{Gk} + S_{Tk} + \phi_f S_{Qk}) \quad (3.2.2-1)$$

$$S_m = \gamma_{0T} (\gamma_G S_{Gk} + S_{Tk} + \phi_q S_{Qk} + \phi_w S_{Wk}) \quad (3.2.2-2)$$

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变化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,

γ_G ——永久荷载分项系数,一般可取 1.0,当永久荷载有利时取 0.9;

ϕ_w ——风荷载的频遇值系数,可取 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《建筑结构荷载规范》GB50009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《建筑结构荷载规范》GB50009的规定取值。

3.2.3 大空间建筑铝合金结构,应按实际火灾荷载、空间高度、结构形式选用标准火灾升温曲线或大空间火灾升温曲线进行结构耐火计算。

3.2.4 大空间建筑铝合金结构的防火设计应根据结构的重要性、结构类型和荷载特征等选用基于构件耐火验算或基于结构整体耐火验算的防火设计方法。其中跨度大于 60 m 的铝合金结构宜采用基于结构整体耐火验算的防火设计方法;跨度大于 120 m 和采用预应力技术的铝合金结构,应采用基于结构整体耐火验算的防火设计方法。

3.2.5 基于构件的铝合金结构耐火验算应符合下列规定:

1 计算火灾下构件的组合效应时,应计入热膨胀效应对内力的影响;对于表面受火不均匀的情况,宜考虑构件表面不均匀升温引起的弯曲效应。

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弹性模量与强度。

3.2.6 基于结构整体的铝合金结构耐火验算方法应符合下列规定:

1 各防火分区可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、几何非线性及结构材料性能受高温作用的影响。

3.2.7 铝合金结构构件的耐火极限不低于设计耐火极限时,可不采取防火保护措施;经耐火验算低于设计耐火极限时,应采取合适的防火保护措施。

3.2.8 当满足下列条件时,铝合金结构构件可不采取防火保护措施;当不满足时,应经过抗火验算确定是否采取防火保护措施:

1 设有自动喷水灭火系统的第一、第二类大空间建筑,铝合金结构屋顶承重构件距离火源的净空高度大于根据火灾功率强度计算得到的最小安全高度。

2 未设置自动喷水灭火系统的第一、第二类大空间建筑,且独立空间的建筑面积不小于 500 m^2 ,铝合金结构屋顶承重构件距离火源的净空高度大于根据火灾功率强度计算得到的最小安全高度。

3 第三类大空间建筑,铝合金构件距离火源的净空高度大于根据火灾功率强度计算得到的最小安全高度。

3.2.9 铝合金结构防火材料的重量和防火喷淋用水、管道及设施的重量应在铝合金结构设计中作为荷载进行考虑。

3.2.10 铝合金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及构造、防火材料的性能要求及设计指标。

4 材料特性

4.1 铝合金

4.1.1 建筑用铝合金材料的性能应符合现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB50429、《铝及铝合金轧制板材》GB/T 3880、《铝及铝合金冷轧带材》GB/T 8544、《铝及铝合金挤压棒材》GB/T3191、《铝及铝合金拉(轧)制无缝管》GB/T 6893、《铝及铝合金热挤压管》GB/T4437、《铝合金建筑型材》GB/T 5237和《工业用铝及铝合金热挤压型材》GB/T 6892的有关规定。

4.1.2 高温下铝合金强度设计值 f_T 应按下式计算：

$$f_T = k_T f \quad (4.1.2)$$

式中： k_T ——高温下铝合金名义屈服强度折减系数，常用铝合金的高温强度折减系数可按表 4.1.2取值；

f ——常温下铝合金名义屈服强度设计值，可根据现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB50429确定。

