

高层建筑灭火对策研究指南

GAOCENG JIANZHU MIEHUO DUICE YANJIU ZHINAN

公安部消防局主编

上海科学普及出版社

高层建筑灭火对策研究指南

公安部消防局 主编

上海科学普及出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高层建筑灭火对策研究指南/公安部消防局主编. —上海: 上海科学普及出版社, 2009. 5

ISBN 978-7-5427-4293-3

I. 高... II. 公... III. 高层建筑—灭火—研究 IV. TU976

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第034858号

责任编辑 张 帆

高层建筑灭火对策研究指南

公安部消防局 主编

上海科学普及出版社发行
(上海中山北路832号 邮政编码 200070)
<http://www.pspsh.com>

各地新华书店经销 上海昌鑫龙印务有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 20.5 字数 565 000

2009年5月第1版 2009年5月第1次印刷

ISBN 978-7-5427-4293-3 定价: 60.00元

《高层建筑灭火对策研究指南》

编审委员会

主 任 郭铁男

副 主 任 杨建民 朱力平 张荣昌 陈 飞 李金文

主 编 单 位 公安部消防局

主 编 冷 俐 魏捍东

副 主 编 丁克富 周建中

参 编 人 员 (以姓氏笔画为序)

王 城 王 珂 邓立刚 卢金星 伍和员 刘文洪

刘洪强 朱伟峰 朱志祥 朱忠明 陈建槐 苗国典

赵 洋 倪 浩 郭奕贺

前 言

随着经济社会的快速发展,城市人口持续增长,土地资源日益紧缺,促使城市建筑逐步向高空发展,加之建筑设计、材料的不断更新,高层建筑如雨后春笋般地不断涌现,呈现出数量越来越多、高度越来越高、体积越来越大、功能越来越复杂、建筑群越来越密集的趋势。伴随着高层建筑综合化、异形化、集成化和智能化的发展,火灾安全风险也在随之增加。高层建筑人员、物资大量集中,电气化、自动化设备配置繁多,各种竖井管道纵横交错,一旦发生火灾极易产生烟囱效应,形成立体燃烧,造成大量人员伤亡和巨额财产损失。1985年4月19日,黑龙江省哈尔滨市天鹅饭店发生火灾,造成10人死亡、7人受伤。2008年1月2日,新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市德汇国际广场发生大火,造成5人死亡,过火面积6.5万 m^2 ,直接财产损失近3亿元。2009年2月9日,北京市中央电视台新址在建文化中心工地发生大火,造成重大损失和影响。据火灾统计分析表明,高层建筑火灾呈现出明显的上升趋势。

高层建筑火灾作为现代火灾的主要类型,由于其特殊的物理环境和燃烧特点,防控难度也相当大,是世界各国消防部门一直致力于攻克的疑难课题。1986年,我国公安消防部队曾在上海市举办了历时40天的高层建筑火灾扑救培训班,提出了“高层建筑初期火灾时间为5-7分钟”的理念和“以固为主,固移结合”的灭火作战原则及高层供水的方式方法等许多实用性、指导性较强的意见、措施,促进了举高消防车及大功率消防车的配备,强化了高层建筑火灾的针对性训练,培养了一批战训骨干,有力地推动了高层建筑灭火工作的研究发展。时隔22年,我国高层建筑数量已发展到13.4万幢,其中超高层建筑2453幢,492m高的上海环球金融中心位居当今世界高层建筑之首。面对高层建筑数量、形式、结构、材料和功能的巨大变化,灭火救援的难度逐步增大,虽然公安消防部队灭火装备和技术有了长足进步,但我们的各项灭火救援准备工作和技战术措施仍难以有效地应对严峻的挑战。为进一步提高公安消防部队扑救高层建筑火灾的实战能力,贯彻落实国务委员、公安部部长孟建柱和副部长刘金国等领导同志提出的“要认真研究高层建筑火灾特性,着力加强对高层建筑等特殊火灾扑救的研讨,全力攻克高层建筑火灾防控这一世界性消防难题”的指示要求,公安部消防局于2008年在上海市举办了高层建筑火灾扑救研训班。140余名来自全国灭火救援专业的技术骨干系统地学习研究了高层建筑发展趋

势、结构设计、火灾机理、危害评估、防火规范、灭火装备、组织指挥等先进技术和前沿理论，国务院应急管理专家组组长、国务院参事闪淳昌，中国工程院院士、清华大学教授陈肇元等国家行政部门、科研院校、建筑设计领域的15名知名专家、学者进行了专题讲学，公安部灭火救援专家组专家对历年来高层建筑灭火救援典型战例进行总结讲评，开展了灭火战术、高层供水、疏散救人、控火排烟等62个项目的实地测试与演练，研讨了高层建筑火灾特点、固定消防设施配置、灭火救援预案制定、人员疏散逃生、灭火剂供给、组织指挥、战术运用、装备配置及防火设计规范修改等9个防控火灾关键课题。

