

钢框架柱耐火稳定性 数值分析

史可贞 著

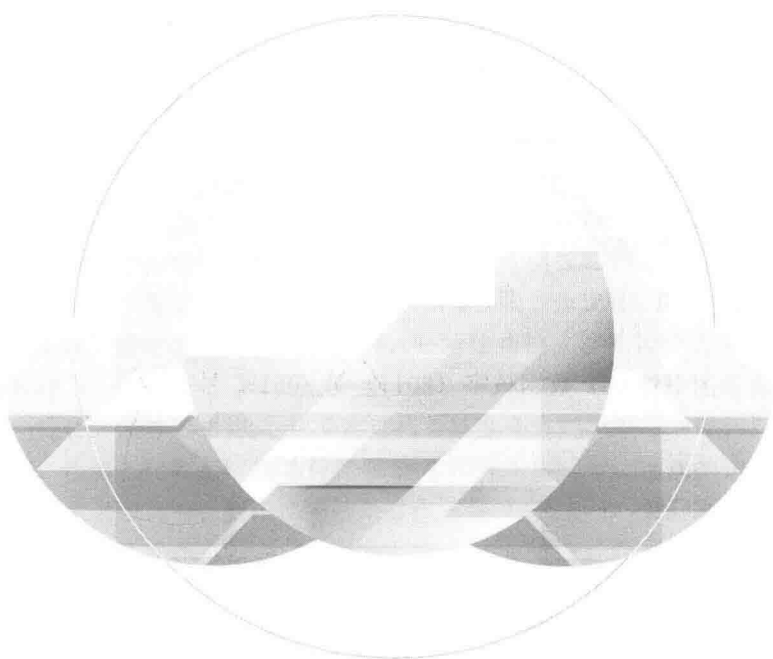
GANGKUANGJIAZHU
NAHUO WENDINGXING
SHUZHIFENXI



化学工业出版社

钢框架柱耐火稳定性 数值分析

史可贞 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书内容包括：绪论、火（热）作用、钢框架构件温度场计算、温度应力计算与钢柱耐火稳定性判据、钢框架柱耐火稳定性评估系统、钢柱耐火稳定性评估案例分析。书中基于大量试验研究所获得的温度应力三段式计算模型推广应用于双向框架结构的评估与计算，突破了传统弹性力学分析方法和计算机模拟分析方法的局限性，希望对我国钢结构耐火性能的评估能够起到一定的推动作用。

本书主要供从事钢结构耐火设计与评估的相关人员参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

钢框架柱耐火稳定性数值分析/史可贞著. —北京：
化学工业出版社，2017.7
ISBN 978-7-122-30500-8

I. ①钢… II. ①史… III. ①钢梁-框架梁-耐火性-
数值分析 IV. ①TU398

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 209190 号

责任编辑：张双进

装帧设计：韩 飞

责任校对：宋 夏

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张 9½ 字数 181 千字 2017 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：49.00 元

版权所有 违者必究

钢材的特点是强度高、自重轻、延性、抗震性能好、施工周期短,所以以钢材作为主要结构构件的钢结构建筑具有优异的结构性能和经济上的优势,已越来越多地应用于工业与民用建筑中。随着经济的快速发展及钢结构建筑在我国的普及推广,我国建成了一大批大跨度及高层钢结构建筑,如国家体育场鸟巢、水立方、上海环球金融中心和新中央电视台等。

钢结构虽有许多优点,但耐火性能差是其最大的弱点。钢材虽是不燃材料,但却不耐火。理论分析及试验结果表明,钢结构耐火性差的主要原因有:①在火灾高温作用下,由于其内部晶格结构发生变化,强度、弹性模量等基本力学性能随温度升高降低明显;②钢构件多为薄壁状,截面系数大,从火场吸收热量多,火灾中升温快;③钢材的导热系数大,截面上温度均匀分布,火更容易损伤其内部材料。一般说来,未加保护的裸露钢结构在火灾中 15~20min 内即会发生倒塌破坏,造成较大人员伤亡或财产损失。钢结构在火灾中被烧塌的事故早已不胜枚举。1998 年北京玉泉营家具城发生火灾,造成该建筑物整体倒塌。2003 年青岛市的正大食品厂钢结构厂房发生特大火灾,造成厂房大面积倒塌,造成重大损失。1990 年英国一幢多层钢结构建筑在施工阶段发生火灾,造成钢梁、钢柱和楼盖钢桁架的严重破坏。2001 年 9 月 11 日,恐怖分子劫持满载燃油的民航客机撞击美国纽约世贸中心双塔大楼,造成大楼承重的钢结构筒体的保护层被破坏,在爆炸和强烈的高温作用下,结构内框架钢柱强度迅速下降并坍塌,造成 3000 余人死亡或失踪,经济损失无法估计。因此,在钢结构建筑被日益广泛应用的同时,对钢结构抗火性能的研究已经成为工程界的热点问题。