表 4.1.2 常用铝合金高温名义屈服强度折减系数 k_T

| 铝合金牌号 | 20℃ | 100℃ | 150℃ | 200℃ | 250℃ | 300℃ | 350℃ | 550℃ |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3004-H34 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.57 | 0.31 | 0.19 | 0.13 | 0 |
| 5083-O | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.90 | 0.75 | 0.40 | 0.22 | 0 |
| 5083-H32 | 1.00 | 1.00 | 0.80 | 0.60 | 0.31 | 0.16 | 0.10 | 0 |
| 6061-T4 | 1.00 | 0.92 | 0.85 | 0.83 | 0.71 | 0.40 | 0.25 | 0 |
| 6061-T6 | 1.00 | 0.95 | 0.91 | 0.79 | 0.55 | 0.31 | 0.10 | 0 |
| 6063-T5 | 1.00 | 0.92 | 0.87 | 0.76 | 0.49 | 0.29 | 0.14 | 0 |

续表4.1.2

| 铝合金牌号 | 20°C | 100°C | 150°C | 200°C | 250°C | 300°C | 350°C | 550°C |
|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6063-T6 | 1.00 | 0.91 | 0.84 | 0.71 | 0.38 | 0.19 | 0.09 | 0 |
| 6082-T4 | 1.00 | 1.00 | 0.84 | 0.77 | 0.77 | 0.34 | 0.19 | 0 |
| 6082-T6 | 1.00 | 0.88 | 0.79 | 0.69 | 0.59 | 0.48 | 0.37 | 0 |
| 6013-T4 | 1.00 | 0.92 | 0.85 | 0.83 | 0.71 | 0.40 | 0.25 | 0 |
| 6013-T6 | 1.00 | 0.95 | 0.91 | 0.79 | 0.55 | 0.31 | 0.10 | 0 |
| 6N01-T6 | 1.00 | 0.89 | 0.82 | 0.76 | 0.71 | 0.61 | 0.54 | 0 |
| 7020-T6 | 1.00 | 0.92 | 0.90 | 0.78 | 0.65 | 0.44 | 0.28 | 0 |
| 7075-T6 | 1.00 | 0.94 | 0.76 | 0.50 | 0.22 | 0.10 | 0.06 | 0 |

4.1.3 高温下铝合金的弹性模量折减系数可按表 4.1.3选取。

表 4.1.3 结构用铝合金高温弹性模量折减系数 E_T/E

| 温度 $T(^{\circ}\text{C})$ | 20 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 550 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| E_T/E | 1.00 | 0.97 | 0.93 | 0.86 | 0.78 | 0.68 | 0.54 | 0 |

4.1.4 高温下铝合金的比热容可按下式计算：

$$c_{al} = 0.41T_{al} + 903 \quad 0^{\circ}\text{C} < t < 500^{\circ}\text{C} \quad (4.1.4)$$

式中： c_{al} ——铝合金的比热容[J/(kg·°C)]；

T_{al} ——铝合金构件的温度(°C)。

4.1.5 高温下铝合金的热传导系数可按下式计算：

$$\begin{cases} \lambda_{al} = 0.07T_{al} + 190 & 3 \times \times \times, 6 \times \times \times \\ \lambda_{al} = 0.10T_{al} + 140 & 5 \times \times \times, 7 \times \times \times \end{cases} \text{系列} \quad (4.1.5)$$

式中： λ_{al} ——铝合金的热传导系数[W/(m·°C)]。

4.1.6 高温下铝合金的应力应变关系可按下式计算：

$$\varepsilon_T = \frac{\sigma_T}{E_T} + 0.002 \left(\frac{\sigma_T}{f_{0.2T}} \right)^n \quad (4.1.6-1)$$

$$f_{0.2T} = k_T f_{0.2} \quad (4.1.6-2)$$

- 式中： ε_T ——高温下铝合金的应变；
 σ_T ——高温下铝合金的应力(MPa)；
 E_T ——高温下铝合金的弹性模量(MPa)；
 $f_{0.2T}$ ——高温下铝合金的名义屈服强度(MPa)；
 $f_{0.2}$ ——常温下铝合金的名义屈服强度(MPa)；
 n ——材料硬化指数,可按常温下的数值取用。

