

# 第一章 燃烧基本知识及防火措施

## 第一节 燃烧的基本原理

火灾是一种违反人们意志，在时间和空间上失去控制的燃烧现象。弄清燃烧的条件，对于预防火灾、控制火灾和扑救火灾有着十分重要的指导意义。

### 一、燃烧条件

燃烧是一种同时伴有放热和发光效应的剧烈的氧化反应。放热、发光、生成新物质是燃烧现象的三个特征。要发生燃烧必须同时具备下列三个条件。

#### 1. 可燃物

一般情况下，凡是能在空气、氧气或其他氧化剂中发生燃烧反应的物质都称为可燃物。

可燃物按其组成可分为无机可燃物和有机可燃物两大类。从数量上讲，绝大部分可燃物为有机物，少部分为无机物。

无机可燃物主要包括化学元素周期表中 I ~ III 主族的部分金属单质（如钠、钾、镁、钙、铝等）和 IV ~ VI 主族的部分非金属单质（如碳、磷、硫等）以及一氧化碳、氢气和非金属氢化物等。不论是金属还是非金属，完全燃烧时都变成相应的氧化物，而且这些氧化物均为不燃物。

有机可燃物种类繁多，其中大部分含有碳（C）、氢（H）、氧（O）元素，有的还含有少量氮（N）、磷（P）、硫（S）等，如木材、煤、棉花、纸、汽油、甲烷、乙醇、塑料等。

可燃物按其状态，可分为可燃固体、可燃液体及可燃气体三大类。不同状态的同一种物质燃烧性能是不同的。一般来讲，气体比较容易燃烧，其次是液体，最后是固体。同一种状态但组成不同的物质其燃烧性能也不同。

#### 2. 氧化剂

凡是能和可燃物发生反应并引起燃烧的物质，称为氧化剂。

氧化剂的种类很多。氧气是一种最常见的氧化剂，它存在于空气中（体积百分数约为 21%），故一般可燃物质在空气中均能燃烧。例如 1 kg 木柴完全燃烧需 4 ~ 5 m<sup>3</sup> 空气，1 kg 石油完全燃烧需 10 ~ 12 m<sup>3</sup> 空气。空气供应不足时燃烧就会不完全，隔绝空气能使燃烧停止。

其他常见的氧化剂有卤族元素：氟、氯、溴、碘。此外，还有一些化合物如硝酸盐、氯酸盐、重铬酸盐、高锰酸盐及过氧化物等，它们的分子中含氧较多，当受到光、热或摩擦、撞击等作用时，都能发生分解，放出氧气，能使可燃物氧化燃烧，因此它们也属于氧化剂。

#### 3. 点火源

点火源是指具有一定能量，能够引起可燃物质燃烧的能源，有时也称着火源。

点火源的种类很多，如：明火、电火花、冲击与摩擦火花、高温表面等。

点火源这一燃烧条件的实质是提供一个初始能量，在此能量激发下，使可燃物与氧化剂发生剧烈的氧化反应，引起燃烧。所以，这一燃烧的必要条件可表达为“初始能量”。

可燃物、氧化剂和点火源是构成燃烧的三个要素，缺一不可，这是指“质”的方面的条件，即必要条件。但这还不够，还要有“量”的方面的条件，即充分条件。在某些情况下，如可燃物的数量不够，氧化剂不足，或点火源的能量不够大，燃烧就不能发生。例如，在同样温度（20℃）下，用明火瞬间接触汽油和煤油时，汽油会立刻燃烧起来，煤油则不会。这是因为汽油的蒸气量已经达到了燃烧所需浓度（数量），而煤油蒸气量没有达到燃烧所需浓度。由于煤油的蒸发量不够，虽有足够的空气（氧气）和着火源接触，也不会发生燃烧。再如，试验证明，氧气在空气中的浓度降低到 14%~18%时，一般的可燃物质就不能燃烧；一根火柴可点燃一张纸而不能点燃一块木头；气焊火花温度可达 1 000℃以上，它可以将达到一定浓度的可燃气体与空气的混合气体引燃爆炸，而不能将木块、煤块引燃。

由此可见，要使可燃物发生燃烧，不仅要同时具备三个基本条件，而且每一条件都须具有一定的“量”，并彼此相互作用，否则就不能发生燃烧。

## 二、燃烧原理在消防工程中的应用

一切防火与灭火措施的基本原理，均是依据物质燃烧的条件，阻止燃烧三要素，并与其互相结合、互相作用。

### 1. 防火的基本措施

一切防火措施都是为了防止产生燃烧的条件。防止火灾的基本措施有：

(1) 控制可燃物。以难燃或不燃的材料代替易燃或可燃的材料；用防火涂料涂刷可燃材料，改变其燃烧性能；对于具有火灾、爆炸危险性的厂房，采取通风方法，以降低易燃气体、蒸气和粉尘在厂房空气中的浓度，使之不超过最高允许浓度；凡是性质上能相互作用的物品要分开存放，等等。

(2) 隔绝空气。易燃易爆物质的生产应在密闭设备中进行；对有异常危险的生产，可充装惰性气体保护；采取隔绝空气储存，如钠存于煤油中，磷存于水中，二硫化碳用水封闭存放，等等。

(3) 消除着火源。如采取隔离、控温、接地、避雷、安装防爆灯、遮挡阳光、设禁止烟火的标志，等等。

(4) 阻止火势蔓延。如在相邻两建筑物之间留出一定的防火间距；在建筑物内设防火墙、防火门窗、防火卷帘等；在管道上设防火阀，等等。

### 2. 灭火的基本方法

一切灭火措施都是为了破坏已经产生的燃烧条件，使燃烧熄灭。灭火的基本方法有：

(1) 隔离法。就是将火源处或其周围的可燃物质隔离或移开，使燃烧因隔离可燃物而停止。

(2) 窒息法。就是阻止空气流入燃烧区或用不燃物质冲淡空气，使燃烧物得不到足够的氧气而熄灭。

(3) 冷却法。就是将灭火剂直接喷射到燃烧物上，以降低燃烧物的温度于燃点之下，使燃烧停止；或者将灭火剂喷洒在火源附近的物体上，使其不受火焰辐射热的威胁，避免

形成新的火点。

冷却法是灭火的主要方法，常用水和二氧化碳冷却降温灭火，主要是将燃烧物的温度降到燃点以下。灭火剂在灭火过程中不参与燃烧过程中的化学反应，这种方法属于物理灭火方法。

(4) 抑制法。就是使灭火剂参与到燃烧反应过程中去，使燃烧过程中产生的游离基消失，而形成稳定分子或低活性的游离基，使燃烧反应终止。二氟一氯一溴甲烷 (1211)，三氟一溴甲烷 (1301) 等均属这类灭火剂。