钢结构往往为超静定结构。超静定结构各杆件在受到不均匀温度作用下将产生不均匀膨胀,但由于存在多余约束,膨胀较大的构件受到与之相连的构件的约束,该构件将会产生温度内力,而在其截面上会产生温度应力,从而增加荷载效应。也就是说,结构在受温度作用过程中,不但自身抗力在下降,而且结构本身由于温度应力的产生还会有一个自加载过程,使得施加在结构上的荷载增大。目前,对于钢结构由于温升的原因所引起的结构抗力下降的研究已经较为完善,而对于温度应力所引起的结构自加载研究还远远不够。正确评估钢结构在火灾时的荷载效应亦即温度内力是耐火设计的核心热点问题。目前,钢结构抗火设计规范中引入温度内力参与荷载效应组合已成为明确的发展方向。比较先进的欧洲钢结构规范虽明确规定温度应力应参与组合,但并未给出温度应力的具体计算方法。我国《建筑钢结构防火技术规范》(CECS 200:2006)和《有色金属工程设计防火规范》(GB 50630—2010)对温度应力计算基于弹性分析方法,而钢材在高温作用条件下具有较强的弹塑性,

弹性法必然过高地估计了温度应力。采用非线性分析方法可考虑钢材的弹塑性性质，但现有分析方法均采用恒温加载材料模型，与钢结构实际热-力路径不符。

本书中，作者主要利用所在课题组通过大量试验研究所获得的温度应力三段式计算模型，并将其推广应用于双向框架结构的评估与计算，以钢框架柱及其周围构件组成的子结构为对象，引入有色金属冶炼厂房炉料热辐射和民用建筑一般室内火灾两种热作用，根据传热学和力学基本原理，考察钢框架中柱的耐火稳定性。突破了传统弹性力学分析方法和计算机模拟分析方法的局限性，希望对我国钢结构耐火性能的评估能够起到一定的推动作用。

本书在撰写过程中，得到了中国人民武装警察部队学院屈立军教授的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于水平和知识有限，书中不妥之处，衷心希望广大读者批评指正，多提宝贵意见。

作者

2017年6月

I 目录 I

I CONTENTS I

第一章 绪论	001
第一节 火灾及其危害	001
第二节 火灾对钢结构的危害	004
第三节 钢结构耐火设计	007
一、我国现行规范中钢结构耐火设计方法	007
二、规范采用方法存在的不足	012
三、较为先进的耐火设计方法	014
第四节 温度应力的研究现状	015
一、温度应力在钢结构耐火设计与评估中的重要性	015
二、温度应力研究现状	017
第二章 火(热)作用	023
第一节 民用建筑一般室内火灾	023
一、建筑火灾的发展与蔓延	023
二、民用建筑一般室内火灾轰燃后的火灾温度计算模型	025
第二节 有色冶炼厂房炉料热作用	034
第三章 钢框架构件温度场计算	037
第一节 传热学基本原理	037
一、热传导	037
二、热对流	038
三、热辐射	038
第二节 民用建筑一般室内轰燃火作用下钢框架温度计算模型	038
一、各国规范中钢构件温升计算模型	038
二、实际火灾作用下的钢构件温度计算模型	040
第三节 炉料热作用下框架钢柱温度计算模型	041
一、I类设置形式H型钢柱温度计算模型	044
二、II类设置形式H型钢柱温度计算模型	046
三、方矩管钢柱温度计算模型	049
四、平均温度与最高温度	051
第四节 炉料热作用下框架梁温度计算模型	053

第四章 温度应力计算与钢柱耐火稳定性判据	056
第一节 轴向约束钢柱温度应力试验简介	056
一、 试验设备	057
二、 试件参数	058
三、 温度测量	058
四、 初始应力水平	059
五、 约束刚度	059
六、 试验过程	060
第二节 试验结果与影响因素分析	060
一、 试验结果	060
二、 温度应力影响因素分析	064
第三节 试验总结的轴心约束钢构件温度应力计算函数介绍	065
一、 温度应力计算函数的回归	065
二、 误差分析	066
三、 稳定性分析	067
四、 温度应力函数全貌	068
五、 计算结果对比	068
第四节 温度应力计算函数的分段叠加法	070
第五节 轴向约束作用下钢柱温度应力计算模型	073
一、 柱轴向约束刚度	073
二、 温度应力的虚拟双轴对称计算方法	076
第六节 相邻梁水平推力作用下钢柱温度应力计算模型	079
一、 钢梁两端轴向约束刚度	079
二、 温度应力计算模型	079
第七节 截面温差作用下钢柱温度应力计算模型	080
第八节 目标柱的总温度应力	081
第九节 钢柱耐火稳定性判据	082
第五章 钢框架柱耐火稳定性评估系统	084
第一节 系统功能与分析模型	084
第二节 系统分析步骤与结构	085
一、 分析步骤	085