为认真总结、巩固和发展高层建筑火灾扑救研训成果，深化灭火理论研究，推广实战性、实用性的技术战术，指导公安消防部队大力开展高层建筑灭火救援的针对性训练，全面提升高层建筑火灾的攻坚克难能力，公安部消防局战训处专门组织编辑了《高层建筑灭火对策研究指南》。全书分为专家讲座、课题研究、技战术训练、战例分析和附录等部分，精选了研训班授课内容和课题研究成果，收录了高层建筑火灾扑救训练操法和测试数据，整理了22起高层建筑火灾扑救典型战例。本书由郭铁男任编审委员会主任，杨建民、朱力平、张荣昌、陈飞、李金文任副主任，冷俐、魏捍东任主编，丁克富、周建中任副主编，伍和员、赵洋、刘洪强、卢金星、苗国典、朱忠明、郭奕贺、邓立刚、王珂、朱志祥、陈建槐、朱伟峰、王城、刘文洪、倪浩参加了编写，魏捍东同志对全书进行了统稿。

本书对指导高层建筑火灾扑救研究，开展高层建筑灭火测试训练和实战演练提供了成功的范例，为解决高层建筑火灾扑救这一世界性消防难题开辟新的思路、拓展新的途径、提供新的方法，对于提升公安消防部队高层建筑火灾防控水平和灭火救援战斗力将起到积极的推动作用。本书收录的专家授课材料、上海市公安消防总队开展高层建筑测试训练操法和测试数据，不作为最终结论依据，仅供研究时学习参考。

本书在编写过程中，得到了上海市公安消防总队等各有关方面的大力支持，在此一并表示感谢。因时间仓促、水平有限，不当之处，恳请批评指正。

编 者

2009年5月

目 录

第一章 专家讲座	1
第一节 房屋建筑物的安全性与灭火抢险救援.....	3
第二节 高层建筑结构现状与发展.....	21
第三节 建筑钢结构防火技术.....	39
第四节 国内外高层建筑灭火消防车技术.....	51
第五节 建筑装修材料与防火.....	59
第六节 直升机在消防上的应用.....	70
第七节 中国警航发展建设简况.....	80
第八节 高层建筑火灾防治理论研究的进展及应用.....	85
第九节 高层建筑灭火组织指挥.....	104
第十节 高层建筑灭火若干问题的思考.....	133
第二章 课题研究	139
第一节 高层建筑固定消防设施的应用.....	141
第二节 高层建筑灭火装备配置需求.....	146
第三节 高层建筑火灾扑救的组织指挥.....	150
第四节 高层建筑火灾扑救战斗行动.....	153
第五节 高层建筑火灾扑救灭火剂供给.....	160
第六节 高层建筑灭火救援预案制的定与演练.....	168
第三章 技战术训练	175
第一节 应用训练.....	177
一、固定消防设施训练.....	177
二、水带铺设训练.....	180
三、综合作战训练.....	189
第二节 测试训练.....	203
一、测试用主要车辆装备.....	203
二、登高训练.....	208
三、灭火剂供给训练.....	210
四、云梯消防车训练.....	224
第四章 战例分析	231
第一节 黑龙江省哈尔滨市天鹅饭店特大火灾.....	233
第二节 辽宁省大连市大连饭店火灾.....	234
第三节 江西省南昌市万寿宫商城火灾.....	235
第四节 福建省福州市高福纺织有限公司火灾.....	236

第五节 广东省珠海市前山纺织城火灾·····	237
第六节 浙江省绍兴市王朝大酒店火灾·····	238
第七节 江西省九江市大中大商厦火灾·····	239
第八节 河南省郑州市天然商厦火灾·····	240
第九节 广东省汕头市邮电局金砂邮电大楼火灾·····	241
第十节 辽宁省沈阳市沈阳商业城火灾·····	242
第十一节 广东省深圳市端溪酒店火灾·····	244
第十二节 新疆喀什市工业品贸易中心大楼火灾·····	245
第十三节 吉林省长春市商业城火灾·····	246
第十四节 陕西省宝鸡市人民商场火灾·····	247
第十五节 贵州省人民政府5号办公楼火灾·····	248
第十六节 山东省德州市美丽华大酒店火灾·····	249
第十七节 重庆市渝中区中天大酒店火灾·····	250
第十八节 四川省南充市达亨副食品有限责任公司综合楼火灾·····	251
第十九节 辽宁省广播电视中心广播电视塔火灾·····	253
第二十节 上海市环球金融中心火灾·····	254
第二十一节 新疆乌鲁木齐市德汇国际广场批发市场火灾·····	255
第二十二节 黑龙江省哈尔滨市360度高层商服住宅楼火灾·····	259
第二十三节 高层建筑火灾典型战例综合分析·····	260
第五章 附录（一）2008年高层建筑火灾扑救研讨班相关资料·····	267
第六章 附录（二）国内外高层建筑防火与灭火救援相关资料参考·····	311

