

建筑结构防火设计计算 和构造处理

李引擎 马道贞 徐 坚 编著

中国建筑工业出版社

建筑结构防火设计计算 和构造处理

李引擎 马道贞 徐 坚 编著

中国建筑工业出版社

本书系统地介绍了建筑结构的防火设计计算和构造处理，内容包括高温下材料的耐火性能，以及钢结构、混凝土结构、木结构的防火设计计算和构造处理。特别是为工程设计人员提供了结构防火计算的依据和公式。书中还附有大量图表，可供设计人员直接使用。

本书适合于建筑结构设计人员、研究人员和高等学校土建专业师生学习、研究和设计中阅读。

* * *

责任编辑 高云虹

技术设计 彭路路

责任校对 赵 枫

建筑结构防火设计计算和构造处理

李引擎 马道贞 徐 坚 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：7 $\frac{1}{2}$ 字数：168千字

1991年10月第一版 1991年10月第一次印刷

印数：1—8,470册 定价：4.15元

ISBN7-112-01353-4/TU·989

（6395）

目 录

第一章 概论	1
第 1 节 适用条件	1
第 2 节 结构构件破坏的标志	2
第 3 节 专用符号	5
第 4 节 计算中应考虑的作用力	6
第二章 影响建筑火灾严重性的因素	8
第 1 节 可燃材料对火灾严重性的影响	9
第 2 节 建筑布局对火灾严重性的影响	14
第 3 节 影响火灾严重性诸因素之间的关系	16
第三章 防火分级和防火分区	22
第 1 节 建筑物的耐火分级	22
第 2 节 建筑材料的耐火分级	29
第 3 节 结构构件的防火分级	31
第 4 节 合理选用建筑物的耐火等级	33
第 5 节 防火分区	34
第 6 节 可燃物量的限制	39
第四章 材料特性随温度的变化	41
第 1 节 混凝土的特性	42
第 2 节 普通钢筋的特性	47
第 3 节 用于预应力的硬钢特性	52
第 4 节 部分建材耐火性简介	54
第五章 混凝土内温度分布的影响	57
第 1 节 保护层厚度对构件耐火度的影响	57
第 2 节 加热速度对混凝土强度的影响	59

第3节	温度的理论计算法	60
第六章	钢筋混凝土结构及构件的验算原则	63
第1节	结构防火设计的一般原则	63
第2节	整体膨胀效应产生的内力	66
第3节	正应力作用下的截面验算	68
第4节	混凝土的爆裂	71
第5节	钢筋混凝土受弯构件正截面耐火强度的验算	75
第七章	总的构造规则和具体的构造作法	91
第1节	膨胀结点	92
第2节	几何形状的布置	92
第3节	垂直承重构件的平面布置	95
第4节	外墙板与楼板连接处的防火构造作法	95
第5节	钢筋的构造处理	98
第6节	施工公差	104
第7节	附加保护层	105
第8节	吊顶及隔墙的耐火构造	106
第9节	门、窗、隔断的耐火构造	108
第八章	各类结构构件的制作规则	111
第1节	柱子	111
第2节	拉杆和承重墙	114
第3节	连续支座上的肋间混凝土楼板	117
第4节	钢筋混凝土或预应力混凝土的主、次梁	123
第5节	梁式幕墙	129
第6节	无梁楼板和混凝土空心楼板	130
第7节	附加的保护层	132
第九章	钢结构构件的耐火强度	134
第1节	确定验算的程序	134
第2节	临界温度	135
第3节	厚实性系数	145

第4节 型钢的加热	147
第十章 木结构在热应力作用下的计算和构造方法	160
第1节 木材及制品的高温物理性能	160
第2节 燃烧速度和角度的影响	165
第3节 估价木材物理及力学性能时应考虑的问题	168
第4节 计算原理及实例	171
第5节 木梁、柱的耐火强度计算	176
第6节 结构构造处理方法	181
附录一 温度计算程序编制方法	193
附录二 建筑构件的燃烧性能和耐火极限	200
附录三 计算例题	208
附录四 给出厚实性系数的方式	210
附录五 厚实性系数表	215
附录六 临界温度计算图表	226
主要参考文献	233

第一章 概 论

火创造了人类的文明，推动了社会的进化，但火灾也给人们的生命财产、自然资源带来了极大的危害。在世界范围内，人们正运用现代科学技术对危害越来越大的火灾进行综合而系统的防治。