二、 计算程序框图	086
三、 系统调试	091
第三节 系统基本操作	091
一、 系统的安装与卸载	091
二、 进入系统	094
三、 数据输入与计算	095
四、 耐火稳定性判据	104
五、 改善钢柱耐火稳定性的技术措施	104
第四节 系统参数说明	105
一、 计算程序数据输入说明	105
二、 炉料相关参数说明	105
三、 一般室内火灾相关参数说明	106
四、 构件保护相关参数定义	108
五、 框架相关参数定义	109
六、 系统输出结果说明	110
第六章 钢柱耐火稳定性评估案例分析	111
第一节 有色炉料热作用下六层框架柱的耐火稳定性计算	111
一、 工程概况	111
二、 系统分析过程	112
三、 计算结果分析	121
第二节 一般室内火灾框架柱耐火稳定性计算	125
一、 工程概况	125
二、 系统分析过程	125
三、 计算结果分析	130
第三节 系统构件温度计算分析	133
一、 炉料热作用下钢构件温度	133
二、 一般室内火灾作用下构件温度	136
第四节 系统轴向约束温度应力计算分析	138
参考文献	142

第一章

绪论

第一节 火灾及其危害

火的使用是人类的伟大创举之一，它曾经是人类文明的重要象征，并在社会进步中起着无法估量的重要作用。因为利用了火人们才吃上了熟食，改变了茹毛饮血动物般的生活，使人的大脑逐渐发达。火的应用，极大地推动了科学技术的发展。最初，火被用于酿造、制陶；稍后，火又被用于冶炼；到了 19 世纪，由火提供动力的蒸汽机的发明和广泛使用，促进了近代工业和资本主义的发展；直至今日，现代科技高度发达，但不论是人们的衣食住行，还是工农业生产的发展，都离不开火。总之，人类文明是伴随着火的应用而发展的。可以说，没有火的利用，就没有今天的物质文明和精神文明。一部人类文明的进步史，就是一部人类的用火史。然而，世界上的一切事物都是一分为二的，火虽然给人类带来了文明，但其一旦失去控制，又会危及生命财产和自然资源，给人类带来灾难。这种在时间和空间上失去控制的火所造成的灾害就是火灾，它是各种灾害中最频繁且极具毁灭性的灾害之一。一般而言，社会越发展，物质越丰富，火灾发生的频率和造成的损失就越大。火灾造成的损失在我国和世界均呈上升趋势。

火灾每年要夺走成千上万人的生命和健康，造成数以亿计的经济损失。据统计，全世界每年的火灾经济损失可达整个社会生产总值的 0.2%，我国 20 世纪 50 年代平均火灾直接经济损失为 0.5 亿元，60 年代为 1.5 亿元，70 年代为 2.5 亿元，80 年代为 3.2 亿元，90 年代为 10.0 亿元，进入 21 世纪，火灾损失更为严重。表 1-1 列出了 1950~2015 年期间我国的火灾情况。

表 1-1 1950~2015 年期间我国的火灾情况

年份	起数	直接损失 /万元	死亡/人	伤/人	年份	起数	直接损失 /万元	死亡/人	伤/人
1950	19692	1778.8	908	1873	1956	89680	6141.9	3408	14454
1951	19740	4420.1	754	2526	1957	75579	5818.2	2929	9742
1952	36585	7321.3	741	2967	1958	73315	8173.9	5310	11352
1953	37766	8077.2	1180	4292	1959	114880	11616.9	10131	14617
1954	43849	3962.6	1414	2773	1960	90845	17886.3	10843	13809
1955	89703	4158.6	1865	5210	1961	103485	23009.2	6989	10597