第一章 专家讲座

第一节 房屋建筑物的安全性与灭火抢险救援

中国工程院院士、清华大学教授 陈肇元

房屋建筑物的安全性，是指建筑物在各种外加作用下能够保护生命财产免遭损失的能力。建筑物可能遭受的外加作用，大体有三类：（1）可预见的一般作用或常遇的一般荷载作用，如建筑物自身的重量，内部的人员、货物、设备等使用荷载，风雪荷载等；（2）偶然作用，如地震、爆炸、火灾、撞击等灾害作用，发生的概率很低，但作用的强度与后果都比较严重；偶然作用也包括难以预见的重大自然灾害和不可预见的重大人为差错；（3）环境作用，主要指周围大气（如降水、冰冻、温湿度变化等）和接触环境中的盐、酸等化学腐蚀性物质的作用，使得建筑材料的性能缓慢退化，最终也会影响到建筑物安全。环境作用下的问题主要与建筑物的耐久性有关，相对来说，与灭火抢险救援的关系较为间接。

从建筑物设计的发展历史看，在早期的设计中主要考虑的是可预见的一般荷载作用，要求建筑物能够安全地承受自重和规定大小的使用荷载与风雪等荷载而不会发生破坏，并且应有足够的安全裕度。随着社会经济发展与财富积累，偶然灾害作用导致建筑物破坏倒塌所造成的直接与间接损失越来越大，大概从上世纪二三十年代起，发达国家在设计地震区建筑物时，逐渐要求建筑物必须能够承受规定大小的地震烈度而不致于破坏倒塌。到上世纪60年代，由于城市内的燃气普及以及城市化的结果导致各种天灾人祸的偶然灾害后果变得越发严重，发达国家对于建筑物的设计又进一步提出了必须考虑不可预见的地震、爆炸、撞击、飓风、洪水等可能发生的灾害作用与重大人为差错后果，要求建筑物必须具有整体牢固性，即在发生不可预见的灾害作用或重大人为错误造成建筑物的局部破坏或局部倒塌时，具有不致引发成更大范围的类似多米诺骨牌似的连续倒塌；这种设计思想实际上已是一种减灾策略，因为在特大灾害作用面前要完全避免发生破坏是难以做到的。

绝对安全的建筑物是没有的。一般来说，建筑物的安全性要求愈高，需要投入的资源和费用也愈大，所以建筑物设计的安全设置水准，实质是投入与风险后果的博弈，取决于社会发展水平与资源供给的可能性。建筑物在不可预见的天灾人祸下发生局部破坏很难避免，但应尽可能避免发生与初始局部破坏不相称的后续连续倒塌。对于火灾作用，虽然在建筑物设计中已经提出了规定的耐火极限要求，但是火灾作用的规模大小与发生地点都是不确定和不确知的，所以建筑物的整体牢固性对于抵抗火灾等灾害作用也特别重要。

不同类型的建筑物，在火灾等偶然作用下的安全性及其防止破坏倒塌的潜力有很大差别，这是我们在灭火和抢险救援中需要注意的。另外，我国现有的建筑物还有一个很突出的问题，就是不同年代建造的建筑物，在设计时对安全性的要求大不相同，各个时期的施工质量也很悬殊，而在长期使用过程中又缺乏管理和及时维修，所以有些建筑物本来就存在不少隐患，一旦发生火灾，更容易引起倒塌，对抢险救援人员形成很大的威胁。

公安部消防局举办的研讨班，对从事土建工程建设的专业人员来说是非常难得的学习机会，我们能够从中了解建筑物倒塌事故的案例，从建筑物设计的专业角度，去思索怎样改善当前房屋设计安全标准过低的局面。参加这样的研讨班，听到大家的战例分析以及抗灾救援战士们面对灾害现场所表现出来的英勇气概和高尚品质，更受到深刻教育。下面就我知识所及，向大家汇报在建筑物灭火与抢险救援中，可能需要注意的有关建筑物安全性的一些问题。

一、建筑物的安全性

一般的房屋建筑物通常由结构构件、建筑部件和建筑设备三大部分按照一定的方式组合布置而成，所以建筑物的安全性可从建筑结构、建筑部件、建筑设备和建筑布置等方面加以估量。

（一）建筑结构安全性

建筑结构由基础、柱、梁、墙体、楼板等承重构件组成，结构的主要功能是承重，犹如人体中的骨架，支撑起整个建筑物并将作用于建筑物上的各种外加荷载传递到地基。所谓结构的安全性，就是结构在外加作用下防止破坏倒塌的能力。有的结构构件如建筑物的外墙，除了承重功能外，还可能同时具有遮蔽风雨、隔开内外的围护作用。在建筑物的安全性中，结构的安全性最为重要，因为结构的破坏倒塌也必定连累到建筑物中其他建筑部件和设备的毁坏，意味着家破人亡。

