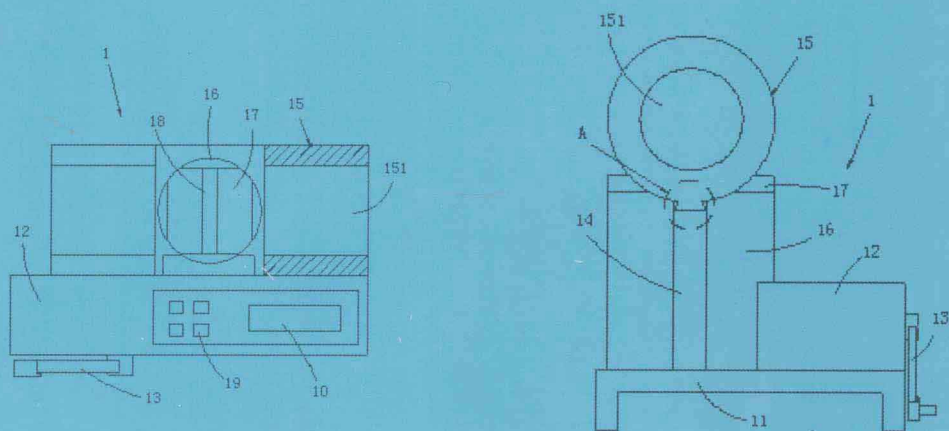


《高强混凝土强度检测技术规程》 实施指南及检测新技术

王文明 张荣成 编著



中国建筑工业出版社

《高强混凝土强度检测技术规程》 实施指南及检测新技术

王文明 张荣成 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

《高强混凝土强度检测技术规程》实施指南及检测新技术/王文明, 张荣成编著. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-112-15991-8

I. ①高… II. ①王… ②张… III. ①高强混凝土-混凝土强度-检测-技术操作规程 IV. ①TU528.07-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 246077 号

该书围绕最新行业标准《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T 294—2013 的内容展开, 汇集了高强混凝土抗压强度检测相关领域的最新技术和研究成果。涵盖了高强混凝土抗压强度检测应用技术的各个方面以及新技术的发展。

本书既可作为《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T 294—2013 的应用读本, 又可作为高强混凝土抗压强度检测技术的工具书, 可供设计、施工、监理、质量监督和检测等单位工程技术人员及高校土建专业师生参考使用。

* * *

责任编辑: 岳建光 王砾瑶

责任设计: 董建平

责任校对: 姜小莲 刘梦然

《高强混凝土强度检测技术规程》

实施指南及检测新技术

王文明 张荣成 编著

*

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

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15½ 字数: 384 千字

2014 年 1 月第一版 2014 年 1 月第一次印刷

定价: 42.00 元

ISBN 978-7-112-15991-8

(24786)

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)

前 言

混凝土工程质量检测工作一直受到业内人士的重视与关注，随着混凝土技术的不断发展，高强混凝土也逐步应用于各种工程建设项目，成为一种较为广泛的建筑结构材料，尤其在高层建筑中应用最多。高强混凝土的质量，直接关系到建（构）筑物尤其是高层建筑的结构安全，关系到千家万户的生命财产安全。2013年5月29日发布，12月1日实施的《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T 294—2013，是由中国建筑科学研究院会同有关单位根据原建设部《关于印发〈二〇〇二～二〇〇三年度工程建设城建、建工行业标准制订、修订计划〉的通知》（建标〔2003〕104号）的要求制订的最新行业标准，是目前我国在高强混凝土检测方面最新而且是唯一的一个国家行业标准。对于指导我国高强混凝土强度检测工作具有重大意义，是具有重大创新性的技术标准。其中涉及的很多技术条文和编制内容，迫切需要广大工程检测人员的正确理解和掌握。

