

张吉光 史自强 崔红社 编著

高层建筑和地下建筑 通风与防排烟

GAOCENG JIANZHU HE DIXIA JIANZHU
TONGFENG YU FANGPAIYAN



中国建筑工业出版社
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

高层建筑和地下建筑 通风与防排烟

张吉光 史自强 崔红社 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高层建筑和地下建筑通风与防排烟/张吉光等编著

北京: 中国建筑工业出版社, 2005

ISBN 7-112-07119-4

I. 高... II. 张... III. ①高层建筑—通风②高层建筑—烟道③地下建筑物—通风④地下建筑物—烟道
IV. ①TU976②TU96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 004212 号

本书介绍了高层建筑和地下建筑的分类与建筑火灾特点、建筑防火对策、烟的性质和危害、建筑物内烟的流动规律和烟气控制的相关知识。系统地介绍了高层建筑、非高层建筑的大面积房间、地下建筑、地下停车场、隧道等工程的通风与防排烟要求, 阐述了各类建筑的防排烟设计方法。

* * *

责任编辑: 姚荣华

责任设计: 崔兰萍

责任校对: 李志瑛 赵明霞

高层建筑和地下建筑通风与防排烟

张吉光 史自强 崔红社 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

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15 1/4 插页: 2 字数: 368 千字

2005 年 3 月第一版 2005 年 3 月第一次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 30.00 元

ISBN 7-112-07119-4

TU·6350(13073)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

随着我国经济建设的迅速发展,人们生活水平不断提高,但城市用地日益紧张,因而促进了高层建筑和地下建筑的发展。国内外许多高层建筑和地下建筑火灾的经验教训告诉我们,如果在高层建筑设计中,对防火设计缺乏考虑或考虑不周密,一旦发生火灾,会造成严重的伤亡事故和经济损失。由于管理和设计等多方面的原因,近几年出现建筑火灾的情况增多,人员伤亡增加,经济损失很大。

在建筑防排烟工程的设计、审核时,相关人员主要依据现行《建筑设计防火规范》、《高层民用建筑设计防火规范》、《人民防空工程设计防火规范》、《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》、上海市工程建设规范《民用建筑防排烟技术规程》等的相关条款作为标准。其中有一些条款仅作了原则性的规定,不易把握,具体进行设计时各个设计院甚至每个人对规范的理解不同,设计防排烟工程时,时常出现不合理的情况。

本书系统地介绍了高层建筑、非高层建筑的大面积房间、地下建筑、地下停车场、隧道等工程的火灾和烟气流动特点,对各种建筑的防排烟要求和防排烟设计进行了系统地阐述,汇总了相关资料,便于使用。

本书共分7章,第1章介绍高层建筑分类与建筑火灾特点、建筑防火对策、烟的性质和危害、建筑物内烟的流动规律和烟气控制的相关知识。第2章介绍高层建筑防火排烟的基本概念,高层建筑的防火分区、防烟分区和排烟设计,并介绍了高层建筑的中庭排烟的特殊问题,介绍了高层建筑机械加压送风防烟系统的设计要求和设计方法,比较了《高层民用建筑设计防火规范》和上海市工程建设规范《民用建筑防排烟技术规程》规定的楼梯间和前室加压送风计算方法的异同,介绍了通风与空气调节系统的防火措施,非高层建筑大面积房间的防排烟设计。第3章介绍防排烟设备,包括防火阀、排烟阀与排烟风口、排烟风机等的要求和性能参数。第4章介绍地下建筑的定义与分类、地下建筑火灾的特点。第5章介绍一般地下建筑通风与防排烟设计、地下车库的通风与防排烟设计、诱导器通风的应用和设计。第6章介绍隧道通风系统特点、通风量计算、通风方式选择、通风系统和排烟设计及实例。第7章介绍了上海环球金融中心大厦防排烟模拟试验的背景和实验结果,为超高层建筑的防排烟设计提供参考资料。

