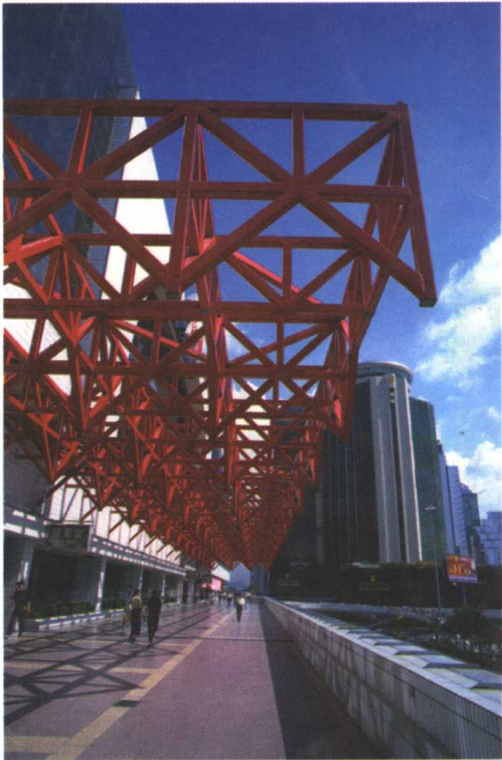


罗福午 主 编

建筑工程质量
缺陷事故分析及处理

JIANZHU GONGCHENG ZHILIANG QUEXIAN SHIGU FENXI JI CHULI



武汉工业大学出版社

建筑工程质量缺陷事故分析及处理

罗福午 主 编

武汉工业大学出版社

· 武汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程质量缺陷事故分析及处理/罗福午主编. —武汉:武汉工业大学出版社,
2000.6 重印

ISBN 7-5629-1506-7

I. 建… II. 罗… III. ①建筑工程-质量-质量控制 ②建筑工程-缺陷-事故处理
IV. TU712

内 容 提 要

建筑工程,“百年大计,质量第一”。从事建筑业的工程技术和管理人员都迫切需
要了解影响建筑工程质量的各种缺陷,以及可能出现的各种事故。

本书对建筑工程中经常出现的缺陷和事故进行介绍和分析,并概括叙述其处理
措施。其中第1章为总论,第2~7章分别较为系统地讨论了钢筋混凝土结构、砌体结
构、钢结构、地基和基础工程、装饰工程、防水工程的质量控制和可能出现的缺陷事
故。每一章约有10~30个较为详细的案例分析。第8、9章概述了检测和处理方法。

本书是作为高等专科学校和大学本科土木工程专业专业课教科书编写的。它
必然适合于从事建筑工程设计、施工监理、质量检查和管理方面的工程技术人员学习
应用。因而,它也是一本可用于继续教育的培训教材。

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞狮路122号 邮编:430070)

各地新华书店经销

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.5 字数:580千字

1999年8月第1版 2000年6月第2次印刷

印数:10001—15000 定价:26.00元

(如有印装质量问题,请向承印厂调换)

前 言

建筑工程,“百年大计,质量第一”。确保建筑工程质量,是建筑物能够长期有效使用的首要条件,是“对人民负责、对历史负责”的一件大事。

我国基本建设总的形势很好,但就建筑工程质量而言,却存在不少问题和隐患,在一定程度上影响着我国经济建设的步伐。它的普遍性和严重性长期来也没有引起人们的重视。1998年在特大洪水灾害中发生的水利工程事故,和1999年重庆綦江桥倒塌事故,使全国人民为频频出现的“豆腐渣工程”所震惊,纷纷考虑是什么原因造成建筑工程质量问题长期得不到解决?固然,原因很多,但其中一个重要因素是建筑工程界有些人尚缺乏建筑工程质量意识,既缺乏对建筑工程质量涉及技术和管理问题的全面认识,更缺乏确保质量的主观能动性和责任心。意识,是人对现实有组织的反映,是能使人的行动具有自觉性能动性的认识。对建筑工程质量的有组织的反映包含:

- 掌握建筑工程质量的概念和质量问题的表现形态;
- 弄清建筑工程质量问题的原因和影响因素;
- 看到建筑工程缺陷、事故的现象和造成危害;
- 懂得和贯彻保证建筑工程质量的方针、政策、准则和各项管理措施。

促使人们建立建筑工程质量意识,要从土木工程专业的学生抓起,逐渐向广大建筑业同行推广,为提高我国建筑工程质量作出贡献,是我们编写本书的目的。

本书特色强调概念性、系统性、说理性和应用性。全书除建筑工程质量总论外包括钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构、地基和基础工程、装饰工程、防水工程、检测方法和缺陷处理方法概述8个部分,共9章和百余个缺陷和事故案例,每个案例都有工程概况介绍、事故原因分析、应吸取教训和处理方法等几部分。本书的重点是建筑结构工程缺陷和事故的分析。分析涉及各种技术问题和管理问题,正确的分析是正确处理的基础。对初学者,或已有一定工程经验的技术和管理人员来说,分析能使他们得到综合运用所学知识处理工程问题的训练,也能加深他们对实际工程问题的认识。

本书面向土木工程专业大专和本科教学的需要,对《建筑结构缺陷事故的分析及防治》(罗福午、江见鲸、陈希哲、王元清编著)一书进行了大幅度改编;除增加“装饰工程”、“防水工程”两章,删除“重大事故分析全过程实例”一章外,在其余各章中都增设“质量控制要点”一节,以便使学习者能从正、反两方面全面认识建筑工程各个方面的质量问题。

本书第1、2、3、9章由罗福午编写,第6、8章由胡乃君编写,第5、7章由张世海编写,第4章由王元清编写,第2~7章中“质量控制要点”一节均由郭义海编写。罗福午对4~8章进行了改编。蔡德明、胡乃君、张世海、郭义海、罗福午参加了本书的策划。

