

钢筋混凝土结构 事故分析与加固

卓尚木 季直仓 卓昌志 编著



中国建筑工业出版社

钢筋混凝土结构事故 分析与加固

卓尚木 季直仓 卓昌志 编著

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土结构事故分析与加固/卓尚木等编著. -北京:中国建筑工业出版社,1997
ISBN 7-112-03154-0

I. 钢… II. 卓… III. ①钢筋混凝土结构-结构事故-事故分析②钢筋混凝土结构-加固 N. TU370.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 06771 号

**钢筋混凝土结构事故
分析与加固**

卓尚木 季直仓 卓昌志 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:11³/₄ 字数:311 千字

1997 年 9 月第一版 1997 年 9 月第一次印刷

印数:1—5000 册 定价:20.00 元

ISBN 7-112-03154-0
TU·2436(8293)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书在深入分析钢筋混凝土结构工程质量事故发生的各种原因及经验教训的基础上,提出了为减少工程质量事故,在设计和施工方面应采取的改进措施,并详细介绍了钢筋混凝土结构可靠性鉴定的评定方法、评定标准及钢筋混凝土构件的维修和钢筋混凝土结构的补强加固方法。

本书可供从事结构设计、施工、质量监测、基建管理、科研和教学等工作的技术人员使用,亦可作为建筑企业进行工程质量教育的参考资料。

* * *

责任编辑 常燕

前 言

工程质量是关系国家财产和人民生命安全的一件大事。近年来，我国连续发生了几起重大工程质量事故，引起了上至国家领导，下至平民百姓的极大关注。建设部对此极为重视，于1996年10月召开了全国建设工程质量工作会议，对工程质量状况进行了全面分析，提出了工程质量综合治理的措施，使工程质量管理工作的普遍得到加强，工程质量稳中有升。

建筑工程是百年大计，工程质量正是撑起这百年基业的关键所在。在当前的工程建设中，钢筋混凝土结构的工程质量问题在整体工程质量中占有主要的位置，对这一问题的认真关注与及时改进是保证工程建成后使用与安全可靠的保证。

本书针对钢筋混凝土结构的工程质量问题，从工程质量事故的分析和预防措施、改进结构设计和施工工作的建议、钢筋混凝土结构的可靠性鉴定和钢筋混凝土结构的维修与加固四个方面，详尽介绍了保证钢筋混凝土结构工程的具体做法。

结构的工程质量事故可以由各种因素引起，例如结构本身的缺点、设计和施工的缺陷和错误、结构使用不当、缺乏维修、偶然事故等。书中介绍设计、施工方面引起的工程质量事故和预防措施。

工程事故分析可以使我们了解事故的因果关系。工作杂乱无章、马虎大意、设计施工错误而出现事故是意想得到的，但有些事故的原因确实使人难以想到。因此，从事故中吸取教训，改进我们的设计施工工作是很重要的。本书建议的内容对改进我们的工作是有很大实际意义的。

房屋建筑结构可靠性鉴定问题是建筑使用中的一个重要问

题。使用年久的建筑需对结构可靠性作出鉴定，出现事故后的建筑需对结构可靠性重新进行检查、鉴定，正常使用的建筑在使用过程中亦应定期作检查或鉴定，这一部分内容就是介绍建筑结构可靠性工作的调查、检测及评定方法。

维修与加固也是建筑使用中的一个重要问题。已有几百年、几千年历史的建筑表明，精心设计和精心施工的建筑是可以延续很长时间的。结构的寿命在很大程度上取决于结构的维护工作。钢筋混凝土是耐久性较好的一种材料，但若设计施工中存在缺陷，结构长期处于腐蚀环境中，以及正常使用中的材料老化、构件开裂等，将导致结构局部损坏或破坏。因此，对有损坏或破坏的结构进行经常性的维修和加固也是很必要的。第4部分内容即介绍钢筋混凝土结构的一般维修和加固方法。

本书1、2、3、7、8章由卓尚木编写，6章由季直仓编写，4、5章由卓尚木、季直仓、卓昌志共同编写，9章由卓尚木、卓昌志共同编写，全书由季直仓校阅。

作者希望本书对从事结构设计、结构施工的工程技术人员，对从事工程质量检测和房屋管理部门的土建技术人员，以及从事这方面教学的大专院校教师等有所裨益。

目 录

前 言

第 1 章 概述	1
1.1 工程质量事故概况	1
1.2 房屋结构可靠性鉴定的含义、目的和意义	4
1.3 一般工程事故分析处理的程序和内容	8
第 2 章 混凝土强度达不到设计要求的故事	14
2.1 混凝土强度	14
2.2 混凝土强度达不到设计要求的原因	17
2.3 混凝土强度的测定	32
2.4 混凝土强度偏低对结构受力影响的评估	41
第 3 章 混凝土的缺陷	46
3.1 混凝土缺陷的定义和影响	46
3.2 产生缺陷的原因	47
3.3 缺陷的规律	57
第 4 章 混凝土结构构件的裂缝事故分析	58
4.1 混凝土裂缝基本概念	58
4.2 混凝土裂缝的基本形式	60
4.3 非结构性裂缝产生的原因和预防措施	61
4.4 结构性裂缝产生的原因分析	81
4.5 混凝土裂缝和钢筋锈蚀的测定方法	115
第 5 章 混凝土结构倒塌事故的实例与分析	121
5.1 引言	121
5.2 设计原因为主的倒塌事故	121
5.3 施工原因为主的倒塌事故	135
5.4 防止连续倒塌的经验	152
第 6 章 改进设计和施工工作的建议	156
6.1 设计和施工中应加强检查的场合	156
6.2 设计和施工中应检查的项目	158

第 7 章 钢筋混凝土结构可靠性鉴定	164
7.1 概述	164
7.2 鉴定方法与程序	164
7.3 钢筋混凝土结构调查和检测	167
7.4 结构可靠性鉴定的类型和等级	170
7.5 混凝土构件可靠性评定	175
7.6 子单元鉴定评级	185
7.7 鉴定单元鉴定评级	186
7.8 民用建筑可靠性鉴定	197
7.9 民用建筑适修性评级	197
7.10 鉴定报告编写的内容和要求	198
第 8 章 钢筋混凝土构件的维修	199
8.1 构件缺陷的修整	199
8.2 构件裂缝的修补	201
8.3 钢筋腐蚀的修补	211
8.4 提高构件耐久性的措施	212
第 9 章 钢筋混凝土结构的补强加固	216
9.1 混凝土结构补强加固的目的和特性	216
9.1.1 补强加固的目的	216
9.1.2 加固工作程序	216
9.1.3 加固的特点与原则	217
9.1.4 混凝土加固结构受力特征	219
9.1.5 混凝土加固结构中新旧材料共同工作问题	219
9.1.6 混凝土加固结构计算基本假定	222
9.1.7 加固方法的选择	223
9.1.8 材料	225
9.2 加大截面加固法	226
9.2.1 加大截面加固法的类型和适用范围	226
9.2.2 加固计算	227
9.2.3 构造规定	263
9.2.4 施工要求	265
9.3 外包钢加固法	265
9.3.1 外包钢加固法的类型和特点	265

9.3.2	计算方法	266
9.3.3	构造规定	272
9.3.4	施工要求	276
9.4	预应力加固法	280
9.4.1	预应力加固法的类型和特性	280
9.4.2	预应力拉杆、撑杆的锚固和张拉	282
9.4.3	预应力钢拉杆计算和预应力损失	286
9.4.4	张拉伸长量计算	288
9.4.5	预应力拉杆加固法的内力分析与承载力计算	293
9.4.6	预应力撑杆加固钢筋混凝土柱计算	308
9.4.7	构造要求	313
9.4.8	施工要求	316
9.5	改变结构传力途径加固法	318
9.5.1	改变结构传力途径加固法的类型和特点	318
9.5.2	增设支点梁的计算	321
9.5.3	托梁拔柱计算	339
9.5.4	构造设计	341
9.5.5	施工要求	341
9.6	受弯构件外部粘钢加固法	344
9.6.1	概述	344
9.6.2	适用范围和材料要求	346
9.6.3	粘钢加固梁破坏特征与受力分析	347
9.6.4	粘钢加固计算	349
9.6.5	构造要求	353
9.6.6	施工要点与要求	354
9.7	其它补强加固法	357
9.7.1	减少或限制荷载	358
9.7.2	焊接补筋加固法	358
9.7.3	套箍加固法	359
9.7.4	加腋加固法	360
9.7.5	喷射混凝土补强法	361
9.7.6	化学灌浆修补法	361
参考文献		362

第 1 章 概 述

1.1 工程质量事故概况

建筑工程中，由于勘察、设计、施工、使用等方面存在某些缺点和错误，建筑工程的质量存在很多问题，有的是十分严重的。这些问题不仅影响建筑工程的使用，造成质量隐患，严重的还会给国家和人民生命财产带来巨大损失。

工程质量事故包括很多方面内容，本书只讨论影响结构使用和安全方面的质量事故。结构质量事故包括结构制作质量不符合设计要求、结构局部损坏或破坏、结构倒塌等。

所有工程项目都有方案选定、设计、施工、使用四个阶段。在任一阶段内均可能出现差错。当某一阶段有了缺陷时，其他阶段即使做得很好亦难防止结构损坏和失效。每一阶段工作都需要知识、经验和细心管理。

有些工程项目设想很好，但不适于建造，不能得到满意的结果。有些设计有固有的缺点，将导致结构损坏或倒塌。我们亦常可见到：设计很好，但施工不经心而导致局部破坏或整体倒塌。也有一些建好的结构，由于使用不当、超载、缺乏维修，或对气候和环境的影响没有采取保护措施而导致损坏。

过去 40 多年来，曾有过三次房屋倒塌质量事故较多的时期。第一次是 1958 年“大跃进”时期，盲目上马，不按客观规律办事，在建筑行业中，出现大量倒塌或工程质量事故，以浙江半山钢铁厂第一炼钢车间七榀拱形混凝土组合屋架断裂事故最为严重。第二次是十年动乱时期，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倒塌。

第三次是1980年前后,由于我国国民经济发展迅速,促进城乡建筑事业迅速发展,建筑设计、施工队伍迅速扩大,素质跟不上要求,出现许多工程倒塌事故。严重的有广东海康县大旅社7层钢筋混凝土框架结构,刚完工还未使用,就一塌到底,压死4人;湖南省衡南县泉溪公社猪鬃厂3层混合结构加层倒塌,压死44人;湖南攸县一农民自盖2层住房倒塌事故,造成几十人伤亡。

工业建筑也有类似情况,1985年5月冶金部对重点钢铁企业建筑进行检查,三级建筑约为300~350万 m^2 ,占钢铁企业建筑总数的10%~11%。自1949年以来,钢铁企业发生重大厂房倒塌事故就有35起。

一般造成事故的原因是多方面的,有的是勘察、设计原因,有的是施工、建材原因,有的是使用不当的原因,有的是自然灾害等造成的。据国家不完全统计,各种原因所占比例见表1.1.1。从

工程倒塌事故主要原因分析

表 1.1.1

年 份 (年)	设计错误 (%)	施工不当 (%)	设计和施 工都不当 (%)	其 他 (%)	其中无证设 计无证施工 (%)
1984	24.2	30.6	24.2	21.0	43.5
1985	8.1	38.4	25.6	27.9	74.7
1986	17.0	38.3	40.4	4.3	80.9
1987	21.6	25.5	52.9	17.6	50.4
1988	34.5	44.8	20.7	/	58.6
合计平均	18.5	34.9	28.7	17.9	68.0

工程倒塌事故发生的时间分析,2/3以上发生在施工期间,详见表1.1.2。从工程倒塌事故发生于不同施工企业来分析,农村建筑队占70%,集体企业占16.7%,全民企业占13.3%。

当前国内外发展生产、提高生产力的重心,已从新建工业企业转移到对已有企业的技术改造,以取得更大的投资效益,按统计资料,改建比新建工程可节约投资约40%,缩短工期约50%,收回投资速度比新建厂房快3~4倍。世界上经济发达的国家大体

工程倒塌事故发生时间分析

表 1-1.2

年 份 (年)	施工期间发生的事故 (%)	使用期间发生的事故 (%)
1984	69.7	30.3
1985	93.0	7.0
1986	82.9	17.1
1987	66.7	33.3
1988	79.3	20.7
合计平均	77.5	23.5

上都经历三个阶段,即大规模新建阶段、新建与维修并举阶段、重点转移向旧建筑维修改造阶段。目前,各经济发达国家逐渐把建设重点转移到旧建筑物的维修、改造和加固方面,例如英国 1980 年建筑物维修改造工程占建筑工程总量的 2/3,瑞典 1983 年用于维修改造的投资占建筑业总投资的 50%。同样,我国对民用建筑技术改造,使之现代化也日益迫切,尤其增层改造数量逐渐增多,它不仅可节约投资,同时不再征用土地,对缓解日趋紧张的城市用地的矛盾,有着重要现实意义。

我国又是多自然灾害的国家,不仅有 2/3 的大城市处于地震区,历次地震都在不同程度上对建筑物造成损坏,而且风灾、水灾年年不断,仅风灾平均每年损坏房屋 30 万间。另外,随着国民经济的发展和城市化进程的加速,人口和建筑物群进一步密集,建筑物的火灾概率大大增加,我国平均每年发生火灾 6 万余起,其中建筑物火灾就占火灾总数的 60% 左右,这些意外的灾害,使不少建筑物提前夭折,或建筑物受到严重损伤。

此外,建筑物经过长期使用亦有老化问题。建国以来全国共建成各类工业建筑项目 30 多万个,各类公用建筑项目 60 多万个,城镇住宅近 20 亿平方米,累计竣工的工业与民用建筑超过 30 亿平方米左右,再加上过去的建筑物,城镇现有房屋已超过 50 亿平方米,其中 60 年代前建成的占 50%。相当多的房屋已进入中老年期,也就是说约有近 25 亿平方米的建筑物有可能出现工程质量事

故问题，需要鉴定、维修和加固。

综上所述，不论是由于设计原因、施工原因造成建筑物先天不足，还是后天管理不善、使用不当；不论是为适应新的使用要求，而对建筑物实施的改造，还是灾害侵袭或建筑物进入老中年期，均需对建筑物进行检查和鉴定，以对其可靠性作出科学的评估，然后对建筑物实施正确的管理维护和加固，以延长其使用寿命。可见，建筑物鉴定与加固的任务，不仅量大面广、而且任重道远；具有很大的社会效益和经济效益。

近年来，为了防止房屋倒塌，质量事故发生，国家有关部门作了大量工作。首先大抓初级技术人员的上岗培训工作，不具备施工基本知识的不得上岗。其次，加强管理，抓好建筑企事业单位的资格审查，严格按资质等级承揽设计、施工任务，杜绝无证设计和施工。同时，加强对工程建设过程的质量监督，促进企业提高技术和加强管理，因而有效地防止了房屋质量事故的发生，取得很大成绩。为了吸取教训，杜绝类似事故重演，确保人民生命财产安全，对房屋常见事故进行总结，增长我们对客观规律的认识，提高自身素质也是很有必要的。国家相应成立了“全国建筑物鉴定和加固标准技术委员会”，编写出版或正准备出版《工业厂房可靠性鉴定技术标准》(GBJ144—90)、《民用建筑可靠性鉴定技术标准》、(送审稿)《工业与民用房屋抗震鉴定标准》(JL23—77)、《古建筑木结构维护与加固技术规范》、《混凝土结构加固技术规范》(CECS25:90)、《危险房屋鉴定标准》(CJ13—86)、《工业与民用建筑抗震加固技术措施》等等。这是我国对建筑物大量研究和实践的总结，对建筑物的鉴定和加固技术用章程将它确定，对保证工程质量，统一加固标准，节约材料起到重要作用。

1.2 房屋结构可靠性鉴定的含义、目的和意义

1.2.1 结构可靠性鉴定的含义

结构的可靠性是指结构在规定的时间内，在规定的条件下，完

成预定功能的能力。所谓规定时间，是指设计所假定的结构使用时间，即设计基准期。按《建筑结构设计统一标准》，建筑结构设计的基准期一般为 50 年。所谓规定条件，是指正常设计、正常施工、正常使用等条件。所谓预定功能，是指结构的安全性、适用性、耐久性。安全性是指建筑结构在规定的条件下应能承受可能出现的各种“作用”，以及遇到偶然事件时应能保持必要的整体稳定性。这里所指的“作用”包括荷载及外加变形或外加约束作用。适用性是指建筑结构在正常使用时，应能满足正常的使用要求，如不能有过的变形、过大裂缝等。耐久性是指建筑结构在正常使用、正常维护下，材料性能虽随时间推移而变化，但仍应满足预定功能的要求。如在基准期内，结构材料的锈蚀或其他腐蚀均不应超过规定的限值。

由上可见，结构的可靠性是结构安全性、适用性、耐久性的总称。建筑结构在规定的正常的使用条件下，在规定的基准使用期内，如果其安全性、适用性和耐久性均能得到满足，就意味着这个结构是可靠的。

我国规定设计基准期为 50 年，是指在 50 年内能保持要求的可靠概率，而为计算这个可靠概率所依靠的各随机变量的统计参数，也是以这个基准期为统计的时间范围。超过 50 年则可靠概率会降低，但不等于结构马上失效。所以设计基准期 50 年不是建筑物报废期限，也不是建筑物的寿命。建筑物的使用寿命年限除了与设计、施工、材料质量等因素密切相关外，还与使用的环境、维修维护状况有关。如经常处在高应力条件下的建筑结构、处在交叉腐蚀、高温辐射、固体液体喷溅等环境中的建筑物，均会缩短使用寿命。调查表明，同类重要的建筑，在同等设计条件下，实际使用寿命差别甚大，工程质量事故往往是各种因素叠加影响的结果。

在已建结构的可靠度检验中，为了揭示影响结构可靠性的因素，国内外作了大量结构隐患和事故调查及分析研究工作，表明由于设计上考虑不周或存在错误，施工中质量低劣而产生结构内

部缺陷，或者使用不当，维护检修失常灾害侵袭等降低了结构的可靠度，结构的安全性、适用性、耐久性能否满足，需要进行可靠性鉴定。

我国解放前建造的建筑物，有相当一部分已超过预定的设计基准期，已经严重老化。解放后，特别是1958年以后建造的建筑物，包括民用住宅、工业厂房、公共建筑等，虽然没有超过使用年限，但其中许多已经发生了上述有关方面的问题，留下隐患，潜伏着危险，需要进行可靠性鉴定。在鉴定的基础上及时地采取补强、加固和其他处理措施，使已建的结构能够正常的使用，改造成现代的建筑物，可取得较好的经济效果。

1.2.2 结构可靠性鉴定的目的

工程结构的分析目的是多种多样的，由于目的不同，对其分析内容和评定的侧重点也不相同。一般结构的鉴定目的有以下几方面：

1. 检验结构的质量，说明结构的可靠性

对于一些比较重要的结构，在建成后，要求通过鉴定其质量可靠程度，是否达到原设计的效能；对于已经出现某些缺陷的结构也要求通过鉴定，说明结构可靠性，以便指导正确使用。

2. 判断旧结构的实际承载能力，为改建、扩建工程提供依据

当旧建筑物进行扩建加层，或生产发展，需要提高车间起重运输能力或必须提高楼板承载能力时，往往要求通过鉴定来确定这些旧建筑物现有潜力，确定哪些构件需要补强等，尤其对于缺乏旧建筑物设计和施工资料时，更显得必要。避免盲目加层扩建，以免引起事故。

3. 找出事故的原因，作为今后的教训和借鉴

为了确保工程质量，杜绝工程事故不断发生，现在国家在法律上给予仲裁。工程事故发生要追究经济损失责任和法律责任，以便达到教育本人和其他人，加强责任制。为此，首先要找出事故的原因。

工程事故的发生往往是由多方面因素造成的，是综合性的。在

多个因素中，必有一个主要因素，为正确追究其经济损失和法律责任，做到肇事者和单位心服口服，就要求对事故进行具体分析和鉴定，从复杂的因素中，分清主次，找出主要矛盾，才能达到深刻的教训，避免类似事故重演。

4. 处理工程事故，提供技术依据

由于设计、施工、使用上的原因，房屋结构常出现种种严重缺陷（如基础不均匀沉降、过大的变形和裂缝等等），或受火灾、爆炸、地震等的损坏，往往需要鉴定和评议，判断其危害的严重性和薄弱环节，为进行加固提供依据，以便制定切合实际的加固方案。

1.2.3 结构可靠性鉴定的意义

1. 加强建筑行业的责任制

为了保证建筑结构的安全、适用、耐久，必须贯彻“百年大计，质量第一”的方针，确保基建工程质量。首先要加强基本建设的勘测设计和施工的责任，对工程应兢兢业业认真设计和施工，来不得半点马虎。当出现工程事故后，要分清是非，找出事故的真正原因，给负有经济损失责任和法律责任的责任负责者以必要的处分。这样教育肇事者和其他人，是提高土建人员责任感，提高土建队伍素质的重要措施之一。

2. 具有一定的科学价值

事故的分析总结本身具有一定的科学性，可以说明实际结构的技术状态和安全状态，哪些部位是薄弱环节，哪些部位是设计、施工容易忽略的，从中总结经验教训，从而更熟练地解决设计与施工中问题，避免和减少工程事故的发生。

3. 为国家标准提供背景材料

大量的事故分析材料，往往具有普遍的规律性，是房屋设计、施工很好的借鉴材料。制定国家标准是以客观事实为依据，房屋事故提供了很好的反面教材，所以是国家制定标准的背景材料。

1.3 一般工程事故分析处理的程序和内容

1.3.1 申报或委托

凡是重大的工程事故，施工单位无权处理，必须向上级机关和设计单位申报，扼要阐述工程事故现状和发生经过，千万不能采用掩盖的办法，使事故不断扩大或隐存后患而导至倒塌。

已建的建筑物由使用单位向有鉴定能力的单位委托鉴定，说明鉴定目的和范围。

1.3.2 成立鉴定小组

鉴定单位指派鉴定人员到现场作初步调查，明确鉴定目的和范围、内容，会同有关部门成立鉴定小组，作好鉴定准备工作，必要时尚需与委托方签订合同。

1.3.3 工程现状调查

事故出现后单听介绍是不能指出中肯的意见的。经常有人问，“该工程对安全有无问题，要不要加固”，“该建筑物现状还能使用几年”等。这些问题都是极难回答的。要解决这些疑难问题，正确方法是首先对工程现状进行调查，掌握第一手资料。有时调查还要反复进行，分为初步调查、详细调查和补充调查。调查内容有如下方面：

1. 现场查看和必要的量测、检测

主要内容有：

- (1) 现场结构布置和实际几何尺寸是否与设计图纸相符；
- (2) 安装质量和偏差是否符合有关规范的规定；
- (3) 表面缺陷的大小和位置，其中包括麻面、蜂窝、空洞、裂缝等缺陷；
- (4) 地基沉降量和沉降差；
- (5) 房屋整体倾斜、竖向结构的倾斜方向和倾斜度；
- (6) 钢筋的大小和位置是否正确，各种材料强度是否符合设计要求。