本书由张吉光撰写第1、2、3章并负责全书统稿,史自强撰写第4、5章,崔红社撰写第6、7章。

本书可作为建筑环境与设备工程(暖通)专业和防火设计的相关技术人员进行通风与防排烟工程设计时的参考资料,亦可作为建筑环境与设备工程(暖通)专业有关课程的教材。

在本书的编写过程中,得到了许多同行专家的支持和帮助,并参阅了许多国内外公开发表的有关专业书籍和文献资料,引用了部分工程实例,在此表示感谢。

由于作者水平所限和时间的原因为,书中可能有偏颇或错误之处,望同行、读者指正。

目 录

第 1 章 基本知识	1
1.1 高层建筑分类与建筑火灾特点	1
1.1.1 常用术语	1
1.1.2 高层建筑分类	3
1.1.3 几个名词解释	4
1.1.4 高层建筑火灾特点	5
1.2 建筑火灾的蔓延	6
1.2.1 建筑火灾的蔓延方式	6
1.2.2 建筑火灾的蔓延途径	7
1.3 建筑防火对策	9
1.3.1 建筑火灾的发展过程与消防	9
1.3.2 建筑防火综合措施	12
1.4 烟的性质和危害.....	14
1.4.1 烟的性质.....	14
1.4.2 烟气的危害	18
1.5 建筑物内烟的流动.....	20
1.5.1 火源上的火焰气流	20
1.5.2 开口处的烟气流动	21
1.5.3 建筑物内烟气流动特性	23
1.6 烟气控制的预测.....	25
1.6.1 火灾房间烟层下降的预测模型	25
1.6.2 烟流的控制	29
第 2 章 高层建筑防排烟设计	33
2.1 防排烟系统概述.....	33
2.1.1 火灾时高层建筑内的烟气流动特点	33
2.1.2 高层建筑防火排烟的基本概念	34
2.1.3 高层建筑的防火分区、防烟分区和排烟	36
2.2 自然排烟.....	38
2.2.1 自然排烟的设计要点	38
2.2.2 自然排烟口的设置	40
2.3 机械排烟.....	41
2.3.1 机械排烟方式和系统组成.....	41
2.3.2 机械排烟系统的设计要求.....	42

2.3.3	机械排烟量的计算	42
2.3.4	排烟系统	43
2.3.5	排烟口的设计要求	44
2.3.6	排烟风机的设计要求	46
2.3.7	排烟风道的设计要求	48
2.3.8	机械排烟系统设计其他应注意的问题	49
2.3.9	机械排烟系统控制程序	51
2.4	高层建筑的中庭排烟问题	52
2.4.1	中庭的防火排烟要求	52
2.4.2	中庭的防排烟方式	54
2.4.3	中庭防排烟设计实例	58
2.5	机械加压送风防烟系统	59
2.5.1	机械加压送风防烟设施设置部位	60
2.5.2	机械加压送风防烟系统的设计要求	62
2.5.3	机械加压送风防烟系统的设计	63
2.6	防排烟方式的选择	74
2.7	通风与空气调节系统的防火	76
2.7.1	在必要位置设置防火阀	76
2.7.2	合理布置通风空调系统	76
2.7.3	垂直排风管道应采取防止回流的措施	78
2.7.4	严格选取设备及风管材料	78
2.7.5	注意防爆问题	79
2.8	超高层建筑的防排烟	79
2.8.1	超高层建筑烟控设计研究	79
2.8.2	正压风道均匀送风设计	83
2.9	非高层建筑大面积房间的防排烟	87
2.9.1	非高层建筑大面积房间的防排烟	87
2.9.2	大面积空间防烟分区的划分与系统排烟量	88
2.10	机械防排烟的控制程序	89
2.11	工程实例	92
2.11.1	静安希尔顿工程	92
2.11.2	上海环球金融中心防排烟工程设计	93
2.12	设计常用防排烟系统原理图	106
第3章	防排烟设备	107
3.1	防火阀与排烟风口	107
3.1.1	防火阀	107
3.1.2	排烟阀	108
3.1.3	排烟风口	109
3.1.4	加压送风口	114