续表

年份	起数	直接损失 /万元	死亡/人	伤/人	年份	起数	直接损失 /万元	死亡/人	伤/人
1962	105064	17389.6	4990	8555	1989	24154	49125.7	1838	3195
1963	106468	16691.2	4798	8939	1990	58207	53688.6	2172	4926
1964	63301	9724.0	3441	6646	1991	45167	52158.8	2105	3771
1965	76859	9588.2	4179	8283	1992	39391	69025.7	1937	3388
1966	85377	19695.0	5386	12171	1993	38073	111658.3	2378	5937
1967	36861	6403.4	1912	4199	1994	39337	124391.0	2765	4249
1968	25940	5538.9	1114	2484	1995	37915	110315.5	2278	3838
1969	35205	9651.2	1348	3615	1996	36856	102908.5	2225	3428
1970	39925	9904.9	2167	5658	1997	140280	154140.6	2722	4930
1971	75593	30428.4	4362	12368	1998	142326	144257.3	2389	4905
1972	88417	26625.7	4629	10437	1999	179955	143394.0	2744	4572
1973	84966	22141.9	4337	9095	2000	189185	152217.3	3021	4404
1974	86614	27527.8	4348	8799	2001	216784	140326.1	2334	3781
1975	82221	21343.0	4818	8674	2002	258315	154446.4	2393	3414
1976	81634	25418.9	5673	9865	2003	253932	159088.6	2482	3087
1977	85442	33519.4	5583	8699	2004	252804	167357.0	2562	2969
1978	81667	22743.4	4046	7990	2005	235941	136603.4	2500	2508
1979	88082	23236.2	3696	6175	2006	231881	86044.0	1720	1565
1980	54333	17609.3	3043	3710	2007	163521	112515.8	1617	969
1981	50034	23130.6	2643	3480	2008	136835	182202.5	1521	743
1982	41541	18926.3	2249	2929	2009	129382	162392.4	1236	651
1983	37026	20398.0	2161	2741	2010	132497	195945.2	1205	624
1984	33618	16086.4	2085	2690	2011	125417	205743.4	1108	571
1985	34996	28421.9	2241	3543	2012	152157	217716.3	1028	575
1986	38766	32584.4	2691	4344	2013	388821	484670.2	2113	1637
1987	32053	80560.8	2411	4009	2014	395052	470234.4	1815	1513
1988	29852	35424.4	2234	3206	2015	346701	435895.3	1899	1213

根据国外统计，火灾间接损失是直接损失的3倍左右，那么，2015年，全国约有131亿元财产被付之一炬。从表1-1可见，随着我国经济的快速发展，人口的增多，城市面积的扩大，工业生产的复杂性及易燃、易爆危险品的大量使用，火灾损失也与日俱增。

常见的火灾有建筑火灾，露天生产装置火灾，可燃材料堆场火灾，森林火灾，交通工具火灾等。由于人类所有活动均与建筑物有关，所以建筑火灾必然居

其首位。建筑火灾发生次数最多,损失也最严重。统计表明,我国建筑火灾发生次数占总火灾次数的80%,直接经济损失占70%。表1-2列出了我国1979~2015年间一次死亡30人以上的火灾情况统计。分析表中火灾情况可知,建筑火灾所造成的危害是巨大的,应该引起人们的高度重视。

表 1-2 1979~2015 年间我国一次死亡 30 人以上的火灾情况

序号	起火日期	起火单位名称或地址	死亡/人	伤/人	直接损失/万元
1	1979 年 12 月 18 日	吉林省吉林市某液化石油气厂	32	54	539
2	1982 年 3 月 9 日	福建省某制药厂冰片车间	65	35	35
3	1985 年 1 月 18 日	上海飞往北京的某航班	38	3	280
4	1986 年 3 月 28 日	云南省安宁县某山林	56	3	
5	1986 年 4 月 11 日	山东省德州市一客车	35	17	2.4
6	1987 年 3 月 15 日	黑龙江省哈尔滨市某纺织厂	58	177	650.4
7	1987 年 4 月 15 日	内蒙古自治区某林业作业区	49	31	
8	1987 年 5 月 6 日	黑龙江省某林区	193	171	52666.1
9	1988 年 1 月 7 日	广州开往西安的某列车	34	30	16.3
10	1990 年 5 月 8 日	黑龙江省鸡西某山矿	80		567
11	1990 年 7 月 7 日	乌鲁木齐开往库尔勒市的一客车	38	13	9
12	1990 年 10 月 23 日	福建省福清县一油罐车	31	22	
13	1991 年 5 月 30 日	广东省东莞市某雨衣制造厂	72	47	116
14	1993 年 2 月 14 日	河北省唐山市某百货大楼	81	54	401.2
15	1993 年 11 月 19 日	广东省深圳市某玩具厂	84	40	260
16	1993 年 12 月 13 日	福建省福州市某纺织有限公司	61	7	600
17	1994 年 6 月 16 日	广东省珠海市某纺织城	93	156	9500
18	1994 年 11 月 27 日	辽宁省阜新市某歌舞厅	233	20	12.8
19	1994 年 21 月 8 日	新疆维吾尔自治区克拉玛依市某礼堂	325	130	210.9
20	1995 年 3 月 13 日	辽宁省鞍山某商场	35	18	866
21	1995 年 4 月 24 日	新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市某时装城	53	6	41.6
22	1996 年 7 月 17 日	广东省深圳市某酒店	30	13	13
23	1996 年 8 月 9 日	河南省濮阳至汤阴的输油管道	43	54	1.6
24	1996 年 11 月 27 日	上海市四川中路某居民楼	36	19	178
25	1997 年 1 月 5 日	黑龙江省哈尔滨市某打火机厂	93	15	4.1
26	1997 年 1 月 29 日	湖南省长沙市某酒家	40	79	97.2
27	1997 年 2 月 12 日	广深高速公路一客车	40	6	11.2
28	1997 年 4 月 12 日	福建省晋江市某鞋厂	32	4	80.4
29	1997 年 12 月 12 日	黑龙江省哈尔滨市某酒店	31	17	61.9
30	2000 年 3 月 29 日	河南省焦作市某俱乐部	74	2	20
31	2000 年 4 月 22 日	山东省青州市某肉鸡加工车间	38	20	95.2

