

建筑结构新规范系列培训读本

混凝土结构现场检测技术标准 理解与应用

(按GB/T 50784—2013)

彭立新 编著 邸小坛 审阅

中国建筑工业出版社

建筑结构新规范系列培训读本

混凝土结构现场检测技术标准 理解与应用

(按 GB/T 50784—2013)

彭立新 编著

邱小坛 审阅

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构现场检测技术标准理解与应用/彭立新编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2012. 8
(建筑结构新规范系列培训读本)
ISBN 978-7-112-14413-6

I. ①混… II. ①彭… III. ①混凝土结构-质量检验-标准-基
本知识 IV. ①TU37-65

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第128140号

本书依据《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784—2013 编写而成, 为了便于阅读, 章节的安排与标准基本一致, 围绕标准条文介绍相关背景知识。对于一些重点和难点问题, 给出了示例说明。书中引用了设计规范、验收规范、质量标准、鉴定标准、检测规程等标准中的相关规定, 在本书的编制过程中对相关知识也作了浅显的介绍。本书作者为标准的主要编制人员, 在书中力求用通俗的文字、形象的图标和具体的示例, 反映有关条文的背景及应用, 使读者准确理解标准的原意并在现场检测中正确应用。

* * *

责任编辑: 王 梅 刘婷婷
责任设计: 张 虹
责任校对: 党 蕾 刘 钰

建筑结构新规范系列培训读本 混凝土结构现场检测技术标准理解与应用 (按 GB/T 50784—2013)

彭立新 编著
邱小坛 审阅

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京红光制版公司制版
北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 $\frac{3}{4}$ 字数: 406 千字
2013 年 7 月第一版 2013 年 7 月第一次印刷

定价: 39.00 元

ISBN 978-7-112-14413-6
(22491)

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)

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 任务来源、编制过程及主要工作	1
1.2 编制目的和宗旨	1
1.3 本标准的主要内容及其特点	2
1.4 本书的编写方法	3
第 2 章 术语、符号	5
2.1 术语	5
2.2 符号	8
第 3 章 基本规定	9
3.1 混凝土结构的基本概念	9
3.2 混凝土结构现场检测	11
3.3 检测工作的基本程序与要求	19
3.4 检测项目和检测方法	22
3.5 检测方式与抽样方法	24
3.6 检测报告	46
第 4 章 混凝土力学性能检测	48
4.1 一般规定	48
4.2 混凝土抗压强度现场检测	48
4.3 混凝土劈裂抗拉强度检测	67
4.4 混凝土抗折强度	70
4.5 混凝土静弹性模量检测	72
4.6 缺陷与性能劣化区混凝土力学性能参数检测	75
第 5 章 混凝土长期性能和耐久性能检测	76
5.1 一般规定	76
5.2 取样法检测混凝土抗水渗透性能	79
5.3 取样法检测混凝土抗冻性能	81
5.4 抗氯离子渗透性能	85
5.5 混凝土抗硫酸盐侵蚀性能检测	87
第 6 章 有害物质含量及其作用效应检测	89
6.1 一般规定	89
6.2 氯离子含量检测	91
6.3 混凝土中碱含量检测	94
6.4 取样检验碱骨料反应的危害性	98

6.5 取样检验游离氧化钙的危害性	100
第7章 混凝土构件缺陷检测	113
7.1 一般规定	113
7.2 外观缺陷检测	113
7.3 内部缺陷检测	114
第8章 构件尺寸偏差与变形检测	145
8.1 一般规定	145
8.2 构件截面尺寸及其偏差检测	145
8.3 结构构件变形检测	148
第9章 混凝土中钢筋检测	157
9.1 一般规定	157
9.2 钢筋数量和间距检测	158
9.3 混凝土保护层厚度检测	164
9.4 混凝土中钢筋直径检测	167
9.5 混凝土中钢筋锈蚀状况检测	170
9.6 钢筋力学性能检测	181
9.7 钢筋应力状态检测	183
第10章 混凝土构件损伤检测	186
10.1 一般规定	186
10.2 火灾损伤检测	187
10.3 环境作用损伤检测	198
第11章 环境作用下剩余使用年限推定	210
11.1 一般规定	210
11.2 耐碳化剩余使用年限推定	214
11.3 耐冻融损伤剩余使用年限推定	220
第12章 结构性能荷载检验	225
12.1 一般规定	225
12.2 静载试验	226
12.3 动力测试	239

第 1 章 绪 论

1.1 任务来源、编制过程及主要工作

根据建设部建标〔2004〕67号文“关于印发《2004年工程建设标准规范制订、修订计划》的通知”和“十一五”国家科技支撑计划重大项目——“既有建筑综合改造关键技术与示范”的任务书的要求，开展《混凝土结构现场检测技术标准》的编制工作。

2005年12月在北京市召开了国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》编制组成立暨第一次工作会议，编制组成员邸小坛、彭立新、由世岐、崔士起、成勃、徐天平、濮存亭、王自强、彭尚银、张元勃、盛国赛、魏利国、王宇新、管钧参加了会议。会上讨论确定了编制工作大纲、工作安排及其他有关事宜。

根据第一次工作会议安排，编制组成员分头开展调研、收集整理资料和实验研究工作，2008年12月完成了《混凝土结构现场检测技术标准》（初稿），并于2009年1月在北京市召开了编制组第二次工作会议，对《混凝土结构现场检测技术标准》（初稿）进行讨论、修改，2009年6月底完成了标准征求意见稿，发布在国家工程建设标准信息网上并向全国百余家建筑设计、施工、监理、检测、监督管理等单位寄发广泛征求意见，收集到书面提出的修改意见共140条。2009年9月在北京市召开了编制组第三次工作会议，对汇总的反馈意见进行了认真讨论和处理，采纳和部分采纳的修改意见108条，不采纳的修改意见32条。2009年10月~2010年2月先后在黄山市、北京市和海口市主办3次由检测机构参加的研讨会，广泛听取意见，在此基础上完成标准送审稿及其他送审文件。

2010年6月在北京召开送审稿审查会，会议听取了标准编制组关于编制过程、主要技术内容及相关试验研究工作的汇报。随后，审查委员对标准送审稿进行了逐章、逐节、逐条的审查，经过认真讨论，对标准送审稿提出主要修改意见3条，建议修改意见8条。

会后，由主编单位负责修改，并经全体编制组成员确认，形成标准报批稿，2011年1月26日正式提交住房和城乡建设部标准定额司。

1.2 编制目的和宗旨

对于混凝土结构而言，无论是施工中的质量控制、竣工后的质量验收，还是服役期间的性能评定，都离不开现场检测，现场检测取得的数据和结论是工程质量验收和结构性能评定的关键依据之一。

本标准编制的目的和宗旨有以下几条：

- (1) 统一混凝土结构现场检测工作程序；
- (2) 合理选择检测方法；
- (3) 正确评价混凝土结构基本性能；
- (4) 保证检测工作质量。

1.3 本标准的主要内容及其特点

1. 本标准的主要内容

本标准是目前唯一的全面包括混凝土结构基本参数现场检测及评价方法的综合性专业技术标准,共12章7个附录,基本涵盖了混凝土结构的全部参数,主要技术内容有:

- (1) 总则;
- (2) 术语、符号;
- (3) 基本规定;
- (4) 混凝土力学性能检测;
- (5) 混凝土长期性能和耐久性能检测;
- (6) 有害物质含量及其作用效应检验;
- (7) 混凝土构件缺陷检测;
- (8) 构件尺寸偏差与变形检测;
- (9) 混凝土中的钢筋检测;
- (10) 混凝土构件损伤检测;
- (11) 环境作用下剩余使用年限推定;
- (12) 结构构件性能检验。

2. 本标准的主要特点

(1) 将混凝土结构现场检测明确区分为工程质量检测和结构性能检测两个类别,并针对不同类别的特点作出了具体的规定

本标准将混凝土结构现场检测明确区分为工程质量检测和结构性能检测两个类别:为评定混凝土结构工程质量与设计要求的符合性或施工质量验收规范规定的符合性所实施的检测,称为工程质量检测;为评估混凝土结构安全性、适用性、耐久性或抗灾害能力所实施的检测,称为结构性能检测。

工程质量检测的中心内容是符合性检查,首先需要确定用于符合性比较的参照指标,这种参照指标主要来自设计要求或施工质量验收规范规定。

本标准规定的工程质量检测仅对受检项目的符合性进行评价,不完全等同施工质量验收规范要求的合格性检验,可作为合格评定的参考依据。工程质量检测结果符合时,可建议采用设计的参数指标进行结构性能评定。

对于设计或施工质量验收规范无明确指标要求的参数或工程质量检测结果不符合时,宜进行混凝土结构性能检测。

结构性能检测的目的是提供受检参数的实测值,结构性能检测结果高于设计要求或施工质量验收规范规定时,可建议采用参数检测值或设计的参数指标进行结构性能评定;结构性能检测结果低于设计要求或施工质量验收规范规定时,应建议采用参数检测值进行结构性能评定。

(2) 参照成熟的试验室对标准试件的试验技术,增加了用于实体混凝土性能的现场检测方法,可以有效解决环境条件与标准条件的差异问题

尽管混凝土结构已有较长的使用历史,但由于其自身固有的复杂性和施工过程众多的不确定性,其质量控制的重点仍放在原材料的控制和施工中的过程控制上。基于以下原因,有必要进行现场检测。

混凝土结构性能是材料、施工和设计质量的综合体现；施工过程中的检查大部分只涉及过程控制和材料性能检测，不是结构性能检测，材料性能检测一般采用送样检测，依赖于标准条件，只能提供相对比较，如混凝土抗渗性、抗冻性、抗氯离子渗透性等试验室标准检测结果无法考虑振捣、养护等施工工艺的影响。

(3) 采用随机变量概率模型描述受检参数，运用概率统计理论进行抽样检测和参数估计，统一了检测结果的评价方法，提高了检测结果的可靠性，为规范检测工作创造了条件

《混凝土结构设计规范》GB 50010 采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标度量结构构件的可靠度，采用分项系数的设计表达式进行设计。《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 对材料性能和几何参数提出如下要求：材料强度的标准值可按其概率分布的 0.05 分位值确定；材料弹性模量、泊松比等物理性能的标准值可按其概率分布的 0.5 分位值确定；结构构件的几何参数的标准值可采用设计规定的公称值，或根据几何参数概率分布的某个分位值确定。《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 要求采用基于概率统计理论的抽样方案进行验收。

现场检测的目的是服务于工程质量验收和结构性能评定，为了保证检测结果的有效性，本标准采用随机变量概率模型描述受检参数，运用概率统计理论进行抽样检测和参数估计，统一了检测结果的评价方法，提高了检测结果的可靠性，为规范检测工作创造了条件。

(4) 与相关标准充分协调，保证了规范体系的一致性

为了保证混凝土结构的可靠性，有一整套的规范体系用于混凝土结构的可靠性控制，如设计规范、施工验收规范、产品质量标准、鉴定标准以及具体的检测技术规程等。在本标准体系中，本标准起到承上启下的作用。

由于种种原因，本标准体系中的各本标准之间有相互重叠的内容，在结构参数检测时采用的抽样方案、检测手段和评价方法也存在不一致的地方，为了保证规范体系的一致性，避免对其他标准的有效执行产生不利影响，在编制过程中与相关标准作了充分的协调。

1.4 本书的编写方法

本书是依据《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784—2013 编写的，为了便于阅读，章节的安排与标准基本一致。尽管如此，本书不是对标准逐条逐句解释，而是围绕标准条文介绍相关背景知识。对于一些重点和难点问题，书中给出了示例说明，这些示例大都来自于工程检测实例，出于保护相关各方利益的目的，实例中隐去了工程的相关背景资料。同时，由于篇幅限制，对检测过程和数据也作了一些节选。

由于与本标准相关的专业领域广泛，涉及设计、生产、施工、仪器设备以及质量管理等专业中的基本概念和理论知识，本标准引用了设计规范、验收规范、质量标准、鉴定标准、检测规程等标准中的相关规定，因此，在本书的编制过程中对相关知识也做了浅显的介绍，更多的内容可参阅其他专著。

作为标准的主要编制人员，笔者力求用通俗的文字、形象的图表和具体的示例，反映有关条文的背景及应用，使读者准确理解标准的原意并在现场检测中正确应用。限于笔者水平，对标准条文的理解和诠释不一定能彻底、准确，甚至会存在某些偏差，请读者批评

指正。

标准本身也可能存在一些不足之处,需要不断总结经验,从而得到改进。关于本标准的正式解释或执行过程中对标准的意见和建议,请与主编单位中国建筑科学研究院联系。

在本书的编写过程中,标准编制组提供了大量的素材和宝贵意见,国家建筑工程质量监督检验中心黄选明、杨旭东、姜殿成、徐骋、张彬彬、翟传明、王景贤等提供了应用实例和相关研究报告。

本书还汇集了众多专家学者的研究成果,引用了大量公开发表的文献,有些文献出处无法在参考文献里一一列出,笔者在此表示感谢。

第2章 术语、符号

混凝土结构现场检测目的是为混凝土结构性能鉴定和工程质量评定工作提供数据和其他信息，为了规范检测成果的表达方式，便于使用者准确理解和正确应用，本标准对术语和符号进行了定义。

本标准中的术语，除了与有关标准协调外，多数仅从本标准的角度赋予其涵义。

术语在本标准的各章中反复出现，为了方便阅读，主要术语在本章集中进行介绍，后续各章除特别补充说明外，应参照本章使用。

2.1 术语

2.1.1 混凝土结构现场检测

【定义】 对混凝土结构实体实施的原位检验、检查和从混凝土结构实体取样及对该样品进行的测试、分析，本标准中简称为现场检测。

【释义】 现场检测的对象是结构实体，检测包括以下三个方面的内容：

(1) 对混凝土结构实体实施的原位检验、检查

原位检测是现场检测最主要的工作内容，包括抽样、标识、数据采集和记录等内容。一般需采用检测仪器取得数据，有些情况下也可根据观察结果得到相关检测结论。

(2) 从混凝土结构实体取样

有些测试项目尚无可靠的现场原位检测方法，需要通过取样检测。不同于一般的取样，从混凝土结构实体取样存在一些特殊性，其重点是样本的代表性。

(3) 在试验室对该现场取得的样品进行测试、分析

对该现场取得的样品可参考标准试验方法进行测试、分析。

2.1.2 混凝土结构工程质量检测

【定义】 为评定混凝土结构工程质量与设计要求的符合性或施工质量验收规范规定的符合性所实施的检测，本标准中简称为工程质量检测。

【释义】 工程质量检测的中心内容是符合性检查，首先需要确定用于符合性比较的参照指标，这种参照指标主要来自设计要求或施工质量验收规范规定。

本标准规定的工程质量检测仅对受检项目的符合性进行评价，不完全等同于施工质量验收规范要求的合格性检验。对于性能受时效影响的一些参数，检测结果仅作为合格评定的参考依据。

工程质量检测结果符合时，可建议采用设计的参数指标进行结构性能评定；工程质量检测结果不符合时，宜进行混凝土结构性能检测，可建议采用参数推定值进行结构性能评定。

2.1.3 混凝土结构性能检测

【定义】 为评估混凝土结构安全性、适用性、耐久性或抗灾害能力所实施的检测，本标准中简称为结构性能检测。

【释义】 结构性能检测的目的是提供受检参数的实测值。结构性能检测结果高于设计

要求或施工质量验收规范规定时,可建议采用参数检测值或原设计参数指标进行结构性能评定;结构性能检测结果低于设计要求或施工质量验收规范规定时,应建议采用参数检测值进行结构性能评定。

对于设计或施工质量验收规范无明确指标要求的参数,应进行混凝土结构性能检测。

2.1.4 荷载检验

【定义】 以检验构件的承载力、刚度、抗裂性或裂缝宽度以及结构的自振频率、阻尼、振型等参数为目的所实施的检测。

【释义】 荷载检验包括静载试验和动力测试两个方面的内容。

静载试验检测在静载作用下构件控制截面的应变、挠度、裂缝变化等,通过试验数据分析,达到下列目的:

(1) 检验构件的承载力、刚度、抗裂性或裂缝宽度等指标是否符合设计或相关规范规定;

(2) 检验构件的荷载-挠度、荷载-应变等关系是否符合设计要求;

(3) 控制受检构件的使用条件。

动力测试检验结构(或构件)的自振频率、阻尼、振型以及动力反应等参数,达到下列目的:

(1) 检验结构(或构件)的模态参数是否符合设计要求,间接判断结构(或构件)的状态或性能;

(2) 检验结构(或构件)的在动力荷载作用下的反应(动位移、速度、加速度)是否符合设计或相关规范规定。

2.1.5 复检

【定义】 为验证检测数据的有效性,对已受检的构件或区域再次采用相同的检测方法进行的检测或采用相同的试验方法对该样品或同类样品再次进行的检测。

【释义】 本术语专指验证检测数据重复性的复检,检测方法自身的适用性应通过对比试验等方式确认。对于破坏性试验,应对留存的或重新取得的同类样品按照同一种试验方法进行检测。

2.1.6 补充检测

【定义】 经分析、整理认为需要进一步补充数据时所实施的检测。

【释义】 检测前受检参数的实际情况是未知的,在数据分析和处理中可能出现需要补充数据的情况。当出现下列情况时,应进行补充检测:

(1) 异常数据处理后导致样本数量不能满足标准要求;

(2) 其他需要补充检测的情况。

(3) 补充检测得到的数据可与原检测数据合并处理。

2.1.7 重新检测

【定义】 不计入既有的检测数据和结果,以新的检测数据和结果为准的现场检测。

【释义】 由于检测中的失误导致检测数据失效或其他原因导致检测结果不被接受时,需要重新检测。重新检测一般由另一家检测单位实施;无异议时,也可由原检测单位实施。重新检测可以采用不同的检测方法,得到的数据不应与原检测数据合并处理。

2.1.8 直接测试方法

【定义】直接获得待测参数值的检测方法，本标准中简称为直接法。

【释义】不需要通过其他物理量转换直接得到待测参数值的测试方法称为直接测试方法。直接测试方法概念明确、结果直观，例如，用卷尺量测构件截面尺寸、用百分表测量构件变形、用游标卡尺量测裂缝宽度、用钻芯法检测混凝土抗压强度等。

2.1.9 间接测试方法

【定义】利用间接的物理量并经换算关系获得待测参数值的检测方法，本标准中简称为间接法。

【释义】间接测试方法不是直接获得待测参数值，而是测量相关的物理量，通过一定的换算关系得到待测参数值，例如，回弹法检测混凝土抗压强度、超声法检测混凝土内部缺陷等。由于同时存在测试过程不确定性和换算关系不确定性，检测结果一般需要通过直接法修正或经过直接法验证。

2.1.10 检验批

【定义】由检测项目相同、质量要求和生产工艺等基本相同、环境条件或损伤程度相近的一定数量构件或区域构成的检测对象，本标准中简称为总体。

【释义】现场检测常遇到的是批量检测，即通过样本数据确定或评估检验批总体质量状况和性能指标。实现批量检测的前提之一是正确划分检验批，同一检验批中受检参数的实际值应是相近的，不能正确划分检验批将导致推定结果没有代表性或推定结果明显偏低。

不同于工厂生产的产品，结构实体中检验批要根据结构实际情况、既有信息和检测的具体要求进行划分，本标准对检验批的划分只作原则性的规定。

2.1.11 个体

【定义】可以单独取得一个检验或检测数据的区域或构件。

【释义】现场检测时个体一般指测点或测区，当可用一个数值表示构件受检参数检测值时，个体也可以为构件。如以构件上各测点混凝土保护层厚度的平均值作为该构件混凝土保护层厚度检测值时，可以把该构件作为一个个体。

2.1.12 换算值

【定义】在按认可的试验方法建立间接物理量与待测参数之间或者非标准状态与标准状态待测参数之间的换算关系基础上获得的待测参数值。

【释义】间接测试方法的原理是在间接物理量与待测参数之间的换算关系基础上获得待测参数值，如回弹法检测混凝土强度是根据测区回弹值通过换算曲线得到测区混凝土抗压强度换算值。为便于比较和判断，非标准试件的检测结果也有必要换算成标准试件的检测结果。

2.1.13 推定值

【定义】对样本中每个个体的检测值进行统计分析并应用一定的规则得到的代表检验批总体性能的统计值。

【释义】一般而言，推定值是与置信水平相关的，因此，推定值是一个区间。由于样本数量的限制和习惯做法，为与相关标准协调，本标准中也存在以样本均值或样本最小值作为总体推定值的规定。

2.1.14 随机抽样

【定义】使检验批中每个个体具有相同被抽检概率的抽样方法。

【释义】通过样本数据确定或评估检验批总体质量状况和性能指标时，应采用随机抽样。

2.1.15 约定抽样

【定义】由委托方指定且不满足随机抽样原则的样本抽取方法。约定抽样检测时，不宜根据约定抽样的样本数据推定总体性能参数值。

【释义】由于条件限制或出于特定的检测目的，由委托方确定或由委托方与检测方协商确定的样本抽取方法。约定抽样检测时，应注明抽样方案的形成过程并提供每个受检个体的检测数据，不宜根据样本数据推定总体性能参数值。有时，约定抽样隐含着对总体进行评价，如选择损伤最严重的构件进行静载检验。

2.1.16 分层抽样

【定义】首先在检验批中抽取区域或构件，然后在抽取的区域或构件上按规定的要求布置测区的抽样方法。

【释义】分层抽样是随机抽样的一种类型，可以更好地保证样本的代表性。分层抽样先抽取一级样本（构件），再抽取次级样本（测区），此时总的样本量为次级样本量之和。

2.1.17 计数抽样方案

【定义】以样本中个体不合格数或不合格点的数量对检验批总体的符合性做出判定的抽样方案。

【释义】计数抽样方案一般用于符合性检验，该方案不要求待测参数服从正态分布，且概念明确、易于理解，但不能提供待测参数的具体指标，如均值、变异系数。

2.1.18 计量抽样方案

【定义】以样本中各个体数据的统计量对检验批总体的符合性做出判定或对检验批总体参数进行推定的抽样方案。

【释义】本标准中的计量抽样方案严格意义上属于统计估值，即以检验批样本数据的统计量对检验批总体性能指标进行推定，要求待测参数服从正态分布。

2.1.19 分位数

【定义】与随机变量分布函数的某一概率相对应的值，常用的分位数有0.5分位和0.05分位数。

【释义】《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068对材料性能和几何参数提出如下要求：材料强度的标准值可按其概率分布的0.05分位值确定。材料弹性模量、泊松比等物理性能的标准值可按其概率分布的0.5分位值确定。结构构件的几何参数的标准值可采用设计规定的公称值，或根据几何参数概率分布的某个分位值确定。对于正态分布，0.5分位数对应的数值在概念上与均值相同，0.05分位数对应的数值在概念上与具有95%保证率的特征值相同。

2.2 符号

本标准中的符号符合《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083的规定。

第3章 基 本 规 定

本章是本标准的重点和难点，在本章中对混凝土结构现场检测应遵循的基本原则做出统一规定，后续各章具体项目的检测，除另有规定外，都应遵照本章的条文规定。

本章中抽样检测，涉及大量概率与数理统计知识，本章只作简单介绍，读者可参阅相关文献。

3.1 混凝土结构的基本概念

顾名思义，《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 针对的是混凝土结构实体，包括在建混凝土结构和服役混凝土结构，采用的方法是现场取样和现场检测，检测的目的是为评定混凝土结构工程质量和评估混凝土结构性能提供数据。有鉴于此，有必要首先对相关基本概念和背景知识作一简单介绍。

3.1.1 混凝土结构的特点

以混凝土为主制成的结构称为混凝土结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构三种基本类型。作为工程结构中最重要结构形式，混凝土结构在工业与民用建筑、道路、桥梁、港口、水利水电等工程领域得到广泛的应用。

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种物理—力学性能完全不同的材料组成的复合材料，混凝土抗压强度较强而抗拉强度很低，钢材抗压强度和抗拉强度都很强，但存在锈蚀问题和稳定性的问题，把混凝土和钢材结合在一起共同工作，可以取长补短、充分发挥各自的优点，以满足工程结构的使用需要。

钢筋和混凝土这两种性质不同的材料之所以能有效地结合在一起共同工作，主要是由于混凝土硬化后，在钢筋和混凝土之间产生良好的粘结作用，使两者可靠地结合在一起，保证在外部作用下，钢筋与相邻的混凝土共同变形、相互传力。另外，钢筋和混凝土这两种材料的温度线膨胀系数接近，当温度变化时不致产生较大的温度应力从而破坏两者之间的粘结。

混凝土结构具有如下特点：

1. 就地取材，经济方便

混凝土结构的主要原材料是混凝土，生产混凝土的砂、石、水泥等原材料，一般都能实现就地取材，工业废料产出较多的地方，还可以变废为宝，保护环境。由于原材料来源广泛、品种繁杂，性能差异大，混凝土质量控制难度较大。

2. 结构性能变异性大

新拌混凝土具有可塑性，可以根据需要浇筑成各种尺寸和形状的构件。混凝土结构的大部分工作都是在现场完成，一般需要经过模板安装、钢筋布置、混凝土搅拌、浇筑、振捣、养护等多道工序才能最终完成。由于工艺环节多、施工水平参差不齐，混凝土结构的质量存在较大的不确定性。

3. 质量缺陷不易发现

混凝土结构性能是材料质量和施工质量的综合体现，基于标准试验方法在试验室对材

料质量进行控制只是质量控制中的一个环节。混凝土结构施工过程中有很多隐蔽工程,在已完工的混凝土结构中,钢筋包裹在混凝土中,钢筋规格尺寸、连接构造、锈蚀状态等难以检查;混凝土内部可能存在的疏松、孔洞等不密实区,也难以发现。

4. 结构性能退化机理复杂

不同于钢结构、木结构这类单一材料结构,混凝土结构是一种复合材料结构,影响材料性能的不确定因素众多,结构性能退化机理复杂,常常涉及多因素共同作用。

5. 构件置换困难

混凝土结构中的构件体量大、节点构造复杂,一旦出现质量问题或性能退化,置换困难。

3.1.2 混凝土结构性能

混凝土结构在服役期间应满足安全性、适用性和耐久性的要求。具体地说,混凝土结构应满足下列功能要求:

- (1) 能承受在施工和使用期间可能出现的各种作用;
- (2) 保持良好的使用性能;
- (3) 具有足够的耐久性能;
- (4) 当发生火灾时,在规定的时间内可保持足够的承载力;
- (5) 当发生爆炸、撞击、人为错误等偶然事件时,结构能保持必需的整体稳固性,不出现与起因不相称的破坏后果,防止出现结构的连续倒塌。

1. 混凝土结构状态

混凝土结构性能表现为结构的状态,在施工和服役过程中,结构是以可靠(安全、适用、耐久)和失效(不安全、不适用、不耐久)两种状态存在的。结构呈现什么状态归根结底是由作用与抗力的相互关系决定的。结构的状态可用结构的功能函数表示,结构的功能函数定义为:

$$Z = g(R, S) = R - S \begin{cases} < 0 & \text{失效状态} \\ = 0 & \text{极限状态} \\ > 0 & \text{可靠状态} \end{cases} \quad (3-1)$$

式中 $g(R, S)$ ——结构功能函数;

R ——结构抗力,由混凝土强度、钢筋强度、截面尺寸等随机变量组成的复合随机变量,一般服从对数正态分布;

S ——作用效应,恒载、活载及地震作用及其组合,一般服从极值分布。

当抗力大于作用效应时,结构呈现可靠状态;当抗力小于作用效应时,结构呈现失效状态。为了确定结构的工作状态,必须明确规定结构可靠和失效的界限,整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求,此特定状态为该功能的极限状态。《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定了两种极限状态,即正常使用极限状态和承载能力极限状态。

2. 决定混凝土结构状态的参数

对于一个结构而言,只要抗力大于作用效应,结构就是可靠的,看起来似乎很简单,其实不然。结构在设计、施工和使用过程中存在种种不确定因素,导致作用效应 S 和抗力 R 都是随机变量,无法准确知道其精确值,只能采用统计值。因此,在判断结构是否可靠

时,不能用一个简单的“是”或“否”来衡量,必须采用以概率形式为基础的可靠指标来表达。

《混凝土结构设计规范》GB 50010 采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,采用分项系数的设计表达式进行设计。

$$\gamma_0 S \leq R \quad (3-2)$$

$$R = R(f_c, f_s, a_k, \dots) \quad (3-3)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数;

S ——承载能力极限状态的荷载效应组合的设计值;

R ——结构构件的承载力设计值。

从式(3-2)和式(3-3)可以看出,决定混凝土结构状态的基本参数分为两大类,即作用效应 S 和抗力 R 。作用效应一般由自然作用引起,如重力荷载、风荷载、地震作用、温度作用等,作用效应 S 由荷载规范或其他专业设计规范确定,而抗力 R 是材料性能、几何尺寸、构造措施的函数,是设计质量和施工质量的综合体现。

3. 混凝土结构性能的形成

对一个具体的混凝土结构而言,其应具有的性能和实现该性能应具备的条件是由设计决定的,设计文件中一般都提出了具体的要求,如混凝土强度等级、钢筋用量、保护层厚度、构件截面尺寸等。施工单位负责实现这些条件,通过各种技术手段使得结构的各个参数满足设计要求。简单地说,混凝土结构性能孕育于设计中,形成于施工中,两者相辅相成,缺一不可。

4. 混凝土结构质量控制体系

产品优劣程度是用质量来表征的,所谓质量是产品所具有的性能和功能及所具有显著特点的总和。质量控制就是通过适当的设计、精心选择原材料和生产工艺、合理控制生产过程中的每一道工序,以便稳定实现事先规定好的质量水平。

混凝土结构质量控制从狭义上讲,是施工质量的控制,如砂、石、水泥等原材料质量控制、混凝土质量控制以及施工过程中各分项工程的质量控制;从广义上讲,还包括设计质量的控制和对用户满意程度的估计。

质量控制离不开标准规范,其中产品质量标准、施工验收规范和检测技术标准起到关键的作用。为了保证混凝土结构工程质量,我国已颁布实施了一系列与混凝土结构工程相关的标准,形成了较为完整的混凝土结构工程质量控制体系。

3.2 混凝土结构现场检测

3.2.1 混凝土结构实现设计预期性能应具备的条件

混凝土结构要实现设计预期的性能要求,必须满足以下条件:

- (1) 结构所处的环境条件与设计预期的环境条件基本一致;
- (2) 结构承受的作用效应与设计预期的作用效应基本一致;
- (3) 材料性能和预制构件性能满足相关产品质量要求;
- (4) 施工质量满足相关施工质量验收规范要求;
- (5) 混凝土和钢筋的长期性能变化忽略不计。

由此可见,对于一个具体的混凝土结构,设计预期的性能指标与其实际具有的性能指

标之间必然存在一定的差别,如何控制和确认这种差别,依赖于现场检测数据。

3.2.2 开展现场检测的必要性

基于以下原因,有必要开展混凝土结构的现场检测:

1. 施工中的检测属于过程控制,是材料质量验收,不是工程质量验收

尽管混凝土结构已有较长的使用历史,但由于其自身固有的复杂性和施工过程中众多的不确定性,其质量控制的重点仍放在原材料的控制和生产中的过程控制上。混凝土结构性能是材料、施工和设计质量的综合体现;施工过程中的检查大部分只涉及过程控制和材料性能检测,不是结构性能检测,例如,浇筑混凝土前对钢筋工程的检查就无法考虑浇筑混凝土对钢筋位置的扰动,材料性能检测一般采用试件检测,依赖于标准条件,只能提供相对比较。

2. 混凝土结构性能随时间变化存在衰减过程

随着服役时间的增加,混凝土结构性能会出现自然劣化现象(如混凝土碳化、钢筋锈蚀等),在服役期内,也可能遭受各种损伤(如火灾、化学腐蚀等)。对于劣化和损伤的混凝土结构来说,只有通过现场检测,才能得到材料强度等结构参数的实际值。

3. 有些结构性能参数既不能试验室检测,也不能通过模型分析得到

随着计算理论的发展和手段的改进,混凝土结构的变形、内力等可以通过计算分析,分析模型的建立依赖于一些假设条件,假设的合理性决定着分析结果的可靠性,分析结果的可靠性往往需要通过现场检测进行验证。有些结构性能参数如阻尼、填充墙对钢筋混凝土框架刚度的影响等既不能试验室检测,也不能通过模型分析得到,仍依赖于现场实测。

4. 具体结构的特殊性

由于环境条件的不同、设计和施工水平的差异,任何一个混凝土结构都有其自身的特殊性。设计规范中的结构参数取值都是基于统计意义上的某个分位值,截面抗力设计表达式也是来源于试验数据的回归分析,如《混凝土结构设计规范》GB 50010 确定混凝土强度分项系数时,假定混凝土强度的变异系数为全国平均质量水平时的变异系数,而质量控制较好的工程,其混凝土强度的变异系数可能远小于该值。

5. 标准规范的持续改进

标准规范是既有经验的总结,由于人们认识的局限性,标准规范必然存在一些不足,现场实测是标准规范修订的重要手段之一。

3.2.3 混凝土结构现场检测的目的

混凝土结构现场检测的目的可以分为两种:一是用于结构工程的验收,包括分项工程、分部工程和单位工程的竣工验收等,检测时必须满足产品质量标准、施工验收规范和相关设计文件的要求;二是用于结构性能的鉴定,包括可靠性鉴定、抗震鉴定、危房鉴定以及各种损伤和事故的鉴定,检测时必须满足相应鉴定目的的要求。归根到底,现场检测的目的是保证结构的可靠性。

混凝土结构性能的优劣是设计水平和施工水平的综合体现,即混凝土结构工程质量是干出来的,而不是检测出来的,检测的目的只是准确反映混凝土结构的真实状况。因此,现场检测不能替代既有的混凝土结构工程质量控制体系,而只能作为其补充。