在我国，随着建筑业的不断现代化，建筑物的防火性能日益为房屋的设计、建造和使用所关注。一栋使用功能和外观俱佳的建筑物很可能会因为对防火要求考虑的不周，而在原本不大的火灾中全部化为灰烬。毫无疑问，这是人们极不希望得到的后果。高耐火度的结构构件和构造设计是确保整体建筑在猛烈的火灾荷载作用下不垮的关键所在。本书将就钢筋混凝土结构，钢结构和木结构防火设计的一般方法和一些部位的构造作法等问题进行较为详细的论述。

第 1 节 适 用 条 件

本书所介绍的设计和构造方法主要是针对一般住宅建筑、公共建筑和高层建筑中的结构构件。这些构件的类型包括由混凝土、轻混凝土或特殊混凝土制做的构件，钢结构构件和木制结构构件等。当然，这些构件材料在温度作用下的热物理和力学的变化特性首先应是确定的和已为人们所知的。我国《混凝土结构设计规范》（GBJ10—89）对温度的规定比较灵活，即一般情况下不得超过 100°C ，特殊情况下不

能超过60℃。为了解决长年受较高温度影响的特殊结构的计算问题，冶金部冶金建筑科学研究院等单位编制了《冶金工业厂房钢筋混凝土结构抗热设计规程》，该规程规定：钢筋混凝土结构在冶金工厂热车间中使用的上限温度为200℃。该规程给出了60~200℃温度范围的设计计算方法、设计措施、材料指标和有关规定。

上述两本规范与规程解决的实际上是环境温度和200℃以内高温长期作用时混凝土结构的计算问题。而火灾中混凝土结构所受到的作用是一种偶然的短暂的强高温影响。可以说，本文所论述的计算和构造处理是对原有常温（或低高温）计算的一种补充和完善，即这些结构（包括结构构件）应该事先按照有关的设计规范，根据其他的应力，确定好基本的尺寸并作好验算。在此基础上，再按本书介绍的方法进行补充设计和验算。

结构的主要构件一般是指梁、柱、楼板及支撑系统等承重构件。这些构件可以是受到保护或未受到保护的。对于变截面的构件，如果没有较准确和较实用的理论与试验，其受火稳定性可根据以下原则计算：

——按可变截面构件的截面比 ψ 进行临界温度的计算。

——按整体性因素最差的构件截面进行受热计算。

为了便于说明问题和更具有系统性，在本书的某些章节中还较详细地论述了“火灾荷载”的计算以及建筑物和建筑材料的防火分级问题。

第2节 结构构件破坏的标志

火灾安全立法的基本精神是：确保受灾人员有充分的时

间从火灾建筑中及时疏散出来和允许消防救护人员帮助疏散并在他们继续灭火过程中不因结构主体构件的倒塌而造成人身的伤害。显然人们可以通过计算对截面已定的构件受火稳定性进行检验。其中，一方面要注意到结构中采用的有创造性的概念和设计；另一方面则要考虑到各种火势侵蚀的可能性，明确一根构件、一组构件的破坏对结构整体稳定性有什么影响。一般地说，在温度升高的情况下，当构件的力学强度下降到与其承受的荷载相等时，此构件的受火稳定性就不能被确保了。作为计算假设，可认为构件此时达到了指定的温度，即达到了临界温度或破坏温度。临界温度的确定可借助于以后章节中给出的计算图表或公式。这些图表或公式是根据大量的试验结果确定的。试验时采用的破坏极限标准是：

- 构件丧失了标准的力学强度；
- 构件自身的变形（挠度）已达到不能使其支撑的壁板等继续保证原有的断火等级和不能保持相邻结构的承载功能值；
- 构件在荷载作用下已达不到稳定标准。

为了统一和便于横向比较，构件抗火强度等级的试验将按火灾作用具体化了的加温程序来估价。温度随时间逐步升高，构件所承受的温度符合下面的表达式：

$$T - T_0 = 345 \log(8t + 1) \quad (1-1)$$

式中 t ：时间，以分钟计；

T ：所用时间为 t 时，构件所承受的温度值，用 $^{\circ}\text{C}$ 表示；

T_0 ：初始温度，用 $^{\circ}\text{C}$ 表示。计算时设定为 20°C 。

用此函数表示的曲线被取名为“标准温度——时间曲线。”所谓的标准温度——时间曲线是指按特定的加温方法，

在标准的试验室条件下，所表达的现场火灾发展情况的一条理想化了的理论试验曲线。目前该曲线已由国际标准化组织 ISO 所采纳并成为国际通用的标准曲线。详见图 1-1 所示。

