

建筑工程事故分析及加固处理

袁 必 果

东南大学土木系

一九八九年七月

目 录

第一章	结 论	1
第二章	建筑工程倒塌事故	2
2. 1	近年我国的建筑工程倒塌事故综合分析	2
2. 2	近年欧美国家工程事故分析	5
2. 3	事故调查	16
2. 4	建筑工程质量事故的原因	17
2. 5	事故实例	25
第三章	混凝土裂缝的类别、出现原因和防治	43
3. 1	混凝土裂缝的类别	43
3. 2	混凝土硬化过程中的早期收缩裂缝	44
3. 3	混凝土的干缩裂缝	45
3. 4	混凝土的温度裂缝	47
3. 5	混凝土施工冷裂缝	49
3. 6	混凝土因化学反应的裂缝	52
3. 7	施工因素引起的裂缝	53
第四章	结构物裂缝的基本概念	55
4. 1	结构物裂缝的基本概念	55
4. 2	结构物产生裂缝的主要原因	56
4. 3	混凝土结构的裂缝控制等级和评定标准	57
4. 4	控制建筑工程裂缝的一般措施	60
4. 5	混凝土裂缝与质量缺陷的修补	66
第五章	建筑结构裂缝事故实例	73
5. 1	钢筋混凝土预制板的裂缝	73
5. 2	钢筋混凝土柱的裂缝	77
5. 3	钢筋混凝土框架裂缝	80
第六章	混凝土结构的加固	91
6. 1	加固基本原则	91
6. 2	材料	95
6. 3	加大截面加固法	96
6. 4	预应力加固法	98

第一章 绪 论

建筑工程设计与施工的主要任务是为生产和人民生活建造适用、安全、经济、美观的各类房屋建筑、设施。建筑结构在预定的使用期限内，必须满足所预期的各种功能要求。按《建筑结构设计统一标准》规定，有下列各项功能要求：

- 1、能承受在正常施工和正常使用时，可能出现的各种作用；
- 2、在正常使用时，具有良好的工作性能；
- 3、在正常维修和保护下，具有足够的耐久性能；
- 4、在偶然事件（如地震、爆炸、撞击等）发生时及发生后，仍能保持必需的整体稳定性。

其中1、4项要求工程结构具有足够的安全性，是指结构的承载力和稳定；第二项要求是指结构的适用性；第3项是指结构的耐久性。

当建筑工程不能满足上述要求时，则会出现各类事故及质量问题。严重的可造成房屋倒塌、建筑物开裂、变形等。根据城乡建设环境保护部对全国建筑工程质量情况的分析，在1981~1985年期间，全国城乡共发生重大质量事故2285次，倒塌房屋406栋，平均每4.5天倒塌一栋房子。从1986年对建筑工程质量的抽检结果看，建筑工程的质量状况可概括为四句话：略有好转，尚不稳定，隐患未除，通病严重。这表明，提高工程质量的问题已是非常迫切，值得重视的了。

从设计、施工、使用、维修、管理等各个方面着手，严防安全事故，预防和治理建筑工程质量通病，总结实践经验，开展科学研究，对防治建筑工程质量通病，找出事故原因，妥善处理事故是非常迫切的任务。1987年11月中国工程建设标准化委员会下达了编制《混凝土结构补强加固技术规范》的任务，由四川省建筑科学研究院、中国建筑科学研究院结构所等单位组成编制组，已于1989年11月提出了征求意见稿，这对今后工程事故的加固处理将起到指导和保证质量的良好作用。

为了使广大学员初步了解产生事故的各种原因，在从事设计或施工工作中掌握一些基本的预防建筑工程质量通病的技术措施，懂得一点加固方法是非常必要的。

本教材收集了国内外有关的部分资料，结合个人的工程实践和教学实践的经验，匆忙成文。因所涉及的学科面及实践经验较为广泛，目前尚缺乏这方面内容的专业书籍作参考，所能收集到的主要是一些期刊等发表的零散资料，因此，对章节的顺序、内容组织等的安排都是一个新的尝试。笔者在酷暑期间，挥汗成文，不妥之处，在所难免。有的内容，如砌体结构、钢木结构和地基基础等本次已来不及整理，将留待二稿时补充。文中不妥之处，望读者多多指正。

第二章 建筑工程倒塌事故

2.1 近年我国的建筑工程倒塌事故综合分析

前事不忘，后事之师。过去三十多年来，曾发生了数百起建筑工程倒塌事故。这些倒塌事故大的有一幢高楼，一座礼堂；小的有一根屋架，一个阳台。这些都造成了多人伤亡和重大经济损失，延误工期，也影响了施工企业和设计单位的信誉。

