

建筑安全学

陈保胜 编著

2.04

中国建筑工业出版社

序

在人们生存的一切活动方面，第一位的需要是安全。因此我们在为人类创造人为环境和组织自然环境的时候，为了保障每一个人的美好生活条件，安全应当作为头等大事来对待。

但是在自然界和人类社会中，经常会出现一些非人力所能控制的、或由于有人在某些方面失误等原因所形成的破坏现象。这些破坏现象往往会使人们生存和行为的环境、财产和生命安全失去了保障，从而产生巨大的灾难和造成巨大的损失。这是人们所不希望出现和不愿意看到的后果。

通常，当发生了上述的灾难和破坏以后，我们会看到环境和财产的所有者、负责安全部门的人员、部队和公安人员、还有一些见义勇为的人，不顾自身的安危，英勇和无私地进行抢救，有些人甚至献出了自己宝贵的生命。对于他们舍己为人，作出了使得损失减至最小的努力，我们对他们感到无比的钦佩，并怀着崇敬的心情，向他们表示深深的敬意。他们为国家、社会和人民作出了重大的贡献，人们永远需要这样的英雄人物。

可是，进一步想想，在我们生存和行为的各种环境中，如果我们高度重视安全，在总体和单体的布局安排上、在结构支持体系的选择上、在构、配件的设计上、在各种部位材料的应用上，根据我们的聪明才智加以判断和决策，以及根据国家和地方制定的法令和规范，做到确保安全，并使各种破坏尽可能不发生或少发生；或是在破坏出现以后，尽量不形成灾难或不形成大的灾难。这种防患于未然和有所准备的行为，不是就可以作出更大的贡献，并且避免了不必要的牺牲吗？和前者比较这是“一人敌”和“万人敌”的问题。安全和防灾设计的目的和作用就在于此。

过去，针对各种灾害的情况，有一些书籍和文献对它们分门别类地加以阐述。现在，人们认识到，创造安全的生存和行为环境越来越重要，并给以越来越大的重视，因此开始将“建筑安全”作为一门独立的学科加以研究和探讨。

有感于安全和防灾问题的重要性，陈保胜同志在长期的教学、科研和生产实践过程中，进行了不少的调查研究，参阅了大量的书籍文献资料，经过思考、总结、整理，写出了为建筑设计和教学使用的《建筑安全学》，目的是引起人们重视并教会建筑（广义）专业人们“万人敌”，并向这一学科的建立，迈出了可喜的步伐。作为建筑教育工作者和建筑师，我对此表示热烈地欢迎与祝贺，并预祝他定会作出新的、更多的成就。

戴复东

1993年8月20日于同济大学建筑城市规划学院

2005.10.8

前 言

“建筑安全学”是一门新兴的、综合性的学科。它不仅涉及到建筑物本身结构的安全度，同时还涉及到建筑单体的平面布置、周围环境、材料的选择、构造的处理以及有关的法规。因此，在建筑领域里，它已经起到举足轻重的作用。一幢优秀的建筑物要像伟人一样永载史册，它应该是技术和艺术的有机结合，这不仅体现了一位建筑师的技术水准，还体现了建筑师所表现的道德规范和法律的内涵。

我1990年编写的《建筑防灾设计》一书出版之后，得到了有关方面和广大读者的大力支持，由于供求矛盾，此书已脱销。应广大读者和有关方面的要求，在《建筑防灾设计》的基础上重新编著了此书。与《建筑防灾设计》相比，本书除文字上作了较大改动之外，还删掉了部分篇幅，增加了中庭建筑防火设计一章；并结合新的《高层建筑设计防火规范》，增加了避难层和直升飞机停机坪的内容。

《建筑安全学》从灾害的因素、材料的耐火性能以及有关法规出发，系统地叙述了建筑的平面布置、构造处理等。可作为建筑类专业学生的教材，也可供广大建筑设计人员在工程实践中借鉴。

本书在编写过程中，得到了戴复东、卢济威教授的大力支持，在此表示衷心的感谢。陈少或、陆剑峰、沈建强为此书协助绘制插图，在此也表示谢意。

《建筑安全学》涉及面广，加之作者水平有限，不当之处望广大读者指正。

目 录

绪论	1
第一章 建筑和火灾	3
第一节 起火的原因和燃烧条件	3
第二节 火灾的发展和蔓延	6
第三节 建筑材料在高温下的状态	9
第四节 建筑构件的耐火性能	11
第二章 民用建筑的防火设计	26
第一节 民用建筑的耐火等级	26
第二节 民用建筑防火设计	29
第三节 建筑装修的防火要求	37
第四节 民用建筑的防烟与排烟	41
第五节 民用建筑的安全疏散	46
第三章 工业建筑和库房的防火设计	52
第一节 生产和贮存物品的火灾危险性分类	52
第二节 工业建筑和库房的耐火等级	55
第三节 工业建筑和库房的防火设计	57
第四节 工业建筑和库房的安全疏散	60
第四章 高层建筑的防火设计	64
第一节 高层建筑的火灾特点	64
第二节 高层建筑的耐火等级	65
第三节 高层建筑的防火设计	66
第四节 高层建筑的安全疏散	72
第五节 高层建筑的疏散楼梯和楼梯间	78
第五章 中庭建筑防火设计	83
第一节 中庭建筑的火灾特点	83
第二节 中庭建筑防火设计的基本原则以及国外关于设置中庭的若干规定	83
第三节 中庭建筑的疏散方式	84
第四节 中庭建筑的烟气控制和排除	86
第五节 中庭火势的控制	89
第六章 建筑与爆炸	91
第一节 爆炸的基本知识	91
第二节 爆炸的种类及其破坏作用	94
第三节 建筑物的分类设防	97
第七章 建筑物的防爆设计	99
第一节 厂房建筑的防爆设计	99
第二节 仓库建筑的防爆设计	101

