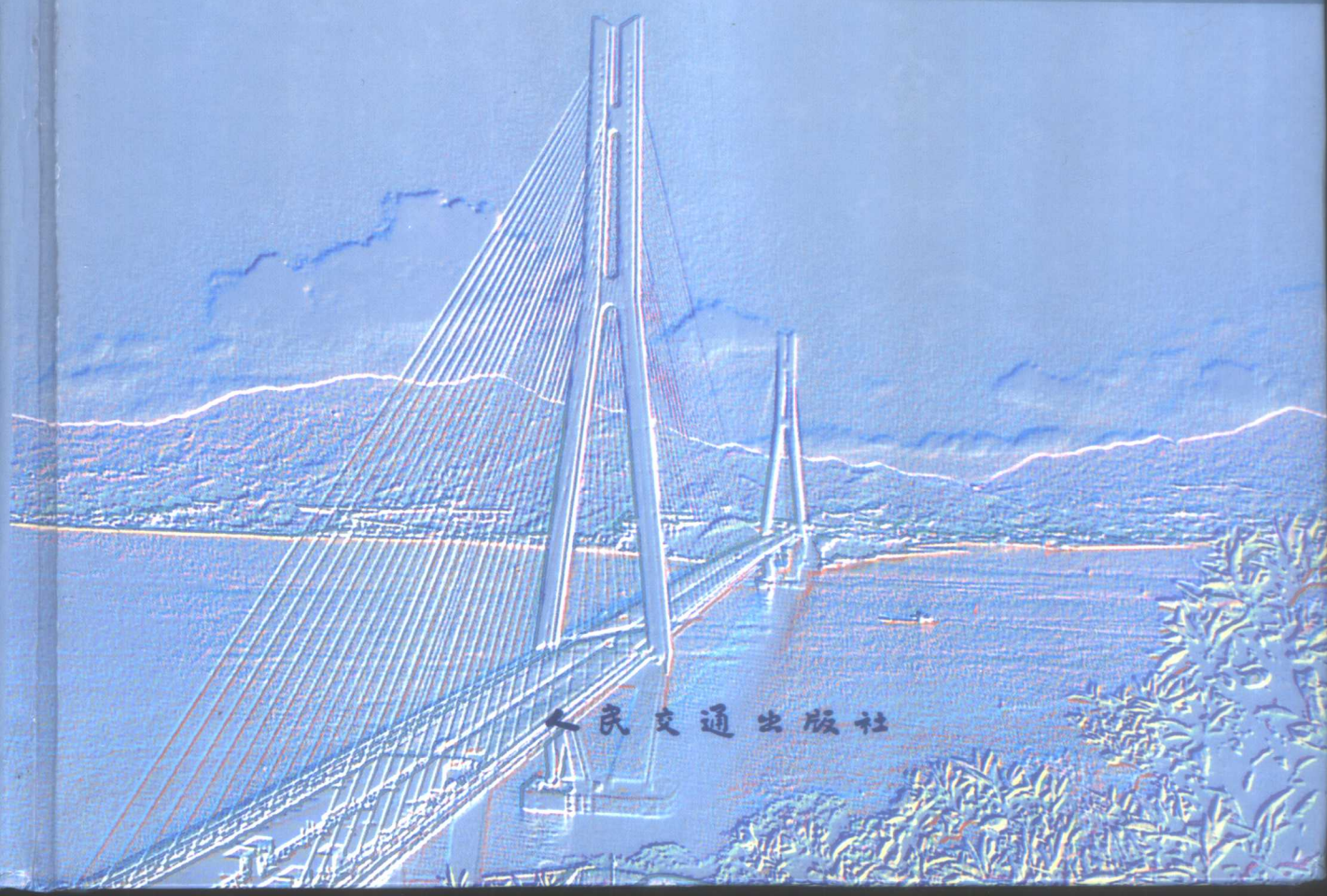


混凝土无损检测

技术手册

□ 吴新璇 主编



人民交通出版社

混凝土无损检测

技 术 手 册

□ 吴新璇 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本手册主要包括:概述、回弹法检测混凝土强度、超声法检测混凝土强度、超声回弹综合法检测混凝土强度、钻芯法、检测混凝土强度、拔出法检测混凝土强度、超声法检测混凝土缺陷、混凝土灌注桩超声检测、钢管混凝土质量检测、冲击回波法检测混凝土内部缺陷及厚度、雷达法检测技术与红外成像无损检测技术

