**UDC**

中华人民共和国国家标准 

**P GB 5×××× – 202××**

**建筑钢筋混凝土结构防火技术标准**

Standard for fire safety of concrete structures in buildings

（**征求意见稿**）

**20××－××－××发布 20××－××－01实施**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 中华人民共和国住房和城乡建设部  中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 | 联合发布 |

中华人民共和国国家标准

**建筑钢筋混凝土结构防火技术标准**

**Standard for fire safety of concrete structures in buildings**

**GB5XXXX—202X**

主编部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：202X年XX月XX日

中国计划出版社

202X年 北京

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc712)

[2 术语和符号 2](#_Toc18094)

[2. 1 术 语 2](#_Toc30764)

[2. 2 符 号 3](#_Toc27990)

[3 基本规定 8](#_Toc11610)

[3. 1 防火设计 8](#_Toc6517)

[3. 2 防火保护 10](#_Toc28830)

[4 材料及连接 12](#_Toc30948)

[4. 1 普通钢筋 12](#_Toc22078)

[4. 2 预应力钢筋 13](#_Toc15708)

[4. 3 结构钢 15](#_Toc9588)

[4.4 普通混凝土 16](#_Toc1028)

[4.5 高强混凝土 17](#_Toc5688)

[4.6 再生混凝土 19](#_Toc16036)

[4.7 钢筋连接 20](#_Toc11830)

[5 普通混凝土构件 21](#_Toc21294)

[5.1 一般规定 21](#_Toc16044)

[5.2 梁 21](#_Toc3251)

[5.3 柱和墙 22](#_Toc20997)

[5.4 板 27](#_Toc4367)

[5.5 隧道 28](#_Toc3938)

[6 高强混凝土构件 30](#_Toc26820)

[7 预应力混凝土构件 32](#_Toc2941)

[8 型钢混凝土构件 35](#_Toc21215)

[9 预制混凝土构件 37](#_Toc31110)

[10 加固混凝土构件 3](#_Toc11486)8

[11 火灾后钢筋混凝土结构鉴定 41](#_Toc992)

[12 防火保护工程的施工与验收 44](#_Toc5107)

[12.1 一般规定 44](#_Toc32514)

[12.2 施 工 45](#_Toc18800)

[12.3 验 收 46](#_Toc20865)

[附录A 普通混凝土构件矩形截面温度场简化计算方法 50](#_Toc9393)

[附录B 高级计算方法（推荐性） 52](#_Toc17577)

[附录C 等效缩减截面计算方法（推荐性） 53](#_Toc17692)

[C.1 500 ℃等温线法 53](#_Toc23517)

[C.2 300 ℃和800 ℃等温线法 55](#_Toc25531)

[C.3 条带法 56](#_Toc27246)

[附录D 普通混凝土矩形柱和异形柱耐火极限预测公式系数取值 59](#_Toc13151)

[附录E 火灾下普通混凝土板考虑薄膜效应时的承载力 61](#_Toc22945)

[附录F 碳纤维布加固混凝土梁和板的防火涂料厚度 64](#_Toc23302)

[附录G 火灾后钢筋和混凝土的力学性能 79](#_Toc21511)

[本标准用词用语说明 82](#_Toc9318)

[引用标准名录 83](#_Toc10329)

**Contents**

[1 General provisions 1](#_Toc136183429)

[2 Terms and symbols 2](#_Toc136183430)

[2. 1 Terms 2](#_Toc136183431)

[2. 2 Symbols 2](#_Toc136183432)

[3 Basic provisions 8](#_Toc136183433)

[3. 1 Fire resistance design 8](#_Toc136183434)

[3. 2 Fire protection 1](#_Toc136183435)0

[4 Materials and connection 1](#_Toc136183436)2

[4. 1 Ordinary steel bar 1](#_Toc136183437)2

[4. 2 Prestressing tendon 1](#_Toc136183438)3

[4. 3 Structural steel 1](#_Toc136183439)5

[4. 4 Normal-strength concrete 1](#_Toc136183440)6

[4. 5 High-strength concrete 1](#_Toc136183441)7

[4. 6 Recycled concrete 1](#_Toc136183442)9

[4. 7 Steel bar connection 2](#_Toc136183443)0

[5 Normal-strength concrete members 2](#_Toc136183444)1

[5. 1 General 2](#_Toc136183445)1

[5. 2 Beam 2](#_Toc136183446)1

[5. 3 Column and wall 2](#_Toc136183447)2

[5. 4 Slab 2](#_Toc136183448)7

[5. 5 Tunnel 2](#_Toc136183449)8

[6 High-strength concrete members 3](#_Toc136183450)0

[7 Prestressed concrete memebers 3](#_Toc136183451)2

[8 Steel reinforced concrete members 3](#_Toc136183452)5

[9 Prefabricated concrete members 3](#_Toc136183453)7

[10 Strengthened concrete members 3](#_Toc136183454)8

[11 Appraisal of reinforced concrete structures after fire 4](#_Toc136183455)1

[12 Construction and acceptance of fire protection engineering 4](#_Toc136183456)4

[12. 1 General 4](#_Toc136183457)4

[12. 2 Construction 4](#_Toc136183458)5

[12. 3 Acceptance 4](#_Toc136183459)6

[Appendix A Simplified calculation method for temperature field of rectangular cross-section of ordinary concrete components 5](#_Toc136183461)0

[Appendix B Advanced calculation method 5](#_Toc136183462)2

[Appendix C Calculation method for equivalent reduced cross-section 5](#_Toc136183463)3

[C. 1 500℃ isotherm method 5](#_Toc136183464)3

[C. 2 300℃ and 800℃ isotherm method 5](#_Toc136183465)5

[C. 3 Zone method 5](#_Toc136183466)6

[Appendix D Coefficients in the fire resistance prediction formulas for rectangular and special-shaped ordinary concrete columns 5](#_Toc136183467)9

[Appendix E Bearing capacity of ordinary concrete slabs under fire when considering membrane action 6](#_Toc136183468)1

[Appendix F Thickness of fireproof coating for concrete beams and slabs strengthed by carbon fiber reinforced polymer 6](#_Toc136183469)4

[Appendix G Mechanical properties of steel bars and concrete after fire 7](#_Toc136183470)9

[Explanation of wording in this code. 8](#_Toc278744898)2

[Normative standards. 8](#_Toc278744898)3

[Explanation of provisions 8](#_Toc278744898)4

# 1 总 则

**1.0.1** 为减轻或避免建筑钢筋混凝土结构在火灾中的损害，保护人身和财产安全，使建筑钢筋混凝土结构防火安全可靠、经济合理、技术先进，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于新建、扩建和改建的建筑钢筋混凝土结构防火的设计、施工及验收，以及既有建筑钢筋混凝土结构的耐火极限验算和建筑钢筋混凝土加固结构防火的设计、施工及验收。

**1.0.3** 建筑钢筋混凝土结构的防火设计应按火灾高温下的承载能力极限状态进行。

**1.0.4** 建筑钢筋混凝土结构防火的设计、施工及验收，除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

## 2. 1 术 语

**2**.**1**.**1** 高温承载能力极限状态 limit state for load bearing capacity at high temperature

建筑构件或结构受到火灾高温作用并达到极限承载能力或出现不适于继续承载的变形的状态。

**2**.**1**.**2** 标准火灾升温曲线 standard fire temperature-time curve

在进行建筑构件或结构耐火性能测试时，国家标准规定采用的升温曲线。

**2**.**1**.**3** 构件温度场 temperature distribution in structural member

建筑构件受到火灾高温作用时任意时刻各点温度分布的总称。

**2**.**1**.**4** 防火保护层 fire insulation

在建筑构件或结构表面用以提高耐火性能的材料、制品或其组合的覆盖层。

**2. 2 符 号**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *a* | —— | 组合轴向压力作用点至截面重心的连线与*z*轴的夹角； |
| *a*c | —— | 柱截面的型钢含钢率； |
| 、 | —— | 受拉区和受压区第*i*根钢筋至缩减后的有效截面受拉边缘和受压边缘的距离； |
| 、 | —— | 受拉区和受压区第*j*层钢筋中心至缩减后的有效截面受拉边缘和受压边缘的距离； |
| *a*z | —— | 损伤层厚度； |
| *a*z,500 | —— | 500℃等温线上各点距离截面边缘的平均深度； |
| *A* | —— | 全截面面积； |
| *A*c | —— | 混凝土截面面积； |
| *A*s | —— | 型钢截面面积； |
| 、 | —— | 受拉区和受压区第*i*根钢筋的横截面积； |
| *A*s*x*、*A*s*y* | —— | 楼板在*x*、*y*两个方向单位宽度上的配筋面积； |
| *b* | —— | 梁或柱的截面宽度、异形柱的截面肢厚； |
| *c* | —— | 纵向受拉钢筋的混凝土保护层厚度； |
| *c*1 | —— | 不燃性饰面层的比热容； |
| *c*c | —— | 常温下普通混凝土的比热容； |
| *c*cT | —— | 高温下普通混凝土的比热容； |
| *c*min | —— | 纵向受力钢筋的混凝土保护层厚度的最小值； |
| *c*sT | —— | 高温下结构钢的比热容； |
| *C* | —— | 梁或柱的截面周长； |
| *d* | —— | 钢筋直径； |
| *d*0 | —— | 不燃性饰面层的折算厚度； |
| *d*1 | —— | 不燃性饰面层的实际厚度； |
| *d*min | —— | 防火保护材料的最小厚度； |
| *d*y、*d*z | —— | 沿*y*轴、*z*轴方向计算位置至最近受火表面的距离； |
| *e* | —— | 偏心率； |
| *e*0 | —— | 组合轴向压力作用点至截面重心的距离； |
| *e*0y*、e*0z | —— | 组合轴向压力作用点至经过截面重心的*z*轴、*y*轴的距离； |
| *E* | —— | 常温下钢筋的弹性模量； |
| *E*p | —— | 常温下预应力钢丝、钢绞线的弹性模量； |
| *E*sT | —— | 高温下普通钢筋的弹性模量； |
| *f*c | —— | 常温下混凝土的轴心抗压强度； |
| *f*cT | —— | 高温下普通混凝土或高强混凝土的轴心抗压强度； |
| *f*cu | —— | 常温下混凝土立方体抗压强度； |
| *f*u | —— | 常温下普通钢筋的极限强度； |
| *f*uT | —— | 高温下普通钢筋的极限强度； |
| *f*yT | —— | 高温下普通钢筋的屈服强度； |
| 、——温度*T*i时第*j*层第*i*根钢筋的抗拉强度和抗压强度； | | |
| 、——第*j*层钢筋的平均高温抗拉强度和抗压强度； | | |
| *f*y*x*、*f*y*y* | —— | 板底*x*、*y*两个方向钢筋在常温下的屈服强度标准值； |
| *f*y*xT*、*f*y*yT* | —— | 板底*x*、*y*两个方向钢筋在高温下的屈服强度标准值； |
| *f*p | —— | 常温下预应力钢筋的抗拉强度； |
| *f*t | —— | 常温下混凝土的抗拉强度； |
| *h* | —— | 板的厚度、柱或梁的截面高度、异形柱的截面肢高； |
| *h*0 | —— | 梁的截面有效高度； |
| *h*0*x、h*0*y* | —— | 楼板在*x*、*y*两个方向上截面的有效高度； |
| *I*a | —— | 相对于*z*a轴的截面惯性距； |
| *k* | —— | 损伤层厚度增大系数； |
| *k*c | —— | 常温下混凝土的热传导率； |
| *l* | —— | 矩形板的短边尺寸； |
| *l*0 | —— | 第一内支座相邻两跨的计算跨度较大值； |
| *l*dT | —— | 负弯矩钢筋伸入第一内支座两侧梁或板内的长度； |
| *l*x | —— | 双向板的短跨； |
| *l*y | —— | 双向板的长跨； |
| *L* | —— | 柱的计算长度或矩形板的长边； |
| *m*x、*m*y | —— | 常温下塑性铰线处*x*、*y*两个方向的单位宽度截面抵抗弯矩； |
| *m*xT、*m*yT | —— | 高温下塑性铰线处*x*、*y*两个方向单位宽度的截面抵抗弯矩； |
| *M* | —— | 常温或高温下按简支梁或简支板计算的梁或板的跨中组合弯矩； |
| *M*u | —— | 常温下梁或板的跨中受弯承载力； |
| *n* | —— | 在*w*范围内划分的条带数； |
| *n*j | —— | 第*j*层钢筋的根数； |
| *N*u | —— | 组合轴向压力作用点处的构件常温轴向承载力； |
| *P*x、*P*y | —— | 常温下塑性铰线处*x*、*y*两个方向单位宽度的钢筋拉力； |
| *P*xT、*P*yT | —— | 高温下塑性铰线处*x*、*y*两个方向单位宽度的钢筋拉力； |
| *q*T | —— | 火灾下普通钢筋混凝土板考虑薄膜效应时能承受的均布荷载； |
| *r*a | —— | 回转半径； |
| *R*dT | —— | 高温下构件或结构的承载能力； |
| *R*T | —— | 耐火极限； |
| [*R*T] | —— | 设计的耐火极限； |
| *S*Gk | —— | 永久荷载（含预应力引起的次内力）标准值的效应； |
| *S*mT | —— | 高温下构件或结构的作用效应组合； |
| *S*Qk | —— | 楼面或屋面活荷载标准值的效应； |
| *S*Tk | —— | 火灾下构件或结构的标准温度作用效应； |
| *S*Wk | —— | 风荷载标准值的效应； |
| *t* | —— | 持续升温时间或火灾持续时间； |
| *t*l | —— | 隧道的耐火极限； |
| *T* | —— | 材料温度或计算位置处的温度； |
| *T*0 | —— | 环境初始温度； |
| *T*c | —— | 混凝土的平均温升； |
| *T*F | —— | 受火的混凝土表面温度； |
| *T*g | —— | 火灾发展到*t*时刻的室内平均温度； |
| *T*g0 | —— | 火灾发生前的室内空气温度； |
| *T*s | —— | 火灾下距离混凝土表面最近的受力钢筋的温度； |
| *v*0 | —— | 楼板形成塑性铰线模式时的挠度值； |
| *v*max | —— | 高温下楼板允许达到的最大挠度； |
| *w* | —— | 两面受火墙的1/2厚度； |
| *x*1、*x*2 | —— | 常温下混凝土单向板被塑性铰线分隔的板块长度； |
| *x*1T、*x*2T | —— | 高温下混凝土单向板考虑热膨胀效应之后的板块长度； |
| *x*s | —— | 距离混凝土表面最近的受力钢筋中心到混凝土表面的距离； |
| *αc* | —— | 混凝土的平均热膨胀系数； |
| *α*sT | —— | 高温下结构钢的热膨胀系数； |
| *γ*0 | —— | 结构重要性系数； |
| *γ*0T | —— | 结构耐火安全性系数； |
| *γ*G | —— | 永久荷载的分项系数； |
| *γ*s | —— | 钢筋合力点到混凝土受压合力点的距离系数； |
| *ε* | —— | 应变或钢绞线轴向应变绝对值； |
|  | —— | 钢绞线偏轴应变绝对值； |
| *ε*0、*ε*0T | —— | 常温下、高温下普通混凝土或高强混凝土的峰值应变； |
| *ε*crT | —— | 高温下预应力钢筋的蠕变应变； |
| 、、——高温下普通混凝土、普通钢筋、预应力钢筋的热膨胀应变； | | |
| *ε*uT、*ε*yT | —— | 高温下普通钢筋的极限应变、屈服应变； |
| *η*0.2T、*η*pT | —— | 高温下预应力钢筋的条件屈服强度、抗拉强度折减系数； |
| *η*cT | —— | 高温下普通混凝土或高强混凝土的轴心抗压强度折减系数； |
| *η*r | —— | 高温下再生粗骨料混凝土导热系数折减系数； |
| *η*tT | —— | 高温下普通混凝土的抗拉强度折减系数； |
| *η*yT | —— | 高温下普通钢筋或结构钢的屈服强度折减系数； |
| *η*yz | —— | 二维综合热量传递系数； |
| *η*y、*η*z | —— | 沿*y*轴、*z*轴方向的一维热量传递系数； |
| *η*'y、*η*'z | —— | 修正后的沿*y*轴、*z*轴方向的一维热量传递系数； |
| *κ* | —— | 材料的热扩散率； |
| *λ* | —— | 柱的长细比； |
| *λ*1 | —— | 不燃性饰面层的导热系数； |
| *λ*c | —— | 普通混凝土或防火涂料的常温导热系数； |
| *λ*cT | —— | 高温下普通混凝土的导热系数； |
| *λ*c,r | —— | 再生粗骨料混凝土导热系数； |
| *λ*sT | —— | 高温下结构钢的导热系数； |
| *μ* | —— | 高温下组合轴向压力与该力作用点处构件常温轴向承载力之比； |
| *ρ* | —— | 全截面纵向受力钢筋配筋率； |
| *ρ*1 | —— | 不燃性饰面层的密度； |
| *ρ*c、*ρ*cT | —— | 常温下、高温下普通混凝土的密度； |
| *ρ*c, r、*ρ*cT, r | —— | 常温下、高温下再生粗骨料混凝土的密度； |
| *ρ*pf | —— | 防爆裂聚丙烯纤维体积掺量； |
| *ρ*sT | —— | 高温下结构钢的密度； |
| *σ* | —— | 应力； |
| *σ*0 | —— | 预应力钢筋的初始应力； |
| *σ*ct | —— | 迎火面混凝土的常温名义拉应力； |
| *σ*pT | —— | 高温下预应力钢筋的应力； |
| *σ*rT | —— | 高温下预应力钢筋的应力松弛损失； |
|  | —— | 火灾后预应力钢绞线剩余应力； |
| *τ*20、*τ*T | —— | 常温下、高温下钢筋与混凝土界面粘结强度； |
| *υ*sT | —— | 高温下结构钢的泊松比； |
| *χ*cT | —— | 高温下普通混凝土或高强混凝土的初始弹性模量折减系数； |
| *χ*pT | —— | 高温下预应力钢筋的弹性模量折减系数； |
| *χ*sT | —— | 高温下普通钢筋或结构钢的弹性模量折减系数； |
| *ψ*f | —— | 楼面或屋面活荷载的频遇值系数； |
| *ψ*q | —— | 楼面或屋面活荷载的准永久值系数； |