本书在编写过程中由中国建筑业协会工程建设质量监督分会常务副会长吴松勤高级工程师进行指导。

由于建筑工程范围广,缺陷事故种类繁多,一本书难以全面概括;更由于我们实践经验不足,理论水平有限,故本书肯定有不少缺点乃至错误,希望读者予以批评指正。

编 者

1999年6月

目 录

1 建筑工程质量总论	(1)
1.1 建筑工程的质量特性	(1)
1.2 建筑工程中缺陷、破坏、倒塌、事故的概念	(2)
1.3 造成质量缺陷事故的原因	(5)
1.3.1 影响建筑结构质量的技术因素	(6)
1.3.2 我国建筑结构质量事故的历史回顾	(7)
1.3.3 建筑结构工程质量事故统计及其分析	(9)
1.3.4 建筑工程质量四要素——质量链	(12)
1.4 质量事故分析的过程、性质和基本原则	(13)
附录 1 《中华人民共和国建筑法》中关于建筑工程质量的主要条款	(17)
2 钢筋混凝土工程中的质量控制、缺陷和事故	(19)
2.1 引言	(19)
2.1.1 钢筋混凝土工程的特点	(19)
2.1.2 混凝土、钢筋性能的基础	(20)
2.1.3 钢筋混凝土构件中裂缝的一般概念	(22)
2.2 钢筋混凝土工程质量控制要点	(23)
2.2.1 混凝土工程的质量控制	(23)
2.2.2 钢筋工程的质量控制	(25)
2.2.3 模板工程的质量控制	(28)
2.3 引起钢筋混凝土工程缺陷常见因素和主要表现	(29)
2.3.1 钢筋混凝土构件产生裂缝的机理及其特征描述	(29)
2.3.2 裂缝的宽度和裂缝宽度控制的概念	(30)
2.3.3 钢筋混凝土构件裂缝的评定标准和破坏的检验标志	(31)
2.3.4 常见的形成钢筋混凝土工程缺陷的原因、特征和裂缝表现	(31)
2.3.5 钢筋混凝土工程缺陷的一般防治措施	(37)
2.4 钢筋混凝土工程常见缺陷和事故的案例分析	(38)
2.4.1 水泥过期和受潮	(38)
2.4.2 水泥和骨料含有害物质	(40)
2.4.3 碱-骨料反应	(42)
2.4.4 骨料中含过量杂质	(45)
2.4.5 混凝土受冻或养护温度过低	(47)
2.4.6 混凝土初期收缩	(51)
2.4.7 混凝土麻面、掉角、蜂窝、露筋和空洞	(52)
2.4.8 混凝土施工缝处理不当	(59)
2.4.9 混凝土因水化热开裂	(64)
2.4.10 混凝土受腐蚀	(65)

2.4.11	钢筋受腐蚀	(67)
2.4.12	钢筋技术性能缺陷	(71)
2.4.13	钢筋配置不当实例	(73)
2.4.14	预埋件构造不当	(79)
2.5	预制混凝土构件常见裂缝的形成及其防治	(81)
2.5.1	预制板	(81)
2.5.2	预制梁	(81)
2.5.3	预制或现浇柱	(84)
2.6	若干典型钢筋混凝土结构质量事故分析及处理	(86)
2.6.1	因使用荷载超重造成的质量事故	(86)
2.6.2	因设计计算方法有误和配筋构造不当造成的质量事故	(90)
2.6.3	因预埋件设计构造和施工做法不合理造成的质量事故	(94)
2.6.4	因施工技术方案失误(实际受力与设计不符)造成的质量事故	(98)
2.6.5	六无工程因设计、施工综合失误造成的重大事故	(101)
	复习思考题	(104)
	附录2 钢筋混凝土工程质量控制用表	(106)
3	砌体结构工程中的质量控制、缺陷和事故	(111)
3.1	引言	(111)
3.1.1	砌体结构工程的特点	(111)
3.1.2	砌体性能的基础	(112)
3.2	砌体工程质量控制要点	(113)
3.2.1	块材的质量控制	(113)
3.2.2	砂浆的质量控制	(114)
3.2.3	砌筑时的质量控制	(115)
3.3	引起砌体结构工程缺陷的常见因素、主要表现和防止措施	(116)
3.3.1	形成缺陷的原因和防止措施	(116)
3.3.2	砌体构件因受力、变形形成裂缝的原因和特征	(118)
3.3.3	砖砌体结构裂缝的评定标准	(122)
3.4	砖砌体结构工程中常见的几类质量缺陷事故及其处理	(122)
3.4.1	砖砌体结构因抗压承载力不足(较小偏心情况)造成的质量事故	(122)
3.4.2	砖砌体结构因抗压承载力不足(较大偏心情况)造成的质量事故	(125)
3.4.3	砖砌体结构因抗压承载力不足(局部受压情况)造成的质量事故	(128)
3.4.4	砖砌体结构因高厚比过大引起的缺陷和事故	(129)
3.4.5	砖砌体构件因支承处构造不当引起的事故	(131)
3.4.6	砖砌体结构因温度变形引起的缺陷	(136)
3.4.7	因地基过大的不均匀沉降引起的缺陷	(142)
3.4.8	因地基土冻胀引起的缺陷	(147)
3.4.9	因地震作用引起的破坏和倒塌	(150)
3.4.10	砖砌体结构设置圈梁的作用和可能存在的质量问题	(154)
3.4.11	砖砌体结构设置构造柱的作用和可能存在的质量问题	(159)
	复习思考题	(160)
	附录3 砌体工程质量控制用表	(162)