本手册具有较强的针对性与操作性,适合于无损检测技术人员、科研人员和教学人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土无损检测技术手册/吴新璇主编. —北京:人民交通出版社, 2003.1
ISBN 7-114-04538-7

I. 混... II. 吴... III. 混凝土—无损检验—技术手册 IV. TU528.07-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 104235 号

混凝土无损检测技术手册

吴新璇 主编

正文设计:彭小秋 责任校对:戴瑞萍 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京市密东印刷有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:30 字数:747 千

2003 年 1 月 第 1 版

2003 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—4000 册 定价:52.00 元

ISBN7-114-04538-7

编写委员会

主 编:吴新璇

副主编:李为杜 吴慧敏

编委会委员:

(按姓氏笔划为序)

王安坤	叶 健	李为杜	陈丽霞
吴慧敏	邱 平	吴新璇	罗骐先
张治泰	张仁瑜	童寿兴	濮存亭

序 言

XUYAN

混凝土是我国工程建设中使用最为普遍的结构材料之一,其质量直接影响到结构的适用性、安全性和耐久性。为此,人们对混凝土的质量给予了极大的关注。

混凝土是一种多组分的混合材料,从配料、搅拌、成型至养护诸工艺环节,无不影响混凝土的质量,如技术上疏忽或管理不善,势必造成工程质量事故。传统的混凝土质量检测方法是以按规定取样制作的试件试验为基础的,但由于试件的制作条件、养护环境及受力状态与结构物中原位混凝土有明显差异,其试验结果难以反映原位混凝土的质量状态。显然,无损检测技术是获得结构物中原位混凝土真实质量的惟一途径。

近年来,随着我国工程建设质量管理的加强,混凝土无损检测技术的作用日益明显,从而也促进了该项技术的迅猛发展。不仅已有的方法更趋成熟和普及,而且新技术、新方法不断涌现。可以说目前混凝土无损检测技术已跨入了一个崭新的发展阶段。

本书编入的各项技术,是国内有丰富实践经验的无损检测专家,吸收国外先进的技术,从原理、方法、仪器使用和工程检测实例等方面,较系统编写成工具手册。它具有较强针对性、操作性和规范性的特点。我国 6 本无损检测技术规程的主编几乎全部包括在内。

本手册适合于无损检测技术人员、科研人员和教学人员学习参考。

本手册出版旨在进一步推动我国建设工程质量无损检测技术普及和快速发展。

参加本书编写的人员有:第一章 概述(吴新璇 中国建筑科学研究院、吴慧敏 湖南大学)、第二章 回弹法检测混凝土强度(陈丽霞 陕西省建筑科学研究设计院)、第三章 超声法检测混凝土强度(李为杜 同济大学)、第四章 超声回弹综合法检测混凝土强度(邱平 中国建筑科学研究院)、第五章 钻芯法检测混凝土强度(王安坤 中国建筑科学研究院)、第六章 拔出法检测混凝土强度(张仁瑜 中国建筑科学研究院)、第七章 超声法检测混凝土缺陷(张治泰 陕西省建筑科学研究设计院、濮存亭 北京康科瑞责任有限公司)、第八章 混凝土灌注桩超声检测(吴慧敏 湖南大学)、第九章 钢管混凝土质量检测(李为杜、童寿兴 同济大学)、第十章 冲击回波法检测混凝土内部缺陷及厚度(罗骥先 南京水利科学研究院)、第十一章 雷达法检测技术(叶健、陈松 福建省建筑科学研究院) 第十二章 红外成像无损检测技术(李为杜、张晓燕 同济大学)。

本书在编写过程中得到有关单位的大力支持和帮助。有关专家曾对部分检测方法进行过长期的研究,做出过比较突出的贡献,虽然没有参加本书的执笔,编者在此一并表示由衷的感谢和敬意。书中不足之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编委会