续表

序号	起火日期	起火单位名称或地址	死亡/人	伤/人	直接损失/万元
32	2000 年 12 月 25 日	河南省洛阳市某商厦	309	7	275.3
33	2003 年 2 月 2 日	黑龙江省哈尔滨市某酒店	33	10	15.8
34	2004 年 2 月 15 日	吉林省吉林市某商厦	54	70	426.4
35	2004 年 2 月 15 日	浙江海宁市某村	40	3	0.1
36	2005 年 6 月 10 日	广东省汕头市某宾馆	31	28	81
37	2005 年 12 月 15 日	吉林省辽源市某医院	37	46	821.9
38	2007 年 10 月 21 日	福建省莆田市秀屿区某鞋面加工场	37	19	30.1
39	2008 年 9 月 20 日	广东省深圳市某俱乐部	44	64	27.1
40	2010 年 11 月 15 日	上海市静安区某公寓大楼	58	71	15800
41	2013 年 6 月 3 日	吉林省德惠市某禽业有限公司	121	76	18200
42	2015 年 5 月 25 日	河南省平顶山市某老年公寓	39	6	37.1

第二节 火灾对钢结构的危害

钢材的特点是强度高、自重轻、延性抗震性能好、施工周期短，所以以钢材作为主要结构构件的钢结构建筑具有优异的结构性能和经济上的优势。由于钢结构独特的性能，决定了它最适用于建造大跨度和超高层建筑物。同时相比其他结构的建筑，钢结构建筑对环境造成的污染很少，是环保型和可持续发展的，因此钢结构作为一种优良的建筑体系，被誉为 21 世纪的“绿色建筑”之一，是一种节能环保型、能够循环使用的建筑结构，符合发展省地节能建筑和经济持续健康发展的要求。以上种种原因致使钢结构建筑日益得到了广泛的应用。随着经济的快速发展及钢结构建筑在我国的普及推广，我国建成了一大批大跨度及高层钢结构，如国家体育场鸟巢（图 1-1）、水立方（图 1-2）、上海环球金融中心（图 1-3）、新中央电视台等（图 1-4）。

在充分享受钢结构建筑带给人们的舒适环境的同时，也应该清醒地认识到，钢结构自身所特有的缺点——耐热但不耐火。钢材长期经受 100℃ 辐射热时，性能变化不大，具有一定的耐热性能，但高温下钢材的性能会有很大的变化，当温度超过 200℃ 时，会出现兰脆现象，温度为 400℃ 的时候，钢材的屈服强度将大幅降低，温度达到 600℃ 时，钢材仅有非常小的强度，将丧失承载能力。而一般火场的温度为 800~1000℃，再者钢材热导率大，截面温度分布均匀，更易于损伤其内部材料，且钢构件多为薄壁状，截面系数大，所以火灾中升温非常快，耐火性能差。当钢结构建筑没有采取有效防火保护的时候，一旦发生火灾，结构很容易遭到破坏，而使得建筑坍塌造成较大人员伤亡或财产损失。如图 1-5 所示为钢构件在火灾中产生了局部屈曲。