4.2 防火保护材料

4.2.1 防火板的等效热传导系数宜通过标准耐火试验确定。

4.2.2 防火涂料的等效热阻或等效热传导系数应通过试验确定。

4.2.3 膨胀型防火涂料应给出最大使用厚度、最小使用厚度及最大最小厚度区间四等分厚度分别对应的等效热阻,其他厚度对应的等效热阻可采用线性插值确定。

4.2.4 防火涂料与铝合金的粘结强度应不小于防火涂料自身的粘结强度。

5 温度计算

5.1 火灾升温曲线

5.1.1 常见建筑的室内火灾升温曲线可按下列公式计算：

1 以纤维类物质为主的火灾

$$T_g - T_{g0} = 345 \lg(8t + 1) \quad (5.1.1-1)$$

2 以烃类物质为主的火灾

$$T_g - T_{g0} = 1080 \times (1 - 0.325e^{-t/6} - 0.675e^{-2.5t}) \quad (5.1.1-2)$$

式中：t——时间(min)；

T_g ——火灾发展到 t 时刻的热烟气平均温度(°C)；

T_{g0} ——火灾前室内环境的温度(°C)，可取 20 °C。

5.1.2 对于高大空间建筑室内火灾升温曲线可按下列公式计算：

$$T(x, z, t) - T_{g0} = T_z^m \left[(1 - 0.8e^{-\beta t} - 0.2e^{-0.1\beta t}) \left[\eta_t + (1 - \eta_t) e^{\frac{D-2z}{14}} \right] \right] \quad (5.1.2-1)$$

式中：T(x, z, t) ——对应于 t 时刻，与火源中心水平距离为 x(m)、与地面垂直距离为 z(m) 处的空气温度(°C)；

T_z^m ^{ax}——火源中心距地面垂直距离为 $z(m)$ 处的最高空气升温($^{\circ}C$), 应按式(5. 1. 2-2) 计算:

$$T_z^{\max} = \begin{cases} (0.071Q_c^{-2/3} z^{5/3} + 0.0018)^{-1} + T_0 & z > z_1 \\ 31.125Q_c^{2/5} z^{-1} + T_0 & z \leq z_1 \end{cases} \quad (5.1.2-2)$$

z_1 ——临界高度(m),应按式(5.1.2-3)计算:

$$z_1 = 0.166Q_c^{2/5} \quad (5.1.2-3)$$

Q_c ——火源的对流热释放速率(kW),可取为 $0.7Q$;

Q ——火源热释放速率设计值(kW);

β 高大空间建筑火灾升温形状系数,对慢速、中速、快速和极快速火分别取为 0.001、0.002、0.003和 0.004;

D ——火源等效直径(m),非圆形截面火源应按面积相等原则换算;

η_t ——温度衰减系数(无量纲),应根据建筑面积 A 及高度 z 按表 5.1.2 确定,当 $x < D/2$ 时, $\eta_t = 1$ 。

表 5.1.2 温度衰减系数 η_t

| $A(m^2)$ | $z(m)$ | | | | |
|----------|--------|------|------|------|------|
| | 6 | 9 | 12 | 15 | 20 |
| 500 | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.80 | 0.85 |
| 1000 | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.70 | 0.75 |
| 3000 | 0.40 | 0.45 | 0.50 | 0.55 | 0.60 |
| 6000 | 0.25 | 0.30 | 0.40 | 0.45 | 0.50 |

5.1.3 对于面积超过 $6000 m^2$ 或者高度超过 $20 m$ 的建筑,宜采用火灾模拟分析确定火灾中的空间升温曲线。

5.1.4 当能准确确定建筑的火灾功率、可燃物类型及其分布、几何特征等参数时,火灾升温曲线可根据火灾模拟确定。

5.2 铝合金构件升温计算

5.2.1 板件厚度小于 $40 mm$ 的闭口截面和板件厚度小于 $80 mm$

的开口截面铝合金构件可忽略截面的温度梯度;其他情况应通过火灾下温升试验或数值模拟等方法确定构件截面的温度分布。

5.2.2 火灾下无防火保护措施的铝合金构件的温度可按下列公式计算:

$$\Delta T_{al} = \begin{cases} \frac{K'}{\rho_{al} C_{al, T}} \cdot \frac{F}{V} (T_g - T_{al}) \Delta t & t \leq t_d \\ \frac{K}{\rho_{al} C_{al, T}} \cdot \frac{F}{V} (T_g - T_{al}) \Delta t & t > t_d \end{cases} \quad (5.2.2-1)$$

$$K' = h_r + h_c + h_{f, r} \quad (5.2.2-2)$$

$$K = h_r + h_c \quad (5.2.2-3)$$

$$h_r = \frac{\epsilon_{al} \sigma [(T_g + 273)^4 - (T_{al} + 273)^4]}{T_g - T_{al}} \quad (5.2.2-4)$$

式中: t 需计算温升的时刻(s);

Δt ——时间步长(s),取值不宜大于 5 s;

t_d ——火灾持续时间(s);

ΔT_{al} ——铝合金构件在时间($t, t + \Delta t$) 区间内的温升($^{\circ}\text{C}$);

T_g —— t 时刻热烟气的平均温度($^{\circ}\text{C}$);

T_{al} —— t 时刻铝合金构件截面的最高平均温度($^{\circ}\text{C}$);

ρ_{al} ——铝合金材料密度(kg/m^3);

$C_{al, T}$ ——温度 $T^{\circ}\text{C}$ 下的铝合金材料比热容 [$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$];

F ——单位长度构件的受火表面积(m^2);

V ——单位长度构件的体积(m^3);

F/V ——无防火铝合金构件的截面形状系数 (m^{-1}), 按表 5.2.2 确定;

K ——综合传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$];

K' 考虑火焰辐射修正的综合传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$];

h_c ——烟气热对流传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$], 采用标准升温曲线、烃类物质燃烧升温曲线和简化火源模型计算

时,分别取值为 25、50和 35[W/(m²·°C)];

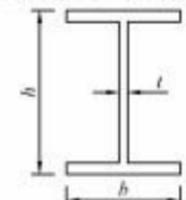
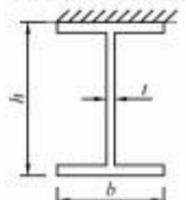
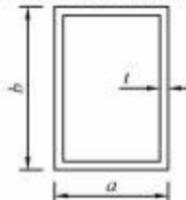
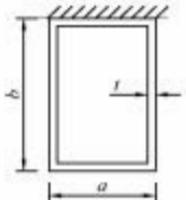
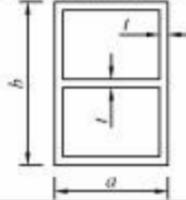
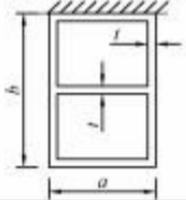
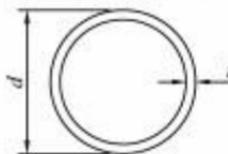
h_r ——烟气热辐射传热系数[W/(m²·°C)];

ε_{al} ——铝合金构件辐射率,可取为 0.3;

σ 黑体辐射常数,其值为 5.67×10^{-8} [W/(m²·°C⁴)];

$h_{f,r}$ ——火焰热辐射传热系数 [W/(m²·°C)], 应按第 5.2.3条的规定计算。

表 5.2.2 常见铝合金构件截面的形状系数

| 构件截面 | 形状系数 F/F | 构件截面 | 形状系数 F/F |
|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 四面受火的工字形构件  | $\frac{2h + 4b - 2t}{A}$ (A 为截面积) | 三面受火的工字形构件  | $\frac{2h + 3b - 2t}{A}$ (A 为截面积) |
| 四面受火的方管构件  | $\frac{a+b}{t(a+b-2t)}$ | 三面受火的方管构件  | $\frac{a/2+b}{t(a+b-2t)}$ |
| 四面受火的日字形构件  | $\frac{2b+2b}{t(3b+2b-6t)}$ | 三面受火的日字形构件  | $\frac{b+2b}{t(3b+2b-6t)}$ |
| 四面受火的圆管构件  | $\frac{d}{t(d-t)}$ | | |

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/257145021145006146>