二〇〇二年

目 录

MULU

第一章 概述	1
第一节 混凝土无损检测常用方法的分类和特点	1
第二节 混凝土无损检测技术的发展	8
第三节 混凝土无损检测技术应用与展望	12
第二章 回弹法检测混凝土强度	15
第一节 概述	15
第二节 回弹仪	17
第三节 回弹仪检测混凝土强度的影响因素	25
第四节 回弹法测强曲线的建立	35
第五节 检测技术及数据处理	42
第六节 结构或构件混凝土强度的计算	46
第七节 工程应用实例	65
第三章 超声法检测混凝土强度	67
第一节 概述	67
第二节 超声检测混凝土强度的主要影响因素	69
第三节 各种影响因素的显著性分析	77
第四节 建立超声测强曲线的方法	81
第五节 声速换算法	84
第六节 结构混凝土强度检测与推定	89
第四章 超声回弹综合法检测混凝土强度	91
第一节 概述	91
第二节 综合法测量仪器的技术要求	92
第三节 超声回弹综合法测强的主要影响因素	94
第四节 超声回弹综合法测强曲线	97
第五节 超声回弹综合法测强曲线的计算	99
第六节 综合法测定混凝土强度曲线的验证方法	102
第七节 检测技术及混凝土强度的推定	102
第八节 超声波平测、角测及声速计算方法	107
第九节 检测记录表及混凝土强度计算表	108
第十节 工程应用实例	110
第五章 钻芯法检测混凝土强度	114
第一节 概述	114
第二节 钻芯机	115

第三节	人造金刚石空心薄壁钻头	118
第四节	钻芯机的固定方式	119
第五节	钻芯法的配套设备	121
第六节	芯样钻取及加工技术	122
第七节	芯样加工及测量	126
第八节	芯样试件抗压试验及强度计算	129
第九节	结构混凝土芯样抗压强度推定	130
第十节	工程应用	132
第六章	拔出法检测混凝土强度	138
第一节	概述	138
第二节	预埋拔出法	140
第三节	后装拔出法检测混凝土抗压强度	145
第四节	测强曲线的建立	148
第五节	工程检测	150
第六节	拉剥试验	152
第七章	超声法检测混凝土缺陷	154
第一节	概述	154
第二节	混凝土超声检测设备	158
第三节	混凝土裂缝深度检测	177
第四节	不密实区和孔洞检测	187
第五节	混凝土结合面质量检测	198
第六节	混凝土损伤层检测	201
第七节	混凝土匀质性检测	205
第八章	混凝土灌注桩超声检测	207
第一节	概述	207
第二节	混凝土灌注桩超声检测的原理与方法	211
第三节	检测数据的处理与数值判据	219
第四节	数值判据的判断实例	228
第五节	其他判断方法	232
第六节	桩身混凝土强度及均匀性的推定	236
第九章	钢管混凝土质量检测	240
第一节	概述	240
第二节	缺陷判断	241
第三节	适用方法	243
第四节	数值处理	250
第五节	工程实例	251
第六节	注意事项	260
第十章	冲击回波法检测混凝土内部缺陷及厚度	262

第一节	概述	262
第二节	测试原理	263
第三节	试验装置及试验流程	265
第四节	波形采集及采样参数	266
第五节	试验及应用	268
第十一章	雷达法检测技术	280
第一节	概述	280
第二节	雷达法测试原理	281
第三节	雷达扫描仪与选择	288
第四节	雷达法检测技术的应用	298
第五节	信号处理及判断	300
第六节	工程应用实例	304
第七节	结语	311
第十二章	红外成像无损检测技术	313
第一节	概述	313
第二节	测试原则	314
第三节	红外成像仪	323
第四节	适用范围	335
第五节	红外成像影响因素与摄像条件选择	338
第六节	建筑工程红外成像诊断步骤	342
附录一	回弹法检测混凝土抗压强度技术规程(JGJ/T 23—2001)	349
附录二	超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程(CECS 02:88)	373
附录三	钻芯法检测混凝土强度技术规程(CECS 03:88)	408
附录四	超声法检测混凝土缺陷技术规程(CECS 21:2000)	422
附录五	后装拔出法检测混凝土强度技术规程(CECS 69:94)	441
附录六	港口工程混凝土非破损检测规程(节选)(JTJ/T 272—99)	455
附录七	公路路面现场测试规程(节选)(JTJ 059—95)	457
附录八	混凝土超声波检测仪(JG/T 5004—92)	462