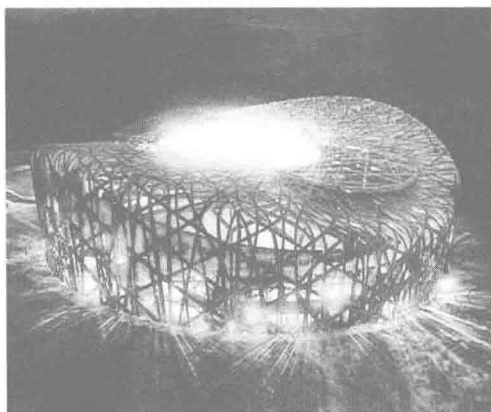


图 1-1 鸟巢

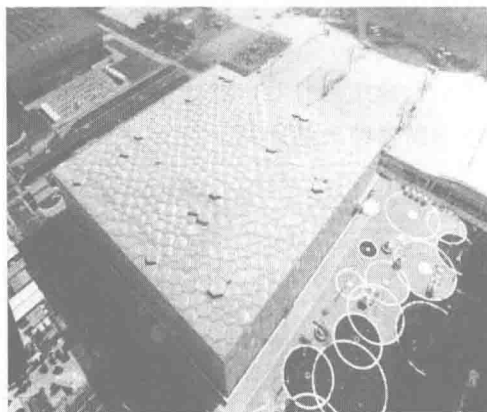


图 1-2 水立方



图 1-3 上海环球金融中心

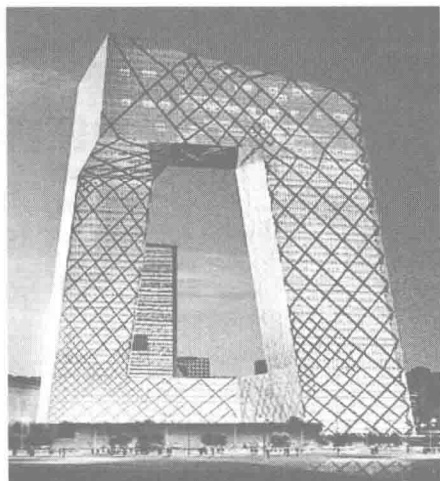


图 1-4 中央电视台新楼

国内外钢结构建筑在火灾中坍塌的例子很多。1998 年北京玉泉营家具城发生火灾（图 1-6），造成该建筑物整体倒塌。2006 年，比利时布鲁塞尔国际机场发生火灾，造成 4 人受伤，1 架飞机被烧毁，3 架飞机受到损坏，损失达数十亿欧元（图 1-7）。2003 年青岛市的正大食品厂钢结构厂房发生特大火灾，造成厂房大面积倒塌，造成重大损失。1990 年英国一幢多层钢结构建筑在施工阶段发生火灾，造成钢梁、钢柱和楼盖钢桁架的严重破坏。2009 年，在建的央视文化中心大楼工地发生特大火灾事故，大火燃烧将近 6h，在消防灭火过程中，1 名消防队员牺牲、多人受伤。火灾后的大楼，受烟熏区域面积达 $2.1 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，其中过火区域面积约 8490 m^2 。大火烧毁了楼内数字机房，并造成十几层中庭坍塌，造成直接经济损失约 16383 万元（图 1-8）。2001 年 9 月 11 日，恐怖分子劫持满载燃油的民航客机撞击美国纽约世贸中心双塔大楼，造成大楼承重的钢结构筒体

的保护层被破坏,在爆炸和强烈的高温作用下,结构内框架钢柱强度迅速下降并坍塌(图1-9),造成3000余人死亡或失踪,经济损失无法估计。由此可见,在钢结构建筑被日益广泛应用的同时,对钢结构的抗火性能的研究已经成为工程界迫切需要解决的问题。

