

# 建筑火灾

# 安全工程导论

霍然 胡源 李元洲 编著



中国科学技术大学出版社

# 建筑火灾安全工程导论

霍 然 胡 源 李元洲 编著



中国科学技术大学出版社

1999 · 合肥

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑火灾安全工程导论/霍然等编著. —合肥: 中国科学技术大学出版社, 1999.11

ISBN 7-312-01147-0

I. 建… II. 霍… III. 建筑-消防 IV. TU998.1

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第61065号

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号, 230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本: 787×1092/16 印张: 19.25 字数: 500 千

1999 年 11 月第 1 版 1999 年 11 月第 1 次印刷

印数: 1—2000 册

ISBN 7-312-01147-0/TU·8 定价: 22.00 元

# 序 言

火的使用，把人类带入文明的门槛，而火灾自此也就一直伴随着人类，给自然和人类社会造成重大灾难。近年来，随着社会经济的发展和人民物质生活水平的提高，火灾问题呈现出快速上升的势头，尤其是建筑与城市火灾发案频繁，直接威胁人们的生命财产安全。有效防治新形势下的火灾是人类面临的一项艰巨而光荣的任务。

认识与掌握火灾规律是提高火灾防治水平的基础。但是由于火灾现象的复杂，长期以来，人们对其规律性的认识一直比较肤浅。直到本世纪七八十年代才逐渐形成了以研究火灾规律为中心内容的火灾科学(Fire Safety Science)。火灾科学是在燃烧学、传热学、流体力学、化学、灾害学、应用数学、计算机科学等学科的基础上发展起来的综合交叉学科，它的出现大大促进了人们对火灾过程的定量分析与了解。与火灾的这些基础研究相适应，火灾安全工程(Fire Safety Engineering)方法也得到了迅速发展。由于火灾的发生发展涉及多种因素，因此防治火灾应当从各有关方面共同着手。火灾安全工程强调以对火灾规律的认识为基础，结合考虑建筑物的防火安全设计、火灾探测、烟气控制、自动灭火及耐火、阻燃等防治对策，分析建筑物的火灾安全状况，确定实施其总体火灾安全方案，这有助于实现火灾防治有效性与经济性的统一。

作者认真分析吸收了国内外火灾科研界关于火灾安全工程方面的论述，并结合我国的火灾防治现状编写了本书，它较好地反映了火灾安全工程方法的基本思想，且注意对当前火灾防治的新思想、新技术介绍，在火灾模型的应用与火灾风险分析的讨论方面具有新意。因此本书不仅可供建筑火灾防治的科研与教学人员使用，而且可供消防安全的技术与管理人员参考。

目前国际范围内火灾科学的研究十分活跃，许多国家都开展了火灾科学研究，并建立了国家级的火灾科学研究机构。我国积极参与了国际火灾科学研究领域的交流与合作，火灾防治事业取得了长足的发展，但是与某些发达国家相比仍有一定的差距。将灾害防治的先进思想方法和高新技术引用到火灾防治中来是增强火灾防治能力的关键。相信本书的出版定会对促进我国的火灾防治水平的提高作出贡献。

范维澄

1999年4月20日

# 前 言

火灾是失去控制的燃烧所造成的灾害，其中建筑火灾对人们生命财产的危害最大、最直接。近年来，我国的火灾形势比较严峻，连续发生了多起特大和重大建筑火灾。迅速控制火灾的上升势头，已成为党、政府和全国人民普遍关心的问题。

为了有效控制火灾，应当提高火灾防治的科学性、合理性和有效性。除了需要继续增大消防设施的投入之外，还应当进一步研究和认识火灾的发生发展规律，研究正确发挥有关消防技术作用的方法，研究提高全民的火灾安全意识和水平的途径。

建筑火灾安全工程学强调从系统安全的角度研究如何实现建筑物的总体安全。它从对火灾规律的认识出发，结合建筑物的防火安全设计、建筑物的功能、消防技术的应用、有关人员的特点等方面进行综合分析，以求对建筑物的火灾安全状况作出客观、合理的评价，从而为改进建筑物的火灾安全提出建议和意见。

前些年，霍然等人曾就室内火灾安全分析编过一套讲义，并在校内进行了几年的讲授。本书是在原讲义的基础上修订增补而成的。霍然统编全书的初稿，李元洲侧重参与1—4章的修订，金旭辉侧重参与6~8章的修订，胡源对第5章的部分章节作了改写，并审校了全书中有关火灾化学方面的内容。

本书的编写得到了国家“九五”科技攻关项目《重大工业事故和建筑火灾预防与控制研究》及中国科学技术大学“211”工程建设项目的资助。在编写过程中，还得到了中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室主任范维澄教授及其他多位同志的大力支持和帮助，王清安教授审阅了全书的初稿。本书编写中参阅了多位专家的著作和文章。在此特向各位深致谢意。

本书按教科书形式编写。在照顾到系统论述的同时，注意对火灾防治新思想、新技术、新方法的介绍。本书主要供火灾防治的科研工作者及大专院校中防灾安全工程专业的师生使用，也可供建筑防火设计和建筑防火审查的人员和企、事业单位的消防安全管理人员参考。