第三节	露天生产场所建筑物防爆设计	103
第八章	防爆建筑构造	105
第一节	泄压轻质屋盖和外墙	105
第二节	泄压窗	108
第三节	防爆墙	109
第四节	防爆窗	111
第五节	防爆门	114
第六节	不发火地面	115
第九章	城市消防安全和建筑物的防火间距	118
第一节	城市的防火规划和消防车道	118
第二节	建筑物的防火间距	123
第十章	建筑与地震	129
第一节	概述	129
第二节	地震对建筑物的破坏作用	134
第十一章	抗震设计的基本原则	140
第一节	抗震设计的基本思想	140
第二节	建筑物的抗震设防标准	140
第三节	抗震设计的基本原则	140
第十二章	多层砖房的抗震设计	146
第一节	震害概况	146
第二节	影响震害的因素	149
第三节	抗震构造设计	152
第十三章	空旷砖房和单层厂房抗震设计	158
第一节	概述	158
第二节	震害概况	158
第三节	抗震构造设计	164
第十四章	建筑抗震鉴定和加固	170
第一节	房屋抗震的加固原则	170
第二节	房屋地基和基础的抗震鉴定与加固	170
第三节	多层砖房的抗震鉴定与加固	171
第四节	空旷房屋的抗震鉴定与加固	178
第五节	单层厂房的抗震鉴定与加固	180
第十五章	建筑防灾与结构选型	187
第一节	多层建筑的结构形式	187
第二节	高层建筑的结构形式	189

绪 论

自然界中的一切物质都处在运动和变化之中。物质的运动和变化，有时能够释放巨大的能量，这种能量能够造福于人类，但是，如果这种能量超过了环境的承受能力，它将走向反面，甚至会危及人们的生命和财产，成为一种灾害。

自然界中的灾害种类很多，有风灾、水（涝）灾、火灾、地震等。有的灾害往往还会互相影响，互相并存。例如台风季节，往往还伴有暴雨，造成风、水灾害并存；又如强烈地震往往使建筑物倒塌，甚至会造成建筑物爆炸而引起火灾等。

由某次灾害直接造成的危害称原发性灾害。如地震可使建筑物倒塌；非直接造成的灾害称次生灾害。如地震引起了海啸，地震引起山崩，造成泥石流等。有时次生灾害比直接灾害所产生并造成的危害损失更大。如1970年秘鲁大地震时，瓦斯卡兰山北峰的泥石流从3750m高崩落，以约320km/h的速度淹没了一些村镇，一切建筑物荡然无存，地形也为之改观，死亡达25000人。又如1960年智利沿海发生了8.9级地震，地震后22h，海啸袭击了夏威夷，浪高达10m，在17000km以外的日本本州和北海道的太平洋沿岸，浪还高达4m，使海港码头和沿海岸一些建筑物受到巨大损失。

从灾害发生的原因来看，大体可以分为以下三种属性：

1. 自然性灾害

由自然界物质的内部运动而造成的灾害属自然性灾害，通常叫自然灾害。如地球在运动发展过程中产生巨大的能量作用，使地球的地壳和地幔产生很大的应力，当这些应力积累超过了某处岩层的强度时，岩石遭到破坏，产生错动，这就是地震

地震灾害往往带有突发性，它在某时某刻，甚至在人们毫无思想准备的情况下出现，造成的危害也最大，如1976年7月28日，我国唐山市发生7.8级强烈地震，使整个唐山市遭到毁灭性破坏，造成数十万人伤亡。又如1989年10月17日，美国的旧金山当地时间下午5点零4分发生了6.9级强烈地震，地震发生时，许多建筑物左右摇晃达数英尺后倒塌，甚至起火。著名的旧金山海湾大桥上层桥面被震塌一节，一些高架桥被毁，坚固的高速公路也出现多处裂缝或塌陷。这场灾难中至少270人丧生，总的损失达十亿美元。

因此，地震灾害是所有灾害中危害最大的。

2. 条件性灾害

物质在运动中必须具备某种条件才能发生质的变化，并且由这种变化而造成的灾害称为条件性灾害。如某种液体所散发的可燃气体在空气中形成某种混合物，一旦遇到明火就会发生爆炸，乃至引起火灾。这里混合物和明火都是条件，只要缺少其中一个条件，爆炸就不会发生。又如物质在燃烧过程中必须具备三个条件，即：有燃烧的物质；有助燃的氧气；有燃烧的火源。只要三个条件同时出现，并互相接触，就能起火。

我们认识了某种灾害产生的条件性，就可以在生活和生产中设法消除这些条件的存在，这样，灾害的发生是能避免的。

3. 行为性灾害

在日常生活中，往往有时不注意，如蜡烛火碰到蚊帐，用电炉烤东西碰到可燃物质等引起的火灾；有的则由于人为的破坏造成的。如某市百货商场，因人为破坏造成严重火灾，使整幢大楼和财产付之一炬，直接经济损失达一亿元人民币。凡是人为造成的灾害，不论是有意的还是无意的我们总称为行为性灾害。凡是人为造成的灾害，国家将根据损失的大小，按照法律追究刑事责任。过去30年世界主要自然灾害的伤亡情况及我国几次强地震伤亡情况见表绪-1和表绪-2。

