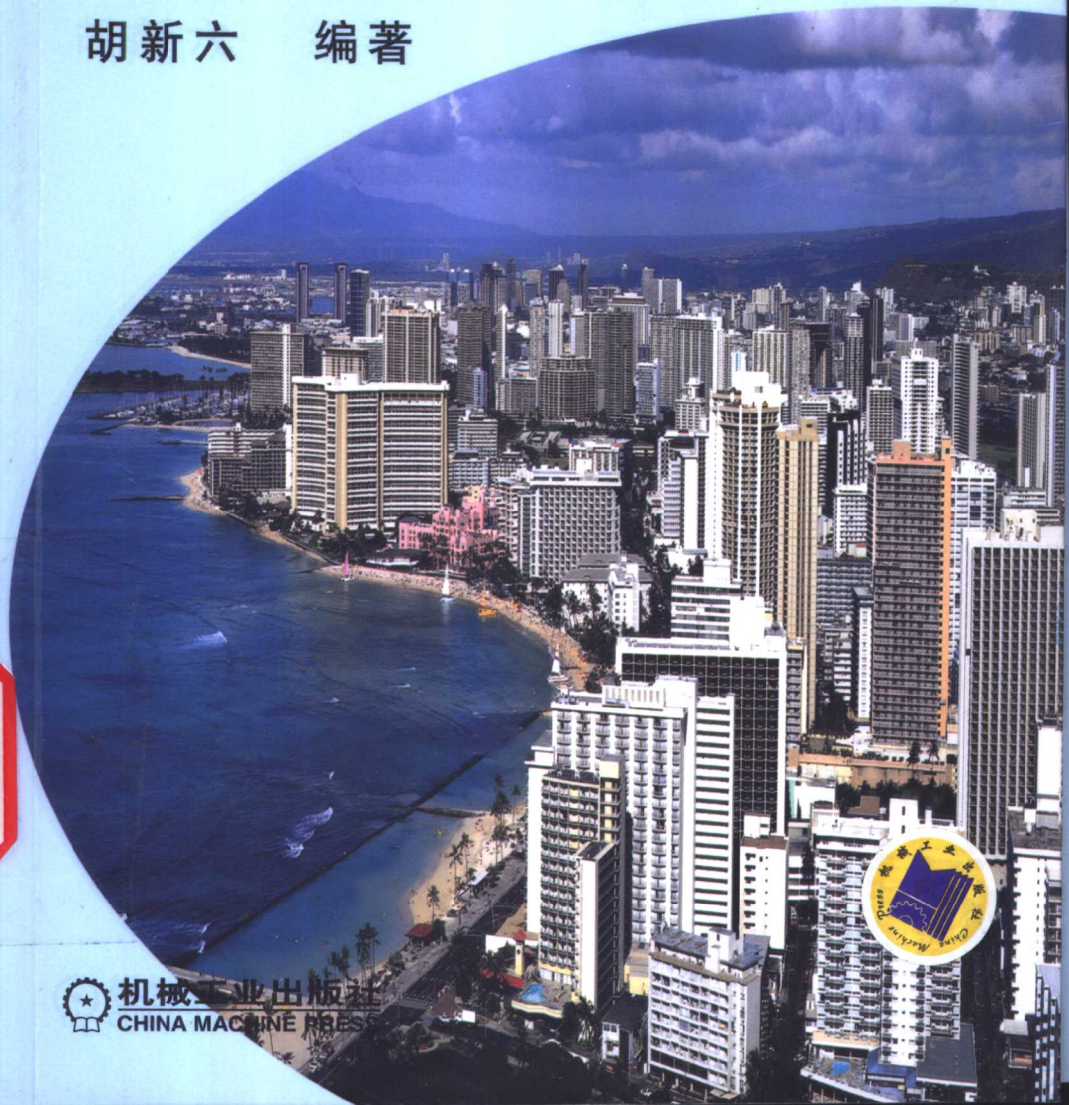


建筑工程

倒塌案例分析与对策

胡新六 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

建筑工程倒塌案例 分析与对策

胡新六 编著



机械工业出版社

本书收集了1958年~1999年期间全国的建筑工程倒塌事故共653例,按工程破坏的结构部位、类型和性质分为地基础、柱、墙等垂直结构、钢筋混凝土框架结构、屋盖、梁板、砖拱、悬臂结构、构筑物、桥梁工程、模板工程、房屋加层、房屋使用不当、其他局部性倒塌等共13部分。第一章是对案例的综合和分类分析,第十五章是几点对策建议。本书可供建筑工程规范编制、设计、施工、监理、监督等单位 and 人员参考;由于内容比较简要易懂,适合初级技术人员阅读,也可作为教学参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程倒塌案例分析与对策/胡新六编著. —北京:
机械工业出版社, 2004.1
ISBN 7-111-13575-X

