

二十一世纪应用型人才培养「十二五」规划教材
普通高等教育土木工程专业精品规划教材

土木工程质最事故分析与处理

TUMU GONGCHENG ZHILIANG SHIGU FENXI YU CHULI

主编 王清标 张聪 王天天



西北工业大学出版社
全国985、211大学出版社

二十一世纪应用型人才培养“十二五”规划教材
普通高等教育土木工程专业精品规划教材

土木工程事故分析与处理

TUMU GONGCHENG ZHILIANG SHIGU FENXI YU CHULI

总主编 初向华

主编 王清标 张聪 王天天
副主编 王昂

西北工业大学出版社
全国985、211大学出版社

【内容简介】本书共由九章组成，每章按照概念、特点、分类、机理、事故引发原因及处理措施的顺序安排，符合教学认知规律。本书配有教学课件、电子教案、视频资料、试题库、习题库等辅助资源，随着本书购买，配套发行。

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程质量事故分析与处理/王清标，张聪，王天天主编. —西安：西北工业大学出版社，2015.1

ISBN 978-7-5612-4270-4

I. ①土… II. ①王… ②张… ③王… III. ①土木工程—工程质量事故—事故分析 ②土木工程—工程质量事故—事故处理 IV. ①TU712

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 014037 号

出版发行：西北工业大学出版社

通信地址：西安市友谊西路 127 号 邮编：710072

电 话：(029) 88493844 88491757

网 址：www.nwpup.com

印 刷 者：北京平谷俊林印刷有限公司

开 本：787mm×1 092mm 1/16

印 张：16.25

字 数：271 千字

版 次：2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价：32.00 元

高等院校教育

教材研究与编审委员会

主任：陈德怀

常务委员：胡宝华 李雷 潘力锐 龚波
夏巍 丽平 刘铁明 朱志峰

委员：(排名不分先后)

江敏	吴志全	刘庚碧	邓有林	朱长元
黄海	韩丽莎	刘仁芬	张叶栩	刘志东
阳源	初秀伟	李以渝	刘建国	徐春桥
禹利萍	周启胜	万智勇	李建宁	熊婷
刘涛	高进	吴志明	郑晖	叶春辉
李裕民	夏洁云	吴立炎	黄伟祥	钟建坤
喻凤生	侯德宏	武怀军	赵锦权	冯国敏
吴士田	彭继玲	李友云	蔡映红	郑明娥
陈灵仙	丁良南	刘永	张洪雷	绳传冬
杨中纲	李庆东	田嘉	李丰雪	张华
赵海燕	王军	郭伟伟	刁俊	吴坤
郑涛	杨耘	齐振东	顾美君	陈华平
张宏旭	姜胜中	霍义平	李志敏	诺敏
龚云平	李梅	沈易娟	袁芬	魏宁
郑聪	刘延	汤伟光	张海彬	李霞
王志强	彭晓娟	那仁图亚		

前 言

土木工程质量事故发生频率之高,造成危害之大,严重影响了土木工程的健康发展,迫使工程技术人员不得不加以重视。因此极有必要深入研究土木工程质量事故的概念、类型、原因、机理以及防治措施,为土木工程质量事故的防治提供理论支持和技术手段。目前,虽然土木工程质量事故分析与处理的研究方法众多,但每一种事故的处理方式都有其相应的适用性和局限性,在理论研究和实际应用中尚处于不断发展和完善的状态。

本书涵盖九个章节,第一章为绪论,简要地概述了土木工程事故的原因、分类和处理方法等;第二章为地基工程质量事故分析;第三章为基础工程质量事故分析;第四章为钢筋混凝土工程质量事故分析;第五章为砌体结构工程质量事故分析;第六章为桥梁工程质量事故分析;第七章为道路工程质量事故分析;第八章为隧道工程质量事故分析;第九章为防水工程质量事故分析。

本书具有以下特色:

(1) 案例的时效性。所列举的工程质量事故都是近期发生的、最具有典型性和代表性的案例,具有较强的时效性。

(2) 知识的全面性。本书涵盖土木工程所包含的所有二级学科知识体系,在编写过程中力求质量事故的全面性和代表性。

(3) 适用的广泛性。突出“卓越工程师”理念,贯彻“应用型人才”培养原则,适合于土木工程专业学生学习,同时,也适合于土木工程技术人员学习参考。

(4) 内容体系的合理性。编写过程中按照土木工程质量事故的概念、特点、分类、机理、事故引发原因及处理措施的顺序安排,符合认知规律。

本书在编写过程中,王清标参与了第1章、第4章、第6章、第9章的编写工作,张聪参与了第2、3章的编写工作,初向华负责第7章的编写工作,王昂参与了第8章、第9章的编写工作,王天天参与了第5章、第8章的编写工作,温小康、王昂、肖凤鑫、潘国峰等参与了资料整理和编写工作,对他们所做出的工作表示衷心感谢。

本书是在参考国内外诸多资料的基础上,取长补短、借鉴经验编写而成的,在此对这些文献的作者表示衷心感谢。

目前我国的土木工程建设发展迅速,工程技术不断更新,同时,由于本人经验不足、学识有限,书中所述不免有不足之处,敬请各位读者不吝赐教。

编 者

2015年1月

C 目录 Contents



第1章 绪论	1
1.1 工程质量事故现状	1
1.2 工程质量事故概述	4
1.3 工程质量事故分析的作用	8
1.4 工程质量事故处理的作用、依据与程序	9
1.5 工程质量事故处理的必备条件与基本要求	11
1.6 课程性质及学习要求	12
第2章 地基工程质量事故分析	14
2.1 概述	14
2.2 地基工程质量事故分类	17
2.3 地基工程质量事故分析与处理	27
2.4 工程事故案例分析	31
第3章 基础工程质量事故分析	37
3.1 概述	37
3.2 基础工程质量控制要点	41
3.3 常见基础工程事故分类及原因	45
3.4 桩基工程质量事故分析与处理	50
3.5 工程事故案例分析	59
第4章 钢筋混凝土工程事故分析	65
4.1 概述	65

4.2	混凝土强度不足事故	67
4.3	裂缝事故	68
4.4	错位变形事故	75
4.5	局部倒塌事故	77
4.6	工程事故案例分析	79
第5章	砌体结构工程质量事故分析	84
5.1	概述	84
5.2	砌体结构的主要优点和缺点	85
5.3	砌体结构产生质量事故的主要原因及分类	87
5.4	砌体结构的裂缝引起的质量事故	88
5.5	砌体结构物力学性能不良引起的质量事故	95
5.6	砌体结构倒塌引起的质量事故	97
5.7	工程事故案例分析	98
第6章	桥梁工程质量事故分析	103
6.1	概述	103
6.2	桥梁试验检测技术	113
6.3	桥梁常见质量事故防范与处理	118
6.4	桥梁结构的补强与加固	125
6.5	工程事故案例分析	128
第7章	道路工程质量事故分析	135
7.1	概述	135
7.2	路基路面工程质量控制要点	138
7.3	路基工程质量事故分析与处理	140
7.4	路面基层质量事故分析与处理	151
7.5	工程事故案例分析	173
第8章	隧道工程质量事故分析	179
8.1	概述	179
8.2	隧道工程质量事故控制要点	180
8.3	隧道工程检测与观测技术	184
8.4	隧道工程常见质量事故及防治措施	190
8.5	工程事故案例分析	203

第9章 防水工程质量事故分析 215

 9.1 概述 215

 9.2 屋面防水工程事故分析 217

 9.3 厕浴厨房间防水工程事故分析 226

 9.4 地下防水工程质量事故分析 229

 9.5 工程事故案例分析 241

参考文献 246

第1章 绪论

1.1 工程质量事故现状

随着社会的发展,土木工程在施工技术和工艺上都有了新的发展,但其中也存在着不少问题,最为重要的就是质量事故。质量事故不同于其他工程事故,属于人为可控因素,它不仅造成了严重的人员伤亡,而且也带来了直接的经济损失,需要我们从技术手段、施工工艺、安全检测等多个方面进行改善和控制,以确保制止或减少这种工程事故的发生。