过去30年世界主要自然灾害的伤亡情况

表 绪-1

发生年代	灾害种类	灾害地点	死亡人数(略数)
1962	滑坡	秘鲁·法斯加拉山	4000
1962	地震	伊朗西北部	12000
1963	旋风	孟加拉	22000
1963	火山喷火	印度尼西亚·巴里岛	1200
1963	滑坡	意大利	2000
1965	旋风	孟加拉	57000
1968	地震	伊朗西北部	12000
1970	地震	秘鲁北部	70000
1970	旋风	孟加拉	500000
1971	旋风	印度·阿里萨	10000
1972	地震	伊朗·基尔	5000
1976	地震	中国·天津—唐山	250000
1976	地震	危地马拉	24000
1977	旋风	印度·安度拉山	20000
1978	地震	伊朗东北部	25000
1982	火山喷火	墨西哥·爱鲁其翅山	500
1985	旋风	孟加拉	10000
1985	地震	墨西哥	8000
1985	火山喷火	哥伦比亚·尼巴度戴鲁鲁伊斯山	25000
1987	地震	厄瓜多尔东北部	4000
1988	旋风	孟加拉	1500
1988	地震	亚美尼亚	25000
1989	地震	美国·旧金山	270
1990	地震	伊朗	500000

我国历史上几次主要强地震伤亡情况

表 绪-2

发生年代	震级	灾害地点	伤亡人数(略数)
1556		黄河中游	830000
1654		陕西	10000
1879		成都文县	20000
1739		银川平罗	50000
1920		海源	100000
1927		甘肃古浪	数万人
1976	7.8	唐山	250000

第一章 建筑和火灾

火能造福于人类，人们日常生活和生产一天也离不开火。但火在人们失去对它的控制之后，就成为灾害，危及人类。

火灾是所有灾害中最常见、最普遍的。火灾对社会能产生严重政治影响、巨大经济损失或重大人身伤亡。因此，一幢建筑从防火要求出发，平面布置是否合理，材料选择是否恰当，不仅体现了一位建筑师的技术水准、道德观念，同时也包含着法律的内涵。故建筑防火应在规划、建筑设计阶段作周密的考虑，以便把火灾减少到最低限度，以及为一旦发生火灾创造扑救的条件。

第一节 起火的原因和燃烧条件

一、起火原因

建筑物起火的原因是多种多样的，在生产和生活中，有因为使用明火不慎引起的，有因为化学或生物化学的作用造成的，有因为用电电线短路引起的，也有因为坏人纵火引起的。

为了避免发生火灾，减少火灾造成的损失，在着手设计一个建筑物时，我们应该首先调查一下这个建筑物可能起火的因素，分析同类建筑物起火的一般原因，以及该建筑周围的环境，以便有针对性地采取积极的预防措施。同时，参加设计的同志还应积极争取参加有关部门组织的火灾现场会和火灾原因调查，更多地了解情况，共同研究，总结经验教训，以便制定出更多、更有效的防火措施。

生产和生活中，因使用明火不慎而引起的火灾是很多的。例如在厂房内，不顾周围环境随意动火焊接、烘烤物品过热等；在居住建筑内因打翻油灯，烛火碰到蚊帐，炉火点燃旁边的柴草，小孩玩火等；在公共场所内乱扔烟头、乱放鞭炮、乱扔火柴梗等而使火种混进废纸堆等，这些都是因为违反操作规程、缺乏防火常识、思想麻痹等原因造成的。

除明火以外，暗火引起火灾的情况也很多。其中有的是有火源的，如炉灶、烟囱的表面过热烤着临近的木结构；有的是没有火源的，如大量堆积在库房里的物质，因为通风不好，内部发热，以致积热不散发生自燃；把化学性质相互抵触的物品混在一起，发生化学反应起火或爆炸；化工生产设备失修，出现可燃气体，易燃、可燃液体跑、冒、滴、漏现象，一遇明火便燃烧或爆炸；机械设备摩擦发热，使接触到的可燃物自燃起火等等。

用电引起火灾的原因，主要是因为用电设备超负荷，导线接头接触不良，电阻过大发热，使导线的绝缘物或沉积在电气设备上的粉尘自燃；导线因老化引起的短路的电弧能使充油的设备爆炸；保险丝和开关的火花能使易燃、可燃液体蒸汽与空气的混合物爆炸；易燃液体、可燃气体在管道内流动较快，摩擦产生静电，由于管线接地不良，在管道出口处出现放电火花，使管道内的液体或气体烧着，发生爆炸。

在建筑设计中，除了要充分估计到建筑物内部起火的可能性外，同时还要注意到外部环境可能出现引起建筑物起火的条件，不能留下隐患，为坏人纵火破坏造成可乘之机。

此外，突然的地震和战时的空袭，都会因为人们急于疏散而来不及断电、熄灭炉火以及处理好易燃、易爆生产装置和危险物品，待房屋受震，极易起火，便出现了地震火灾或战时火灾的不幸。因此，情况迫使我们要有平战结合的观念，在建筑设计中考虑地震和战时火灾的特点，采取防范措施，避免大的火灾损失。

二、火的“三要素”条件

随着科学技术的发展，人们对火的认识则比古人要深刻得多，而且深入到了对火的本质研究方面。火是一种放热发光的化学现象，是物质分子游离基的链锁反应。但是，起火必须具备如下三个条件，称火的“三要素”条件。

- (1) 存在能燃烧的物质；
- (2) 有助燃的氧气或氧化剂；
- (3) 有能使可燃物质燃烧的火源。

只要上述三个条件同时出现，并相互接触就能起火。

一般可燃物质接触到火源时都能着火燃烧。但是，有些可燃物质受到水、空气、热、氧化剂或其他物质的作用时，虽未接触到火源也要自行燃烧，这种现象称为自燃。

例如，木材受热在 100°C 以下时主要是蒸发水分，超过 100°C 开始分解可燃气体，伴随着自身放出少量热量。温度到达 $260\sim 270^{\circ}\text{C}$ ，放热量开始增多，即使在外界热源移走后，木材仍能靠自身的发热来提高温度到达燃点。木材也可以在没有外界明火点燃的条件下，由于温度逐渐提高到自己发焰燃烧的温度，即自燃点。这就说明了，为什么木结构靠近炉灶、烟囱，在通风散热条件不好的条件下，天长日久能够自燃的根本原因。