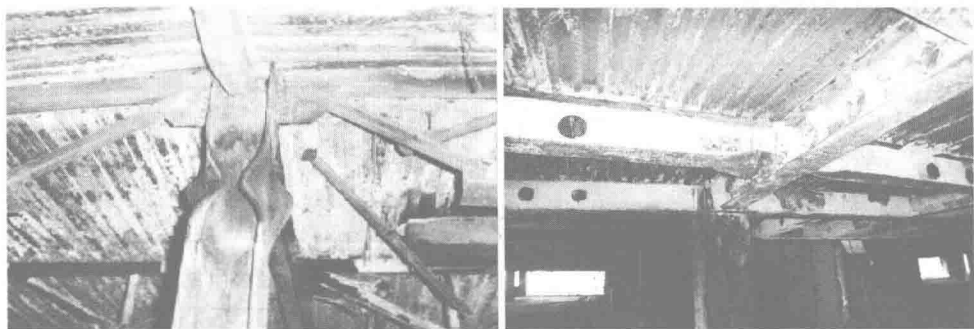


图 1-5 火灾引起钢构件局部屈曲

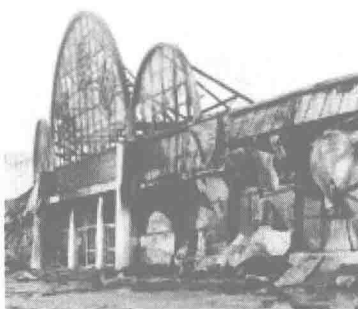


图 1-6 玉泉营家具城火灾后



图 1-7 布鲁塞尔国际机场火灾后坍塌



图 1-8 央视文化中心大楼火灾后



图 1-9 纽约世贸大厦被撞击起火

表 1-3 是一些国内外钢结构建筑物火灾案例。

表 1-3 一些国内外钢结构建筑物火灾案例

序号	结构类型	建筑名称	火灾时间	破坏情况
1	钢屋架	重庆天原化工厂	1960.2.18	20min 倒塌
2	钢屋架	上海文化广场	1969.12	15min 屋架坍塌
3	钢木结构	长春卷烟厂	1981.4.5	倒塌
4	钢梁	唐山市棉纺织厂	1986.2.8	20min 屋架坍塌
5	钢屋架	北京高压气瓶厂	1986.4.8	倒塌
6	钢屋架	江油电厂俱乐部	1987.4.21	20min 倒塌
7	钢屋架	河北张家口市某家具世界	1995 年	250m ² 钢屋架倒塌
8	钢结构厂房	石家庄市某工业厂房	1998 年	完全坍塌
9	钢框架结构	山西某电厂锅炉钢构架	2007.3.8	构件严重扭曲
10	钢结构	济南市历城区某厂房	2008.9.15	坍塌
11	外立面施工脚手架	上海静安区高层住宅	2010 年	坍塌,50 人死亡
12	钢框架	陕西咸阳某电脑城	2010 年	构件局部屈曲

第三节 钢结构耐火设计

一、我国现行规范中钢结构耐火设计方法

我国现行规范《建筑设计防火规范》对钢结构耐火设计采用的方法如下。

① 根据建筑物的重要性、火灾危险性、扑救难度、用途、层数、面积等选定建筑物的耐火等级；

② 由所选耐火等级，根据规范确定相应承重构件的耐火极限；

③ 设计承重构件及保护构造方案，由标准耐火试验校准构件实有耐火极限。若构件的实有耐火极限满足规范规定的耐火极限要求，则认为耐火设计合理。否则需重新设计承重构件及保护构造方案，直至耐火极限满足规范要求。

实用中，并不是每次设计都需要进行耐火试验，《建筑设计防火规范》附录中已列出了各种构件的耐火极限，只需查对校准即可。但如果设计的构件与规范所列构件有实质性差别时，则需进行新的耐火试验。

1. 建筑物的耐火等级

建筑物的耐火等级是衡量建筑物耐火能力的尺度，依据建筑物主要构件的耐火性能进行划分。耐火等级主要反映建筑物的控火能力和耐火能力。耐火等级高的建筑物，当某房间发生火灾时，其构件较好的隔火性能可控制火灾不致蔓延到相邻房间，即控制火灾于一定的空间内，既可减小损失，又能便于扑救。

(1) 民用建筑的耐火等级

民用建筑根据其建筑高度和层数可分为单、多层民用建筑和高层民用建筑。

高层民用建筑根据其建筑高度、使用功能和楼层的建筑面积可分为一类和二类。民用建筑的分类应符合表 1-4 的规定。

表 1-4 民用建筑的分类

名称	高层民用建筑		单、多层民用建筑
	一类	二类	
住宅建筑	建筑高度大于 54m 的住宅建筑(包括设置商业服务网点的住宅建筑)	建筑高度大于 27m, 但不大于 54m 的住宅建筑(包括设置商业服务网点的住宅建筑)	建筑高度不大于 27m 的住宅建筑(包括设置商业服务网点的住宅建筑)
公共建筑	1. 建筑高度大于 50m 的公共建筑; 2. 建筑高度 24m 以上部分任一楼层建筑面积大于 1000m ² 的商店、展览、电信、邮政、财贸金融建筑和其他多种功能组合的建筑; 3. 医疗建筑、重要公共建筑 4. 省级以上的广播电视和防灾指挥调度建筑、网局级和省级电力调度建筑; 5. 藏书超过 100 万册的图书馆、书库	除一类高层公共建筑外的其他高层公共建筑	1. 建筑高度大于 24m 的单层公共建筑; 2. 建筑高度不大于 24m 的其他公共建筑

- 注：1. 表中未列入的建筑，其类别应根据本表类比确定。
2. 除《建筑设计防火规范》（GB 50016—2014）另有规定外，宿舍、公寓等非住宅类居住建筑的防火要求，应符合该规范中有关公共建筑的规定。
3. 除《建筑设计防火规范》（GB 50016—2014）另有规定外，裙房的防火要求应符合该规范有关高层民用建筑的规定。

