

罗福午 王毅红 主编

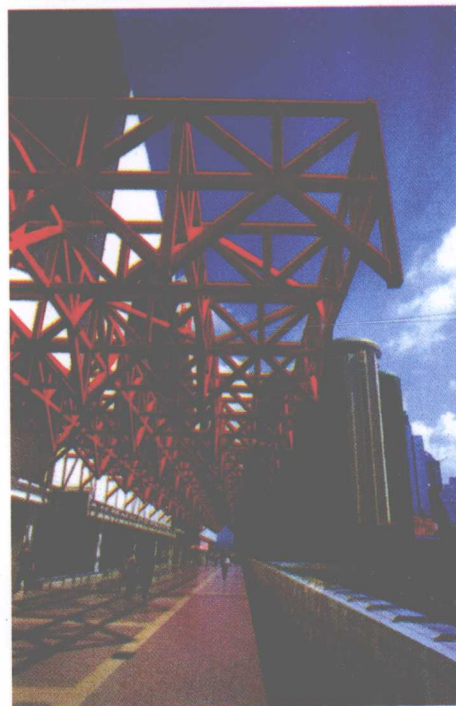
本书荣获教育部
2002年全国高等学校优秀教材奖

土木工程质量管理 缺陷事故分析及处理

(第2版)

TUMU GONGCHENG ZHILIANG QUEXIAN SHIGU FENXI JI CHULI

武汉理工大学出版社



土木工程质量缺陷事故 分析及处理

(第 2 版)

主 编 罗福午 王毅红

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

内 容 提 要

本书对建筑工程中的混凝土结构工程、砌体结构工程、钢结构工程、地基基础工程、防水工程以及桥梁工程、道路工程中经常出现的质量缺陷和事故进行分析与研究。

全书共分9章。第1章为绪论,介绍了土木工程的质量特性、质量缺陷事故的概念、造成缺陷事故的原因以及质量事故分析过程和应遵循的原则。第2~8章分别系统地分析、讨论各类工程结构的质量缺陷、质量控制要点、产生相应缺陷事故的原因及处理措施。第9章以建筑结构为例,简略地介绍了有关工程结构缺陷的处理方法。

本书是作为高等院校土木工程专业本科生的专业课教科书编写的,也可用于土木工程专业高职高专生和土建类其他相关专业的本、专科生的专业课教材。本书理论阐述与工程缺陷事故分析紧密结合。书中系统列出了各类工程结构的质量控制要点,并对大量实际工程事故案例进行了详细分析,指出应吸取的教训。因此,本书也可作为从事土木工程设计、施工、监理、质量检查和管理方面工程技术人员的专业参考书和继续教育的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程质量缺陷事故分析及处理(第2版)/罗福午,王毅红主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2009.2

ISBN 978-7-5629-2892-8

I. 土… II. ①罗… ②王 III. 土木工程-质量控制 IV. TU712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 018296 号

出版者:武汉理工大学出版社(武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

印刷者:武汉理工大印刷厂

发行者:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16

印 张:18

字 数:538 千字

版 次:2009 年 2 月第 2 版

印 次:2009 年 2 月第 16 次印刷

印 数:68001—78000 册

定 价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

前 言

本书为《建筑工程质量缺陷事故分析及处理》的第2版。由于增添了桥梁工程和道路工程中常见的质量缺陷和事故,并取消了“建筑装饰工程中质量问题”一章,故改名为《土木工程质量缺陷事故分析及处理》(第2版)。

在土木工程中,“结构”是任何一个工程空间中用各种构件(梁、板、柱、杆、索、墙体、基础、地基等)组合而成的机体和载体,为该工程的牢固、耐久、使用和美观服务,为人们的生命财产提供安全保障。土木工程的结构质量问题,是本书阐述和讨论的对象。

本书是一本教科书。在工程教育中,历来认为“理论和实际应用紧密结合”是一条重要的教学原则;学生既学会正面的知识,又学到一些相应的反面知识,才算具备了比较完整的知识。当前土木工程专业中不少学生学完结构课程后,在设计、施工、管理等工程实践中缺乏质量意识,面对所发生的工程质量问题茫然不知所措的状态,必须加以改变。增设有关工程质量问题的必修或选修课程,应该是今后工程教育发展的必然,是土木工程专业教学改革的一个重要侧面。