由于编者的水平有限，书中定有一些错误和不足，恳请读者和有关专家批评指正。

编者

1999年3月

# 目 录

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 1 绪论.....                     | ( 1 ) |
| 1.1 火灾及其危害 .....              | ( 1 ) |
| 1.2 我国当前的火灾形势.....            | ( 2 ) |
| 1.3 火灾安全工程方法的发展.....          | ( 6 ) |
| 1.4 火灾安全分析的若干术语.....          | ( 7 ) |
| 1.5 室内火灾的发展概况.....            | (10)  |
| 1.6 本书的主要内容 .....             | (13)  |
| 2 火灾燃烧基础.....                 | (15)  |
| 2.1 可燃物的火灾燃烧特点.....           | (15)  |
| 2.2 火羽流与顶棚射流.....             | (32)  |
| 2.4 轰燃与回燃 .....               | (53)  |
| 2.5 火灾中的释热速率.....             | (63)  |
| 3 烟气的性质、流动和控制.....            | (75)  |
| 3.1 烟气的产生与性质.....             | (75)  |
| 3.2 烟气的遮光性 .....              | (79)  |
| 3.3 烟气的流动 .....               | (85)  |
| 3.4 烟气的控制 .....               | (99)  |
| 4 建筑火灾的主动防治对策.....            | (116) |
| 4.1 概 述 .....                 | (116) |
| 4.2 建筑物的防火安全设计.....           | (118) |
| 4.3 火灾探测报警系统.....             | (125) |
| 4.4 室内灭火系统 .....              | (137) |
| 4.5 建筑火灾安全的监控系统.....          | (148) |
| 5 建筑火灾的被动防治对策.....            | (153) |
| 5.1 常用建筑材料在高温下的力学性能.....      | (153) |
| 5.2 建筑构件的耐火性.....             | (159) |
| 5.3 建筑材料的燃烧性能及其测定方法.....      | (165) |
| 5.4 阻燃与消烟 .....               | (176) |
| 5.5 阻燃材料及应用 .....             | (184) |
| 6 火灾过程的模拟计算.....              | (191) |
| 6.1 概 述 .....                 | (191) |
| 6.2 火灾过程简化计算程序——FPETOOL ..... | (194) |
| 6.3 单室火灾模拟程序——ASET.....       | (206) |

|     |                        |       |
|-----|------------------------|-------|
| 6.4 | 多室火灾模拟程序——CFAST .....  | (219) |
| 7   | 建筑火灾的风险分析 .....        | (235) |
| 7.1 | 概 述 .....              | (235) |
| 7.2 | 火灾安全检查表 .....          | (241) |
| 7.3 | 事故树与事件树 .....          | (243) |
| 7.4 | 火灾危险度分析 .....          | (248) |
| 7.5 | 模糊判断分析 .....           | (251) |
| 7.6 | 模拟计算分析 .....           | (253) |
| 7.7 | 某商场的火灾安全状况分析 .....     | (258) |
| 8   | 特殊建筑火灾的防治讨论 .....      | (266) |
| 8.1 | 高层建筑火灾 .....           | (266) |
| 8.2 | 地下建筑火灾 .....           | (270) |
| 8.3 | 古建筑火灾 .....            | (275) |
| 8.4 | 大空间建筑火灾 .....          | (279) |
| 8.5 | 商场火灾 .....             | (283) |
| 8.6 | 石油化工火灾 .....           | (287) |
| 附录一 | 最近六年中我国每年的十大火灾概况 ..... | (291) |
| 附录二 | 化学危险品的分类及其特征 .....     | (293) |
| 附录三 | 生产与储存物品火灾危险性的分类 .....  | (295) |

# 1 绪 论

## 1.1 火灾及其危害

在人们的生活和生产过程中，火发挥了非常重要的作用。火的使用不仅改善了人类的饮食和取暖条件，而且不断促进社会生产力的发展，使人类创造出了大量的社会财富。从某种意义上说，火对人类文明的进步做出了重大贡献，人类一天也离不开火，在今后相当长的时间内依然如此。

然而应当指出，这只是正确用火的结果。火还有另一方面的影响，就是说，如果一旦让火在具备燃烧条件的地方自由发展，它就会四处蔓延，吞噬那里的各种可燃物质。往往由于一把火，人们辛苦多年创造和积累的财富瞬间化为灰烬，千百年形成的茂盛森林几天内就变成荒野。火还可无情地夺去许多人的生命。这就是自然和社会的一种主要灾害——火灾。

现在一般称，火灾是失去控制的燃烧所造成的危害。凡是具备燃烧条件的地方，如果用火不当，或者由于某种事故或其它因素，造成了火焰不受限制地向外扩展，就可能形成火灾。火灾可以发生在建筑物内，也可发生在建筑物外，可以遍及城市和乡村、工厂矿山以及森林草原。

火灾对人类社会和自然造成的破坏是非常巨大的。表 1.1.1 列举了世界上一些国家的火灾直接损失。可见大多数国家的火灾损失都占国民经济总值的 0.2% 以上。其它来源的数据还表明，火灾造成的死亡率可占人口总死亡率的十万分之二。

表 1.1.1 世界上若干国家的火灾直接损失

| 国家   | 货币   | 直接损失   |       |       | GNP(1989—1991)<br>占国民生产总值百分比 |
|------|------|--------|-------|-------|------------------------------|
|      |      | 1991年  | 1992年 | 1993年 |                              |
| 日本   | 日元   | 310    | 440   | 390   | 0.08                         |
| 匈牙利  | 福林   |        |       |       | 0.12(1986—1988)              |
| 西班牙  | 比赛塔  |        |       |       | 0.12(1984)                   |
| 美国   | 美元   | 10,000 | 8,700 | 9,000 | 0.25                         |
| 芬兰   | 芬兰马克 |        |       |       | 0.17(1988—1989)              |
| 澳大利亚 | 澳元   | 830    | 690   |       | 0.18(1991—1992)              |
| 荷兰   | 荷兰盾  | 800    | 1,000 | 1,450 | 0.19                         |
| 英国   | 英镑   | 1,300  | 1,200 | 900   | 0.19                         |