近年来,在国内外诸多工程质量事故中,墙体开裂、路面坑槽、桥梁倒塌、屋面漏水等问题尤为突出。以下通过三个工程实例,了解国内工程质量事故现状,对工程质量事故有一个认识上的界定。

2010年12月建成通车的甘肃天水至定西高速公路,是我国国道主干线连云港至霍尔果斯高速公路的组成路段,全长235km。天定高速通车半年后,陇西段出现边坡滑塌、路基沉陷、路面坑槽等问题。自入汛以来,甘肃省降雨较往年偏多,极端天气不断出现,造成境内多条高速公路受损严重,其中天定高速安定区至陇西文峰约60km的路段出现15处边坡塌陷、16处较大面积沉陷、18处较大坑槽,强降雨还冲毁29处排水沟、急流槽等防排水设施。不过,这些问题主要是强降雨和湿陷性黄土共同作用造成的路基路面病害。公路坍塌情况如图1-1及图1-2所示。^[1]

2012年8月,哈尔滨阳明滩段引桥发生整体断裂倾覆。这一事故的主要原因定为货车超载,造成大桥受力过限,整体倾覆,但桥面并未出现裂纹,事故造成3人死亡,5人受伤。事后工程质量检测有限公司对事故桥梁的墩柱几何尺寸、墩柱钢筋保护层厚度及钢筋间距、墩柱及盖梁的混凝土强度、垫石的混凝土强度和钢筋直径规格等指标进行了检测,结果认定各项指标均符合设计要求,国家建筑工程质量监督检验中心对混凝土芯样强度、钢筋直径

及抗拉力学性能进行测试,得出检验结论是:受检的盖梁芯样混凝土强度和盖梁主筋直径、屈服强度、抗拉强度、伸长率、屈强比符合要求。大桥坍塌情况如图 1-3 及图 1-4 所示。^[2]



图 1-1 甘肃天定高速公路坍塌^[1]



图 1-2 甘肃天定高速公路塌陷^[1]



图 1-3 哈尔滨阳明滩大桥坍塌全景^[2]



图 1-4 哈尔滨阳明滩大桥坍塌局部^[2]

2012年7月,云南新平县至三江口二级公路在试通车期间,该公路发生坍塌事件,其中,2处坍塌、1处路面开裂。该工程存在着未批先建、赶工期和未经竣工验收等方面的问题,但事故的主要原因是强降雨引发的自然灾害。图1-5为发生塌陷的路段。



图 1-5 云南省公路坍塌事故^[3]

土木工程的质量隐患不仅在施工阶段带来危害,而且在使用阶段也会给用户带来不便,致使其不能正常使用,甚至带来财产和人身安全等不利影响。如何降低土木工程质量事故的发生,减少不必要的损失,成为目前土木工程的重点领域。

1.2 工程质量事故概述

1.2.1 工程质量事故的界定

《中华人民共和国建筑法》规定：建设工程勘察、设计、施工必须符合国家建设工程质量强制性标准的要求，确保建设工程在合理使用年限内的质量。建设部规定：

(1) 凡建筑质量达不到合格标准的工程，必须进行返修、加固或报废，由此而造成的直接经济损失在 10 万元以上的称为重大质量事故；

(2) 直接经济损失在 10 万元以下，5000 元（含 5000 元）以上的为一般工程质量事故；

(3) 经济损失不足 5000 元的列为质量问题。^[4]

工程质量事故的发生和自然灾害不同，有些质量事故是受到重大撞击而造成的，有些质量事故是质量随时间的推移而发生变化造成的，在工程实践中，质量事故往往在一些质量缺陷上发生，且容易被忽视。随着时间的推移，这种质量缺陷就会越来越严重，待问题严重时，则处理就比较困难，或无法补救，甚至造成严重的建筑物倒塌事故。^[5]因此，在进行工程施工时要对建筑物的质量进行严格的管控，一旦出现质量问题，应及时做出必要的处理，并给出明确的结论。

1.2.2 工程质量事故的基本概念

《建筑工程施工质量验收统一标准》中对建筑工程质量（quality of building engineering）的定义如下：反映建筑工程满足相关标准规定或合同约定的要求，包括其安全、使用功能及其在耐久性能、环境保护等方面所有明显的隐含能力的特性总和。^[6]