近四十年来，曾有过三次房屋倒塌事故较多的时期。第一次是1958年“大跃进”时期，以浙江半山钢铁厂第一炼钢车间七根拱形混凝土组合屋架断裂倒塌事故为最严重。第二次是十年动乱时期，严重的有1974年上海玻璃器皿厂五层升板建筑在施工中一塌到底；1977年安灰蚌埠卷烟厂和四川宜宾恩波公社礼堂严重倒塌。第三次是1980年前后开始，一直延续到现在。严重的有1985年北京焦化厂某幢七层钢筋混凝土框架结构，在大风中整体倒塌；湖南衡南县泉溪公社猪鬃厂三层混合结构厂房倒塌事故。为了对过去发生的倒塌事故进行分析，以便引起警戒，吸取教训，防止类似事故的发生，这里抽取了发生在1985年以前的220起倒塌事故，按建筑倒塌的部位和性质整理，分为九种不同情况（表2.1）这220例只是所发生的事故中的一部分，其选取带有随机抽样的性质，因而具有一定的代表性。

近年来情况未见好转，建设部整理了从1981年到1988年全国房屋工程的倒塌事件，分析了发生事故的原因，其主要原因不外勘察设计、施工、建筑材料和使用等方面，各方面所占比例见表2.2。又从工程倒塌事故发生的不同类型企业来分析，农村建筑队和个人占了近70%；集体企业次之，占16.7%；全民企业最少，占13.5%。从工程倒塌事故发生时间分析，三分之二以上发生在施工期间，详见表2.3。

从工程倒塌所发生在工程中的部位分析见表2.4。从工程倒塌的事故发生在不同类型工程中，分析得到：大跨度建筑发生的事故最多，占42.2%，多层次之，占31.3%。从表2.4可见，屋架破坏塌落最严重，占37%；其次是墙、柱破坏倒塌，占22.3%；再其次是悬臂结构倒塌，占9.6%。从表2.1的分析也可得到类似的结果，表中屋架破坏引起的倒塌占37.3%；墙柱为19.5%。

倒塌事故原因	数量	所占比例 (%)
一 柱、墙等垂直结构破坏, 引起倒塌	43	19.5
1. 柱、梁、墙首先破坏, 造成房屋整体倒塌	31	14.1
2. 柱、墙在施工中失稳倒塌	12	5.4
二 屋架、梁、板等水平结构破坏引起倒塌	96	43.7
1. 钢屋架破坏	38	17.3
2. 木、钢木屋架破坏	24	11
3. 钢筋混凝土屋架破坏	20	9
4. 钢筋混凝土大梁破坏	7	3.2
5. 钢筋混凝土楼板破坏	7	3.2
三 悬臂结构破坏, 造成倒塌	19	8.6
四 砖拱结构破坏倒塌	14	6.4
五 地基问题造成倒塌	2	1
六 在原有或原设计建筑物上加层, 造成整体倒塌	7	3.2
七 使用维护不当, 造成倒塌	2	1
八 其他情况倒塌	28	12.8
1. 缺少冬施措施造成房屋倒塌	5	2.3
2. 模板工程问题造成倒塌	18	8.2
3. 其他局部性倒塌	5	2.3
构筑物倒塌	9	4.1
合 计	220	100

工程倒塌事故发生主要原因分析

表 2. 2

年份 (年)	设计错误 (%)	施工不当 (%)	设计和施工都不当 (%)	其 他 (%)	其中: 无证设计 无证施工 (%)
1984	24.2	30.6	24.2	21.0	43.5
1985	8.1	38.4	25.6	27.9	74.4
1986	17.0	38.3	40.4	4.3	80.9
1987	21.6	25.5	52.9	17.6	80.4
1988	34.5	44.8	20.7	—	58.6
合 计	18.5	34.9	28.7	17.9	68.0

年份 (年)	施工期间发生的事故	使用期间发生的事故
	(%)	(%)
1984	69.7	30.3
1985	93.0	7.0
1986	82.9	17.4
1987	66.7	33.3
1988	79.3	20.7
合 计	77.5	22.5