续表

|     |      |        |        |        |                 |
|-----|------|--------|--------|--------|-----------------|
| 德国  | 马克   | 6,100  | 5,850  | 5,900  | 0.21(1979—1980) |
| 新西兰 | 新西兰元 | 155    | 165    | 135    |                 |
| 奥地利 | 先令   |        |        |        | 0.20            |
| 法国  | 法郎   | 16,150 | 16,350 | 14,750 | 0.25            |
| 瑞士  | 法郎   |        |        |        | 0.23(1989)      |
| 加拿大 | 加元   | 1,700  | 1,700  | 1,500  | 0.24            |
| 挪威  | 克郎   | 1,750  | 2,000  | 2,050  | 0.24            |
| 瑞典  | 克郎   | 3,650  | 3,650  | 3,500  | 0.25            |
| 丹麦  | 克郎   | 2,350  | 2,350  | 2,000  | 0.26            |
| 比利时 | 法郎   |        |        |        | 0.40(1988—1989) |

注：1. 不包括没有火灾情况下的爆炸损失和恐怖分子的一些违法行为

2. 除日本以10亿计算外其余国家以百万计算

除了直接损失之外，火灾的间接经济损失、人员伤亡损失、灭火费用等也都相当大，而且有的损失和后果在短期内看不出来。根据世界火灾统计中心的研究，如果火灾的直接经济损失占国民经济总值的 0.2%，那么整个火灾损失将占国民经济总值的 1%。现在我国的火灾问题也相当严重，下一节专门讨论这一问题。

按照火灾发生的场合，火灾大体可分为城镇火灾、野外火灾和厂矿火灾等。

城镇火灾包括民用建筑火灾、工厂仓库火灾、交通工具火灾等。各类建筑物是人们生产生活的场所，也是财产极为集中的地方，因此建筑火灾造成的损失十分严重，且直接影响人们的各种活动。研究这类火灾的发生和防治的规律，开发有效的防火、灭火技术，具有重要的社会和经济意义。野外火灾(包括森林火灾、草原火灾等)虽然也有人为因素的影响，但主要与自然条件有关，一般将其按自然灾害对待。厂矿火灾却有着具体生产过程的特殊性，与普通建筑火灾有较大的差别。本书主要结合建筑火灾展开讨论。

## 1.2 我国当前的火灾形势

近年来，我国的火灾次数和火灾损失都呈上升趋势，尤其是在 1993 和 1994 年连续发生多起特大火灾。例如，深圳清水河危险品仓库火灾造成了上亿元的损失，新疆克拉玛依友谊馆火灾、辽宁阜新艺苑歌舞厅火灾等造成了几百人的伤亡。这些火灾不仅在我国引起很大的震动，在世界上也产生了相当强的反响。几年过去了，特大和重大火灾的发生率仍然相当高。迅速采取有效措施，抑制火灾上升的势头，已成为党、政府和全国人民普遍关心的问题。

本节简要说明新中国成立以来的火灾概况，并对当前火灾状况与经济的关系作些讨论。图 1.2.1 给出了 1950 年以来全国火灾次数和火灾损失的基本情况。由于历史原因，缺

少 1965—1970 年的资料。图 1.2.2 给出了 1978 年以来我国国民生产总值增长与火灾变化的情况。1978 年以前我国未公布国民生产总值，因此无法计算火灾损失在国民经济总值中所占的比例。为了便于比较，图中还画出了火灾损失曲线。由这些图可以看出，我国的火灾状况大体可分为以下五个阶段：

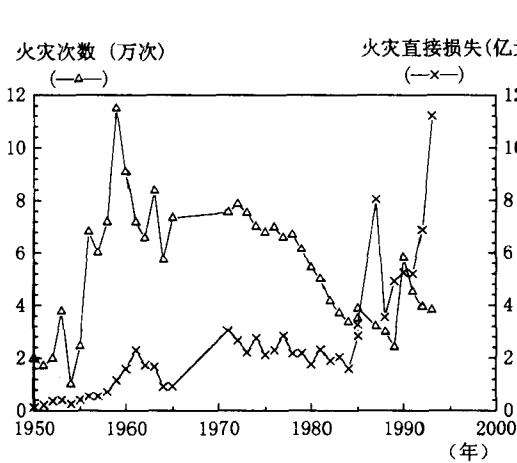


图 1.2.1 我国历年的火灾概况

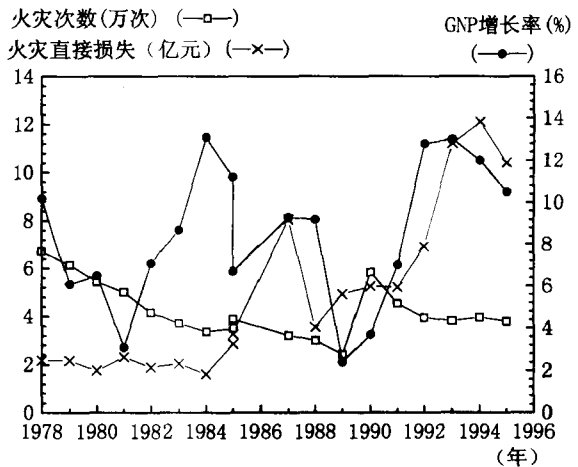


图 1.2.2 1978 年来我国火灾损失与经济增长状况

(1) 1950—1955 年 在这一阶段全国的火灾次数每年大体在 2~3 万次，个别年份有稍大的起伏，而火灾造成的直接经济损失不算太大。还可看出，火灾次数也约以 3~4 年为一个周期波动，即火灾次数和火灾损失在一定的平均水平上，相对稳定 2~3 年后便出现一次较大的上升。