对于结构安全性，我们要求承载的梁、板、柱、墙等每一个结构构件在设计规定大小的外加作用下应有足够的安全承载能力。同时，它们联接在一起，整个结构还要具有足够的整体牢固性，不能像儿童玩具积木搭成的房子那样，每块积木的强度很大，可是搭在一起，一捅就全部倒塌。此外，我们还希望，即使结构遇到某种不可预见的重大偶然灾害作用或重大人为差错（即设计未曾规定的作用或超过规定值的）而发生个别构件的局部破坏甚至局部倒塌时，具有防止演变成大范围连续倒塌的能力；万一发生倒塌，我们也要设法尽量延长结构的倒塌时程，争取室内人员有足够时间逃生。所以为了保证结构的整体牢固性，结构需要具备：（1）构件之间的连接（节点）可靠，节点的强度要大于被连接的构件强度，不能先于构件之前发生破坏；（2）延性，也就是在破坏过程中能够发生较大的变形而不是很快地脆断，延性与脆性是两种对立的性能；（3）冗余度，即结构不仅依靠一条途径就能将外加的荷载作用传递到建筑物的地基，冗余就是多余的意思，即使平时发挥作用的一条或几条途径破坏了，还有多余的途径能在紧急关头发挥作用，帮助抢险逃生。

（二）建筑部件安全性

建筑物中的门窗、隔断、屋面、装修饰面以及外墙挂板、玻璃幕墙、贴面砖、保温层和附着于外墙或房顶的招牌等，都属于非承重的建筑部件，它们在建筑物中的功能主要起围护作用并满足建筑物的使用（适用性）需要。建筑部件的安全性主要表现在建筑部件的防坠性能、部件材料无毒性、建筑地面防滑等。建筑部件中的外墙挂板、玻璃幕墙、贴面砖、招牌广告牌以及建筑设备中的空调外机坠落造成人员死伤事故时有发生；在灭火抢险救援中，我们也要注意这些部件受火灾高温影响后容易坠落或爆裂破碎后伤及救援人员。有的建筑装修材料和保温材料，在平时使用时无毒，但一遇火灾高温就会散发大量毒气。我国的建筑物设计规范标准，对于建筑部件的防坠要求缺乏具体规定，比如建筑物外墙粘贴面砖，一旦受潮或渗进雨水，受冻后膨胀，极易导致粘结破坏而脱落；对于玻璃幕墙与外墙主体结构的连接，也没有专门的防锈要求，如果平时使用时已经险象丛生，一旦发生火灾就更危险了。

（三）建筑设备或设备系统安全性

建筑设备是指建筑物中的水、电、燃气、供暖、空调通风等设施，建筑设备系统容易发生漏电、触电、燃烧、爆炸等安全事故并引发火灾，或在发生火灾时进一步诱发爆炸、燃烧等灾害。建筑设备及其系统中的各个部件、组件，多采用现成的产品，所以虽然设备与部件本身的安全性如电气绝缘性能、防爆防燃性能等应由厂家负责，而建筑物的设计与施工企业仍应负有选用和安装的责任。

（四）建筑布置安全性

建筑布置是指建筑物中的建筑部件、结构构件和建筑设备需按一定方式布置，满足建筑物的功能和使用要求。建筑布置的安全性包括人员防撞（如人员易撞上无醒目标志的无框格玻璃墙和玻璃门）、防物件掉落（如物件易通过楼梯、天井的侧面栏杆或挡板上的过大孔洞间隙或底部空隙下掉）、通风采光安全等，特别是建筑布置应有利于紧急事故发生时的人员与救援。疏散通道布置的安全性也要考虑冗余度，比如人员疏散通路也要有不止一个途径，应尽量分散布置。

一些发达国家对于建筑部件和建筑布置的安全性都在法律或行政法规上有很具体的强制要求，比如新加坡的《建筑物管理条例》规定：所有附着于外墙上的建筑部件必须采用不锈钢、磷铜、铝合金、青铜等不会锈蚀的连接件固定在主体结构的承重构件上并需作定期检查；外墙、屋面或门窗玻璃等材料的光反射系数不能大于10；所有无框格的大块玻璃门和玻璃墙必须要有醒目的防撞标志；如果玻璃墙外侧的地面低于墙内地面1m以上，则在墙的内侧必须设置不低于0.9m的栏杆或护墙；楼梯和天井侧面的栏杆与挡墙上的间隙和洞口，不得大到可以通过一个15cm直径的球体以防止什物下落伤人；在每层公共建筑内，建筑物的业主应在适宜位置设置永久性的醒目铭牌，刻有楼层平面图并标明楼板的设计使用荷载值；甚至连公共场所地面摩擦系数都有下限值的规定。建筑物的设计、施工或管理人如果违反这些规定，就要受到法律制裁。由于空调外机影响公共安全，新加坡建筑管理法规中专门设有一章加以详细规定，而在有些国家，根本不允许在外墙上设置空调外机。