本书是一本质量手册。它既罗列有相应土木工程结构中各种缺陷和各方面质量控制的要点,又列举了各类土木工程结构质量问题分析及处理的案例。这些都便于从事土木工程设计、施工、监理、检查和管理方面的人员在实践中参阅和借鉴,做到防范工程缺陷、确保工程质量、杜绝工程事故,以科学发展观为指导思想,做好本职建设工作。

本书也是一本警示录。在我国经济快速发展的今天,不断发生的土木工程质量事故已经成为全社会不和谐、不安宁的因素。本书所列种种质量缺陷和事故的教训,应该引起人们高度的警惕;自觉防范建设工程中出现的质量问题,自然也就成为人民群众的公共责任。土木工程是社会建设中各行各业的先行官,希望这本书能够起到对各行各业管理者和使用者的警示作用,能够使公众建立一些工程质量意识,共同为确保建设工程的质量,为提高我国社会建设的水平贡献力量。

本书收集有大量建筑、桥梁、道路等方面工程质量缺陷和事故实际案例。在编写本书时,我们力求概念的准确和简明、陈述的系统 and 形象、分析的全面和深入、说理的清晰和透彻、总结的综合和概括,使它成为一本便于教学的教材,便于应用的手册,便于阅读的普及科技读物。

本书由罗福午、王毅红主编,第1、2、3、9章由罗福午、王毅红编写;第4、5章由袁树基编写;第6、7章由武贤慧编写;第8章由王毅红编写。全书由罗福午、王毅红修改定稿。

当前我国的土木工程建设发展迅速,工程技术不断更新,又由于我们经验不足、学识有限,书中所述不免有不足之处,恳请读者批评指正,以便改进。

编 者

2008年10月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 土木工程的质量特性	(1)
1.2 土木工程中的缺陷、破坏、倒塌、事故的概念	(2)
1.2.1 缺陷	(2)
1.2.2 破坏	(3)
1.2.3 倒塌	(3)
1.2.4 事故及事故级别	(4)
1.3 造成质量缺陷事故的原因	(5)
1.3.1 影响工程结构质量的技术因素	(6)
1.3.2 我国工程结构质量事故的历史回顾	(7)
1.3.3 土木工程质量的四要素——质量链	(9)
1.4 质量事故分析的过程、性质和基本原则	(11)
2 混凝土工程中的质量控制、缺陷和事故	(14)
2.1 引言	(14)
2.1.1 混凝土工程的特点	(14)
2.1.2 混凝土、钢筋性能的基础	(15)
2.1.3 混凝土构件中裂缝的一般概念	(17)
2.2 混凝土工程质量控制要点	(18)
2.2.1 模板工程的质量控制	(18)
2.2.2 钢筋工程的质量控制	(19)
2.2.3 混凝土工程的质量控制	(22)
2.2.4 预应力工程的质量控制	(28)
2.3 引起混凝土工程缺陷常见因素和主要表现	(30)
2.3.1 混凝土构件产生裂缝的机理及其特征描述	(30)
2.3.2 裂缝的宽度和裂缝宽度控制的概念	(31)
2.3.3 混凝土构件裂缝的评定标准和破坏的检验标志	(32)
2.3.4 常见的形成混凝土工程缺陷的原因、特征和裂缝表现	(32)
2.3.5 混凝土工程缺陷的一般防治措施	(37)
2.4 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	(41)
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	(46)