为促进《高强混凝土强度检测技术规程》的贯彻实施，推动我国高强混凝土质量检测技术的应用与发展，探讨解决高强混凝土质量检测鉴定中的疑难问题，我们编著了《高强混凝土强度检测技术规程》实施指南及检测新技术一书。该书围绕最新行业标准《高强混凝土强度检测技术规程》的内容展开，汇集了高强混凝土抗压强度检测相关领域的最新技术和研究成果，涵盖了高强混凝土抗压强度检测应用技术的各个方面。针对实际应用的需要，对《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T 294—2013条文进行深度阐述和解析。本书既阐明高强混凝土抗压强度现场测试技术、数据分析技术、强度推定技术，又论述各检测仪器的构造、原理、检定方法、相关检测标准等内容；既是高强混凝土抗压强度检测技术研究应用结果的总结，又是对现行最新的高强混凝土抗压强度相关测试和仪器检定标准的解释和说明。本书的出版，既填补了目前图书市场的空白，也非常迎合广大工程检测人员的实际需求，特色突出，针对性强，指导性好，可为读者提供第一手的技术资料和实用的技术指导。

本书从基本检测方法、研究应用过程、仪器设备的计量检定、混凝土强度检测的影响因素、高强混凝土测强曲线的建立、检测技术及数据处理、构件混凝土强度检测及计算举例等方面，全面系统地阐述高强混凝土强度检测技术。书中通过介绍有关编制审查背景，结合现行的国家计量检定规程《回弹仪》JJG 817—2011，重点介绍了高强混凝土检测的两种方法和《高强混凝土强度检测技术规程》中列入的两种不同规格的高强回弹仪，以供在工程检测鉴定时参考。

同时，本书对未列入规范、处于发展中的抗折法、抗剪法、直拔法（即拉脱法、拉拔

法)等新技术和某些特殊条件下的检测问题的原理和方法也进行了介绍;对工程应用中提出的大量疑难问题如仪器的选用、操作、计量检定、常见故障与排除方法等也作了简要释义,以供广大工程技术人员参考应用。

本书强调理论与实践相结合,增加具体工程案例分析,提供实战技术指导,旨在提高相关质量技术人员对规程的理解和实际应用能力。本书既是《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T 294—2013 的应用读本,又是高强混凝土抗压强度检测技术的工具书,可供设计、施工、监理、质量监督和检测等单位工程技术人员及高校土建专业师生参考使用。

本书编者

2013 年 9 月 20 日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 标准制订背景	1
1.2 制订工作过程及所做的主要工作	1
1.3 拟定的主要编制内容及进度计划	2
1.4 编制工作最终成果	5
第 2 章 高强混凝土强度检测技术	7
2.1 回弹法检测高强混凝土强度技术	7
2.2 超声回弹综合法检测高强混凝土强度技术	14
第 3 章 高强混凝土强度检测的仪器	21
3.1 高强回弹仪	21
3.2 混凝土超声仪	27
3.3 高强回弹仪、超声仪的构造及工作原理	27
3.4 影响回弹仪、超声仪检测性能的主要因素	28
3.5 高强回弹仪的率定	30
3.6 高强回弹仪的操作、校验及维护保养	31
3.7 高强回弹仪的常见故障及排除方法	32
3.8 混凝土超声波检测仪校验检定和保养	34
3.9 超声仪的常见故障及排除方法	35
3.10 超声仪故障检查的基本原则	36
第 4 章 高强回弹仪的计量检定	37
4.1 高强回弹仪检定的意义	37
4.2 高强回弹仪的检定周期及技术要求	37
4.3 高强回弹仪的检定项目及技术要求	38
4.4 回弹仪检定（校准）有关规定及高强回弹仪 检定（校准）方法	39
第 5 章 回弹法检测混凝土强度的影响因素	51
5.1 原材料	51
5.2 外加剂	52

5.3	成型方法	52
5.4	养护方法及湿度	53
5.5	碳化及龄期	53
5.6	模板和脱模剂	54
5.7	混凝土分层泌水现象	54
第6章	高强混凝土检测用超声仪的校准	55
6.1	概述	55
6.2	超声仪校准的意义和校准周期	55
6.3	超声仪的校准项目和自校方法	56
第7章	高强混凝土测强曲线的建立	57
7.1	测强曲线的分类及形式	57
7.2	专用测强曲线	57
7.3	统一测强曲线	61
第8章	高强混凝土强度检测技术及数据分析处理	62
8.1	检测技术	62
8.2	数据的分析和处理	63
第9章	高强混凝土强度检测及计算实例	66
9.1	回弹法检测高强混凝土强度实例	66
9.2	超声回弹综合法检测高强混凝土强度实例	70
第10章	混凝土强度检测新技术	74
10.1	概述	74
10.2	抗折法技术	75
10.3	直拔法技术	85
10.4	抗剪法技术	104
附录1	中华人民共和国行业标准《高强混凝土强度检测技术规程》 JGJ/T 294—2013	113
附录2	高强混凝土回弹仪检测精度比对结果	165
附录3	中华人民共和国国家计量检定规程《回弹仪》JJG 817—2011	170
附录4	中国工程建设标准化协会标准《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》 CECS 02: 2005	181
附录5	国际标准化组织标准《混凝土试验——第7部分：硬化混凝土的无损试验》 ISO 1920-7-2004	224
附录6	英国标准《结构用混凝土试验——第2部分：无损检测——回弹值的测定》	