### 三、燃烧的种类及术语

#### 1. 闪燃与闪点

在一定的温度条件下，液态可燃物质表面会产生蒸气，有些固态可燃物质也因蒸发、升华或分解产生可燃气体或蒸气。这些可燃气体或蒸气与空气混合而形成混合可燃气体，当遇明火时会发生一闪即灭的火苗或闪光，这种燃烧现象称为闪燃。

能引起可燃物质发生闪燃的最低温度称为该物质的闪点。液态可燃物质的闪点以“℃”表示，采用闪点标准测定仪器测定。

闪点是衡量各种液态可燃物质火灾和爆炸危险性的重要依据。有些固态可燃物质如樟脑、萘、磷等，在一定的条件下，也能够缓慢地蒸发可燃蒸气，因而也可以采用闪点衡量其火灾和爆炸危险性。物质的闪点愈低，愈容易蒸发可燃蒸气和气体，并与空气形成浓度达到燃烧或爆炸条件的混合可燃气体，其火灾和爆炸的危险性愈大；反之则小。

在建筑设计防火规范中，对于生产和储存液态可燃物质的火灾危险性，都是根据闪点进行分类的。例如，把使用或产生闪点  $< 28^{\circ}\text{C}$  的液体的生产划为甲类生产；闪点  $\geq 28^{\circ}\text{C}$  至  $< 60$  的液体的生产划为乙类生产；闪点  $\geq 60$  的液体的生产划为丙类生产。对于生产火灾危险性分类不同的生产厂房，采取的防火措施也应有所不同。

#### 2. 着火与燃点

可燃物质在与空气共存条件下，当达到某一温度时与火源接触，立即引起燃烧，并在火源移开后仍能继续燃烧，这种持续燃烧的现象称为着火。

可燃物质开始持续燃烧所需的最低温度，叫做燃点或着火点，以“ ”表示。

所有可燃液体的燃点都高于闪点。因此，在评定液体的火灾危险性时，燃点就没有多大的实际意义。但是燃点对可燃固体及闪点较高的可燃液体，则具有实际意义。如将这些物质的温度控制在燃点以下，就可防止火灾的发生。

#### 3. 自燃与自燃点

自燃是可燃物质不用明火点燃就能够自发着火燃烧的现象。可分为受热自燃和自热燃烧两类。可燃物质在外部热源作用下，温度升高，当达到一定温度时着火燃烧，称受热自燃。一些物质在没有外来热源影响下，由于物质内部发生化学、物理或生化过程而产生热量，这些热量积聚引起物质温度持续上升，达到一定温度时而发生燃烧，称自热燃烧。

可燃物质在没有外部火花或火焰的条件下，能自动引起燃烧和继续燃烧时的最低温度称为自燃点。一般可燃物质的自燃点以“ ”表示。自燃点可作为衡量可燃物质受热升温形成自燃危险性的数据。部分可燃物质自燃点见表 1-1。

表 1-1 可燃物质的自燃点

名 称		自燃点(°C)	名 称		自燃点(°C)
固体物质	黄 磷	30	液体物质	苯 甲 醇	435
	电影胶片	120		异 丙 醇	455
	纸 张	130		丙酸甲酯	469
	赛 璐 珞	150		二氯乙烯	456
	棉 花 绒	150		丁酸乙酯	464
	麻 烛	150		甲 醇	475
	蜡 匹	190		丙酸乙醇	477
	布 磷	200		丙 烯 腈	480
	赤 磷	200		醋酸乙酯	486
	松 香	240		丁 醇	503
	沥 青	250		酒 精	510
	木 材	260		甲 乙 酮	515
	煤	320		氯化乙烷	519
	木 炭	350		甲基吡啶	537
	樟 脑	375		氰 氢 酸	538
	葱 茛	475		丙 醇	540
	萘	515		三聚乙醛	541
	磷 甲 酚	559		氯 苯	550
苯 酚	574	甲 苯	552		
对 甲 酚	626	乙 苯	553		
有机玻璃	660	二 甲 苯	553		
液体物质	二硫化碳	112	丙 酮	570	
	乙 醚	180	吡 啶	573	
	乙 醛	185	戊 烷	579	
	甲 乙 醚	100	苯	580	
	丁 烯 醛	232	冰 醋 酸	599	
	缩 节 醛	233	间 甲 酚	626	
	松 节 油	235	醋 酸 甲 酯	654	
	石 油 醚	246	酚	710	
	丙 烯 醛	270	气体物质	硫 化 氢	260
	重 油	300		石 油 气	356
	乙 二 胺	315		甲 醛	430
	戊 醇	327		丙 烷	446
	亚麻仁油	350		异 丁 烷	462
	醋酸丁酯	371		乙 炔	480
	异 丁 胺	372		环 丙 烷	497
	丙 烯 醇	378		乙 烷	510
	二氯乙烷	378		甲 烷	537
	醋酸戊酯	379		乙 烯	546
	煤 油	380		天 然 气	550
	石 油	380		氢	570
	甘 油	390	氯 化 甲 烷	632	
	糠 醛	393	甲 烷	650	
	醋 酸 酐	400	发生炉煤气	700	
	氯 乙 醇	410	氨	780	
汽 油	415	氰	850		

有些自燃点很低的可燃物质，如赛璐珞、硝化棉等，不仅容易形成自燃，而且在自燃时还会分解释放大量一氧化碳、氮氧化物、氢氰酸等可燃气体。这些气体与空气混合，当浓度达到爆炸极限时，则会发生爆炸。因此，对于自燃点很低的可燃物质，除了采取防火措施外，还应分别采取防爆措施。

现行《建筑设计防火规范(2001年版)》(GBJ16—87)对于生产和储存在空气中能够自燃的物质的火灾危险性进行了分类。例如，在库房储存物品的火灾危险性中，将常温下能自行分解或在空气中氧化即能导致迅速自燃或爆炸的物质划为甲类；而将常温下与空气接触能缓慢氧化，积热不散引起自燃的物品划为乙类。

#### 4. 爆炸与爆炸极限

爆炸是物质由一种状态迅速地转变成另一种状态，并在极短时间内释放大量的能量。物质发生爆炸时，在极短时间内释放大量的能量，产生大量的高温高压气体，使周围空气发生剧烈震荡，这种空气震荡的现象称为冲击波。它迅速向各个方向传播，在离爆炸中心一定范围内，人将遭受冲击波、被炸裂的碎片的伤害，建筑物将遭受倒塌和燃烧破坏。