二、建筑结构的安全性

上面已经提到，在整个建筑物的安全性中，结构安全性最为重要。1998年颁布的我国《建筑法》规定：“在建筑物合理使用寿命内必须确保主体结构的质量”，也就是说，结构的安全性在建筑物的使用寿命（或结构的设计使用年限）内必须确保，《建筑法》并没有要求建筑部件和建筑设备的使用年限也必须与建筑物的使用寿命相同，因为这些部件与设备的使用寿命一般较短，而且在建筑物长期使用过程中由于使用人的更换或生活习惯变化，往往也需对室内布置、装修和设备进行改装或更新。但建筑部件和建筑设备应有一定的保修年限要求。

结构安全性包括每一构件的承载能力安全性和结构的整体牢固性。由于历史原因，我国建筑物设计在安全性上的设置标准较低，与发达国家相比有很大差距。在过去的计划经济体制下，我国所有城镇房屋均为国家建造，为国家所有，当时的国家经济实力十分有限，物资又极为短缺，而且一直处于“备战备荒”年代，所以不得不降低建筑物的安全设置标准。但是现在的社会经济状况已有很大改变。随着经济发展和人民生活水平不断提高以及住房的私有化，要求房子结实耐用，质量要好。我们不能等到建成发达社会后再来提高建筑结构的安全性，因为我们现在从事的现代化工程建设，就是为了建设发达社会所需，所建的建筑物要在今后使用几十年乃至上百年。建筑物中的门窗、装修和建筑设备，在房屋长达百年的使用过程中可以更新、置换，唯独作为建筑物主体的建筑结构是不能更换的，必须对结构安全性提出更高要求。

结构的安全性主要取决于建筑物建造时结构设计的安全设置水准与建造时的施工质量保证，两者都与设计施工技术规范规定的标准高低有关，结构安全性也与长期使用过程中是否正确使用和正常维护有一定关系。所以，为了提高结构安全性，现在迫切需要提高现行的结构设计技术规范中的安全设置水准，并建立和完善建筑物长期使用阶段的安全质量管理体系。

（一）结构构件承载能力的安全性

构件承载能力的安全性主要取决于：

1.设计时取用的外加荷载作用的标准值大小，也就是以承受多大的荷载作为设计标准。比

如我国现行设计规范规定体育馆门厅或商场大厅等公共场所的楼板，是按 $350\text{kg}/\text{m}^2$ 的使用荷载（人员与设备重）标准值进行设计的。

2.设计时赋予构件的安全裕度大小，也就是为了确保安全性，结构设计时必须使构件的承载能力具有一定的安全储备或安全裕度程度，如果设计时正好刚够，那么设计出来的构件在实际使用中就可能会有一半左右不够安全。所以对于设计取用的荷载标准值和结构材料强度标准值，都要考虑一个安全系数。比如我国现行设计规范规定对于使用荷载的标准值应该再乘1.4的荷载安全系数加以放大后再用于设计计算，对于结构所用钢材的强度标准值需要除以1.08左右的钢材强度安全系数加以折减后再用于计算。

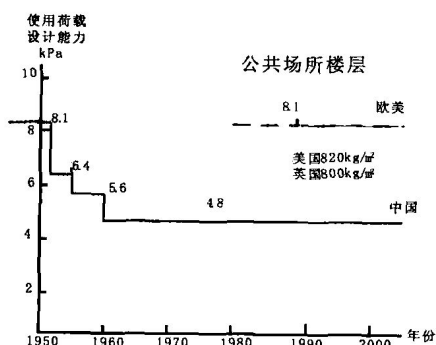


图1-1-1 公共场所楼板使用荷载设计值

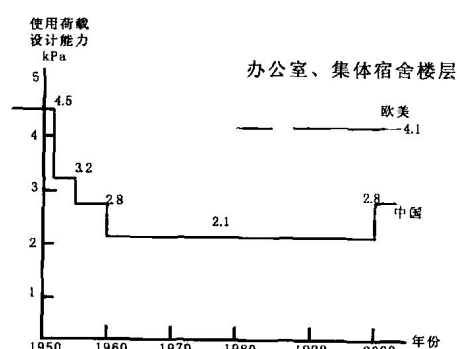


图1-1-2 办公室与宿舍楼板使用荷载设计值

图1-1-1和图1-1-2表示建国以来，我国房屋结构的楼板使用荷载设计值（荷载标准值与荷载安全系数的乘积）的变化情况。另外，还有一个影响承载能力的重要原因，就是在结构设计过程中，某些有利于结构安全性的因素由于较难在设计中考虑往往被忽略了，如受弯的楼板在弯曲时，两端支承的底面有向外推出趋势，往往会受到端部与之邻接的构件阻挡，这样就有可能提高楼板的实际抗弯承载能力；又如一般的构件在设计计算时往往不考虑结构整体受力的实际空间作用。但是这些有利因素的大小和有无通常是不确定的，如果在两端符合理想简支的预制条形楼板中，或者在某些预制装配式结构中，不存在这些有利因素，一旦遇到较大的外加使用荷载或风雪荷载，就会有很大风险并发生安全事故了。