工程倒塌事故发生部位的分析

表 2. 4

倒塌事故部位	所占比例 (%)
一、地基基础破坏	2.0
二、柱、墙破坏倒塌	22.3
1、砖柱、墙	16.7
2、混凝土柱、墙	1.4
3、木柱	1.2
4、柱墙在施工中失稳	4.0
三、框架结构破坏倒塌	1.6
四、屋架破坏塌落	37.0
1、钢筋混凝土屋架	9.4
2、木屋架和钢木屋架	11.5
3、钢屋架	15.7
4、悬索和折板	0.4
五、梁、板破坏倒塌	8.0
1、钢筋混凝土大梁	4.0
2、楼板、屋面板	3.2
3、木梁	0.8
六、砖拱结构破坏倒塌	4.2
七、悬臂结构破坏倒塌	9.6
八、构筑物倒塌	5.0
九、模板工程倒塌	6.5
十、改建和使用不当倒塌	2.2
1、加层建筑	1.4
2、使用不当	0.8
十一、其他局部倒塌	1.6
总 计	100

综上所述可见,发生工程倒塌频率高的施工企业是技术素质差的企业,这些企业缺乏土建工程和施工技术的基本知识,盲目蛮干进行施工是造成倒塌的直接原因。例如大连市某新建三层楼房,施工时由于不懂技术,将现浇钢筋混凝土楼板(为单向板)的主筋放在板平面尺寸的长方向,构造筋放在短方向,在拆除模板时,第三层楼板全部塌落,并砸坏部分二层楼模板。又如钢屋架不但加工粗糙,节点及焊缝达不到规范要求,而且还盲目在屋面上增加荷载,施工中在屋架上任意悬挂重物。1973年六二一四厂30m跨度的钢屋架,在安装行车时,将滑轮挂在屋架上,把屋架拉弯造成塌落。1983年宁夏陶乐县某影剧院钢屋架,由于单坡铺瓦,造成屋架失稳塌落。陕西某综合楼的砖墙由于砌筑方法错误,使砌体的整体性很差,有的墙体通缝长度达到2.35m,因而造成该工程整体倒塌。

从工程倒塌的发生部位和结构类型看,事故多发生在受力复杂的大跨度建筑,技术要求较高的地方或受力状态特殊的部位,如屋架、柱、悬挑结构等,设计、施工中均易发生技术错误。因此可以认为除施工技术原因外,由于“设计人员”缺乏建筑结构的理论知识也是重要的原因。检查发现,上述事故中无证设计、无证施工或超越承包施工的占90%以上。有的“设计人员”不懂结构设计,往往照抄照搬他人的图纸,胡乱拼凑,随意改动,致使结构的某些重要部位承载力过低。如前面提到的湖南某猪鬃加工厂三层混合结构厂房的倒塌事故,就是由不懂结构设计的人在一个二层的建筑上盲目改动加层所致。“设计者”将原设计的砖和砂浆强度等级降低,以致砌体强度降低了56.5%;将壁柱的截面面积减小了20%;再将房屋由二层增加为三层,且将第三层楼面用240mm墙分隔成小间,任此隔墙直接支承在二层的楼面梁或楼板上,这样造成一层窗间墙上的竖向荷载较原设计值增加了80%,砌体承载力严重不足。又如片面追求节约钢材,往往不设屋架支撑或虽设置了支撑,但因支撑体系不完善也会发生塌落,特别是轻钢屋架,因杆件截面小更容易发生失稳破坏。如湖南某公社影剧院刚落成,在放映电影时屋架突然倒塌。究其原因就是屋架间未设置横向和纵向水平支撑。

造成房屋倒塌的原因是多种多样的,本书2.3节还要进一步论述。以上所讲的是技术上的两个根本原因。要防止房屋倒塌,必须重点抓好以下三点:1、普及施工技术知识,组织好大量的初级技术人员的上岗培训工作;2、加强管理,各级建设主管部门一定要抓好建筑企事业单位的资格审查,严格按资质等级承担设计、施工任务,杜绝无证设计和施工;3、加强工程建设过程的质量监督。我们的学员毕业后将逐渐有更多的人从事施工技术管理或出任监理工作,应严格把握质量。遇基础、主体工程的质量达不到规范规定的合格标准,不得交付下道工序,层层把关,这样才能较有效的防止倒塌事故发生。

2.2 近年欧美国家工程事故分析

前面介绍了近四十年来我国所发生的建筑倒塌事故概况。欧美等国家的建筑业基础、技术水平,土建方面的设计、施工承包、管理机构 and 制度以及国情等和我国差异较大,其工程事故情况如何?本节拟介绍一些美国和苏联这方面的情况。

一、美国近年来结构事故的分析^①

著者收集了1977~1981年间发表在《工程新闻》、《新土木工程师》和《新国际土木工程师》等杂志上的有关资料。对发生在桥梁工程、房屋建筑、包括低层、多层、工厂建筑和大跨度建筑等的工程事故实例。总多达147个。就事故的原因和发展趋势进行了分析。

