

高等学校工程管理课程系列教材

工程事故分析与对策

卜良桃 高伟 编著 尚守平 主审



中南大学出版社

高等学校工程管理课程系列教材

工程事故分析与对策

卜良桃 高伟 编著
尚守平 主审

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程事故分析与对策/卜良桃,高伟编著. —长沙:
中南大学出版社,2005. 11
ISBN 7-81105-231-8

I. 工... II. ①卜...②高... III. ①建筑工程-工程事故-
事故分析②建筑工程-工程事故-处理
IV. TU712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 122031 号

工程事故分析与对策

卜良桃 高 伟 编著
尚守平 主审

☐责任编辑 邓立荣

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 湖南大学印刷厂

☐开 本 730×960 1/16 ☐印张 24 ☐字数 438 千字

☐版 次 2005 年 11 月第 1 版 ☐2005 年 11 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 7-81105-231-8/G·084

☐定 价 38.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内 容 提 要

本书系统地介绍了建筑工程事故分析与处理对策。全书共分为9章,前两章简要介绍了建筑工程事故的类型与特点,工程事故的调查分析、处理程序,以及预防建设工程质量事故的法律法规;第3章到第8章按不同结构类型对事故的分析与对策做了详尽的介绍,其中主要包括:事故类型和原因分析、加固方法以及实例分析与对策;最后一章讲述了火灾事故分析与对策,主要包括:火灾对材料性能的影响,灾后结构的诊断与处理以及加固方法,火灾后结构加固实例分析等。

本书紧密结合当前的科研成果及最新的相关规范和技术标准,且有大量的工程实例参考,理论性和实用性较强,主要作为高等院校工程管理和土木工程专业以及相关专业的本科生教材,同时也可作为工程技术领域的专业技术人员的参考用书。

前 言

随着我国国民经济的持续快速发展,建筑业逐渐成为支柱产业,也得到了蓬勃发展,人们对居住、市政、交通等工程的安全性、实用性和耐久性的要求也日益提高,因此必须坚决贯彻“百年大计,质量第一”的方针。从总体情况来看,我国建筑工程的质量是好的,但是工程事故也时有发生。事故轻者引起人们的恐慌和经济损失,重者不仅造成经济损失而且也会带来人身伤亡。纵观各类工程事故,剖析其原因,主要包括设计疏忽和施工失误,正常使用阶段可能出现的自然和人为灾害,以及老化阶段可能产生的各种损伤积累,导致结构在使用寿命期内承载能力下降,耐久性降低,从而形成多种事故隐患。认真分析事故原因,采取合理的处理对策,吸取事故教训以避免同类事故的发生,便是编写本书的目的。

本书按不同结构类型对事故的分析与处理对策作了详尽介绍,主要包括各种结构事故类型和原因分析、加固方法以及相应的工程事故实例分析与处理对策;最后一章讲述了火灾事故分析与处理对策。

本书具有以下特点:

1. 紧密结合当前的科研成果及最新的相关规范和技术标准;
2. 收集整理国内外典型的工程事故实例;
3. 涵盖了编者多年的工程质量事故处理实践与经验总结;
4. 兼具理论性和实用性,可作为高等院校相关专业的教学用书,也可供相关专业技术人员参考学习。

本书由卜良桃、高伟编著,尚守平教授主审。在编写过程中,研究生郭曙、胡海波、全玥、胡尚瑜、毛晶晶、叶蓁、王月红、岳峰为全书的文字录入和图表绘制做了许多工作,湖南大兴加固改造工程有限公司提供了部分工程实例。在此一并表示感谢。本书也引用了部分书籍、杂志上的相关文献。在此谨表衷心感谢。

