



混凝土非破损 测强技术研究

余红发 著

中国建材工业出版社

混凝土非破损测强技术研究

余红发 著

中国建材工业出版社

(京)新登字 177 号

内容简介

本书共分十章,主要内容有:非破损检测仪器及检测技术基础,混凝土非破损测强的影响因素,普通混凝土、早龄期混凝土、长龄期混凝土、潮湿混凝土、负温混凝土、大石子粒径混凝土的非破损测强技术,不同条件下混凝土非破损测强技术规程建议,工程检测实录等。

本书着重总结有关研究结果,分析不同混凝土的强度发展特征,探讨提高混凝土非破损测强方法的精度的影响因素,最终建立了精度较高的测强曲线,并制定了相关技术规程,以便在实际工程检测中应用这些研究成果。本书介绍的内容是混凝土非破损检测学科一个全新的领域,可以作为高等院校有关专业的教材,亦可供从事建筑工程设计、施工、监理、质量检测 and 科研的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土非破损测强技术研究/余红发著. -北京:中国建材工业出版社,1999.3
ISBN 7-80090-852-6

I. 混… II. 余… III. 混凝土-强度-无损检验 IV. TU528.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 08011 号

混凝土非破损测强技术研究

余红发 著

责任编辑 宋 斌

*

中国建材工业出版社出版(北京海淀区三里河路 11 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京密云红光印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 13.375 字数: 330 千字

1999 年 3 月第 1 版 1999 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 36.00 元

ISBN 7-80090-852-6/TU·194

前 言

建筑工程质量事故已经是一个全球性问题:从韩国的塌楼断桥,到我国的楼毁频频,建筑工程质量事故呈逐年增加的趋势。混凝土是建筑工程中最主要的建筑材料之一,许多质量事故均与混凝土抗压强度未达到设计要求有密切的关系,加强混凝土质量的监控和检测,保证混凝土质量,是建筑工程管理的重要环节。混凝土工程的质量是以标准试件在标准养护条件下养护,并经标准试验方法测定的抗压强度标准值来衡量的,在正常施工、使用情况下,它能代表结构混凝土的强度。当对混凝土试件强度的代表性有怀疑时,它就不能代表结构混凝土的强度,这时就必须在现场直接测定结构中混凝土的强度。现场检测混凝土强度的方法有部分破损法和非破损法。前者包括钻芯法、拔出法和射钉法等,后者包括回弹法、超声法和超声回弹综合法等。部分破损法在混凝土结构或构件上直接进行局部破坏性试验,或直接钻取芯样进行破坏性试验,然后经测强曲线或公式换算成混凝土强度,其结果直观可靠,易被人们所接受,但是要造成结构或构件的局部损坏,需进行修补,而且不宜大范围的全面检查,目前在建筑工程中应用不很普遍,只在特殊情况下采用。非破损法只需对混凝土表面进行简单的处理如打磨即可直接测定回弹值或超声声速值等,然后根据测强曲线换算成混凝土强度,这种方法检测速度快,费用低,适用于大范围的抽检或全面检查,在有专用测强曲线的条件下有较高的精度。如何用非破损法检测不同条件下混凝土结构的强度,是深受国内外工程学术界关注的重要课题。

自从 1948 年瑞士施密特(E. Schmidt)发明回弹仪,1949 年加

拿大的莱斯利 (Leslie)、切斯曼 (Cheesman) 和英国的琼斯 (R. Jones)、加特费尔德 (E. N. Gatfield) 用超声脉冲进行混凝土检测取得成功以来, 非破损法的应用已有 50 年的历史。虽然几十年来其他非破损方法不断出现, 但是由于测试技术和测试仪器的不断改进, 许多国家或协会都制订了相应的技术规程, 使以回弹仪和超声仪为主要仪器的非破损法应用十分广泛, 取得了良好的技术与经济效果。我国自 50 年代末对混凝土非破损法进行应用研究以来, 采用回弹法、超声法和超声回弹综合法解决混凝土工程的质量问题, 积累了不少宝贵的经验。党的十一届三中全会以后, 混凝土非破损检测技术列入了建筑科学发展计划, 组成了以陕西省建筑科学研究设计院为主的全国性混凝土非破损测强技术协作组, 经过多年努力, 已经解决了回弹法、超声回弹综合法使用精度不高和普遍推广的关键问题, 使我国在这一领域的研究和应用水平处于国际领先地位, 先后制订了全国性的技术规程:《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23-92) 和《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02:88)。与此同时, 全国各地建筑科学研究机构也开展各具特色的研究和应用工作。这些对于普及混凝土非破损测强技术, 保证混凝土工程质量, 加快建设进度, 维护建(构)筑物的结构安全, 旧建筑加固以及减少经济损失等方面发挥了重要作用, 为工程质量事故处理提供了可靠的依据。

作者在十几年的建筑工程检测实践中, 深感我国地域辽阔, 南北、东西气候相差较大, 现场条件不可能完全满足全国性标准的规定要求, 在诸如龄期 14d 以内或 1000d 以上、潮湿或浸水、石子粒径过大、负温硬化等混凝土工程强度检测时无标准或方法可供采用, 为非破损检测带来许多新问题。尽管这些问题可以采用钻芯法部分地解决, 但是在地处边远、经济条件相对滞后、现场管理混乱、设计施工人员思想观念比较保守的地区, 选用诸如钻芯的部分破损法是行不通的。正是为了拓宽回弹法、超声法和超声回弹综

合法的使用范围,作者专门列题对不同条件下混凝土强度的非破损检测技术进行了不懈的研究,取得了一系列研究成果,于1997~1998年间先后通过了专家鉴定,达到了国内先进水平,其中多项研究成果处于国内领先地位。这些研究成果是用ZC3-A型回弹仪和CTS型超声仪完成的。本书就是在这些研究成果的基础上总结形成的,它是对国家标准的重要补充。

全书共分十章。第一章是非破损检测仪器及检测技术基础,主要介绍了回弹仪、超声仪与换能器,检测技术,测强曲线,强度的推定方法。第二章讨论了混凝土非破损测强的影响因素,主要研究了回弹法、超声法和超声回弹综合法测强的影响因素。第三章重点研究了普通混凝土强度的非破损检测技术,包括三种非破损法的对比研究,碳化深度对非破损测强精度的影响,普通混凝土的非破损测强技术的测强曲线及其验证。第四章介绍了早龄期混凝土强度的非破损检测技术研究,详细讨论了7~14d混凝土强度发展特征、回弹法检测早龄期混凝土强度的技术和混凝土28d强度推定技术研究及其验证。第五章为长龄期混凝土强度的非破损检测技术研究,介绍了长龄期混凝土的强度特征,研究了长龄期混凝土强度的非破损检测技术,并探讨了混凝土龄期与碳化深度等因素的关系。第六章研究了潮湿混凝土强度的非破损检测技术,包括回弹法检测潮湿混凝土强度的影响因素和测强技术。第七章为负温混凝土强度的非破损检测技术研究。介绍了负温混凝土的强度发展特征,建立了超声回弹综合法检测负温混凝土强度的技术,包括测强曲线及其验证。第八章是大石子粒径混凝土强度的非破损检测技术的探索性研究,包括大石子粒径对非破损测强方法的影响、专用测强曲线。第九章为不同条件下混凝土非破损测强技术规程建议,包括普通混凝土、潮湿混凝土和负温混凝土的非破损测强技术规程(地方报批稿),早龄期与长龄期混凝土的非破损测强技术规程(建议稿)。第十章为工程检测实录,介绍作者检测的

典型混凝土工程强度结果。为便于读者系统地运用本书的研究成果,附件收入了现有的两个全国性非破损测强规程。本书的研究成果均为首次发表。

在一些特殊条件研究用回弹仪和超声仪检测混凝土强度的技术是混凝土非破损测强的最新进展,还很不成熟,研究不够深入。但愿这本书能起到抛砖引玉的作用,以其同仁共同努力,使该方面研究有更大的进展。

本书内容是作者 1985~1998 年在混凝土非破损测强领域的研究成果。在研究过程中得到青海省科委、青海省建设厅有关领导的支持,还得到了青海省建筑建材科学研究所的经费资助,青海省有关建筑公司在现场验证方面给予了积极的协助。同时,混凝土工程检测方面的专家:李德荣教授级高工、马四海高工、贾新民高工、王梅涛高工、王孝榆高工、边丕海高工、窦中五高工、李群高工、梁琦高工、刘占俊高工、岳青孝高工、袁成融高工、董宗礼高工、刘定万高工、师云龙高工、高永强高工和钱存瑞高工等在技术鉴定时给予研究成果很高的评价。张敏、赵国智、和德亮和董宗茂等同志参加了部分实验和现场检测工作。作者谨向他们表示衷心的感谢。此外,作者还要感谢青海省建筑建材科学研究所夏致明书记、魏浦院长的鼓励和关心。

本书的写作得到了沈阳建筑工程学院材料科学与工程系各级领导以及铁大武教授的支持,同时得到山东省乐陵市回弹仪厂厂长王明堂高级经济师、甘肃致远管道有限公司张嘉旭总经理的资助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中错误和不足之处,敬请专家学者和读者批评指正。

余红发

1999 年 1 月于沈阳



著者简介

余红发，1964年生，湖北省武穴市人。1985年大学毕业后支边在青海省建筑建材科学研究院、青海省建筑工程质量检测站从事科研和工程检测工作，获青海省优秀专业技术人才，享受政府津贴。现为沈阳建筑工程学院材料科学与工程系副研究员。主要研究领域有：材料孔结构强度理论，混凝土复合材料强度理论，氯氧镁水泥，石膏，特种胶凝材料，混凝土外加剂，建材制品生产技术，工业废渣综合利用，建筑工程非破损检测技术等。研制的氯氧镁水泥抗水技术正在全国十多个省市推广应用，研究开发的大径抗腐蚀预应力混凝土输水管成功地用于西宁市第六水源工程等重点工程建设项目，取得明显社会效益和技术效果。共取得国家、省部级科研成果6项，出版学术专著2部，在国内外发表论文50余篇。

43.0004

目 录

前言

绪论	(1)
第一章 非破损检测仪器及检测技术基础	(4)
第一节 回弹仪	(4)
一、回弹仪的类型、构造及工作原理	(4)
二、钢砧率定的作用	(7)
三、回弹仪的操作、保养及校验	(8)
四、回弹仪的常见故障及排除方法	(11)
第二节 超声仪与换能器	(13)
一、超声仪	(13)
二、换能器	(22)
第三节 检测技术	(27)
一、检测准备	(27)
二、测试技术	(28)
三、测区混凝土强度换算与修正	(30)
第四节 测强曲线	(32)
一、测强曲线的分类	(32)
二、地区或专用测强曲线的制定方法	(33)
三、测强曲线的验证	(38)
第五节 混凝土强度的推定	(39)
一、结构或构件混凝土强度的计算	(39)
二、构件混凝土强度推定值	(40)
第二章 混凝土非破损测强的影响因素研究	(42)

第一节 回弹法测强的影响因素	(42)
一、原材料的影响	(43)
二、配合比的影响	(47)
三、成型工艺的影响	(48)
四、养护方法的影响	(49)
五、龄期的影响	(51)
六、碳化的影响	(54)
七、含水率的影响	(56)
八、其他因素的影响	(56)
第二节 超声法测强的影响因素	(58)
一、原材料的影响	(59)
二、配合比的影响	(64)
三、成型工艺的影响	(65)
四、养护方法的影响	(65)
五、龄期的影响	(66)
六、碳化的影响	(67)
七、含水率的影响	(69)
八、其他因素的影响	(69)
第三节 超声回弹综合法测强的影响因素	(73)
一、原材料的影响	(74)
二、配合比的影响	(77)
三、成型工艺的影响	(77)
四、养护方法的影响	(78)
五、龄期的影响	(79)
六、碳化的影响	(79)
七、含水率的影响	(80)
八、其他因素的影响	(81)
第三章 普通混凝土强度的非破损检测技术研究	(82)

第一节	三种非破损测强方法的对比研究	(82)
一、	非破损测强方法的优缺点	(82)
二、	非破损测强方法的测试精度比较	(84)
三、	非破损测强方法的模糊评价	(86)
第二节	碳化深度对非破损测强精度的影响	(90)
一、	提高混凝土非破损测强方法精度的措施	(90)
二、	碳化深度和龄期对非破损测强方法的 达标率的影响	(93)
三、	碳化深度和龄期对非破损测强方法的误差 分布的影响	(93)
第三节	普通混凝土强度的非破损检测技术	(96)
一、	测强曲线的建立	(96)
二、	测强曲线的实验室验证	(97)
三、	与部分测强曲线的比较	(100)
四、	关于检测龄期问题	(104)
第四节	非破损测强曲线的实际应用效果	(105)
一、	回弹法地区测强曲线的实际应用效果分析	(105)
二、	超声法地区测强曲线的实际应用效果分析	(106)
三、	超声回弹综合法地区测强曲线的实际应用 效果分析	(108)
第四章	早龄期混凝土强度的非破损检测技术研究	(110)
第一节	早龄期混凝土强度发展特征	(110)
第二节	回弹法检测早龄期混凝土强度技术	(112)
一、	早龄期混凝土非破损测强方法的选择问题	(112)
二、	回弹法检测早龄期混凝土强度的专用曲线	(112)
三、	与回弹法统一曲线和地区曲线的对比	(113)
四、	早龄期混凝土回弹法专用测强曲线的实际 应用效果	(113)

第三节 混凝土 28d 强度推定技术研究	(114)
一、混凝土 28d 强度与早期强度的关系	(115)
二、早期推定 28d 强度的影响因素	(116)
三、建立早龄期推定 28d 强度的关系式	(121)
四、混凝土 $R_{28} = 1.046R_7 + 10.01$ 公式的 验证效果	(121)
第五章 长龄期混凝土强度的非破损检测技术研究	(123)
第一节 长龄期混凝土的强度特征	(123)
一、混凝土在标准养护条件下的长龄期强度	(123)
二、混凝土在空气养护条件下的长龄期强度	(124)
三、混凝土在土壤中的长龄期强度	(125)
第二节 超声回弹综合法检测长龄期混凝土强度技术	(126)
一、长龄期混凝土强度的超声回弹综合法专用曲线	(126)
二、长龄期混凝土超声回弹综合法测强专用 曲线与其他曲线的对比	(127)
三、长龄期混凝土超声回弹综合法专用测强曲线 的验证	(128)
第三节 混凝土的龄期与碳化深度等的关系	(128)
一、混凝土的碳化方程及在工程检测中的运用	(129)
二、混凝土龄期与碳化深度、水灰比的关系	(129)
三、永久性或纪念性建构筑物中混凝土强度监测的 可能性	(131)
第六章 潮湿混凝土强度的非破损检测技术研究	(132)
第一节 回弹法检测潮湿混凝土强度的影响因素	(132)
一、水泥品种与标号的影响	(132)
二、石子种类的影响	(133)

三、碳化深度的影响	(133)
四、含水率的影响	(134)
第二节 回弹法检测潮湿混凝土强度技术	(135)
一、潮湿混凝土回弹法专用测强曲线	(135)
二、与国内类似曲线的比较	(136)
三、回弹值的含水率修正问题	(137)
第三节 潮湿混凝土回弹法专用测强曲线的实际 应用效果	(138)
一、实验室验证	(138)
二、实际应用效果分析	(139)
第七章 负温混凝土强度的非破损检测技术研究	(141)
第一节 负温混凝土强度发展特征	(141)
一、掺防冻剂混凝土在负温条件下的硬化	(141)
二、负温混凝土转正温条件下的硬化	(143)
第二节 超声回弹综合法检测负温混凝土强度技术	(144)
一、负温混凝土强度的非破损检测方法的选择	(144)
二、超声回弹综合法检测负温混凝土强度曲线	(147)
三、与超声回弹综合法普通混凝土统一曲线 等比较	(148)
第三节 负温混凝土超声回弹综合法地区测强曲线的 实际应用效果	(150)
一、1996~1998 年的冬季验证误差	(151)
二、实际验证时的误差分布	(151)
第八章 大石子粒径混凝土强度的非破损检测技术 探索性研究	(153)
第一节 大石子粒径对非破损测强方法的影响	(153)
一、大石子粒径对回弹法测强的影响	(154)
二、大石子粒径对超声法测强的影响	(155)

三、大石子粒径对超声法回弹综合法测强的影响	(156)
第二节 大石子粒径混凝土的专用测强曲线	(158)
一、超声回弹综合法检测大石子粒径混凝土强度的 专用曲线	(158)
二、与超声回弹综合法统一测强曲线的比较	(158)
三、大石子粒径混凝土的专用测强曲线的实际 应用效果分析	(159)
第九章 不同条件下混凝土非破损测强技术规程建议	(162)
第一节 非破损法检测混凝土抗压强度技术规程 (地方标准报批稿)	(162)
一、标准条文	(162)
二、条文说明	(202)
第二节 回弹法检测早龄期混凝土抗压强度技术规程 (建议稿)	(209)
一、标准条文	(209)
二、条文说明	(210)
第三节 超声回弹综合法检测长龄期混凝土抗压强度 技术规程(建议稿)	(211)
一、标准条文	(211)
二、条文说明	(212)
第四节 回弹法检测潮湿混凝土抗压强度技术规程 (地方标准报批稿)	(213)
一、标准条文	(213)
二、条文说明	(233)
第五节 超声回弹综合法检测负温混凝土抗压强度 技术规程(地方标准报批稿)	(234)
一、标准条文	(234)
二、条文说明	(236)

第十章 工程检测实录	(243)
第一节 普通混凝土工程强度检测实录之一	
——某安居住宅楼强度检测.....	(243)
一、工程概况	(243)
二、检测经过	(243)
三、检测结果	(244)
四、检测结论及建议	(255)
第二节 普通混凝土工程强度检测实录之二	
——某化肥厂水源工程沉淀池强度检测.....	(259)
一、工程事故概况	(259)
二、工程检测经过	(260)
三、检测结果	(260)
四、结论与建议	(261)
第三节 早龄期混凝土工程强度检测实录	
——某商城箱形基础底板强度检测.....	(262)
一、工程事故简介	(262)
二、检测经过	(263)
三、检测结果	(264)
四、检测结论与加固处理	(268)
第四节 长龄期混凝土工程强度检测实录	
——某面粉加工厂框架结构车间强度检测.....	(269)
一、工程概况	(269)
二、检测过程与检测结果	(270)
三、检测结论性建议	(276)
第五节 潮湿混凝土工程强度检测实录	
——某住宅楼扩建工程阳台板强度检测.....	(277)
一、工程事故简介	(277)
二、检测结果	(277)

第六节	负温混凝土工程强度检测实录——	
	某商业中心框架结构强度检测·····	(278)
一、	工程事故概况·····	(278)
二、	检测经过·····	(279)
三、	检测结果·····	(279)
四、	检测结论及加固处理·····	(295)
第七节	大石子粒径混凝土工程强度检测实录	
	——某购物中心框架结构强度检测·····	(297)
一、	工程事故简介·····	(297)
二、	检测过程与结果·····	(297)
第八节	混凝土工程强度对比法检测实录——某稀土	
	硅化物冶炼厂排架结构车间强度检测·····	(300)
一、	工程事故介绍·····	(300)
二、	检测过程与检测结果·····	(300)
三、	结论性建议·····	(305)
参考文献	·····	(306)
附件	·····	(313)
附件一	回弹法检测混凝土抗压强度技术规程	
	(JGJ/T 23-92)·····	(313)
附件二	超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程	
	(CECS 02:88)·····	(354)

绪 论

建筑工程质量检测的一个重要内容是现场检测混凝土的抗压强度,非破损法测强技术是应用最早、使用范围最广、普及率最高的一种测试手段。在无损检测技术体系中,测强、测缺和测其他性能构成了体系的基本框架,本书主要研究测强技术。混凝土结构测强技术按其对结构的影响程度可分为部分破损法和非破损法,部分破损法因对混凝土结构造成局部破坏、不宜大范围检查、费用较高而受到种种限制。例如:钻芯法和拔出法在工程检测中应用远不如回弹法普遍;非破损法不对混凝土结构造成破坏,仪器简单,操作方便,可对混凝土结构进行重复测试,便于大范围检查而受到广大工程技术人员的欢迎。非破损法包括回弹法、超声法、超声回弹综合法、射线法和成熟度法等,其中,以回弹仪和超声仪为主要仪器的非破损测强方法操作最为方便,使用最为普及,在有测强曲线的条件下具有较高的测试精度,是国内外学术界公认的基本无损检测技术。

当对混凝土试件的代表性有怀疑或者需要确定混凝土工程的强度时,必须直接在混凝土结构物上运用非破损方法测定混凝土的实际强度。至少在以下四种情况需要采用非破损测强技术:

1. 由于施工管理不善,或施工过程中某种意外事故可能影响混凝土质量,以及发现预留试件的取样、制作、养护、抗压试验等不符合有关技术规程或标准规定的条款,怀疑预留试件强度不能代表结构混凝土的实际强度时,应采用非破损测强结果作为结构混凝土合格性评定及验收依据。

2. 当需要了解混凝土在施工期间的强度增长情况,以便满足