1. 结构事故的分类

本文所指的结构事故包括坍塌事故和危险事故两个方面。定义是：结构或其部件已不能承受设计说明中所要求的荷载或已不能满足使用要求。坍塌指的是整个结构或结构的主要部分遭到破坏。全部或部分需要修复的事故。危险事故是指结构的全部或部分已不能使用，但尚不一定造成坍塌。只是有了坍塌的可能。危险事故代表结构损伤。比如结构部件发生了过大的挠度和过大的裂缝。有可能导致顷刻间的坍塌现象。一个事故到来之前，往往有其必然的内在原因和偶然的导火线。必然的内在原因是由于结构在设计、施工、维修与使用过程中存在着内在的缺点。这些缺点将随着时间的推进而爆发。偶然的导火线是指外来事件的干扰。比如车辆的撞击、爆炸事故等。均会起到导火线的作用。

造成事故的原因归纳为六个方面存在的缺点：即结构设计、详图设计、施工、维修、材料以及对外因的考虑不周等六个方面。此六个方面的问题称为主要事故原因。由于所占有的材料中真正有价值的详细数据并不多。仅就每种情况中最可能出现的主要原因进行了讨论。尤其是前四种原因，在结构事故中起着主要作用。关于使用材料方面存在的问题，这里指的仅仅限于材料本身存在的问题。不包括由于其它原因所引起的材料质量问题。结构设计、构造详图、施工、维修、材料等五种事故原因统称为内因。后一种原因则视为外因。其它如自然灾害、战争破坏、人工拆毁、火灾损害、年久老化等事故原因，均不在本文讨论范围内。

2. 事故评述

(1) 事故发生率

一般说来，使用期间发生的事故率要高于施工期间出现的事故率（表2.5、表2.6）。这可能是由于研究的事故对象，只限于几种主要情况的主要原因之故；也可能是由于发生在施工期间的事故出于信誉上的压力，一般均随时进行了处理，不敢声张。但是除了施工期出现的密什根 *milwaukee* 的混凝土箱形梁桥坍塌事故、美国以外发生的多层建筑及大跨度建筑坍塌事故以及美国国内发生的工业建筑危险事故等多发生在使用期以外，其它事故还是发生在施工期的机率较高。

在考察期间的最后几年，事故率有下降趋势。但工业建筑的坍塌事故出现率仍保持稳定。尤其是在1980年，低层建筑的事故还在直线上升。工业建筑事故率持平与筒仓发生爆炸事故较多有关。在考察期间的五年中，每年均出现爆炸事故。低层建筑事故率上升则与预应力钢筋混凝土构件出现严重裂缝现象较多有关。正象出现在加利福尼亚州的爱托奇（*Antioch*）高等学校的屋顶裂缝事故一样。

^① 本文摘自ASCE, *Journal of structural Engineering*, 1985, 7, PP1468-1481。由谢征勋译。

结构事故分类

表 2. 5

工程类别	结构形式	事故次数 (1977年 ~1981年)	事故总数 (每一类占 总数的%)
桥 梁	钢结构桁架桥	13	57 (39)
	钢板梁桥	14	
	钢箱形梁桥	2	
	混凝土梁桥	2	
	混凝土箱梁桥	8	
	悬索桥	3	
	浮桥	1	
	拉杆搭桥/钢搭桥	4	
	步行桥	8	
四层以下 低层建筑	办公楼	6	42 (28)
	汽车室	7	
	教室	1	
	飞机场建筑	2	
	医院	2	
	邮政设施	1	
	学校体育馆	12	
	修理间、工厂作坊	5	
	储藏间	1	
	会议厅、剧场	2	
	散棚、屋盖	3	
多层建筑	公寓	4	13 (9)
	旅馆	8	
	写字楼	6	
工业建筑	谷物提升机房	9	21 (14)
	泵站	1	
	水池	1	
	核反应堆安全壳	2	
	火力发电厂	2	
	污水处理站	2	
	烟囱	1	
	冷却塔	3	
大跨度建筑	平顶建筑	10	14 (10)
	壳体屋面	3	
	悬吊结构	1	
总 计			147 (100)

美国 1977~1981 年间随出现期而划分 的事故分布情况

表 2. 6

建筑物类型	坍塌事故总数	施工期间出现的坍塌数 (%)	使用期间坍塌数 (%)	危险事故总数	施工期间危险事故数 (%)	使用期间危险事故数 (%)
桥梁	14	3(21)	11(79)	19	3(16)	16(64)
建筑物总计	35	9(26)	26(71)	30	9(30)	21(70)
低层建筑	13	5(38)	8(62)	17	3(16)	14(82)
多层建筑	3	1(33)	2(67)	3	—	3(100)
工业建筑	15	2(13)	13(87)	5	5(100)	—
大跨度建筑	4	1(25)	3(76)	5	1(20)	4(80)