4 钢结构工程中的质量控制、缺陷和事故	(165)
4.1 引言	(165)
4.1.1 钢材的性能及可能的缺陷	(165)
4.1.2 钢结构加工制作中可能存在的缺陷	(168)
4.1.3 钢结构运输、安装和使用维护中可能产生的缺陷	(170)
4.2 钢结构工程质量控制要点	(170)
4.2.1 钢结构制作时质量控制要点	(170)
4.2.2 钢结构焊接时质量控制要点	(170)
4.2.3 钢结构高强螺栓连接时质量控制要点	(171)
4.2.4 钢结构安装时质量控制要点	(171)
4.2.5 钢结构油漆工程质量控制要点	(171)
4.3 钢结构的事故及其影响因素	(172)
4.3.1 钢结构承载力和刚度失效	(172)
4.3.2 钢结构失稳	(173)
4.3.3 钢结构疲劳破坏	(173)
4.3.4 钢结构脆性断裂	(174)
4.3.5 钢结构腐蚀破坏	(174)
4.4 钢结构质量事故案例分析	(174)
4.4.1 屋盖结构质量事故	(174)
4.4.2 吊车梁结构质量事故	(182)
复习思考题.....	(184)
附录 4 钢结构工程质量控制用表	(186)
5 地基和基础工程中的质量控制、缺陷和事故	(188)
5.1 引言	(188)
5.1.1 地基土的特性及其主要指标	(188)
5.1.2 常见土类别及其工程性质	(189)
5.1.3 工程地质勘察——掌握地基信息的主要来源	(190)
5.1.4 地基承载力和地基土的破坏	(190)
5.1.5 地基土的变形、压缩性指标和基础的沉降	(192)
5.1.6 建筑工程中不良的地质条件	(193)
5.1.7 地下水	(193)
5.2 地基和基础工程质量控制要点	(194)
5.2.1 地基的质量控制	(194)
5.2.2 土方工程中几点主要的质量控制	(194)
5.2.3 基础工程的质量控制	(195)
5.3 常见地基和基础工程缺陷事故类别与案例分析	(196)
5.3.1 因地基变形差过大造成的缺陷事故	(197)
5.3.2 因地基受载密度过大造成的缺陷事故	(204)
5.3.3 因地基中暗沟、古墓等异物影响造成的缺陷事故	(206)
5.3.4 因地下水渗流造成的缺陷事故	(209)
5.3.5 因新建相邻建筑物(含室内外地面大面积堆载)造成的缺陷事故	(213)
5.3.6 因软弱或特殊地基处理不当造成的缺陷事故	(215)

5.3.7 因土坡滑动造成的缺陷事故	(221)
5.3.8 基坑工程质量造成的缺陷事故	(224)
5.3.9 桩基础工程质量造成的缺陷事故	(227)
复习思考题	(232)
附录 5 地基和基础工程质量控制用表	(233)
6 装饰工程中的质量控制、缺陷与处理	(235)
6.1 引言	(235)
6.2 抹灰工程的质量控制和缺陷	(236)
6.2.1 抹灰工程质量控制(一般抹灰工程)	(236)
6.2.2 抹灰工程常见缺陷及其处理	(237)
6.3 饰面工程质量控制和缺陷	(239)
6.3.1 饰面工程质量控制	(239)
6.3.2 饰面工程常见缺陷及其处理	(239)
6.4 油漆工程质量控制和缺陷	(241)
6.4.1 油漆工程常见缺陷及其处理	(241)
6.4.2 油漆工程质量控制	(243)
6.5 刷浆工程质量控制和缺陷	(243)
6.5.1 刷浆工程质量控制	(244)
6.5.2 刷浆工程常见缺陷及其处理	(244)
6.6 裱糊工程质量控制和缺陷	(245)
6.6.1 裱糊工程质量控制	(245)
6.6.2 裱糊工程常见缺陷及其处理	(245)
复习思考题	(247)
附录 6 装饰工程质量控制用表	(248)
7 防水工程中的缺陷和处理	(250)
7.1 引言	(250)
7.2 屋面防水工程常见缺陷及其处理	(251)
7.2.1 卷材防水屋面常见缺陷及其处理	(251)
7.2.2 涂料防水屋面常见缺陷及其处理	(258)
7.2.3 刚性防水屋面常见缺陷及其处理	(258)
7.3 地下防水工程常见缺陷及其处理	(259)
7.3.1 防水混凝土结构常见缺陷及其处理	(260)
7.3.2 地下工程卷材防水层常见缺陷及其处理	(262)
7.3.3 地下工程变形缝处常见渗漏及其处理	(263)
7.4 厕浴厨房间防水工程常见缺陷及其处理	(265)
复习思考题	(266)
8 建筑工程检测方法	(267)
8.1 钢筋混凝土构件的检测	(267)
8.1.1 混凝土表面裂缝及蜂窝面积的检测	(267)
8.1.2 混凝土强度的检测	(268)
8.1.3 混凝土内部缺陷的检测	(273)

8.1.4	钢筋位置的检测	(275)
8.1.5	钢筋实际应力的测定	(276)
8.2	砌体构件的检测	(277)
8.2.1	砌体裂缝检测	(277)
8.2.2	砌体中砂浆强度的检测	(277)
8.2.3	砌体强度的检测	(280)
8.3	钢构件的检测	(281)
8.3.1	构件整体平整度的检测	(281)
8.3.2	构件长细比、局部平整度和损伤的检测	(281)
8.3.3	连接的检测	(281)
8.4	建筑物的变形观测	(282)
8.4.1	建筑物的倾斜观测	(282)
8.4.2	建筑物的沉降观测	(282)
	复习思考题	(284)
9	建筑结构缺陷处理方法概述	(285)
9.1	建筑结构缺陷处理方法分类及适用范围	(285)
9.1.1	建筑结构缺陷的处理	(285)
9.1.2	地基基础缺陷事故的处理	(287)
9.2	建筑结构的加固原则	(292)
9.3	建筑结构加固的设计施工要点	(293)
9.3.1	设计要点	(293)
9.3.2	构造和施工要点(以讨论钢筋混凝土构件的加固为例)	(294)
	参考文献	(300)