2.4.6	混凝土初期收缩	(48)
2.4.7	混凝土麻面、掉角、蜂窝、露筋和空洞	(49)
2.4.8	混凝土施工缝处理不当	(54)
2.4.9	混凝土因水化热开裂	(57)
2.4.10	混凝土受腐蚀	(59)
2.4.11	钢筋受腐蚀	(60)
2.4.12	钢筋配置不当实例	(63)
2.4.13	预埋件构造不当	(63)
2.5	预制混凝土构件常见裂缝的形成及其防治	(64)
2.5.1	预制板	(64)
2.5.2	预制梁	(66)
2.5.3	预制或现浇柱	(67)
2.6	若干典型混凝土结构质量事故分析及处理	(69)
2.6.1	因使用荷载超重造成的质量事故	(69)
2.6.2	因预埋件设计构造和施工做法不合理造成的质量事故	(73)
2.6.3	设计未考虑方案的“可施工性”、未经设计方允许施工方变动施工方案造成的工程事故	(75)
2.6.4	六无工程因设计、施工综合失误造成的重大事故	(78)
2.6.5	某商场住宅楼因桩基础和结构布置质量问题引起事故	(81)
	复习思考题	(86)
3	砌体结构工程中的质量控制、缺陷和事故	(87)
3.1	引言	(87)
3.1.1	砌体结构工程的特点	(87)
3.1.2	砌体性能的基础	(88)
3.2	砌体工程质量控制要点	(89)
3.2.1	砌筑砂浆的质量控制	(89)
3.2.2	块材的质量控制	(90)
3.2.3	砌筑质量控制	(93)
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	(95)
3.3.1	形成缺陷的原因和防止措施	(95)
3.3.2	砌体构件因受力、变形形成裂缝的原因和特征	(97)
3.3.3	砖砌体结构裂缝的评定标准	(101)
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	(101)
3.4.1	砖砌体结构因抗压承载力不足造成的质量事故	(101)
3.4.2	砖砌体结构因局部受压承载力不足造成的质量事故	(103)
3.4.3	砖砌体构件因高厚比过大引起的缺陷和事故	(105)
3.4.4	砖砌体构件因支承处构造不当引起的事故	(106)
3.4.5	砖砌体结构因温度变形引起的缺陷	(110)
3.4.6	因地基过大的不均匀沉降引起的缺陷	(113)

3.4.7	因地基土冻胀引起的缺陷	(114)
3.4.8	砖砌体结构设置圈梁的作用和可能存在的质量问题	(117)
3.4.9	砖砌体结构设置构造柱的作用和可能存在的质量问题	(118)
	复习思考题	(119)
4	钢结构工程中的质量控制、缺陷和事故	(121)
4.1	引言	(121)
4.2	钢结构缺陷的形成	(122)
4.2.1	钢材在生产过程中形成的缺陷(钢材出厂前的缺陷)	(122)
4.2.2	构件制作和结构安装过程中各种工艺的影响及可能出现的缺陷	(127)
4.3	钢结构工程施工质量控制要点	(135)
4.3.1	原材料及成品进场	(135)
4.3.2	焊接工程	(136)
4.3.3	螺栓连接工程	(138)
4.3.4	钢零件及钢部件加工工程	(138)
4.3.5	钢网架结构安装工程	(139)
4.3.6	钢结构的防腐涂料(油漆类)涂装和防火涂料涂装工程	(139)
4.4	钢结构失稳事故	(140)
4.4.1	失稳破坏的突然性	(140)
4.4.2	值得注意的几个问题	(141)
4.5	钢结构脆性断裂及疲劳破坏	(142)
4.5.1	钢结构脆性断裂	(142)
4.5.2	钢结构疲劳破坏	(145)
4.6	钢结构腐蚀破坏及火灾破坏	(146)
4.6.1	钢结构锈蚀破坏	(146)
4.6.2	钢结构火灾破坏	(148)
4.7	事故实例分析	(149)
4.7.1	屋盖结构质量事故	(149)
4.7.2	锈蚀引起钢绞线吊索断裂事故	(152)
	复习思考题	(154)
5	地基和基础工程中的质量控制、缺陷和事故	(155)
5.1	引言	(155)
5.1.1	地基的强度破坏	(155)
5.1.2	地基的变形	(156)
5.2	地基基础工程施工质量控制要点	(158)
5.2.1	基本要求	(158)
5.2.2	地基的质量控制	(158)
5.2.3	桩基础的质量控制	(159)
5.2.4	土方工程的质量控制	(161)
5.2.5	基坑工程的质量控制	(162)