由于编者水平有限,书中不妥与疏忽之处,敬请读者批评指正。

编 者

2005年8月

目 录

第1章 建筑工程质量事故的类型与特点	1
1.1 影响建筑结构质量的主要因素	1
1.2 工程质量事故的基本分类	2
1.3 工程质量事故的技术特点	5
第2章 工程质量事故的调查分析及对策	7
2.1 建筑结构质量事故的统计分析	7
2.2 事故分析与处理的主要任务	10
2.3 事故分析、处理步骤及注意事项	11
2.4 建筑物鉴定、检测	13
2.5 建筑物加固	17
2.6 工程质量问题不需作处理的分析论证	19
2.7 预防建设工程质量事故的法律对策	20
第3章 地基与基础工程事故分析与对策	35
3.1 常见地基工程质量事故分析	35
3.2 常见基础工程质量事故分析	46
3.3 地基与基础工程事故预防与处理对策	62
3.4 地基与基础工程加固方法	63
3.5 地基与基础工程事故实例分析与对策	71
第4章 砌体结构事故分析与对策	98
4.1 砌体结构裂缝分析与对策	98
4.2 常见砌体结构事故类型与原因分析	107
4.3 砌体结构加固技术	109
4.4 砌体结构工程事故实例分析与对策	119

第5章 混凝土结构事故分析与对策	143
5.1 混凝土结构裂缝及表层缺损分析与对策	143
5.2 混凝土结构的事故类型与原因分析	156
5.3 混凝土结构加固技术	159
5.4 混凝土结构事故实例分析与对策	191
第6章 钢结构工程事故分析与对策	209
6.1 钢结构的缺陷分析	209
6.2 钢结构的事类型与原因分析	216
6.3 钢结构的加固方法	221
6.4 钢结构事故实例分析与对策	224
第7章 木结构事故分析与对策	253
7.1 木结构事故类型	253
7.2 木结构事故实例分析与对策	266
第8章 构筑物事故分析与对策	270
8.1 挡土墙事故分析与处理	270
8.2 水塔事故分析	296
8.3 烟囱事故分析	319
第9章 火灾事故分析与对策	342
9.1 火灾对材料性能的影响	342
9.2 火灾后结构的损伤诊断与处理	352
9.3 火灾后结构的加固方法	360
9.4 火灾事故后结构实例分析	365
参考文献	374

第1章 建筑工程质量事故的类型及特点

1.1 影响建筑结构质量的主要因素

建筑结构按承载力极限状态设计时,应符合下式的要求:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1.1)$$

式中: S ——结构的作用效应;

R ——结构的抗力设计值;

γ_0 ——结构构件的重要性系数,对安全等级为一、二、三级的结构构件,分别取 1.1、1.0、0.9。

一旦条件发生变化,使得式(1.1)变成

$$\gamma S > R \text{ 或 } \gamma_0 S \gg R \quad (1.2)$$

时,建筑结构就会发生破坏和倒塌。这就是影响建筑结构质量的直接原因。

式中与 S 有关的因素是施加于建筑结构上的荷载(即结构上的作用)、结构的支承条件、跨度等;与 R 有关的因素是材料的性能、结构构件的截面尺寸、结构的计算方法等。这些因素既和设计有关,也和施工及使用有关,具体可作如下归纳:

(1)设计时,对结构承受的荷载和作用力预计不足;施工时或使用后的实际荷载严重超过设计荷载。

(2)环境条件,如气温、地下水位、地基状况等与设计时的假定有重大变化。

(3)设计时所取的计算图形与实际结构受力状态不相符;施工时或施工后的实际受力状态与设计有严重变化。

(4)设计时选用材料、构配件不当,或对材料的物理力学性能掌握不够,施工时采用的原材料存在严重质量问题;使用期间结构暴露在腐蚀性介质中未加维护,致使材料性质发生质的变化。

(5)设计时所确定的构件截面过小或连接构造不当;施工时成形的结构构件或连接构造质量低劣;使用后对各种因素引起的构件损伤缺乏检验,不加维

修,任其发展。

(6)设计时对地基、气象等自然条件和现场状况了解不够;在未充分掌握地基和现场状况,或者在不应有的气象条件下盲目施工;建设方提供了错误的勘察和气象资料。

(7)设计错误或严重违背设计规范;施工时违反操作规程,施工工序有误,运输、安装不当,临时支撑失稳等。

(8)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、混乱或遗漏;施工质量失控、管理混乱、技术人员素质低等。

从以上归纳可见,建筑结构质量事故的发生可能是设计原因,也可能是施工原因,还有可能是使用原因。既有可能是技术方面的原因也可能是管理方面的原因,还有可能是制度方面的原因。