这种情况反映出我国建国初期经济恢复时期的特点。当时我国的经济水平不高，基本上是农业经济，工业在国民经济中所占比例不大。发生火灾后在当时的技术水平上作一些改进，或加强某些管理措施，火灾次数可暂时得到控制。随着经济建设的加快，火灾次数迅速上升。

(2) 1956—1965 年 这是我国火灾次数迅速增多的阶段，一连几年都在 6 万次以上，1959 年超过了 11 万次，火灾损失也呈快速增加的趋势。自 1960 年起火灾次数有所下降，以后若干年一直在 7 万次上下浮动，火灾次数仍大致以 3~4 年为周期变化。

在这一阶段，我国先后经历了“大跃进”、“三年经济困难”和“四清”等时期。“大跃进”时期的指导思想助长了虚假、蛮干等风气，火灾等安全问题被严重忽视了。这种不正常经济发展状况对火灾(实际上还包括多种其它人为灾害)的增加产生了很大影响，从而导致 1959 和 1960 年的火灾次数达到建国以来的最高峰。而在经济调整时期，尽管发展速度大大减慢了，但火灾问题的严重程度却没有减下来。

(3) 1970—1977 年 起火次数仍然居高不下，每年的火灾次数约 7 万起左右，火灾损失(根据当年价格计算)也维持在较高的水平。这明显反映了“文化大革命”后期，我国的政治与经济生活不正常的特点。“文化大革命”中，我国的经济生活相当缓慢，甚至曾濒临崩溃的边缘。在这种情况下出现的严峻火灾形势不是经济发展较快的问题，而是经济衰退与人们思想混乱的问题。在当时的政治形势下，没有人能够或愿意认真考虑和关心火灾安全问题。

(4) 1977—1986 年 这是打倒“四人帮”后我国的政治经济形势发生重大转变的阶段。全国的火灾次数呈迅速下降的趋势，从 1983 年起降到 4 万起以下。本阶段起初几年的火灾损失也呈平缓下降趋势，自 1985 年起又有所回升，但还在 3 亿元以下。

这是我国经济恢复了以往有效的管理制度、调整不合理的比例关系并探索新的发展道路的重要阶段。总的来说，在这一阶段我国经济取得了长足的发展。另一方面，我国的法制建设取得了很大进展，合理的规章制度得到恢复和完善，这对安全管理工作产生了巨大影响。在消防安全方面，体现在管理机构、防灭火队伍、科研机构得到了逐渐恢复和健全，基本达到了与当时的经济发展状况比较相称的水平。

(5) 1987 年以来是我国火灾形势又开始严峻的阶段，火灾次数出现了较大幅度的增加，1989 年超过了 5 万起。火灾损失的绝对值呈直线上升趋势，1993 年比 1987 年增大了近 1.4 倍，达到 11.2 亿元。各年的损失虽然有波动，但大都在 5 亿元以上。

这一阶段是我国的国民经济获得迅速发展的时期，国民生产总值以平均每年 7.9% 的速度增长，我国成为世界上经济增长最快的国家之一。尤其是工业生产，已经度过了前几年治理整顿过程中相对缓慢的发展期，近几年以超过 20% 的速度增长。此阶段中的火灾问题显然与经济的高速发展有密切关系。

深入研究 80 年代以来我国的火灾趋势对于改进我国目前的火灾安全工作尤为重要。下面面对这一阶段的火灾问题再分类作些讨论。

图 1.2.3 给出了近年来我国特大火灾在火灾总数中所占的比例。可看出，这几年我国的特大火灾两度出现较大的增长。1987—1989 年是一次高峰，1992 年以来又是一次高峰，后一次的损失比以往的火灾要大得多。出现特大(及重大)火灾通常应具备两个基本条件：一是经济发展水平已达到一定的程度，就是说有较多且较集中的财产积累并易受到破坏；二是火灾安全的保障体系存在较大的缺陷，或者是火灾防治的设计和建设和不合理，容易造成大范围的火灾蔓延，或者是灭火力量和设施不足，无法对付新形势下的火灾。