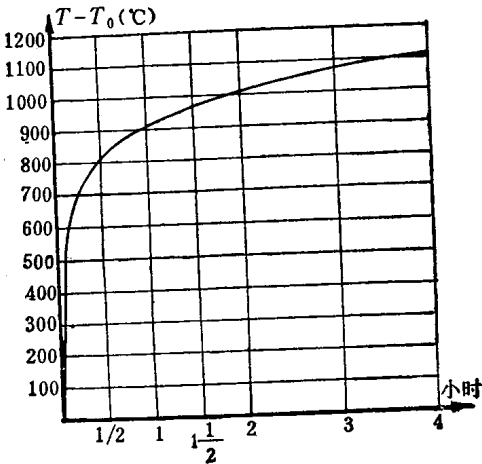


图 1-1
(ISO标准加温曲线)

为了便于设计使用，表1-1中给出了该曲线在某些 确定时间下的温度值：

表 1-1

时 间 (单位：分钟)	升 温 $T-T_0$ (单位：℃)	时 间 (单位：分钟)	升 温 $T-T_0$ (单位：℃)
5	556	90	986
10	659	120	1029
15	718	180	1090
30	821	240	1133
60	925	360	1193

第 3 节 专 用 符 号

由于本文所涉及到的计算均基于混凝土结构和钢结构的计算之上,所以防火设计中所用的符号一般只是通过在原设计符号上附加专用字母脚标的方式构成。基本作法是:

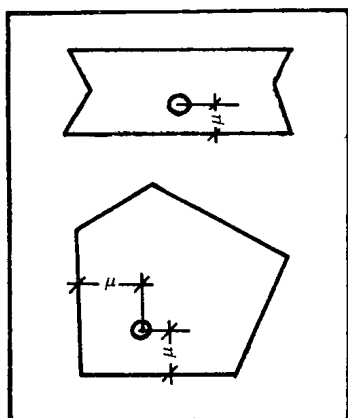


图 1-2

计符号上附加专用字母脚标的方式构成。基本作法是:

1. 用指数 T 表示一种材料在 $T^{\circ}\text{C}$ 时的任何一个物理力学特征值。混凝土结构中最基本、最常用符号的举例见表 1-2。

2. 字母 μ 在一般的情况下被用来表示由钢筋轴线到受火灾作用边之间的距离

在特殊情况下, μ 表示由钢筋轴线到离它最近一个边之间的距离。见图 1-2。

表 1-2

普通环境温度时	T 温度时	符 号 说 明
f_{cu}	f_{cuT}	混凝土抗压强度
f_{tk}	f_{tkT}	混凝土抗拉强度
f_{yk}	f_{ykT}	钢筋的标准强度
f_s	f_{sT}	钢筋的抗拉强度
E_c	E_{cT}	混凝土的纵向变形模量
E_s	E_{sT}	钢材的弹性模量
$\epsilon (= \frac{\Delta l}{l})$	ϵ_T	极限伸长率

但是有效距离 μ 不能小于现行钢筋混凝土结构设计规范所要求的最小钢筋保护层的厚度值。

3. 用两个字母, 一个数值去确定防火的要求, 下述字母明确了要求的性质: CF 表示断火; SF 表示耐火; PF 表示防火。数值则用来明确构件需要满足的时间, 以小时表示。例如 $CF2$ 表示构件断火度为 2 小时; 又如 $SF1/2$ 表示构件耐火半小时等。

第 4 节 计算中应考虑的作用力

在结构设计计算中, 我们可以用下列组合式象征性地定义所应考虑的总体荷载:

$$(G) + (Q) + 0.8 \left[\begin{array}{c} (W) \\ \text{和或} \\ (S) \end{array} \right] + (T_1) + (Y) \quad (1-2)$$

式中 (G) : 全部的永久作用力;

(Q) : 全部的使用荷载 (未考虑动力效应所导致的荷载增大值);

(W) : 风的作用力;

(S) : 雪的作用力, 当其与风的作用 W 被同时考虑时, 其值应做折减。

(T_1) : 结构整体的膨胀效应;