现有结构是按承载力极限状态设计进行的,其采用的可靠指标 β 一般在3.2~3.7之间,与它们对应的失效概率为 $6.9 \times 10^{-4} \sim 1.1 \times 10^{-4}$ 。在正常设计、正常施工和正常使用中,如果出现一些差错,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,根据已发生的重大事故统计分析,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;或者是由于使用单位盲目使用不加维护;或者是由于设计、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。所以说,设计质量是整体工程中质量控制的第一道防线,而施工过程,则是质量控制的重点。

1.2 工程质量事故的基本分类

质量事故的分类方法很多,通常分为下列五类。

1.2.1 按事故发生的时期分类

按事故发生的时期分为:

- (1)施工中发生的事故;
- (2)竣工验收后、投产使用前发生的事故;
- (3)投产使用后发生的事故。

从国内外大量统计资料分析,绝大多数事故都是发生在施工阶段到交工验收前这段时间内。

1.2.2 按事故产生的原因分类

按事故产生的原因分为：

- (1) 勘察设计存在问题，多为地质资料数据不准、不全和设计失误居多；
- (2) 建筑材料和制品质量低劣；
- (3) 施工工艺不良或施工组织管理不善；
- (4) 使用不当；
- (5) 科研或技术难点未妥善解决就用在工程上；
- (6) 各种灾害造成如人为灾害和自然灾害等。

1.2.3 按事故造成的危害或影响分类

按事故造成的危害或影响分为：

- (1) 影响后续工程的施工；
- (2) 影响结构安全；
- (3) 影响生产工艺或正常使用；
- (4) 降低建筑物的耐久性；
- (5) 影响建筑物的外观。

1.2.4 按事故处理的方式分类

按事故处理的方式分为：

- (1) 毋需处理型：经过分析或计算论证，不用采取专门措施处理；
- (2) 封闭保护型：需要用建筑封闭，恢复建筑外观或其他保护性措施来处理；
- (2) 复位纠偏型：是指建筑物或构件的尺寸、形状、位置等需要复位纠偏；
- (3) 加固补强型：又可分为地基加固、构件加固、建筑物的整体加固等；
- (4) 拆除重建型；
- (5) 其他类型：包括通过修改设计或改变建筑物用途来处理的事故或需要进一步观测分析，才能作出结论的事故等。

1.2.5 按事故性质分类

按事故性质分为：

- (1) 倒塌事故：建筑物倒塌是最严重的事故，它不仅使国家与人民财产遭受巨大损失，而且往往造成人身伤亡，带来不可估量的损失。所以认真调查与分析过去发生的倒塌事故，总结经验教训，以便采用必要的技术和组织措施，

防止事故发生是十分必要的。建国以来,全国发生的倒塌事故,主要集中在以下三个时期:第一次是1958年前后,第二次是1966年到1976年,第三次是1980年起到1984年。在这些事故中,倒塌的建筑物类型很多,不仅有单层、多层厂房等工业建筑,还有百货大楼、大旅店、大礼堂等公共建筑,宿舍、住宅等民用建筑,以及各种类型的构筑物。

(2)开裂事故:建筑工程中开裂是一个很普遍的问题。虽然结构破坏是以承载能力达到极限状态为基准的,但是大多数工程的使用标准是由裂缝控制的。建筑物出现裂缝后,不但有损外观,给人以不安全感,而且有的裂缝降低了建筑物整体刚度和耐久性能,有的造成房屋渗漏,影响了使用功能。尤其需要注意的是裂缝有时是破坏的前兆,裂缝宽度、长度和数量发展到一定程度,将导致结构破坏。因此,对建筑工程的裂缝问题应十分重视。但是应该指出:并非所有的裂缝都会影响建筑物正常使用。因此研究分析开裂事故的关键问题是区分裂缝性质和危害程度。