3 基本规定

## 3. 1 防火设计

**3.1.1** 建筑钢筋混凝土构件或结构的耐火极限应满足相应建筑耐火等级的要求，并应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016等标准的规定。

**3.1.2** 建筑钢筋混凝土承重构件或结构的耐火极限验算应符合下列要求之一：

1 在设计的耐火极限内，承重构件或结构的承载能力（*R*dT）不应小于按本标准第3.1.3条确定的作用效应组合（*S*mT），即：

*R*dT ≥ *γ*0*S*mT (3.1.2-1)

式中：*γ*0——结构重要性系数，取1.0。

2 在按本标准第3.1.3条确定的作用效应组合的作用下，承重构件或结构的耐火极限（*R*T）不应小于设计的耐火极限（[*R*T]），即：

*R*T ≥ [*R*T] (3.1.2-2)

**3.1.3** 建筑钢筋混凝土承重构件或结构的耐火极限验算应采用式（3.1.3-1）和式（3.1.3-2）中较不利的偶然设计状况的作用效应组合：

 (3.1.3-1)

 (3.1.3-2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*S*mT | —— | 高温下构件或结构的作用效应组合； |
| *S*Gk | —— | 永久荷载（含预应力引起的次内力）标准值的效应； |
| *S*Tk | —— | 火灾下构件或结构的标准温度作用效应； |
| *S*Qk | —— | 楼面或屋面活荷载标准值的效应； |
| *S*wk | —— | 风荷载标准值的效应； |
| *γ*0T | —— | 结构耐火安全性系数；一级耐火等级的建筑，取1.1；其它耐火等级的建筑，取1.0； |
| *γ*G | —— | 永久荷载的分项系数，一般可取1.0；当永久荷载有利时，取0.9； |
| *ψ*f | —— | 楼面或屋面活荷载的频遇值系数，按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001确定； |
| *ψ*q | —— | 楼面或屋面活荷载的准永久值系数，按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001确定； |

**3.1.4** 对于以纤维类物质为主的火灾，室内平均温度可按式(3.1.4-1)计算确定；对于以烃类物质为主的火灾，室内平均温度可按式(3.1.4-2)计算确定：

 (3.1.4-1)

 (3.1.4-2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*T*g | —— | 火灾发展到*t*时刻的室内平均温度（℃）； |
| *T*g0 | —— | 火灾发生前的室内平均温度（℃）； |
| *t* | —— | 火灾持续时间（min）。 |

**3.1.5** 梁、柱等杆系构件的温度场可简化为横截面上的二维温度场，墙、板等平面构件的温度场可简化为沿厚度方向的一维温度场。

**3.1.6** 建筑钢筋混凝土构件的温度场计算宜采用热传导方程结合相应的初始条件和边界条件进行；在以纤维类物质为主的标准火灾升温条件下，矩形截面普通混凝土构件的温度场计算可采用本标准附录A的简化计算方法。

**3.1.7** 当建筑钢筋混凝土构件表面设置不燃性饰面层时，构件的温度场宜在将该饰面层的厚度折算成混凝土的厚度后，再按本标准第3.1.5条和第3.1.6条规定的方法计算确定。该饰面层的折算厚度宜按式（3.1.7）计算：

 (3.1.7)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*d*0 | —— | 不燃性饰面层的折算厚度（mm）； |
| *d*1 | —— | 不燃性饰面层的实际厚度（mm）； |
| *ρ*1 | —— | 不燃性饰面层的密度（kg/m3）。对于常用不燃性饰面层，可按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176确定； |
| *c*1 | —— | 不燃性饰面层的比热容[kJ/(kg·℃)]。对于常用不燃性饰面层，可按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176确定； |
| *λ*1 | —— | 不燃性饰面层的导热系数[W/(m·℃)]。对于常用不燃性饰面层，可按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176确定。 |

**3.1.8** 建筑钢筋混凝土承重构件或结构的耐火极限验算可采用本标准附录B的高级计算方法确定承载能力，也可采用常温方法针对按本标准附录C缩减后的有效截面计算承载能力。在计算承载能力时，材料的常温强度应采用标准值，材料的高温强度应采用材料的常温强度标准值乘以相应温度下的折减系数，折减系数宜符合本标准第4章的规定，也可通过专门的试验测定。

**3.1.9** 建筑高度大于250 m的工业与民用建筑、安全等级为一级的工业与民用建筑，结构的耐火极限验算宜进行结构在火灾作用下的整体受力分析。结构在火灾作用下的整体受力分析宜采用本标准附录B规定的方法。建筑结构安全等级的划分应符合现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153的规定。

## 3. 2 防火保护

**3.2.1** 建筑钢筋混凝土构件或结构的耐火极限经验算低于相应的耐火极限要求时，应采取防火保护措施。

**3.2.2** 建筑钢筋混凝土构件或结构的防火保护方法应根据构件或结构的耐火极限要求和断面形状，按照方便施工、耐久可靠的原则选择，并宜采用下列方法之一或其中几种方法的组合：

**1**  喷涂防火涂料；

**2** 包覆防火板；

**3** 包覆柔性毡状隔热材料；

**4**  包覆混凝土、金属网抹砂浆或砌体。

**3.2.3** 建筑钢筋混凝土构件或结构采用喷涂防火涂料保护时，宜选用非膨胀型防火涂料；当构件或结构的耐火极限要求不低于1.50 h时，不宜采用膨胀型防火涂料。防火涂料的技术性能应符合现行国家标准《混凝土结构防火涂料》GB 28375的规定。

**3.2.4** 建筑钢筋混凝土构件或结构采用包覆防火板保护时，应符合下列规定：

**1** 应根据构件或结构的耐火极限要求选择相应密度的防火板，且不宜采用低密度防火板；

**2**  防火板应为不燃材料，受火时不应出现炸裂和穿透裂缝等现象；

**3** 防火板的包覆构造应根据构件形状和所处部位确定，并应采取确保安装牢固的措施；

**4** 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，黏结剂在高温下应保持一定的强度，并应保证防火板的包敷完整；

**5** 防火板的技术性能应符合国家现行标准《钢结构防火保护板》XF/T 3012的规定。

**3.2.5** 建筑钢筋混凝土构件或结构采用包覆灰砂砖**、**轻质混凝土砌块、混凝土或金属网抹砂浆等保护时，应符合下列要求：

**1** 当采用包覆混凝土保护时，混凝土的强度等级不应低于C20；

**2** 当采用包覆金属网抹砂浆保护时，砂浆的强度等级不应低于M5；金属网的网格不应大于20 mm，金属丝的丝径不宜小于0.6 mm；砂浆厚度不宜小于25 mm；

**3**  当采用包覆砌体保护时，砖或砌块的强度等级不应低于MU10。

**3.2.6** 建筑的隔震橡胶支座应采取防火保护措施，防火保护后隔震橡胶支座的耐火极限不应低于与之连接的结构构件的耐火极限要求。隔震橡胶支座的防火保护宜采用喷涂非膨胀型防火涂料或包覆防火板的方式。

# 4 材料及连接

## 4. 1 普通钢筋

**4.1.1** 高温下普通钢筋的导热系数、比热容、密度和泊松比宜采用本标准第4.3.1条规定的结构钢的相应参数。

**4.1.2** 高温下普通钢筋的热膨胀应变宜按式（4.1.2）计算：



(4.1.2)

式中：*T*——材料温度（℃）；

——高温下普通钢筋的热膨胀应变。

**4.1.3** 高温下普通钢筋的屈服强度折减系数宜按式（4.1.3）计算：

 (4.1.3)

式中：*η*yT——高温下普通钢筋的屈服强度折减系数。

**4.1.4** 高温下普通钢筋的弹性模量折减系数宜按式（4.1.4）计算：

 (4.1.4)

式中：*χ*sT——高温下普通钢筋的弹性模量折减系数。

**4.1.5** 高温下普通钢筋的应力－应变关系宜按式（4.1.5-1）计算：

 (4.1.5-1)

 (4.1.5-2)

 (4.1.5-3)

 (4.1.5-4)

 (4.1.5-5)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*σ* | —— | 应力（N/mm2）； |
| *ε* | —— | 应变； |
| *E*sT | —— | 高温下普通钢筋的弹性模量，可按常温下普通钢筋的弹性模量乘以式（4.1.4）的高温下弹性模量折减系数确定； |
| *f*yT | —— | 高温下普通钢筋的屈服强度，可按常温下普通钢筋的屈服强度标准值乘以式（4.1.3）的高温下屈服强度折减系数确定； |
| *ε*yT | —— | 高温下普通钢筋的屈服应变，*ε*yT= *f*yT/*E*sT； |
| *ε*uT | —— | 高温下普通钢筋的极限应变； |
| *f*uT | —— | 高温下普通钢筋的极限强度； |
| *f*u | —— | 常温下普通钢筋的极限强度，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010确定。 |

## 4. 2 预应力钢筋

**4.2.1** 高温下预应力钢筋的导热系数、比热容、密度和泊松比宜采用本标准第4.3.1条规定的结构钢的相应参数。

**4.2.2** 高温下预应力钢筋的热膨胀应变宜按式（4.2.2）计算：

 （20 ℃≤*T*≤1000 ℃） (4.2.2)

式中：——高温下预应力钢筋的热膨胀应变。

**4.2.3** 高温下预应力钢筋的条件屈服强度折减系数宜按式（4.2.3）计算：

 (4.2.3)

式中：*η*0.2T ——高温下预应力钢筋的条件屈服强度折减系数。

**4.2.4** 高温下预应力钢筋的抗拉强度折减系数宜按式（4.2.4）计算：

 (4.2.4)

式中：*η*pT ——高温下预应力钢筋的抗拉强度折减系数。

**4.2.5** 高温下预应力钢筋的弹性模量折减系数宜按式（4.2.5）计算：

 (4.2.5)

式中：*χ*pT——高温下预应力钢筋的弹性模量折减系数。

**4.2.6** 高温下预应力钢筋的短期高温应力松弛损失宜按式（4.2.6-1）计算：

 （0＜*t*≤120 min；20 ℃≤*T*≤550 ℃）(4.2.6-1)

 （*σ*0/*f*p≤0.65）

(4.2.6-2)

 （*σ*0/*f*p≤0.65）(4.2.6-3)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*t* | —— | 升温时间（min）； |
| *σ*rT | —— | 高温下预应力钢筋的应力松弛损失（N/mm2）； |
| *σ*0 | —— | 预应力钢筋的初始应力（N/mm2）； |
| *f*p | —— | 常温下预应力钢筋的抗拉强度（N/mm2）。 |

**4.2.7** 高温下预应力钢筋的蠕变应变宜按式（4.2.7）计算：

 （20 ℃≤*T*≤550 ℃） (4.2.7)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*t* | —— | 升温时间（min）； |
| *ε*crT | —— | 高温下预应力钢筋的蠕变应变； |
| *σ*pT | —— | 高温下预应力钢筋的应力（N/mm2）； |
| *f*p | —— | 常温下预应力钢筋的抗拉强度（N/mm2）。 |

## 4. 3 结构钢

**4.3.1** 高温下结构钢的有关物理参数宜按表4.3.1采用。

表4.3.1 高温下结构钢的物理参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 参数名称 | 符 号 | 数 值 | 单 位 |
| 热膨胀系数 | *α*sT | 1.4×10-5 | m/(m·℃) |
| 导热系数 | *λ*sT | 45.0 | W/(m·℃) |
| 比热容 | *c*sT | 600.0 | J/(kg·℃) |
| 密 度 | *ρ*sT | 7850.0 | kg/m3 |
| 泊松比 | *υ*sT | 0.3 | — |

**4.3.2** 高温下结构钢的屈服强度折减系数宜按式（4.3.2）计算：

(4.3.2)

式中：*η*yT——高温下结构钢的屈服强度折减系数。

**4.3.3** 高温下结构钢的弹性模量折减系数宜按式（4.3.3）计算：

 (4.3.3)

式中：*χ*sT——高温下结构钢的弹性模量折减系数。

## 4.4 普通混凝土

**4.4.1** 高温下普通混凝土的导热系数、比热容和密度宜分别按式（4.4.1-1）、式（4.4.1-2）和式（4.4.1-3）计算：

 （20 ℃≤*T*≤1000 ℃） (4.4.1-1)

 (4.4.1-2)

 (4.4.1-3)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：λcT | —— | 高温下普通混凝土的导热系数 [W/(m·℃)]； |
| *c*cT | —— | 高温下普通混凝土的比热容 [J/(kg·℃)]； |
| *ρ*cT | —— | 高温下普通混凝土的密度（kg/m3）； |
| *ρ*c | —— | 常温下普通混凝土的密度（kg/m3）。 |

**4.4.2** 高温下普通混凝土的热膨胀应变宜按式（4.4.2）计算：

硅质骨料：

 (4.4.2-1)

钙质骨料：

 (4.4.2-2)

式中：——高温下普通混凝土的热膨胀应变。

**4.4.3** 高温下普通混凝土的轴心抗压强度折减系数宜按式（4.4.3）计算：

 (4.4.3)

式中：*η*cT——高温下普通混凝土的轴心抗压强度折减系数。

**4.4.4** 高温下普通混凝土的抗拉强度折减系数宜按式（4.4.4）计算：

 20 ℃≤*T*≤1000 ℃ (4.4.4)

式中：*η*tT——高温下普通混凝土的抗拉强度折减系数。

**4.4.5** 高温下普通混凝土的初始弹性模量折减系数宜按式（4.4.5）计算：

 (4.4.5)

式中：*χ*cT——高温下普通混凝土的初始弹性模量折减系数。

**4.4.6** 高温下普通混凝土的应力－应变关系宜按式（4.4.6-1）计算：

 (4.4.6-1)

 （20 ℃≤*T*≤1000 ℃） (4.4.6-2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*σ* | —— | 应力（N/mm2）； |
| *ε* | —— | 应变； |
| *f*cT | —— | 高温下普通混凝土的轴心抗压强度（N/mm2）； |
| *ε*0T | —— | 高温下普通混凝土的峰值应变； |
| *ε*0 | —— | 常温下普通混凝土的峰值应变，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010确定。 |

## 4.5 高强混凝土

**4.5.1** 高温下高强混凝土的导热系数、比热容、密度、热膨胀应变宜分别采用普通混凝土的相应取值。

**4.5.2** C60～C80高强混凝土在高温下的轴心抗压强度折减系数宜按式（4.5.2）计算：

 （20 ℃≤*T*≤1000 ℃） (4.5.2)

式中：*η*cT——高温下高强混凝土的轴心抗压强度折减系数。

**4.5.3** C60～C80高强混凝土在高温下的初始弹性模量折减系数宜按式（4.5.3）计算：

 (4. 5. 3)

式中：*χ*cT——高温下高强混凝土的初始弹性模量折减系数。

**4.5.4** C60～C80高强混凝土在高温下的应力－应变关系宜按式（4.5.4-1）计算：

 (4.5.4-1)

 （20 ℃≤*T*≤1000 ℃） (4.5.4-2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*σ* | —— | 应力（N/mm2）； |
| *ε* | —— | 应变； |
| *f*cT | —— | 高温下高强混凝土的轴心抗压强度（N/mm2）； |
| *ε*0T | —— | 高温下高强混凝土的峰值应变； |
| *ε*0 | —— | 常温下高强混凝土的峰值应变，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010确定。 |