·第一章·

GAISHU

概 述

第一节 混凝土无损检测常用方法的分类和特点

混凝土无损检测技术是指在不破坏混凝土结构构件条件下,在混凝土结构构件原位上对混凝土结构构件的混凝土强度和缺陷进行直接定量检测的技术。本书中无损检测技术还包括钻芯、拔出、射钉等局部破损的检测方法。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)规定的混凝土立方体抗压强度标准值系指按照标准方法制作、养护、边长为 150mm 的立方体试件在 28d 龄期,用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度。这种定义是国际上普遍采用的,其目的在于相互可资比较。混凝土强度度量如此严格的标准条件,旨在尽可能排除影响混凝土强度其它外界变异影响,在所谓标准的制作养护、标准试件尺寸、标准试验方法、28d 龄期、具有 95% 保证率的抗压强度。这种严格理想的约束条件虽在现实工程上并不存在,但又是必须予以考虑的,因为这是衡量混凝土结构设计可靠度的基本要求。为解决以上 5 个条件同实际结构构件混凝土强度之间可操作的转换关系,新修订的《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2002)规定混凝土结构构件同条件的试块抗压强度应满足 600 度日,且不小于设计规范规定的混凝土抗压强度标准值乘以 1.1 系数。这个混凝土同条件养护试块抗压强度验收条件是制定无损检测混凝土强度曲线与混凝土结构与施工现行规范挂钩比较时应加以考虑的重要条件,也可以说是一个重要的出发点与依据。这项规定既有一定的试验依据,也有一定的经验性。

依据无损检测技术的检测目的,通常可将无损检测方法分为五大类:

- 一、检测结构构件混凝土强度值;
- 二、检测结构构件混凝土内部缺陷如混凝土裂缝、不密实区和孔洞、混凝土结合面质量、混凝土损伤层等;
- 三、检测几何尺寸如钢筋位置、钢筋保护层厚度、板面、道面、墙面厚度等;
- 四、结构工程混凝土强度质量的匀质性检测和控制;
- 五、建筑热工、隔声、防水等物理特性的检测。

应当指出,从当前的无损检测技术水平与实际应用情况出发,为达到同一检测目的,可以选用多种具有不同检测原理的检测方法,例如结构构件混凝土强度的无损检测,可以利用回弹

法、超声—回弹综合法、超声脉冲法、拔出法、钻芯法、射钉法等。这样为无损检测工作者提供了多种可能并可依据条件与趋利避害原则加以选用。

现将按检测目的、无损检测原理、检测方法综合分类列表如表 1-1 所示：

显然，更加宏观角度分类，也可从对结构构件破坏与否的角度出发，分为三大类：

1. 无损检测技术；
2. 半破损检测技术；
3. 破损检测技术。

本书所指的无损检测技术包括了上述的无损检测技术及半破损检测技术两类。表 1-1 各种检测方法均可归纳进上述三种宏观分类检测技术中，在此不再赘述。至于破损检测，是指荷载破坏性检测，因费用昂贵、耗时较长，是在特别重要的结构，在十分必要时才予以采用，本书未包括此类试验内容。

按检测方法综合分类

表 1-1

按检测目的分类	按检测原理及方法名称分类	测 试 量
混凝土强度检测	压痕法	压力及压痕直径或深度
	射钉法	探针射入深度
	嵌试件法	嵌注试件的抗压强度
	回弹法	回弹值
	钻芯法	芯样抗压强度
	拔出法	拔出力
	超声脉冲法	超声脉冲传播速度
	超声回弹综合法	声速值和回弹值
	声速衰减综合法	声速值和衰减系数
	射线法	射线吸收和散射强度
	成熟度法	度、时积
混凝土内部缺陷检测	超声脉冲法	声时、波高、波形、频谱、反射回波
	声发射法	声发射信号、事件记数、幅值分布能谱等
	脉冲回波法	应力波的时域、频域图
	射线法	穿透缺陷区后射线强度的变化
	雷达波反射法	雷达反射波
	红外热谱法	热辐射

续表 1-1

按检测目的分类	按检测原理及方法名称分类	测 试 量
混凝土几何尺寸检测(如混凝土结构厚度、钢筋位置、钢筋保护层厚度检测)	冲击波反射法	应力波的时域
	电测法	混凝土的电阻率及钢筋的半电池电位
	磁测法	磁场强度
	雷达波反射法	雷达反射波
混凝土质量匀质性检测与控制	回弹法	回弹值
	敲击法	固有频率、对数衰减率
	声发射法	声发射信号、幅值分布能谱等
	超声脉冲法	超声脉冲传播速度
建筑热工、隔声等物理特性检测	红外热谱法	热幅射
	电测法	混凝土的电阻率
	磁测法	磁场强度
	射线法	射线穿过被测体的强度变化
	透气法	气流变化
	中子散射法	中子散射强度
	中子活化法	β 射线与 γ 射线的强度、半衰期等