5.3 常见的地基基础工程缺陷、事故及实例·····	(163)
5.3.1 水使岩土变软,抗剪强度降低,重度增大·····	(163)
5.3.2 在湿陷性黄土地区,水会引起地基的湿陷·····	(164)
5.3.3 膨胀土地基,吸水膨胀,失水收缩·····	(166)
5.3.4 饱和土液化问题·····	(167)
5.3.5 基坑降水引起周边土体沉降·····	(168)
5.3.6 流砂·····	(169)
5.3.7 基坑坑底翻砂冒水(突涌)·····	(170)
5.3.8 地下结构上浮·····	(174)
5.3.9 沉桩挤土效应对周围环境的不利影响·····	(175)
5.3.10 沉桩挤土效应对在建工程自身基础的影响·····	(178)
5.4 深基坑事故多发的原因及对策·····	(180)
5.4.1 深基坑事故多发的原因·····	(180)
5.4.2 深基坑事故的对策·····	(183)
复习思考题·····	(185)
6 道路工程中的质量控制、缺陷和事故·····	(186)
6.1 引言·····	(186)
6.1.1 路基工程·····	(186)
6.1.2 路面工程·····	(186)
6.2 路基路面工程质量控制要点·····	(187)
6.2.1 路基工程的质量控制要点·····	(187)
6.2.2 路面工程质量控制要点·····	(188)
6.3 路基工程常见质量缺陷、事故分析及处理·····	(191)
6.3.1 路基沉陷·····	(191)
6.3.2 路基翻浆·····	(195)
6.3.3 路基滑塌·····	(197)
6.3.4 桥头跳车·····	(199)
6.4 路面基层(底基层)常见质量缺陷、事故分析及处理·····	(201)
6.4.1 基层强度不足和不均匀性问题·····	(201)
6.4.2 基层裂缝·····	(202)
6.4.3 基层抗冲刷能力不足·····	(203)
6.5 沥青路面常见质量缺陷、事故分析及处理·····	(204)
6.5.1 车辙·····	(204)
6.5.2 泛油·····	(207)
6.5.3 坑槽·····	(208)
6.5.4 裂缝·····	(209)
6.5.5 唧浆·····	(210)
6.6 水泥路面常见缺陷、事故分析及处理·····	(212)
6.6.1 裂缝与断板·····	(212)

6.6.2 板底脱空和唧泥	(213)
复习思考题	(215)
7 桥梁工程中的质量控制、缺陷和事故	(216)
7.1 引言	(216)
7.2 桥梁工程质量控制要点	(216)
7.2.1 桥梁墩台	(216)
7.2.2 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥	(217)
7.2.3 拱桥	(218)
7.3 桥梁下部结构常见质量缺陷和事故	(219)
7.3.1 墩台裂缝	(219)
7.3.2 墩台倾斜、滑移	(224)
7.4 桥梁上部结构常见质量缺陷和事故	(226)
7.4.1 梁式桥常见质量缺陷及事故分析	(227)
7.4.2 拱桥常见质量缺陷及事故分析	(231)
复习思考题	(241)
8 防水工程中的质量控制缺陷和事故	(242)
8.1 引言	(242)
8.1.1 工程防水的功能	(242)
8.1.2 渗漏	(242)
8.1.3 防水等级的划分	(243)
8.2 防水工程质量控制要点	(244)
8.2.1 屋面防水工程质量控制	(244)
8.2.2 地下防水工程质量控制	(247)
8.3 防水工程中常见的缺陷及处理	(251)
8.3.1 屋面防水工程常见的缺陷及处理	(251)
8.3.2 地下防水工程常见的缺陷及处理	(254)
8.3.3 卫浴厨房防水工程常见缺陷及处理	(259)
复习思考题	(259)
9 工程结构缺陷处理方法提要	(261)
9.1 工程结构缺陷处理方法分类及适用范围	(261)
9.1.1 工程结构缺陷的处理	(261)
9.1.2 地基基础缺陷事故的处理	(263)
9.2 工程结构的加固原则	(268)
9.3 建筑结构加固的设计施工要点	(269)
9.3.1 设计要点	(269)
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)	(270)
参考文献	(275)