目 录

BS EN 12504—2—2001	230
附录 7 美国材料试验协会标准《硬化混凝土回弹值检测方法》	
ASTM C805/C805M-08	234
参考文献	239

第1章 绪 论

1.1 标准制订背景

高强混凝土的特点是强度高、变形小、耐久性好,能适应现代工程结构向高耸、大跨和重载方向发展。能承受恶劣环境的条件,应用中有较好的综合经济效益。由于其具有优良性能,被广泛用于露天、海水和地下环境下的桥梁、港口、隧道等重要基础设施工程及高层建筑等,是新一代土建结构材料。中国土木工程学会高强与高性能混凝土委员会曾定义强度等级等于或超过 C50 的混凝土为高强混凝土。建设部为了普及高强混凝土的应用,也将 C50~C80 级泵送混凝土施工列为“八五”、“九五”的重点推广项目。在这种背景下,为混凝土无损检测技术领域提出了一个新的课题,即如何用非破损方法检测硬化后的高强混凝土强度问题。

目前我国常用的无损检测混凝土强度方面的标准有:《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23—2011、《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》CECS 02:2005 等。但是,这些标准均以普通强度等级的混凝土为检测对象。大量实践证明:现行的无损检测混凝土强度技术标准不适用于检测高强混凝土强度。

在上述背景下,2003 年 5 月 15 日建设部下发了关于印发《二〇〇二~二〇〇三年度工程建设城建、建工行业标准制订、修订计划》(建标[2003]104 号)的通知。该计划第 1 项,要求“对 C50 及以上强度等级的建筑物和构筑物的混凝土的强度检测”制订“高强混凝土强度检测技术规程”。由中国建筑科学研究院会同沈阳市建设工程质量检测中心、山西省建筑科学研究院、广西建筑科学研究设计院、贵州中建建筑科学研究设计院、中山市建筑工程质量检测中心、重庆建筑科学研究院、甘肃省建筑科学研究院、河北省建筑科学研究院、深圳市建设工程质量检测中心和山东省建筑科学研究院组成了标准制订编制组。经过广泛调查研究、分析和总结工程实践情况、结合新材料新工艺的特点,进行了大量的试验研究,找到了测试精度满足要求的回弹法及超声回弹综合法检测高强混凝土强度的测强曲线,经过工程验证等工作后,编制组编制了《高强混凝土强度检测技术规程》初稿,并于 2009 年 5~6 月在全国范围征求了意见。编制组根据所征求的意见,对“初稿”进行了修改,于 2009 年 7 月完成送审稿。

1.2 制订工作过程及所做的主要工作

《高强混凝土强度检测技术规程》编制组第一次工作会议于 2003 年 9 月 8~11 日在广东省中山市召开。会议由建设部建筑工程标准技术归口单位戎君明主持。

建设部标准定额研究所陈国义处长宣布了《高强混凝土强度检测技术规程》编制组参编单位及人员名单,并对《高强混凝土强度检测技术规程》的编制提出了要求:作为标准要具有科学性、可操作性、适用性、协调性,要求编制组各成员单位通力协作,按总体分

工安排完成编制工作。主编单位张荣成高级工程师介绍了该规程编制的技术背景及相关技术动态。与会的编制组成员对《高强混凝土强度检测技术规程》编制大纲、统一试验方法等进行了热烈的讨论。这次工作会议在中山市建设局及所属中山市建设工程质量检测中心大力协助下,获得圆满成功。经过编制组的认真讨论,确定了《高强混凝土强度检测技术规程》(以下简称《规程》)编制内容、编制进度及编制组各成员单位分工等项目。