图 1.2.4 给出了近年来我国一些省市的火灾损失及其变化情况。可以看出，东南各省的

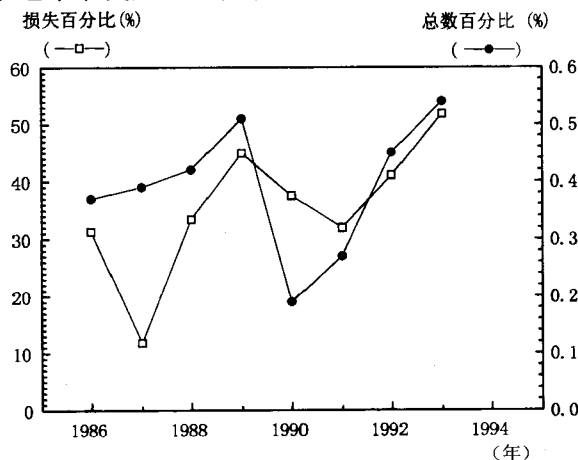


图 1.2.3 今年来我国特大火灾的变化概况

火灾问题比较严峻，尤以广东、浙江最为突出。无论按人口平均还是地域平均，它们所占的比例都大大高出其它省市。这反映出了我国经济发展的地区不平衡性。众所周知，十几年

来，广东的经济取得了举世瞩目的进步，是我国经济活动最活跃的地区。但也应看到，那里新发展起来的许多企业存在着较多、较严重的火灾隐患，到了具有一定条件的时期，火灾问题便暴露出来了。还需指出，1993年发生的146起特大火灾中，60%发生在广东、福建、浙江、上海、山东、海南等省市，其中广东发生了29起，占全部特大火灾的1/5。

图 1.2.5 给出了近年来按火灾原因分类的火灾次数及损失情况。可看出电气火灾在总数中所占比例一般都在 23% 以上，在损失中所占比例一般在 30% 以上，是引发火灾的最主要的原因，且它的比例还有增长的趋势。实际上这与生产的发展和人民生活的改善密切相关。现代的工厂、企业的用电规模都相当大，家庭中的电器设备也大量增加，安装不合理或使用不当就会引起火灾。

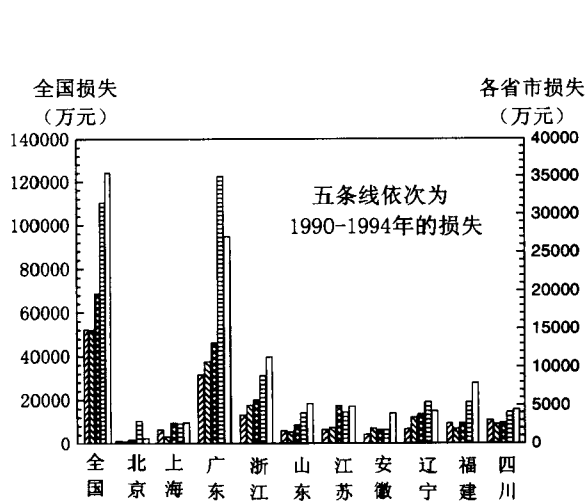


图 1.2.4 我国十城市的火灾损失比较

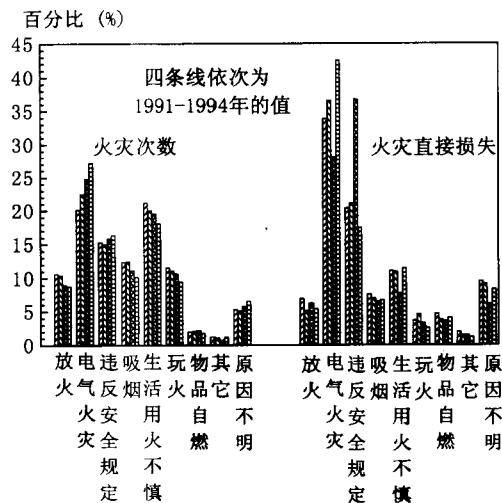


图 1.2.5 近年来我国按火灾原因的变化情况

此图还反映出，违章操作引起的火灾数量增加较快。这主要与从业人员的安全素质有关。现在不少企业中很多人的安全意识相当淡薄，甚至不懂有关安全知识；有的人则由于片面地抓生产、追求利润，对如何保证安全想得较少。尤其在一些新建企业和乡镇企业中此类问题比较突出。

按火灾场合统计可以发现，近年来商场、歌舞厅、宾馆、饭店等公共活动场所的火灾有较大幅度的增加，一些沿海省市的数据表明，有 54% 的特大火灾发生在这类场所。有些新兴城镇的集贸市场火灾问题也比较突出。这些场所的可燃、易燃物相当集中，但建筑物的防灾、抗灾能力却较弱，普遍存在消防设施严重不足、消防水源严重缺乏的问题。加上道路狭窄，摊点密布，人员拥挤，容易起火，并进一步演化为大火。

交通运输工具火灾也呈迅速增多的趋势，这与交通运输事业快速发展有关。近年来，我国的汽车数量比十年前增加几倍，民航运输量成倍增长，大型的船舶运输也有很大发展。使用、运送的可燃和易燃物品的种类和数量都大大增加，这便为火灾的发生创造了条件。车船火灾还往往与石油基物品有关，这种火灾蔓延迅速、燃烧猛烈，容易造成严重损失。

附录一列出了近几年来我国若干代表性的特大火灾案例。由这些实例也可看出以上几方面的火灾问题。

一般认为，造成这种局面的客观原因主要是建筑物的结构形式和可燃物的组成形式发生了较大的改变。在世界各地，尤其是在人口集中的城市和工业区中，高层建筑与地下建筑大量涌现，大型产品的石化生产和储存设备广泛使用，这都为防火灭火带来许多新困难。大量新型的高聚合物建筑材料及生活用品的使用，也大大增加了人们居住场合的燃料载荷，从而大大增加这些区域的火灾严重性。尽管近年来消防力量已有很大的增强，但仍然不能适应与新型火灾问题作斗争的需要。