3.1.5 电动防火阀、电动防烟防火阀	115
3.1.6 余压阀	116
3.2 排烟风机	116
第4章 地下建筑分类及火灾特点	142
4.1 地下建筑的分类与建筑特点	142
4.1.1 地下建筑的分类	143
4.1.2 地下建筑的建筑特点	143
4.2 地下建筑的火灾特点	145
4.2.1 地下建筑火灾时的燃烧特点	146
4.2.2 地下建筑火灾时烟气流动的特点	146
4.2.3 地下建筑火灾的发展与蔓延	147
4.2.4 地下建筑火灾时的疏散	147
4.2.5 地下建筑的火灾特点	148
第5章 一般地下建筑与地下车库的通风与防排烟设计	152
5.1 地下建筑的防排烟措施	152
5.1.1 地下建筑防排烟措施	152
5.1.2 地下建筑排烟措施	153
5.1.3 地下建筑防排烟方式的选择	154
5.2 一般地下建筑的防排烟设计	156
5.2.1 防烟分区的划分	156
5.2.2 防排烟设施的设置范围	157
5.2.3 防排烟风量的计算	158
5.3 地下车库的通风与防排烟设计	159
5.3.1 地下车库通风与防排烟系统的设计原则	159
5.3.2 地下车库通风量与排烟量的确定	160
5.3.3 常用的地下车库通风与排烟系统	162
第6章 地下隧道的通风	165
6.1 概述	165
6.2 道路沉管隧道通风设计的基础资料调查	167
6.2.1 交通调查—确定每小时通过隧道的交通量	167
6.2.2 气象调查	167
6.2.3 当地条件和环境调查	167
6.3 道路地下隧道通风系统设计	167
6.3.1 通风系统设计的技术路线	167
6.3.2 设计条件的设定及确认	167
6.4 通风量的计算	169
6.4.1 有害气体及烟雾发生量	169
6.4.2 CO及烟雾浓度容许标准	169
6.4.3 通风量计算	170

6.4.4 通风量计算实例	175
6.5 通风方式选择	176
6.5.1 通风方式选择原则	176
6.5.2 自然通风方式	176
6.5.3 机械通风的纵向通风方式	178
6.5.4 机械通风的半横向通风方式	185
6.5.5 全横向通风方式	197
第7章 上海环球金融中心大厦防排烟模拟试验	202
7.1 背景介绍	202
7.2 防排烟模拟实验	202
7.2.1 防排烟模拟试验概况	202
7.2.2 上海环球金融中心防排烟模拟实验	203
7.2.3 烟层高度、烟层温度、压力差随时间的变化	211
附录一 《民用建筑防排烟技术规程》(DG J08—88—2000)	215
附录二 风管防火阀的设置	232
 主要参考文献	 235

第1章 基本知识

随着国家经济建设的迅速发展和改革开放的深入,各项事业兴旺发达,人们生活水平不断提高,但城市用地日益紧张,因而促进了高层建筑的发展。

国内外许多高层建筑火灾的经验教训告诉我们,如果在高层建筑设计中,对防火设计缺乏考虑或考虑不周密,一旦发生火灾,会造成严重的伤亡事故和经济损失,对特大的火灾事故,还会引起人们恐慌,严重威胁城市公共安全。

1980年美国27层的米高梅饭店火灾,烧死84人,烧伤679人。1988年元旦,泰国曼谷第一酒店发生火灾,大火燃烧了三个多小时,熊熊烈火吞噬了整个大楼内的可燃装修、家具、陈设等,经济损失十分惨重,烧死13人,烧伤81人。

我国有不少城市建造的高层建筑,由于防火设计考虑不周,存在许多潜在火灾隐患,同时大火屡有发生。1985年4月19日,哈尔滨市天鹅饭店第十一层楼发生火灾,烧毁客房6间,烧坏12间,走道吊灯大部分被烧毁,家具、陈设也被大火吞噬,死亡10人,受伤7人,经济损失250万余元。

1990年1月10日,新疆奎屯市商贸大厦发生火灾,大火燃烧了6小时,全大楼的百货商品化为灰烬,经济损失达700万元。

1991年5月28日,大连市的大连饭店,因其走廊聚氨酯泡沫板被灯泡表面高温烤着起火,烧死5人,烧伤19人,烧毁建筑面积为2200m²,经济损失62万余元。

1992年3月21日,沈阳市21层(高80m)的金三角大厦起火,烧毁各种灯具和装饰材料,直接经济损失约43万余元。

1995年4月24日,新疆乌鲁木齐凤凰时装城录像厅发生特大火灾,该建筑共五层,失火的录像厅位于第二层(无窗),造成52人死亡,其中烧死4人,中毒死亡48人。

许多火灾事例表明烟气是造成火灾中人员伤亡最主要的原因之一,因此,控制好火灾烟气对于提高建筑抵御火灾和保障人员安全的能力显得尤为重要。

1.1 高层建筑分类与建筑火灾特点

1.1.1 常用术语

为了便于理解以后所叙述的内容,首先对一些常用术语作简要介绍。

(1) 裙房(skirt building):与高层建筑相连的建筑高度不超过24m的附属建筑。与高层建筑相连的建筑高度超过24m的附属建筑按高层建筑对待。

(2) 建筑高度(building altitude):建筑高度系指高层建筑室外地面到其檐口或屋面面层的高度。屋顶上的瞭望塔、水箱间、电梯机房、排烟机房和楼梯出口小间等不计入建筑高度和层数内。