一般可燃物质的自燃点，以摄氏度($^{\circ}\text{C}$)表示。各种可燃物质的自燃点见表1-1。

液体碰到高温，散发出气体，气体一接触火焰即燃烧，这个现象称闪燃。出现闪燃的最低温度称闪点。闪燃出现的时间不长，因为当时燃体蒸发的速度还供不上燃烧的需要，所以很快便把仅有的气体烧光。但是，如果温度继续升高，液体挥发的速度加快，这时再遇到明火便有起火爆炸的危险。所以，闪点的到达是易燃、可燃液体即将起火燃烧的前兆，这对防火来说，具有重要的意义。

各种可燃液体有着不同的闪点温度，而且闪点温度越低，火灾的危险性越大。所以，闪点是作为确定液体火灾危险性主要的依据。现将常见的几种易燃、可燃液体的闪点例举如表1-2。

从表1-2可以看出，许多液体的闪点都是很低的，说明它们的火灾危险性都比较大。为了便于防火管理，有区别地对待不同火灾危险性的液体，以闪点 45°C 为界，将闪点小于或等于 45°C 的液体划为易燃液体，将闪点大于 45°C 的液体划为可燃液体。

我们日常遇到能够引起物质燃烧的情况很多。厂房内堆积着大量易燃、可燃的原料、成品、半成品，在它们周围便有着各种各样的着火源；化工生产设备内流动着大量受高温、高压的易燃、可燃液体，只要管道出现漏洞，喷出来就是火；工地上的生石灰遇水发热能把草袋烧着；家庭中用火做饭、取暖、照明油灯，稍不小心便会起火。总之，由于物质燃烧的性质，一遇适当的条件，便会循着自身内在的规律燃烧或爆炸。这个自然界的客观规律要求我们去了解它，并在建筑设计中针对物质燃烧的条件，采取防火的具体措施。

可燃物质的自燃点

表 1-1

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 珞 璐	150		二 氯 乙 烯	456
	棉 花	150		丁 酸 乙 酯	454
	麻 绒	150		甲 醇	475
	蜡 烛	190		丙 酸 乙 醇	477
	布 匹	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		氟 氢 酸	538
	樟 脑	375		甲 基 吡 啶	537
	萘	475		丙 醇	540
	苯 酚	515		三 聚 乙 醛	541
	对 甲 酚	559		氯 苯	550
	苯 酚	574		乙 苯	553
	有 机 玻 璃	626		甲 苯	552
	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	190	苯	580	
	丁 烯 醛	232	冰 醋 酸	599	
	缩 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	硫 化 氢	260	
	重 油	300	石 油 气	356	
	二 乙 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	543	
	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	氫	850	
			气 体 物 质		

液体的闪点

表 1-2

液体名称	闪点 (°C)	液体名称	闪点 (°C)
石油醚	-50	吡啶	+20
汽油	-53~+10	丙酮	-20
二硫化碳	-45	苯	-14
乙醚	-45	醋酸乙酯	+1
氯乙烷	-38	甲苯	+1
二氯乙烷	+21	甲醇	+7

第二节 火灾的发展和蔓延

一、火灾的发展过程

经分析国内外火灾实例,按其特点,可将火灾发展的过程分为三个阶段。

第一阶段是火灾初起阶段,当时的燃烧是局部的,火势不够稳定,室内的平均温度不高。第二阶段是火灾发展到猛烈燃烧的阶段,这时燃烧已经蔓延到整个房间,室内温度升高到1000℃左右,燃烧稳定,难于扑灭。最后进入第三阶段,即衰减熄灭阶段,这时室内可以燃烧的物质已经基本烧光,燃烧向着自行熄灭的方向发展。

建筑防火就是和火灾发展过程的第一阶段和第二阶段发生关系。需要针对火灾发展阶段的特点,采取限制火势发展或抵制火势直接威胁的种种保护措施。

例如火灾初起阶段的时间,根据具体条件,可能在5~20min之间。这时的燃烧是局部的,火势发展不稳定,有中断的可能。根据这一特点,我们应该设法争取及早发现,把火势及时控制和消灭在起火点。为此,就要安装和配备适当数量的灭火设备,提供及时发现和报警的条件。为了限制火势发展要考虑在可能起火的部位尽量少用或不用可燃材料,或在易于起火并有大量易燃物品部位的上空设置排烟窗,这样起火后,炽热的火焰或烟气可由上部排除,燃烧面积就不会扩大,可降低火灾发展蔓延的危险性。

火灾发展到第二阶段,室内的物体都在猛烈燃烧,这阶段的延续时间与起火原因无关,而主要决定于燃烧物质的数量和通风条件。

为了减少火灾损失,针对火灾发展第二阶段温度高、时间长的特点,建筑设计的任务就是要设置防火分隔物(防火墙、防火门、耐火顶棚等),把火限制在起火部位,使火势不能向外蔓延;并适当地选用耐火时间较长的建筑结构,使结构在猛烈的火焰作用下,保持其应有的强度的稳定,直到消防人员到达把火熄灭。而且要求建筑物的主要承重构件不会遭到致命的损害,便于修复继续使用。

火灾发展的第三阶段,火势走向熄灭。室内可供燃烧的物质减少,门窗破坏,木结构的屋顶烧穿,温度逐渐下降,直到室内外的温度平衡,把全部可燃物烧光为止。这是假设火灾时不进行抢救的情况,对防火已无意义。