1.3 拟定的主要编制内容及进度计划

1.3.1 拟定的主要编制内容

拟定的主要编制内容包含7章及附录和条文说明。7章主要包含:总则、术语和符号、基本规定、后装拔出法、针贯入法、超声回弹综合法及回弹法。

1.3.2 编制总体进度

2003年9月召开编制组第一次会议,编制组成立,讨论《规程》编制大纲、补充试验内容,明确各编制单位分工及总体进度为:

2003年10月做好统一试验方法细则,对试验人员进行统一试验操作培训;

2003年11月编制组各单位开始进行补充试验;

2004年7月召开编制组第二次会议,汇总各编制单位的试验结果和负责的《规程》编写内容,讨论其内容,形成《高强混凝土强度检测技术规程》初稿;

2004年11月召开编制组第三次会议,进行编制组内部技术交流,协调工作进度;对《规程》初稿作进一步讨论,形成《规程》征求意见稿;

2004年11月~2005年2月向全国相关单位征求对《规程》征求意见稿的意见;

2005年3月召开编制组第四次会议,继续汇总各编制单位的后续试验结果,根据全国各有关单位对征求意见稿的意见,修改《规程》征求意见稿;

2005年11月建设部组织召开《规程》审查会;

2005年12月完成《规程》报批稿。

注:在该课题进行过程中,根据各参编单位的具体工作进度,开会时间内容等可能会做适当调整。

各单位具体分工、工作进度及技术要求

表 1-1

负责单位	承担的工作	技术要求	进 度
中国建筑 科学研究院 建筑工程检 测中心	1. 组织协调、控制课题进度		
	2. 四种试验方法的统一培训		2003年10月完成
	3. 进行补充试验	按内部技术约定	2003年11月~ 2005年10月进行
	4. 负责《规程》初稿内容的编写	提出初稿	2004年7月完成
	5. 统计分析组内全部试验数据	提出各方法测强曲线	2005年10月完成
	6. 编写《规程》征求意见稿	提出征求意见稿	2004年11月完成
	7. 在全国征求意见	收集意见	2004年11月~ 2005年2月进行
	8. 完善《规程》正文和条文说明	提出正文和条文说明	2005年9月完成
	9. 编写送审稿	符合规定格式要求	2005年10月完成
	10. 编写报批稿	符合规定格式要求	2005年12月完成

1.3 拟定的主要编制内容及进度计划

续表			
负责单位	承担的工作	技术要求	进 度
沈阳市建设工程质量检测中心	1. 进行四种检测方法的补充试验	按编制组内部技术约定, 每三个月向主编单位提供一次新的试验数据	2003 年 11 月~ 2005 年 10 月进行
	2. 负责《规程》中“针贯入法”部分的初稿编写工作	提出初稿	2004 年 5 月完成
	3. 完善“针贯入法”正文和条文说明	提出正文和条文说明	2005 年 8 月完成
山西省建筑科学研究院	1. 进行四种检测方法的补充试验	按编制组内部技术约定, 每三个月向主编单位提供一次新的试验数据	2003 年 11 月~ 2005 年 10 月进行
	2. 负责《规程》中“回弹法”部分的初稿编写工作	提出初稿	2004 年 5 月完成
	3. 完善“回弹法”正文和条文说明	提出正文和条文说明	2005 年 8 月完成
广西建筑科学研究设计院	1. 进行四种检测方法的补充试验	按编制组内部技术约定, 每三个月向主编单位提供一次新的试验数据	2003 年 11 月~ 2005 年 10 月进行
	2. 负责《规程》中“超声回弹综合法”部分的初稿编写工作	提出初稿	2004 年 5 月完成
	3. 完善“超声回弹综合法”正文和条文说明	提出正文和条文说明	2005 年 8 月完成
贵州中建建筑科学研究设计院	1. 进行四种检测方法的补充试验	按编制组内部技术约定, 每三个月向主编单位提供一次新的试验数据	2003 年 11 月~ 2005 年 10 月进行
	2. 负责《规程》中“超声回弹综合法”部分的初稿编写工作	提出初稿	2004 年 5 月完成
	3. 完善“超声回弹综合法”正文和条文说明	提出正文和条文说明	2005 年 8 月完成
中山市建筑工程质量检测中心	1. 进行四种检测方法的补充试验	按编制组内部技术约定, 每三个月向主编单位提供一次新的试验数据	2003 年 11 月~ 2005 年 10 月进行
	2. 负责《规程》中“后装拔出法”部分的初稿编写工作	提出初稿	2004 年 5 月完成
	3. 完善“后装拔出法”正文和条文说明	提出正文和条文说明	2005 年 8 月完成
重庆建筑科学研究院	1. 进行四种检测方法的补充试验	按编制组内部技术约定, 每三个月向主编单位提供一次新的试验数据	2003 年 11 月~ 2005 年 10 月进行
	2. 负责《规程》中“超声回弹综合法”部分的初稿编写工作	提出初稿	2004 年 5 月完成
	3. 完善“超声回弹综合法”正文和条文说明	提出正文和条文说明	2005 年 8 月完成