1 绪 论

确保和提高土木工程质量是土木工程界永恒的主题。

确保和提高土木工程质量,必须从两方面着手:一是加强土木工程的质量管理和健全土木工程的法治建设;二是提高土木工程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。

《中华人民共和国建筑法》、《中华人民共和国公路法》已颁布实行,国务院还颁布了《建设工程质量管理条例》,在这些立法文件和制度中,明确了国家在工程建设项目上实行质量体系认证制度和工程建设监理制度,规定了工程建设单位,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。为确保和提高建设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树立土木工程意识才是“硬件”,也就是说提高人的素质是根本。只有硬软两手一起抓,才能使土木工程质量从根本上得到保证,并不断提高。

本书以建筑工程中的混凝土结构工程、砌体结构工程、钢结构工程、地基基础工程、防水工程,以及道路工程、桥梁结构工程中的案例讨论土木工程中可能产生的质量缺陷和事故,分析其产生的原因、影响因素和质量控制要点。

希望读者能从这些反面案例中吸取教训,从而提高专业技术水平,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,才算有了完备的知识,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树立全面的工程质量意识,因为只有知识还不能付诸行动,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 土木工程的质量特性

世界标准化组织(ISO)将“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。土木工程的产品是建筑物、道路、桥梁等,也包括不同功能的工程构筑物,如烟囷、水塔等。

土木工程产品的特性,是其产品的适用性、安全可靠性和耐久性的总和,以建筑产品为例,可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。

(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,不至于完全失效,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的特征:

(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标、投标、决标和履约过程来选择施工单位,在现场施工建成。

(4) 管理特殊性和风险性。它的施工地点和位置是固定的,操作人员轮流“上岗”,与其他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。

由此看出,土木工程的质量,与人们的居住、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,国家制定了设计统一标准,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道路、桥梁功能方面的合理需求,传统的设计施工做法等。

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,人们对工程建设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,对土木工程质量的需要又必然是动态的和不断提高的。

1.2 土木工程中的缺陷、破坏、倒塌、事故的概念

土木工程中出现质量问题,轻则存在种种缺陷,重则发生各种破坏,甚至出现局部或整体倒塌的重大事故。为正确分析、判断质量问题产生的原因,提出预防和治理的措施,就必须对它们有一个准确的认识。

1.2.1 缺陷

土木工程中的缺陷,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、桥梁或道路等出现影响正常使用、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、道路、桥梁的近期使用,也不影响结构的承载力、刚度及其完整性,但却有碍观瞻或影响耐久性。例如,建筑物墙面不平整,地面、路面混凝土龟裂,混凝土构件表面局部缺浆、起砂,钢板上划有划痕、夹渣等。

(2) 使用缺陷。它们虽不影响建筑结构、桥梁结构及道路的承载力,却影响其使用功能,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,建筑物的屋面和地下室渗漏,装饰物受损,梁的挠度偏大,墙体因温差而出现斜向和竖向裂纹等。

(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,混凝土振捣不实,配筋欠缺,钢结构焊接有裂纹、咬边现象,地基发生过大的沉降等。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。

缺陷可能是显露的,如屋面渗漏;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,而破坏的本身又经历着一个过程。对建筑和桥梁结构来说,是指结构构件从临近破坏到破坏,再由破坏到即将倒塌或坍塌的过程。

1.2.2 破坏

破坏是指结构构件或构件截面在荷载、变形作用下承载力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,指该截面受拉区钢筋达到屈服点,相应受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 1.5 mm,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 0.3~1.5 mm 之间时)。临近破坏是破坏的前兆,有这种破坏前兆的(如钢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。在进行工程结构设计时,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。这些在实际的工程结构设计和实践中,都具有极端重要的意义。

1.2.3 倒塌

倒塌是建筑结构和桥梁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死亡和经济上的巨大损失。但倒塌绝不是不可避免的,以建筑工程为例,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和发展,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,倒塌往往是可以避免的。