**4.5.5** 防止高强混凝土高温爆裂所需聚丙烯纤维的最小体积掺加量宜按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.5.5) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | —— | 聚丙烯纤维的体积掺加量（%）； |
|  | —— | 常温下混凝土的立方体抗压强度（MPa）。 |

**4.5.6**  高温下掺加聚丙烯纤维高强混凝土的轴心抗压强度折减系数宜按式（4.5.6）计算：

**** (4.5.6)

**4.5.7** 高温下掺加聚丙烯纤维高强混凝土的初始弹性模量折减系数宜按式（4.5.7）计算：

**** 20 ℃≤*T*≤1000 ℃ (4.5.7)

**4.5.8**  高温下掺加聚丙烯纤维高强混凝土的应力－应变关系宜按式（4.5.8-1）计算：

**** (4.5.8-1)

**** 20 ℃≤*T*≤1000 ℃ (4.5.8-2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*ε*0 | —— | 常温时掺聚丙烯纤维高强混凝土的峰值应变； |
| *ε*0T | —— | 高温下掺聚丙烯纤维高强混凝土的峰值应变。 |

## 4.6 再生混凝土

**4.6.1** 高温下再生粗骨料混凝土的导热系数应采用式（4.6.1）计算：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | (4.6.1) |
| 式中： | *λ*c, r | ——再生粗骨料混凝土的导热系数 [W/(m·℃)]； | |
|  | *λ*c | ——普通混凝土的导热系数 [W/(m·℃)]； | |
|  | *η*r | ——折减系数，宜根据试验测定。当无试验条件时，对于掺Ⅰ类再生粗骨料的再生粗骨料混凝土，可取1.0；对于掺Ⅱ、Ⅲ类再生粗骨料的再生粗骨料混凝土，可根据再生粗骨料取代率按表4.6.1取值。 | |

表4.6.1 高温下再生粗骨料混凝土的导热系数折减系数*η*r取值

| 温度 (°C)  取代率 | 20 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0% | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 50% | 0.90 | 0.85 | 0.82 | 0.81 | 0.81 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 100% | 0.80 | 0.76 | 0.73 | 0.72 | 0.71 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 |

注：表内中间值可采用线性插值法确定。

**4.6.2** 高温下再生粗骨料混凝土的密度可采用式（4.6.2）计算，也可直接采用普通混凝土的相应取值。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | (4.6.2) |
| 式中：*ρ*cT, r | —— | 高温下再生粗骨料混凝土的密度（kg/m3）； | |
| *ρ*c, r | —— | 常温下再生粗骨料混凝土的密度（kg/m3）。 | |

**4.6.3** 高温下再生粗骨料混凝土的比热容、热膨胀应变、轴心抗压强度、初始弹性模量、应力-应变关系宜通过试验测定，掺Ⅰ、II类再生粗骨料的再生粗骨料混凝土也可采用普通混凝土的相应规定。

## 4.7 钢筋连接

**4.7.1** 采用焊接连接、机械连接的钢筋，以及处于受压状态的绑扎搭接连接钢筋，高温下钢筋连接的承载力可按高温下钢筋的承载力取用。

**4.7.2** 当钢筋采用绑扎搭接连接时，高温下钢筋连接的抗拉承载力应采用钢筋与混凝土界面的粘结强度计算，且不得大于按对应温度下钢筋屈服强度确定的钢筋拉力值。钢筋与混凝土界面的粘结强度宜按式（4.7.2）计算：

 （4.7.2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*τ*T | —— | 高温下钢筋与混凝土界面的粘结强度； |
| *τ*20 | —— | 常温下钢筋与混凝土界面的粘结强度。 |

**4.7.3** 当钢筋采用套筒灌浆连接和约束浆锚搭接连接时，高温下钢筋连接的抗拉承载力可按高温下钢筋的承载力取用，钢筋中心位置的温度不宜高于400 ℃。

当钢筋中心位置的温度可能高于400 ℃时，宜增大钢筋保护层厚度或采取防火保护措施。

# 

# 5 普通混凝土构件

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 高温下普通混凝土构件的承载力当采用常温下普通混凝土构件的计算原则和方法时，应依据截面温度场采用按本标准第4.1节和第4.4节的折减系数修正普通钢筋和普通混凝土的力学性能。

**5.1.2** 普通混凝土构件的耐火极限验算宜采用本标准附录B的高级计算方法，也可依据本标准附录C采用常温方法针对等效缩减后的有效截面进行；对于普通混凝土梁、柱、板构件，还可依据本标准第5.2.1条、第5.3.1条、第5.4.1条规定的简化方法进行。

**5.1.3** 当普通混凝土构件的截面尺寸和纵向受力钢筋保护层厚度符合本标准第5.2.2条表5.2.2、第5.3.2条表5.3.2、第5.3.3条表5.3.3、第5.3.4条表5.3.4和第5.4.2条表5.4.2的要求时，可不进行耐火极限验算。

**5.1.4** 建筑钢筋混凝土构件保护层厚度大于50 mm时，应在保护层中间内置钢丝网，钢丝直径不宜大于8 mm，网孔间距不宜大于150 mm。

## 5.2 梁

**5.2.1** 当梁纵向受拉钢筋配筋率0.5%≤ *ρ*t ≤1.5%时，普通混凝土简支梁的耐火极限宜按式（5.2.1）计算：

 (5.2.1)

（20 mm≤*c*≤50 mm；0.2≤*M*/*M*u≤0.7）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*RT* | —— | 耐火极限(min)； |
| *M* | —— | 高温下按简支梁计算的梁跨中组合弯矩(kN·m)； |
| *M*u | —— | 常温下梁跨中受弯承载力(kN·m)，计算时钢筋和混凝土强度采用标准值； |
| *c* | —— | 梁纵向受拉钢筋的保护层厚度(mm)。 |

**5.2.****2** 当普通混凝土梁的梁宽以及纵向受拉钢筋的梁底保护层厚度不小于表5.2.2的规定，且角部受拉钢筋的梁侧保护层厚度不小于表5.2.2中数值加上10 mm时，梁的耐火极限可不进行验算。

表5.2.2-1 简支梁梁宽和纵向受拉钢筋保护层厚度的最小值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 耐火极限（min） | 梁宽（mm）/ 纵向受拉钢筋的保护层厚度（mm） | | | |
| 60 | 120 / 30 | 160 / 25 | 200 / 20 | 300 / 20 |
| 90 | 150 / 45 | 200 / 35 | 300 /30 | 400 / 25 |
| 120 | 200 / 55 | 240 / 50 | 300 / 45 | 500 / 40 |
| 180 | 240 / 70 | 300 / 60 | 400 / 55 | 600 / 50 |

表5.2.2-2 连续梁梁宽和纵向受拉钢筋保护层厚度的最小值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 耐火极限（min） | 梁宽（mm）/ 纵向受拉钢筋的保护层厚度（mm） | | | |
| 60 | 120 / 20 | — | — | — |
| 90 | 150 / 25 | 250 / 20 | — | — |
| 120 | 220 / 35 | 300 / 25 | 450 / 25 | 500 / 20 |
| 180 | 240 / 50 | 400 / 40 | 550 / 40 | 600 / 30 |

注：表5.2.2-1和表5.2.2-2适用于荷载比（*M*/*M*u）不高于0.5的普通混凝土梁。

## 5.3 柱和墙

**5.3.1** 普通混凝土矩形柱、等肢异形柱的耐火极限宜按式（5.3.1-1）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5.3.1-1) |
|  | (5.3.1-2) |
|  | (5.3.1-3) |
|  | (5.3.1-4) |
|  | (5.3.1-5) |
|  | (5.3.1-6) |
|  | (5.3.1-7) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*R*T | —— | 耐火极限（min）； |
| *β*μ | —— | 考虑荷载比对柱耐火极限影响的系数； |
| *β*L | —— | 考虑柱计算长度对柱耐火极限影响的系数； |
| *β*hdb | —— | 考虑矩形柱的截面高度和宽度之比、异形柱的截面肢高与肢厚之比对柱耐火极限影响的系数； |
| *β*b | —— | 考虑矩形柱的截面宽度、异形柱的截面肢厚对柱耐火极限影响的系数； |
| *β*e | —— | 考虑荷载偏心率对柱耐火极限影响的系数； |
| *β*ρ | —— | 考虑柱全截面纵向受力钢筋配筋率对柱耐火极限影响的系数； |
| *μ* | —— | 高温下组合轴向压力与该力作用点处柱常温轴向承载力之比，其中后者可利用式（5.3.1-8）计算，计算时材料强度采用标准值； |
| *L* | —— | 柱的计算长度（m），通常取常温下结构中混凝土柱的计算长度；对于框剪、框筒等结构中的柱，计算长度可取层高的0.7倍； |
| *h*、*b* | —— | 矩形柱的截面高度、宽度（m），异形柱的截面肢高、肢厚（m）； |
| *ρ* | —— | 全截面纵向受力钢筋配筋率； |
| *e* | —— | 为偏心率，其中为组合轴向压力作用点至截面重心的距离，为回转半径；*e*0y和*e*0z分别为组合轴向压力作用点至经过截面重心的*z*轴和*y*轴的距离，为全截面面积；为组合轴向压力作用点至截面重心的连线与*z*轴的夹角（以逆时针方向为正）；为相对于*z*a轴的截面惯性矩，*z*a轴经过截面重心，且与*z*轴的夹角等于加90°，如图5.3.1所示； |
| *c*1~ *c*16 | —— | 可按本标准附录D的附表D.0.1和D.0.2取值。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **C:\Users\yuyex\Documents\WeChat Files\wxid_ezccf0opa41622\FileStorage\Temp\1693799019864.png** | **图5** |
| (a) 矩形截面 | (b) L形柱 |
| **图5** | **图5** |
| (c) T形柱 | (d) 十字形柱 |
| 图5.3.1 截面参数  注：*zoy*为通过截面重心并与柱肢平行的坐标系。 | |

组合轴向压力作用点处混凝土柱的常温轴向承载力可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010计算确定，也可按式（5.3.1-8）计算：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | (5.3.1-8) |
|  | | | (5.3.1-9) |
|  | | | (5.3.1-10) |
|  | | | (5.3.1-11) |
|  | | | (5.3.1-12) |
|  | | | (5.3.1-13) |
| 式中：*N*u | —— | 组合轴向压力作用点处的柱常温轴向承载力（N）； | |
| *f*c | —— | 常温下混凝土的轴心抗压强度（N/mm2）； | |
| *A* | —— | 全截面面积（mm2）； | |
|  | —— | 考虑柱计算长度对柱轴向承载力影响的系数； | |
|  | —— | 考虑矩形柱截面高度和截面宽度之比、异形柱的截面肢高与肢厚之比对柱轴向承载力影响的系数； | |
|  | —— | 考虑矩形柱截面宽度、异形柱肢厚对柱轴向承载力影响的系数； | |
|  | —— | 考虑荷载偏心率对柱轴向承载力影响的系数； | |
|  | —— | 考虑柱全截面纵向受力钢筋配筋率对柱轴向承载力影响的系数； | |
| *d*1 ~ *d*13 | —— | 可按本标准附录D的附表D.0.3和附表D.0.4取值。 | |

式（5.3.1-1）和（5.3.1-8）的适用范围为：2.0 m≤*L*≤4.0 m、0.0≤*e*≤2.0、1%≤*ρ*≤3%、0.2≤*μ*≤0.7，矩形柱0.3 m≤*b*≤0.6 m、*b*≤*h*≤0.6 m，异形柱0.2 m≤*b*≤0.25 m、*b*≤*h*≤1.0 m。

**5.3.2** 当普通混凝土矩形柱的截面尺寸或圆柱截面直径，纵向受力钢筋的保护层厚度不小于表5.3.2的规定且符合以下条件时，柱的耐火极限可不进行验算。

1 柱的计算长度不大于3.0 m；

2 纵向受力钢筋的总配筋率小于4%；

3 高温下组合轴向压力作用点至经过矩形柱截面重心的*z*轴的距离*e*0y≤0.15*h*，至经过矩形柱截面重心的*y*轴的距离*e*0z≤0.15*b*，见本标准第5.3.1条图5.3.1；或高温下组合轴向压力作用点至圆柱截面重心的距离不大于截面直径的15%。

表5.3.2 截面尺寸（直径）和纵向受力钢筋保护层厚度的最小值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 耐火极限（min） | 截面尺寸（直径）（mm) / 纵向受力钢筋的保护层厚度（mm） | | | |
| 多面受火 | | | 单面受火 |
| *μ* = 0.15 | *μ* = 0.35 | *μ* = 0.50 | *μ* = 0.50 |
| 60 | 200 / 20 | 200 / 25  300 / 20 | 250 / 35  350 / 30 | 200 / 20 |
| 90 | 200 / 25  300 / 20 | 300 / 35  400 / 30 | 300 / 45  400 / 40 | 200 / 20 |
| 120 | 250 / 30  350 / 25 | 350 / 35  450 / 30 | 350 / 50  450 / 45 | 200 / 25 |
| 180 | 350 / 35  450 / 30  550 / 25 | 450 / 50  550 / 45  650 / 40 | 450 / 60  550 / 55  650 / 50 | 250 / 45  350 / 40  450 / 35 |
| 240 | 350 / 55  400 / 50  450 / 45  550 / 35 | 450 / 65  550 / 60  650 / 55  750 / 50 | 550 / 70  650 / 65  750 / 60  850 / 55 | 400 / 55  500 / 45  600 / 35 |

注： 1. *μ*为高温下组合轴向压力与该力作用点处柱常温轴向承载力之比。对于矩形柱，后者可利用式（5.3.1-8）计算，材料强度采用标准值。

2. 当柱的耐火极限不小于120 min，纵向钢筋应至少8根且沿柱周边分散布置。

**5.3.3** 当普通混凝土异形柱的截面肢厚和肢高不小于表5.3.3的规定且符合以下条件时，异形柱的耐火极限可不进行验算。

1 纵向受力钢筋的总配筋率小于4%；

2 纵向受力钢筋的保护层厚度不小于30 mm；

3 组合轴向压力作用点至截面重心的距离与截面回转半径之比不大0.35；

4、柱的计算长度不大于3.0 m。

表5.3.3 截面肢厚和肢高的最小值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 耐火极限（min） | 肢厚 (mm) / 肢高（mm） | | |
| *μ* = 0.15 | *μ* = 0.35 | *μ* = 0.50 |
| 60 | 200 / 400 | 200 / 400 | 200 / 400 |
| 90 | 200 / 400 | 200 / 500 | 200 / 800、250 / 750 |
| 120 | 200 / 400 | 200 / 650、250 / 500 | 250 / 1000、300 / 800 |
| 180 | 200 / 650、250 / 500 | 250 / 1000、300 /750 | 采取特殊措施 |

注：*μ*为组合轴向压力与该力作用点处柱常温轴向承载力之比。后者可利用式（5.3.1-2）计算，材料强度采用标准值。

**5.3.4** 当普通混凝土承重墙的墙厚以及纵向受力钢筋的保护层厚度不小于表5.3.4的规定时，墙的耐火极限可不进行验算。

表5.3.4 墙厚和纵向受力钢筋保护层厚度的最小值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 耐火极限 | 墙厚/纵向受力钢筋的保护层厚度 | | | |
| *μ*=0.25 | | *μ*=0.5 | |
| 单面受火 | 双面受火 | 单面受火 | 双面受火 |
| 60 | 140/15 | 140/15 | 140/15 | 140/15 |
| 90 | 140/15 | 140/15 | 140/25 | 170/25 |
| 120 | 150/20 | 160/20 | 160/30 | 220/35 |
| 180 | 180/35 | 200/40 | 210/50 | 270/55 |
| 240 | 230/50 | 250/50 | 270/60 | 350/60 |

注：1 对于非承重墙，最小墙厚可在表第一列“单面受火”规定的基础上减少。当耐火极限不超过120 min时，减少40 mm；当耐火极限超过120 min时，减少30 mm。

2 防火墙须符合抗冲击要求，无筋混凝土墙、钢筋混凝土承重墙和钢筋混凝土非承重墙用作防火墙时的最小墙厚分别不应小于200 mm、140 mm和120 mm，且承重墙的纵向受力钢筋保护层厚度不应小于20 mm；

3 墙净高与墙厚比不应大于40。

## 5.4 板

**5.4.1** 普通混凝土板的四周有梁稳固支承时，可按本标准附录E计算普通混凝土板在高温下考虑薄膜效应的承载力，并按本标准第3.1.2条式（3.1.2-1）的规定进行耐火极限验算。

**5.4.2** 当普通混凝土板的板厚以及纵向受拉钢筋的保护层厚度不小于表5.4.2的规定时，板的耐火极限可不进行验算。

**表5.4.2 板厚和纵向受拉钢筋保护层厚度的最小值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 耐火极限  （min） | 板 厚  （mm） | 纵向受拉钢筋的保护层厚度（mm） | | |
| 单向板 | 双向板 | |
| *l*y*/l*x≤2.0 | 2.0<*l*y*/l*x≤3.0 |
| 60 | 80 | 20 | 15 | 15 |
| 100 | 15 |
| 120 | 15 |
| 150 | 15 |
| 90 | 100 | 20 | 15 | 20 |
| 120 | 15 | 15 |
| 150 | 15 | 15 |
| 120 | 100 | 30 | 30 | 30 |
| 120 | 25 | 20 | 20 |
| 150 | 20 | 20 | 20 |