1 建筑工程质量总论

确保和提高建筑工程质量是建筑界永恒的主题。

确保和提高建筑工程质量,必须从两方面着手:一是加强建筑工程的质量管理和健全建筑工程的法治建设;二是提高建筑界专业技术人员和管理人员的工程质量意识和专业技术水平。人们工程质量意识的建立,又与其专业技术水平的提高密切相关。

现在,《中华人民共和国建筑法》已经施行。建筑法确立了建筑工程质量管理的条款^①,规定了“国家对从事建筑活动的单位推行质量体系认证制度”、“国家推行建筑工程监理制度”和“建筑工程实行质量保修制度”,同时还明确了违反建筑工程质量标准、降低工程质量、造成工程质量缺陷事故的单位和个人应负的法律法律责任。国务院即将颁布《建设工程质量管理条例》,其中规定了建设单位,建设工程勘察、设计、咨询单位,建设工程施工单位,工程监理单位,建筑材料、构配件、设备生产和供应单位的质量责任和义务。这就为确保和提高建筑工程质量创造了良好的管理和法治环境。但是,毕竟管理和法治环境是“软件”,使人们在提高专业技术水平的基础上建立建筑工程意识才是“硬件”,也就是说提高人的素质是根本。只有硬软两手一起抓,才能使建筑工程质量从根本上得到保证,并不断提高。

本书将以建筑工程质量总论和钢筋混凝土工程、砌体工程、钢结构工程、地基基础工程、装饰工程、防水工程等几个侧面的案例分析来讨论建筑工程中可能产生的质量缺陷和事故。希望能从这些反面案例中吸取教训,从而提高人们的专业技术水平,因为只有正面的专业知识,是不全面的;既有正面知识又有反面经验,才算有了完全的知识,才能在较大程度上提高专业技术水平。更希望能用这些生动的现实使人们建立全面的工程质量意识,因为只有知识还不能见诸行动,既有知识又具备能动的意识,才能从现实中引出概念、思想和自觉行为,从而能调节和控制自己在确保和提高工程质量方面的行动。

1.1 建筑工程的质量特性

世界标准组织(ISO)对“质量”定义为反映产品或服务满足明确或隐含需要能力的特征和特性的总和。建筑工程的产品是建筑物,包括各类房屋和不同功能的工程构筑物如烟囪、水塔等。

建筑工程产品的特性,是建筑物的适用性、安全可靠性和耐久性的总和,它体现在以下四个方面:

(1)建筑物在正常使用时具有良好的使用性能,指建筑物要满足使用者对使用条件、舒适感和美观方面的需要。

(2)建筑结构能承受正常施工和正常使用时可能出现的各种作用,指建筑物中的各种结构构件要有足够的承载力和可靠度。

^① 见附录 1。

(3)建筑材料和构件在正常维护条件下具有足够的耐久性,指建筑物的寿命和对环境因素长期作用的抵御能力。

(4)建筑物在偶然事件发生时及发生后,仍能保持必需的整体稳定性,不致完全失效,甚至倒塌,指建筑物对使用者生命财产的安全保障。

与此同时,建筑物的建造过程还具有以下四个方面特征:

(1)单项性与群体性 它是按照建设使用单位的设计任务书单项进行设计、单独进行施工的;由于使用的多功能要求,它的设计和施工又都是不同专业、不同工种,相互协作,交叉作业的结果。

(2)一次性与长期性 它的实施往往要求一次成功,它的质量往往应在建设的一次过程中全部满足规范和合同要求;它的不合格会长期在使用过程中造成对使用者的损害和不便。

(3)高投入性与预约性 它的建成一般都要投入巨额资金、大量物资和人工,其建造时间之长是一般制造业所无法比拟的;同时它又必须通过招、投、决标和履约过程,选择施工单位,在现场施工建成。

(4)管理特殊性与风险性 它的施工地点和位置是固定的,操作人员轮流“上岗”,和其它制造业产品的零部件分散在各地不同,因而它的管理具有特殊规律;它又在自然环境中建造,建设周期很长,大自然对它的障碍和损害以及可能遭遇的社会风险很多,工程质量必然受到更多的影响。

因此,建筑工程的质量,与人民的居住、生活和工作,与各行业的建设、生产和发展,与国民经济的投入、产出和规划休戚相关。它的极端重要性不言而喻,它的缺陷、破坏、事故乃至倒塌带来的严重性和灾难性,十分突出。

为了确保上述特性和特征所反映的质量,国家制订了设计统一标准、规范、规程和质量检验评定标准,设计单位为某一建设项目制定了设计图纸,建设单位和施工单位签订了合同;这些都是“明确的”质量需要。此外,还有“隐含的”质量需要,那就是使用者对建筑物功能方面的合理需求,习惯传统的设计施工做法等等。

质量还是“发展着”的需要。随着生产力的发展,科学技术的进步,以及人们生活水平的提高和对事物认识的深化,人们对建筑质量的需要将会愈来愈高,永远不会停留在一个水平上。所以,对建筑质量的需要又必然是动态和不断提高的。

1.2 建筑工程中缺陷、破坏、倒塌、事故的概念

建筑物在施工和使用过程中,不可避免地会遇到质量低下的现象。轻则看到种种缺陷,重则发生各种破坏,甚至出现局部或整体倒塌的重大事件。当遇到这些现象时,建筑工作者应该善于分析、判断它产生的原因,提出预防和治理它的措施。要做到这些,必须对它们有一个准确的认识。