(3) 耐火极限(duration of fire resistance):建筑构件按时间—温度标准曲线进行耐

火试验，从受到火的作用时起，到失去支持能力或完整性被破坏或失去隔火作用时止的这段时间，用小时表示。

(4) 不燃烧体 (non-combustible component)：用不燃烧材料做成的建筑构件。

(5) 难燃烧体 (hard-combustible component)：用难燃烧材料做成的建筑构件或用燃烧材料做成而用不燃烧材料做保护层的建筑构件。

(6) 燃烧体 (combustible component)：用燃烧材料做成的建筑构件。

(7) 综合楼 (multiple-use building)：由两种及两种以上用途的楼层组成的公共建筑。综合楼组合形式多种多样，常见的形式为：若干层作商场，若干层作写字楼层（办公用），若干层作高级公寓；如若干楼层作办公室、若干层作旅馆，若干层作车间、仓库；又如若干层作银行，经营金融业务，若干层作旅馆，若干层作办公室，等等。

(8) 商住楼 (business-living building)：底部商业营业厅与住宅组成的高层建筑。商住楼目前发展较多而快，如广东深圳特区在临街的高层建筑中，有不少为商住楼，其他沿海、内地城市也较多。

(9) 网局级电力调度楼 (large-scale power dispatcher's building)：可调度若干个省（区）电力业务的工作楼。如中南电力调度楼、华北电力调度楼、东北电力调度楼等。

(10) 高级旅馆 (high-grade hotel)：所谓高级旅馆，指建筑标准高、功能复杂，火灾危险性较大，并且设有空气调节系统，具体地说，凡具备星级条件的且设有空气调节系统的旅馆是高级旅馆。

(11) 高级住宅 (high-grade residence)：建筑装修标准高和设有空气调节系统的住宅。如何掌握这些原则呢？一是看装修复杂程度，二是看是否有满铺地毯，三是看家具、陈设高档与否，四是设有空调系统。四者均具备，应视为高级住宅，如北京的京广大厦中的公寓、广州的中国大酒店公寓楼等。

(12) 重要的办公楼、科研楼、档案楼 (important office building、laboratory、archive)：性质重要，建筑装修标准高，设备、资料贵重，火灾危险性大，发生火灾后损失大、影响大的办公楼、科研楼、档案楼。对于评定重要的办公楼、科研楼、档案楼，总的原则是性质重要（有关国防、国计民生的重要科研、贵重物品存放楼等）、建筑装修标准高（与普通建筑相比，造价相差悬殊），设备、资料贵重（主要指高、精、尖的设备，重要资料主要是指机密性大、价值高的资料）。火灾危险性大，发生火灾后损失大、影响大。一般来说，可燃物多，火源或电源多，发生火灾后也容易造成损失大、影响大的后果，因此，必须作为重点保护。

(13) 半地下室 (semi-basement)：房间地平面低于室外地平面的高度超过该房间净高 $1/3$ ，且不超过 $1/2$ 者。

(14) 地下室 (basement)：房间地平面低于室外地平面的高度超过该房间净高一半者。

(15) 安全出口 (safety exit)：保证人员安全疏散的楼梯或直通室外地平面的出口。

(16) 挡烟垂壁 (hang wall)：用不燃烧材料制成，从顶棚下垂不小于 500 mm 的固定或活动的挡烟设施。活动挡烟垂壁系指火灾时因感温、感烟或其他控制设备的作用，自动下垂的挡烟垂壁。国内合资工程或独资工程有采用的，如北京市的长富宫饭店，采用铝丝玻璃做挡烟垂壁。国外如东京、大阪、横滨的高层公共建筑中，有些采用铝丝玻璃、不锈

钢薄板等做挡烟垂壁。挡烟垂壁的自动控制，主要指平时固定在吊顶平面上，与火灾自动报警系统联动，当发生火灾时，感温或感烟或其他控制设备的作用，就自动下垂，起阻挡烟气作用，为安全疏散创造有利条件。

1.1.2 高层建筑分类

在高层民用建筑设计中，必须遵守国家的有关方针、政策和“预防为主、防消结合”的方针，针对高层建筑的火灾特点，从全局出发，结合实际情况，积极采用可靠的防火措施，保障消防安全。现行《高层民用建筑设计防火规范》（GB 50045—95）（2001 版）^[1]（以下简称《高规》）适用于下列新建、扩建和改建的高层建筑及其裙房：