现将表 1-1 所列重要的无损检测方法的主要特点分别概述如下。

一、回弹法

利用回弹仪检测普通混凝土结构构件抗压强度的方法简称回弹法。回弹仪是一种直射锤击式仪器。回弹值大小反映了与冲击能量有关的回弹能量，而回弹能量反映了混凝土表层硬度与混凝土抗压强度之间的函数关系，反过来说，混凝土强度是以回弹值 R 为变量的函数。

回弹值使用的仪器为回弹仪，回弹仪的质量及其稳定性是保证回弹法检测精度的重要技术关键。这个技术关键的核心是科学的规定并保证回弹仪工作时所应具有的标准状态。国内回弹仪的构造及零部件和装配质量必须符合国家计量检定规程《混凝土回弹仪》(JJG 817—93)的要求。回弹仪按回弹冲击能量大小分为重型、中型、轻型。普通混凝土抗压强度 $\leq C50$ 时通常采用中型回弹仪；混凝土抗压强度 $\geq C60$ 时，宜采用重型回弹仪。轻型回弹仪主要用于非混凝土材料的回弹法。由于影响回弹法测强的因素较多，通过实践与专门试验研究发现，回弹仪的质量和是否符合标准状态要求是保证稳定的检测结果的前提。在此前提下，混凝土抗压强度与回弹法、混凝土表面碳化深度有关，即不可忽视混凝土表面碳化深度对混凝土抗压强度的影响。

此外，对长龄期混凝土，即对旧建筑的混凝土还应考虑龄期影响因素。

为规范回弹检测混凝土抗压强度，保证必要的检测质量，我国建设部颁布了《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》，第一版于 1985 年 8 月实施，编号为(JGJ 23—85)，第二版更名为《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—92)，第三版是于 2001 年修订完成的，2001

年 10 月实施,规程编号为(JGJ/T 23—2001),原规程同时废止。

二、超声法检测混凝土强度

通过超声法检测实践发现,超声在混凝土中传播的声速与混凝土强度值有密切的相关关系,于是超声法检测混凝土缺陷,扩展到检测混凝土强度,其原理就是声速与混凝土的弹性性质有密切的关系,而混凝土弹性性质在相当程度上可以反映强度大小。从上述分析,可以通过试验建立混凝土由超声声速与混凝土强度的相关关系,它是一种经验公式,与混凝土强度等级、混凝土成分、试验数量等因素有关,混凝土中超声声速与混凝土强度之间通常呈非线性关系,在一定强度范围内也可采用线性关系。

显而易见,混凝土内超声声速传播速度受许多因素影响,如混凝土内钢筋配置方向影响、不同骨料及粒径影响、混凝土水灰比、龄期及养护条件影响以及混凝土强度等级影响,这些影响因素如不经修正都会影响检测误差大小问题,建立超声检测混凝土强度曲线时应加以综合考虑影响因素的修正。

三、超声回弹综合法检测混凝土强度

综合法检测混凝土强度是指应用两种或两种以上单一无损检测方法(力学的、物理的),获取多种参量,并建立强度与多项参量的综合相关关系,以便从不同角度综合评价混凝土强度。

超声回弹综合法是综合法中经实践检验的一种成熟可行的方法。顾名思义,该法是同时利用超声法和回弹法对混凝土同一测区进行检测的方法。它可以弥补单一方法固有的缺欠,做到互补。例如回弹法中的回弹值主要受表面硬度影响,但当混凝土强度较低时,由于塑性变形增大,表面硬度反映不敏感,又如当构件尺寸较大时,内外质量有差异时,表面硬度和回弹值难以反映构件实际强度。相反,超声法的声速值是取决于整个断面的动弹性,主要以其密实性来反映混凝土强度,这种方法可以较敏感的反映出混凝土的密实性、混凝土内骨料组成以及骨料种类。此外,超声法检测强度较高的混凝土时,声速随强度变化而不敏感,由此粗略剖析可见,超声回弹综合法可以利用超声声速与回弹值两个参数检测混凝土强度,弥补了单一方法在较高强度区或在较低强度区各自的不足。通过试验建立超声波脉冲速度—回弹值—强度相关关系。

超声回弹综合法首先由罗马尼亚建筑及建筑经济科学研究院提出,并编制了有关技术规程同时在罗马尼亚推广应用。中国从罗马尼亚引进这一方法,结合中国实际进行了大量试验,并在混凝土工程检测中广泛应用,在此基础上于 1988 年由中国工程建设标准化协会组织编制并发布了《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02:88)。