建筑工程中的缺陷,是由人为的(勘察、设计、施工、使用)或自然的(地质、气候)原因,使建筑物出现影响正常使用、承载力、耐久性、整体稳定性的种种不足的统称。它按照严重程度不同,又可分为三类:

(1)轻微缺陷 它们并不影响建筑物的近期使用,也不影响建筑结构的承载力、刚度及其完整性,但却有碍观瞻或影响耐久性。例如墙面不平整,地面混凝土龟裂,混凝土构件表面

局部缺浆、起砂,钢板上有划痕、夹渣等。

(2)使用缺陷 它们虽不影响建筑结构的承载力,却影响建筑物的使用功能,或使结构的使用性能下降,有时还会使人有不舒适感和不安全感。例如屋面和地下室渗漏,装饰物受损,梁的挠度偏大,墙体因温差而出现斜向或竖向裂纹等。

(3)危及承载力缺陷 它们或表现为采用材料的强度不足,或表现为结构构件截面尺寸不够,或表现为连接构造质量低劣。例如混凝土捣固不实,配筋欠缺,钢结构焊缝有裂纹、咬边现象,地基发生过大的沉降速率等。这类缺陷威胁到结构的承载力和稳定性,如不及时消除,可能导致局部或整体的破坏。

三类缺陷可能是显露的,如屋面渗透;也可能是隐蔽的,如配筋不足。后者更为危险,因为它有良好外表的假象,一旦有所发展,后果可能很严重。

缺陷的发展是破坏,而破坏本身又经历着一个过程。它对建筑装饰来说,是指装饰物从失效、毁坏到脱落的过程;对建筑结构来说,是指结构构件从临近破坏到破坏,再由破坏到即将倒塌的过程。

建筑结构的破坏,是结构构件或构件截面在荷载、变形作用下承载和使用性能失效的协议标志。例如:

(1)截面破坏 指构件的某个截面由于材料达到协议规定的某个应力或应变值所形成的破坏。例如,钢筋混凝土梁正截面受弯破坏,指该截面拉区钢筋到达屈服点,相应压区混凝土边缘达到极限压应变时的受力状态;破坏时该截面所能承受的弯矩不能再增加,就是一种破坏。但超静定构件某个截面发生破坏,并不等于该构件发生破坏。

(2)构件破坏 指结构的某个构件由于达到某些协议检验指标所形成的破坏。上述钢筋混凝土梁,如果受拉主筋处的最大裂缝宽度达到 1.5mm ,或挠度达到 $L/50$ (L 指跨长)时,即认为该梁发生破坏,就是一例。同理,超静定结构的某个构件发生破坏,并不等于该结构发生破坏。

正因为破坏是一种人为的协议标志,要十分注意结构构件或构件截面的受力和变形处于设计规范允许值和协议破坏标志之间的状态,并将它称之为临近破坏(如钢筋混凝土梁受拉区的裂缝宽度在 0.3mm 和 1.5mm 之间时)。临近破坏是破坏的前兆,有这种破坏前兆的(如适筋混凝土梁的弯曲破坏)称为延性破坏;无这种破坏前兆的(如无腹筋混凝土梁的剪切破坏)称为脆性破坏。在进行建筑物的结构设计时,要避免发生脆性破坏;对有破坏前兆的临近破坏的质量问题,要及时发现并及时处理,予以纠正。这些在实际的建筑工程设计和实践中,都具有极端重要的意义。

建筑结构的倒塌,是建筑结构在多种荷载和变形共同作用下稳定性和整体性完全丧失的表现。其中,若只有部分结构丧失稳定性和整体性的,称为局部倒塌;整个结构物丧失稳定性和整体性的,称为整体倒塌。倒塌具有突发性,是不可修复的;它的发生,一般都伴随着人员的伤亡和经济上的巨大损失。但倒塌绝不是不可避免的,因为,建筑结构的倒塌一般都要经过以下几种规律性的阶段:

- ①结构的承载力减弱;
- ②结构超越所能承受的极限内力或极限变形;
- ③结构的稳定性和整体性丧失;
- ④结构的薄弱部位先行突然破坏、倾倒;

⑤局部结构或整个结构倒塌。

有时,这些阶段在瞬时连续发生发展,表现为突发性倒塌;有时,这些阶段的发生和发展是渐变的,它使破坏有一个时间过程。因此,如果人们能在发生轻微缺陷时就及时纠正,在有破坏征兆时就及时加固,做到防微杜渐、亡羊补牢,倒塌是往往可以避免的。

建筑结构的临近破坏、破坏和倒塌,统称质量事故,简称事故。破坏称破坏事故;倒塌称倒塌事故。建设部规定建筑工程的事故有以下几个级别:

- (1)一级重大事故,指死亡 30 人以上,直接经济损失 300 万元以上者;
- (2)二级重大事故,指死亡 10~29 人,直接经济损失 100 万元以上,不满 300 万元者;
- (3)三级重大事故,指死亡 3~9 人,重伤 20 人以上,直接经济损失 30 万元以上,不满 100 万元者;
- (4)四级重大事故,指死亡 2 人以下,重伤 3~19 人,直接经济损失 10 万元以上,不满 30 万元者;
- (5)一般质量事故,指重伤 2 人以下,或直接经济损失 10 万元以下,5 千元以上者;
- (6)质量问题,指经济损失不足 5 千元者。

纵览以上分析,建筑结构的缺陷和事故,虽然是两个不同概念:事故表现为建筑结构局部或整体的临近破坏、破坏和倒塌;缺陷仅表现为具有影响正常使用、承载力、耐久性、完整性的种种隐藏的和显露的不足。但是,缺陷和事故又是同一类事物的两种程度不同的表现:缺陷往往是产生事故的直接或间接原因;而事故往往是缺陷的质变或经久不加处理的发展。