(3)错位和变形事故:错位事故是指建筑施工时,位置不符合设计要求,其误差超过规范规定。这些错位和偏差有的可能影响结构安全,还有的可能给施工安装工作造成困难。

变形事故是指建筑物发生过大的整体变形而影响继续施工。这类事故往往与开裂事故有一定联系,当上部结构整体刚度较好,或采用金属材料时,尽管建筑物或构件没有开裂,但是因为出现了较大的变形而造成事故。变形事故有下沉、上浮、倾斜和扭曲等。

(4)建筑功能事故:这类事故是指影响建筑使用、损害美观、降低耐久性和降低使用等级的质量缺陷。这类事故种类繁多,如地下建筑结构渗漏,屋面渗漏,墙面、楼地面渗漏等。还有如影响使用要求的防腐蚀工程、外装饰工程质量不良等事故。

(5)其他事故

①塌方与滑坡。在建筑工程的基坑或基槽开挖和地下工程施工中,塌方事故经常发生,它不仅延误施工进度,影响工程质量,有的甚至造成人身伤亡事故。在山区或江、河、湖泊边建造建筑物时,常会遇到滑坡事故,并由此造成建筑物的开裂、位移,甚至倒塌。

②地基加固中的事故。如换土地基的素土、灰土、砂或砂石垫层的密实度达不到要求;又如挤密桩加固地基中的加固深度不足,桩孔颈缩或坍孔,桩身回填材料不密实、断裂、挤密效果差等。

③桩基工程事故。如钢筋混凝土预制桩沉桩时,最后贯入度和入土深度达不到要求,桩顶移位,桩身倾斜、断裂等;又如灌注桩达不到最终的控制要求,

桩孔倾斜,孔底未清干净,坍孔,颈缩,桩身夹泥,断桩,混凝土质量差等。

④混凝土达不到设计强度等级。如强度不足,抗渗、抗冻性能低等。

⑤钢筋混凝土施工时,漏放、错放或少放钢筋、预埋件,孔道、沟槽堵塞等。

⑥火灾事故。这里指施工和使用期间发生的火灾。例如沥青防水层施工时,或电焊火星溅落在易燃物上,或冬季施工用火不当等均易引起火灾,或者在使用过程中遭受意外火灾。

1.3 工程质量事故的技术特点

为了准确地调查、分析与处理事故,必须对事故的技术特点有所了解,其主要特点有以下四个。

1.3.1 复杂性

为了满足各种特定的使用功能要求与适应自然环境的需要,建筑工程产品种类繁多,同一类建筑由于建筑的地区、自然条件的不同(如地质、水文、气候、地形等),以及施工技术条件的不同又形成建筑生产中许多复杂的技术问题。同样,造成建筑事故发生的原因也错综复杂,即使是同一性质的事故,原因有时也会截然不同,因此处理的原则和方法也不同。此外建筑物使用中还存在着各种问题,所有这些复杂因素,必然使得工程质量事故的性质、危害和处理都很复杂。例如建筑物开裂很可能是设计构造不良或计算错误,也可能是地基沉降差过大,或是温度收缩大,还可能是建材制品质量问题,或施工质量低劣,以及周围环境变化或使用不当等等许多因素之中的一个或几个造成。

1.3.2 严重性

建筑工程事故有的影响施工顺利进行,有的给工程留下隐患或缩短建筑使用寿命,有的使建筑成为危房,影响安全使用甚至不能使用,更严重的是建筑物部分或全部倒塌,造成人员伤亡和巨大的经济损失。所以对已发生的工程质量问题决不能掉以轻心,务必及时进行分析作出正确结论,提出恰当的处理措施,以确保建筑物的安全使用。

1.3.3 可变性

工程质量问题中相当多数的情况是发展变化的。例如,钢筋混凝土大梁上出现的裂缝,其数量、宽度和长度都随着周围环境温度、湿度的变化而变化或

随着荷载大小和持荷时间长短而变化。甚至有的细微裂缝也可能逐步发展成构件的断裂，以致造成工程的倒塌。因此一旦发生质量问题，就应及时调查、分析，作出判断，对那些不断变化，可能发展成断裂倒塌性质的事故，要及时采取应急补救措施；对那些表面的质量问题，要进一步查清内部结构情况，确定问题性质是否会转化；对那些随着时间和温、湿度条件的变化的裂缝要认真观测，作出书面记载，寻找事故变化的特征与规律，供分析与处理时参考，如发现事故恶化还应采取相应措施。