续表

负责单位	承担的工作	技术要求	进 度
甘肃省建筑科学研究院	1. 进行四种检测方法的补充试验	按编制组内部技术约定, 每三个月向主编单位提供一次新的试验数据	2003年11月~2005年10月进行
	2. 负责《规程》中“回弹法”部分的初稿编写工作	提出初稿	2004年5月完成
	3. 完善“回弹法”正文和条文说明	提出正文和条文说明	2005年8月完成
河北省建筑科学研究院	1. 进行四种检测方法的补充试验	按编制组内部技术约定, 每三个月向主编单位提供一次新的试验数据	2003年11月~2005年10月进行
	2. 负责《规程》中“针贯入法”部分的初稿编写工作	提出初稿	2004年5月完成
	3. 完善“针贯入法”正文和条文说明	提出正文和条文说明	2005年8月完成
深圳市建设工程质量检测中心	1. 进行四种检测方法的补充试验	按编制组内部技术约定, 每三个月向主编单位提供一次新的试验数据	2003年11月~2005年10月进行
	2. 负责《规程》中“后装拔出法”部分的初稿编写工作	提出初稿	2004年5月完成
	3. 完善“后装拔出法”正文和条文说明	提出正文和条文说明	2005年8月完成
山东省建筑科学研究院	进行超“声回弹综合法”、“回弹法”试验	向主编单位提供试验数据	该单位于编制组成立后参加编制工作, 并及时向主编单位提供了试验数据

注: 1. 四种检测方法指后装拔出法、针贯入法、超声回弹综合法、回弹法;

2. 各单位除按上述分工进度完成工作外, 尚应按《规程》编制的总体进度, 参加编制组内的工作会议。

编制单位及《规程》主要起草人名单

表 1-2

单 位	姓 名
主编单位	中国建筑科学研究院建筑工程检测中心
参加单位 (名次不分先后)	张荣成 邱 平
	甘肃省建筑科学研究院
	冯力强
	山西省建筑科学研究院
	魏利国
	广西建筑科学研究设计院
	李杰成
	重庆市建筑科学研究院
	林文修
	贵州中建建筑科学研究院
	张 晓
	中山市建设工程质量检测中心
	朱艾路
	深圳市建设工程质量检测中心
	陈少波
	沈阳市建设工程质量检测中心
	陈伯田
	河北省建筑科学研究院
	强万明
	山东省建筑科学研究院
	崔士起

根据《高强混凝土强度检测技术规程》编制总体进度的要求,编制组于2003年10月28日在北京召开了第二次工作会议。会议由主编单位张荣成高级工程师主持。会议主要内容是编制组内统一试验方法和统一试验仪器。会议期间对各参编单位的技术人员进行了仪器操作技巧培训,做了试验过程中的数据处理办法的统一约定。为全国高强混凝土测强曲线的建立,在软硬件两个方面奠定了基础。

关于《规程》的编制时间,由于编制组成员单位覆盖了我国较为广阔的区域,所以,各地区根据本地气候条件而进行试验时间的间隔等有很大的差异,加之试验过程中测试方法进行调整等因素的干扰,各地区实际试验数据的收集工作在2008年中期才告一段落。2009年的试验数据是些零星的少量数据。对于制订一本新的检测技术标准,同时又要建立满足精度要求的全国测强曲线,是需要一定时间的。