- (1) 十层及十层以上的居住建筑（包括首层设置商业服务网点的住宅）；
- (2) 建筑高度超过 24m 的公共建筑。

《高规》不适用于单层主体建筑高度超过 24m 的体育馆、会堂、剧院等公共建筑以及高层建筑中的人民防空地下室。单层主体建筑高度超过 24m 的体育馆、会堂、剧院等公共建筑，这类建筑空间大，容纳人数多，防火要求不同。附建和单建的人民防空工程地下室的设计及其防火设计，可分别按照现行的国家标准《人民防空地下室设计规范》（GB 50038—94）及《人民防空工程设计防火规范》（GB 50098—98）进行设计。

根据各种高层民用建筑的使用性质、火灾危险性、疏散和扑救难易程度等将高层民用建筑分为两类，其分类的目的是为了针对不同高层建筑类别在耐火等级、防火间距、防火分区、安全疏散、消防给水、防烟、排烟等方面分别提出不同的要求，以达到既保障各种高层建筑的消防安全，又能节约投资的目的。从消防的角度将性质重要、火灾危险性大、疏散和扑救难度大的高层民用建筑定为一类。这类高层建筑有的同时具备上述几方面的因素，有的则具有较为突出的一、两个方面的因素。例如医院病房楼不计高度皆划为一类，它是因为病人行动不便，疏散困难的特点来决定的。《高规》规定的分类条件见表 1-1。高层建筑的耐火等级应分为一、二两级，其建筑构件的燃烧性能和耐火极限不应低于表 1-2 的规定。

建 筑 分 类 表 1-1

名称	一 类	二 类
居住建筑	高级住宅 十九层及十九层以上的普通住宅	十层至十八层的普通住宅
公共建筑	1. 医院 2. 高级旅馆 3. 建筑高度超过 50m 或每层建筑面积超过 1000m ² 的商业楼、展览楼、综合楼、电信楼、财贸金融楼 4. 建筑高度超过 50m 或每层建筑面积超过 1500m ² 的商住楼 5. 中央级和省级（含计划单列市）广播电视楼 6. 局级和省级（含计划单列市）电力调度楼 7. 省级（含计划单列市）邮政楼、防灾指挥调度楼 8. 藏书超过 100 万册的图书馆、书库 9. 重要的办公楼、科研楼、档案楼 10. 建筑高度超过 50m 的教学楼和普通的旅馆、办公楼、科研楼、档案楼等	1. 除一类建筑以外商业楼、展览楼、综合楼、电信楼、财贸金融楼、商住楼、图书馆、书库 2. 省级以下的邮政楼、防灾指挥调度楼、广播电视楼、电力调度楼 3. 建筑高度不超过 50m 的教学楼和普通的旅馆、办公楼、科研楼、档案楼等

建筑构件的燃烧性能和耐火极限		表 1-2	
燃烧性能和耐火极限 (h) 构 件 名 称		耐 火 等 级	
		一 级	二 级
墙	防火墙	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00
	承重墙、楼梯间、电梯井和住宅单元之间的墙	不燃烧体 2.00	不燃烧体 2.00
	非承重外墙、疏散走道两侧的隔墙	不燃烧体 1.00	不燃烧体 1.00
	房间隔墙	不燃烧体 0.75	不燃烧体 0.50
柱		不燃烧体 3.00	不燃烧体 2.50
梁		不燃烧体 2.00	不燃烧体 1.50
楼板、疏散楼梯、屋顶承重构件		不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00
吊顶		不燃烧体 0.25	难燃烧体 0.25

一类高层建筑的耐火等级应为一级，二类高层建筑的耐火等级不应低于二级。裙房的耐火等级不应低于二级。高层建筑地下室的耐火等级应为一级。二级耐火等级的高层建筑中，面积不超过 100m² 的房间隔墙，可采用耐火极限不低于 0.50h 的难燃烧体或耐火极限不低于 0.30h 的不燃烧体。二级耐火等级高层建筑的裙房，当屋顶不上人时，屋顶的承重构件可采用耐火极限不低于 0.50h 的不燃烧体。