(Y) : 考虑不稳定的自然现象所导致的效应 (例如计算柱子时引入假定的弯曲所导致的效应)。

一般情况下, 不考虑由于热梯度所引起的超静定效应。

在对构件受火稳定进行估算时, 宜根据偶然事故极限状态去考虑各种作用力的组合。即按同时作用的众多外力的最不利组合所得出的结果去计算构件中产生的应力。常规的几

种组合方式是：

$$A = 1.1G + 0.8Q_a$$

$$A = 1.1G + Q_a$$

$$A = 1.1G + 0.7Q_a + 1W + 0.5S$$

$$A = 1.1G + 0.8Q_a + 1W + 0.5S$$

$$A = 1.1G + 0.7Q_a + 1S$$

$$A = 1.1G + 0.8Q_a + 1S$$

式中 A ：总的外力作用；

G ：永久荷载；

Q ：正常的使用荷载；

Q ：临时使用荷载；

W ：标准风载；

S ：标准雪载。

当结构或构件约束了热膨胀时，此膨胀对结构的安全构成一种不安全的因素。因此应在设计中根据具体情况分别考虑膨胀效应。

在使用荷载中，又可细分为：

正常的使用荷载(Q_a)。它是由建筑的正常使用和相应的人员，家具及该用途要求的材料所产生的所谓活荷载。

临时使用荷载(Q_l)。它是在火灾和产生恐慌情况下，由于人员的聚集及疏散所产生的荷载。这些荷载施加在水平承重构件上，如过道、走廊、露台、阳台等部位（一般情况下，各部份都可能承受汇集来的人员）。在任何情况下，此部分荷载的标准值都不应低于 5000N/m^2 。

在实际设计验算中，尚应考虑永久荷载之外的，但又有可能经常存在或差不多是固定的作用力值。当然也有可能要考虑火灾使某些荷载消失的效应。

第二章 影响建筑火灾严重性的因素

建筑火灾严重性是指在建筑中发生火灾的大小及危害程度。火灾严重性取决于火灾达到的最大温度和最大温度燃烧持续的时间，因此它表明了火灾对建筑结构或建筑物造成损坏和对建筑中人员、财产造成危害的趋势。火灾严重程度高，则造成的损失及危害就大。了解影响建筑火灾严重性的因素和有关控制建筑火灾严重性的机理，对建立适当的建筑设计和构造方法，采取必要的防火措施，达到减少和限制火灾损失和危害是十分重要的。

火灾严重性与建筑的可燃物或可燃材料的数量和材料的燃烧性能以及建筑的类型和构造等有关。影响火灾严重性的因素大致可分为以下 6 种：

- (1) 可燃材料的燃烧性能；
- (2) 可燃材料的数量（火灾荷载）；
- (3) 可燃材料的分布；
- (4) 房间开口的面积和形状；
- (5) 着火房间的大小和形状；
- (6) 着火房间的热性能。

前 3 个因素主要与建筑中的可燃材料有关，而后 3 个因素主要涉及到建筑的布局。影响火灾严重性的各种因素是相互有关、相互影响的，其关系可以用图 2-1 来说明。减小火灾严重性的条件就是要限制有助于火灾发生、发展和蔓延成大火的因素，根据各种影响因素合理地选用材料、布局和结