可燃气体、可燃蒸气和可燃粉尘一类物质，在接触到火源时会立即着火燃烧。当此类物质与空气混合在一起时，只在浓度所达到的一定比例范围内，才能形成爆炸性的混合物，此时一接触到火源就立即发生爆炸，此浓度界限的范围称为爆炸极限。能引起爆炸的浓度最低的界限称为爆炸下限；浓度最高的界限称为爆炸上限。浓度低于爆炸下限或高于爆炸上限时，接触到火源都不会引起爆炸。

可燃气体和可燃蒸气的爆炸极限以可燃气体蒸气占爆炸混合物单位体积的百分比(%)表示。可燃粉尘的爆炸极限，以可燃粉尘占爆炸混合物单位体积的质量比( $g/m^3$ )表示。

爆炸极限是鉴别各种可燃气体发生爆炸危险性的主要数据。爆炸极限的上、下限之间范围愈大，形成爆炸混合物的机会愈多，发生爆炸事故的危险性愈大。爆炸下限愈小，形成爆炸混合物的浓度愈低，则形成爆炸的条件愈容易。

现行《建筑设计防火规范(2001年版)》(GBJ16—87)对厂房生产和库房储存可燃气体一类物质的火灾危险性作了明确的分类。例如，将在生产过程中使用或产生可燃气体的厂房，其可燃气体爆炸下限 $<10\%$ 划分为甲类生产，爆炸下限 $\geq 10\%$ 划分为乙类生产；库房储存可燃气体和能够产生可燃气体的物质时的火灾危险性类别划分与厂房相同；在生产过程中排放浮游状态的可燃粉尘、纤维、闪点 $\geq 60^\circ\text{C}$ 的液体雾滴，并能够与空气形成爆炸混合物的生产，则属于乙类生产。

根据爆炸下限，确定了可燃气体生产、储存的火灾危险性类别后，进而才能采取有相应针对性的各种建筑消防安全技术措施。

## 第二节 建筑火灾的原因

凡是事故皆有起因，火灾亦不例外。分析建筑起火的原因是为了在建筑设计时，更有针对性地采取防火技术措施，防止和减少火灾危害。

建筑物起火的原因归纳起来大致可分为六类。

### 1. 生活和生产用火不慎

我国城乡居民家庭火灾绝大多数为生活用火不慎引起。属于这类火灾的原因，大体有：

吸烟不慎，炊事用火不慎，取暖用火不慎，灯火照明不慎，小孩玩火，燃放烟花爆竹不慎，宗教活动用火不慎等。

生产用火不慎有：用明火熔化沥青、石蜡或熬制动、植物油时，因超过其自燃点，着火成灾。在烘烤木板、烟叶等可燃物时，因升温过高，引起烘烤的可燃物起火成灾。对锅炉中排出的炽热炉渣处理不当，引燃周围的可燃物。

## 2. 违反生产安全制度

由于违反生产安全制度引起火灾的情况很多。如在易燃易爆的车间内动用明火，引起爆炸起火；将性质相抵触的物品混存在一起，引起燃烧爆炸；在用电、气焊焊接和切割时，没有采取相应的防火措施，而酿成火灾；在机器运转过程中，不按时加油润滑，或没有清除附在机器轴承上面的杂物、废物，而使机器这些部位摩擦发热，引起附着物燃烧起火；电熨斗放在台板上，没有切断电源就离去，导致电熨斗过热，将台板烤燃引起火灾；化工生产设备失修，发生可燃气体、易燃可燃液体跑、冒、滴、漏现象，遇到明火燃烧或爆炸。

## 3. 电气设备设计、安装、使用及维护不当

电气设备引起火灾的原因，主要有电气设备超过负荷、电气线路接头接触不良、电气线路短路；照明灯具设置使用不当，如将功率较大的灯泡安装在木板、纸等可燃物附近，将日光灯的镇流器安装在可燃基座上，以及用纸或布做灯罩紧贴在灯泡表面上等；在易燃易爆的车间内使用非防爆型的电动机、灯具、开关等。

## 4. 自然现象引起

自燃所谓自燃，是指在没有任何明火的情况下，物质受空气氧化或外界温度、湿度的影响，经过较长时间的发热和蓄热，逐渐达到自燃点而发生燃烧的现象。如大量堆积在库房里的油布、油纸，因为通风不好，内部发热，以致积热不散，发生自燃。

雷击 雷电引起的火灾原因，大体上有三种：一是雷直接击在建筑物上发生的热效应、机械效应作用等；二是雷电产生的静电感应作用和电磁感应作用；三是高电位沿着电气线路或金属管道系统侵入建筑物内部。在雷击较多的地区，建筑物上如果没有设置可靠的防雷保护设施，便有可能发生雷击起火。

静电静电通常是由摩擦、撞击而产生的。因静电放电引起的火灾事故屡见不鲜。如易燃、可燃液体在塑料管中流动，由于摩擦产生静电，引起易燃、可燃液体燃烧爆炸；输送易燃液体流速过大，无导除静电设施或者导除静电设施不良，致使大量静电荷积聚，产生火花引起爆炸起火；在有大量爆炸性混合气体存在的地点，身上穿着的化纤织物的摩擦、塑料鞋底与地面的摩擦产生的静电，引起爆炸性混合气体爆炸等。

地震 发生地震时，人们急于疏散，往往来不及切断电源、熄灭炉火以及处理好易燃、易爆生产装备和危险物品等，因而伴随着地震发生，会有各种火灾发生。

## 5. 纵火

纵火分刑事犯罪纵火及精神病人纵火。

## 6. 建筑布局不合理，建筑材料选用不当

在建筑布局方面，防火间距不符合消防安全要求，没有考虑风向、地势等因素对火灾蔓延的影响，往往会造成发生火灾时火烧连营，形成大面积火灾。在建筑构造、装修方面，大量采用可燃构件和可燃、易燃装修材料都大大增加了建筑火灾发生的可能性。

### 第三节 火灾的发展过程

建筑火灾最初是发生在建筑物内的某个房间或局部区域，然后由此蔓延到相邻房间或区域以致整个楼层，最后蔓延到整个建筑物。

#### 一、火灾的发展过程

在此仅介绍耐火建筑中具有代表性的一个房间内的火灾发展过程。室内火灾的发展过程可以用室内烟气的平均温度随时间的变化来描述，如图 1-1 所示。

根据室内火灾温度随时间的变化特点，可以将火灾发展过程分为三个阶段，即火灾初起阶段(图中  $OA$  段)、火灾全面发展阶段( $AC$  段)、火灾熄灭阶段( $C$  点以后)。