I. 建… II. 胡… III. 建筑工程—坍塌—案例—
分析 IV. TU712

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第112471号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:何文军 版式设计:张世琴 责任校对:魏俊云
封面设计:张静 责任印制:闫焱
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2004年1月第1版·第1次印刷
890mm×1240mm A5·7.875印张·232千字
0 001—5 000册
定价:19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

前 言

1987年，我曾对502例建筑工程倒塌事故进行了综合整理和分析，后因种种原因未能出版。这两年应友人之邀，对此进行了删改和补充。1987年以前的案例中因情况不甚清楚的删除了50例；又加上1988年至1999年期间收集到的新增案例201例，总计为653例。这些资料，在1987年以前，主要来源于多年的工作手记；1988年1月我退休以后，主要剪辑于建设部的有关报刊等。在这653例中，有86例参考1988年出版的《建筑工程倒塌实例分析》一书；有80例参考1998年出版的《建设工程重大质量事故警示录》一书。这653例虽不齐全，但具有随机抽样的性质。

本书案例中有4例是濒临倒塌进行拆除的工程事故，因其具有代表性，也列入了本书，其余649例均为倒塌事故。本书主要是编辑房屋建筑工程和相应构筑物的倒塌案例，但在1988年以后，建设部的有关报刊等中有12例桥梁工程倒塌事故，因具有一定的代表性，所以也列入了本书。还有42例模板工程倒塌事故，既可列入施工安全事故，也可列入质量事故，但考虑到这些模板工程的倒塌直接导致房屋建筑工程的组成部分，梁、板等结构体的倒塌，所以也列入了本书。至于那些并没有导致房屋建筑工程组成部分倒塌的事故，如仅仅是施工工具、机具的倒塌，以及基槽土方坍塌等都不是本书讨论的范围。

本书案例统称为倒塌，但可细分为四类。第一类是房屋建筑工程的垂直结构部分柱、墙、垛等呈“倒”的形态，有左右前后的水平位移；而水平结构部分梁、板、屋盖等由上而下呈“塌”的形态，基本上是垂直位移，一般都是垂直结构首先破坏，随之水平结构也一同倒

塌。第二类是屋盖、梁、板、阳台、雨篷等破坏后由上往下塌落，垂直结构并未破坏。第三类是一些基本上由垂直结构组成的构筑物，如筒仓等，破坏时是垂直结构的连续性由上往下坍塌。第四类是拱形结构或悬索结构，这是水平和垂直结构的巧妙结合，这类结构破坏时因其所在的位置不同，凡破坏的结构物水平位移较大的类似倒塌，凡主要是由上往下的垂直位移的类似塌落。目前报刊上报道的倒塌事故称谓较多，除倒塌外，还有称坍塌、垮塌、坠落等等。

我整理这些历史资料，主要是怕弃之可惜，可供后人参考。建筑工程倒塌事故由于是突发性灾难，往往很引人注意，其实它造成的死亡人数远远低于施工安全事故。如本书收集的案例从1958年到1999年，历时42年，累计死亡人数为1672人，当然这不是综合统计数字，但重大特大知名事故基本上都已纳入。可是，根据中国建设报的报道，2002年全国建筑施工安全事故死亡人数就达到1292人；2003年上半年建筑施工安全事故死亡人数为582人。本书收集的案例都是人为的事故；那些自然灾害如地震、洪水等等造成的建筑工程倒塌事故，其损失当然要严重得多。但是，总结建国以来这些建筑工程倒塌事故的经验教训还是很有意义的。这些倒塌事故就好像是建筑结构的现场足尺破坏试验，它能帮助我们评价这几十年来国内实行的设计、施工规范的水平是否合理；它能告诫我们在管理上有哪些不足之处；它能提醒设计、施工、监理、监督单位和人员应该特别注意的技术和管理要点。

建筑工程包括的范围是很广的，而本书这653例的范围是较小的，只是房屋建筑工程中的一部分。主要是一般的砖混建筑结构、钢筋混凝土建筑结构，以及一般的屋架、阳台等等。过去的重大、高级建筑和现代的高层、复杂结构都不在本书讨论范围之内。这些案例都来自不同时期的书刊资料，虽经提炼，但主要是编写；第一章和第十五章的内容则出于自己思考的结果，故称编著。案例是按倒塌时间的先后排列的。