构设计及构造措施，达到限制严重程度高的火灾发生的目的。

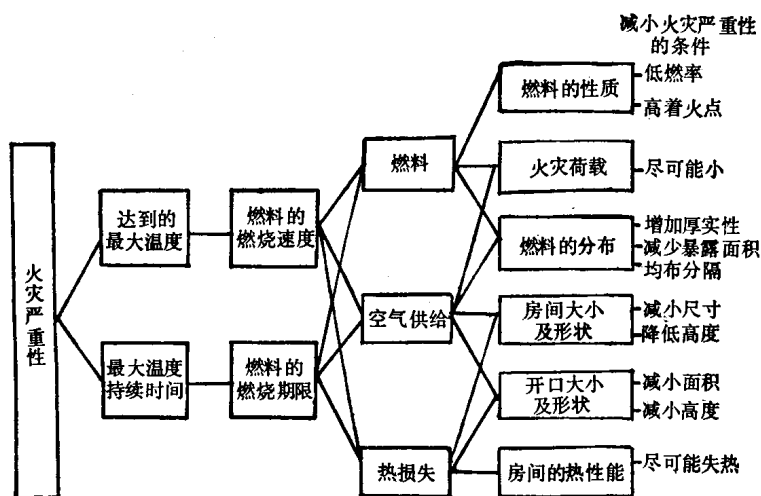


图 2-1 影响火灾严重性的因素

第 1 节 可燃材料对火灾严重性的影响

一、可燃材料的性质

建筑用途不同，如住宅建筑、工业建筑、公共建筑、仓库等，其中使用或存放的可燃材料的性质和组成也存在很大不同。材质有差异，其燃烧释放的热量和燃烧速率等燃烧性能也不同。材料的燃烧率在多数情况下与上述(1)~(6)种因素都有关，而材料燃烧释放的总热量一般只取决于材料本身的性质，它与材料的燃烧热值有关。燃烧热值是单位质量的材料完全燃烧所放出的总热值。热值的确定应按规定的办法测定，如ISO1716，GB213-79等标准。测热值时，应考

虑材料的湿度，含湿材料的热值可以按下式计算：

$$H_F = H_U (1 - 0.001m) - 0.025m \quad (2-1)$$

式中 m —— 重量含水率；

H_U —— 干燥材料的热值。

不同材料，燃烧热值的变化范围很大。建筑中可燃物是由多种不同材料构成的，具有不同的热值量。一般在实际应用中，根据燃烧热值将其它材料换算成相当的木材重量，称之为“当量木材”。换算关系是由材料的燃烧热值除以木材的燃烧热值（18.4kJ/g）即得到相当的木材重量。表2-1列出了某些材料的燃烧热值。

材 料 燃 烧 热 值 表

表 2-1

材料名称	热 值 (单位: MJ/kg)	材料名称	热 值 (单位: MJ/kg)
无 烟 煤	31—36	赛璐珞塑料	17—20
沥 青	40—42	环氧树脂	33—34
煤 焦 油	41—43	三聚氰胺树脂	16—19
纤 维 素	15—18	酚醛树脂	27—30
炭	34—35	聚 酯	30—31
衣 物	17—21	纤维增强聚酯	20—22
煤、焦炭	28—34	聚乙烯塑料	43—44
软 木	26—31	聚苯乙烯塑料	39—40
棉 花	16—20	聚碳酸酯	28—30
谷 物	16—18	聚丙烯塑料	42—43
油 脂	40—42	聚四氟乙烯	5.0
厨房垃圾	8—21	聚 氨 酯	22—24
皮 革	18—20	聚氨酯泡沫	23—28
油 毡	19—21	聚氯乙烯	16—17
纸、纸板	13—21	脲醛树脂	14—15
石 蜡	46—47	脲醛泡沫	12—15
ABS塑料	34—40	泡沫橡胶	34—40
聚丙烯酸酯	27—29	异戊二烯橡胶	44—45

续表

材料名称	热 值 (单位: MJ/kg)	材料名称	热 值 (单位: MJ/kg)
硫化橡胶	31—33	苯	40.1
聚酯酸乙烯酯	20—21	苯 甲 醇	32.9
聚 酰 胺	29—30	乙 醇	26.9
聚 甲 醛	16—18	异 丙 醇	31.4
聚异丁烯	43—46	乙 炔	48.2
丝 绸	17—21	氰	20.9
稻草(秸秆)	15—16	一氧化碳	10.1
木 材	17—20	氢 气	119.7
羊 毛	21—26	甲 醛	18.6
硬纤维板	17—18	甲 烷	50.0
石 油	40—42	乙 烷	48
汽 油	43—44	丙 烷	45.8
亚麻子油	38—40	丁 烷	45.7
甲 醇	19—20	苯 甲 酸	26.4
煤 油	40—42	镁	27.2
酒 精	26—28	磷	25.1

二、可燃材料的数量

建筑中的可燃材料的数量被称之为建筑的火灾荷载,它是影响建筑火灾严重性的重要因素。火灾荷载可用来推算建筑结构所需的耐火强度和扑灭火灾所需灭火剂的使用数量。

火灾荷载显然与建筑面积或容积的大小有关。一般地说,大的空间将容有比小空间更多的可燃物,但不同的火灾荷载并不一定遵循这种关系。因此,在设计中引入了火灾荷载密度的概念。火灾荷载密度 q 是指房间中所有可燃材料完全燃烧时所产生的总热量与房间的特征参考面积之比。房间的参考面积一般采用房间地面面积 A_f 或房间的总内表面积