常见的工程质量事故是指在施工过程中出现了达不到设计标准、使用功能要求的工序或使用了达不到设计标准、使用功能的材料、设备，达不到质量使用要求的现象；在项目建设完工后，可以检测出其存在质量安全及隐患的现象。^[5]

1.2.3 工程质量事故的分类

工程施工中常见的工程质量事故如下：

(1) 砌体结构工程质量事故。主体结构开裂、倒塌或局部坍塌等。

(2) 钢筋混凝土结构工程质量事故。材料等级、强度等级、材料性能和施工质量的特别要求等不符合规范要求等。

(3) 钢结构工程质量事故。选用材料、结构方案和结构措施,结构在运输、安装和使用过程中的强度、稳定性和刚度不符合要求等。

(4) 地基与基础工程质量事故。基础或主体结构承载力不足,影响结构安全和正常使用年限;地基基础发生不均匀沉降。

(5) 道路工程质量事故。路基整体滑移、路基路面整体下沉、高边坡的防治及沥青路面病害等质量问题。

(6) 桥梁工程质量问题。常见的质量问题有桩基质量问题、桥台处填土的不均匀沉降、钢筋等材料的腐蚀问题等。

(7) 隧道工程质量问题。隧道工程中常见的质量问题有隧道渗漏水,衬砌开裂,衬砌背后空洞、渗漏水,钢筋混凝土强度恶劣,通风照明不好等。

(8) 防水工程质量事故。防水施工工序不对,主要部位处理不当,材料不合适等。在本书的后面章节会对其做详细的阐述。

由于工程质量事故具有复杂性、严重性、可变性和多发性的特点,工程质量事故的分类方法有很多,就土木工程而言,质量事故的分类方法有以下四种方法。^[5]

1. 按工程事故发生的时间分类

(1) 施工期发生的工程事故;

(2) 使用期发生的工程事故。

2. 按工程事故发生的性质分类

(1) 倒塌事故。建筑物的整体或局部发生倒塌。

(2) 开裂事故。建筑物的承重结构或维护结构等出现裂缝。

(3) 错位事故。由于地基的不均匀沉降导致建筑物上浮或下沉,发生平面位置的偏差,以及结构构件尺寸、位置偏差过大或预埋洞(槽)等错位偏差事故。

(4) 变形事故。建筑物的倾斜、扭曲或过大变形等事故。

(5) 承载力不足事故。主要是因为构筑物的承载力不足而留下的安全隐患,是地基、结构和构件均可能出现的事故。

(6) 功能事故。主要是指房屋漏雨,建筑物渗水,隔热、隔声功能不良等事故。

(7) 其他事故。滑坡、塌方、火灾、洪水等。

3. 按工程事故原因分类^[5]

(1) 自然事故。自然事故是指自然因素引起的事故，自然因素是不因人的意志为转移的、非人力所能控制的“不可抗力”因素。如地震、洪水、火山爆发、台风、海啸、滑坡等。

(2) 人为事故。人为事故是指人为因素，是天灾以外的。

1) 对砖砌体在施工中的稳定性缺乏认识、考虑不全面。

2) 对简支梁和连续梁的基本概念不清楚。如某单屋厂房的梁为预制梁，施工时用预制梁的钢筋现浇成的连续梁，造成了梁在支座附近出现裂缝。

3) 对预制构件使用和施工时的受力区分不清。如预制桩在使用时为受压构件，而施工中为弯曲、压弯或拉弯构件，施工操作稍不注意，就易造成桩的断裂。其他如柱、屋架都易出现相似的问题。

4) 对悬挑结构的倾覆或折断问题的认识不够。常因拆模过早而引发事故。

5) 对施工中楼面超载认识不深或根本没有考虑，其主要原因还是在设计过程中，对结构设计的理论不够熟悉，对楼面设计活荷载认识不清楚，缺乏量的界定。因此，在施工过程中，材料、构件等的随意堆放，会造成因超载而导致断裂、倒塌事故。