对于公共建筑和共用建筑（如公寓）中有可能在紧急事故中出现人员极度拥挤和需要逃生救援的通道、楼梯、阳台等部位的楼板，按照我国目前设计规范规定需要承受使用荷载的能力，与国际通用规范仍有较大差距。如公共场所的栏杆，我国按每延米承受 100kg 的水平推力设计，而许多发达国家则按 300kg 设计。对生命的重视是社会进步的体现，随着国家对公共安全的重视程度愈来愈高以及保险业将逐渐介入建筑物安全管理，提高结构构件承载能力的安全设置水准应是必然趋势。

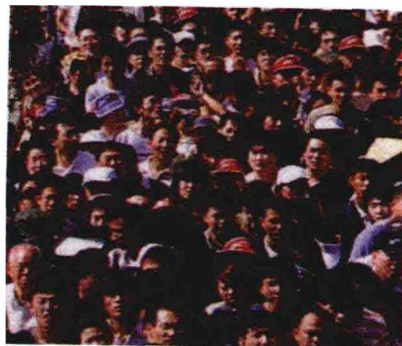


图1-1-3 人群荷载

研究表明,每平方米的人群密度在公共汽车内最挤时达12人甚至13人,公共场所拥挤时8人或9人,而我国规范规定的使用荷载标准值仅每平方米350kg(相当于5~6人,明显偏少)。

关于风雪荷载的设计标准值,我国荷载规范过去以30年一遇的最大风力为依据来设计50年使用寿命要求的结构。即使按新规范的规定以50年一遇取值,由于有些地方的最大风力受到特殊地理环境影响,在沿海地区如浙江台州的某些局部地域风力特大,如按荷载规范划定的依据大区域统计得出的风速,肯定不能适用。设计人员也应该根据当地调研来确定合理的风载、雪载的设计值。

由于楼板承受使用荷载的标准值取得较低,同样也可能降低结构抵抗地震的能力。这是由于地震力的大小与结构承受的荷载成正比,由于设计取用的使用荷载小了,所以作用于结构的地震力也随之降低。在结构抗火能力上也有类似情况,如按相同的耐火极限要求设计,比如同样要求公共场所楼板需有2h的耐火极限,按我国规范设计的结构实际抗火能力也要低于国外,原因是国内的楼板是在每平方米承受490kg使用荷载的条件下可以耐受火烧2h,而国外则是每平方米承受800kg烧2h。

(二) 结构的整体牢固性

对于结构的安全性来说,也许结构的整体牢固性要比结构构件承载能力的安全性更为重要。如果结构有很好的整体牢固性,即使个别构件因承载力不足发生破坏,通常还不至于立即造成坍塌,来得及逃生和及时抢救,即使坏了掉下来,一般也不会造成过多死伤。灾难性的人员伤亡主要是结构的连续倒塌引起的,源于结构缺乏整体牢固性。整体牢固性是结构在预见或不可预见的灾害作用下造成局部损坏时不致引发大范围连续倒塌的能力,主要依靠结构构件之间需有可靠的连接。我国建国后因钢材长期短缺,在千方百计节约钢材的背景下,大多数住房采用砌体墙和预制混凝土楼板组成的混合结构,又缺乏可靠的构造、连接措施,很容易在灾害作用下发生多米诺骨牌似的连续倒塌并造成大量人员伤亡。一有地震、风灾、洪灾,就会有大批房屋倒塌。2006年全国因自然灾害倒塌房屋193万间;2004年“云娜”台风在台州一地毁坏民居1.1万间和工业厂房247万 m^2 ,1998年长江中下游水灾破坏房屋479万间,1996年海南风灾损坏房屋7.3万间。20世纪全球发生死亡人数超过3万人的地震有11次,共死亡116万人,其中发生在中国有3次,死亡55万。这些地区的房屋多用砖石砌体建造,缺乏可靠的连接和延性。1978年唐山地震摧毁当地房屋21万幢,仅唐山一地的直接死亡人数就超过24万。