民用建筑的耐火等级应根据其建筑高度、使用功能、重要性和火灾扑救难度等确定，我国《建筑设计防火规范》（GB 50016—2014）规定：地下或半地下建筑（室）和一类高层建筑的耐火等级不应低于一级；单、多层重要公共建筑和二类高层建筑的耐火等级部应低于二级。

(2) 厂房的耐火等级

生产的火灾危险性应根据生产中使用或产生的物质性质及其数量等因素划分，可分为甲、乙、丙、丁、戊类，并应符合表 1-5 的规定。

表 1-5 生产的火灾危险性分类

生产的火灾危险性类别	使用或产生下列物质生产的火灾危险性特征
甲	1. 闪点小于 28℃ 的液体； 2. 爆炸下限小于 10% 的气体； 3. 常温下能自行分解或在空气中氧化能导致迅速自燃或爆炸的物质； 4. 常温下受到水或空气中水蒸气的作用，能产生可燃气体并引起燃烧或爆炸的物质； 5. 遇酸、受热、撞击、摩擦、催化以及遇有机物或硫黄等易燃的无机物，极易引起燃烧或爆炸的强氧化剂； 6. 受撞击、摩擦或与氧化剂、有机物接触时能引起燃烧或爆炸的物质； 7. 在密闭设备内操作温度不小于物质本身自燃点的生产

续表

生产的火灾危险性类别	使用或产生下列物质生产的火灾危险性特征
乙	1. 闪点不小于 28℃,但小于 60℃的液体; 2. 爆炸下限不小于 10%的气体; 3. 不属甲类的氧化剂; 4. 不属甲类的易燃危险固体; 5. 助燃气体; 6. 能与空气形成爆炸性混合物的浮游状态的粉尘、纤维、闪点不小于 60℃的液体雾滴
丙	1. 闪点不小于 60℃的液体; 2. 可燃固体
丁	1. 对不燃烧物质进行加工,并在高温或熔化状态下经常产生强辐射热、火花或火焰的生产; 2. 利用气体、液体、固体作为燃料或将气体、液体进行燃烧作其他用的各种生产; 3. 常温下使用或加工难燃烧物质的生产
戊	常温下使用或加工难燃烧物质的生产

注：同一座厂房或厂房的任一防火分区内有不同火灾危险性生产时，厂房或防火分区内的生产火灾危险性类别应按火灾危险性较大的部分确定；当生产过程中使用或产生易燃、可燃物的量较少，不足以构成爆炸或火灾危险时，可按实际情况确定；当符合下述条件之一时，可按火灾危险性较小的部分确定：

- 1. 火灾危险性较大的生产部分占本层或防火分区建筑面积的比例小于 5%或丁、戊类厂房内的油漆工段小于 10%，且发生火灾事故时不足以蔓延至其他部位或火灾危险性较大的生产部分采取了有效的防火措施；
- 2. 丁、戊类厂房内的油漆工段，当采用封闭喷漆工艺，封闭喷漆空间内保持负压、油漆工段设置可燃气体探测报警系统或自动抑爆系统，且油漆工段占所在防火分区建筑面积的比例不大于 20%。

我国《建筑设计防火规范》（GB 50016—2014）规定：高层厂房，甲、乙类厂房的耐火等级不应低于二级，建筑面积不大于 300m² 的独立甲、乙类单层厂房可采用三级耐火等级的建筑；单、多层丙类厂房和多层丁、戊类厂房的耐火等级不应低于三级，使用或产生丙类液体的厂房和有火花、赤热表面、明火的丁类厂房，其耐火等级均不应低于二级，当为建筑面积不大于 500m² 的单层丙类厂房或建筑面积不大于 1000m² 的单层丁类厂房时，可采用三级耐火等级的建筑；使用或储存特殊贵重的机器、仪表、仪器等设备或物品的建筑，其耐火等级不应低于二级。

（3）仓库的耐火等级

仓库建筑的耐火等级与储存物品的火灾危险性 & 建筑层数等因素有关。储存物品的火灾危险性应根据储存物品的性质和储存物品中的可燃物数量等因素划分，可分为甲、乙、丙、丁、戊类，并应符合表 1-6 的规定。

我国《建筑设计防火规范》（GB 50016—2014）规定：高架仓库、高层仓库、甲类仓库、多层乙类仓库和储存可燃液体的多层丙类仓库，其耐火等级不应低于二级；单层乙类仓库，单层丙类仓库，储存可燃固体的多层丙类仓库和多层丁、戊类仓库，其耐火等级不应低于三级；粮食筒仓的耐火等级不应低于二级，