1.1.3 几个名词解释

(1) 防烟楼梯间

一类建筑和除单元式和通廊式住宅外的建筑高度超过 32m 的二类建筑以及塔式住宅，均应设防烟楼梯间，具体规定如下：

- 1) 楼梯间入口处应设前室、阳台或凹廊。
- 2) 前室的面积，公共建筑不应小于 6m²，居住建筑不应小于 4.5m²。
- 3) 前室和楼梯间的门均应为乙级防火门，并应向疏散方向开启。

高层建筑的裙房和除单元式建筑和通廊式住宅外的建筑高度不超过 32m 的二类建筑，可以只设封闭楼梯间，具体规定详见主要参考文献 [1]。

(2) 疏散通道

是指当火灾发生时，人员从房间经走道到前室再进入防烟楼梯间的消防通路。此外，国外也有利用消防电梯作为人员逃生的垂直疏散通道。

(3) 消防电梯

普通电梯的平面布置，一般都敞开在走道或电梯厅，且无防烟、防水等措施，发生火灾时必须停止使用。高度超过 24 m 的一类公共建筑、十层及十层以上的塔式住宅、十二层及十二层以上的单元式住宅和通廊式住宅、高度超过 32 m 的二类建筑都必须设置消防电梯。消防电梯平时可与普通电梯兼用，发生火灾时，仅供消防队员登高扑救火灾使用。因此，其设置必须遵循有关规范规定，详见主要参考文献 [1]。

(4) 前室

防烟楼梯间或消防电梯的入口处均应设有一小室，称为前室。发生火灾时，前室可起一定的防烟作用；还可以使不能同时进入楼梯间的人在前室内短暂停留，以减缓楼梯间的拥挤程度；此外，还在一定程度上削弱楼梯间或电梯井的烟囱效应。有时防烟楼梯间与消

防电梯的入口处共用一个小室，称为合用前室。

(5) 避难层

避难层是发生火灾时，人员逃避火灾威胁的安全场所，建筑高度超过 100m 的公共建筑，一旦遇有火灾，要将建筑物内的人员完全疏散到室外比较困难，此时应在建筑物内部设置避难层（或避难间）。《高规》规定：建筑高度超过 100m 的公共建筑，应设置避难层（间），并应符合下列要求：

- 1) 避难层的设置，自高层建筑首层至第一个避难层或两个避难层之间，不宜超过 15 层。
- 2) 通向避难层的防烟楼梯应在避难层分隔、同层错位或上下层断开，但人员均必须经避难层方能上下。
- 3) 避难层的净面积应能满足设计避难人员避难的要求，并宜按 5.00 人/m^2 计算。
- 4) 避难层可兼作设备层，但设备管道宜集中布置。
- 5) 避难层应设消防电梯出口。
- 6) 避难层应设消防专线电话，并应设有消火栓和消防卷盘。
- 7) 封闭式避难层应设独立的防烟设施。
- 8) 避难层应设有应急广播和应急照明，其供电时间不应小于 1.00h，照度不应低于 1.00 lx 。

1.1.4 高层建筑火灾特点

高层建筑的火灾具有下列特点：

(1) 火势蔓延快。高层建筑的楼梯间、电梯井、管道井、风道、电缆井、排气道等竖向井道，如果防火分隔或防火处理不好，发生火灾时好像一座座高耸的烟囱，成为火势迅速蔓延的途径，尤其是高级旅馆、综合楼以及重要的图书楼、档案楼、办公楼、科研楼等高层建筑，一般室内装修、家具等可燃物较多，有的高层建筑还有可燃物品库房，一旦起火，燃烧猛烈，容易蔓延。据测定，在火灾初起阶段，因空气对流，在水平方向造成的烟气扩散速度为 0.3 m/s ，在火灾燃烧猛烈阶段，由于高温状态下的热对流而造成的水平方向烟气扩散速度为 $0.5 \sim 3 \text{ m/s}$ ；烟气沿楼梯间或其他竖向管井扩散速度为 $3 \sim 4 \text{ m/s}$ 。如一座高度为 100m 的高层建筑，在无阻挡的情况下，半分钟左右，烟气就能顺竖向管井扩散到顶层。例如，韩国汉城 22 层的“大然阁”旅馆，二楼咖啡间的液化石油气瓶爆炸起火，烟火很快蔓延到整个咖啡间和休息厅，并相继通过楼梯和其他竖向管井，迅速向上蔓延，顷刻之间全楼变成一座“火塔”。大火烧了约 9 个小时，烧死 163 人，烧伤 60 人，烧毁大楼内全部家具、装修等，造成了严重损失。助长火势蔓延的因素较多，其中风对高层建筑火灾就有较大的影响。因为风速是随着建筑物的高度增加而相应加大的，据测定，在建筑物 10m 高处的风速为 5 m/s ，在 30m 高处的风速为 8.7 m/s ，在 60m 高处的风速为 12.3 m/s ，在 90m 高处的风速为 15.0 m/s 。由于风速增大，势必会加速火势的蔓延。