造成火灾问题如此严峻还有着深刻的主观原因，例如现在相当多的人火灾安全知识缺乏，意识淡薄，对火灾防治工作很不重视，不少单位和部门的消防管理制度根本不健全。为了防止火灾的发生和减少火灾损失，应当提高人们的火灾安全观念，加强火灾防治的科学与技术研究，提高消防技术和安全管理水平。

### 1.3 火灾安全工程方法的发展

经过多年与火灾进行的顽强斗争，人们积累了大量防治火灾的宝贵经验，创造了许多好的形式和措施。例如建立各种形式的消防队伍和安全管理机构，制定一系列的防火与安全用火的法律和法规，研制和开发防灭火的技术和装备等。而且这些方面都随着社会经济的发展而不断改进和更新。

在长期的防灭火斗争中，人们越来越深刻地认识到，为了提高火灾防治的科学性和有效性，需要认真研究和了解火灾的形成和发展规律。尤其是近几十年来，火灾形式和规模发生了很大变化，用科学的认识指导防灭火斗争表现得更为迫切。

火灾是一种灾害性的现象，其发生和发展规律具有随机性和确定性的双重特点。所谓随机性主要是指火灾在何时、何处发生等是不定的，要受到多种因素的影响，但它却遵循一定的统计规律。确定性则是指如果在某一特定场合下发生了火灾，火灾会按基本确定的过程发展，火灾燃烧、火烟流动等都遵循确定的流体流动、传热传质、物质守恒等规律。

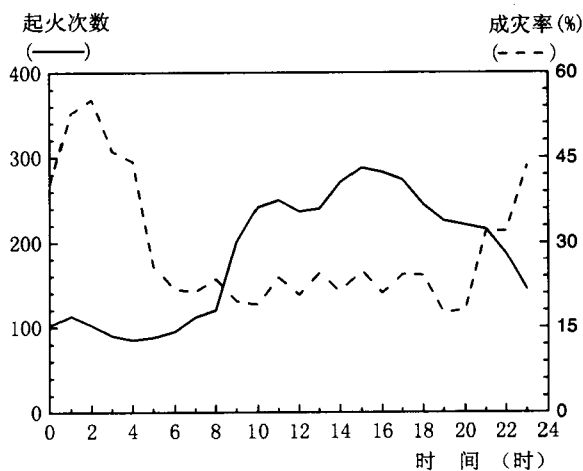


图 1.3.1 某市每天的起火与成灾率曲线

火灾的随机性规律用火灾统计分析的方式进行研究，通过总结、整理和分析大量的原始火灾资料，归纳出火灾发生的统计性规律。例如在什么季节、什么时间、哪些区域、哪些行业容易失火，并将研究结果用各种图表或曲线形式表示出来。图 1.3.1 为某市在 1957—1980 年间 4864 起火灾曲线图。可以看出上午 8 时至下午 8 时为起火高峰期，但成灾高峰期恰恰与此相反，这些也正反映了人们生活和生产活动的特点。

火灾的确定性规律则可采用工程科学的方法进行研究。例如通过各种形式的全尺寸、小尺寸等模拟实验，研究火灾过程中出现的现象及这些现象的出现条件、描述参数

和各参数的数量级等。

不少人早就提出应当定量研究火灾规律，但多年来进展不大，只是在近几十年得到了较快的发展。这种情况的出现实际上是历史发展的结果。首先是伴随着经济迅速发展而出现的火灾危险日趋增大的现实提出了这种必要，其次是当代的科学技术成果使人们有能力开展这种研究。在最近的一二十年间，许多国家相继建立了一批有一定规模的火灾科研机构，大批科研人员纷纷进入这一研究行列，火灾科学和防治技术的研究成为当代最活跃的科研领域之一。火灾安全科学(或称火灾学)和火灾安全工程学就是在这种背景下提出与发展起来的。

在 70 年代末 80 年代初，近十个国际著名的火灾研究机构组织了几次大规模的联合研究项目。1985 年在美国召开了第一次国际火灾安全科学(Fire Safety Science)讨论会，同时成立了国际火灾安全科学学会，并编辑出版了国际火灾安全科学学报。以后该学会的讨论会每隔三年在世界上其它地方举行一次。讨论会基本按火灾物理、火灾化学、火焰结构、人与火灾的相互影响、火灾研究的工程应用、火灾探测、火灾专门课题、统计与火险分析系统、烟气毒性和灭火技术等十个专门问题展开研讨，可以认为这些内容大致确定了火灾学和火灾安全工程学的研究范围。

火灾学(Fire Science)侧重研究火灾发生、发展及防治的基本规律，研究各类火灾的共性问题。火灾现象是多种多样的，但各类火灾都包括着火、火灾蔓延、烟气传播、灭火等过程，从机理上看这些分过程有着共同规律。

火灾安全工程学(Fire Safety Engineering)则基于对火灾规律的认识，侧重从系统安全的高度，研究如何实现建(构)筑物的总体安全。它的主要目标是保证人员在火灾中的安全、减少火灾的发生和火灾的损失、防止火灾大面积蔓延、最大限度的降低火灾对环境的破坏等。因此它将讨论火灾的发生、发展和蔓延的规律、建筑物的防火安全设计、火灾探测和灭火技术、火灾过程的控制方法等。火灾安全工程学要充分利用火灾学的研究成果，但不过细探求某些火灾现象的机理；它也要讨论火灾的防治技术，但又不过于具体的考虑某些消防产品的加工或制造细节，而重在讨论这些技术的应用原理及在具体火灾场合下的适用性。通过这种工程分析，能够对新建筑物的防火设计、现有建筑物的火灾安全状况作出客观的评价，对火灾防治的经济性和有效性提出合理的建议。