美国之外 1977~1981 年间随出现期而划分的坍塌事故分布情况 表 2. 7

结构类型	坍塌结构总数	施工期间发生事故数 (%)	使用期间发生事故数 (%)
桥梁	24	4(17)	30(86)
建筑物总数	25	12(48)	13(52)
低层建筑	12	3(25)	9(75)
多层建筑	7	5(71)	2(29)
工业建筑	1	1(100)	—
大跨度建筑	5	3(60)	2(40)

从表 2. 7 看出, 多层建筑和大跨度建筑似乎显得事故率偏低, 这也许与研究的数据偏小有关。然而值得注意的是: 从 1978 年 1 月~1980 年 5 月的两年半时间内就发生了 9 起大跨度建筑坍塌事故(其中 4 起发生在美国国内)。表明这类建筑物在这一段时期内出现了较高的坍塌事故率, 必定存在一定的问题。

(2) 桥梁事故

由各种原因引起的桥梁在施工期间或使用期间出现的事故分布情况见表 2. 8。从表 2. 8 中数字得知, 外部原因占总数 50% 以上, 似乎成了桥梁坍塌事故的控制性原因。

常见的桥梁事故见表 2. 9。在外因事故中, 冲击力是最主要的原因。这些冲击力大都是由卡车或出轨的列车从横向施加在桥墩上的撞击力, 或者是由于装载尺寸超限的拖车施加在桥梁上的撞击力。过往船只也是对跨越河流的桥梁施加冲击力的原因之一。多数被撞毁的桥梁既没有设置防冲撞的保护装置, 也没有在设计中考虑承受冲击荷载的能力。

另一个由于外部原因引起的常见事故是狭小的人行桥超载事故。这类事故在很多国家发生过。因为在节假日, 游人拥挤、聚集在小桥上观赏景色, 引起了严重的超负荷。这类人行

桥梁事故的主要原因分布情况

表 2. 8

事故原因 方 面	美国国内桥 梁坍塌事故 次数 (%)	美国国内桥 梁危险事故 次数 (%)	美国之外桥 梁坍塌事故 次数 (%)	事故总数 (%)
设计	—	2 (1 1)	—	2 (3)
详图	2 (1 4)	1 (5)	1 (4)	4 (7)
施工	2 (1 4)	6 (3 1)	4 (1 7)	12 (2 1)
维修	1 (7)	2 (1 1)	1 (4)	4 (7)
材料	—	5 (2 6)	—	5 (9)
外因	9 (6 5)	3 (1 6)	18 (7 5)	30 (5 3)

常见的桥梁事故情况

表 2. 9

常见的事故原因	发生次数	失事桥梁结构类型	备 注
外因:	(4 0)		
车辆撞击荷载	15	钢桁架及板梁桥	主要坍塌事故。出现在美国和欧洲 超负荷。出现在节假日
船舶撞击	5	钢桁架	
人员超载	5	狭小人行架	
其它	5	各种类型	
施工不当:	(1 2)		
焊接工艺问题	6	钢板梁	沿俄亥俄河的几座桥梁裂缝 在施工中出现。部分坍塌
脚手架失事	2	拱桥、混凝土箱梁等	
其它	4		

桥的结构形式较多,有几座是悬索桥。

居第二位的常见桥梁事故是在施工中出现焊接事故。沿俄亥俄河流的几座钢板梁桥和钢拱桥就发生了这类焊接事故。系由焊接引起受拉杆件节点裂缝造成。电弧焊用于厚钢板构件的焊接是引起焊件脆性破坏和裂缝开展的原因。极冷天气进行焊接也易引起这类事故发生。再者,施焊不得法,焊缝本身有缺陷,也是裂缝和事故原因。这类事故的出现主要由于质量控制工作不得力。比如监测与检查不够,未做焊件破坏试验等。

在美国,某些钢筋混凝土箱型桥梁的坍塌事故是与脚手、鹰架失事有关的。这些问题的出现,一是因为支撑不适当;二是因为脚手架的地基软弱。支撑出事大都因侧向水平荷载,比如风荷载所引起。而基础出问题则多半由于地基土体受水流冲刷淘空引起。