##### 1. 初起阶段

室内发生火灾后，最初只是起火部位及其周围可燃物着火燃烧。这时火灾好像在敞开的空间里进行一样。在火灾局部燃烧形成之后，可能会出现下列 3 种情况之一：

(1) 最初着火的可燃物质燃烧完，而未延及其他的可燃物质。尤其是初始着火的可燃物处在隔离的情况下。

(2) 如果通风不足，则火灾可能自行熄灭，或受到通风供氧条件的支配，以很慢的燃烧速度继续燃烧。

(3) 如果存在足够的可燃物质，而且具有良好的通风条件，则火灾迅速发展到整个房间，使房间中的所有可燃物(家具、衣物、可燃装修等)卷入燃烧之中，从而使室内火灾进入到全面发展的猛烈燃烧阶段。

初起阶段的特点是：火灾燃烧范围不大，火灾仅限于初始起火点附近；室内温度差别大，在燃烧区域及其附近存在高温，室内平均温度低；火灾发展速度较慢，在发展过程中，火势不稳定；火灾发展时间因点火源、可燃物质性质和分布、通风条件影响长短差别很大。

初起阶段火灾持续的时间，对建筑物内人员的安全疏散，重要物资的抢救，以及火灾扑救，都具有重要意义。若室内火灾经过诱发成长，一旦达到轰燃，则该室内未逃离火场的人员生命将受到威胁。要确保人员在火灾时安全疏散，应满足如下关系式：

$$t_p + t_a + t_{rs} \leq t_u \quad (1-1)$$

式中  $t_p$ ——从着火到发现火灾所经历的时间；  
 $t_a$ ——从发现火灾到开始疏散之间所耽误的时间；  
 $t_{rs}$ ——转移到安全地点所需的时间；  
 $t_u$ ——火灾现场出现人们不能忍受的条件的时间。

现在，利用火灾自动报警器可以减少  $t_p$ ，而且在大多数情况下效果比较明显。室内人

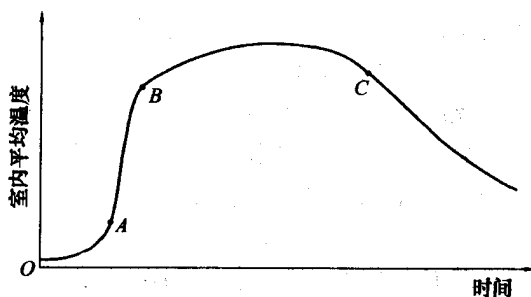


图 1-1 室内火灾温度—时间曲线

员能否安全地疏散，在很大程度上取决于火灾发展速度的大小，即取决于  $t_{uo}$ 。在建筑防火设计时设法延长  $t_u$ （例如在室内采取不燃材料和难燃材料装修等）就会使人们有更长的时间发现和扑灭火灾，并保证安全疏散。

根据初起阶段的特点可见，该阶段是灭火的最有利时机，也是人员安全疏散的最有利时机。因此，应设法尽早发现火灾，把火灾及时控制消灭在起火点。许多建筑火灾案例说明，要达到此目的，在建筑物内安装配备灭火设备，设置及时发现火灾和报警的装置是很有必要的。此外，应设法延长初起阶段的持续时间。

## 2. 全面发展阶段

在火灾初起阶段后期，火灾范围迅速扩大，当火灾房间温度达到一定值时，聚积在房间内的可燃气体突然起火，整个房间都充满了火焰，房间内所有可燃物表面部分都卷入火灾之中，燃烧很猛烈，温度升高很快。房间内局部燃烧向全室性燃烧过渡的这种现象通常称为轰燃。轰燃是室内火灾最显著的特征之一，它标志着火灾全面发展阶段的开始。对于安全疏散而言，人们若在轰燃之前还没有从室内逃出，则很难幸存。

轰燃发生后，房间内所有可燃物都在猛烈燃烧，放热速度很大，因而房间内温度升高很快，并出现持续性高温，最高温度可达  $1100^{\circ}\text{C}$  左右。火焰、高温烟气从房间的开口大量喷出，把火灾蔓延到建筑物的其他部分。室内高温还对建筑构件产生热作用，使建筑构件的承载能力下降，甚至造成建筑物局部或整体倒塌破坏。

耐火建筑的房间通常在起火后，由于其四周墙壁和顶棚、地面坚固，不会烧穿。因此，发生火灾时房间通风开口的大小没有什么变化，当火灾发展到全面燃烧阶段，室内燃烧大多由通风控制着，室内火灾保持着稳定的燃烧状态。火灾全面发展阶段的持续时间取决于室内可燃物的性质和数量、通风条件等。

为了减少火灾损失，针对火灾全面发展阶段的特点，在建筑防火设计中应采取的主要措施是：在建筑物内设置具有一定耐火性能的防火分隔物，把火灾控制在一定的范围之内，防止火灾大面积蔓延；选用耐火程度较高的建筑结构作为建筑物的承重体系，确保建筑物发生火灾时不倒塌破坏，为火灾时人员疏散、消防队扑救火灾，火灾后建筑物修复、继续使用创造条件。

## 3 熄灭阶段

在火灾全面发展阶段后期，随着室内可燃物的挥发物质不断减少，以及可燃物数量减少，火灾燃烧速度递减，温度逐渐下降。当室内平均温度降到温度最高值的 80% 时，则认为火灾进入熄灭阶段。随后，房间温度下降明显，直到把房间内的全部可燃物烧光，室内外温度趋于一致，宣告火灾结束。

该阶段前期，燃烧仍十分猛烈，火灾温度仍很高。针对该阶段的特点，应注意防止建筑构件因较长时间受高温作用和灭火射水的冷却作用而出现裂缝、下沉、倾斜或倒塌破坏，确保消防人员的人身安全；并应注意防止火灾向相邻建筑蔓延。

## 二、建筑物内火灾蔓延的途径

建筑物内某一房间发生火灾，当发展到轰燃之后，火势猛烈，就会突破该房间的限制。当向其他空间蔓延时，其途径有：未设适当的防火分区，使火灾在未受到限制的条件下蔓延扩大；防火隔墙和房间隔墙未砌到顶板底皮，导致火灾在吊顶空间内部蔓延；由可燃的

户门及可燃隔墙向其他空间蔓延；电梯竖向蔓延；非防火、防烟楼梯间及其他竖井未作有效防火分隔而形成竖向蔓延；现代外窗形成的竖向蔓延；通风管道等及其周围缝隙造成火灾蔓延，等等。