火灾安全工程学是在灾害学、工程热物理、建筑工程、工业安全、电子电力工程、系统工程及计算机科学基础上生长起来的一门新的交叉学科，是火灾防治体系的一个环节。这一学科诞生的时间不长，其研究内容和方法还需要进一步完善，但其方法已受到人们的密切注意，有些结果已为消防工程、防火设计、火灾安全检查等方面人员采用。随着对火灾防治水平要求的提高，火灾安全工程方法一定会被人们更广泛的接受。

## 1.4 火灾安全分析的若干术语

本节先介绍火灾安全工程分析中的若干常用术语，为了便于查阅资料，在各术语后面加注了相应的英文词汇。后面还将结合各章的讨论陆续引入一些新的术语。

### 1. 火灾(Fire)

火灾是失去控制的燃烧所造成的灾害。火灾具有一般燃烧的特点，即是一种快速氧化

过程，往往伴随着发热、发光、产生火焰(发光的气团)及发出噪声。但它是一种在时间和空间上失去控制的燃烧过程，因此会对自然和社会造成某种程度的损害。

## 2. 火灾三角形(Fire Triangle)

发生火灾必须具有可燃物、氧气及一定的外加热量，通常称之为发生火灾的三要素。近来有人指出，在燃烧过程中，活性基团具有重要影响，应当将其作为一种基本要素对待。但在火灾研究中，强调这一点通常没有重要意义。这里仍使用通常三要素的说法。要发生火灾，这三个条件缺一不可，人们将它们划成一个三角形，见图 1.4.1。

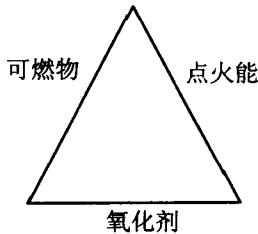


图 1.4.1 火灾三角示意图

可燃物数量是火灾严重性与持续时间的决定性因素。现在可燃物一般用火灾负荷表示，这一概念将在后面介绍。氧气主要由室内空间的大小、通风口的面积及通风形式决定。在火灾初期，室内的氧气量对火灾发展具有重要影响，但火灾后期，氧气往往由通风决定。发生火灾前，引燃可燃物的热量必须由某个热源供给，例如炉具、电加热器、电火花、点着的香烟等。不过一旦起火，热量便可由火焰供给，这时火灾可以自我维持与发展。

## 3. 可燃物(Fuel)

在火灾中发生燃烧放出热量的物质，可分为气相、液相和固相三种形态，它们具有不同的燃烧特点。可燃气体容易与空气混合，如果在燃烧前两者已发生混合，则称之为预混燃烧；如果两者边混合边燃烧，则称之为扩散燃烧。在火灾中常发生非均匀混合的预混燃烧。液体和固体可燃物是凝聚态物质，其燃烧过程通常是：在受到外界加热的情况下它们的温度升到一定值，于是蒸发生成可燃蒸汽，或发生热分解析出可燃气体，进而发生气相扩散燃烧。燃烧后期一般还存在固定碳燃烧阶段，此阶段的长短由固定碳的量决定。

## 4. 点燃 (Pilot Ignition)

在可燃物上可发生持续燃烧的最低温度称为燃点。这时可燃物的损失的热量小于它获得的热量。可燃物着火燃烧有点燃和自燃两种形式。点燃是用外部热源将可燃物点燃的，小火焰、电火花、炽热物体都是典型的外部热源。

## 5. 自燃 (Self Ignition)

在某些特定空间内，没有明火作用的情况下，由可燃物析出或产生的可燃气体与氧气混合后达到一定温度所发生的燃烧，这时不需要其它外部热源供应热量。各种物质都有自己的自燃点，但它们的自燃点并不是固定不变的，而是随着氧化过程中析出的热量和向外导出的热量而有所变动。

## 6. 闪点(Flash Temperature)

在规定条件下，用指定点火源点燃可燃物，其表面出现的短时气相火焰的最低温度称为闪点。达到闪点时可燃物并未着火，但表明已接近危险状态，因此它是表示火灾安全的重要指标。这一概念主要用于表示液体可燃物的火灾安全性能。

## 7. 有焰燃烧(Flammable Combustion)

燃烧过程中出现肉眼可见的气相火焰，这是可燃气体和可燃蒸汽的燃烧特点。

## 8. 无焰燃烧(Non-flame Combustion)

不出现明火焰的燃烧过程。固体可燃物刚开始燃烧能够大量发烟但尚不出现明火的燃

烧过程，这种燃烧还常称为阴燃(Smoldering)。

#### 9. 自动熄火(Self-extinguishing)

用外部热源将可燃物点燃，然后将火源移走，而在可燃物上无法维持燃烧过程，这称为自动熄火。

#### 10. 爆炸(Explosion)

物质由一种状态迅速转变为另一种状态，并在很短的时间内放出大量能量的过程。爆炸可分为物理爆炸和化学爆炸两类，前者是由于容器内生成或充入的气体过多，致使容器内压力过大、超过容器所能承受的极限压力而发生的爆炸。后者是由于容器内的物质发生化学反应，迅速产生大量气体及较高的温度所造成的爆炸。