注：1 *l*y和*l*x分别为双向板的长跨和短跨，双向板应为四边支撑情况。否则，按单向板考虑；

2 纵向受拉钢筋的保护层厚度与钢筋半径之和大于0.2倍板厚时，需计算校核裂缝宽度，必要时应配置附加钢筋。

**5.4.3** 按简支边或非受力边设计的普通钢筋混凝土板，当与混凝土梁、墙整体浇筑时，板面构造钢筋从混凝土梁边、柱边、墙边伸入板内的长度不宜小于*l*0/3；当嵌固在砌体墙内时，砌体墙支座处板面构造钢筋伸入板内的长度不宜小于*l*0/5。其中，计算跨度*l*0对单向板按受力方向考虑，对双向板按短边方向考虑。

**5.4.4** 普通混凝土连续板简支边的板面构造钢筋长度应符合本标准第5.4.3条的规定，支座负弯矩钢筋向跨内延伸的长度不宜小于*l*0/3，且单位宽度内应至少有2根钢筋通长布置。

**5.4.5** 普通混凝土连续板常温下支座处的负弯矩调幅系数不宜大于0.15；当大于0.15时，连续板的每一跨均应按简支板考虑并应符合本标准第5.4.2条表5.4.2的规定。

**5.4.6** 焊接式钢筋桁架楼承板的耐火极限验算与防火设计应符合本节的规定。计算时，可不考虑压型钢板底模和桁架腹杆的作用及其对温度场的影响。

## 5.5 隧道

**5.5.1** 对于具有防火保护的隧道承重结构体，混凝土表面温度在规定的耐火极限内不应超过350 ℃；采用的防火保护材料厚度不应小于按式（5.5.1）计算确定的最小厚度。

 (5.5.1)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*d*min | —— | 防火保护材料的最小厚度（mm）； |
| *λ*c | —— | 防火保护材料的常温导热系数W/(m⋅°C)。 |

**5.5.2** 对于无防火保护的隧道承重结构体，距离混凝土表面最近的受力钢筋的温度在规定的耐火极限内不应超过300 ℃；高温下受力钢筋的温度宜按式（5.5.2-1）计算：

 (5.5.2-1)

 (5.5.2-2)

 (5.5.2-3)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*T*s | —— | 火灾下距离混凝土表面最近的受力钢筋的温度（oC）； |
| *T*F | —— | 受火的混凝土表面温度（oC）； |
| *T*0 | —— | 初始温度，一般取室温；在无明确要求时，可取20oC； |
| *ζ* | —— | 无量纲参数，按式(5.5.2-2)计算； |
| *x*s | —— | 距离混凝土表面最近的受力钢筋中心到混凝土表面的距离（mm）； | | | |
| *t*l | —— | 隧道的耐火极限（h）；在无明确要求时，可按2.0h计算； | | |
| *κ* | —— | 材料的热扩散率 [1/(m2·s)]，可按式(5.5.2-3)计算： | | |
| *k*c | —— | 常温下混凝土的导热系数 [W/(m·℃)]； | |
| *ρ*c | —— | 常温下混凝土的密度（kg/m3）； | |
| *c*c | —— | 常温下混凝土的比热容 [J/(kg·℃)]。 | |

# 6 高强混凝土构件

**6.0.1** 高强混凝土构件的箍筋应采用135°弯钩。

**6.0.2** C60～C80高强混凝土构件宜采用下述防高温爆裂措施之一或组合：

1 构件表面设置钢丝网，钢丝直径不小于2 mm，网孔不大于50 mm×50 mm，钢丝网表面涂抹厚度15 mm的水泥砂浆；

2 构件表面设置厚度20 mm的非膨胀型防火涂料，或厚度30 mm的防火板，或其他能防止高强混凝土高温爆裂的防火隔热层；

3 混凝土中添加不少于2 kg/m3掺量的短切聚丙烯纤维。

**6.0.3** 高强混凝土柱和墙的高温承载力宜根据本标准附录C采用常温方法针对缩减后的有效截面计算，但损伤层厚度*a*z按式（6.0.3）确定：

 (6.0.3)

式中：*k*——考虑爆裂影响的增大系数。混凝土强度等级小于C60时，取1.0；混凝土强度等级C60～C70时，取1.1；混凝土强度等级大于C70但不大于C80时，取1.2；当按第6.0.2条采取高温防爆裂措施时，取1.0；

*a*z, 500——500 ℃等温线上各点距离截面边缘的平均深度（mm）。

**6.0.4** 高强混凝土方形柱的耐火极限宜按式（6.0.4）计算：

 (6.0.4)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*R*T | —— | 柱的耐火极限（min）； |
| *L* | —— | 柱的计算长度（m），2.0 m ≤ *L* ≤ 4.0 m； |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *β*b | —— | 考虑方形柱的截面边长对柱耐火极限影响的系数； |
| *β*ρ | —— | 考虑柱全截面纵向受力钢筋配筋率对柱耐火极限影响的系数； |
| *β*μ | —— | 考虑荷载比对柱耐火极限影响的系数； |

*β*b、*β*ρ和*β*μ可按表6.0.4计算。

表6.0.4 *β*b、*β*ρ和*β*n的计算公式

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *e*0*/b* | *β*b  （300 mm≤*b*≤700 mm） | | | *β*ρ  （1.0%≤*ρ*≤2.5%） | *β*μ  （0.2≤*μ*≤0.6） | |
| 0 |  | | |  |  | |
| 0.1 |  | | |  |  | |
| 0.2 |  | | |  |  | |
| 0.3 |  | | |  |  | |
| 0.4 |  | | |  |  | |
| 表中：*e*0 | | | —— | 组合轴向压力作用点至柱截面重心的距离（mm）； | | |
| *b* | | | —— | 柱的截面宽度（mm）； | | |
| *ρ* | | | —— | 柱全截面纵向受力钢筋配筋率； | | |
| *μ* | | | —— | 高温下组合轴向压力与该力作用点处柱常温轴向承载力之比。 | | |

**6.0.5** 当高强混凝土构件按本标准第6.0.2条采取防高温爆裂措施时，高强混凝土构件的耐性极限验算可按本标准第5.2.2条、第5.3.2条、第5.3.3条、第5.3.4条和第5.4.2条的规定进行。

**6.0.6** 当高强混凝土柱未采取可靠的防高温爆裂措施时，按照本标准第5.3.2条规定确定的纵向受力钢筋的保护层最小厚度应调整为*kc*min+2 mm，矩形柱最小截面尺寸和圆柱最小直径应增大2*c*min(*k*-1) +4 mm。其中，*c*min为本标准第5.3.2条表5.3.2给出的纵向受力钢筋保护层厚度的最小值。

# 7 预应力混凝土构件

**7.0.1** 高温下预应力混凝土构件的承载力计算可采用常温下预应力混凝土构件的计算原则和方法，但应依据截面温度场采用按本标准第4.1节、第4.2节和第4.4节的折减系数修正普通钢筋、预应力钢筋和混凝土的力学性能。

**7.0.2** 对含水率超过3.5%的预应力混凝土梁、板、柱等构件，宜按本标准第6.0.2条的要求采取防高温爆裂措施，也可在受力钢筋外侧的混凝土保护层内配置钢筋网，且钢筋网的钢筋直径不宜小于6 mm、网格边长不宜大于150 mm、钢筋网外层钢筋的混凝土保护层厚度不应小于现行国家标准《混凝土结构设计规范》 GB 50010要求的保护层厚度。

**7.0.3** 当后张预应力混凝土梁纵向预应力钢筋梁底和梁侧的保护层厚度不小于表7.0.3的规定时，梁的耐火极限可不进行验算。

**表7.0.3 纵向预应力钢筋梁底和梁侧的保护层厚度的最小值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 约束条件 | 梁截面宽度*b*（mm） | 耐火极限（min） | | |
| 60 | 90 | 120 |
| 简 支 | 200≤*b*＜300 | 45 mm | 50 mm | 65 mm |
| 简 支 | *b*≥300 | 40 mm | 45 mm | 50 mm |
| 连 续 | 200≤*b*＜300 | 40 mm | 40 mm | 45 mm |
| 连 续 | *b*≥300 | 40 mm | 40 mm | 40 mm |

注：1 表中数值是针对按本标准第3. 1. 3条计算的高温下梁控制截面组合弯矩与该截面常温受弯承载力之比（*M*/*M*u）为0.6提出的；当*M*/*M*u*≠*0.6时，表中最小保护层厚度可乘以（1.7*M*/*M*u）0.5。

2 预应力梁中普通钢筋的保护层厚度应满足本标准第5.2.2条的规定。

**7.0.4** 当后张预应力混凝土矩形柱的截面尺寸和纵向预应力钢筋的保护层厚度不小于表7.0.4的规定时，柱的耐火极限可不进行验算。

**表7.0.4 截面尺寸和纵向预应力钢筋保护层厚度的最小值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 耐火极限（min） | 截面尺寸（mm） / 纵向预应力钢筋的保护层厚度（mm） | | | |
| 多面受火 | | | 单面受火 |
| *μ*=0.15 | *μ*=0.35 | *μ*=0.50 | *μ*=0.50 |
| 60 | 200 / 25 | 200 / 36  300 / 31 | 250 / 46  350 / 40 | 155 / 25 |
| 90 | 200 / 31  300 / 25 | 300 / 45  400 / 38 | 300 / 53  450 / 40\* | 155 / 25 |
| 120 | 250 / 40  350 / 35 | 350 / 45\*  450 / 40\* | 350 / 57\*  450 / 51\* | 175 / 35 |
| 180 | 350 / 45\* | 350 / 63\* | 450 / 70\* | 230 / 55 |

注：1、表中*μ*为按本标准第3.1.3条计算的高温下柱组合轴压力与截面常温轴压承载力之比。上标“\*”表示柱内纵向钢筋应不少于8根。

2、预应力混凝土柱中普通钢筋的保护层厚度应满足本标准第5.3.2条的规定。

**7.0.5** 当后张预应力混凝土板的纵向预应力钢筋的保护层厚度不小于表7.0.5-1和表7.0.5-2的规定时，板的耐火极限可不进行验算。

**表7.0.5-1 单向板纵向预应力钢筋保护层厚度的最小值**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 约束条件 | 耐火极限（min） | |
| 60 | 90 |
| 简 支 | 25 mm | 30 mm |
| 连 续 | 20 mm | 20 mm |

**表7. 0. 5-2 双向板纵向预应力钢筋保护层厚度的最小值**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 长边与短边之比 | 耐火极限（min） | |
| 60 | 90 |
| ≤1.5 | 20 mm | 20 mm |
| 1.5～2.0 | 25 mm | 30 mm |

注：1. 表中数值是针对板厚不小于180 mm和按本标准第3.1.3条计算的高温下板控制截面组合弯矩与该截面常温受弯承载力之比（*M*/*M*u）为0.6提出的。板厚*h*小于180 mm时，应将表中数值乘以（180/*h*）0.2；对于*M*/*M*u*≠*0.6的情况，可将表中数值乘以（1.7 *M*/*M*u）0.5。

2. 表7.0.5-2针对双向简支板；若双向板为四边均有支承的连续板，则按表7.0.5-1单向连续板取值。

3. 预应力板中普通钢筋的保护层厚度应满足本标准第5.4.2条的规定。

**7.0.6** 在外荷载和预应力等效荷载共同作用下，预应力混凝土板迎火面混凝土的常温名义拉应力宜满足式（7.0.6）：

 (7.0.6)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中: *σ*ct | —— | 迎火面混凝土的常温名义拉应力（N/mm2）； |
| *f*t | —— | 常温下混凝土的抗拉强度，计算时取标准值（N/mm2）。 |

**7.0.7** 预应力混凝土连续梁或板第一内支座上部负弯矩钢筋伸入该支座两侧梁或板内的长度均应满足式（7.0.7）：

 (7.0.7)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中: *l*dT | —— | 负弯矩钢筋伸入第一内支座两侧梁内的长度（mm）； |
| *l*0 | —— | 与第一内支座相邻两跨的计算跨度较大值（mm）； |
| *d* | —— | 钢筋直径（mm）。 |

**7.0.8** 当后张预应力屋架下弦杆的截面尺寸和纵向预应力钢筋的保护层厚度不小于表7.0.8的规定时，下弦杆的耐火极限可不进行验算。

**表7.0.8 截面尺寸和纵向预应力钢筋保护层厚度的最小值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 耐火极限（min） | 截面尺寸（mm） / 纵向预应力钢筋的保护层厚度（mm） | | | |
| 60 | 120 / 40 | 160 / 35 | 200 / 30 | 300 / 25 |
| 90 | 150 / 55 | 200 / 45 | 300 / 40 | 400 / 35 |

注：预应力屋架下弦杆的截面面积不应小于截面最小尺寸平方的2倍；普通钢筋的混凝土保护层最小厚度可比表中数值减少5 mm，但不小于《混凝土结构设计规范》 GB 50010对保护层厚度的规定。

**7.0.9** 预应力屋架的上弦杆和受压腹杆应按柱进行耐火设计，受拉腹杆可按下弦杆进行耐火设计，节点的耐火性能不应低于杆件的耐火性能。

# 8 型钢混凝土构件

**8.0.1** 当型钢混凝土梁的截面周长为1200~3200 mm，截面高宽比为1.5~3.0时，梁的耐火极限宜按式（8.0.1-1）计算：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | (8.0.1-1) |
|  | | | (8.0.1-2) |
| 式中：*R*T | —— | 耐火极限（min），且*R*T≤150 min； | |
| *M* | —— | 高温下按简支梁计算的梁跨中组合弯矩（kN•m）； | |
| *M*u | —— | 常温下梁跨中受弯承载力（kN•m），材料强度采用标准值； | |
| *C* | —— | 梁的截面周长（mm）。 | |

**8.0.2** 当型钢混凝土柱的截面周长为1200~8000 mm，截面型钢含钢率为0.04~0.15，柱长细比为10~120时，柱的耐火极限宜按式（8.0.2-1）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8.0.2-1) |
|  | (8.0.2-2) |
|  | (8.0.2-3) |
|  | (8.0.2-4) |
|  | (8.0.2-5) |
|  | (8.0.2-6) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*R*T | —— | 耐火极限（min），且*R*T≤180 min； |
| *α*c | —— | 柱截面的型钢含钢率； |
| *µ* | —— | 高温下组合轴向压力与该力作用点处柱常温轴向承载力之比，其中后者可按现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138的规定计算，材料强度采用标准值； |
| *C* | —— | 柱的截面周长（mm）； |
| *λ* | —— | 柱的长细比，绕强轴弯曲时，绕弱轴弯曲时，*L*为柱的计算长度，*h*和*b*分别为柱的截面高度和宽度； |
| *A*s | —— | 型钢截面面积（mm2）； |
| *A*c | —— | 混凝土截面面积（mm2）。 |

# 9 预制混凝土构件

**9.0.1** 普通混凝土预制构件的防火设计应符合本标准第5章的规定，高强混凝土预制构件的防火设计应符合本标准第6章的规定。

**9.0.2** 普通混凝土预制构件和高强混凝土预制构件的钢筋连接处的混凝土保护层厚度应分别符合本标准第5章和第6章有关保护层厚度的要求，钢筋连接处的保护层厚度确定应符合以下要求：

**1** 当纵向钢筋连接采取机械连接方式时，保护层厚度应取套筒外侧至混凝土外表面的距离。

**2** 当纵向钢筋连接采取焊接连接方式时，保护层厚度应取焊接点外侧至混凝土外表面的距离。

3 当纵向钢筋连接采取套筒灌浆连接方式时，保护层厚度应取套筒外侧至混凝土外表面的距离。

**4** 当纵向钢筋连接采取浆锚搭接或绑扎搭接的连接方式时，保护层厚度应取被搭接钢筋外侧至混凝土外表面的距离。

**9.0.3** 预制构件装配部位的连接钢板、预埋件、螺栓和焊缝等连接件应按照本标准第3.2节的规定采取防火保护措施。

**9.0.4** 预制外墙的外露金属支撑件和外墙板内侧与主体结构的调整间隙，应采取防火封堵措施，封堵构造的耐火极限不应低于墙体的耐火极限，封堵材料或组件在设计的耐火时间内应能保持其正常使用功能。

# 

# 10 加固混凝土构件

**10.0.1** 加固混凝土构件应满足下列防火要求：

**1** 加固混凝土构件的外露钢应进行防火保护，防火保护层厚度应满足在设计的构件耐火极限内钢材温度不超过其软化温度的要求。

**2** 采用有机类结构胶黏剂进行植筋或安装锚栓时，对植筋或锚栓锚固区域的混凝土表面应进行防火保护。防火保护层的宽度可取5倍混凝土保护层厚度，长度应覆盖植筋或锚栓的锚固深度，并沿深度方向延伸5倍混凝土保护层厚度。当采用植筋方式锚固时，防火防护层尚应延伸至新增构件混凝土表面不小于300 mm区域；当采用锚栓方式锚固时，防火防护层尚应覆盖锚栓周边不小于半径150 mm区域。防火保护层厚度应满足火灾中植筋或锚栓锚固不失效的要求。