下述两个实例,可以说明从缺陷到重大事故的发展。

【实例】

(1)1993 年某水库大坝缺口事故^[35]

该坝为一砂砾石土坝,坝高 60m,坝顶长 265m,宽 7m。坝面做法上游为钢筋混凝土面板,下游为干砌石护坡。水库正常蓄水位在 3278m 标高处,见图 1.1。总蓄水量 330 万 m^3 。它的局部缺口是由初看起来的轻微缺陷造成的:该坝在 1989 年开始蓄水(库水位在 3258m 标高处)后不久即在右侧比脚坡高 1.5m 处出现一个漏水点,有涌水现象。采用填补处理后,涌水现象即消失。1990 年出现高水位(库水位升到 3274m 标高处)时,在同处又发生局部渗漏,但未引起进一步重视。直到 1993 年 8 月,当水位接近或超过坝顶防浪墙时(库水位约在 3277.3m 标高处),坝面上一些部位涌出像自来水那样的水流。不久,上游蓄水即将坝体冲出一个宽约 61m 的三角形缺口,如图 1.2。垮坝下泄的库水约 216 万 m^3 ,造成下游沿河村庄和县城冲毁房屋近 3000 间,死亡失踪 300 余人,蒙受惨重损失。

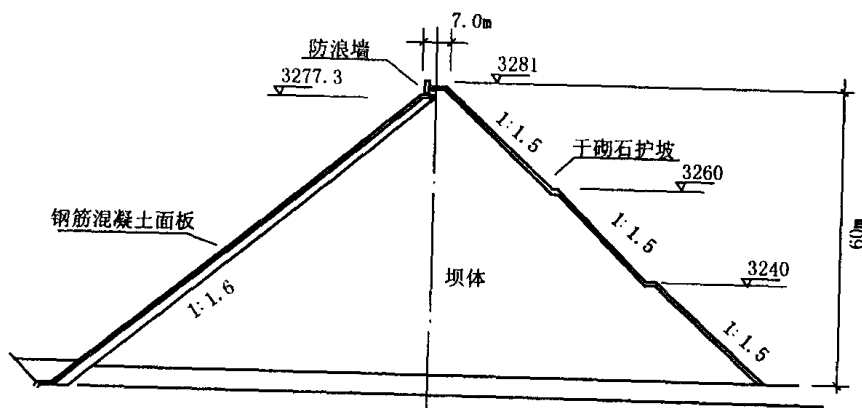


图 1.1 某水库横剖面示意图

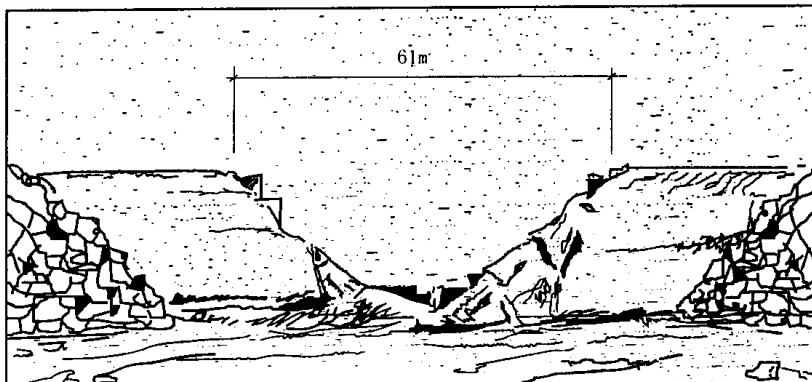


图 1.2 垮坝的三角形缺口

(2)1997 年某县职工宿舍整体倒塌事故^[17]

该工程为一五层砖混结构宿舍楼,建筑面积 2476m²,造价 219 元/m²,于 1994 年 5 月开工,1995 年 1 月竣工,同年 7 月交付使用。该工程的质量问题可从以下 5 方面分析:

①从设计因素看,设计可靠度偏低,有明显承载力薄弱部位,尤以基础墙为甚;

②从材料因素看,突出问题是砖的匀质性差,质量低劣;

③从施工因素看,使用了不合格的砖作基础,砌筑砂浆强度不足;没有按原设计要求对±0.00 标高以下基础内侧做回填土,而是擅自变更为架空板地面,基础墙内侧未回填土,形成了因洪水灾害和地表水长期渗透使基础墙长期处于积水状态;

④从建设单位因素看,片面压低造价,提供低质量砖材,以包代管;

⑤从质量监督因素看,前期质量监督不到位,后期工作严重失职。

所有这些因素都使该工程从竣工之日起就存在着种种危及承载力缺陷,以基础墙尤甚。但基础部分属隐蔽工程,不被人们发现。两年半后的 1997 年 7 月 12 日上午,该宿舍楼突然发生整体倒塌,有 39 人被压在废墟中,经抢救仅有 3 位幸存,其余 36 人遇难。该楼是在瞬间倒塌的,从倒塌现场看,整幢楼成为一片废墟,经基础全面开挖,不少基础墙的砖和砂浆已呈粉末状,说明结构是从基础砖墙的粉碎性破坏开始的。由于基础出问题,上部随之塌落。

本倒塌案例的原因虽众多,但主要原因则是:

①基础墙强度不足,未加处理;

②基础墙内侧未回填土,形成基础部分积水,因地基土有隔水层,地表水难以渗透,而基础墙既无回填土又无粉刷,长时间受积水直接浸泡,使强度已经不足的基础墙砌体又进一步泡酥。这是此宿舍楼经历一个长时间过程才发生瞬间倒塌的缘故。