编制组第三次工作会议于2009年4月9日~11日在贵州省贵阳市召开。会议由主编单位张荣成教授级高工主持。会上全体编制组成员对《高强混凝土强度检测技术规程》初稿进行了逐条逐句地认真讨论,针对初稿中的问题做了修改,并统一了认识。经过编制组的认真讨论,形成了《高强混凝土强度检测技术规程》征求意见稿。承蒙贵州省建设厅高度重视和贵州中建建筑科学研究院大力协助,工作会议得以圆满成功。

第三次工作会议形成的《高强混凝土强度检测技术规程》征求意见稿,于2009年5~6月在全国征求了意见。征求意见结束后,于2009年6月19日~21日在河北省石家庄市召开了《高强混凝土强度检测技术规程》编制组第四次工作会议。会议由主编单位张荣成教授级高工主持。会上编制组对全国范围征求的《高强混凝土强度检测技术规程》(征求意见稿)修改意见,进行了认真研究讨论。在充分考虑规程的科学性、先进性、协调性和可操作性的基础上,归纳形成了《高强混凝土强度检测技术规程》征求意见汇总处理文件。本次工作会议在河北省建设厅高度重视和河北省建筑科学研究院大力协助下,开得很成功。

1.4 编制工作最终成果

《高强混凝土强度检测技术规程》吸收了国内外检测技术的经验,结合我国建设工程中混凝土质量检测的实际需要而制定。规程编制项目从正式开展工作,到完成送审稿,历时4年多。编制组进行了大量的实验研究,建立了“回弹法”和“超声回弹综合法”检测高强混凝土强度的全国测强曲线。一些参编单位,在本地区还将规程编制过程中形成的研究成果进行了技术鉴定,并开始指导地方高强混凝土强度检测工作。编制组在规程编制过程中,进行了检测仪器的比对试验工作,进一步确认了所用仪器的先进性。规程在基本规定中,沿用了现行《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》CECS 02:2005规定的超声波角测、平测及声速计算方法内容,用于修正混凝土强度推定的试件数量亦采用4个,后修订为6个。

编制组通过几年的努力工作,对高强混凝土强度检测的基本方法即“后装拔出法”、“针贯入法”、“超声回弹综合法”、“回弹法”等四种方法在课题试验阶段进行了测试,通过对各省、直辖市各种检测方法的大量试验和数据汇总分析后确认,“后装拔出法”和“针贯入法”未找到精度符合要求的测强公式。本着实事求是的科学态度,本次未把“后装拔出法”和“针贯入法”纳入规程。因此确定了本次《规程》中的测试方法为“回弹

法”和“超声回弹综合法”。对《规程》的编制内容随即做了相应地调整，编写了《高强混凝土强度检测技术规程》初稿。

在送审稿时，《高强混凝土强度检测技术规程》与修订的《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》在高强回弹仪上有矛盾，为此，由国家住房和城乡建设部标准定额司组织召开了协调审查会，经多次协调处理最终形成了现在的《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T 294—2013。

本规程在制订过程中充分吸收了国内外相关标准、规程和工程实际应用经验，该规程为高强混凝土强度检测提供了现场非破损测试方法，并且通过大量试验研究给出了全国测强曲线。该规程的制订，为在建高强混凝土结构施工质量控制和既有高强混凝土结构的强度确认提供了标准依据。为推动我国高强混凝土的普及应用和发展做出了贡献。通过与相关检测标准的比较，证明本规程具有很好的科学性、先进性、可操作性及协调性。本规程的颁布和实施，将指导全国高强混凝土强度检测技术工作，具有良好的社会效益。

鉴于本规程通过大量实验研究确认回弹法和超声回弹综合法为可靠方法，故本书第2章在高强混凝土强度检测的基本方法中仅对回弹法和超声回弹综合法加以介绍。

第2章 高强混凝土强度检测技术

2.1 回弹法检测高强混凝土强度技术

2.1.1 概述

回弹法检测高强混凝土强度技术是高强混凝土强度检测技术的内容之一。回弹法是由仪器重锤回弹能量的变化反映混凝土的弹性和塑性性质，通过测量混凝土的表面硬度推算抗压强度。回弹法是混凝土结构现场检测中常用的一种非破损试验方法，也是《高强混凝土强度检测技术规程》中列入的两种基本方法之一。

回弹法的主要优点是仪器构造简单，方法易于掌握，检测效率较高。但还存在一定不足，如回弹值受石子类别、混凝土施工工艺、碳化深度、测试角度等的各种因素的影响，要对回弹值进行不同程度的修正，对存在有质量疑问区域的混凝土，需用其他方法进行进一步检测。

2.1.2 回弹法检测高强混凝土强度技术的基本原理

回弹法检测高强混凝土技术的基本原理是由回弹仪中弹簧驱动的重锤通过弹击杆弹击混凝土表面，以重锤被返回来的距离即回弹值作为强度相关的指标，从而对混凝土强度进行推定的方法。

回弹值实际上就是反弹距离与弹簧初始长度之比，是重锤冲击过程中能量损失的反映。回弹值通过重锤弹击混凝土前后的能量变化，既反映了被测混凝土的弹性性能，也反映了其塑性性能。因此，回弹值与强度之间必然有着一个相关关系。但由于影响因素较多，回弹值与拉簧的刚度系数和原始拉伸长度的理论关系较难推导。因此，目前均采用试验归纳法来建立混凝土强度和回弹值的关系。可通过强度值和回弹值之间直接建立的一元回归公式，也可通过强度值和回弹值以及相应影响因素之间建立二元回归公式。

对于建立回归公式，可采用各种不同的函数形式，通过大量的实验数据进行回归拟合，选择相关系数最大的作为最终选定的函数形式。函数形式常见的有直线方程、幂函数方程、抛物线方程等等。目前，在我国《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》中，回弹法测强曲线就是通过混凝土强度值和回弹值以及碳化深度建立的幂函数方程。

2.1.3 回弹法检测高强混凝土强度技术测试误差的主要因素

(1) 采用回弹法检测时，不同类别的回弹仪不能互换检测

回弹法测试的使用条件应和回弹仪本身的适用范围相一致，中型回弹仪只能检测 10~60MPa 的混凝土，不能检测高强混凝土。同样，高强混凝土回弹仪只能用于高强混凝土的检测，不得用于检测普通混凝土的强度。

(2) 采用回弹法检测时, 必须保证被检混凝土质量内外一致

回弹法使用的前提是要求混凝土质量内外一致, 当混凝土表层和内部质量有明显差异, 如遭受火灾、高温、化学腐蚀等, 以及混凝土内部存在缺陷时, 是不适宜采用回弹法进行检测的。如此时还采用回弹法进行检测, 势必影响到回弹仪检测性能, 增大测试误差。

(3) 采用回弹法检测时, 保证回弹仪的使用温度在规定范围

《高强混凝土强度检测技术规程》规定回弹仪使用时的环境温度应为 $-4\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。笔者曾经做过有关试验研究, 对于机械式回弹仪来说, 回弹仪使用时的环境温度可以有一定扩展, 至少试验表明, 在 $-10\sim 50^{\circ}\text{C}$ 范围时, 对回弹结果没有影响。但对于数字式回弹仪而言, 对温度的敏感性较大。特别是基于数字式回弹仪一些电子零部件目前的技术水平, 温度过低不显示数据, 温度过高误差增大。所以回弹法规程基于现状仍然规定回弹仪使用时的环境温度应为 $-4\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 不同型号规格的回弹仪、产品的质量和回弹仪的率定以及率定用的钢砧质量

目前回弹仪种类很多, 不同回弹仪的检测性能各有差异; 将在第3章对高强回弹仪进行专门介绍。

回弹仪本身的质量: 回弹仪本身的质量主要包括: 回弹仪机芯主要零部件的装配尺寸, 包括弹击拉簧的工作长度、弹击锤的冲击长度以及弹击锤的起跳位置等; 主要零部件的质量, 包括拉簧刚度、弹击杆前端的球面半径、指针长度和摩擦力、影响弹击锤起跳的有关零件; 机芯的装配质量, 如调零螺丝、固定弹击拉簧和机芯同轴度等。

回弹仪本身的质量直接影响到测试性能和测试误差, 对混凝土强度推定的准确性也就造成了相应影响。只有性能良好的回弹仪才能保证回弹法检测精度, 确保测试结果的可靠性。

回弹仪的率定以及率定用的钢砧质量: 回弹仪的率定应按照现行回弹法规程操作并满足相应要求, 率定用的钢砧质量应符合规定要求。

(5) 混凝土结构中表层钢筋的影响

混凝土结构中表层钢筋对回弹的影响, 要根据钢筋混凝土保护层厚度、钢筋直径及钢筋疏密程度而定。据有关文献资料表明, 当保护层厚度大于20mm, 钢筋直径为4~6mm时, 用回弹仪进行对比回弹, 混凝土回弹值波动幅度不大, 可视为没有影响。

(6) 操作人员的操作水平和责任心的影响

回弹法检测的精度也取决于操作人员弹击时用力是否适度和均匀, 是否垂直于被测混凝土的表面, 是否按照正确规范的操作程序进行。如果在实际回弹法检测操作过程中, 责任心不强, 随意操作, 这样的检测将带来较大的误差, 无法保证回弹法的检测质量和精度。为此, 应加强技术培训, 提高操作水平; 加强检测人员的职业道德素养, 提高检测责任心。

2.1.4 回弹法检测高强混凝土强度技术及其数据处理

1. 回弹法检测高强混凝土强度技术

(1) 回弹法检测高强混凝土强度技术检测之前的准备工作

混凝土强度检测前, 通常需了解工程名称、设计单位、施工单位; 结构或构件的名

称、外形尺寸、数量及混凝土类型、强度等级；所用水泥的安定性、外加剂、掺合料品种以及混凝土配合比；施工模板、混凝土浇筑、养护情况及浇筑日期；必要的设计图纸和施工记录以及检测原因。

(2) 钢砧的校验和回弹仪率定

回弹仪在检测前后，应在经校验合格的钢砧上做率定试验。高强混凝土回弹仪应在洛氏硬度 HRC 为 60 ± 2 、质量为 20.0kg 的配套钢砧上进行率定，率定应分四个方向进行，弹击杆每次应旋转 90 度，每个方向弹击 3 次，弹击杆每旋转一次的率定平均值应符合相应高强回弹仪的技术要求。

如：4.5 J 高强混凝土回弹仪弹击杆每旋转一次的率定平均值应为 88 ± 2 。

(3) 回弹测试

1) 根据委托方要求和检测实际需要，选择合适的检测方案；

根据委托方要求和检测实际需要，可选择全数检测或抽样检测。当进行抽样检测时，按现行回弹法规程抽取总构件数的 30% 且不少于 10 个构件。但同时应满足国家其他现行通用标准的规定。

2) 按照《高强混凝土强度检测技术规程》有关回弹仪的操作进行回弹测试；

3) 根据构件尺寸确定最小测区数；

通常情况下，回弹测区数不应少于 10 个。对较小构件，即：某一方向尺寸不大于 4.5m 且另一方向尺寸不大于 0.3m 的构件，其测区数量可适当减少，但不应少于 5 个。

4) 每个测区回弹 16 个测点，测点宜在测区范围内均匀分布，相邻两测点的净距离不宜小于 20mm，测点距外露钢筋、预埋件的距离不宜小于 30mm，测点不应在气孔或外露石子上，同一测点应只弹击一次，每一测点的回弹值读数至 1；

5) 回弹测试完毕后，应选取不少于构件测区数 30% 的测区位置进行碳化深度的测量，按照回弹法规程中相应规定进行取值。

2. 回弹法检测高强混凝土强度技术的数据处理

(1) 测区回弹值的计算

对测区回弹值的计算，从 16 个回弹值中剔除 3 个最大值和 3 个最小值，取余下 10 个回弹值的平均值。应按式 (2-1) 计算：

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} \quad (2-1)$$

式中 R_m ——测区平均回弹值，精确至 0.1；

R_i ——第 i 个测点的回弹值。

(2) 混凝土强度的计算

1) 测区混凝土强度换算值计算

当采用 4.5J 高强回弹仪检测时，测区混凝土强度换算值可通过求得平均回弹值 (R_m) 按《规程》附录 A 查表得出，或通过曲线公式 (2-2) 计算得出。

$$f_{cu,i}^c = -7.83 + 0.75R + 0.0079R^2 \quad (2-2)$$

式中 R ——测区回弹代表值；

$f_{cu,i}^c$ ——测区混凝土强度换算值。