(3) 低层建筑物事故

低层房屋事故的主要原因见表 2. 10。表中数字表明,低层事故的原因多半是由于设计不当。危害低层房屋的常见事故列于表 2. 11。对混凝土结构的长期蠕变、干缩作用估

计不足,可认为是引起建筑物在使用期内出现严重问题的重要原因。蠕变、收缩作用将引起结构杆件的线位移和角变位。如果这些杆件的约束程度高,则必然在杆件内部产生强大的拉应力。比如在加州一个学校的体育馆中,就因预应力混凝土T形梁连接处受到约束,因而在一些薄弱环节凹口处就产生了严重裂缝。

根据原因划分的低层建筑事故统计 表 2. 10

事故原因	美国国内发生的坍塌事故数(%)	美国国内发生的危险事故数(%)	美国之外发生的坍塌事故率(%)	低层建筑事故总数(%)
设计	6(46)	11(64)	3(25)	20(47)
详图	—	1(6)	1(8.5)	2(5)
施工	7(54)	2(12)	4(33)	13(31)
维修	—	—	—	—
材料	—	1(6)	1(8.5)	2(5)
外因	—	2(12)	3(25)	5(12)

低层房屋常见事故 表 2. 11

常见事故原因	发生次数	建筑物类型	备 注
一、设计不当			
对预应力构件的长期蠕变收缩估计不足	9	学校/体育馆	在加州 A. A 学校坍塌事故之后进行几所学校普查发现
对混凝土构件的温度变形估计不足	3	车库/学校	温度引起杆件胀缩
基础沉降计算错误	2	车库/机场建筑	建筑物下沉、墙体开裂
结构挠度计算错误	2	车库	
其 它	4	各种类型	
二、施工不当			
脚手架问题	4	办公楼、车库、仓库	很多国家发生过
混凝土问题	3	仓库等	多发生于发展中国家
其 余	6	各种类型	

其它显著的设计不当,包括对结构构件的温度变形估计不足,对地基下沉量估算错误,对结构挠度计算失误等等,都曾在美国引起了一起车库和学校建筑物的坍塌。

统计表明,约有1/3左右的低层建筑物失事是由施工引起的。主要是由脚手、鹰架工程和混凝土工程施工不当引起。脚手问题是对支撑、连杆、扣件的使用检测不力造成。在发展中国家,有些脚手问题是由于材质造成。再者,混凝土施工中的质量控制不严,往往用人

工大铲拌混凝土。养护也不善。都是混凝土质量低劣的原因。

(4) 多层房屋失事

多层房屋失事的实例仅占事故总数的9% (表2. 5)。这里只对13幢失事的多层建筑进行分析。如表2. 12所示。多层事故出现在施工期的居首位。

表2. 13列出了多层房屋事故的分布情况。混凝土配合比和养护不当是发展中国家的公寓、办公楼等工程出现问题的原因。此外。劣等水泥和不合格的骨料用来配制混凝土也是事故原因。在美国。一些公寓出现的施工质量问题的主要由于钢构件的尺寸没有满足要求。混凝土板的厚度不够等原因。

(5) 工业建筑事故

在美国。由外因引起的筒仓建筑和火力发电厂损毁事故居首位。这类事故占工业建筑在使用期间出现的主要事故总数的2/3 (表2. 14)。引起这些事故的原因是粉尘 (面粉或煤粉) 爆炸。如表2. 15所示。空气中富集的粉尘微粒一旦被香烟火、电火星或其它类似火源点着以后。即会引起爆炸。

居次位的是施工不当引起的事故。这类事故发生在美国的。主要是模板和脚手失事引起的冷却塔等工程损毁。比如在模板和脚手架中采用了受损伤的支柱及模板扣件选用不当等。这些事故虽然发生在局部。但会逐步扩大传播。使整个结构损毁。

混凝土的级配不当和养护不善也曾引起核反应堆安全壳的质量事故。有几次。是由于一些施工设备。比如轨道吊、塔吊等设备被风刮倒。将冷却塔砸毁。

按事故原因划分的多层房屋事故统计

表2. 12

事故原因	美国国内发生的多层损毁的事故 (%)	美国国内发生的多层危险事故 (%)	美国之外发生的多层损毁事故 (%)	事故总数 (%)
设计	2 (6.7)	—	1 (14.3)	3 (23)
详图	—	2 (6.7)	1 (14.3)	3 (23)
施工	—	—	4 (57)	4 (31)
维修	—	1 (33)	1 (14.3)	2 (15)
材料	—	—	—	—
外因	1 (3.3)	—	—	1 (8)