1.2.4 事故及事故级别

当土木工程的建筑物、桥梁、道路等处于非正常设计、非正常施工、非正常使用的情況下或不能满足适用性、安全可靠性和耐久性的要求时,即出现了质量事故。土木工程结构的临近破坏、破坏和倒塌统称质量事故。破坏称破坏事故,倒塌称倒塌事故。

工程质量事故,也可定义为由于勘测、设计、施工、实验检测等责任过失而使工程在预定寿命内遭受损毁或产生不可弥补的本质缺陷,因构造倒塌造成人员伤亡或财产损失以及需加固、补强、返工处理的事故。

2007年6月1日起施行的由国务院颁布的《生产安全事故报告和调查处理条例》(以下简称《条例》)中的第三条,根据生产安全事故(以下简称事故)造成的人员伤亡或者直接经济损失,事故一般分为以下等级:

- (1) 特别重大事故,是指造成30人以上死亡,或者100人以上重伤(包括急性工业中毒,下同),或者1亿元以上直接经济损失的事故;
- (2) 重大事故,是指造成10人以上30人以下死亡,或者50人以上100人以下重伤,或者5000万元以上1亿元以下直接经济损失的事故;
- (3) 较大事故,是指造成3人以上10人以下死亡,或者10人以上50人以下重伤,或者1000万元以上5000万元以下直接经济损失的事故;
- (4) 一般事故,是指造成3人以下死亡,或者10人以下重伤,或者1000万元以下直接经济损失的事故。

上述条款中所称“以上”包括本数,所称“以下”不包括本数。

《条例》中还规定,国务院安全生产监督管理部门可以会同国务院有关部门制定事故等级划分的补充性规定。

建设部将建筑工程重大事故划分为四个等级:

(1) 具备下列条件之一者为一级重大事故:

- ① 死亡30人以上;
- ② 直接经济损失300万元以上。

(2) 具备下列条件之一者为二级重大事故:

- ① 死亡10人以上,29人以下;
- ② 直接经济损失100万元以上,不满300万元。

(3) 具备下列条件之一者为三级重大事故:

- ① 死亡3人以上,9人以下;
- ② 重伤20人以上;
- ③ 直接经济损失30万元以上,不满100万元。

(4) 具备下列条件之一者为四级重大事故:

- ① 死亡 2 人以下;
- ② 重伤 3 人以上,19 人以下;
- ③ 直接经济损失 10 万元以上,不满 30 万元。

交通部 1999 年发布的《公路工程质量事故等级划分和报告》中的第二条,公路工程质量事故分为质量问题、一般质量事故及重大质量事故三类:

(1) 质量问题:质量较差,造成直接经济损失(包括修复费用)在 20 万元以下。

(2) 一般质量事故:质量低劣或达不到合格标准,需加固补强,直接经济损失(包括修复费用)在 20 万~300 万元之间的事。一般质量事故分三个等级:

- ① 一级一般质量事故:直接经济损失在 150 万~300 万元之间。
- ② 二级一般质量事故:直接经济损失在 50 万~150 万元之间。
- ③ 三级一般质量事故:直接经济损失在 20 万~50 万元之间。

(3) 重大质量事故:由于责任过失造成工程倒塌、报废和造成人员伤亡或者重大经济损失的事。重大质量事故分为三个等级:

① 具备下列条件之一者为一级重大质量事故:

- a. 死亡 30 人以上;
- b. 直接经济损失 1000 万元以上;
- c. 特大型桥梁主体结构垮塌。

② 具备下列条件之一者为二级重大质量事故:

- a. 死亡 10 人以上,29 人以下;
- b. 直接经济损失 500 万元以上,不满 1000 万元;
- c. 大型桥梁主体结构垮塌。

③ 具备下列条件之一者为三级重大质量事故:

- a. 死亡 1 人以上,9 人以下;
- b. 直接经济损失 300 万元以上,不满 500 万元;
- c. 中小型桥梁主体结构垮塌。

纵观以上分析,土木工程结构的缺陷和事故,虽然是两个不同的概念,事故表现为建筑或桥梁结构局部或整体的临近破坏、破坏和倒塌,道路的断裂等,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。