**3** 采用粘贴纤维片材或钢板加固混凝土构件时，应对外贴纤维片材或外贴钢板及其邻近区域的混凝土表面进行防火保护，防火保护层与原混凝土构件之间应采取可靠的拉结措施。

**4** 采用钢丝绳网片-聚合物砂浆面层或纤维网格增强砂浆面层加固混凝土构件时，加固层与原混凝土构件之间应采取可靠的拉结措施。加固梁、柱构件时，宜将加固层从被加固面延伸至构件的相邻侧面，延伸长度不应小于150 mm。

**10.0.2** 加固混凝土构件采用有机类结构胶黏剂粘贴型钢、钢板、碳纤维片材或进行化学植筋、化学锚栓安装时，有机类结构胶黏剂的技术性能应符合现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728、《混凝土结构加固设计规范》GB 50367的规定。采用无机类结构胶黏剂粘贴型钢、钢板、碳纤维片材或进行化学植筋、化学锚栓安装时，宜采用碱激发铝硅酸盐无机胶或氯氧镁水泥胶。无机类结构胶黏剂的技术性能宜符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367的规定。

**10.0.3** 采用结构胶黏剂粘贴纤维布或钢板加固混凝土梁或混凝土板时，防火保护范围应符合下列要求：

**1** 梁侧和梁底粘贴U形纤维布箍或钢板箍进行抗剪加固的梁，防火保护层应等厚度覆盖抗剪加固区域的梁底面和梁侧面，沿梁的纵向应从最外侧U形箍边缘外伸不小于200 mm。

**2** 梁底粘贴纤维布或钢板抗弯加固的梁，防火保护层宜从梁底面等厚度延伸至梁侧面，且梁侧面防火保护层的设置高度不应小于梁底至底部最上排纵向受拉钢筋中心的距离加上100 mm；梁侧面锚固用的U形纤维布箍或钢板箍的防火保护层厚度宜与梁底的防火保护层厚度相同，防火保护范围应从U形箍边缘两侧外伸不小于50 mm。

**3** 板底粘贴纤维布或钢板加固的板，防火保护范围从纤维布或钢板边缘向外延伸的宽度不应小于50 mm。

**10.0.4**  梁底或板底粘贴碳纤维布抗弯加固混凝土梁或混凝土板时，防火涂料的厚度可按下列要求确定：

**1**  当采用有机类结构胶黏剂粘贴碳纤维布加固梁或单向板时，对于采用非膨胀型防火涂料保护的梁和采用膨胀型防火涂料保护的单向板，防火涂料的厚度可按本标准附录F确定；

**2** 当采用有机类结构胶黏剂粘贴碳纤维布加固双向板时，对于采用膨胀型防火涂料保护的双向板，可沿两个正交方向分别采用本条第1款按单向板确定防火涂料的厚度，并取两个方向所对应防火涂料厚度的较大值；

**3**  采用无机类结构胶黏剂粘贴碳纤维布加固梁或板时，防火涂料的厚度应符合火灾中结构胶黏剂温度不超过300 ℃的要求。

**10.0.5**  采用结构胶黏剂粘贴纤维布或钢板加固的混凝土梁或混凝土板，防火保护层宜采取下列构造措施：

**1**  采用非膨胀型防火涂料保护的加固梁或加固板，防火保护层内部靠外侧应设置一层钢丝网片，通过耐火钢丝将其绑扎固定于预先锚固在原混凝土梁或板上的钢钉（纤维布加固时）或自攻锚栓（钢板加固时）上。

**2** 采用膨胀型防火涂料保护的加固梁或加固板，当采用有机类结构胶黏剂粘贴纤维布或钢板时，防火保护层与加固层之间应设置厚度不小于10 mm的钢丝网水泥砂浆过渡层，且通过耐火钢丝将钢丝网片绑扎固定于预先锚固在原混凝土梁或板上的钢钉（纤维布加固时）或自攻锚栓（钢板加固时）上。

**3** 钢丝网片的网格不宜大于20 mm，丝径不宜小于0.5 mm；绑扎用的耐火钢丝直径不宜小于0.5 mm。

**4** 钢钉和自攻锚栓的双向间距不宜大于200 mm；钢钉直径不宜小于3 mm，净埋深不宜小于30 mm；自攻锚栓不宜小于M6，净埋深不宜小于60 mm。

**10.0.6** 采用钢丝绳网片-聚合物砂浆面层或纤维网格增强砂浆面层加固混凝土梁或混凝土板时，钢丝绳网片和最外层纤维网格应通过耐火钢丝将其绑扎固定于预先锚固在原混凝土梁或板上的钢钉或自攻锚栓上，并应符合下列要求：

1 耐火钢丝直径不宜小于0.5 mm；

2 钢钉和自攻锚栓的双向间距不宜大于200 mm；

3 钢钉直径不宜小于3 mm，净埋深不宜小于30 mm；

4 自攻锚栓不宜小于M4，净埋深不宜小于40 mm。

# 11 火灾后钢筋混凝土结构鉴定

**11.0.1** 火灾后钢筋混凝土结构鉴定对象宜为结构整体或相对独立的结构单元；特殊情况下，可仅将火灾影响范围内的局部结构或构件作为鉴定对象。

**11.0.2** 火灾后钢筋混凝土结构鉴定可分为初步鉴定和详细鉴定，初步鉴定应以构件的宏观检查评估为主，详细鉴定应以安全性分析为主。当仅需鉴定火灾影响范围和程度时，可仅做初步鉴定；当需要评估火灾后结构的安全性时，应进行详细鉴定。

**11.0.3** 火灾后钢筋混凝土构件的鉴定评级应根据构件的表观损伤特征、承载能力和构造连接等项目综合评定，并应取其中最严重等级作为初步鉴定等级，取其中最低等级作为详细鉴定等级。

**11.0.4** 火灾后钢筋混凝土构件的初步鉴定应包括火作用调查和结构现状检查：

**1** 火作用调查应初步判断构件受高温作用的温度范围和作用时间，包括调查火灾蔓延过程、火场残留物及火灾影响区域等。

**2** 结构现状检查应调查构件受火灾损伤的程度，包括烧灼及温度损伤状态和特征等。

**11.0.5** 火灾后钢筋混凝土构件的初步鉴定等级，应根据构件烧灼损伤程度按表11.0.5的规定评定。

表11.0.5 构件初步鉴定等级标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 级别 | 烧灼损伤程度 | 应对措施 |
| І | 未遭受烧灼作用，未发现火灾及高温造成的损伤，构件材料、性能及安全状况未受到火灾影响 | 不必采取措施 |
| Ⅱa | 轻微烧灼，未发现火灾及高温造成的损伤，构件材料、性能及安全状况受火灾影响不大 | 可不采取措施或仅采取提高耐久性的措施 |
| Ⅱb | 轻度烧灼，构件材料及性能受到轻度影响，火灾尚不明显影响构件安全 | 应采取提高耐久性或局部处理和外观修复措施 |
| Ш | 中度烧灼，构件材料及性能受到明显影响，火灾明显影响构件安全 | 应采取加固或局部更换措施 |
| Ⅳ | 严重烧灼或破坏，结构倒塌或构件塌落，结构构件承载能力丧失或大部分丧失，危及结构安全 | 应立即进行安全防护，并采取彻底加固、更换或拆除的措施 |

**11.0.6** 火灾后钢筋混凝土构件的详细鉴定可根据需要进行构件受火作用分析、专项检测、结构分析与构件校核：

**1** 受火作用分析应根据火场调查与相应的检测结果，进行构件过火温度分析。构件过火温度分析应包括推定火灾温度过程、温度分布、火灾对构件的作用温度及分布范围，判断构件受火作用的温度。

**2**  构件专项检测应根据详细鉴定的需要，对受火与未受火构件的材料性能、结构变形、节点连接、构件承载能力等进行专项检测。

**3**  结构分析与构件校核应根据受火结构的材料特性、几何参数、受力特征、调查和检测结果，进行结构分析计算和构件承载性能校核。

**11.0.7**  火灾后钢筋混凝土构件的详细鉴定评级，应根据检测、分析和校核结果，按表11.0.7的规定评定；评定为B级的重要构件和评定为C级、D级的构件应加固处理。

表11.0.7 构件详细鉴定评级标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 级别 | 分级标准 | 应对措施 |
| A | 未受到火灾影响且符合国家现行标准安全性要求，安全，可正常使用 | 不必采取措施 |
| B | 受火灾影响，或略低于国家现行标准安全性要求，不影响安全，可正常使用 | 宜采取适当措施 |
| C | 不符合国家现行标准安全性要求，影响安全和正常使用 | 应采取措施 |
| D | 极不符合国家现行标准安全性要求，严重影响安全 | 应立即加固、更换或拆除 |

**11.0.8** 火灾后混凝土结构分析与构件校核方法应符合国家现行相关标准的规定，采用的计算模型应符合火灾后结构的实际受力和构造状况；结构分析可根据结构概念和结构鉴定的需要对计算模型合理简化，并宜符合下列规定：

**1**  局部火灾未造成整体结构明显变位、损伤及裂缝时，可仅计算局部作用。

**2**  支座没有明显变位的板、梁、框架等连续结构，可不计入支座变位的影响。

**11.0.9**  结构上的作用取值与现行国家标准的规定值偏差较大时，应按实际情况确定。

**11.0.10** 火灾后结构、构件的几何参数应取实测值，并应计入火灾后结构实际的变形、偏差以及裂缝、损伤等影响；火灾后混凝土和钢筋的力学性能宜通过现场实测确定，也可根据构件截面温度场按本标准附录G取值。

**11.0.11** 火灾后特殊重要构件的剩余承载力宜通过现场加载试验分析确定。

# 12 防火保护工程的施工与验收

## 12.1 一般规定

**12.1.1** 建筑钢筋混凝土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 施工方案、施工质量管理和检验制度齐全；

4 建筑钢筋混凝土结构工程质量检验合格，符合防火保护工程施工要求；

5 施工中使用的水、电、气满足施工要求，并保证连续施工；

6 有检定要求的施工机具、测量仪器应在检定合格有效期内；

7 施工现场的防火措施、管理措施和灭火器材配备符合现行国家标准《建筑工程施工现场消防安全技术规范》GB 50720的要求。

**12.1.2** 建筑钢筋混凝土结构防火保护工程的施工，应按照批准的工程设计技术文件及国家相关工程建设技术标准进行。当需要变更设计时，必须征得设计单位的同意。

**12.1.3** 建筑钢筋混凝土结构防火保护工程应按照检验批、分项工程进行查验，查验合格后申请相关主管部门进行消防验收。检验批宜根据施工、质量控制的需要，按工程量、楼层、施工段、变形缝划分，一个检验批内应采用相同的防火保护方式、同一批次的材料、相同的施工工艺，且施工条件、养护条件等相近。

**12.1.4** 检验批质量验收合格应符合下列规定:

1 主控项目的质量经抽样检验应合格；

2 一般项目的质量经抽样检验应合格；当采用计数检验时，除有专门要求外，一般项目的合格点率应达到80％及以上，且不得有严重缺陷（最大偏差值不应大于其允许偏差值的1.2倍）；

3 应具有完整的施工操作依据和质量验收记录。

**12.1.5** 建筑钢筋混凝土结构防火保护检验批、分项工程质量验收的程序和组织，应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300的规定。

**12.1.6** 建筑钢筋混凝土结构防火保护工程验收前应至少具备下列文件：

1 防火保护材料的产品合格证等资料；

2 每个检验批的取样全过程记录；

3 对每个检验批取样防火保护材料复检所取得的见证检验报告；

4 防火保护工程施工记录；

5 防火保护工程施工质量查验报告。

## 12.2 施 工

**12.2.1** 防火保护工程施工时，施工人员应采取保障人身健康和安全的防护措施。

**12.2.2** 非膨胀型防火涂料施工，应符合下列规定：

1 当采用水泥基防火涂料时，应分层涂抹或喷涂，打底涂层厚度宜为2~3 mm，其它涂层每层厚度宜为5~10 mm，且前一层涂料固化或干燥后方可施工后一层；当涂层厚度大于20 mm时，宜设置镀锌钢丝网片或其他耐火纤维网片，与涂料表面间距不宜大于20 mm，钢丝直径不宜小于2 mm，网孔间距不宜大于150 mm；

2 当采用石膏基防火涂料时，干密度不应大于400 kg/m3，无需打底、刷胶，无需挂网片，连续不间断地一遍喷涂或抹涂，完成厚度不应大于60 mm。

**12.2.3** 膨胀型防火涂料施工，应符合下列规定：

1 宜先涂抹或喷涂厚度约10 mm的水泥砂浆过渡层，采用钢丝网片将过渡层可靠固定在原混凝土构件上，并应待过渡层干燥后再施工防火涂料；

2 防火涂料的底涂层宜采用重力式喷枪在压力约为0.4 MPa的条件下喷涂2～3遍，每遍厚度不应超过0.25 mm，且应在前一遍干燥后再喷涂后一遍。

**12.2.4** 采用金属网水泥砂浆保护混凝土构件，应符合下列规定：

**1** 应对施工面进行凿毛处理并喷涂或涂刷界面剂；

**2** 在施工完一层基体材料后，应及时铺设金属网片并对其抹压，使金属网片嵌入基体层内；待前一层基体初凝后，再施工最外层基体并抹平表面；

**3** 最外层基体的厚度宜为15~20 mm，内部每层基体的厚度宜为8~10 mm，砂浆层的总厚度不应小于25 mm且不宜大于40 mm；

**4** 预先在原混凝土构件上安装M4自攻锚栓，锚入混凝土内深度不应小于40 mm，外露螺头长宜为10~15 mm并缠紧绑扎钢丝，待金属网片铺设后将钢丝缠紧金属网片，再绑扎固定于外露螺头上。

**12.2.5** 采用纤维网格增强砂浆面层加固混凝土构件，应符合下列规定：

**1**  加固前，应对加固面进行凿毛处理并喷涂或涂刷界面剂；

**2**  在施工完一层基体材料后，应及时铺设纤维网格并对其抹压，使纤维网格嵌入基体层内；待前一层基体初凝后，再施工后一层基体并嵌入纤维网格；最后施工最外层基体并抹平表面；

**3** 最外层基体的厚度宜为8~10 mm，内部每层基体的厚度宜为5~6 mm，加固层的总厚度不应小于15 mm且不宜超过30 mm；

**4**  预先在原混凝土构件上安装钢钉或自攻锚栓，锚入混凝土内深度不应小于30 mm，外露钉头或螺头长宜为5~10 mm并缠紧绑扎钢丝，待最外层纤维网格铺设后将钢丝缠紧纤维网格，再绑扎固定于外露钉头或螺头上。

**12.2.6** 建筑钢筋混凝土结构防火保护工程完工后，施工单位应组织编制与建筑钢筋混凝土结构防火保护相关的工程竣工图纸。

12.3 验 收

**12.3.1**  防火工程进行隐蔽前，应对隐蔽的防火保护工程进行施工质量验收，并在验收合格后进行封闭。

**12.3.2** 防火涂料保护工程检验批验收应符合下列规定：

Ⅰ 主控项目

1 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 ℃～38 ℃，相对湿度不应大于85％。涂装时，构件表面不应有结露，涂装后4.0 h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。

2 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±2 mm。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±5％，且不应大于±0.2 mm。

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。

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

Ⅱ 一般项目

1 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。

2 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。

**12.3.3** 防火板保护工程检验批验收应符合下列规定：

Ⅰ 主控项目

1 防火板保护层的厚度不应小于设计厚度，其允许偏差应为设计厚度的±10％，且不应大于±2 mm。

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个不同的部位，用游标卡尺分别测量其厚度；防火板保护层厚度为测点厚度的平均值。

2 防火板的安装龙骨、支撑固定件等应固定牢固，现场拉拔强度应符合设计要求，其允许偏差应为设计值的-10％。

检查数量：按同类构件基数抽查10％，且均不应少于3个。

检查方法：现场手掰检查；查验进场验收记录、现场拉拔检测报告。

3 防火板安装应牢固稳定、封闭良好。

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：直观检查。

Ⅱ 一般项目

1 防火板的安装允许偏差应符合表12.3.3的规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：用2 m垂直检测尺、2 m靠尺、塞尺、直角检测尺、钢直尺实测。