目 录

前言

第一章 综合和分类分析	1
一、地基基础破坏引起房屋整体倒塌	2
二、柱、墙等垂直结构破坏引起房屋整体倒塌	4
三、钢筋混凝土框架结构倒塌	7
四、屋架破坏引起屋盖塌落	9
五、梁、板结构倒塌	13
六、砖拱结构倒塌	16
七、悬臂结构塌落	17
八、构筑物倒塌	18
九、桥梁工程倒塌	20
十、模板工程破坏引起梁、板等结构倒塌	21
十一、房屋改建加层引起倒塌	22
十二、房屋使用不当引起倒塌	22
十三、其他局部性倒塌	23
第二章 地基基础破坏引起房屋倒塌案例 (第 1~第 21 例)	24
第三章 柱、墙等破坏倒塌案例 (第 22~第 171 例)	35
一、砖柱、墙、垛破坏倒塌案例 (第 22~第 133 例)	35
二、混凝土柱、墙破坏倒塌案例 (第 134~第 140 例)	74
三、木柱破坏倒塌案例 (第 141 例)	76
四、柱、墙在施工中失稳倒塌案例 (第 142~第 171 例)	76
第四章 钢筋混凝土框架倒塌案例 (第 172~第 184 例)	87
第五章 屋盖塌落案例 (第 185~第 379 例)	96

一、钢筋混凝土屋架塌落案例 (第 185~第 228 例)	96
二、木屋架和钢木屋架塌落案例 (第 229~第 291 例)	110
三、钢屋架塌落案例 (第 292~第 373 例)	125
四、特殊屋盖塌落案例 (第 374~第 379 例)	149
第六章 梁、板结构倒塌案例 (第 380~第 442 例)	154
一、钢筋混凝土大梁倒塌案例 (第 380~第 411 例)	154
二、钢筋混凝土楼板、屋面板倒塌案例 (第 412~ 第 436 例)	164
三、木梁倒塌案例 (第 437~第 442 例)	171
第七章 砖拱结构倒塌案例 (第 443~第 462 例)	174
第八章 悬臂结构塌落案例 (第 463~第 537 例)	181
第九章 构筑物倒塌案例 (第 538~第 571 例)	200
第十章 桥梁工程倒塌案例 (第 572~第 583 例)	211
第十一章 模板工程倒塌案例 (第 584~第 625 例)	215
第十二章 房屋加层倒塌案例 (第 626~第 634 例)	225
第十三章 房屋使用不当倒塌案例 (第 635~第 639 例)	229
第十四章 其他局部性倒塌案例 (第 640~第 653 例)	232
第十五章 几点对策建议	236
一、适当调整建筑结构的安全系数	236
二、设计方面应注意的事项	238
三、施工方面应注意的事项	241
四、加强对建筑物建成后的改建和维护管理	243
五、加强对建筑工程质量的监督管理	245
参考文献	245

第一章 综合和分类分析

过去四、五十年来，曾有过三次建筑工程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榀钢筋混凝土组合屋架倒塌事故最为严重。1958 年 12 月，当时任国家建委主任的陈云同志亲自到杭州主持召开全国建筑工程质量会议，他在报告中指出 1958 年建筑结构倒塌事故造成 117 人死亡，而 1957 年因此死亡的人数只有 3 人。第二次是文革十年动乱时期，严重的有 1972 年湖北鄂城县四层百货大楼整体倒塌；1974 年上海玻璃器皿厂五层升板建筑在施工中五层一塌到底；1977 年安徽蚌埠卷烟厂和四川宜宾恩波公社礼堂严重倒塌事故，虽说文化大革命已在 1976 年结束，但这是一种滞后现象。第三次是 1980 年开始，一直延续到 1997 年，其间每隔几年有一次较大的起伏。严重的如 1982 年广东海康县大旅店七层钢筋混凝土框架结构，刚完工还未使用，就一塌到底；1982 年湖南衡南县泉溪公社猪鬃厂三层混合结构厂房倒塌事故，以及湖南攸县一农民自建二层住房倒塌事故都造成几十人死亡；1995 年四川德阳市棉麻公司综合楼倒塌事故和 1997 年浙江常山县棉纺厂职工宿舍楼以及福建莆田县新光电子公司宿舍楼倒塌事故都造成死亡十余人到几十人，这三次特大事故都发生在新开发区。当然，第三次和前两次的性质有所不同，主要是建筑事业发展迅猛，技术力量和管理跟不上去造成的。

这 653 例倒塌事故，大到一幢大楼倒塌，小到一榀简易钢屋架、一个雨篷、一个女儿墙的倒塌。前些年常有一种说法，20 世纪 80 年代初每四天半倒塌一幢房屋，确切地说应该是每四天半发生一次倒塌事故。