6) 对模板或支架的受力特点认识不够，造成模板工程结构方案不合理，安装不合适，刚度不够，整体稳定性差，最终导致楼板、顶板、大梁倒塌。

7) 脚手架或井字架布置不当。有的外脚手架和井字架失稳倒塌；有的里脚手架的构造和设置不合理，造成楼板出现过大的变形和裂缝。

8) 由于对土压力的作用缺乏认识，采用不适当的回填基坑方法，而造成基础位移或基础裂缝。

9) 对施工现场原有建筑物没有进行任何保护措施或所采取的措施不够。如在基坑开挖时，破坏了原有建筑的地基；在采用人工降低地下水位方法时，造成已有建筑地基下沉过大等。

10) 对装配式结构施工中的整体稳定认识不够。如装配多层框架接头混凝土没浇筑或浇筑后强度还没达到要求，就施工上层结构而造成事故。^[7]

4. 按事故造成的严重程度分类

(1) 经济损失在 5 000 元（含 5 000 元）以上，不满 5 万元的，或影响使用功能或工程结构安全，造成永久质量缺陷的称为一般质量事故。

(2) 直接经济损失在 5 万元（含 5 万元）以上，不满 10 万元的；或严重影响使用功能或工程结构安全，存在重大质量隐患的；或事故性质恶劣或造成 2 人以下重伤的称为严重质量事故。

(3) 直接经济损失在 10 万元以上的;或土木工程建筑物倒塌或报废;或由于质量事故,造成人员死亡或重伤 3 人以上的称为重大质量事故。

(4) 直接经济损失达到 500 万元以上;或具备国务院发布的《特别重大事故调查程序暂行规定》所列发生一次死亡 30 人及其以上;或其他性质特别严重的情况之一均属特别重大事故。^[7]

1.2.4 工程质量事故的特点

工程质量事故的特点可概括为以下四个方面。

1. 复杂性

影响工程质量的因素错综复杂,同一类质量事故的引发因素可能是复杂多样、截然不同的。在进行工程质量事故分析时要对质量事故进行分析,判断原因、发展及性质,以给出确定的处理方案与措施等,控制质量事故的继续。如甘肃天定高速公路的质量事故,不仅仅是材料质量问题,还牵扯到施工时对质量的控制不足引起的一系列建筑质量问题,从而导致在使用一年后相继出现路面拥包隆起、路面坑槽、路面车辙和桥面铺装破损等质量问题。其复杂性也体现在一个工程的质量问题,不仅仅是施工单位要负一定的责任,而且监理单位、建设单位、质检单位也要负一定的责任。

2. 严重性

严重性主要体现在施工或使用期间出现的质量问题对社会和谐安定的负面影响性。较轻的质量事故会导致影响施工的进程、工期的拖延以及工程费用的增加;较重的质量事故会造成安全隐患,影响其使用功能甚至于不能正常使用,再严重的会引起建筑物的失稳、坍塌,造成巨大的经济损失。如 2012 年 8 月 24 日发生在哈尔滨的阳明滩大桥垮塌事故,垮塌的大桥为 130m 左右的整体垮塌,桥上 4 辆货车侧翻至桥下,致使 3 人死亡 5 人受伤。这一质量事故无论对个人还是对社会,都造成了严重的影响。

3. 可变性

可变性表现在其质量问题会随时间的推移而加重,因此,在施工或使用期间,一旦发现质量问题,要及时进行纠正,制止这一问题的进一步恶化,以免发展成严重的质量事故,进而不得以要进行拆除,增加建筑费用的支出或对社会造成重大灾害。从而,在进行质量事故分析时,要特别注重质量事故的可变性,及时采取可靠高效的措施,制止和防止其进一步的恶化,或加强监测,对建筑物进行系统全面的排查,对可预测的质量事故进行提前预防。2009 年上海的“楼倒倒”事件,事故主要原因是楼房附近的堆土施工,在事发楼盘前方开挖基坑,土方紧贴建筑物堆积在楼房北侧,堆土 6 天内即高达

10m, 这一短时间内的快速堆土作业, 对楼房的基础受力产生了一可变性因素, 对 PHC 桩产生较大的偏心弯矩, 最终破坏桩基, 引起楼房整体倒覆。

4. 多发性

有些工程质量事故在各项工程中经常发生, 对于这种质量事故的多发性应采取有效的预防措施。主要是工程功能因素的缺陷引起的质量事故, 如房屋漏水、墙皮脱落、微细裂缝等。

1.3 工程质量事故分析的作用

1. 创造正常的施工条件

建筑工程是由分部分项工程所组成的, 各个分部工程是由紧密相连的工序所完成的, 前道工序是后续工序的基础, 是为完成整个工程所创造的施工条件。例如, 发现预埋件等偏位较大, 如果不对其进行纠正, 必然会影响后续工程的施工, 所以必须及时分析与处理, 为后期安装创造施工条件, 才能保证工程继续施工, 才能保证工程的安全。

2. 排除工程上存在的隐患

在建筑工程施工过程中, 按照有关规定对工程质量事故进行认真的分析, 对于及时排除工程上的隐患, 确保工程质量和安全具有非常重要的意义。例如, 在砌体工程施工中, 砂浆强度不足、砂浆稠度不适宜、砂浆饱和度很低、砌筑方法不当等, 都将降低砌体的承载能力, 给工程结构留下隐患, 发现这类质量问题, 应从设计、监理、材料、施工、管理等方面, 进行周密的分析和计算, 并采取相应的技术措施, 以便及时排除这些隐患, 确保工程质量和工程结构安全。

3. 防止工程质量事故恶化

发现工程出现事故后, 要对其进行认真的分析, 防止质量事故的恶化, 减少损失。例如, 施工过程中, 发现现浇结构的混凝土出现强度不够的问题。如果尚未拆模, 则应考虑拆模时应采取哪种措施进行补救, 以防止发生结构倒塌。如果已经拆模, 则应考虑控制施工中的荷载大小, 或者采取加支撑的措施, 防止结构严重开裂或倒塌, 同时尽快拿出补救措施。

4. 总结经验

有些工程质量事故反复发生, 主要是由于一些重大的、典型的事故经验教训没有得到及时的总结和汇报, 因此没能起到引以为戒的作用。通过调查事故的情况, 对工程事故产生的原因进行分析, 选择合适的事故处理方法,

讨论正确的工程事故预防措施,总结经验,并加强对建筑从业人员处理技术的培训,有助于在今后的建设施工中少犯错误,使工程质量得到有力的保障。

5. 预防质量事故再次发生

发现、分析和处理工程质量事故的目的,是为了查明事故原因、总结经验教训、采取相应措施、预防此类质量事故再次发生。

1.4 工程质量事故处理的作用、依据与程序

1.4.1 工程质量事故处理的作用

工程质量事故的发生,会影响结构安全或功能使用,重视工程事故处理,做到预防在先,避免在施工和使用过程中不必要的损失和灾害。

工程质量事故的处理主要从以下两个方面着手。

1. 防止已发生的质量事故进一步发展

建筑工程出现质量事故或缺陷时,应及时制定处理方案,制止施工单位在质量出现问题的工程上继续作业,以达到在施工过程中防止事故恶化的可能性。

在施工过程中,如发现砌体结构的墙体上设置脚手眼不符合《砌体结构工程施工质量验收规范(GB50203—2011)》的有关规定,应及时对其进行纠正,排除质量隐患,以避免不必要事故的发生。

2. 为进一步制订和修改标准规范提供参考依据

改革开放以来,我国的经济、文化等开始与国际接轨,随着时代的发展,我国的建筑技术也有所提高,但与世界发达国家相比,其水平还相差较大,需要一个先进的平台来进一步地提高和完善建筑行业的标准、规范。在施工期间,通过质量事故的分析,并结合一些工程实例上获取的经验教训,为制订和修改标准规范提供了宝贵的参考依据。

1.4.2 工程质量事故处理的依据

工程质量事故的处理主要从以下三个方面入手。

1. 质量事故的调查报告

报告的主要内容如下:

- (1) 事故发生的时间、地点、原因;
- (2) 事故的类型、分布状态、涉及的范围、严重程度或缺陷程度;
- (3) 事故的动态变化及观察记录等。