1.3 造成质量缺陷事故的原因

建筑工程的质量问题(泛指质量缺陷和质量事故)有两大类:

(1)装饰工程的质量问题 指建筑物中四个表面层(屋面、顶棚面、墙面、地面)和各种配件(门窗、小五金、水电暖管道等)的质量问题。如屋面渗漏、顶棚下垂、墙皮脱落、地面开裂、门窗翘曲、地下室漏水、小五金失效、管道堵塞等等。它们主要影响的是建筑的使用效果。

(2)结构工程的质量问题 指建筑物中承受竖向重力荷载和水平荷载的结构构件的质

量问题。如承受人群、设备和各种构配件重力的板、梁、柱、墙、基础,承受风、地震、土水等侧向水平力的支撑、墙体,它们一旦存在质量问题,影响的是人民生命的安全和国家、企事业单位财产的损失。

关于装饰工程质量缺陷,甚至事故的原因、表现和处理措施,将在第 6、7 两章中加以讨论。

关于结构工程质量缺陷事故的原因、表现和处理措施,则是本书讨论的重点。它们将在本书除第 6、7 两章以外的各章中加以讨论。本节对造成建筑结构质量问题的宏观原因,按技术因素、历史回顾和统计分析三个方面进行探讨。

1.3.1 影响建筑结构质量的技术因素

建筑结构按承载能力极限状态设计时,应符合下列要求:

$$S(\text{结构的作用效应}) \leq R(\text{结构的抗力})$$

因此,建筑结构发生破坏和倒塌的直接原因是:

$$S > R(\text{或 } S \gg R)$$

式中与 S 有关的因素是施加于结构的荷载(属于结构上的作用范畴)、结构的支承条件、跨度等;与 R 有关的因素是材料性能、结构构件的截面尺寸、结构的计算方法等。它们既和设计有关,也和施工以及使用有关。具体地说,致使建筑结构丧失承载能力发生破坏倒塌的技术因素有:

(1) 设计时对结构承受的荷载和作用估计不足,施工时或使用后的实际荷载严重超越设计荷载;环境条件(如气温、地基情况等)与设计时的假定相比有重大变化。

(2) 设计时所取的计算简图与实际结构不符;施工时或使用后结构的实际受力状态与设计严重脱节。

(3) 设计时选用材料、构配件不当,或对材料的物理力学性能(如脆性、疲劳等)掌握不够;施工时采用的原材料存在着物理的和化学的质量问题,或选用的构配件不满足设计要求;使用期间结构暴露在腐蚀性介质中未加维护致使材料性质发生变化。

(4) 设计时所确定的构件截面过小或连接构造不当;施工时所形成的结构构件或连接构造质量低劣,甚至残缺不全;使用后对各种因素引起的构件损伤缺乏检验,不加维修,听任发展。

(5) 设计时对地基、气象等自然条件和场地现状了解不够,甚至完全不了解;施工单位在不充分掌握地基和场地现状,或者在不应有的气象条件下盲目施工;建设单位提供了错误的勘察和气象资料。

(6) 设计时错误地依据设计规范或设计计算规程,严重地违背设计规范和国家标准(或规范、标准、规程本身有不完善之处);施工时违反操作规程(或操作规程有不完善之处),施工工序有误,运输安装不当,临时支撑失稳等。

(7) 设计文件未经严格审查,在计算书和施工图中存在有错误、矛盾、混乱和遗漏;施工质量失控、管理混乱、技术人员素质过低等。

以上各种导致建筑结构质量缺陷事故的原因,也可列表说明,如表 1.1 所示。

质量事故的原因

表 1.1

责任归属	作用效应 S			结构抗力 R				
	自然环境 使用环境	使用荷载	支承条件与作用范围(跨度、高度、间距等)	材料、半成品取用	构件、连接构造	设计、计算方法	施 工	
							图 纸	实 施
设计方面	不了解; 少了解; 错了解	对使用要求估计不足	假设错误,与实际不符	选用不当; 性能不明; 考虑不周 (如选用预制构件未考虑刚度)	截面过小; 配筋过小; 构造不当; 连接薄弱	错误理解规范; 盲目套用规范; 违反国家标准; 运用不妥经验; 验算项目不全; 设计计算有错	矛盾; 混乱; 遗漏; 错误; 随意; 无图	
① 施工方面	不掌握情况下盲目施工;不应有的条件下强行施工	超越设计允许荷载	与设计要求不符	品质低劣; 保管不善; 选用次品	强度低; 配筋少; 连接漏; 尺寸偏; 构件残			质量控制不严; 违反操作规程; 违反设计要求; 工序混乱遗漏; 偷工减料滥造; 技术措施失误
② 使用方面	提供错误的勘察和气象资料;非正常使用,使环境遭受破坏	提供错误的荷载资料;盲目增加使用荷载随意变更使用要求	盲目增加支撑;随意加大跨度;增加高度;任意打洞、拆墙等	未加维护; 非正常使用;使材料处于侵蚀环境中	对使用中引起构件、连接损伤者,缺乏检验,不加维修		随意作设计变更; 施工期间提出不合理要求; 提供质量低的原材料	

注:①包括在施工现场质量监督检查中的失误;

②包括使用单位的管理。

由此可见,建筑结构质量事故的发生既有可能是设计原因,也有可能是施工原因,还有可能是使用原因;同时,既有可能是技术方面的原因,也有可能是管理方面的原因,还有可能是体制方面的原因。由于结构构件按承载能力极限状态设计时采用的可靠指标 β 一般在 3.2~3.7 之间,与它们相应的失效概率为 $6.9 \times 10^{-4} \sim 1.1 \times 10^{-4}$ 。在正常设计、施工、使用中如果出现一些不大的差错,一般是不会立即发生重大事故的。一个重大事故的实际发生,往往是由于设计计算和施工图纸中出现重大错误,或者由于施工现场出现重大质量问题,或者由于使用单位盲目使用不加维护,或者由于设计、施工甚至使用多种因素复合作用的结果,而以设计和施工的复合作用为主。