这 653 例多数都是同一类型事故，按其不同的结构、倒塌的部位和性质，可以分为十三类，各类事故发生的数量，所占的比例见表 1。

表 1 建筑工程倒塌案例分类情况表

倒塌案例分类	次数	所占比例 (%)
1. 地基基础破坏, 引起倒塌	21	3.2
2. 柱、墙等垂直结构破坏, 引起倒塌	150	22.8
(1) 砖柱、墙、垛破坏	112	17.1
(2) 混凝土柱、墙破坏	7	1.0
(3) 木柱破坏	1	0.2
(4) 柱、墙在施工中失稳	30	4.5
3. 钢筋混凝土框架结构倒塌	13	2.0
4. 屋盖破坏倒塌	194	29.6
(1) 钢筋混凝土屋架(梁)破坏	44	6.7
(2) 木屋架和钢木屋架破坏	62	9.5
(3) 钢屋架破坏	82	12.5
(4) 特殊屋盖结构破坏(悬索、折板等)	6	0.9
5. 梁、板破坏倒塌	63	9.6
(1) 钢筋混凝土大梁破坏	32	4.9
(2) 钢筋混凝土楼板、屋面板破坏	25	3.8
(3) 木梁破坏	6	0.9
6. 砖拱结构倒塌	20	3.6
7. 悬臂结构倒塌	75	11.5
8. 构筑物倒塌	34	5.2
9. 桥梁倒塌	12	1.8
10. 模板工程破坏, 引起梁板等倒塌	42	6.4
11. 房屋改建加层, 引起倒塌	9	1.4
12. 房屋使用不当, 引起倒塌	5	0.8
13. 其他局部性倒塌	14	2.1

一、地基基础破坏引起房屋整体倒塌

地基基础破坏, 引起房屋整体倒塌的共 21 起, 占 3.2%。

1. 砖、石基础破坏造成房屋倒塌的事故最多, 最严重。1987 年湖南沅江县建委办公楼倒塌的特大事故, 造成 40 人死亡, 主要原因就是砖柱基础的设计安全系数只有 0.92 到 1.35, 大大低于规范要求的 2.42; 再加施工采用包心砌筑, 进一步削弱了其承载能力。倒塌时, 首先是某个最薄弱的砖柱基础破坏, 立即引起其他砖柱基础的连

锁破坏。1995 年四川德阳棉麻公司综合楼倒塌和 1997 年浙江常山县棉纺厂职工宿舍楼倒塌两起特重大事故,也都是基础承台和基础砖墙首先破坏导致房屋整体倒塌。其他类似案例也都是砌体强度安全系数太小,再加施工质量低劣造成的。还有的是对兼作挡土墙的毛石基础,未进行抗倾覆、抗滑动和强度验算,致使毛石基础首先破坏,然后是房屋整体倒塌。

2. 未经勘察就设计,地基的允许承载力远远低于实际荷载,造成地基严重不均匀沉降,导致房屋倒塌。特别是地基为淤泥层或杂填土。如广东海康大旅店倒塌事故,除了该框架结构设计错误,柱、梁的截面和配筋严重不足外,地基的淤泥层造成不均匀沉降,也是导致该大楼倒塌的一个重要原因。该结构设计时,地基承载力取值错误,经在现场旁边 1.8m 的地下取土样测定,该淤泥质土壤的天然含水率达到 65%~75%,其地基允许承载力为 40~50kN/m²,而原设计竟错误采用 100~120kN/m²,差 2.5 倍。该楼是 1980 年 6 月开工,到 1981 年 6 月已发现基础下沉 10.5cm,未加注意。1982 年 1 月主体结构完成,西南角下沉达 41cm,并出现梁、隔墙多处裂缝并不断扩大发展,但仍未引起重视,未采取措施。终于在同年 5 月 3 日整体倒塌。其他类似事故也都是将基础置于淤泥层地基之上,又未采取相应的措施。还有的是将基础置于杂填土上。

3. 有的将基础置于冻土层上,如 1984 年辽宁复县镇小学校舍倒塌事故,其原因是基础埋深仅 50~60cm,开冻后因地基下沉造成房屋倒塌。有的将基础置于护坡上,因护坡失稳坍塌,导致房屋倒塌。还有的地基土壤为“裂隙性粘土”(膨胀土),在长期雨水的浸泡下,使土膨胀塑化,地耐力迅速减弱,造成地基下沉,基础折断,上部结构随之倒塌。

4. 桩基破坏造成房屋倒塌。如内蒙古莫尔道嘎林业局住宅楼采用桩基,为了使房屋重量能通过桩基传至亚粘土以下的安山岩层上,设计采用先成孔,后插入预制桩的支承桩方案。由于桩基设计时,只是粗略估计,致使桩基的实际承载力远远大于安山岩层的允许承载力。当上部结构荷载加上后发生桩基破坏。事故发生后,经现场观察,桩的破坏部位均在距桩头 1m 左右的范围。当 1986 年 9 月 5 日

施工到五层平口时,发现承台梁有十余处上下贯通裂缝,9月12日房屋突然倒塌。再如湖北武汉市桥苑新村一幢18层住宅楼因桩基整体失稳,致使整栋楼的屋顶水平位移达2884mm,为了确保相邻建筑及住户的安全,消除濒临倒塌的危险,不得不立即采取定向爆破拆除的措施。

5. 房屋建筑的基础,被邻近工程开挖时掏空造成房屋倒塌。如广东龙川县开发区一幢七层住宅楼,其基础底面的标高为-3.6m,而邻近建筑开挖深度达到标高-4.15m,将基础下面掏空,造成该住宅楼突然倒塌死亡8人的重大事故。再如黑龙江哈尔滨铁路分局职工宿舍倒塌事故也是类似情况。该楼的一幢五层西式古典建筑,由于相邻建筑违章施工,在该楼基础以下开挖,未采取任何防坍塌措施,当基坑挖完后第二天,即造成该楼南侧一角从五楼到一楼齐刷刷地塌落到相邻工程的基坑里。幸当晚该楼值勤人员发现墙体裂缝不断扩大,墙皮大片脱落,及时组织全部宿员撤离,未造成人员伤亡。

二、柱、墙等垂直结构破坏引起房屋整体倒塌

柱、墙、垛等垂直结构首先破坏造成房屋整体倒塌和在施工中失稳倒塌的共150起,占22.8%。在这150起中,砖砌体首先破坏的112起,钢筋混凝土柱、墙破坏的7起,木柱破坏的1起,柱、墙在施工中失稳倒塌的30起。

1. 砖柱、砖垛、窗间墙、空斗墙的设计安全系数太小,再加施工质量不好造成的事故最多。按现行设计规范,受压砌体的安全系数应为2.3,受弯、受拉和受剪砌体应为2.5。这些破坏的砖柱、砖墙,事后复核其设计安全系数只有0.88到1.70。如1977年7月12日,四川宜宾县恩波公社新建礼堂倒塌,就是支承楼厢的四根50cm直径圆柱首先破坏造成的,复核其安全系数只有1.55。1982年湖南衡南县泉溪公社猪鬃加工厂的三层砖混结构,也是由于底层砖垛首先破坏,墙体崩裂,造成④轴线到⑧轴线范围内自下而上全部倒塌,复核其底层砖垛的安全系数只有0.95。在砖柱承重的建筑中,一些门厅的独立砖柱是比較容易出事的。这种结构的特点是上部各层的重量都集中在门厅的几根柱子上,砖柱受的荷重很大;门厅一般较高,砖柱

增高后承载能力显著减少。窗间墙也是比较容易出事的，窗洞开得越大，窗间墙的断面越小，其承载能力也就越小。空斗墙承重的结构也是比较容易出事的。一般空斗墙体的承载能力，只有同截面实心墙的60%左右，而且空斗墙的施工质量也较难保证，这就会进一步降低其承载能力。

2. 砖柱、砖墙在空旷建筑中的承载能力有较大幅度的降低。因此，对一些跨度较大、层高较高、隔墙间距较大的结构，如会议室、教室、阅览室、礼堂、仓库等，必须按规范进行稳定性和强度计算，各部位构件之间必须按设计构造规定连接牢固，否则砖柱、砖墙会因承载能力严重不足首先破坏，造成房屋整体倒塌。砖柱、砖墙的承载能力是随其高度的增加而减少的，再加上在空旷建筑中柱、墙的计算高度又往往要大于其实际高度，这就进一步降低了其承载能力。如辽宁省某办公楼系二层砖混结构，宽14m，长45m，于1958年12月17日因砖柱首先破坏，引起房屋整体倒塌，压死七人，受伤几十人。1980年以来，不少农村礼堂的倒塌，除屋架破坏以外，多数是与砖柱、砖墙在空旷建筑中承载能力大幅度降低有关。特别是空旷建筑中的窗间墙，上面承担着大梁的集中荷载，是最危险的部位，如果在设计上没有足够的安全储备，施工质量又得不到保证，窗间墙往往因局部承压能力不足而首先破坏。而一旦某一堵窗间墙首先破坏，这种空旷结构就会立即发生连锁性破坏，导致空旷结构瞬时倒塌，而相邻的非空旷部分如楼梯间等倒不会倒塌。这种由窗间墙挑大梁的空旷结构倒塌的案例很多，有的还都是正规的有证设计和施工单位承建的，如1961年北京矿业学院主楼和1984年陕西延长油矿综合楼的倒塌事故就是这种情况。

3. 砖柱、砖墙在承受集中荷载的部位，有的设计未考虑做大梁的梁垫，有的是施工中未按设计做梁垫或做小了，使柱顶、墙顶局部承压能力不够而被压碎。这也是倒塌事故中常见的。这个问题很重要而又常被人们忽视。

4. 砖柱、砖墙施工质量低劣也常引起柱、墙破坏，造成房屋倒塌事故。有的砂浆强度太低；有的柱采用包心砌法；有的不讲究组砌方法，通缝达十几皮砖；有的在柱上乱打洞，有的在墙上开槽；有的

砂浆饱满度达不到要求。从不少倒塌现场看,大多数砖呈散状,砖柱、砖墙往往是沿着内外包心或通缝的地方破坏的。

5. 钢筋混凝土柱、墙破坏的事故有 7 起。主要有三种情况:一种是施工质量低劣,如 1983 年 6 月 30 日吉林图门市百货大楼的倒塌,就是因混凝土柱施工质量低劣,振捣不实,在二层楼的两根柱子上,竟分别有 50cm 和 100cm 高的一段,基本上是没有水泥浆的“石子堆”,终于因柱子破坏而引起房屋整体倒塌。有一种情况是由缺乏建筑结构知识的人搞设计,结果是钢筋混凝土柱的设计强度和刚度严重不足,有的事故事后核算柱的强度安全系数只有 0.46,大大低于规范要求的 1.55。还有一起比较特殊的案例,山东济南国棉一厂厂房,因在锯齿形厂房中设计错将特殊排的柱套用了一般柱,其受力特点有很大的区别,使实际配筋只达到应配钢筋的 30%,承载能力严重不足,使柱子产生大偏心受压破坏。

6. 木柱破坏造成房屋倒塌的案例只有 1 起,是很稀有的。浙江新昌县某礼堂,在屋面盖完后,发现木柱在盘石上不居中,在调整的过程中将木柱撬断,房屋迅速倒塌,造成死亡 2 人,重伤 15 人的重大事故。

7. 柱、墙在施工中失稳倒塌。这类事故较多,主要是因为在施工过程中,房屋结构尚未形成整体时,有些柱、墙是处于悬臂或单独受力状态,如在施工过程中没有采取防风、防倒措施,就会造成失稳倒塌。如 1958 年浙江杭州锅炉厂,因预制钢筋混凝土柱没有设缆风固定,在校正柱位时一根倾倒,顺次打倒 23 根;1972 年山西又发生顺次打倒 4 根柱的事故;1981 年沈阳发电厂扩建工程,发生顺次打倒 12 根高 44 米的预制钢筋混凝土双肢柱事故;这类重复性事故,一直延续到 1989 年。上海玻璃器皿厂加工车间为五层升板结构,因施工中没有及时采取楔紧柱与板之间的空隙等措施,来保证柱子在升板过程中的稳定性,于 1974 年 7 月 20 日,在提升中,五层升板一塌到底。这是一起因设计假定和施工中受力情况差异太大造成的重大事故。它告诫我们,建筑结构的安全,不仅要考虑建成后的受力情况,还必须考虑施工过程中可能出现的不利受力情况。有的砖墙砌好后未及时与抗风柱联系,山墙砌好后未及时上屋盖,又缺少防风措施,在

大风中被刮倒的事故也曾多次发生。1981年8月浙江义乌县通用机械厂铸造车间的东山墙（一砖厚围护墙）砌到8.8米高，而墙中的钢筋混凝土柱未浇好，因结构整体性差被8级大风刮倒，相比之下，西墙和北墙因浇灌了墙中的柱，就未被刮倒。还有一些墙体的稳定性未经验算，有的高厚比太大，有的无支撑的自由长度太大，造成在施工中失稳倒塌。此外，还有的工程为了抢进度，两层的墙体连续施工，只预留了安楼板的槽，造成墙体超高失稳倒塌。

三、钢筋混凝土框架结构倒塌

钢筋混凝土框架结构破坏倒塌的事故共13起，占2.0%。

1. 由缺乏建筑结构知识的负责设计，造出形似框架而实非框架的结构，柱、梁截面过小，配筋严重不足，节点构造错误，导致框架结构破坏倒塌的事故最多，也最为严重。如1982年广东海康大旅店倒塌后，复核其结构强度，发现底层柱截面过小，柱宽只有25cm，实际配筋量只达到需要量的19.01%到24.35%；柱、梁节点构造又都未达到刚性联接的要求。再加地基又处于淤泥层，出现严重持续不断的不均匀沉降，使十分脆弱的所谓框架结构产生日益增大的附加应力。开始是柱、梁和隔墙出现多处明显裂缝，最后是底层某个最薄弱的柱子首先达到极限受力状态，发生塑性变形，将其所受荷载转嫁到其他底层柱，经过连锁性破坏，在瞬间一幢大楼一塌到底。再如，1997年福建莆田县新光电子公司四层框架结构的宿舍楼倒塌的特大事故，也是因设计错误，底层柱的实际配筋量只达到规范需要量的13.1%到32.3%。从倒塌后的现场观察，梁柱接头全部脱开了，没有见到一个完整的；柱子也没有一根完整的，多数成了2、3截，有的粉碎了；梁也没有一根完整的都断成2、3截，尤其是次梁都碎了。从柱子和梁的断开处，可以看到钢筋很少。所谓的框架结构，其节点处是按一般简支梁配筋的，起不到框架结构的作用。这栋框架结构楼房也是在基础不断不均匀沉降的情况下倒塌的。其他类似案例也都大同小异。

2. 有的新结构不但没有增加安全系数，反而降低了安全系数造成结构破坏倒塌。如1976年内蒙乌盟医院食堂采用的钢筋混凝土门

式刚架结构,其受力性能类似框架结构,因安全系数太小而倒塌。这在当时是一种新型结构,理应增加其安全储备以确保结构的可靠性,但设计单位没有这样做,而且因计算不准确反而降低了其安全系数。经事后验算,破坏部位门架柱内转角处的安全系数只有 1.05,小于规范要求的 1.55。这种安全系数偏小的结构,在施工中混凝土强度又没有达到设计标号,在柱内转角处又打了洞,在大雨后屋面反槽板内泡水又增加了屋面荷载,发生了门架转角处首先破坏,导致这种新结构全部倒塌。

3. 预制装配式钢筋混凝土框架结构在施工中失稳倒塌。如北京焦化厂高 40m 的转运站框架结构系叠合梁装配式框架结构,1985 年在大风中倒塌。主要原因是施工中对结构的整体稳定性考虑不周,结构吊装后大部分节点未按要求焊接牢固,只是点焊,个别梁还浮搁在牛腿上,结构呈瞬变铰接状态,未能形成一个框架整体,结果在大风中倒塌。再如,山西太原山西铝厂熟料烧成车间,系预制钢筋混凝土三层框架结构,也是因为在施工中尚未形成整体时被大风刮倒。倒塌前各柱与横梁、纵梁联接处均未灌注混凝土,有的柱由于纵梁尚未安装,整个框架处于不稳定状态,致使主框架在纵向强大风荷作用下,由北向南全部倒塌。

4. 由于混凝土受冻,造成倒塌。如辽宁本溪市许连寨水泥烘干通廊,系钢筋混凝土框架结构,1983 年冬开工,1984 年 3 月 31 日施工到框架上砌砖时,两跨通廊倒塌。主要原因就是②~③轴线的钢筋混凝土柱是冬季施工,由于保温不好,混凝土受冻,强度很低造成倒塌。

5. 由于采用了安全性不合格水泥,造成框架结构爆破拆除。上海锦普大厦系 20 层的钢筋混凝土剪力墙结构,混凝土的设计强度为 C30。该楼 11 至 14 层使用了某县供电局生产的 42.5 等级的水泥,由于安全性不合格,为了确保结构安全,不得不将 11 至 14 层拆除重建,于 1995 年 9 月至 11 月实施逐层爆破拆除。这次事故直接经济损失达 212 万元,虽非倒塌事故,但具有典型性,故仍列入本书,提醒人们使用未经检验合格的水泥将造成多大的危害。

四、屋架破坏引起屋盖塌落

屋盖结构破坏,引起屋面系统塌落事故有 194 起,占 29.6%。其中:钢筋混凝土屋架(梁)44 起;木、钢木屋架 62 起;钢屋架 82 起;特殊屋盖结构 6 起。