二、火势蔓延途径

火势蔓延是通过热的传播。

在起火的建筑物内,火由起火房间转移到其他房间的过程,主要是靠可燃构件的直接延烧、热的传导、热辐射和热的对流进行扩大蔓延的。

热的传导，即物体一端受热，通过物体热分子的运动，把热传到另一端。例如，水暖工在顶棚下面用喷灯烘烤由闷顶内穿出来的暖气管道，在没有采取安全措施的条件下，经常会使顶棚上的保温材料自燃起火，这往往是钢管热传导的结果。

热辐射，即热由热源以电磁波的形式直接辐射到周围物体上。在烧得很旺的火炉旁边能把湿的衣服烤干，如果靠得太近，还可能把衣服烧着。在火场上，起火建筑物也像火炉一样，能把距离较近的建筑物内的可燃物质烤着燃烧，这就是热辐射的作用。

热的对流，是炽热的燃烧产物（烟气）与冷空气之间相互流动的现象。因为烟带有大量的热，并以火舌的形式向外伸展出去。热烟流动的原因，是因为热烟的比重小，正像油浮在水面上一样，向上升腾，与四周的冷空气形成对流。起火时，烟从起火房间的窗口排到室外，或经内门流向走道，窜到其他房间，并通过楼梯间向上流到屋顶。火场上火势发展的规律表明，浓烟流窜的方向，往往就是火势蔓延的途径。特别是混有未完全燃烧的可燃气体或可燃液体、蒸气的浓烟，窜到离起火点很远的地方，重新遇到火源，便瞬时爆燃，使建筑物全面起火燃烧。例如剧院舞台起火后，当舞台与观众厅顶棚之间没有设置防火分隔墙时，烟或火舌便从舞台上空直接进入观众厅的闷顶，使观众厅闷顶全面燃烧，然后再通过观众厅山墙上施工留下的孔洞进入门厅，把门厅的闷顶烧着，这样蔓延下去直到烧毁整个建筑物为止（图1-1）。由此可知热对流对火势蔓延的重要作用。

研究火势蔓延途径，是在建筑物中采取防火隔断，设置防火分隔的根据；也是灭火战斗采取“堵截包围、穿插分割”，最后扑灭火灾的需要。综合火灾实际，可以看出火从起火房间向外蔓延的途径主要有以下几个方面：

1. 外墙窗口

火通过外墙窗口向外蔓延的途径，一方面是火焰的热辐射穿过窗口烤着对面建筑物；另一方面是靠火舌直接向上烧向屋檐或上层。底层起火，火舌由室内经底层窗口穿出，如图1-2所示，从下层窗口向上窜到上层室内，这样逐层向上蔓延，会使整个建筑物起火，这并不是偶然的现象。所以为了防止火势蔓延，要求上、下层窗口之间的距离尽可能大些。要利用窗过梁挑檐、外部非燃烧体的雨篷、阳台等设施，使烟火偏离上层窗口，阻止火势向上蔓延。

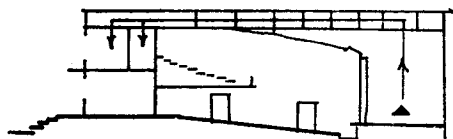


图 1-1 剧场火势蔓延途径
△—起火点；→—火势蔓延途径

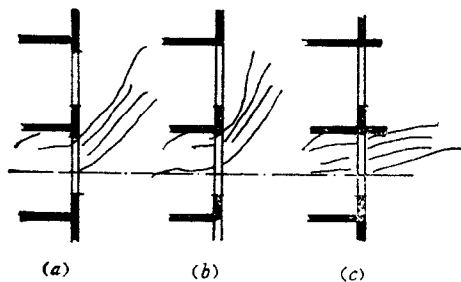


图 1-2 窗口上缘对热气流的影响
(a)窗口上缘较低距上层窗台远；(b)窗口上缘较高距上层窗台近；(c)窗口上缘有挑檐气流偏离上层窗口

热经由墙上的窗口或门口的辐射至隔邻的建筑物及其他可燃物。建筑物之间的距离、建筑物上的门、窗等以及附近的可燃物都能影响燃烧和蔓延（见图1-3）。

2. 内墙门

在起火房间内，当门离起火点较远时，燃烧以热辐射的形式，使木板的受热表面温度

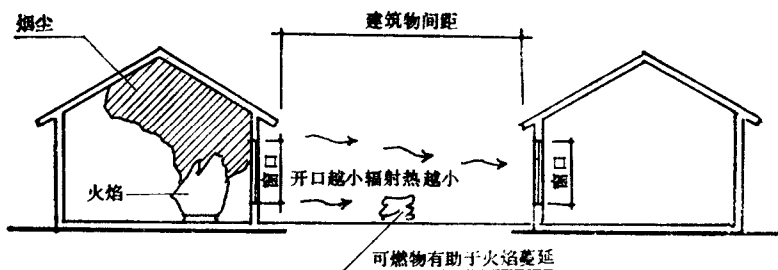


图 1-3 建筑物的辐射途径

升高，直到发火自燃，最后把门烧穿，烟火从门窜到走道，进入相邻房间。所以木板门是房间外围阻火的薄弱环节，是火灾突破外壳窜到其他房间的重要途径之一。

在具有砖墙和混凝土楼板的建筑物内，情况也是一样。燃烧开始时，往往只有一个房间起火，而火最后蔓延到整个建筑物。其原因大多都是因为内墙的门未能把火挡住，火烧穿内门，经走道，再通过相邻房间开敞的门进入邻间，把室内的物品烧着，但如果相邻房间的门关得很严，在走道内没有可燃物的条件下，光靠火舌不易把相邻房间的门烧穿而进入室内。所以内门的防火问题也很重要。