## （一）火灾在水平方向的蔓延

### 1. 未设防火分区

对于主体为耐火结构的建筑来说，造成水平蔓延的主要原因之一是，建筑物内未设水平防火分区，没有防火墙及相应的防火门等形成控制火灾的区域空间。例如，美国内华达州拉斯维加斯市的米高梅旅馆发生火灾，由于未采取严格的防火分隔措施，甚至对  $4\ 600\ \text{m}^2$  的大赌场也没有采取任何防火分隔措施和挡烟措施，大火烧毁了大赌场及许多公共用房，造成 84 人死亡，679 人受伤的严重后果。

### 2. 洞口分隔不完善

对于耐火建筑来说，火灾横向蔓延的另一途径是洞口处的分隔处理不完善。如，户门为可燃的木质门，火灾时被烧穿；铝合金防火卷帘无水幕保护，导致卷帘被熔化；管道穿孔处未用不燃材料密封，等等。

在穿越防火分区的洞口上，一般都装设防火卷帘或钢质防火门，而且多数采用自动关闭装置。然而，发生火灾时能够自动关闭的比较少。这是因为，卷帘箱一般设在顶棚内部，在自动关闭之前，卷帘箱的开口、导轨以及卷帘下部等因受热发生变形，无法靠自重落下，而且，在卷帘的下面堆放物品，火灾时不仅卷帘放不下，还会导致火灾蔓延。此外，火灾往往是在无人的情况下发生，即使设计了手动关闭装置，也会因无人操作，而不能发挥作用。对于钢质防火门来说，在建筑物正常使用情况下，门是开着的，一旦发生火灾，不能及时关闭也会造成火灾蔓延。

此外，防火卷帘和防火门受热后变形很大，一般凸向加热一侧。防火卷帘在火焰的作用下，其背火面的温度很高，如果无水幕保护，其背火面将会产生强烈的热辐射。在背火面堆放的可燃物或卷帘与可燃构件、可燃装修材料接触时，就会导致火灾蔓延。

### 3. 火灾在吊顶内部空间蔓延

目前，有些框架结构的高层建筑，竣工时是个大的通间，而出售或出租给用户后，由用户自行分隔、装修。有不少装设吊顶的高层建筑，房间与房间、房间与走廊之间的分隔墙只做到吊顶底皮，吊顶之上部仍为连通空间，一旦起火极易在吊顶内部蔓延，且难以及时发现，导致灾情扩大；就是没有设吊顶，隔墙如不砌到结构底部，留有孔洞或连通空间，也会成为火灾蔓延和烟气扩散的途径。

### 4. 火灾通过可燃的隔墙、吊顶、地毯等蔓延

可燃构件与装饰物在火灾时直接成为火灾荷载，由于它们的燃烧而导致火灾扩大的例子很多。如巴西圣保罗市安得拉斯大楼，隔墙采用木板和其他可燃板材，吊顶、地毯、办公家具和陈设等均为可燃材料，1972年2月4日发生了火灾，可燃材料成为燃烧蔓延的主要途径，造成死亡 16 人，受伤 326 人，经济损失达 200 万美元的灾情。

## （二）火灾通过竖井蔓延

在现代建筑物内，有大量的电梯、楼梯、设备、垃圾等竖井，这些竖井往往贯穿整个建筑，若未作周密完善的防火设计，一旦发生火灾，就可以蔓延到建筑物的任意一层。

此外，建筑物中一些不引人注意的孔洞，有时会造成整座大楼的恶性火灾。尤其是在

现代建筑中，吊顶与楼板之间，幕墙与分隔构件之间的空隙，保温夹层，通风管道等都有可能因施工质量等留下孔洞，而且有的孔洞水平方向与竖直方向互相贯通，用户往往不知道这些孔洞隐患的存在，更不会采取什么防火措施，所以，火灾时会导致生命财产的损失。

### 1. 火灾通过楼梯间蔓延

高层建筑的楼梯间，若在设计阶段未按防火、防烟要求设计，则在火灾时犹如烟囱一般，烟火很快会由此向上蔓延。

有些高层建筑只设有封闭楼梯间，而起封闭作用的门未用防火门，发生火灾后，不能有效地阻止烟火进入楼梯间，以致形成火灾蔓延通道，甚至造成重大的火灾事故。

### 2. 火灾通过电梯井蔓延

电梯间未设防烟前室及防火门分隔，将会形成一座座竖向烟囱。如前述美国米高梅旅馆，1980年11月21日戴丽餐厅失火，由于大楼的电梯井、楼梯间没有设置防烟前室，各种竖向管井和缝隙没有采取分隔措施，使烟火通过电梯井等竖向管井迅速向上蔓延，在很短时间内，浓烟笼罩了整个大楼，并窜出大楼高达150m。

在现代商业大厦及交通枢纽、航空港等人流集散量大的建筑物内，一般以自动扶梯代替了电梯。自动扶梯所形成的竖向连通空间，也是火灾蔓延的主要途径，设计时必须予以高度重视。

### 3. 火灾通过其他竖井蔓延

建筑中的通风竖井、管道井、电缆井、垃圾井也是高层建筑火灾蔓延的主要途径。如香港大生工业楼火灾，火势通过未设防火措施的管道井、电缆井、垃圾井等扩大蔓延。

此外，垃圾道是容易着火的部位，又是火灾中火势蔓延的主要通道。防火意识淡薄者，习惯将未熄灭的烟头扔进垃圾井，引燃可燃垃圾，导致火灾在垃圾井内隐燃、扩大、蔓延。

## （三）火灾通过空调系统管道蔓延

高层建筑空调系统，未按规定设防火阀、采用不燃烧的风管、采用不燃或难燃烧材料作保温层，火灾时会造成严重损失。如杭州某宾馆，空调管道用可燃保温材料，在送、回风总管和垂直风管与每层水平风管交接处的水平支管上均未设置防火阀，因气焊燃着风管可燃保温层引起火灾，烟火顺着风管和竖向孔隙迅速蔓延，从一层烧到顶层，整个大楼成了烟火柱，楼内装修、空调设备和家具等统统化为灰烬，造成巨大损失。

通风管道蔓延火灾一般有两种方式，即通风管道本身起火并向连通的空间（房间、吊顶内部、机房等）蔓延，更危险的是它可以吸进火灾房间的烟气，而在远离火场的其他空间再喷冒出来。

因此，在通风管道穿通防火分区之处，一定要设置具有自动关闭功能的防火阀门。

## （四）火灾由窗口向上层蔓延

在现代建筑中，从起火房间窗口喷出烟气和火焰，往往会沿窗间墙及上层窗口向上窜越，烧毁上层窗户，引燃房间内的可燃物，使火灾蔓延到上部楼层，若建筑物采用带形窗，火灾房间喷出的火焰被吸附在建筑物表面，有时甚至会吸入上层窗户内部。