表12.3.3 防火板的安装允许偏差（mm）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 检查项目 | 允许偏差 | 检查仪器 |
| 立面垂直度 | ±4 | 2 m垂直检测尺 |
| 表面平整度 | ±2 | 2 m靠尺、塞尺 |
| 阴阳角正方 | ±2 | 直角检测尺 |
| 接缝高低差 | ±1 | 钢直尺、塞尺 |
| 接缝宽厚 | ±2 | 钢直尺 |

2 防火板分层安装时，应分层固定、相互压缝。

检查数量：全数检查。

检查方法：查验隐蔽工程记录和施工记录。

3 防火板的安装接缝应严密、顺直，接缝边缘应整齐。

检查数量：全数检查。

检查方法：直观和用尺量检查。

**12.3.4** 金属网抹砂浆保护工程检验批验收应符合下列规定：

Ⅰ 主控项目

1 砂浆保护层的厚度不应小于设计厚度，允许偏差应为设计厚度的±10％，且不应大于±2 mm。

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个不同的部位，用尺量检查。。

Ⅱ 一般项目

2 砂浆保护层表面的裂纹宽度不应大于1 mm，且1 m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。

**12.3.5** 工程竣工验收全部完成并合格后，建设单位应将所有建筑钢筋混凝土结构防火保护工程的验收文件存档备案。

# 附录A 普通混凝土构件矩形截面温度场简化计算方法

**A.0.1** 在标准火灾（式（3.1.4-1））作用下，矩形截面普通混凝土板、墙、梁、柱构件的截面温度，可根据不同受火边界形成的一维、二维传热计算分区（图A.0.1），分别按本附录A.0.2条和A.0.3条确定。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 受火面  背火面  *z*  一维  *d*z | 受火面  背火面  二维  二维  受火面  受火面  一维  一维  *y*  *z*  *d*z  *d*y | 受火面  *y*  *z*  二维  二维  二维  二维  受火面  受火面  受火面  *d*z  *d*y |
| (a) 板、墙（单面受火） | (b) 梁（三面受火） | (c) 柱（四面受火） |

图A.0.1 截面传热计算分区图

**A.0.2** 一维传热计算分区的内部任意位置温度可由式（A.0.2-1）确定：

 (A.0.2-1)

 (A.0.2-2)

 (A.0.2-3)

 (A.0.2-4)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *T* | —— | 计算位置处温度（℃），当*T*<*T*0时，取*T*=*T*0； |
| *T*F | | —— | 受火的混凝土表面温度（℃）； |
| *η*'z | | —— | 修正后的沿*z*轴方向的一维热量传递系数，当*η*z≤0时，取*η*'z=0； |
| *η*z | | —— | 沿*z*轴方向的一维热量传递系数； |
| *t* | | —— | 受火时间（min）； |
| *d*z | | —— | 沿*z*轴方向计算位置至最近受火表面的距离（m）； |
| *T*0 | | —— | 环境初始温度（℃）； |

**A.0.3** 二维传热计算分区的内部任意位置温度可由式（A.0.3-1）确定：

 (A.0.3-1)

 (A.0.3-2)

 (A.0.3-3)

 (A.0.3-4)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *T* | —— | 计算位置处温度（℃），当*T*<*T*0时，取*T*=*T*0； |
| *η*yz | | —— | 二维综合热量传递系数； |
| *η*'y | | —— | 修正后的沿*y*轴方向的一维热量传递系数，当*η*y≤0时，取*η*'y=0； |
| *η*y | | —— | 沿*y*轴方向的一维热量传递系数； |
| *η*z | | —— | 沿*z*轴方向的一维热量传递系数，按式（A.0.2-3）计算； |
| *d*y | | —— | 沿*y*轴方向计算位置至最近受火表面的距离（m）； |

附录B 高级计算方法（推荐性）

本标准第3.1.9条规定的建筑结构，在进行整体火灾分析时应考虑室内火灾的实际升温曲线、高温下材料性能的逐渐劣化，以及构件热变形和相邻构件之间相互约束的影响。

当需要全面了解混凝土构件和结构的高温行为时，应对其进行火灾条件下的非线性全过程分析。构件和结构的高温承载力随升温时间的变化情况分析，可在采用大型通用程序计算混凝土构件和结构的时变内部温度场的基础上考虑材料高温性能的时变特性，开展构件和结构的高温力学分析，再根据本标准第3.1.2条判断构件或结构的耐火设计是否满足要求。

# 附录C 等效缩减截面计算方法（推荐性）

## C.1 500 ℃等温线法

**C.1.1** 本方法适用于标准升温条件，或与标准升温条件产生的构件温度场相似的其它升温条件。当不符合此条件时，应根据构件截面温度场以及混凝土和钢筋的高温强度进行综合分析。

本方法适用于构件截面宽度大于表C.1.1中最小截面宽度的情况。

表C.1.1 最小截面宽度

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 最小截面宽度取决于构件耐火极限 | | | | |
| 耐火极限（min） | 60 | 90 | 120 | 180 |
| 最小截面宽度（mm） | 90 | 120 | 160 | 200 |

本方法采用缩减的构件截面尺寸。损伤层厚度*a*z, 500取截面受压区500 ℃等温线上各点距离截面边缘的平均深度。其中，温度不大于500 ℃的混凝土的抗压强度和弹性模量采用常温取值，常温抗压强度采用标准值。

**C.1.2** 压弯截面的设计步骤

在上述缩减截面方法的基础上，高温下混凝土截面的承载力计算可采用下述步骤：

1 确定截面500 ℃等温线的位置；

2 去掉截面上温度大于500 ℃的部分，得到截面的有效宽度*b*eff和有效高度*h*eff（图C.1.1）。等温线的圆角部分可近似处理成直角。

3 确定受拉区和受压区钢筋的温度。单根钢筋的温度可根据钢筋中心处位置由本标准附录A给出的构件矩形截面温度场简化计算方法获得。对于落在缩减后的有效截面之外的部分钢筋（图C.1.1），在计算该截面的高温承载力时仍需予以考虑。

4 根据钢筋的温度以及式（4.1.3）确定钢筋强度，确定过程中钢筋的常温强度采用标准值。

5 针对缩减后的有效截面以及由步骤4获得的钢筋强度，采用常温计算方法确定截面的高温承载力。

6 比较并判断截面的高温承载力是否大于相应的作用效应组合。

|  |  |
| --- | --- |
| C-1a | C-1b |
| (a) 三面受火，其中一个受火面为受拉区 | (b) 三面受火，其中一个受火面为受压区 |
| C-1c | |
| (c) 四面受火 | |
| 图C.1.1 混凝土梁和柱缩减后的有效截面 | |

**C.1.3** 若截面钢筋分层布置且各钢筋直径相等，可采用下述方法确定受拉区和受压区钢筋中心至缩减后的有效截面受拉区边缘和受压区边缘的距离*a*s和：

 (C.1.3-1)

 (C.1.3-2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：， | —— | 分别为受拉区和受压区第*j*层钢筋中心至缩减后的有效截面受拉边缘和受压边缘的距离； |
| ， | —— | 分别为第*j*层钢筋的平均高温抗拉强度和抗压强度，采用式（C.1.3-3）、式（C.1.3-4）计算： |

 (C.1.3-3)

 (C.1.3-4)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ， | —— | 分别为温度*T*i时第*j*层第*i*根钢筋的抗拉强度和抗压强度； |
| *n*j | —— | 第*j*层钢筋的根数。 |

若截面钢筋非分层布置且各钢筋直径不等，可采用下述方法确定受拉区和受压区钢筋中心至缩减后的有效截面受拉区边缘和受压区边缘的距离*a*s和：

 (C.1.3-5)

 (C.1.3-6)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：， | —— | 分别为受拉区和受压区第*i*根钢筋的横截面积； |
| ， | —— | 分别为受拉区和受压区第*i*根钢筋至缩减后的有效截面受拉边缘和受压边缘的距离。 |

## C.2 300 ℃和800 ℃等温线法

高温下普通混凝土构件缩减后的有效截面也可采用下述步骤获得：

① 确定构件截面上的300 ℃和800 ℃等温线；

② 将300 ℃和800 ℃等温线近似化整为矩形；

③ 保留300 ℃等温线以内的全部面积，忽略800 ℃等温线以外的全部面积，300 ℃和800 ℃等温线之间的部分宽度减半。

图C.2.1分别示意了构件三面受火和四面受火时，根据上述步骤获得的有效截面。图中*b*300和*h*300分别为与300 ℃等温线对应的近似矩形的宽度和高度，*b*800和*h*800分别为与800 ℃等温线对应的近似矩形的宽度和高度，*b*T1=*b*300+0.5(*b*800-*b*300)，*b*T2=0.5*b*800。

有效截面内混凝土的抗压强度和弹性模量采用常温取值，有效截面之外的钢筋在构件高温承载力计算时仍需予以考虑，钢筋强度按所在位置处的温度由式（4.1.3）逐一确定。在此基础上，采用常温计算方法确定截面的高温承载力。

|  |  |
| --- | --- |
| C-2 | |
| (a) 三面受火 | (b) 四面受火 |
| 图C.2.1 有效截面的确定 | |

## C.3 条带法

**C.3.1** 本方法适用于标准升温条件下混凝土构件的承载力计算。

**C.3.2** 高温下混凝土构件截面采用缩减后的有效截面代替，忽略构件受火面损伤层厚度*a*z1或*a*z2以外的部分（即图C.3.1中的阴影区域）。

以厚度为2*w*的相对两面受火墙为基本构件，图C.3.1（a）和C.3.1（b）为基本参考图形。

对于图C.3.1（c）所示厚度为*w*的单面受火板，其受火面的损伤层厚度可近似取厚度为2*w*的相对两面受火厚墙（见图C.3.1（b））的损伤层厚度*a*z2。

对于图C.3.1（d）所示三面受火梁的腹板和翼缘部分，其受火面的损伤层厚度可分别采用图C.3.1（a）和C.3.1（b）对应的损伤层厚度*a*z1和*a*z2。

对于截面宽度小于截面高度的矩形构件，底部或端部受火面的损伤层厚度可假设与侧向受火面的损伤层厚度*a*z1一致，见图C.3.1（d）、C.3.1（e）、C.3.1（f）。

|  |  |
| --- | --- |
| C-3a | C-3b |
| (a) 两面受火墙 | (b) 两面受火厚墙 |
| C-3c | C-3d |
| (c) 单面受火板 | (d) 三面受火梁 |
| C-3f | C-3f |
| (e) 三面受火的墙端 | (f) 四面受火柱 |
| 图C.3.1 受火面的损伤层厚度和缩减后的有效截面 | |

**C.3.3** 相对两面受火墙的受火面损伤层厚度可用下列方法进行估算：

1 在厚度方向上将墙平分为两半，每一半划分成*n*个（*n*≥3）等宽条带（图C.3.2），*M*点为平分线上任意一点。

2 确定每个条带中线上的温度以及相应的混凝土抗压强度折减系数。对于普通混凝土和高强混凝土，可分别利用式（4.4.3）和式（4.5.2）计算条带中线上的混凝土抗压强度折减系数*η*cT(*Ti*)（*i*=1，2，…，*n*）。

C-4

图C.3.2 两面受火墙的条带划分

3 采用式（C.3.3-1）计算混凝土的平均抗压强度折减系数：

 (C.3.3-1)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*n* | —— | 在*w*范围内划分的条带数； |
| *w* | —— | 两面受火墙的1/2厚度，对于其它构件分别代表板的厚度、单面受火墙或柱的厚度、梁的1/2截面宽度、相对两面受火柱的1/2厚度、三面受火或四面受火柱的1/2截面宽度。 |

4 图C.3.1（a）所示两面受火墙的损伤层厚度*a*z1（适用于墙、柱及梁腹板）采用式（C.3.3-2）确定：

 (C.3.3-2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | —— | 图C.3.2中*M*点的混凝土抗压强度折减系数。 |

图C.3.1（b）所示两面受火厚墙的损伤层厚度*a*z2（适用于板及梁翼缘）采用式（C.3.3-3）确定：

 (C.3.3-3)

**C.3.4** 忽略损伤层厚度*a*z以外的部分，剩下的截面即为高温下构件缩减后的有效截面。假定有效截面内各点的混凝土抗压强度相等，且均等于平分线上*M*点（图C.3.2）的混凝土抗压强度，采用常温下的承载力计算方法即可确定该有效截面的高温承载力。计算过程中，有效截面之外的部分钢筋仍需予以考虑。钢筋的常温强度以及*M*点混凝土的常温抗压强度均采用标准值。

# 附录D 普通混凝土矩形柱和异形柱耐火极限预测公式系数取值

表D.0.1 矩形柱的系数*c*1~*c*16的取值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 系数 | 组合轴向压力作用点至截面重心的连线与*z*轴的夹角 | | | | |
| 0° | 22.5° | 45° | 67.5° | 90° |
| *c*1 | 1.518 | 1.385 | 1.327 | 1.641 | 1.696 |
| *c*2 | -2.690 | -2.445 | -2.328 | -2.933 | -3.225 |
| *c*3 | 1.355 | 1.231 | 1.167 | 1.490 | 1.693 |
| *c*4 | -0.877 | -0.901 | -1.233 | -1.141 | -1.026 |
| *c*5 | 7.011 | 7.286 | 10.119 | 9.484 | 9.634 |
| *c*6 | -0.666 | -0.754 | -1.046 | -0.977 | -0.326 |
| *c*7 | 3.138 | 3.322 | 4.242 | 3.852 | 3.251 |
| *c*8 | 2.058 | 1.824 | 1.146 | 0.060 | -0.076 |
| *c*9 | 2.093 | 2.038 | 1.614 | 1.479 | 3.523 |
| *c*10 | -0.277 | -0.267 | -0.209 | -0.191 | -0.443 |
| *c*11 | -1.512 | -1.688 | -2.956 | -1.532 | -0.932 |
| *c*12 | 7.375 | 8.481 | 12.424 | 7.882 | 4.070 |
| *c*13 | -13.285 | -14.726 | -18.366 | -14.523 | -6.727 |
| *c*14 | 23.334 | 25.565 | 31.138 | 29.643 | 11.166 |
| *c*15 | 5.547 | 5.859 | 4.656 | 5.880 | 3.920 |
| *c*16 | 1.141 | 1.144 | 0.896 | 1.241 | 1.210 |

表D.0.2 异形柱的系数*c*1~*c*16的取值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 系数 | 组合轴向压力作用点至截面重心的连线与*z*轴的夹角 | | | | | | | | | | |
| L形柱 | | | | | T形柱 | | | | | 十字形柱 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *c*1 | 8.055 | 9.038 | 7.655 | 2.153 | 2.759 | 9.111 | 8.801 | 11.922 | 2.689 | 8.512 | 6.513 |
| *c*2 | -14.816 | -17.220 | -15.939 | -4.419 | -5.586 | -19.387 | -17.195 | -23.128 | -5.440 | -19.156 | -12.149 |
| *c*3 | 8.143 | 9.615 | 9.592 | 2.566 | 3.163 | 11.302 | 9.822 | 12.883 | 3.076 | 11.757 | 6.423 |
| *c*4 | -1.854 | -1.700 | -1.472 | -0.950 | -1.438 | -0.690 | -2.364 | -1.517 | -1.067 | -1.973 | -1.116 |
| *c*5 | 21.850 | 22.092 | 22.127 | 10.067 | 15.000 | 13.167 | 30.312 | 18.912 | 14.380 | 25.645 | 12.220 |
| *c*6 | -0.178 | -0.160 | -0.0207 | -0.234 | -0.165 | -0.271 | -0.294 | -0.217 | -0.141 | -0.0227 | -0.398 |
| *c*7 | 2.307 | 1.813 | 0.215 | 2.556 | 1.863 | 2.460 | 2.978 | 2.366 | 1.460 | 0.217 | 3.897 |
| *c*8 | 1.005 | 0.593 | 0.182 | 0.578 | 0.248 | 0.986 | 2.339 | 2.937 | 1.794 | 0.0683 | 5.090 |
| *c*9 | 0.206 | 0.227 | 1.356 | 3.046 | 2.080 | 0.186 | 0.0662 | 0.0591 | 1.235 | 1.958 | 0.194 |
| *c*10 | -0.00981 | -0.00946 | -0.0655 | -0.189 | -0.140 | -0.00797 | -0.00330 | -0.00305 | -0.0632 | -0.104 | -0.0117 |
| *c*11 | -0.208 | -0.233 | 0.747 | 1.278 | 1.226 | -0.645 | 1.120 | -0.554 | -0.465 | 2.816 | -2.315 |
| *c*12 | 1.429 | 1.146 | -2.165 | -3.504 | -3.638 | 2.438 | -1.583 | 3.611 | 1.780 | -7.599 | 8.617 |
| *c*13 | -2.570 | -1.741 | 1.852 | 1.610 | 1.943 | -2.793 | -2.530 | -6.995 | -2.423 | 3.244 | -9.750 |
| *c*14 | 8.254 | 7.891 | 8.040 | 3.810 | 5.422 | 9.950 | 11.505 | 17.769 | 7.822 | 5.912 | 12.393 |
| *c*15 | 8.356 | 8.730 | 7.789 | 9.101 | 6.950 | 4.393 | 7.307 | 7.119 | 5.653 | 7.150 | 6.886 |
| *c*16 | 1.119 | 1.151 | 1.356 | 1.379 | 1.180 | 1.392 | 1.239 | 1.232 | 1.220 | 1.390 | 1.331 |