(2) 疏散困难。高层建筑的特点：一是层数多，垂直距离长，疏散到地面或其他安全场所的时间也会长些；二是人员集中；三是发生火灾时由于各种竖井拔气力大，火势和烟雾向上蔓延快，增加了疏散的困难。虽然有些城市从国外购置了为数很有限的登高消防车，但大多数建有高层建筑的城市尚无登高消防车，即使有，高度也不高，不能满足高层建筑安全疏散和扑救的需要。因普通电梯在火灾时由于切断电源等原因往往停止运转，多

数高层建筑安全疏散主要靠楼梯，而楼梯间内一旦窜入烟气，就会严重影响疏散。这些，都是高层建筑的不利条件。

(3) 扑救难度大。高层建筑高达几十米，甚至超过二三百米，发生火灾时从室外进行扑救相当困难，一般要立足于自救，即主要靠室内消防设施，但由于目前我国经济技术条件所限，高层建筑内部的消防设施还不可能很完善，尤其是二类高层建筑仍以消火栓系统扑救为主，因此，扑救高层建筑火灾往往遇到较大困难。例如：热辐射强，烟雾浓，火势向上蔓延的速度快和途径多，消防人员难以堵截火势蔓延；扑救高层建筑缺乏实战经验，指挥水平不高；高层建筑的消防用水量是根据我国目前的技术、经济水平，按一般的火灾规模考虑的，当形成大面积火灾时，其消防用水量显然不足，需要利用消防车向高楼供水，建筑物内如果没有安装消防电梯，消防队员因攀登高楼体力不够，不能及时到达起火层进行扑救，消防器材也不能随时补充，均会影响扑救。

(4) 火险隐患多。一些高层综合性的建筑，功能复杂，可燃物多，消防安全管理不严，火险隐患多，如有的建筑设有百货营业厅，可燃物仓库，人员密集的礼堂、餐厅等；有的办公建筑，出租给十几家或几十家单位使用，安全管理不统一，潜在火险隐患多，一旦起火，容易造成大面积火灾。火灾实例证明，这类建筑发生火灾，火势蔓延更快，扑救、疏散更为困难，容易造成更大的损失。高层建筑本身建筑面积大，功能复杂，使用单位多，人员集中，内部装修易燃材料多，火灾隐患多。

1.2 建筑火灾的蔓延

1.2.1 建筑火灾的蔓延方式

初始燃烧表面的火焰，将可燃材料燃烧，并使火灾蔓延开来。火焰蔓延速度主要取决于火焰传热的速度。火焰蔓延速度可由下式求得：

$$\rho V \Delta H = Q \quad (1-1)$$

式中 ρ ——可燃物的密度；

V ——火焰蔓延速度；

ΔH ——单位质量的可燃物从初温 T_0 上升到相当于火焰温度 T_f 时的焓的增量；

Q ——火焰传热速度。

式 (1-1) 称为火灾蔓延的基本方程，实质上是反映火灾蔓延的一个能量方程。

(1) 热传导

火灾分区燃烧产生的热量，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，都可以把火灾分区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，其一是必须由导热性好的媒介，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。

(2) 热对流

热对流是建筑物内火灾蔓延的一种主要方式。建筑火灾发展到旺盛期后，一般说来窗玻璃在轰燃之际已经破坏，又经过一段时间的猛烈燃烧，内走廊的木质户门被烧穿，或者

门框之上的亮窗玻璃被破坏，导致烟火涌入内走廊。一般耐火建筑可达 $1000\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 高温。这时，火灾分区内外的压差更大，遇到冷空气，使之温度降低，压差减少，失去浮力，流动速度就会降下来。若在走廊里放可燃、易燃物品，或者走廊里有可燃吊顶等，被高温烟火点燃，火灾就会在走廊里蔓延，再由走廊向其他空间传播。