1. 钢筋混凝土屋架、屋面梁破坏塌落

(1) 钢筋混凝土组合屋架破坏事故所占比重较大。因为这类屋架节点构造不易处理,稍有疏忽,节点就首先破坏,引起整个屋架的破坏。如 1958 年杭州半山钢铁厂第一炼铁车间就是这样倒塌的。该拱形屋架采用某机械工业部设计院标准图,系抄用原苏联标准图。上弦为五节 T 形预制钢筋混凝土构件,互相连接;下弦为型钢,全靠大型屋面板来稳定屋架,存在铰接点太多、刚度差、上重下轻的缺点,因此屋盖本身不够稳定。据当时苏联专家介绍,这种屋架在苏联建筑研究院试制时就发现问题,因其要求节点的施工精度很高,所以在 1956 年就已废止不用了,而我们 1958 年还在使用。再加施工质量低劣,混凝土标号达不到设计要求,焊接质量不合格等,结果导致组合屋架倒塌。后来在山西、辽宁、新疆、河南等地都发生过类似事故。因为这种屋架技术要求高,施工时要特别注意,在施工质量控制没有可靠保证的情况下,不宜采用。

(2) 屋架的支撑系统不完善造成失稳倒塌的事故也是比较多的。此外,还要注意吊装过程中屋架的稳定。由于这类屋架重量较大,容易裂缝,吊装时要有严格的加固措施,就位后应及时完善支撑系统,防止在外力(大风、雪、施工荷载等)的作用下失稳倒塌。如 1958 年山西大同某厂屋架倒塌,主要是因为屋架和天窗架支撑都未安好的情况下,就安装屋面板,造成三个节间屋盖结构全部倒塌。

(3) 焊接质量是保证屋架安全的重要一环,很多倒塌事故都是因焊接质量低劣造成的。此外,正确选择材料和焊接方法也十分重要。如 1984 年,新疆巴楚县某厂六榀 12m 屋架,下弦接头错误地采用单面绑条焊接,因绑条处应力集中而被拉断,导致屋架倒塌。哈尔滨某厂的 12m 薄腹梁倒塌,其原因是错误采用 45 中碳钢作焊接钢筋,造成在低温下脆断。原苏联的西伯利亚地区,也曾发生过两起薄腹梁在

低温下主筋脆断的事故,说明在低温下正确选用焊接材料十分重要。

(4) 屋面严重超载造成倒塌。如 1958 年邯郸某厂房屋盖,原设计为 4cm 厚泡沫混凝土,后改为 10cm 炉渣白灰,下雨后又增加水分,倒塌时的实际荷载已是设计荷载的 193%。类似案例还有多起。

(5) 由于设计错误和安全系数上存在的问题,造成屋架倒塌。20 世纪 80 年代由于监督管理跟不上,无证设计的问题十分突出,由缺乏建筑结构知识的人负责设计造成的事故很多,有的钢筋混凝土屋架倒塌后核算其强度安全系数只有 0.56,大大低于规范要求的 1.40。但也有个别案例,设计符合规范要求,因上弦混凝土破坏而造成屋架倒塌。如广东乐昌县 715 工程锅炉房采用跨度为 11m 的人字形屋架,1974 年 5 月竣工,经过三年七个月,于 1978 年 1 月突然倒塌。事故后检查,设计符合规范要求,钢筋没有破坏,判明屋架是由于上弦混凝土受压破坏。钢筋混凝土屋架的结构设计一般按钢筋是否达到极限状态来考虑安全系数的,也即按钢筋的匀质系数来考虑安全系数,是偏小的;如果考虑到是混凝土破坏,也即按混凝土的匀质系数来考虑安全系数,则大得多。20 世纪 60 年代初,在陕西等地曾有几十万平方米的建筑采用多边形非预应力屋架,都是按设计规范计算,屋架大批使用前进行的破坏性试验也都通过国家规定的结构检验标准,结果也因上弦混凝土破坏,不得不对这几十万平方米的建筑进行加固。这是一个值得探讨的课题。

2. 木屋架和钢木屋架破坏。绝大多数都是无证设计和施工造成的。

(1) 由于屋架上弦和受压腹杆截面太小,设计安全系数不够,实际应力大于允许应力,杆件受压弯曲折断,造成屋架破坏。如福建漳浦县某影剧院 14.6m 跨钢木屋架,在 1984 年 5 月 30 日正放映电影时倒塌。经验算,上弦压杆及腹杆的实际应力,已分别超过容许应力的二倍和三倍。

(2) 施工中选材不当,把腐朽、虫蛀严重及木节太多的材料用在屋架上。有的孔洞、榫眼开凿在同一个截面上,减少了有效截面积。如贵州某小学教室木屋架,就是选材不当,又把榫眼开在木节断面上,使截面积减少 30% 而折断倒塌。