1.3.2 我国建筑结构质量事故的历史回顾

上述分析为我国建国以来几起建筑结构工程质量事故高潮中的现实所证明。

建国以来,随着建筑工业的蓬勃发展,建筑结构工程中的质量事故也时有出现。回忆过去,大体有四起高潮:

第一起高潮出现在 1958~1960 年大跃进时期。这时,通过解放初期的努力,我国财政经济状况有了基本好转,大规模经济建设正在兴起,建筑工程界掀起“学习苏联”的热潮。但是,面对基本建设的兴起,我国工程技术人员却缺乏把握工程质量的实践经验,以致出现不少工程事故。仅从建设部的不完全统计看,重大倒塌事故在 1958 年就有 18 起,在 1959~1960 年还有 16 起。1958 年因倒塌事故死亡的人数就为 1957 年的 30 倍,其中以 1958 年杭州某钢铁厂钢筋混凝土排架结构工程的倒塌事故最为典型。该工程在屋面板吊装过程中一端 9 榀排架结构的屋盖突然倒塌。造成事故的设计原因是不恰当地套用苏联设计的节点太多、刚度

较差的预制拱形组合屋架(选自苏联标准图集),设计上未考虑半边吊装屋面板对屋架的不利影响,套用苏联标准图后未进行实际使用荷载的复核;造成事故的施工原因是半边吊装屋面板,混凝土所用的水泥标号不足,屋架焊接质量低劣,采用锈蚀严重的钢板等。

这次事故后,当时的国务院副总理陈云在《红旗》杂志 1959 年第 5 期上发表《当前基本建设工作中的几个重大问题》的重要文章。他在文章中严肃指出:“建筑结构是厂房的骨干,厂房是不是牢固,首先决定于结构。……基本建设是有关国家长远利益的大计,在质量方面不能有任何的疏忽。”

第二起高潮出现在 1972~1976 年文化大革命期间。从建设部的不完全统计看,仅发生在 1975~1976 年间的重大倒塌事故就有 20 起,涉及到 1977 年的还有 21 起。究其原因,是由于人们经历了文革初期的浩劫,迫切需要恢复生产建设,但是一切规章制度都已废除,基本建设领域的管理一片混乱,这就滋生了工程质量事故的客观环境。质量事故中以设计责任为主的典型代表是 1972 年湖北鄂城新建某百货大楼的倒塌。该工程为一个四层砌体结构,建筑面积 2460m²。在施工过程中大楼东部 1~4 层共 1100m² 全部倒塌。分析其主要原因是由于资金不足,建设单位轻率而盲目地进行了两度重大的设计变更所造成的。它们包括:

(1)由 370mm 厚实心砖承重墙改为 240mm 空斗砖承重墙;

(2)由 M2.5 水泥混合砂浆改为 M0.4 白灰砂浆;

(3)将外墙砖壁柱凸出的扶壁部分擅自取消。

此外,也有施工质量低劣的表现,如轴线偏移、墙体倾斜、混凝土强度不足等。

这期间质量事故中以施工责任为主的典型代表是 1974 年上海某工厂新建加工车间的倒塌。其主要原因是施工技术措施的重大失误。详见本书第 2 章 2.6.4 节的阐述和分析。

第三起高潮发生在 80 年代建筑业经济体制改革的初期。仅 1985 年上半年,建设部对 17 个省、自治区、直辖市的 269 项工程抽查,结果合格的只有 136 项,有 133 项质量不符合标准,占 49%。据建设部的不完全统计,1985 年上半年发生倒塌事故 21 起,死亡 21 人;1985 年全年共发生房屋倒塌事故 86 起,这个数字是惊人的。其主要原因是文化大革命后的经济建设初期,盲目求量求速,基本建设体制不健全,技术力量薄弱,而且建筑业内的浮夸风严重。其中一个典型,是广东某县七层旅馆大楼(框架结构)整体倒塌。该楼处于淤泥质软土地基上,却错误地采用柱下单独浅基础,埋深仅 800mm,未钻探,盲目按较大地基承载力计算;地区建委在该楼竣工后竟评定为“优质工程”。这就使得在结构完工后即已发现的重大质量问题,如基础梁开裂,立柱沉降,最大的沉降量达 440mm,最高的沉降速率达到 2mm/d,房屋倾斜有 330mm,梁、柱、墙多处开裂,裂缝宽的有 3mm,长 4.8m 的情况下,不加处理。竣工后半年,于 1982 年 5 月 3 日倒塌。

第四起高潮发生在 90 年代大发展时期。在这个时期内我国国民经济持续快速增长,固定资产规模居高不下,建设队伍迅速膨胀,建筑业整体素质明显下降,工程质量事故时有发生。继 1985 年建设部狠抓建筑工程质量问题之后,1995 年建设部再次严肃查处建筑的工程质量。先后共普查了 4.8 万余个施工企业,1.2 万余个房地产开发企业,27 万余个建筑工程。其中有严重质量问题的 1760 余个,属于结构隐患的约占 60%,属于使用功能隐患的约占 40%。1996 年 9 月向全国发出“关于对四川省德阳市棉麻公司综合楼等 22 个劣质工程及其责任单位的处罚通报”,1996 年以来,工程质量的形势是“稳中有升”;1996 年住宅工程抽查合格率达到 85%,1997 年基本达到 90%左右,比 1993 年、1994 年和 1995 年好得多。即使如