除了在水平方向对流蔓延外，火灾在竖向管井也是由热对流方式蔓延的。

(3) 热辐射

热辐射是相邻建筑之间火灾蔓延的主要方式之一。建筑防火中的防火间距，主要是考虑防止火焰辐射引起相邻建筑着火而设置的间隔距离。要搞清楚火焰辐射对火灾蔓延的机理，首先必须搞清楚两个问题，即，点燃可燃材料所需的辐射强度是多少？建筑物发生火灾时能够产生多大的辐射强度？

在建筑物中，经常采用木材或类似木材的可燃的构件、装修或家具等，因此，木材在建筑中是主要的火灾荷载。世界各国都特别注意对木材火灾的研究。工业发达国家把 $12.6\text{kW}/\text{m}^2$ 作为木材点燃的临界辐射强度。在这一辐射强度下烘烤 20 min，无论在室内还是在室外，火场飞散的小火星就可引燃木材。而引起木材自燃的临界辐射强度是 $33.5\text{kW}/\text{m}^2$ 。

1.2.2 建筑火灾的蔓延途径

建筑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，使火灾在未受任何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；由可燃的门、窗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做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。

1.2.2.1 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，某医院大楼，每层建筑面积 2700m^2 ，未设防火墙分隔，也无其他的防火措施，三楼着火，将该楼层全部烧毁，由于楼板是钢筋混凝土板，火灾未向其他层蔓延。又如，东京新日本饭店，于 1982 年 2 月 8 日因一旅客在 9 层客房内吸烟引起火灾，由于未设防火分隔，大火烧毁了第 9 层、第 10 层，面积达 4360m^2 ，死亡 32 人，受伤 34 人，失踪 30 多人。再如，美国内华达州拉斯维加斯市的米高梅饭店发生火灾，由于未采取严格的防火分隔措施，甚至对 4600m^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，879 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原因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、可燃装修接触时，就会导致火灾蔓延。

(3) 吊顶内部空间蔓延火灾

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，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，由于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。

1.2.2.2 火灾通过竖井蔓延

在现代建筑物内，有大量的电梯、楼梯、服务、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，就可以蔓延到建筑的任意一层。

此外，建筑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) 通过楼梯间蔓延火灾

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。如，巴西里约热内卢市卡萨大楼，31层，设有两座开敞楼梯和1座封闭楼梯。1974年1月15日，大楼第一层着火，大火通过开敞楼梯间一直蔓延到18层，造成第3至5层、第16至17层室内装修基本烧毁，经济损失很大。

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。如美国纽约市韦斯特克办公楼，共42层，只设了普通的封闭楼梯间。1980年6月23日发生火灾，大火烧毁第17至25层的装修、家具等，137人受伤，经济损失达1500万美元。又如西班牙的罗那阿罗肯旅馆，地上11层，地下3层，设置封闭楼梯和开敞电梯。1979年9月12日发生火灾，由于仅设普通的封闭楼梯间，又采用了木门，不能自行关闭，因此，烟火通过未关闭的楼梯间和开敞的电梯厅，从底层迅速蔓延到了顶层，造成85人死亡，

经济损失惨重。

(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,也是火灾蔓延的新型途径,设计时必须予以高度重视。

(3) 火灾通过其他竖井蔓延

高层建筑中的通风竖井,也是火灾蔓延的主要通道之一。

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。如某高层办公大楼,垃圾道设在楼梯平台处,曾多次起火蔓延。

1.2.2.3 火灾通过空调系统管道蔓延

高层建筑空调系统,未按规定部位设防火阀、采用不燃烧的风管、采用不燃或难燃烧材料做保温层,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,因气焊时烧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1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吐出来,造成大批人员因烟气中毒而死亡。如1972年5月,日本大阪千日百货大楼,3层发生火灾,空调管道从火灾层吸入烟气,在7层的酒吧间喷出,使烟气很快笼罩了大厅,引起在场人员的混乱,加之缺乏疏散引导,导致118人丧生。因此,在通风管道穿越防火分区之处,一定要设置具有自动关闭功能的防火阀门。

1.2.2.4 火灾由窗口向上层蔓延

在现代建筑中,往往从起火房间窗口喷出烟气和火焰,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。实验研究表明,火焰有被吸附在建筑物表面的特性。

1.3 建筑防火对策

1.3.1 建筑火灾的发展过程与消防

建筑火灾,是指建筑内某一空间燃烧起火,进而发展到某些防火分区或整个高层建筑的火灾。在某一防火分区或建筑空间,可燃物在刚刚着火、火源范围很小时,由于建筑空