表D.0.3 矩形柱的系数*d*1~*d*13的取值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 系数 | 组合轴向压力作用点至截面重心的连线与*z*轴的夹角 | | | | |
| 0° | 22.5° | 45° | 67.5° | 90° |
| *d*1 | 0.024 | 0.031 | 0.055 | 0.030 | 0.020 |
| *d*2 | -1.311 | -1.771 | -3.195 | -1.984 | -1.793 |
| *d*3 | -0.077 | -0.128 | -0.273 | -0.259 | -0.075 |
| *d*4 | 0.194 | 0.314 | 0.660 | 0.730 | 0.341 |
| *d*5 | 1.490 | 1.496 | 2.504 | 2.383 | 1.682 |
| *d*6 | 0.389 | 0.378 | 0.363 | 0.389 | 0.298 |
| *d*7 | 1.506 | 1.492 | 1.438 | 1.662 | 1.395 |
| *d*8 | -0.739 | -0.788 | 1.102 | -1.104 | -0.814 |
| *d*9 | 4.075 | 4.676 | -7.664 | 7.378 | 4.568 |
| *d*10 | -9.705 | -11.539 | 20.455 | -19.691 | -11.215 |
| *d*11 | 12.123 | 14.005 | -24.673 | 24.521 | 14.517 |
| *d*12 | -0.282 | -0.172 | 0.033 | -0.047 | -0.156 |
| *d*13 | -0.023 | -0.014 | 0.003 | -0.004 | -0.012 |

**表**D.0.4 **异形柱的系数*d*1~*d*13的取值**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 系数 | 组合轴向压力作用点至截面重心的连线与*z*轴的夹角 | | | | | | | | | | |
| L形柱 | | | | | T形柱 | | | | | 十字形柱 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *d*1 | -0.0207 | -0.00965 | -0.0186 | -0.0162 | -0.0286 | -0.0124 | -0.0241 | -0.0260 | -0.0211 | -0.00899 | -0.0357 |
| *d*2 | 1.710 | 1.141 | 3.003 | 1.265 | 2.191 | 1.863 | 2.938 | 2.679 | 2.460 | 1.305 | 3.446 |
| *d*3 | -0.00208 | -0.00917 | -0.0000408 | 0.0421 | 0.000225 | 0.0274 | -0.000224 | 0.0000540 | 0.000348 | 0.000826 | -0.00332 |
| *d*4 | 0.199 | 0.0568 | 0.0000508 | -0.180 | -0.00262 | -0.169 | 0.00102 | -0.000693 | -0.00263 | -0.00704 | 0.146 |
| *d*5 | 6.210 | -1.510 | -0.0373 | 17.554 | -0.0489 | 2.213 | -0.0315 | -0.0655 | -0.0885 | -0.0707 | 19.164 |
| *d*6 | 0.304 | 0.0408 | 0.134 | -0.0110 | 0.0369 | 0.256 | 0.266 | 0.210 | 0.173 | 0.159 | 0.529 |
| *d*7 | 0.716 | 0.128 | 0.688 | -0.231 | 0.806 | 0.740 | 0.766 | 0.695 | 0.752 | 0.866 | 1.797 |
| *d*8 | 0.0238 | -1.973 | -3.785 | 0.562 | -1.595 | 2.180 | -1.150 | -1.534 | -2.518 | 0.753 | 0.00126 |
| *d*9 | -2.657 | 9.047 | 15.708 | -3.524 | 8.573 | -9.020 | 7.512 | 8.517 | 9.629 | -0.692 | -0.411 |
| *d*10 | 12.147 | -16.028 | -27.865 | 8.825 | -19.163 | 14.105 | -22.438 | -19.132 | -16.828 | -8.162 | 1.653 |
| *d*11 | -17.963 | 14.407 | 29.768 | -9.722 | 22.196 | -12.587 | 30.249 | 20.854 | 16.094 | 16.023 | -2.122 |
| *d*12 | -0.0730 | -3.505 | -4.667 | 0.225 | -4.941 | -0.281 | -5.040 | -4.144 | -3.875 | -7.799 | -0.0412 |
| *d*13 | -0.00590 | -0.302 | -0.400 | 0.0196 | -0.451 | -0.0267 | -0.429 | -0.351 | -0.336 | -0.600 | -0.00361 |

**附录E 火灾下普通混凝土板考虑薄膜效应时的承载力**

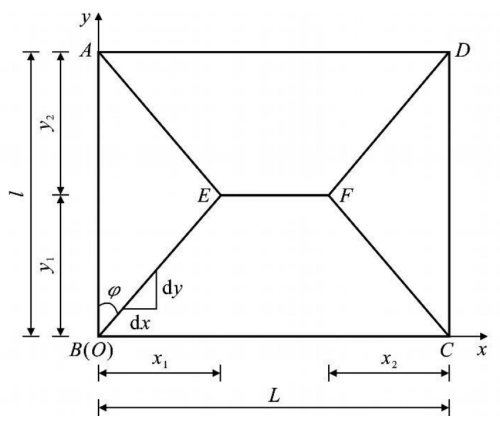
**E.0.1** 火灾下考虑薄膜效应计算普通混凝土板的承载力时，楼板应符合下列要求：

1 楼板四周应有梁支承；

2 当长宽比不应大于2，楼板按照双向板计算；当长宽比大于2，楼板按照单向板计算；

3 板底应布置双向钢筋网；

4 楼板的塑性铰线模式，如图E.0.1所示。



*l*

*x*1

*x*2

*L*

*X*

*Y*

正塑性铰线

负塑性铰线

1

2

A

D

B

C

E

简支边界

F

(a) 双向板 (b)单向板

图E.0.1 楼板的塑性铰线模式

**E.0.2** 火灾下普通混凝土双向板考虑薄膜效应时的承载力应按式（E.0.2-1）计算：



（E.0.2-1）

 （E.0.2-2）

 （E.0.2-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （E.0.2-4） |
|  |  | （E.0.2-5） |
|  |  | （E.0.2-6） |
|  |  | （E.0.2-7） |

 （E.0.2-8）

 （E.0.2-9）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*q*T | —— | 火灾下普通钢筋混凝土板考虑薄膜效应时能承受的均布荷载（kN/m2）； |
| *L、l* | —— | 矩形板的长边和短边尺寸（m）； |
| *v*0 | —— | 楼板形成塑性铰线模式时的挠度值（m）； |
| *v*max | —— | 高温下楼板允许达到的最大挠度（mm）。当无明确要求时，建议取短边跨度的1/20； |
| *mx*、*my* | —— | 常温下塑性铰线处*x*、*y*两个方向的单位宽度截面抵抗弯矩（N⋅mm）； |
| *mxT*、*myT* | —— | 高温下塑性铰线处*x*、*y*两个方向单位宽度的截面抵抗弯矩（N⋅mm）； |
| *Px*、*Py* | —— | 常温下塑性铰线处x、y两个方向单位宽度的钢筋拉力（N）； |
| *PxT*、*PyT* | —— | 高温下塑性铰线处x、y两个方向单位宽度的钢筋拉力（N）； |
| *A*s*x*、*A*s*y* | —— | 楼板在*x*、*y*两个方向单位宽度上的配筋面积（mm2）； |
| *f*y*x*、*f*y*y* | —— | 板底*x*、*y*两个方向钢筋在常温下的屈服强度标准值（N/mm2）； |
| *f*y*xT*、*f*y*yT* | —— | 板底*x*、*y*两个方向钢筋在高温下的屈服强度标准值（N/mm2），可按表F.0.4给出的温度和第4.1.3条的高温下屈服强度折减系数进行确定； |
| *E* | —— | 常温下钢筋的弹性模量（N/mm2）； |
| *T*c | —— | 混凝土的平均温升（℃），按表E. 0. 5取值； |
| *T*0 | —— | 初始温度，一般取室温；在无具体要求时可取20 oC计算； |
| *γ*s | —— | 钢筋合力点到混凝土受压合力点的距离系数，一般取0.85~0.90； |
| *h*0*x、h*0*y* | —— | 楼板在*x*、*y*两个方向上截面的有效高度（mm）； |
| *αc* | —— | 混凝土的平均热膨胀系数（1/℃），一般取值为（6~20）×10-6/℃。 |

**E.0.3** 火灾下普通混凝土单向板考虑薄膜效应时的承载力应按照式（E.0.3-1）计算，

 （E.0.3-1）

 （E.0.3-2）

 （E.0.3-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*x*1T、*x*2T | —— | 高温下混凝土单向板考虑热膨胀效应之后的板块长度（m）； |
| *x*1、*x*2 | —— | 常温下混凝土单向板被塑性铰线分隔的板块长度（m），具体如图E.0.1(b)所示； |

**E.0.4** 楼板下部受力钢筋在不同受火时间时的温度值，按表E.0.4取值。

表E.0.4 标准火灾下楼板下部受力钢筋的温度值（℃）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 受火时间*t*  （min） | 混凝土保护层厚度*d*（mm） | | | | | | | | | | |
| 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 30 | 417 | 349 | 293 | 248 | 209 | 178 | 150 | 128 | 109 | 93 | 79 |
| 60 | 618 | 546 | 474 | 420 | 371 | 331 | 295 | 265 | 238 | 215 | 195 |
| 90 | 734 | 657 | 589 | 533 | 482 | 439 | 400 | 367 | 337 | 312 | 288 |
| 120 | 815 | 741 | 674 | 618 | 566 | 522 | 481 | 447 | 415 | 388 | 363 |

**E.0.5** 标准火灾下楼板混凝土的平均温升，按表E.0.5取值。

表E.0.5 标准火灾下楼板混凝土的平均温升*T*c（℃）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 受火时间*t*  （min） | 板厚*h*（mm） | | | |
| 80 | 100 | 120 | 150 |
| 30 | 116 | 51 | 44 | 28 |
| 60 | 249 | 150 | 112 | 66 |
| 90 | 350 | 236 | 180 | 114 |
| 120 | 424 | 304 | 239 | 160 |

# 附录F 碳纤维布加固混凝土梁和板的防火涂料厚度

表F.0.1 碳纤维布抗弯加固混凝土梁的非膨胀型防火涂料厚度

| 耐火  极限 （h） | *β* | *M*/*M*u  *c*  （mm） | 0.5 | 0.55 | 0.6 | 0.625 | 0.65 | 0.675 | 0.7 | 0.725 | 0.75 | 0.775 | 0.8 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1.0 | 0.1 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 8 | 13 | 18 | 24 | 29 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 11 | 16 | 22 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 10 | 15 |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 9 |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 0.2 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 8 | 13 | 19 | 24 | 30 | 37 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 12 | 17 | 22 | 28 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 11 | 16 | 21 |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 10 | 15 |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 9 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 0.3 | 15 | 0 | 0 | 0 | 7 | 8 | 13 | 19 | 25 | 31 | 37 | 44 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 12 | 17 | 22 | 29 | 35 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 11 | 16 | 21 | 27 |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 10 | 15 | 20 |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 14 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 9 |
| 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 |
| 0.4 | 15 | 0 | 0 | 7 | 7 | 13 | 18 | 24 | 31 | 37 | 44 | — |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 11 | 17 | 23 | 29 | 35 | 41 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 16 | 21 | 27 | 33 |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 15 | 20 | 26 |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 15 | 20 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 9 | 14 |
| 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 10 |
| 1.5 | 0.1 | 15 | 0 | 7 | 18 | 24 | 31 | 38 | 46 | — | — | — | — |
| 20 | 0 | 0 | 11 | 17 | 23 | 30 | 36 | 43 | — | — | — |
| 25 | 0 | 0 | 7 | 11 | 16 | 22 | 28 | 35 | 42 | 49 | — |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 16 | 22 | 28 | 34 | 41 | 48 |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 16 | 22 | 27 | 34 | 40 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 11 | 16 | 22 | 27 | 33 |
| 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 11 | 16 | 22 | 27 |
| 0.2 | 15 | 0 | 12 | 24 | 31 | 38 | 46 | — | — | — | — | — |
| 20 | 0 | 7 | 17 | 23 | 30 | 37 | 44 | — | — | — | — |
| 25 | 0 | 0 | 10 | 16 | 22 | 29 | 35 | 42 | 50 | — | — |
| 30 | 0 | 0 | 7 | 10 | 16 | 22 | 28 | 35 | 42 | 49 | — |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 7 | 11 | 16 | 22 | 28 | 34 | 41 | 48 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 11 | 16 | 22 | 28 | 34 | 41 |
| 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 12 | 17 | 23 | 28 | 34 |
| 0.3 | 15 | 7 | 17 | 31 | 38 | 46 | — | — | — | — | — | — |
| 20 | 0 | 10 | 23 | 29 | 36 | 44 | — | — | — | — | — |
| 25 | 0 | 7 | 16 | 22 | 29 | 35 | 43 | 50 | — | — | — |
| 30 | 0 | 0 | 10 | 16 | 22 | 28 | 35 | 42 | 49 | — | — |
| 35 | 0 | 0 | 7 | 10 | 16 | 22 | 28 | 35 | 41 | 48 | — |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 7 | 11 | 16 | 22 | 28 | 35 | 41 | 48 |
| 45 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 12 | 17 | 23 | 29 | 35 | 41 |
| 0.4 | 15 | 10 | 22 | 37 | 45 | — | — | — | — | — | — | — |
| 20 | 7 | 15 | 28 | 36 | 43 | — | — | — | — | — | — |
| 25 | 0 | 9 | 21 | 28 | 35 | 42 | 50 | — | — | — | — |
| 30 | 0 | 7 | 15 | 21 | 28 | 34 | 41 | 49 | — | — | — |
| 35 | 0 | 0 | 9 | 15 | 21 | 28 | 34 | 41 | 48 | — | — |
| 40 | 0 | 0 | 7 | 10 | 16 | 22 | 28 | 34 | 41 | 48 | — |
| 45 | 0 | 0 | 0 | 7 | 11 | 17 | 22 | 29 | 35 | 42 | 48 |
| 2.0 | 0.1 | 15 | 17 | 31 | 47 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 20 | 10 | 23 | 37 | 45 | — | — | — | — | — | — | — |
| 25 | 7 | 16 | 29 | 37 | 44 | — | — | — | — | — | — |
| 30 | 0 | 10 | 23 | 29 | 36 | 44 | — | — | — | — | — |
| 35 | 0 | 7 | 17 | 23 | 30 | 37 | 44 | — | — | — | — |
| 40 | 0 | 7 | 12 | 17 | 24 | 30 | 37 | 44 | — | — | — |
| 45 | 0 | 0 | 7 | 13 | 18 | 24 | 31 | 38 | 45 | — | — |
| 0.2 | 15 | 23 | 38 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 20 | 16 | 30 | 45 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 25 | 9 | 22 | 37 | 44 | — | — | — | — | — | — | — |
| 30 | 7 | 16 | 29 | 37 | 44 | — | — | — | — | — | — |
| 35 | 0 | 10 | 23 | 30 | 37 | 44 | — | — | — | — | — |
| 40 | 0 | 7 | 17 | 24 | 30 | 37 | 45 | — | — | — | — |
| 45 | 0 | 7 | 12 | 18 | 25 | 31 | 38 | 45 | — | — | — |
| 0.3 | 15 | 29 | 45 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 20 | 21 | 36 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 25 | 15 | 28 | 44 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 30 | 9 | 22 | 36 | 44 | — | — | — | — | — | — | — |
| 35 | 7 | 16 | 29 | 36 | 44 | — | — | — | — | — | — |
| 40 | 0 | 11 | 23 | 30 | 37 | 45 | — | — | — | — | — |
| 45 | 0 | 7 | 18 | 24 | 31 | 38 | 45 | — | — | — | — |
| 0.4 | 15 | 35 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 20 | 27 | 43 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 25 | 20 | 34 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 30 | 14 | 27 | 43 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 35 | 8 | 21 | 35 | 43 | — | — | — | — | — | — | — |
| 40 | 7 | 16 | 29 | 36 | 44 | — | — | — | — | — | — |
| 45 | 0 | 11 | 23 | 30 | 37 | 45 | — | — | — | — | — |