英国的设计规范在40年前就提出房屋结构的整体牢固性要求,要求所有房屋主体结构,做到:(1)应能承受同时作用于每层楼板和屋面位置上的假想的水平荷载,其大小等于楼板(屋面)上、下各半层高度内建筑物总重的1.5%,这个水平力通常要比风载大得多;(2)应设置有效的水平连接拉筋,包括周边连接拉筋、内部连接拉筋和墙柱连接拉筋,相当于将所有结构构件用钢拉条(钢筋)绑扎在一起;(3)检查建筑物的结构构件布置,确定结构中的关键构件,如某一构件的破坏仅引起紧邻范围的有限倒塌则为非关键构件,如破坏引起的倒塌能够扩大到紧邻的局部范围以外,则为关键构件,然后设法改变结构的布置尽量避免出现关键构件或尽可能减少关键构件数量,如果实在不能通过改变布置消除关键构件,就需对后者进行专门设计;(4)除关键构件另行设计外,建筑物的构造措施应能保证任一竖向承载构件被移去后,所引起的倒塌不会超出与该构件紧邻的有限范围,为此不仅需要设置上面已经提到的水平连接拉筋,而且还要设置有效的竖向连接拉筋。如果竖向连接筋的设置有困难,则应另行设法在这一构件被移去后,原先受其支承的构件不致下坠;(5)对于关键构件,要专门加大安全系数,对于5层及5层以上结构中的关键构件,要求在34kPa的均布气体压力同时作用于关键构

件表面及与之连接的相邻构件表面时，关键构件本身不能破坏。英国的砌体结构规范也有类似的设置拉筋与承受均布压力的要求。这种均布压力最早是模拟燃气爆炸压力提出的。燃气爆炸产生的压力，大多不会高于34kPa（相当于正常大气压的0.34倍）。

欧盟标准《混凝土结构设计规范》中，也具体规定了凡是不按规定大小偶然作用荷载设计的结构，都应设置拉结体系，当结构出现局部破坏时能够提供传递荷载的另行途径，防止结构发生连续倒塌，并详细规定了周边水平拉筋、内部水平拉筋、柱墙水平拉筋和竖向拉筋的尺寸、位置和计算方法。

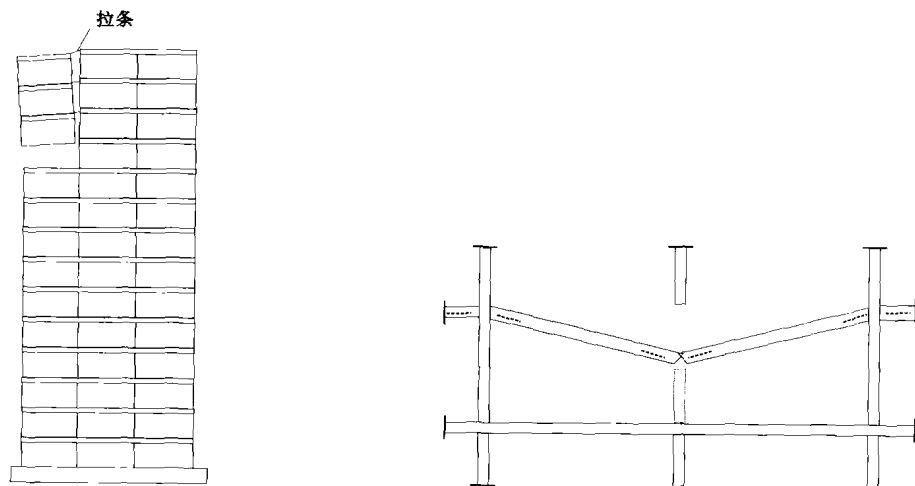


图1-1-4 加强整体牢固性措施举例

我国房屋结构的设计规范中，往往缺失对于结构整体牢固性的具体要求，仅对地震区的房屋结构设计提出一些防震措施，要求地震区的房屋有一定的抵抗地震作用的整体牢固性。但是抗震的某些构造措施如在每层墙体顶部设置圈梁，对于偶然爆炸压力作用下防止砌体结构倒塌有时并不能奏效。

三、不同类型结构的整体牢固性与抗火性能

（一）不同类型的结构构件

组成房屋主体结构的结构构件，如按其建造的结构材料分类，可分为：木构件、砌体构件、混凝土构件、组合构件等；如按其形状分类，有梁、柱、拱、拉杆、压杆等条形构件和板、墙、壳体等面形构件。

木结构构件现在已很少应用，原因是能够作为结构材料使用的木材资源在我国十分匮乏。既有建筑物中的木结构多为古建筑或建国初期修建的房顶木屋架。木材是可燃材料，未经特殊处理的木材不耐火，且易遭蛀蚀，在潮湿环境下还易腐烂。

砌体构件通常用烧结的黏土砖、混凝土空心砖或石块用水泥砂浆或石灰砂浆砌筑而成，砌体的抗拉能力很差，主要用于墙、柱、拱等受压构件，破坏时呈脆性，所以用砌体做成的结构一般都缺乏整体牢固性，但砌体结构有较强的耐火能力。

混凝土是世界上用量最大的人造材料，由水泥、沙、石加水拌和并硬化而成，可做成任意形状的结构，应用最为广泛。混凝土材料本身有很高的抗压强度，但抗拉强度甚低，而且破坏呈脆性，所以在混凝土内要配置钢筋，使得混凝土构件内的拉应力主要由钢筋承担，而压应力则主要由混凝土承受；配置钢筋的另一个目的是改善混凝土构件的脆性，使其具有较好的延