## 三、建筑火灾蔓延的方式

### （一）火焰蔓延

初始燃烧的表面火焰，在使可燃材料燃烧的同时，并将火灾蔓延开来。火焰蔓延速度

主要取决于火焰传热的速度。

### (二) 热传导

火灾区域燃烧产生的热量，经导热性好的建筑构件或建筑设备传导，能够使火灾蔓延到相邻或上下层房间。例如薄壁隔墙、楼板、金属管壁，都可以把火灾区域的燃烧热传导至另一侧的表面，使地板上或靠着隔墙堆积的可燃、易燃物体燃烧，导致火场扩大。应该指出的是，火灾通过传导的方式进行蔓延扩大，有两个比较明显的特点，其一是必须具有导热性好的媒介，如金属构件、薄壁构件或金属设备等；其二是蔓延的距离较近，一般只能是相邻的建筑空间。可见，传导蔓延扩大的火灾，其规模是有限的。

### (三) 热对流

热对流作用可以使火灾区域的高温燃烧产物与火灾区域外的冷空气发生强烈流动，将高温燃烧产物流传到较远处，造成火势扩大。建筑物的房间起火时，在建筑物内燃烧产物则往往经过房门流向走道，窜到其他房间，并通过楼梯间向上层扩散。在火场上，浓烟流窜的方向，往往就是火势蔓延的方向。

### (四) 热辐射

热辐射是物体在一定温度下以电磁波方式向外传递热能的过程。一般物体在通常所遇到的温度下，向空间发射的能量，绝大多数都集中于热辐射。建筑物发生火灾时，火场的温度高达上千摄氏度，通过外墙开口部位向外发射大量的辐射热，对邻近建筑构成火灾威胁。同时，也会加速火灾在室内的蔓延。

## 四、建筑火灾严重性的影响因素

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。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的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有以下 6 个方面：

- (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 1-2 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。

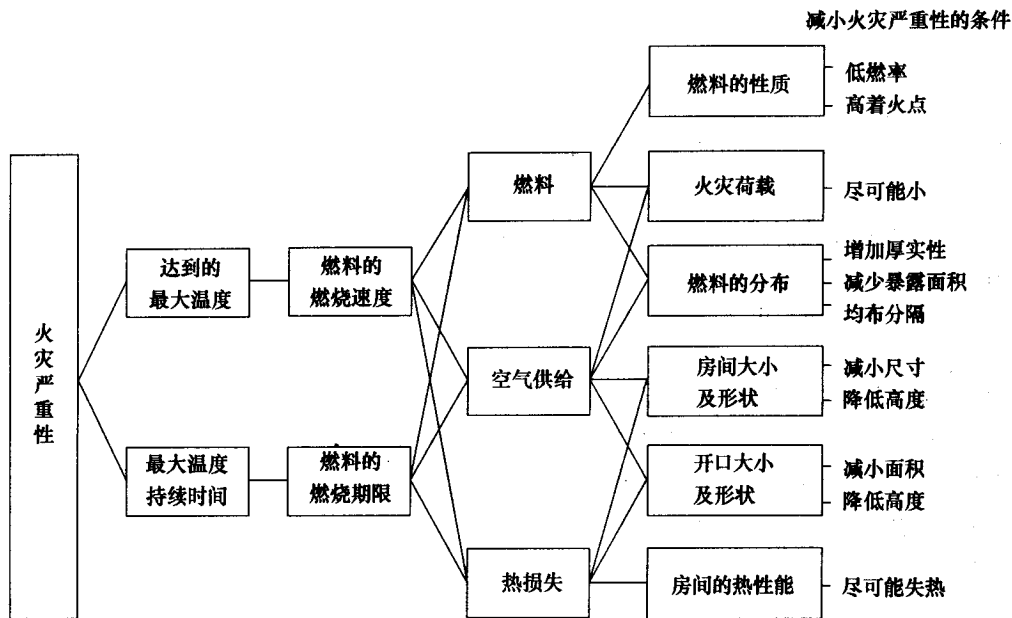


图 1-2 影响火灾严重性的因素

## （一）可燃材料对火灾严重性的影响

### 1. 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量。

### 2. 可燃材料的数量

火灾荷载是影响建筑火灾严重性的重要因素。火灾荷载越大，火灾持续时间越长，室内温度上升越高，破坏和损失越大。

### 3. 可燃材料的分布

可燃材料及物品在房间中的布置对火势的蔓延起着很大作用，布置不当，很小的火源也可能蔓延发展成为大火。如果各种可燃物品在建筑物中分开布置，并使其相互之间有一定的间隔，则火势蔓延就会慢；如果可燃物品高，火势很容易快速蔓延到房顶，而在顶棚下火焰会快速横向移动蔓延到其他物品上或其他房间中。使用可燃隔墙或在墙上装贴有易燃材料就会有这种效果。如果材料或物品比较厚实，暴露于空气或受热面积较小，则材料的燃烧就慢。同质量的薄木板要比木块或厚板燃烧快得多。这是由于在一定量的空气中，控制材料燃烧率的一个重要因素就是表面积与体积之比，这个值大，则燃烧快。

## （二）建筑布局对火灾严重性的影响

建筑发生火灾时，控制火灾严重性的因素除材料的数量和燃烧性能之外，另外两个因素是空气的供给量和热损失。当一房间发生火灾时，冷空气从门、窗的下部流入房间供给燃烧所需的氧，而热气流和烟气从门、窗的上部流出房间，燃烧产生的热量通过房间的开

口和房间的墙壁、地板及顶板损失一部分。因此，在火灾的发展和蔓延过程中，建筑的布局与房间的开口形状、大小（即通风状况）具有非常重要的作用。

### 1. 房间开口的大小和形状

当房间门、窗洞口面积很小时，火灾时进入房间的空气量受到限制，若可燃物多，则由于空气量不足而燃烧不充分。随着开口面积的增大，进气量增多则会导致火的燃烧速度增加，这种受空气影响的火灾性能被称为受通风控制的火灾。当房间开口面积进一步增大到空气供给量足以满足燃料燃烧所需时，则空气量的继续增加不会进一步引起燃烧速度的增大，此时燃烧速度将由材料的性质和材料的分布所决定，它被称之为受燃料控制的火灾。

大量试验表明，一般建筑火灾受房间开口的影响较大，燃烧性能取决于开口的通风状况  $A_w \sqrt{H}$ 。

$A_w$  表示房间通风开口面积， $m^2$ ； $H$  表示房间通风开口高度， $m$ 。

### 2. 房间的大小和形状

其中最重要的因素是房间的大小，房间面积越大，可能容有的有效可燃荷载越大。当房间进深大时，由于通过开口流入和流出房间的冷空气对所有燃烧的材料影响小，一般火灾温度更高。从防火工程考虑应尽可能地减小房间的尺寸和高度，但在设计中应同时满足建筑的有效使用面积。