1.3.4 多发性

事故多发性有两层意思：一是有些事故像“常见病”、“多发病”一样经常发生，而成为质量通病，例如混凝土、砂浆强度不足，预制构件裂缝等；二是有些同类型事故一再重复发生。因此，收集典型的事故实例，进行质量教育，这对分析事故，预防事故发生都是十分必要的。

第2章 工程质量事故的调查分析及对策

《建筑结构设计统一标准》规定建筑结构必须满足如下功能要求：

- (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)在正常维护条件下具有足够的耐久性能；
- (4)在偶然事件发生时及发生后，仍能保持整体稳定性。

为了使建筑结构满足上述功能要求，国家有关部门颁布了一系列的建筑结构设计规范、建筑安装工程施工及验收规范，以及根据各种规范制定的质量检验评定标准等。另外在建筑结构的正常使用状态下，适用可靠性鉴定标准，在结构处于失效状态前尚有危险房屋鉴定标准。上述内容构成了建筑结构的全过程质量控制内涵。使得建筑结构从设计、施工、验收、使用以及后期老化失效等全过程均有相应的质量控制标准，处于全过程控制状态。

2.1 建筑结构质量事故的统计分析

根据不完全统计，自1958年至1989年，我国建筑工程发生质量事故588起，其中自1984年至1989年近六年中，发生质量事故220起。

下面就1987年发生的47起倒塌事故，按倒塌所处阶段、结构所用材料、主要原因和责任归属四个方面进行了统计。结果见表2.1和表2.2。

表2.1 建筑结果质量事故统计(一)

引起房屋结构倒塌 的主要构件或原因	在1958~1989年 588起事故中的比例(%)	在1984~1989年 220起事故中的比例(%)
1. 地基基础	2.0	0
2. 墙、柱	22.3	18.6
砖石砌体墙、柱	(18.7)	
钢筋混凝土柱、木柱	(3.1)	

续上表

引起房屋结构倒塌 的主要构件或原因	在 1958 ~ 1989 年 588 起事故中的比例(%)	在 1984 ~ 1989 年 220 起事故中的比例(%)
3. 钢筋混凝土梁、板(含框架)	9.6	6.4
4. 屋盖结构	37.0	37.2
钢屋架	(15.7)	(17.3)
木、钢木屋架	(11.5)	(10.9)
钢筋混凝土屋架	(9.4)	(9.0)
V 型折板屋盖	(0.4)	
5. 砖拱结构	4.2	6.4
6. 悬挑构件	9.6	8.6
7. 模板倒塌	6.5	8.2
8. 构筑物倒塌	5.0	4.1
9. 改建或使用不当	2.2	3.2
10. 局部倒塌	1.6	2.3
11. 其他原因		5.0

表 2.2 建筑工程结构事故统计(二)

项目分析	事故起数			备 注
1. 倒塌时所处阶段	施工阶段	32	68%	以施工阶段为主
	使用阶段	15	32%	
2. 结构所用材料	砖混结构	26	56%	以砖混结构为主
	砖木结构	12	25%	
	钢筋混凝土结构	8	17%	
	钢结构	1	2%	
3. 倒塌宏观原因	设计错误	10	21%	设计和施工原因占 67%
	施工质量低劣	8	17%	
	设计与施工均有错误	1	2%	
	建筑材料不合格	1	2%	

续上表				
项目分析	事故起数			备 注
	使用不当	11	23%	
4. 倒塌事故责任	无图纸或不正规设计	20	42%	以农村建筑队为主
	农村建筑队	37	79%	
	县以上集体、自营单位	6	13%	
	国有企业单位	4	8%	

以上统计数据可以说明如下问题:

(1)建筑结构最易于产生结构质量问题的结构构件是屋盖、墙、柱和钢筋混凝土水平构件。

在屋盖结构中,以钢屋盖和钢木结构屋盖出现的事故最多,而钢结构屋架中以焊接结构居首;

在墙、柱构件中,以砖混结构出现的事故最多;