#### 11. 火灾载荷(Fire Load)

在某建筑物内，用当量标准木材的质量来表示的所有可燃物的质量。也有人使用热量来表示火灾载荷，即当量标准木材的发热量。

#### 12. 火灾载荷密度(Fire Load Density)

建筑物内单位地板面积上的火灾负荷。

#### 13. 火灾类别(Classification of Fires)

根据国家标准 GB4968—85，按照物质的燃烧特性,把火灾分为以下四类：

A类：指固体物质火灾。这种物质很多具有有机物性质，一般能在燃烧时产生灼热的余烬，如木材、棉、麻、毛、纸张火灾等。

B类：指液体火灾和可熔化的固体物质火灾，如汽油、煤油、柴油、原油、甲醇、乙醇、沥青、石蜡火灾等。

C类：指气体火灾，如煤气、天然气、甲烷、乙烷、丙烷、氢气火灾等。

D类：指金属火灾，如钾、钠、镁、钛、锆、锂、铝镁合金火灾等。

此外在建筑灭火器配置设计中还专门提出E类火灾，它指的是电器、计算机、发电机、变压器、配电盘等电气设备或仪表及其电线电缆在燃烧时仍带电的火灾，一般说这类火灾与A类或B类火灾共存。

#### 14. 燃烧体(Combustible Material)

用燃烧材料做成的构件。燃烧材料系指在空气中受到火烧或高温作用时立即起火或微燃，且火源移走后仍继续燃烧或微燃的材料，如木材等。

#### 15. 非燃烧体(Non-Combustible Material)

指用非燃烧材料做成的构件。非燃烧材料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，如建筑中采用的金属材料及天然或人工的无机矿物材料。

#### 16. 难燃烧体(Difficult Combustible Material)

指用难燃烧材料做成的构件或用燃烧材料做成而非燃烧材料做保护层的构件。难燃烧材料系指在空气中受到火烧或高温作用时难起火、难微燃、难炭化，当火源移走后燃烧或微燃立即停止的材料。如沥青混凝土、经过防火处理的木材、用有机物填充的混凝土和水泥刨花板等。

#### 17. 耐火极限(Fire Resistance Limit)

对任一建筑构件，在耐火试验炉中按规定的火灾温升曲线(标准时间—温度曲线)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



这段时间称为该构件的耐火极限，用小时表示。

### 18. 火灾分级(Fire Rating)

根据 1996 年国家发布的“火灾统计管理规定”，我国将火灾分为特大火灾、重大火灾和一般火灾三级，见表 1.4.1。只要达到其中一项就认为达到该级火灾。

表 1.4.1 火灾等级的划分标准

| 火灾等级 | 死亡人数 | 重伤人数 | 死亡重伤总人数 | 受灾户数 | 直接财产损失(万元) |
|------|------|------|---------|------|------------|
| 特大火灾 | ≥10  | ≥20  | ≥20     | ≥50  | ≥100       |
| 重大火灾 | ≥3   | ≥10  | ≥10     | ≥30  | ≥30        |
| 一般火灾 | <3   | <10  | <10     | <10  | <30        |

## 1.5 室内火灾的发展概况

建筑物通常都具有多个房间，今后经常将这类房间称为“室”。但所谓的“室”应广义理解为其周围有某些壁面限制的空间，在讨论火灾基本现象时，所指的室一般相当于建筑物普通房间那样大小的受限空间，其体积的数量级约为  $10^2$  立方米，其长宽高的比例相差不太大。之所以作出这种限制是因为火灾现象与其所在空间的大小和几何形状有密切关系。体积较小(例如仪器设备箱)、或长度很长(例如铁路、公路隧道)、或形状很复杂(例如矿井巷道)的空间中的燃烧，与普通的供人居住和工作的房间中的火灾燃烧存在一定差别。这些特殊受限场合下的火灾过程具有较多的特殊性，本书中只是在某些相关的地方对其作少量的讨论。应当指出，不应因为对室作了上述限制就认为它只是指寝室与客房，实际上，仓库、工厂与研究机构常用的分隔间、火车和汽车的车厢、轮船船舱、飞机机舱等也都是代表性的室。

包括一两个房间在内的火灾是建筑物火灾的基本而重要的情形，本节先结合图 1.5.1 简要说明一下这种火灾的发展过程。

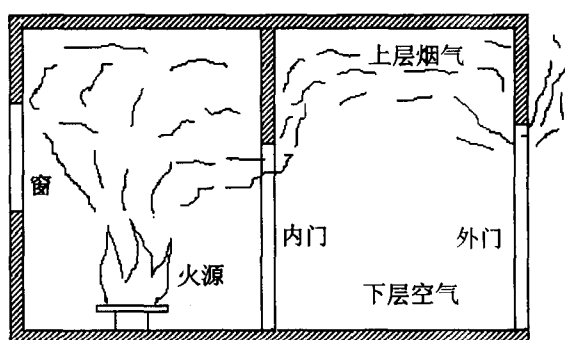


图 1.5.1 双室火灾发展过程示意图

首先可注意到的是某种可燃物的着火阶段。在实际室内火灾中，初始火源大多数是固体可燃物起火，当然也存在液体和气体起火，但较为少见。固体可燃物可由多种火源点燃，