### 3. 房间的热性能

火灾严重性取决于房间中达到的最高温度和达到最大温度的速度。低导热系数的房间墙、屋面及地板会保存燃烧释放的热，使火灾温度的有效热快速上升。如果结构材料吸热性与导热性能好，则这种影响就会减弱。在这方面涉及的重要参数是材料的导热系数  $\lambda$ 、密度  $\rho$  和比热  $c$ 。对于给定的热量，房间内表面温度的上升与  $\lambda\rho c$  的乘积成反比， $\lambda\rho c$  称为材料的热惰性。最近对  $\lambda\rho c$  的重要性进行的研究表明，用砖、砂浆、抹灰的墙和屋顶建成的房间在 20 ~ 30 min 内会达到室内轰燃，但若采用低导热系数的不燃性衬板，则在同样条件下要达到轰燃只需原来 1/3 的时间。

建筑设计中既要考虑减少不利的火灾条件，增大  $\lambda\rho c$  值；又要考虑建筑的保温节能功能和使结构背火面温度降低，即减小  $\lambda\rho c$  值。这一矛盾可通过一些结构构造方法加以处理，如在内墙面采用导热系数大的石膏板；墙中间填充保温隔热层的复合结构做法等。

### （三）影响火灾严重性各因素之间的关系

一旦某个房间失火，火灾发展和蔓延的过程取决于：火灾荷载的大小、材料的体积、分布状况及其连续性、孔隙度和燃烧性能；着火房间的通风状况；着火房间的几何形状和尺寸及着火房间的热性能。根据 100 余例试验结果和对着火房间中能量及质量平衡的理论分析，推导出一个可用最简单代数运算确定不燃墙壁的着火房间内为防止发生轰燃所允许的最大热产生率  $h_c$ ：

$$h_c = 610(\alpha_k A_T A_w \sqrt{H})^{1/2} \quad (1-2)$$

式中  $h_c$ ——发生轰燃所允许的最大热产生率， $kW$ ；

$\alpha_k$ ——着火房间六壁结构的有效换热系数， $kW / (m^2 \cdot K)$ ；

$A_T$ ——包括开口面积在内的房间总内表面面积， $m^2$ 。

方程 (1-2) 说明着火房间的通风状况 ( $A_w\sqrt{H}$ ) 和房间的大小及其热性能  $\alpha_k A_T$  对火灾的严重性 是否发生轰燃 有决定性影响。图 1-3 表示根据着火房间中能量及质量平衡的理论分析推导出的在不同通风系数  $A_w\sqrt{H} / A_T$ , 不同火灾荷载密度的情况下, 采用导热系数  $\lambda=0.81$  和热容量  $\rho c=1.67 \text{ MJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$  的材料建造的典型房间的火灾温度—时间理论曲线, 从曲线中可以看出影响火灾严重性的各因素之间的关系和效果。

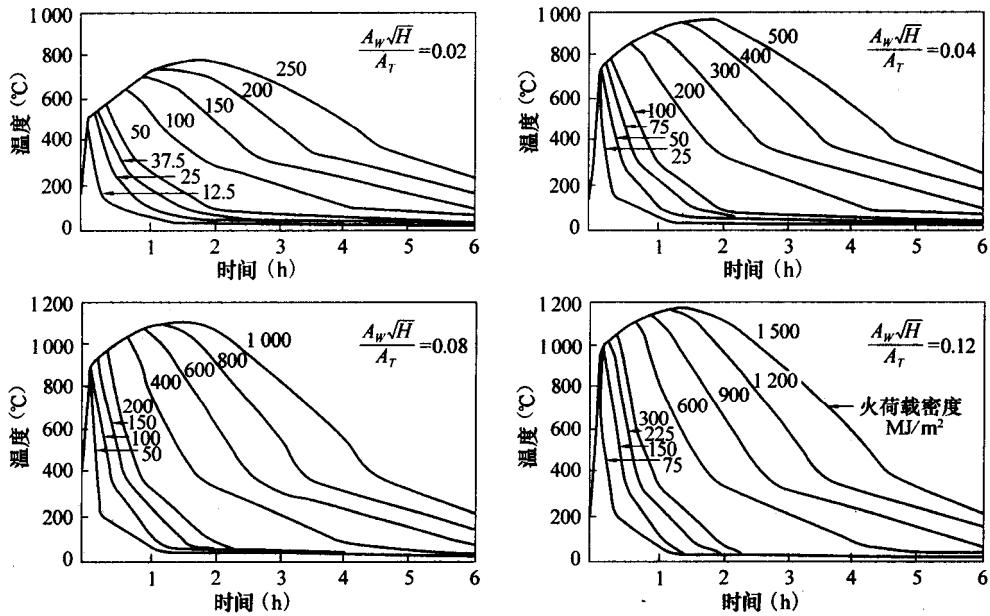


图 1-3 火灾温度—时间曲线比较

## 第四节 建筑设计防火措施和对策

### 一、建筑设计防火措施

《建筑设计防火规范 2001 年版》(GBJ16—87)和《高层民用建筑设计防火规范 2001 年版》(GB50045—95)等规范规定了建筑设计防火应采取的技术措施;其按工种概括起来有以下四大方面:

- (1)建筑防火;
- (2)消防给水、灭火系统;
- (3)采暖、通风和空调系统防火,防排烟系统;
- (4)电气防火,火灾自动报警控制系统等。

#### (一) 建筑防火

建筑设计防火的主要内容有以下几方面。

总平面防火。它要求在总平面设计中,应根据建筑物的使用性质、火灾危险性、地形、地势和风向等因素,进行合理布局,尽量避免建筑物相互之间构成火灾威胁和发生火灾爆

炸后可能造成的严重后果，并且为消防车顺利扑救火灾提供条件。

**建筑物耐火等级。**划分建筑物耐火等级是建筑设计防火规范中规定的防火技术措施中最基本的措施。它要求建筑物在火灾高温的持续作用下，墙、柱、梁、楼板、屋盖、吊顶等基本建筑构件，能在一定的时间内不破坏，不传播火灾，从而起到延缓和阻止火灾蔓延的作用，并为人员疏散、抢救物资和扑灭火灾以及为火灾后结构修复创造条件。