在钢筋混凝土水平构件中,以梁、框架梁、雨棚阳台悬挑构件出现的事故最多。

(2)从房屋倒塌事故所处阶段分析,砖混结构和混凝土结构的事故多发生在施工阶段。

砖混结构和钢筋混凝土结构从统计中发现倒塌事故多发生在施工阶段,这主要是因为房屋在施工阶段尚未形成整体,若忽视必要的支撑、连接,则受力条件发生变化,一旦遇到偶然荷载作用,极易遭受破坏。

(3)从倒塌事故的宏观原因分析,无正规设计、随意施工是祸害之首。

调查结果表明,上述两个原因占事故发生原因的比例约为60%~70%;从每一年的统计看,有时“设计错误”所占比例稍大,有时“施工质量低劣”所占比例稍大。但是使用方面的原因也不可忽视。

(4)从责任归属方面分析,其主要问题不但是技术水平低,更重要的是人员素质差,即伪劣产品主要来自于伪劣人员。

(5)我国的建筑倒塌事故,从宏观分析还与国情有密切关系。

从宏观统计可以看出,我国工程事故中,以砖混结构、砖木结构所占比重最大,约占70%~80%,其次民用建筑中事故最多。这与其他国家比较是有所不同的,主要是我国砖混结构和砖木结构从数量上讲所占比例最大,且民用建筑已成为主体建筑。但也有共性特征,即钢结构事故发生的比例最小,这是与钢结构建筑物的可靠性较高是有直接关系的。

2.2 事故分析与处理的主要任务

建筑工程质量事故除了造成经济损失和人员伤亡外,有的影响后续工程的施工,有的危及建筑物的正常使用,有的降低耐久性能及使用等级。因此对已出现的事故必须及时分析与处理,其主要任务有:

(1)正确分析事故,创造正常施工条件。建筑物施工过程中经常出现各式各样的质量事故,而且有些事故影响继续施工,例如基础或部分结构偏位,原材料、混凝土、砂浆的实际强度低于设计要求,建筑结构开裂等。类似上述情况可否继续正常施工,就需要对事故进行具体的调查和分析,甚至进行必要的处理,只有对已发生的事故作出明确的结论后,方可继续施工。

(2)保证建筑物的安全使用。工程质量事故常令人担心建筑物能否安全使用。例如较多见的是墙体或构件裂缝会不会危及结构安全和建筑物的正常使用。通过事故的分析和必要的观测,对裂缝的发生原因、变化以及对结构安全和建筑功能的影响进行全面分析、论证,只有在不影响建筑物基本性能的前提下,方可交工或使用。否则就必须进行加固或其他处理,以确保安全使用。

(3)减少事故损失。出现质量事故后,有的工地不加分分析就仓促处理,经常发生处理不当而造成事故扩大,或不必要地浪费人力、物力和资金。因此,实事求是,及时、准确地分析事故,就能采取各种有效措施减少事故损失。

(4)总结经验教训,预防事故重复发生。从国内外的大量事故实例中,可以清楚地看到,许多重大事故都是一而再、再而三地重复发生。例如,由于楼面或屋面的施工荷载过大而造成结构裂缝甚至断塌。悬挑结构整体倾覆或悬出部分断塌,现浇结构中的蜂窝、孔洞,地面堆载过大引起建筑物开裂或倒塌,屋面积灰荷载过大造成倒塌,以及任意加高、加层造成的倒塌事故均时有发生。在使用中为扩大面积、改善生产和生活条件、打洞拆墙,随意加载改造而引发的事故、形成危房的更比比皆是。因此,通过事故分析,总结设计、施工和使用方面的经验教训,找出规律性的东西,进行必要的技术交流,可以有效地防止事故重复发生。

(5)了解结构实际工作状况,为修订规范、规程和有关技术规定,提供依据。例如,通过砖石结构中的裂缝情况调查与分析,可供制定建筑变形缝设置规定和防止墙体开裂的主要措施作参考。通过对地基变形过大造成的事故调查与分析,可供软弱地基施工作参考。又如通过对砖混结构中现浇大梁支座构造及其造成事故情况的调查与分析,为正确选择结构计算简图提供依据等。