性,并使混凝土结构具有较好的整体牢固性。不配筋的混凝土构件称为素混凝土构件,在房屋中很少应用。配置钢筋后的混凝土构件通常称为钢筋混凝土构件(图1-1-5)。由于构件中的最大应力一般出现在构件截面的边缘处,为了最大限度地发挥钢筋的作用,所以钢筋的埋入深度不宜太大,宜靠近边缘处。但埋入深度也不能太小,否则钢筋就容易锈蚀。钢筋外缘离开混凝土构件表面的埋入深度称为钢筋的“混凝土保护层厚度”。混凝土不会燃烧,又是热惰性材料,耐火能力较好,但是钢筋的耐火能力很差,高温下的钢筋强度会急剧下降并消失,所以钢筋混凝土构件的抗火能力与保护层厚度有很大关系。为了耐火,太薄的保护层厚度是不允许的。图1-1-5上的构件是两端搁置于支承上的简支梁,端部可以自由伸长;图1-1-5中的构件是搁置于三个支承上的两跨连续梁,与简支梁比较,多了一个支座,即有一个冗余度;如果搁置一根梁的支座有五个,就是四跨连续梁,有了三个冗余度。

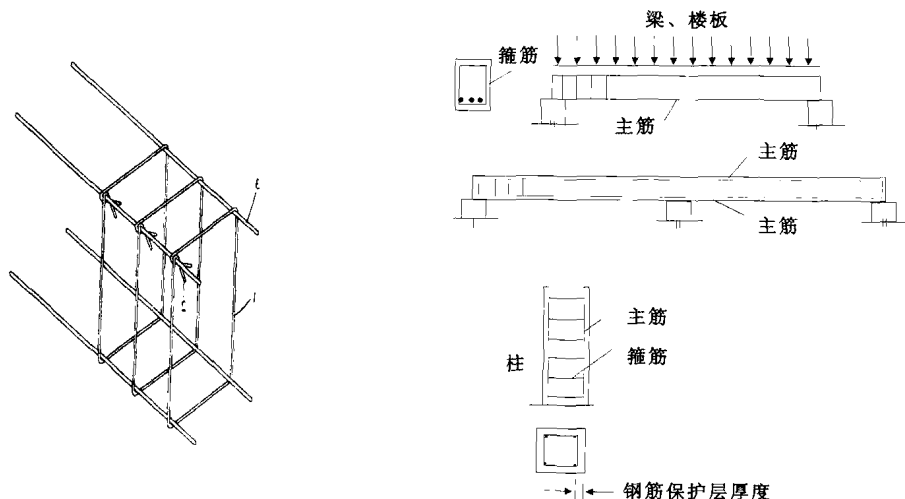


图1-1-5 钢筋混凝土梁、柱(从上至下,简支梁、连续梁、柱)

还有一种配筋混凝土构件叫预应力混凝土构件,是在混凝土构件受力前的施工建造过程中,置入一种预先张拉的预应力钢筋(或钢索),先使混凝土受到一定的压应力,这样可以更好地发挥出混凝土抗压强度高的优点,并能减轻混凝土构件在使用过程中的受拉负担。可是预应力筋都需采用高强度的钢筋,其耐火能力比普通钢筋更差,所需的混凝土保护层厚度更大。我国混凝土结构设计规范的缺陷之一,就是规定的混凝土保护层最小厚度,在很多情况下(特别在混凝土楼板中)不能满足抗火要求,对于预应力筋尤其不足。例如按英国设计规范,耐火极限1h和1.5h的混凝土预制楼板,保护层厚度至少分别为2cm和2.5cm,而按我国设计规范通常只有1.5cm甚至1cm;对于耐火极限2h的简支梁和连续梁,英国规范要求最外侧钢筋的保护层厚度至少分别为4cm和3cm,而我国通常只有1.5cm或2cm;如果是预应力楼板或梁,保护层厚度需要再加1cm(当耐火极限为1h)或2cm(当耐火极限为2h)。

混凝土构件还可以按照不同的施工制作方法分为现浇混凝土构件和预制混凝土构件。现浇混凝土构件是在工程现场按其建筑物中所处的实际位置支设模板,浇注新拌的混凝土,经养护硬化成型而成。而预制混凝土构件一般在工厂制作,运到工地后再在现场连接拼装成结构。预制混凝土构件主要用于装配式结构。

钢结构构件由各种型钢或型钢与钢板焊接(或螺旋连接)而成。钢材的强度高,延性又好,所以做成钢结构可以有非常优良的整体牢固性,条件是构件之间的连接(一般为焊接)节点必须可靠。但是钢结构的最大弱点就是抗火能力差,即使用耐火涂料和防火板阻隔,能够维持的耐火时间也比较有限。

组合构件由混凝土和型钢做成。如在钢管中灌入混凝土后成为钢管混凝土构件,具有很