3. 间隔墙

当隔墙为木板时，火很容易地穿过木板的缝隙，窜到墙的另一面，同时木板极易燃烧。板条抹灰墙受热时，内部首先自燃，直到背火面的抹灰层破裂，火才能够蔓延过去。另外，当墙厚度为很小的非燃烧体时，隔壁紧靠墙堆放的易燃物体，可能因为墙的导热和辐射而引起自燃起火。

4. 楼板

由于热气流向上的特性，火总是要通过上层楼板、楼梯口、电梯井或管道井向上蔓延。

火自上而下的使木地板起火的可能性是很小的。只有在辐射热很强或正在燃烧的可燃物落地很多时，木地板才有可能起火燃烧。

5. 空心结构

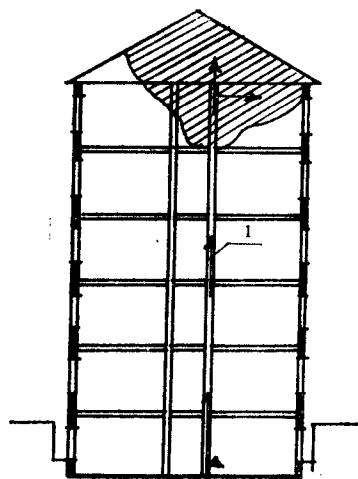


图 1-4 五层楼的火势蔓延途径
△一起火点；1—空心板条墙

在板条抹灰墙木筋的空间、木楼板搁栅间的空间、屋盖空心保温层等结构封闭的空间内（简称空心结构），热气流能把火由起火点带到连通的全部空间，在内部燃烧起来不被觉察。这样的火灾当被人发现后，往往已是难于扑救了。例如，一个五层砖木结构的建筑物起火，起火原因是位于地下室的火炉烤着抹灰的空心板条墙，使内部的木筋燃烧。火由地下室顺着板条抹灰墙的空间，直到第五层才从板条墙里烧到墙外，而其他各层并未发现有火（见图 1-4）。这种现象，常给灭火工作带来很多困难。一方面是难于找到真正的起火点，另一方面是即便发现了起火点，又不易找到燃烧蔓延的部位，所以，很难一次将火全部扑灭，致使建筑物遭到严重破坏。追其根本原因，就是由于建筑物在设计 and 施工时，造成了用燃烧体建造的纵横交错、整体串联封闭的空间。因此，这种结构形式在设计和

施工中应尽可能避免。

6. 楼梯间

由于热气流向上的特性，火总是要通过楼梯间向上层蔓延。如1990年某市的一幢百货大楼二层发生火灾，火焰通过楼梯间迅速向上蔓延，直至四楼，大批可燃商品化为灰烬。因此，楼梯间的防火问题是建筑防火的重要方面。

第三节 建筑材料在高温下的状态

一、建筑材料的燃烧性能

建筑材料受到火烧以后，有的要随着起火燃烧，如纸板、木材；有的只觉火热，是不见火焰的微燃，如含砂石较多的沥青混凝土；有的只见碳化成灰，不见起火的，如油毡和防火处理过的针织品；也有不起火、不微燃、不碳化的砖、石、钢筋混凝土等。按照燃烧性能可将建筑材料分为三类：

(1) 非燃烧材料：是指在空气中受到火烧或高温作用时不起火、不微燃、不碳化的材料，如砖、石、金属材料和其他无机矿物质材料。

(2) 难燃烧材料：是指在空气中受到火烧或高温作用时，难起火、难微燃、难碳化，当火源移走后，燃烧或微燃立即停止的材料。如刨花板和经过防火处理的有机材料。

(3) 燃烧材料：是指在空气中受到火烧或高温作用时，立即起火或微燃，且火源移走后，仍能继续燃烧或微燃的材料，如木材等。

建筑材料在火灾条件下，除了燃烧以外，有的还要随着火灾温度的升高，而降低本身的强度。金属材料虽不燃烧，但在温度升高到某一范围，或者说是到达了某一极限温度值时，强度便大幅度的下降。如钢材在 20°C 时的强度为 $450\text{N}/\text{mm}^2$ ，在 485°C 时为 $278\text{N}/\text{mm}^2$ ，强度几乎降了50%，而到 614°C ，钢材的强度就只有 $70\text{N}/\text{mm}^2$ 了。金属强度随温度变化的情况，详见图1-5所示。

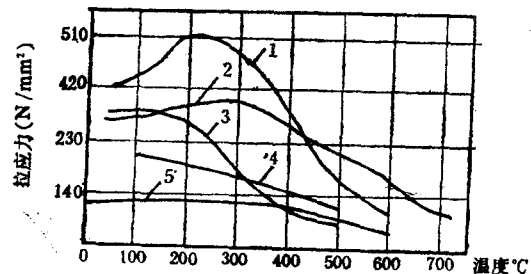


图 1-5 金属强度随温升的变化

1—建筑钢；2—熟铁；3—青铜；4—铜；5—铸铁

为了提高金属结构的耐火性，就必须设法推迟构件达到极限温度的时间，其主要的方法是在构件表面粘贴隔热的保护层。

与金属结构比较，钢筋混凝土结构、砖石结构有着较高的耐火性能。火在短时间内对普通钢筋混凝土和砖石结构的影响不大。但在它们经受高温已经膨胀的表面再受到救火射水的急剧冷却，引起表面收缩，在内胀外缩的情况下，往往使混凝土的表面剥落而使其强度降低，同时，砖墙的抹灰或清水墙在受到长期的高温下表面也会剥落而破坏。

二、建筑材料的耐火性能

现将一些建筑材料的耐火性能介绍如下：

(1) 石棉：耐高温($200\sim 1300^{\circ}\text{C}$)，是一种良好的隔热材料。石棉水泥板，即石棉和水泥混合而成的板材，在均匀受热时，能耐热 $700\sim 750^{\circ}\text{C}$ ，但高温时遇水冷却便立即被破坏。

(2) 花岗石及其他天然石材等：由不同岩石组成的石材，遇高热就开裂。石灰石等单一岩石组成的石材，可耐800~900℃的高温。

(3) 普通粘土砖：承受800~900℃的高温时无显著破坏，遇水急冷的影响也不太大。空心砖因各面受热不均，膨胀不一，容易产生裂缝及表面剥落。

(4) 平玻璃：在700~800℃时软化，900~950℃时溶解。在火灾条件下，大多由于玻璃膨胀，变形受到门窗框的限制，早在250℃左右便开裂，自行破碎。

(5) 钢材：在300~400℃时，强度很快下降，600℃时失去承载能力，高温时遇水冷却也会变形，造成房屋倒塌，所以没有防火保护层的钢结构是不耐火的。

(6) 混凝土：其耐火性主要决定于它的骨料性质。花岗岩骨料混凝土在550℃时，因骨料碎裂而出现裂纹，石灰石骨料混凝土耐火可达700℃，一般来说，因混凝土结构的热容量较大，升温较慢，所以混凝土结构在短时间内不易被烧毁的。

钢筋混凝土是钢筋和混凝土的结合体。温度低于400℃时，两者能够共同受力，温度过高，钢筋变形过大，受力条件受到影响。这与钢筋保护层的厚度有关，保护层厚度大的，耐火时间长。

(7) 砂浆抹灰层：作为结构的保护层，当与结构表面结合牢固，厚达15~20mm时，能使结构的耐火时间延长20~30min。

(8) 硅酸盐砖：是由炉渣、粉煤灰、石灰等加水搅拌蒸气养护而成的。在300~400℃时，开始分解，放出二氧化碳，自身开裂，不是耐火的材料。

(9) 石膏板和石膏块：在高温下能大量吸热，是良好的隔热材料，尤其在天棚中用得比较多，但在高温下易开裂，遇水也易破坏。

(10) 木材：受热后开始蒸发水分，到100℃以后，开始分解可燃气体，放出少量的热。遇明火点燃，便出现火焰起火燃烧。木材的燃点介于240~270℃之间。木材在高温作用下超过400℃以后，达到发火自燃温度，不用明火点燃能自己发火燃烧。

(11) 胶合板：为阔叶树薄板纵横胶结而成，有3、5、7层之分。其燃烧性能与粘合剂有关。使用酚醛树脂，三聚氰胺树脂作粘合剂的，防火性能好，不易燃烧。使用尿素树脂作粘合剂的，因其中掺有面粉，所以防火性能差，易于燃烧。难燃胶合板，是用磷酸铵、硼酸和氰化亚铅等防火剂浸过薄板制造的防火性能好，难燃烧。

(12) 纤维板：燃烧性能取决于胶粘剂。使用无机胶粘剂，得到难燃的纤维板，使用各种树脂作胶粘剂，则随着树脂的不同，得到易燃或难燃的纤维板。

(13) 塑料：为有机合成的高分子物质，叫合成树脂。塑料制品的优点很多，如质轻、耐酸碱、不透水、便于加工成型等，但耐火性能低，如：

1) 耐热性能差，实用的极限温度为60~150℃。在火场上塑料熔化后到处流淌，对营救不利，而且会促使火焰蔓延。

2) 易变形，刚性不足。

3) 发烟量大，在初燃阶段，能放出很浓的烟。起火后多放出缕缕黑烟，程度不同地含有微量氧化氮、氢氰酸、醛、苯、氨等有毒气体或蒸汽。

(14) 木丝板、刨花板：是木丝或刨花与水泥混合，压制而成的。木丝被水泥包裹后，热分解和燃烧受到限制，在270℃左右开始碳化，400℃时化为灰烬。这段时间内的烟不多，而多数为木材分解的可燃气体。

(15) 复合板：是根据质轻、隔热、高强度及经济等条件，设计制造的一种新型板材，是由芯材和面材组成的，芯材为有机的纤维板、泡沫塑料或无机纤维等材料。面材，可根据强度及硬度的要求，选用金属板、石棉水泥板、塑料板等。

从防火要求来说，面材应选用耐火、难燃及导热性差的板材。芯材最好选用难燃、耐热的材料。

第四节 建筑构件的耐火性能

建筑构件是各种建筑材料的复合体，建筑构件的耐火性能与构件的材料有关。在现代建筑中，混凝土构件和各种型钢构件广泛被采用。这些构件在火灾作用下，它的耐火性能如何确定，它的耐火极限受到哪些因素影响，如何确定耐火极限等，这是我们在本节里要叙述的问题。

一、基本概念

建筑构件的耐火性能，通常是指构件的燃烧性能和抵抗火烧的时间（即耐火极限）。

建筑构件的燃烧性能与建筑材料的燃烧性能一样分为三类：第一类是非燃烧构件；第二类是难燃烧构件；第三类是燃烧构件。

所谓非燃烧构件，系指在空气中受到火烧或高温作用时不起火、不微燃、不炭化的材料，用这种材料做成的构件称非燃烧构件，如混凝土、加气混凝土等构件。所谓难燃烧构件，系指在空气中受到火烧或高温作用难于起火、难于炭化的材料做成的构件，称为难燃烧构件，如经过防火处理的木材、刨花板等。所谓燃烧构件，系指在空气中受到火或高温作用时，立即能起火或微燃，并且离开火源后仍能继续燃烧或微燃的材料，用这种材料做成的构件，称为燃烧构件，如木构件等。

建筑构件起火或受热失去稳定而导致破坏，能使建筑物倒塌，造成人身伤亡。为了安全疏散人员，抢救物资和扑灭火灾，要求建筑物具有一定的耐火能力。建筑物的耐火能力称为耐火极限。它的大小取决于建筑构件耐火性能的好坏。