注：表中*β*为常温下加固梁跨中受弯承载力相比于非加固梁的提高百分比；*c*为纵筋的混凝土保护层厚度；*M*为高温下按简支梁计算的梁跨中组合弯矩；*M*u为常温下加固梁的跨中受弯承载力；“—”表示在该条件下使用当前防火措施无法实现规定的耐火极限要求。

表F.0.2 碳纤维布加固混凝土单向板的膨胀型防火涂料厚度

*β* = 0.1

| 耐火  极限  （h） | *c*  （mm） | *M*/*M*u  *h*  （mm） | 0.35 | 0.4 | 0.45 | 0.5 | 0.55 | 0.6 | 0.625 | 0.65 | 0.675 | 0.7 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0.5 | 15 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.5 | 5.9 | 6.9 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.3 | 4.1 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.2 | 4.4 | 5.3 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 0.75 | 15 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.9 | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.1 | 6.1 | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.8 | 5.4 | 6.9 | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.5 | 4.8 | 5.7 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.2 | 4 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.4 | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.6 | 6.4 | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4 | 5.3 | 6.3 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.4 | 4.2 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 6 | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.3 | 5 | 6.4 | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4 | 4.9 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.7 | 6.6 | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.8 | 5 | 6 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.7 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 1.0 | 15 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.9 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.1 | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6 | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 6 | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.2 | 5.9 | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.3 | 5.7 | 6.7 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 4.3 | 5.2 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.1 | 3.9 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.3 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 7 | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.5 | 6.6 | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.5 | 6.3 | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.4 | 5.8 | 6.8 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 4.2 | 5.1 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.7 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.5 | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.3 | 5.1 | 7 | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.2 | 4.9 | 6.3 | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.2 | 4.5 | 5.4 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.8 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | 6.3 | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.9 | 5.7 | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.7 | 5 | 5.9 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.3 | 4.1 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 1.5 | 15 | 80 | 0 | 3 | 4.5 | — | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 3 | 5.8 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 3 | 3.5 | — | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.7 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | — | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.7 | — | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.2 | — | — | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.9 | 5.9 | — | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.7 | 6.5 | — | — |
| 20 | 80 | 0 | 3 | 3.2 | — | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.3 | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.8 | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.1 | — | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.8 | 5.7 | — | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.4 | 6.2 | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.3 | 4.9 | 6.4 | — |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 3 | 5.8 | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 3.1 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.9 | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.4 | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.8 | 5.8 | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.4 | 6.1 | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.2 | 4.8 | 6.2 | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.6 | 5 | 5.9 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 3 | 4.5 | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6 | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.7 | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6 | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.2 | 6.2 | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.6 | 6.3 | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.2 | 4.9 | 6.3 | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.6 | 4.9 | 5.8 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.8 | 4.6 |

*β* = 0.2

| 耐火  极限  （h） | *c*  （mm） | *M*/*M*u  *h*  （mm） | 0.35 | 0.4 | 0.45 | 0.5 | 0.55 | 0.6 | 0.625 | 0.65 | 0.675 | 0.7 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0.5 | 15 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.7 | 5.3 | 6.8 | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4 | 4.8 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.9 | 5.2 | 6.2 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.4 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.9 | 4.8 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.6 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 0.75 | 15 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.4 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.9 | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.5 | 6.3 | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.3 | 5.6 | 6.6 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.9 | 4.7 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.2 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.2 | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.5 | 5.4 | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.2 | 4.8 | 6.2 | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 4.2 | 5 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.3 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.8 | 6.9 | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.1 | 5.8 | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.5 | 4.8 | 5.7 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.7 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.6 | 5.6 | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.5 | 5.9 | 6.9 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.6 | 4.5 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 1.0 | 15 | 80 | 0 | 0 | 3 | 3.4 | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.9 | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.9 | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.8 | 6.9 | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.1 | 5 | 6.8 | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.5 | 5.1 | 6.6 | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.8 | 5.1 | 6 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.8 | 4.7 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.5 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.2 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.5 | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.3 | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.4 | 5.3 | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.6 | 5.3 | 6.7 | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.7 | 5 | 6 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.7 | 4.5 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.8 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.4 | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 6 | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 5.7 | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.9 | 5.3 | 6.2 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.8 | 4.6 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.6 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.1 | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.7 | 6.5 | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.5 | 5.8 | 6.8 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.1 | 4.9 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.4 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 1.5 | 15 | 80 | 0 | 3 | 5.3 | — | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 3 | 6.7 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | — | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.6 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.7 | — | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.3 | — | — | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6 | — | — | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.7 | 6.8 | — | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.6 | 5.5 | — | — | — |
| 20 | 80 | 0 | 3 | 3.9 | — | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 3 | 5.1 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | — | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.4 | — | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6 | — | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.5 | 6.6 | — | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.3 | 5.2 | 7 | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 5.8 | — | — |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 3 | 6.6 | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 3 | 3.8 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.7 | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.8 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.2 | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.6 | 6.7 | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.3 | 5.1 | 7 | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.9 | 5.6 | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.4 | 5.8 | 6.8 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 3 | 5.3 | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.9 | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.5 | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.8 | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 7 | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.5 | 5.4 | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 5.7 | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.4 | 5.8 | 6.7 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.3 | 4.5 | 5.4 |

*β* = 0.3

| 耐火  极限  （h） | *c*  （mm） | *M*/*M*u  *h*  （mm） | 0.35 | 0.4 | 0.45 | 0.5 | 0.55 | 0.6 | 0.625 | 0.65 | 0.675 | 0.7 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0.5 | 15 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.5 | 6.3 | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.5 | 4.8 | 5.7 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.4 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.1 | 4.7 | 6.1 | 0 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.4 | 4.2 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.5 | 4.8 | 5.7 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.6 | 4.4 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 0.75 | 15 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.2 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.7 | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.5 | 5.4 | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.4 | 5.1 | 6.5 | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.4 | 4.7 | 5.6 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.2 | 4 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | 6.3 | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.9 | 5.6 | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.7 | 5 | 5.9 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.3 | 4.1 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.7 | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.9 | 6.7 | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.3 | 5.7 | 6.6 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.7 | 4.5 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.5 | 6.5 | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.7 | 5.4 | 6.9 | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.2 | 4.4 | 5.3 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.4 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 1.0 | 15 | 80 | 0 | 0 | 3 | 4.2 | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.7 | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.5 | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.7 | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.9 | 5.9 | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | 6 | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.6 | 6 | 7 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.4 | 4.6 | 5.5 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.5 | 4.3 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.2 | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.2 | 6.2 | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.4 | 6.2 | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.5 | 5.9 | 6.9 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.2 | 4.5 | 5.4 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.3 | 4.1 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.7 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.8 | 6.9 | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.8 | 6.6 | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.1 | 4.8 | 6.2 | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.3 | 4.6 | 5.4 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.2 | 4 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.4 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6 | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.7 | 5.6 | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.6 | 5.3 | 6.8 | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.6 | 4.9 | 5.8 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.4 | 4.2 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 1.5 | 15 | 80 | 3 | 3 | 6.2 | — | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 3 | 3.5 | — | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 3 | 5.1 | — | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 3 | 3.2 | — | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.6 | — | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.1 | — | — | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 7 | — | — | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.6 | — | — | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.4 | 6.4 | — | — | — |
| 20 | 80 | 0 | 3 | 4.7 | — | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 3 | 6 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 3 | 3.7 | — | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.9 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.2 | — | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.9 | — | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.4 | — | — | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.1 | 6.1 | — | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.9 | 6.7 | — | — |
| 25 | 80 | 0 | 3 | 3.4 | — | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 3 | 4.6 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.7 | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.6 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | — | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.5 | — | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.1 | 6.1 | — | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.7 | 6.5 | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.6 | 5.3 | 6.7 | — |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 3 | 6.2 | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 3 | 3.5 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.3 | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.4 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.8 | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | 6.3 | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.8 | 6.6 | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.6 | 5.2 | 6.7 | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.1 | 5.4 | 6.3 |

*β* = 0.4

| 耐火  极限  （h） | *c*  （mm） | *M*/*M*u  *h*  （mm） | 0.35 | 0.4 | 0.45 | 0.5 | 0.55 | 0.6 | 0.625 | 0.65 | 0.675 | 0.7 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0.5 | 15 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.5 | 5.4 | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.4 | 5.7 | 6.7 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.5 | 4.3 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.9 | 5.6 | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 4.3 | 5.1 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.3 | 5.7 | 6.6 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.8 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.2 | 4.4 | 5.3 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 0.75 | 15 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.1 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.7 | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | 6.3 | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | 6 | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.2 | 5.6 | 6.6 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.1 | 4.9 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.5 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.7 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.2 | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.8 | 6.6 | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.5 | 5.9 | 6.9 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 4.2 | 5 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.5 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.7 | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.9 | 5.8 | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.5 | 5.2 | 6.7 | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.3 | 4.6 | 5.4 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.7 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.4 | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.6 | 6.4 | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4 | 5.3 | 6.3 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.4 | 4.2 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 1.0 | 15 | 80 | 0 | 0 | 3 | 5.1 | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.7 | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.6 | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.8 | 6.9 | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.3 | 5.2 | 7 | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.8 | 5.5 | 7 | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.2 | 5.6 | 6.5 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3.1 | 4.4 | 5.2 |
| 20 | 80 | 0 | 0 | 3 | 3.7 | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.1 | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.1 | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.4 | 5.3 | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.7 | 5.4 | 6.9 | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4 | 5.4 | 6.3 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.1 | 5 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.8 |
| 25 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.7 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.8 | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.8 | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.8 | 5.7 | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 5.7 | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.1 | 5.5 | 6.4 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.1 | 4.9 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.7 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 30 | 80 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.3 | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 7 | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.5 | 6.6 | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.5 | 6.3 | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4.4 | 5.8 | 6.8 |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 4.3 | 5.1 |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3.7 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 1.5 | 15 | 80 | 3 | 3.4 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 3 | 4.3 | — | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 3 | 6.1 | — | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 3 | 4 | — | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.6 | — | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.9 | — | — | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.6 | — | — | — | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.5 | — | — | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.3 | — | — | — | — |
| 20 | 80 | 0 | 3 | 5.6 | — | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 3 | 3 | 7 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 3 | 4.6 | — | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.9 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | — | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.5 | — | — | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.4 | — | — | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | — | — | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.8 | 5.8 | — | — | — |
| 25 | 80 | 0 | 3 | 4.3 | — | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 3 | 5.6 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 3 | 3.3 | — | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.5 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.7 | — | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.4 | — | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.9 | 7 | — | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.7 | 5.6 | — | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.4 | 6.2 | — | — |
| 30 | 80 | 0 | 3 | 3.2 | — | — | — | — | — | — | — |
| 90 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | — | — | — | — | — | — |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.3 | — | — | — | — | — |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.3 | — | — | — | — | — |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.8 | — | — | — | — |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5.1 | — | — | — | — |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.8 | 5.7 | — | — | — |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4.4 | 6.2 | — | — |
| 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3.3 | 4.9 | 6.4 | — |

注：表中*β*为常温下加固板跨中受弯承载力相比于非加固板的提高百分比；*c*为纵筋的混凝土保护层厚度；*h*为板的厚度；*M*为高温下按简支板计算的板跨中组合弯矩；*M*u为常温下加固板的跨中受弯承载力；“—”表示在该条件下使用当前防火措施无法实现规定的耐火极限要求。

# 附录G 火灾后钢筋和混凝土的力学性能

**G.0.1** 普通混凝土和高强混凝土高温自然和浇水冷却后的抗压强度折减系数可按表G.0.1-1和G.0.1-2确定。

表G.0.1-1 混凝土高温自然冷却后的抗压强度折减系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 构件表面最高温度(℃) | 抗压强度折减系数 | |
| 普通混凝土 | 高强混凝土 |
| 20 | 1.00 | 1.00 |
| 100 | 1.00 | 0.90 |
| 200 | 0.90 | 0.80 |
| 300 | 0.75 | 0.65 |
| 400 | 0.60 | 0.55 |
| 500 | 0.50 | 0.45 |
| 600 | 0.35 | 0.30 |
| 700 | 0.20 | 0.20 |
| 800 | 0.10 | 0.10 |

表G.0.1-2 混凝土高温浇水冷却后的抗压强度折减系数

|  |  |
| --- | --- |
| 构件表面最高温度(℃) | 普通混凝土抗压强度折减系数 |
| 20 | 1.00 |
| 100 | 0.90 |
| 200 | 0.80 |
| 300 | 0.65 |
| 400 | 0.55 |
| 500 | 0.45 |
| 600 | 0.35 |
| 700 | 0.20 |
| 800 | 0.10 |

注：当温度在两者之间时，采用线性插入法进行内插。

**G.0.2** HPB 235钢筋、HRB 335钢筋和HRB 400钢筋高温冷却后的屈服强度折减系数可按表G.0.2确定。

表G.0.2 钢筋高温冷却后的屈服强度折减系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 构件表面最高温度(℃) | 屈服强度折减系数 | |
| HPB 235、HRB 335 | HRB 400 |
| 20 | 1.00 | 1.00 |
| 100 | 1.00 | 1.00 |
| 200 | 0.95 | 1.00 |
| 300 | 0.93 | 0.96 |
| 400 | 0.92 | 0.93 |
| 500 | 0.9 | 0.9 |
| 600 | 0.88 | 0.87 |
| 700 | 0.87 | 0.83 |
| 800 | 0.85 | 0.8 |

注：当温度在两者之间时，采用线性插入法进行内插。

**G.0.3** 高温自然冷却后混凝土弹性模量、钢筋与混凝土粘结强度折减系数可分别按表G.0.3-1和表G.0.3-2确定。

表G.0.3-1 高温自然冷却后混凝土弹性模量折减系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 构件表面最高温度(℃) | 弹性模量折减系数 | |
| 普通混凝土 | 高强混凝土 |
| 20 | 1.00 | 1.00 |
| 300 | 0.75 | 0.79 |
| 400 | 0.46 | 0.61 |
| 500 | 0.39 | 0.37 |
| 600 | 0.11 | 0.18 |
| 700 | 0.05 | 0.03 |
| 800 | 0.03 | 0.01 |

表G.0.3-2 高温自然冷却后混凝土与钢筋粘结强度折减系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 构件表面最高温度(℃) | 粘结强度折减系数 | | |
| HPB 235 | HRB 335 | HRB 400、HRB 500 |
| 20 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 300 | 0.90 | 0.90 | 0.91 |
| 400 | 0.70 | 0.90 | 0.72 |
| 500 | 0.40 | 0.80 | 0.51 |
| 600 | 0.20 | 0.60 | 0.31 |
| 700 | 0.10 | 0.50 | 0.18 |
| 800 | 0.00 | 0.40 | 0.14 |

注：当温度在两者之间时，采用线性插入法进行内插。

**G.0.4** 火灾后预应力钢绞线剩余应力可采用钢绞线偏轴应变放松法测量。对火灾后预应力钢绞线，剔除钢绞线周边混凝土，暴露出1根钢绞线，将应变片沿外表面钢丝方向粘贴。切断粘贴应变片的钢绞线，钢绞线释放应力，测量其偏轴应变绝对值，乘以1.1，转化为轴向应变绝对值*ε*。火灾后预应力钢丝、钢绞线弹性模量*E*p与常温相同，则可按下式计算：

 (G.0.4)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | —— | 火灾后预应力钢绞线剩余应力； |
|  | —— | 钢绞线偏轴应变绝对值； |
|  | —— | 轴向应变绝对值； |
|  | —— | 常温下预应力钢丝、钢绞线弹性模量，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定取值。 |

**G.0.5** 1570级、1720级、1860级、1920级预应力钢丝、钢绞线高温后的强度折减系数可按表G.0.5确定。

表G.0.5 高温后预应力钢丝、钢绞线强度折减系数

|  |  |
| --- | --- |
| 构件表面最高温度(℃) | 强度折减系数 |
| 20 | 1.00 |
| 100 | 0.98 |
| 200 | 0.98 |
| 300 | 0.98 |
| 400 | 0.89 |
| 500 | 0.72 |
| 600 | 0.55 |
| 700 | 0.38 |

本标准用词用语说明

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、用语说明如下：

（1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

（2）表示严格，正常情况下均应这样做的用词：

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，条件允许时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

（4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中必须按指定的标准、规范或其它有关规定执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……规定”。

引用标准名录

|  |  |
| --- | --- |
| 1 | 《建筑设计防火规范》 GB 50016 |
| 2 | 《混凝土结构防火涂料》GB 28375 |
| 3 | 《钢结构防火保护板》XF/T 3012 |
| 4 | 《混凝土结构设计规范》 GB 50010 |
| 5 | 《组合结构设计规范》 JGJ 138 |
| 6 | 《民用建筑热工设计规范》 GB 50176 |
| 7 | 《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 |
| 8 | 《建筑工程施工现场消防安全技术规范》GB 50720 |
| 9 | 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 |
|  |  |