**防火分区和防火分隔。**在建筑物中采用耐火性较好的分隔构件将建筑物空间分隔成若干区域，一旦某一区域起火，则会把火灾控制在这一局部区域之中，防止火灾扩大蔓延。

**防烟分区。**对于某些建筑物需用挡烟构件（挡烟梁、挡烟垂壁、隔墙）划分防烟分区将烟气控制在一定范围内，以使用排烟设施将其排出，保证人员安全疏散和便于消防扑救工作进行。

**室内装修防火。**在防火设计中应根据建筑物性质、规模，对建筑物的不同装修部位，采用相应燃烧性能的装修材料。要求室内装修材料尽量做到不燃或难燃化，减少火灾的发生和降低蔓延速度。

**安全疏散。**建筑物发生火灾时，为避免建筑物内人员由于火烧、烟熏中毒和房屋倒塌而遭到伤害，必须尽快撤离；室内的物资财富也要尽快抢救出来，以减少火灾损失。为此要求建筑物应有完善的完全疏散设施，为安全疏散创造良好的条件。

**工业建筑防爆。**在一些工业建筑中，使用和产生的可燃气体、可燃蒸气、可燃粉尘等物质能够与空气形成爆炸危险性的混合物，遇到火源就能引起爆炸。这种爆炸能够在瞬间以机械功的形式释放出巨大的能量，使建筑物、生产设备遭到毁坏，造成人员伤亡。对于上述有爆炸危险的工业建筑，为了防止爆炸事故的发生，减少爆炸事故造成的损失，要从建筑平面与空间布置、建筑构造和建筑设施方面采取防火防爆措施。

## （二）消防给水、灭火系统

其设计的主要内容包括：室外消防给水系统、室内消火栓给水系统、闭式自动喷水灭火系统、雨淋喷水灭火系统、水幕系统、水喷雾消防系统，以及二氧化碳灭火系统、卤代烷灭火系统等。要求根据建筑的性质、具体情况，合理设置上述各种系统，做好各个系统的设计计算，合理选用系统的设备、配件等。

## （三）采暖、通风和空调系统防火 防排烟系统

采暖、通风和空调系统防火设计应按规范要求选好设备的类型 布置好各种设备和配件，做好防火构造处理等。在设计防排烟系统时要根据建筑物性质、使用功能、规模等确定好设置范围 合理采用防排烟方式 划分防烟分区 做好系统设计计算 合理选用设备类型等。

## （四）电气防火 火灾自动报警控制系统

设计要求是根据建筑物的性质，合理确定消防供电级别，做好消防电源、配电线路、设备的防火设计，做好火灾事故照明和疏散指示标志设计，采用先进可靠的火灾报警控制系统。此外，对建筑物还要设计安全可靠的防雷与接地装置。

# 二、建筑防火设计对策

防火对策可分为两类，一类是积极防火对策，即采用预防起火、早期发现（如设火灾探测报警系统）初期灭火（如设自动喷水灭火系统）等措施 尽可能做到不失火成灾。采用这类防火对策为重点进行防火，可以减少火灾发生的起数，但却不能排除遭受重大火灾的可能

性。另一类是“消极”防火对策，即采用以耐火构件划分防火分区、提高建筑结构耐火性能、设置防排烟系统、设置安全疏散楼梯等措施，尽量不使火势扩大并疏散人员和财物。以“消极”防火对策为重点进行防火，虽然会发生火灾，但却可以减少发生重大火灾的概率。“消极”防火对策和积极防火对策的目的是一致的，都是为了减轻火灾损失，保证人员的生命安全。

### 思考题

1. 发生燃烧必须具备哪些条件？
2. 燃烧条件在消防工作中怎样应用？
3. 何谓闪点 何谓燃点 何谓自燃点 何谓爆炸极限？
4. 建筑物发生火灾原因主要有哪些？
5. 建筑火灾一般经历哪几个阶段？各阶段有什么特点？
6. 建筑火灾蔓延的途径有哪些？
7. 影响建筑火灾严重性的因素有哪些？
8. 建筑设计防火对策和措施包括哪些方面？

## 第二章 建筑耐火等级与耐火设计

### 第一节 耐火时间及耐火等级

#### 一、建筑耐火设计

目前,大多数国家的建筑设计防火规范中对建筑结构的耐火设计都采用耐火等级设计方法,我国也不例外。这种耐火设计方法的原理如图 2-1 所示。

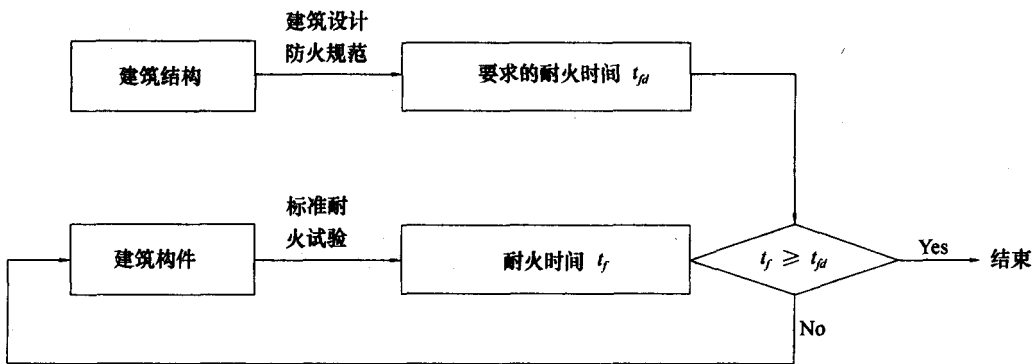


图 2-1 按标准耐火试验划分耐火等级进行建筑耐火设计原理图

这种设计方法主要包括两部分：

(1) 按照 ISO834 标准给定的标准升温曲线,即  $T-T_0=345 \lg(8t+1)$  的关系对构件加热,进行耐火试验,确定构件的耐火时间。

(2) 按照建筑设计防火规范,确定与建筑物耐火等级相对应的所有构件应具有耐火时间。若试验所得的构件耐火时间符合所要求的耐火时间,就认为这个构件满足防火设计要求。

这是目前国际上最通用的一种方法,广泛用于对墙、隔断、柱、梁、楼板及屋面等建筑构件的耐火性能进行评价和分级。

#### 二、耐火等级的定义和作用

耐火等级是衡量建筑物耐火程度的分级标度。规定建筑物的耐火等级是建筑设计防火规范中规定的防火技术措施中最基本的措施之一。

火灾实例说明,耐火等级高的建筑物,发生火灾的次数少,火灾时被火烧坏、倒塌的很少;耐火等级低的建筑,发生火灾概率大,火灾时往往容易被烧坏,造成局部或整体倒塌,火灾损失大。对于不同类型、性质的建筑提出不同的耐火等级要求,可做到既有利于