多层房屋常见事故

表 2. 13

常见的主要原因	发生次数	建筑物类型
一、 施工不当		
混凝土问题 (配合比和养护问题)	2	写字楼、公寓
构件尺寸不足 (钢构件尺寸减小, 混凝土板厚度不够)	2	公寓
三、 设计问题		
沉降量估计不足引起基础下沉	2	写字楼
其 它	1	写字楼

按主要原因划分的工业建筑事故

表 2. 14

主要事故原因	美国国内发生的工建坍塌事故数 (占总数%)	美国国内发生的工建危险事故数 (%)	美国国外发生的工建坍塌事故 (%)	事故总数 (%)
设计	1 (7)	—	—	1 (5)
详图	—	—	—	—
施工	2 (13)	2 (40)	1 (100)	5 (24)
维修	—	—	—	—
材料	—	1 (20)	—	1 (5) \
外因	12 (80)	2 (40)	—	14 (66)

工业建筑常见事故

表 2. 15

常见的事故原因	发生次数	建筑物类型	备 注
一、 外因			
爆炸 (粉尘引爆)	1 2	谷仓、煤粉加工厂	在美国, 这期间每年有一次谷物提升井爆炸
其它	2	各种类型	
二、 施工原因			
脚手和模板问题	2	冷却塔	
混凝土问题	2	核反应堆安全壳	
设备撞击 (吊车翻倒)	1	冷却塔	

按事故原因划分的大跨度建筑物事故

表 2. 1 6

事故原因	发生在美国 国内的大跨 度建筑坍塌 事故数 (占%)	发生在美国 国内的大跨 建筑危险事 故数 (占%)	发生在美国 以外的大跨 建筑坍塌数 (占%)	事故总数 (占%)
设计	1 (25)	1 (20)	—	2 (14)
详图	2 (50)	2 (40)	2 (40)	6 (43)
施工	1 (25)	2 (40)	3 (60)	6 (43)
维修	—	—	—	—
材料	—	—	—	—
外因	—	—	—	—

(6) 大跨度建筑事故

这里指的大跨度建筑物属于平屋顶或壳体结构, 比如体育场、飞机库等建筑物, 其跨度一般都在60m以上。共对14个工程实例进行了研究, 其中4个发生在美国。主要事故原因属于细部设计不当和施工不善, 两者各约占事故总数的43%, 如表2. 16。

通常出现的细部设计问题一般均涉及杆件的连接构造(表2. 17)。这类坍塌事故原因的分布情况, 往往随结构类型和材料使用情况的不同而有所变化, 但有些事故则与设计人员的中途变换有关, 在施工详图阶段尤其如此。因为此时, 容易忽视连接构件详图设计的一些前提条件。

大跨度建筑物的拉杆对细部设计问题特别敏感。不象压杆, 还可受到支撑杆、加劲杆的一些辅助作用。拉杆是得不到任何帮助的, 所以拉杆是唯一的受力杆件, 没有压杆所拥有的赘余杆件。这样一来, 对受拉杆件的节点细部构造如果设计不当, 问题就特别严重了。

另一方面, 对压杆节点的设计与施工也不可掉以轻心。从一些失事屋顶的研究中发现, 由于没有按设计要求将压杆及其支撑的连接做得坚固可靠, 导致了压杆的局部压屈, 引起整个结构坍塌。

在施工原因造成的事故中, 支撑安装不当, 或杆件连接不当占很大的比重。

(7) 日常管理问题引起的事故

对一些工程事故进行分析, 将发现某些事故, 尤其是一些事故苗子, 是由于工程项目的管理制度不健全、管理方法不妥善造成。这些毛病正反映了纠纷存在于工程参与者各个部门之间, 比如承包商之间, 总包与分包之间、项目经理、设计工程师、建筑师以及业主代表之间等等。相应地就必然带来不当的设计及不当的施工详图、不力的施工监督和质保工作, 也就引起了如前所述的一系列技术问题。只因这类问题仅从一些零星的具体的现象中反映出来, 缺乏统计数字可予引用。

对很多事故实例进行分析后, 发现其中都存在设计变更、设计中断、或设计遗漏等现象。

常见事故的原因	事故次数	建筑物类型	备 注
一、设计详图事故:			
详图漏项(比如支撑与结构之间的连接)	3	站、场建筑	原因可能是由于初步设计交代不清楚, 或施工图设计时忽视了原设计意图, 设计未经审查
其 它	3	各种类型	
三、施工事故:			
钢支撑安装不当	3	钢屋顶/站场	
钢结构构件及其支撑加工质量不佳	3	钢/混凝土	