1.3 造成质量缺陷事故的原因

以建筑工程为例,其质量问题(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。

本书重点讨论结构工程质量缺陷事故的原因、表现和处理措施。本节对造成土木工程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 影响工程结构质量的技术因素

工程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,工程结构发生破坏和倒塌的直接原因是:

$$S > R$$

式中与 S 有关的因素是施加于结构的荷载(属于结构的作用范畴)、结构的支承构件、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。它们既与设计有关,也与施工以及使用有关。具体地说,致使工程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以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。

(8) 施工期间随意作设计变更,并提出不合理要求。比如盲目增加支撑;随意改变构件尺寸;任意打洞、拆墙等。

由此可见,工程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 $3.2 \sim 3.7$ 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 我国工程结构质量事故的历史回顾

上述分析为新中国成立以来几起工程结构质量事故高潮中的现实所证明。

新中国成立以来,随着建筑工业的蓬勃发展,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,工程界掀起了“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 1977 年的还有 21 起。究其原因,是由于人们经历了文化大革命初期的浩劫,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 2460 m²。在施工过程中大楼东部 1~4 层共 1100 m² 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 370 mm 厚实心砖承重墙改为 240 mm 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。

第三起高潮发生在 20 世纪 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 800 mm,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将该楼评定为“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 440 mm,最高的沉降速率达到 2 mm/d,房屋倾斜有 330 mm,梁、柱、墙多处开裂,裂缝宽的有 3 mm,长 4.8 m 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 20 世纪 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 基本达到 90%左右,比 1993 年、1994 年和 1995 年好得多。即使如此,截至 1997 年 12 月全国还发生 8 起房屋倒塌事故,死亡 93 人。特别是 1997 年 3 月在福建莆田发生的新光电子有限公司宿舍楼,和 1997 年 7 月在浙江常山发生的经济开发区住宅楼,两起特大倒塌事故,分别死亡 31 人和 36 人,是近年来所罕见的。

近年来,随着我国公路交通事业的发展,工程建设速度的加快,忽视工程质量而造成的重大桥梁垮塌事故也触目惊心。

(1) 1999 年 1 月 4 日重庆綦江虹桥整体垮塌事故。綦江县虹桥是一座跨江人行桥,结构为中承式钢管混凝土提篮拱桥,桥长 140 m,主跨 120 m,桥面总宽 6 m,净宽 5.5 m,设计人群荷载 35 kN/m²。该工程于 1994 年 11 月 5 日开工,1996 年 2 月 15 日投入使用。1999 年垮塌。事故的直接原因是工程施工存在十分严重的危及结构安全的质量问题,工程设计也存在一定程度的质量问题。该桥建成时就已是一座危桥,使用过程中吊杆锚固又加速失效,使该桥受力情况急剧恶化,更加接近垮塌的边缘。事故的间接原因是严重违反基建程序,不执行国家建筑市场管理规定和办法,违法建设、管理混乱。

(2) 2005 年 11 月 5 日中午 1 点 55 分,即将合龙的贵州省遵义市务川县珍珠大桥突然垮塌。珍珠大桥为箱形拱钢筋混凝土结构,全长 152 m,主跨 120 m,桥面距水面约 170 余米。事故发生时,大桥正在进行拱架架设,垮塌后只剩下两根钢索孤零零地挂着。该桥于 2004 年开始动工修建,垮塌事故造成直接经济损失 352.1 万元。塌桥使 19 名现场施工人员落入河谷,造成 16 人死亡,3 人重伤。贵州省安监局成立调查组对事故开展专项调查。经调查组多方调查取证和科学分析,此次桥梁垮塌特重大事故已被认定是一起责任事故。事故发生的直接原因是大桥的施工单位在施工中使用了不符合安全质量的施工器材和违规作业。

综上所述可见,近年来,产生重大工程质量问题的原因有三:一是体制改革后的生产关系尚未理顺,有些地方存在着技术管理和建筑市场失控的危机;二是企业管理松弛,尤其对工程质量工作有所放松;三是施工队伍的素质过低,受过专业训练的工程技术人员的比例太小。具体说来,这三方面在当前主要有以下表现: