



新编建设工程 无损检测技术发展与应用

● 王文明 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书汇集了我国建设工程无损检测技术发展与应用领域的试验研究成果、工程检测实践总结、新技术开发应用和规程编制背景等相关内容,具有非常重要的应用指导价值。

本书可作为建设工程无损检测技术人员自学提高的参考书,也可作为土木工程建设技术人员继续教育培训用书及相关院校师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新编建设工程无损检测技术发展与应用 / 王文明主编.
编. -- 北京:中国水利水电出版社, 2012. 7
ISBN 978-7-5084-9921-5

I. ①新… II. ①王… III. ①建筑工程—无损检验
IV. ①TU712

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第135741号

书 名	新编建设工程无损检测技术发展与应用
作 者	王文明 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 34.75印张 824千字
版 次	2012年7月第1版 2012年7月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	70.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《新编建设工程无损检测技术发展与应用》 编委会

主 编：王文明

编委会成员：龚景齐 张荣成 童寿兴 黄政宇 苏丛柏

罗仁安 王安坤 王宇新 李杰成 罗 敏

王文艺 徐国孝 王正成 王春娥 梁 润

胡卫东 王先芬 付素娟

前 言

早在 20 世纪 30 年代初，国外就已开始探索和研究建设工程无损检测技术，并获得了快速发展。1930 年开始研究表面压痕法；1935 年把共振法用于测量混凝土的弹性模量；1948 年施米特成功研制出检测混凝土表面硬度进而推定其抗压强度的回弹仪；1949 年运用超声脉冲对混凝土检测获得成功后，随即使用放射性同位素对混凝土密实度和强度进行检测，这些研究成果为混凝土无损检测技术的发展与应用奠定了可靠的基础。随后，许多国家也相继开展了这方面的研究。

我国在建设工程无损检测技术领域的工作从 20 世纪 50 年代中期开始，首先，通过引进瑞士的回弹仪和英国、波兰的超声仪，结合工程应用开展研究工作。从 1976 年起，国家建委将混凝土无损检测技术研究列入了建筑科学发展计划，组织全国 6 个单位进行技术攻关。1976 年 10 月，派出建设工程无损检测技术考察组赴罗马尼亚进行考察，重点对混凝土无损检测技术中的回弹法、超声波法和综合法的测试技术和测试仪器进行了解。从此，我国的建设工程无损检测技术开始进入有计划、有目标的研究开发和应用阶段。建设工程无损检测技术的发展与应用，至今已有三十多年的历史。实践证明，建设工程无损检测技术既适用于建设施工过程工程质量的检测，又适用于工程质量的验收和建筑物使用期间工程质量的检测鉴定。

为使我国土木工程技术人員了解建设工程无损检测技术发展概况，更好地把无损检测技术不断发展完善，我们编撰了《新编建设工程无损检测技术发展与应用》一书。该书基于我国建设工程无损检测技术发展与应用历程，结合我国建设工程无损检测技术领域的最新研究成果，以及针对各地建筑材料和气候特点的地方非破损测强曲线、泵送混凝土测强曲线、高强混凝土测强曲线等试验研究进行了系统的归纳和总结，同时汇集了一些典型的建设工程无损检测方法应用实例和研究经验。检测应用范围广泛，涵盖了回弹法、钻芯法、拔出法、超声回弹综合法、红外热线条法、直拔法、超声反射法、超声波衰减层析成像法、混凝土雷达和地质雷达等。

本书汇集了我 国建设工程无损检测技术界多位专家、学者和技术同仁的试验研究成果、工程检测实践总结、新技术开发应用和规程编制背景等内容，具有非常广泛的参考价值。

本书可作为土木工程建设技术人员自学提高的参考书，也可作为继续教育的培训用书及相关院校师生的参考书。

本书在编写过程中得到了中国水利水电出版社有关领导和编辑同志的热心指导，以及有关单位和个人的大力支持和帮助，谨致由衷的谢意。书中不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

《新编建设工程无损检测技术发展与应用》编委会

2011年12月18日

目 录

前言

第一部分 综 述

结构中混凝土质量检测技术和评估方法的研究与应用	龚景齐 卢瑞珍 (1)
纵论混凝土现场施工质量的无损检测与评定	李杰成 李凤明 (4)

第二部分 回弹法检测技术

《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011) 解析	王文明 (13)
回弹法测强应注意的几个问题	徐国孝 (18)
混凝土回弹法测强中假性碳化对工程质量的误判	童寿兴 (21)
对《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2001) 的应用与理解	王文明 (24)
泵送混凝土回弹测强修正方法研究	徐国孝 (27)
回弹法检测结构混凝土强度的影响因素	李杰成 (31)
某工业厂房坍塌事故检测鉴定方法	王文明 (41)
浅议回弹法检测商品(泵送)混凝土强度	赵 强 (43)
解析浙江省碎、卵石泵送混凝土回弹测强修正值分开设立的必要性	徐国孝 (45)

第三部分 钻芯法检测技术

对《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS 03: 2007)

有关问题的商榷	王文明 罗 敏 (48)
钻芯法检测混凝土强度时钻芯部位的确定	徐国孝 (56)
钻芯法检测混凝土强度工作中的几点经验	王宇新 (58)
不同行业芯样试件混凝土强度换算值的计算方法	王文明 (61)
芯样端面修补效应的试验研究	李杰成 (64)
和田玉龙喀什河老桥灌缝混凝土强度检测鉴定	王文明 (70)
利用回弹、钻芯检测结果的相关性判定旧结构混凝土强度	徐国孝 (72)
国道 218 线新源—库尔勒公路改建工程桥涵盖板质量安全危害的鉴定	王文明 (76)

第四部分 后装拔出法检测技术

后装拔出法检测混凝土强度山西省地方曲线试验研究	王宇新 (80)
某制药厂钢筋混凝土罐破损情况试验研究	王文明 (84)

拔出法测试喷射混凝土强度试验研究	岳 峰 (88)
某工贸公司办公楼及厂房既有结构工程质量检测鉴定及思考建议	王文明 (93)
后装拔出法检测高强混凝土强度试验研究	边智慧 商冬凡 付素娟 陈朝阳 (96)

第五部分 综合法检测技术

不同版本混凝土无损检测规程换算强度的偏差	童寿兴 (101)
用平测法修正声速检测混凝土强度技术的研究	童寿兴 (106)
三种波速测试方法对混凝土测强影响的研究	李杰成 (112)
超声法测量空气声速时的测点数与误差问题	童寿兴 (119)
超声波首波相位反转法检测混凝土裂缝深度的研究	童寿兴 (122)
混凝土强度非破损检测中修正方法的模拟比较	黄政宇 黄 靓 汪 优 (126)
超声波首波波幅对混凝土强度测值的影响研究	童寿兴 (133)
广西地区超声一回弹综合法测定和评定结构混凝土强度方法	李杰成 (137)
采用标准棒扣除换能器 t_0 产生误差的成因	童寿兴 (147)
综合法统一曲线在广西地区适用性的研究	李杰成 (150)
修订后的超声回弹综合法与回弹法的主要区别	徐国孝 (154)
混凝土超声波测试的尺寸效应研究	李杰成 (156)
汉口大清银行老建筑加固修缮前后检验鉴定	罗仁安 陈文钊 刘 凯 姜洋标 童 凯 (161)
钢管混凝土质量超声波检测的方法与工程实例	童寿兴 (174)
混凝土内部缺陷超声波检测技术	童寿兴 (179)

第六部分 高强混凝土测强技术

高强混凝土的无损测强技术试验研究	张荣成 (214)
关于标称动能为 4.5J 和 5.5J 两种高强混凝土 回弹仪检测精度的试验研究	王文明 邓 军 陈光荣 汤旭江 (222)
回弹法和超声回弹综合法检测高强混凝土强度在 广东中山地区的试验研究与应用	朱艾路 王先芬 (228)
高强混凝土强度无损检测方法精度对比	付素娟 边智慧 赵灿强 (234)
新疆高强混凝土回弹法检测强度的试验研究	王文明 (236)
回弹法检测高强混凝土强度回归方程的比较	付素娟 戴占彪 赵士永 (240)
针贯入法检测高强混凝土强度试验研究	陈朝阳 付素娟 边智慧 赵占山 (243)
高强度混凝土回弹仪和强度曲线的研究与应用	王 鹏 龚景齐 (247)

第七部分 测强曲线制定与应用

回弹—钻芯法在混凝土质量鉴定中的应用与研究	王文明 罗 敏 (265)
浙江地区回弹法检测泵送混凝土抗压强度测强曲线	

研究	徐国孝 丁伟军 唐 蕾 翟延波 程 波 付兴权	(270)
建立中山地区回弹法检测混凝土抗压强度测强曲线的试验研究	王先芬 朱艾路	(277)
超声回弹综合法检测岳阳地区混凝土抗压强度曲线 的建立	胡卫东 祝新念 肖四喜 陈积光	(281)
建立中山地区超声回弹综合法检测 C10~C80 混凝土强度 测强曲线试验研究	王先芬 朱艾路 李浩军	(285)
回弹法检测混凝土抗压强度地区曲线建立	梁 润	(289)
回弹法检测岳阳地区混凝土抗压强度曲线 的建立	胡卫东 祝新念 肖四喜 陈积光	(296)
全国回弹法测强曲线验证与碳化修正理论研究	李杰成	(302)
回弹法统一测强曲线在山西部分地区的应用	郭 庆 王宇新	(307)
高强混凝土超声回弹综合法测强曲线的建立	赵士永 王铁成 付素娟 边智慧	(310)

第八部分 钢网架、桩基及其他检测技术

既有钢网架结构工程质量检验项目及方法	王安坤	(315)
声波透射法检测钻孔灌注桩桩基完整性 检测技术	管 钧 王维刚 陈卫红 张全旭	(322)
石材质量的超声波检测技术研究	童寿兴	(326)
混凝土结构实体钢筋检测的研究	张全旭 管 钧 张立平 范瑞民	(330)
超声波检测拱桥的拱肋钢管混凝土质量	童寿兴	(335)
混凝土中的钢筋锈蚀检测应用技术方法	张全旭 管 钧 陈卫红	(338)
混凝土黑斑成因引发石子氯盐检测问题的思考	王文明 邓少敏	(341)
遭受火灾后结构安全性的鉴定方法	王文明	(355)
采用低应变动测和钻芯取样综合检测高层建筑嵌岩桩罕见缺陷	罗仁安	(360)
某办公楼夹层改造工程质量检测鉴定	王文明	(366)
对火灾后钢筋混凝土结构检测的方法	赵 强	(372)
孔雀大厦屋面梁可靠性鉴定分析	王文明	(375)
无损检测技术在世界文化遗产平遥古城城墙检测中的应用	苏丛柏	(381)
天津信达广场混凝土实体质量检测	龚景齐	(395)
某抗震加固工程结构质量安全性检测鉴定与加固处理	王文明	(403)
用超声纵波换能器测量混凝土的动弹模量	童寿兴	(408)

第九部分 检测仪器研制与应用

智能型、模拟型超声仪声时测量值的比对试验	童寿兴	(413)
小波分析在 ZBL—P810 基桩动测仪中的应用	陈卫红	(416)
超声波首波波幅差异与声时测量值的关系研究	童寿兴	(423)
混凝土雷达检测新技术及应用	王正成	(427)

第十部分 数据分析与处理

Excel 在管桩质量检验中的应用	梁 润 (432)
回弹法检测混凝土抗压强度的 Excel 方法	赵全斌 (440)
巧用 Excel 表格建立混凝土强度专用 (地区) 曲线	常志红 杨 涛 (443)

第十一部分 裂缝的检测、分析与修复

某多层砖混结构住宅楼严重开裂事故的分析 and 处理	王文明 (449)
超声检测混凝土裂缝深度中首波相位反转法的研究	童寿兴 (452)
某化肥厂冷却塔塔下水池裂缝鉴定分析	王春娥 (456)
某工程梯板裂缝与主体框架柱垂直偏差原因分析与处理	王文艺 (460)
关于某土木结构和砖木结构房屋的质量鉴定	王春娥 (463)
现场预制桥梁 T 梁开裂分析、处理及预防	梁 润 (465)
某桥梁工程桥板裂缝原因分析鉴定及处理	王文艺 (471)
关于某办公楼裂缝的鉴定与处理	王文艺 王春娥 (474)

第十二部分 无损检测新技术的研究与应用

直拔法检测混凝土抗压强度技术试验研究	王文明 (478)
红外热像法检测混凝土建筑物饰面缺陷的试验研究	张荣成 (503)
超声反射法单面检测钢—混凝土粘接界面质量的研究	黄政宇 周伟刚 李 瑜 (511)
雷达在建筑工程无损检测中的应用	王正成 (518)
结构混凝土超声波衰减层析成像的试验研究	黄政宇 (521)
混凝土雷达在结构无损检测的应用技术	王正成 (526)
红外线—微波综合法检测砌块结构中混凝土芯柱浇筑质量技术的研究	张荣成 (532)

第一部分 综 述

结构中混凝土质量检测技术和评估 方法的研究与应用

龚景齐 卢瑞珍

(天津港湾工程研究所, 天津, 300000)

本文提出了用标准立方体试件强度监控和评定混凝土材料的自身质量, 同时用非破损(超声回弹综合法)检测手段配以芯样强度校核的方法, 对结构混凝土进行监控和评估。

对结构中混凝土强度的检测和监控, 在国外已逐渐引起重视, 1984 年 ISO 第 71 委员会编制了《结构混凝土强度检验标准》, 在此国际标准中, 结构中混凝土强度被定义为“参考强度”(Reference Strength), 并以钻取芯样得到的混凝土强度为代表。参考强度即由它可以换算得出相应的标准强度值, 对被检测的混凝土构件作出必要的合格性判断结论。

天津港湾工程研究所(原交通部一航局科研所)从 20 世纪 50 年代末开始研究混凝土非破损检测技术并利用其检测现场混凝土的强度, 目的是评估结构中混凝土的强度。结合混凝土工程的检测, 逐步建立了一套对混凝土材料性能和结构中混凝土强度跟踪检测和评定的办法(以下简称“双控”)。实践表明, 这一方法对混凝土工程质量确能起到保证作用, 测定的数据可供设计者进行结构分析和可靠性计算。

1 结构设计规范对混凝土的强度要求

《建筑结构设计统一标准》(GB 50068—2001)中规定, 将材料性能当做随机变量来处理; 混凝土强度等级划分依据的强度标准值, 其强度保证率应达到 95%。但在实际结构物中, 由于浇筑、捣实、组成材料沉降及自然养护等诸多因素的影响, 以芯样为代表的结构物中混凝土强度与标准试件混凝土的强度是有差别的, 可以用式(1)来描述这两者的关系:

$$K_0 = f_{\text{cor}} / f_{\text{cu}} \quad (1)$$

式中 K_0 ——反映结构混凝土强度与标准试件混凝土强度之差别的系数;

f_{cor} ——结构中混凝土的强度值, MPa;

f_{cu} ——混凝土标准立方体试件的强度值, MPa。

此时, K_0 也是一个随机变量, 需要通过测试和统计分析来获得。

有鉴于此, 本课题组结合实际工程, 通过 1512 个实测芯样强度及相应的标准试件强

度对比统计分析得到： K_0 的统计值变动于 0.7~0.9，随混凝土强度的提高而提高。经分析，对应于不同强度等级混凝土的 K_0 值按表 1 所示选取。

表 1 不同强度等级混凝土的 K_0 值

强度等级	<C20	C25~C30	C35~C45	C50~C60
建议 K_0 取值	0.82	0.85	0.88	0.90

2 用超声回弹综合法对混凝土标准立方体强度进行推算

结构中混凝土强度的检测，只能采用非破损手段。当今非破损检测方法很多，且各有利弊。目前比较可行、可信的方法是超声回弹综合法。超声回弹综合法基础的工作，是要先建立混凝土标准立方体试件强度与超声声速、回弹的相关关系，较适宜的表达式为：

$$f_{cu,e(V,N)} = AV^B N^C \tag{2}$$

式中 $f_{cu,e(V,N)}$ ——超声声速 V 、回弹值 N 推算的混凝土标准立方体试件强度，MPa；
 V ——测区的超声声速平均值；
 N ——测区的回弹值平均值；

A 、 B 、 C ——根据实测结果，用回归分析方法得出的系数。

超声回弹综合法的优点是除推断混凝土强度外，还可以利用超声声速对混凝土构件进行均匀性的检查，若发现结构物的薄弱部位，就可有目标地加严检测和监控。

由于用超声回弹综合法推算得到的标准立方体强度可能存在一定误差，为缩减误差，可钻取少量芯样，用芯样强度对上述推算得到的强度进行校准。进行此项工作时需考虑下述问题。

1) 由于在结构设计规范中已经认可：结构物中混凝土 $\phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 芯样强度与混凝土标准立方体强度的比值 K_0 可按表选取。

$$f_{cu,e(\text{cor})} = f_{\text{cor}} / K_0 \tag{3}$$

式中 $f_{cu,e(\text{cor})}$ ——根据芯样强度推算得到的混凝土标准立方体强度，MPa；
 f_{cor} ——从结构物中钻取的 $\phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 芯样强度，MPa。

2) 单个测区内，实测芯样强度与实测超声、回弹值都是随机变量，其一一对应的比值，也仍然是一个具有相当离散性的量，以一个离散的量作为举足轻重的校准系数是不合适的，两者之间可靠的相关关系应是整批混凝土内全部测区大量实测数据的总体均值之比，即：

$$\psi = \frac{\mu f_{cu,e(\text{cor})}}{\mu f_{cu,e(V,N)}} \tag{4}$$

式中 $f_{cu,e(\text{cor})}$ ——全部测区芯样强度推定强度均值，MPa；
 $f_{cu,e(V,N)}$ ——全部测区超声回弹综合法推定强度均值，MPa。

3) 整批混凝土内布置有大量测区，所以式 4 中的分母是容易计算得到的。但是钻取芯样时会对结构有一定的损伤，要获得大量测试数据的总体均值是不可行的。因此，在实际应用时，建议将芯样的钻取位置限制在超声回弹综合法推算得到的强度均值附近，且芯样数量不大于 5，以期获得两者之间尽可能可靠的比值。

4) 芯样校准后的标准立方强度,按下式计算:

$$[f_{cu,e(V,N)}]_{校} = \psi f_{cu,e(V,N)} \quad (5)$$

3 混凝土强度质量的合格评定

基于结构设计规范对结构物中强度质量的判定要求,可归结为以下两点。

(1) 评定混凝土材料质量是否合格。是在一批混凝土中抽取标准试件进行统计分析,用宽严适度的强度合格评定标准,判定该批混凝土的强度标准值能否达到 95% 保证率。

(2) 评估结构中混凝土的质量是否合格。即用结构物中实测的超声声速、回弹值,按专用曲线推算成混凝土标准立方体强度,再辅以芯样强度校准。此时可用结构设计规范对混凝土强度的要求,来评估该批混凝土的强度标准值能否达到 95% 保证率。

混凝土强度合格评定中,一个极其重要的问题是必须有一个宽严适度的验收标准。经课题组对国内外,包括日本、美国、英国、欧洲混凝土协会、原联邦德国、澳大利亚以及建工、港工、水工等现行混凝土强度验收标准中抽样检验特性进行研究,分类探讨了它们不同生产条件、不同管理水平、不同样本容量下的适用性,提出了一个与我国工程结构可靠度设计统一标准相匹配的强度验收标准。

为了验证这个强度检验标准的可行性和可信性,特在天津国际大厦、天津日报业务楼和金皇大厦三项结构工程中试行。在施工过程中同时采用了三种检测手段作相对比较,现将金皇大厦高强度混凝土合格评定结果列于表 2。

表 2 金皇大厦高强度混凝土合格评定结果

强度等级	楼层	强度评定的合格率		$K = \frac{\mu f_{cor}}{\mu f_{cu}}$	K_0 取值
		标准立方体强度	以芯样校准后的强度		
C60	-1 层 ~ -3 层	3/3=100%	3/3=100%	0.93	0.88
	1 层 ~ 15 层	15/15=100%	15/15=100%		0.88
C50	16 层 ~ 31 层	16/16=100%	16/16=100%	0.87	0.88

由表 2 可以看出以下几点。

1) 由 C60 浇筑的各楼层的混凝土,通过各层标准立方体试件强度的评定,合格率达 100%,混凝土拌和物质量良好,满足设计所需的标准值达 95% 的保证率。

2) 结构中混凝土经超声和高强度混凝土回弹仪综合法检测,并配以小芯样校核,混凝土强度也均判合格,说明施工质量良好。

3) 实测芯样强度与标准立方体试件强度之比值,确与混凝土强度等级有关。

4 结语

本课题组先后在国际大厦、天津日报业务楼和金皇大厦的施工过程中,摸索了一套对混凝土强度和结构物中现场混凝土强度的判定标准,与此同时,进行了混凝土拌和物质量的监控。这种双控方法主要遵循的原则如下。

(1) 采用破损与非破损检测相结合的手段,前者用标准试块,以确保工程所用混凝土材料的质量,后者用于实际结构物的检测,以确保结构中混凝土真实质量。

(2) 遵循 ISO 第 71 委员会的规定, 结构混凝土强度以芯样试验结果为基准。通过大量以芯样强度为标准立方体强度的统计分析, 建立对应不同等级 (C45 以下) 的 K_0 值, 为结构混凝土强度合格评定提供基本折算系数。

(3) 对于结构中混凝土质量的检测, 采用超声回弹综合法做大面积普查, 通过已建立的专用曲线推算混凝土强度, 并从结构物中钻取少量芯样, 采用校准相结合的方法, 以期达到技术和经济效益的最佳组合。

(4) 对结构中混凝土强度的合格评估, 以《建筑结构设计统一标准》(GB 50068—2001) 为依据, 采用了与标准试件破损检测相同的评定标准, 既确保混凝土强度等级和概率分布满足设计要求, 又保持两者评定标准的宽严一致。

参 考 文 献

- [1] 现行建筑结构规范大全. 北京: 中国建筑工程出版社, 2009.
- [2] 交通部第一航务工程局. 港口工程施工手册. 北京: 人民交通出版社, 1997.
- [3] 港口工程结构可靠度设计统一标准编制组. 港口工程结构可靠度. 北京: 人民交通出版, 1993.

纵论混凝土现场施工质量的无损检测与评定

李杰成 李凤明

(广西建筑科学研究设计院, 南宁, 530011)

本文通过多年的现场检定混凝土施工质量的实测数据以及较为详细的分析研究成果, 从多方面指出并论证了现阶段区内多数混凝土检测人员对无损检测的一些模糊观点, 针对各种错误看法的根源, 进行了认真的分析论证。证明了“综合法”、“钻芯法”精度的可信性, 提出了如何利用钻芯法、回弹法、超声一回弹综合法以及三者的综合使用进行混凝土质量评定的技术要求、注意事项以及应用建议。

1 问题的提出

现场混凝土质量的评定方法历年来是广大技术人员感到棘手的问题之一, 最经典的方法是通过现场预留混凝土立方试块的 28d 强度代表之, 而事实上, 由于质监人员 (包括业主代表) 的监督往往还不能保证试块的成型状态与实际构件的完全相同, 以及养护条件的差异、施工人员的做假等多方面因素的影响, 构成了试块的代表性“失真”甚至错误的结果。即在实际工程中, 能按规程严格制作的真正代表构件真实情况的试块甚为少见, 虽然它是较为人们所接受的又合乎规程的方法。但是, 由于这个试块评定不是在构件上直接测得其有关指标来评价混凝土的质量情况, 这就必然存在一种由于期间接性引起的误差。

所以, 多年来国内外专家探讨了各种各样更为直接 (在结构混凝土直接测试)、更为简便的评价方法, 其中的回弹法、钻芯法、综合法等最为突出, 也最为大众所接受。

近些年来, 我国也在积极地逐步推广这些评价方法, 并分别建立了规程及曲线等。无

损检测专家们为此倾注了大量心血，成果可喜，但是由于以下一些错觉和误解或某些其他原因造成了这些方法推广进展不快，或未受重视，甚至威信下降，其原因主要如下。

1) 检测人员素质不高，技术粗糙，造成采集数据失真。

2) 芯样采集及后期处理不善。

3) 应用方法与建立规程、曲线时的状态不同，而造成的错位误差较大。

4) 大多数检测人员抱着“一条曲线打天下”的错误观点，忽视各种技术联系、现场具体情况的修正。

5) 仪器及人员管理不善，对检测人员培训不够。

由于以上诸多的原因使人们对这些方法的可靠度、精度提出了疑惑，致使其推广面不宽、人们的信任不高等不良后果。

实际上，这些方法应用的真实情况如何？这是一个值得重视的问题。通过多年来在一些实际工程中检测数据详细和综合的分析，获得了许多有价值的成果，它将对提高检测精度起到极其重要的作用。

注：本文所述数据及曲线使用只限于普通水泥、碎石成型且采用自然养护方法，而且也只就此作结论。

2 论述与例证

2.1 回弹法、综合法、钻芯法的实际应用情况简述

回弹法是无损检测方法中，最早也是最多地应用于实际工程的方法之一，由于其简单方便、成本低，故目前全国各地已普遍应用，成为各施工、检测、质量单位后期控制及评定混凝土质量的重要手段之一。但由于回弹法全国曲线在广西应用的误差甚大，广西地区曲线中某些公式（普碎自公式）的计算强度又偏低，而曲线建立单位及主管部门又未能及时做补充试验予以纠正。这样检测人员依然按照规程及曲线计算结果来评定结构混凝土，忽略了曲线误差及修正，加上仪器使用不当，影响因素的修正方法不健全等，致使许多工程混凝土质量评定错误，给工程带来了麻烦，造成损失。时间一长，就引起人们对这种方法精度的可靠性产生了不信任感，既影响了工程混凝土质量的合理评价又影响了它的推广应用。实际上，若应用得当，回弹法的规律性及可信度还是比较高的。

综合法的应用情况稍有不同，目前它主要掌握在为数不多（目前全区已有部分地市配备了超声仪）的专门从事施工质量监督及检测的机构和人员手里，其精度以及在实际应用中的威信均比回弹法高。广西地区也在1986年建立了广西“综合法”测强曲线并通过了技术鉴定。但由于综合法应用时，对检测人员的素质要求较高，仪器操作也比较复杂严格，如果使用人员的操作不熟练，技术不过硬就很容易造成人为的测定误差（这种误差不是由于方法或是曲线本身的精度带来的，而是由于操作不规范或是评定方法不合理而导致的）。由于我们对应用人员培训不足，故实际上能正确使用该方法的人员尚不多，所以很多检测人员因未能很好了解它而对它敬而远之，故目前“综合法”的应用尚不够广泛。

钻芯法则直接采取评定的方法，虽然它对结构有局部的破坏，但其直观的强度却为人们所信赖。由于受现场条件及结构情况的限制取样困难，加上设备及操作上的原因，致

使取出的芯样离标准芯样的要求相去甚远（如垂直度、平整度以及高径比等的差距），需要作较严格的加工修补方可进行抗压试验。又因受到加工设备的限制，难以使芯样的加工达到标准芯样的要求（如未加磨平之垂直等），而芯样的最终抗压受这些因素影响较大，加上各种修正尚未得到足够重视，或者对国家现行规程不够熟悉，误认为芯样取回后进行抗压试验所得强度即为混凝土的实际强度，而对芯样状态不同所带来的误差不予重视，所以很多检测结果未能达到令人满意的效果。

那么，实际应用的误差及精度情况如何呢？对几年来在实际检测中一些有可比性的数据进行了分析和统计，得到了一些关于这三种测强方法的一些数据对比的有价值的结论。

2.2 现场检测数据的分析和结果

（1）现场预留的标准立方试块抗压强度与回弹法计算强度的比较情况：在检测武鸣染织厂工程的混凝土质量中，同时得到了构件的预留试块共 14 个。对这批现场试块先进行了回弹测定，接着又进行了抗压试验。然后按南宁地区普碎自公式计算的强度 $f_{\text{计}}$ 与实际试块的抗压强度 $f_{\text{压}}$ 相比（表 1）。

表 1 南宁地区普碎自公式计算的强度 $f_{\text{计}}$ 与实际试块的抗压强度 $f_{\text{压}}$ 相比

构件编号	回弹值 (N)	南宁普碎自曲线 计算强度 $f_{\text{计}}$ (MPa)	实际试块的 抗压强度 $f_{\text{压}}$ (MPa)	相对误差值 $\frac{f_{\text{计}} - f_{\text{压}}}{f_{\text{压}}} \times 100\%$	备注
柱子	28.4	11.5	16.0	-28.1	
柱子	30.5	14.0	16.2	-13.5	
柱子	28.9	12.1	15.2	-20.0	
柱子	29.3	12.5	16.5	-24.2	
柱子	28.8	12.0	15.6	-23.0	
柱子	29.7	13.0	17.0	-23.5	
柱子	27.5	10.6	18.6	-43.0	剔除
柱子	31.5	15.2	18.1	-16.0	
柱子	30.5	14.0	18.1	-22.7	
楼梯	33.0	17.3	20.3	-14.8	
楼梯	32.4	16.5	21.9	-24.7	
楼梯	32.6	16.7	20.8	-19.7	
梁板	23.5	6.9	10.0	-31.0	剔除
梁板	25.6	8.5	14.4	-40.9	剔除

剔除其中 3 个异常数据（误差值比平均相对误差大 50% 以上），得 $n=11$ 。统计结果（表 2）表明：在同一试块上测试，按普碎自公式计算的强度比实际试块的抗压强度值低 20.9% 左右，而全国曲线统计的结果误差更大，高达 32.8%（其原因是地方材料不同）。

表 2 统 计 结 果

子样数	有效子样数	南宁地区普碎自公式 计算的强度平均值 (MPa)	实际试块的抗 压强度平均值 (MPa)	平均 相对误差	标准差
14	11	13.5	17.1	20.9	22.4

(2) 钻芯法的应用情况实例分析。在多年的实践中，积累了一些很有价值的可比性强的数据（详见表 3，表中数据均来自于普通水泥、碎石、自然养护）。在现场测定时，先选定钻取芯样的部位，在此部位先做回弹测试，然后在同一部位取芯（ $\phi 100\text{mm}$ ，高径比为 1:1），芯样进行切割后用水泥浆补平，自然养护干硬后进行抗压试验，得到修正前的芯样强度 f_1 与按南宁地区回弹计算得到的强度 $f_{\text{回}}$ 作比较，结果见表 3。

表 3 芯样强度 f_1 与回弹计算得到的强度 $f_{\text{回}}$ 比较

回弹值 (N)	南宁地区曲线 计算强度 $f_{\text{回}}$ (MPa)	芯样抗压强度 f_1 (MPa)	未加磨平修正 系数前两者间 误差 (%)	加磨平修正系数 后芯样强度 f (MPa)	修正后两者间的 误差 $\frac{f_{\text{回}}-f}{f} \times 100\%$	备注
25.5	8.7	9.9	-12.1	11.6	-25.0	
26.2	9.4	10.3	-8.7	12.0	-21.7	
25.2	8.4	9.1	-7.7	10.6	-20.8	
27.4	10.6	11.7	-9.4	13.7	-22.6	
23.7	7.1	10.3	-31.1	12.1	-41.3	剔除
23.7	7.1	9.5	-25.3	11.1	-36.0	剔除
23.0	6.5	7.5	-13.3	8.8	-26.0	
30.5	13.6	13.8	-14.5	16.1	-15.5	
31.0	14.0	14.1	-0.7	16.5	-15.1	
25.1	8.3	8.3	0	9.7	-14.4	
36.1	19.7	19.7	0	22.9	-14.0	
29.5	11.5	13.0	-3.3	15.2	-24.3	

从表 3 中计算得到：芯样的抗压强度 f_1 比回弹法的计算强度高 6.97% 左右。而在前面的分析中，我们知道 $f_{\text{回}}$ 比混凝土实际强度低 20.9% 左右，也就是说此时得到的芯样强度仍然比混凝土的真实抗压强度低。其原因是什么呢？从以前的研究成果中得知：芯样在补平前抗压面未加以研磨，故芯样平整度和垂直度不满足要求而致使芯样抗压强度偏低 11.7%。所以，为了使芯样强度较精确地反映混凝土的实际强度，将芯样抗压强度乘以修正系数 $K_{\text{磨}}=1.1$ ，对其强度进行修正，（表 3），然后再计算它同回弹法的误差。

通过计算，得到了这样的结果：修正后芯样的强度比 $f_{\text{回}}$ 高 19.9%。而前面证实了混凝土试块强度比 $f_{\text{回}}$ 高 20.9% 左右，这就说明修正后的芯样强度与混凝土的真实强度非常接近。它再次证实了芯样的磨平（或磨平修正）是必要的。

(3) 从上面的分析中得知：芯样修正后的强度与混凝土实际强度比较接近。那么综合法的评定强度与芯样强度之间比较的情况又是怎样的呢？下面就将芯样强度同综合法评定强度作一比较。

在现场测试工作中，确定了取芯部位之后，先在该部位进行综合法的测试，测完之后就在该部位钻取 $\phi 100\text{mm}$ 标准芯样，芯样切割修补后做抗压试验，结果详见表 6。

表 4 的数据中，剔除基中 3 个异常数据，统计结果是：相对标准差为 8.47%，说明综合法评定强度同芯样强度非常接近。前面已证明芯样强度是较准确地反映混凝土实际强

度的，那就说明了广西综合法的评定强度是比较准确的，精度也是较高的。在表 2 列举的 8.47% 标准差中，有部分属于芯样本身的误差引起，有部分属于综合法自身引起。所以综合法评定强度的误差实际还没有这么高，作现场测定能达到这样高的精度已是令人满意的了。通过以上几个方法的两两相比较知道：钻芯法、综合法评定强度与混凝土试块强度误差很小。

表 4 广西综合法评定强度与芯样强度比较

回弹值 (N)	声速值 (V)	广西综合法 曲线强度 $f_{\text{综}}$ (MPa)	修正后芯样 强度 $f_{\text{芯}}$ (MPa)	相对误差值 $\frac{f_{\text{综}} - f_{\text{芯}}}{f_{\text{芯}}} \times 100\%$	误差平方值 δ_2	备注
25.5	3.53	11.0	11.6	-5.1	26.01	
26.2	3.52	11.7	12.0	-2.5	6.25	
25.2	3.26	10.0	10.6	-5.7	32.49	
27.4	3.00	14.1	13.7	2.9	8.41	
23.7	3.57	9.3	12.1	-23.7	533.61	剔除
23.7	3.59	9.3	11.1	-16.2	262.44	
24.3	3.74	10.8	8.8	22.7	515.29	剔除
28.2	3.89	16.0	16.1	-0.6	0.36	
27.5	3.59	14.1	16.5	-14.5	210.25	
28.2	3.80	13.1	9.7	35.0	1225.0	剔除
34.1	3.99	24.1	22.9	5.2	27.04	
29.5	3.40	15.2	15.2	0	0	

(4) 再用实际工程上利用回弹法与综合法测取的实例数据（两法数据均在构件的同一部位测取）进行比较，通过间接比较了解试块与综合法的误差情况。

详细整理了武鸣城厢镇政府办公楼、武鸣染织厂、扶南糖厂热电站、柳州窗纱厂、来宾县印刷厂、区交通厅、贵港市电缆厂等 7 个工程实例数据（详见表 5）并进行了统计分析。结果是：广西综合法曲线的强度与混凝土实际强度非常接近，精度是比较高的。

表 5 工程实例数据统计分析

序号	回弹值 (N)	声速值 (V)	南宁地区普碎自曲线 计算中强度 $f_{\text{普}}$ (MPa)	广西综合法曲线计算 强度 f_r (MPa)	相对误差值 $\frac{f_{\text{普}} - f_r}{f_r} \times 100\%$	备注
1	25.1	3.53	8.3	10.6	-21.7	剔除
2	25.2	3.53	8.7	11.0	-20.9	剔除
3	26.2	3.52	9.4	11.7	-19.7	
4	25.2	3.26	8.4	10.0	-16.0	剔除
5	25.8	3.45	9.0	11.1	-18.9	剔除
6	26.3	3.33	9.5	11.3	-15.9	
7	27.4	3.88	10.6	14.1	-24.8	剔除