耐火极限，即按研究实验所规定的火灾升温曲线，对建筑构件进行耐火试验，从受到火的作用时起，到失掉支撑能力或发生穿透裂缝或背火一面温度升高到 220°C 止的时间，这段时间称为耐火极限，用小时（h）表示。

火灾升温曲线，即代表火灾时室内火灾温度与延续时间之间的关系曲线。实际的火灾温度曲线是从正常的室温开始，经过火灾初起、发展稳定与衰减熄灭三个发展阶段又回到正常温度。每次火灾的升温曲线都因起火燃烧的条件不同，而有不同的火灾升温曲线。为了实验目的，各国都规定了标准时间-温度曲线（即火灾升温曲线）以控制实验的温度（如图1-6）。

其中把发生穿透裂缝和背火面温度升高到 220°C 作为界限，主要是因为构件上如果出现穿透裂缝，火能通过裂缝蔓延，或者是构件背火面的温度到达 220°C ，这时虽然没有火焰过去，但这样的温度已经能够使靠近构件背面的纤维制品自燃。这三个条件只要达到任何一个条件，就可认为该构件达到了耐火极限。

建筑构件耐火极限三个条件的作用确定如下：

（一）关于失去承载能力问题

主要是指构件在火焰或高温作用下，受到破坏而引起建筑物局部或全部破坏。如钢屋

架、钢梁、钢柱等无保护层的金属承重构件，这类构件一般在 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 时，其强度开始迅速下降，在 500°C 左右，其强度下降到 $40\%\sim 50\%$ ，很快变形，以致失去支持能力。我们常常看到钢结构建筑，在熊熊烈火燃烧下，很快塌落，形成“面条”，就是这个缘故。

(二) 构件发生穿透裂缝

主要是指构件在火焰或高温作用下，火焰穿过构件，使其背火面可燃物燃烧起火。例如，木板隔墙，当受到火烧时，火焰很容易穿过木板的缝隙，窜到板壁另一面，迅速发生燃烧；又如板条抹灰墙，在火烧或高温作用下，内部可燃物首先自燃，到一定时候，背火面的抹灰层龟裂脱落，火焰穿过去，引起燃烧起火；等等。如有座建筑物的一个房间起火，这个房间与相邻房间的隔墙为木骨架两面钉石棉水泥板，在熊熊烈火直接燎烤这堵间隔墙时，板缝很快因变形扩大，火焰迅速从多处缝隙窜了过去，将相邻房间大量可燃物烧着，引起一场大火。

(三) 背火面的温度

背火面温度升高到 220°C ，是指建筑构件在火烧或高温作用下，其背火面温度升高 220°C 时，在一定时间内和一定条件下，能使一些自燃点较低的可燃物（如棉花、纸张等），从烤焦到燃烧起火。例如，有一座楼房的防火墙，在其门洞上装设薄壁型钢骨架，外包薄钢板的金属门（未达到防火墙上的防火门耐火极限要求），该门平时关闭，而门的两旁堆放着大量包装纸盒和木箱，由于强烈的火焰烧着这扇金属门，很快又把背火面房间堆放的纸盒和木箱燎烤炭化而迅速起火。

了解和掌握确定建筑构件耐火极限的条件，对制订建筑火灾后的建筑修复方案也颇有帮助。因为目前兴建的建筑，其主体结构基本上是采用各种混凝土结构，这种结构火灾时不易受到全部破坏、倒塌，只是室内装修、设备被烧损，因而为修复使用创造有利条件。如有座高层建筑起火，为了给制定修复方案提供科学依据，就组织有关设计、科研和施工部门，对受火烧的建筑构件进行模拟试验，从中分析其失去支持能力的原因和具体数据，并根据试验数据，分别不同情况，采取有效补强措施，以确保使用安全。

二、建筑构件的耐火极限

试验和火灾实例都说明，建筑构件抵抗火烧时间的长短，与构件的厚度或截面尺寸或保护层厚薄等有着密切关系（见图1-7）。一般来说，相同条件的受压构件，其厚度或截面尺寸愈大（钢柱与保护层厚度有关），则耐火极限也愈高。同样，相同条件的混凝土或型钢受弯构件，其防火保护层愈厚，则耐火极限也愈高。现分别举例说明如下。

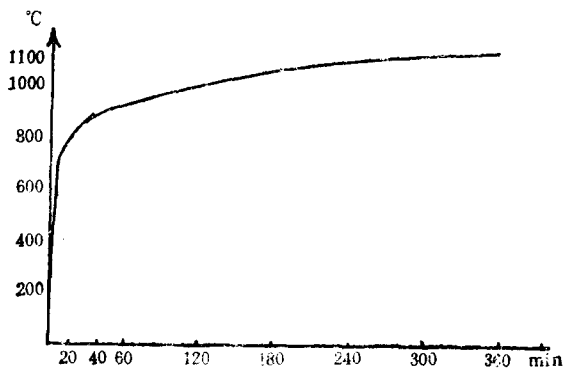


图 1-6 标准时间-温度曲线

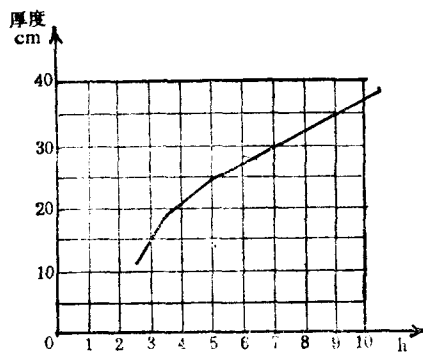


图 1-7 构件厚度与耐火极限的关系