一些极其危险的事故出在施工阶段的细部处理问题上。比如1978年发生在康涅狄克州哈佛(Hartford)市中心的空间结构坍塌事故, 就是为了贪图施工方便, 将支撑系统的做法任意进行修改, 从而形成了很多弹性支承点, 导致空间结构的一些杆件压曲。第二个严重事故的实例是1980年发生在美国凯撒市H. R. 宾馆的走廊梁板塌落事件。由于施工中任意修改了走廊板的吊挂节点, 使梁内产生了两倍于原设计允许的应力, 造成吊挂从梁中拔出, 走廊板下落, 砸死113人的大事故。

上述事例均说明事故原因系由于缺乏对设计与施工进行仔细审查的程序。某些例子反映了设计计算另委他人去做, 缺乏检查和复核。另一些事例也表明对一些重要的构造详图及一些复杂的脚手、鹰架工程, 施工方案没有经过充分的论证, 草率从事。

另一现象是在施工中缺乏监督检查。在整个施工过程中, 结构工程师很少下到施工现场进行检查。即使在一些新结构施工的关键时刻, 结构工程师不到施工现场的现象也是常见的。在一些工地, 设计与施工相结合的制度虽已建立, 而被承包商雇佣的工程师却可随便被调离工地。甚至还有很多发包文件中根本没有明确工程师对整个工程施工的监督作用。再说, 预算中用于检测工作的费用也偏低。所有上述因素都可能是事故原因。

3、结语和建议

本文研究了近年发生的147起事故, 其中1/3(50例)属于外因引起, 其次是施工和设计不当, 前者40例, 后者28例。

研究表明, 多数事故苗子系来源于不适当的管理机构和制度, 从而不能使设计和施工的参与者进行很好的配合。笔者深感结构工程师与施工承包商之间缺少联系, 是一个问题。由于设计越来越先进和复杂, 使很多设计工程师几乎变成了单纯的“计算机”, 他们对施工工艺可能很生疏, 很多新结构只按使用状态进行设计, 不考虑运转、起吊安装时的控制应力。另一方面, 由于新材料、新结构的开发进展速度快, 要求安装技术和图纸说明也复杂化, 而承包商的专业知识受限制, 理解不全面, 也是事故原因。

在结构受到局部破坏时, 赘余杆件可起到制止破坏现象继续扩展的作用, 对较复杂的重

要工程。设计适宜的赘余杆件是必要的。

有了正确的设计，还必须要有正确的施工。哈佛市中心的空间结构虽然设计了很多赘余杆件，只因支撑系统施工不得法，使网架顶部杆件压屈，导致坍塌事故。

结构工程师的工作必须贯彻工程始终，对工程的质量和安全的全面负责。此外，逐级对设计进行审查有很必要，可以层层把关。

三、苏联对近年工业建筑事故的原因分析^①

苏联国家建委建筑监察机构对近年来各类工业建筑物和构筑物及其结构部件的事故进行分析后指出，建筑安装工程质量低劣和采用不合格结构构件及制品所造成事故的数量未见减少。将这些事故归纳一下，可分成五类，见表2.18。其中第1类和第2类，即建筑物或构筑物施工质量低劣造成的事故，占总数的65%。将其按工种分类，结果见表2.19。

对工程质量抽查表明，在受检工程中平均有10%~15%存在危险性缺陷，使建筑产品不能发挥应有的作用，或施工安全无保障。有40%~50%的工程有重大缺陷，严重地影响产品的使用。也就是说，受检的在建工程中，有50%~60%隐藏着发生事故的潜在因素。

事故原因分类

表2.18

序 号	事 故 原 因	所 占 比 例
1	不按设计施工（节点、配筋、结构整体偏离设计位置）	40%
2	违反施工操作规程（安装工程混凝土及砖石工程）	25%
3	结构和部件的性能及材质不符合设计要求或制作违反标准	20%
4	使用上违反技术规程，工艺设备发生爆炸，起重机械和运输机具撞击	11%
	设计错误	4%

分析表2.18中第1类原因，其主要特征和违章事例如下：

- 1、擅自变更结构构件断面；安装钢结构时，变更节点和支承柱；仅用安装螺栓来紧固梁桁架等承重结构的支承杆件；安装和连接梁桁架时不采用设计的连接板。
- 2、用临时构件代替定型的连接件；许多钢材的焊接质量低劣。
- 3、擅自减小承重结构的支承深度，只支承在支座和承压面上。
- 4、以砖石结构支承承重结构和装配式构件时，不采用专门用来分散压力的垫块。

① 本文摘自《Промышленное строительство》1988年第4期。由俞邦瑞译。