这种综合法最大优点就是提高了混凝土强度检测精度和可靠性。许多学者认为综合法是混凝土强度无损检测技术的一个重要发展方向。目前除上述超声回弹综合法已在我国广泛应用外,已被采用的还有超声钻芯综合法、回弹钻芯综合法、声速衰减综合法等。

四、钻芯法

利用钻芯机、钻头、切割机等配套机具,在结构构件上钻取芯样,通过芯样抗压强度直接推

定结构构件强度或缺陷,无需通过立方体试块或其他参数等环节。它的优点是直观、准确、代表性强,缺点是对结构构件有局部破损,芯样数量不可太多,而且价格也比较昂贵。钻芯法在国外的应用已有几十年历史,一般来说发达国家均制定有钻芯法检测混凝土强度的规程,国际标准化组织(ISO)也发布了《硬化混凝土芯样的钻取及抗压试验》(ISO/DIS 7034)国际标准草案。

我国从20世纪80年代开始,对钻芯法钻取芯样检测混凝土强度开展了广泛研究,目前我国已广泛应用并已能配套生产供应钻芯机、人造金刚石薄壁钻头、切割机及其他配套机具,钻机和钻头规格可达十几种。中国工程建设标准化协会发布了《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS 03:88),从2000年开始又对该技术规程进行修订,现已完成征求意见稿。

钻芯法除用以检测混凝土强度外,还可通过钻取芯样方法检测结构混凝土受冻、火灾损伤深度、裂缝深度以及混凝土接缝、分层、离析、孔洞等缺陷。

钻芯法在原位上检测混凝土强度与缺陷是其他无损检测方法不可取代的一种有效方法。因此,国内外都主张把钻芯法与其他无损检测方法结合使用,一方面利用无损检测方法检测混凝土均匀性,以减少钻芯数量,另一方面又利用钻芯法来校正其他方法的检测结果,以提高检测的可靠性。

五、拔出法检测混凝土强度

拔出法是指将安装在混凝土中的锚固件拔出,测出极限拔出力,利用事先建立的极限拔出力和混凝土强度间的相关关系,推定被测混凝土结构构件的混凝土强度的方法。这种方法在国际上已有五十余年历史,方法比较成熟。拔出法分为预埋(或先装)拔出法和后装拔出法两种。顾名思义,预埋拔出法是指预先将锚固件埋入混凝土中的拔出法,它适用于成批的、连续生产的混凝土结构构件,按施工程序要求,按预定检测目的预先预埋好锚固件。例如确定现浇混凝土结构拆模时的混凝土强度;确定现浇冷却塔混凝土结构的拆模强度;确定预应力混凝土结构预应力张拉或放张时的混凝土强度;预制构件运输、安装时的混凝土强度;冬季施工时混凝土养护过程中的混凝土强度等。后装拔出法指混凝土硬化后,在现场混凝土结构上后装锚固件,可按不同目的检测现场混凝土结构构件的混凝土强度的方法。

尽管极限拔出力与混凝土拔出破坏机理还看法不一致,但试验证明,在常用混凝土范围($\leq C60$),拔出力与混凝土强度有良好的相关关系,检测结果与立方体试块强度的离散性较小,检测结果令人满意。

拔出法在北欧、北美国家得到广泛应用,被认为是现场应用方便、检测费用低廉,尤其适合于现场控制。

国际上不少国家和国际组织发表了拔出法检测规程类文件,例如美国著名的组织 ASTM 发表的《硬化混凝土拔出强度标准试验方法》(ASTM C—900—99),国际标准化组织(ISO)发表了《硬化混凝土拔出强度的测定》(ISO/DIS 8046),中国工程建设标准化协会发布了协会标准《后装拔出法检测混凝土强度技术规程》(CECS69:94)。

从以上分析可见,拔出法虽是一种微破损检测混凝土强度方法,但具有进一步推广与发展的前景。

六、超声法检测混凝土缺陷

超声法检测混凝土缺陷的基本概念是利用带波形显示功能的超声波检测仪和频率为 20 ~ 25kHz 的声波换能器,测量与分析超声脉冲波在混凝土中传播速度(声速)、首波幅度(波幅)、接受信号主频率(主频)等声参数,并根据这些参数及其相对变化,以判定混凝土中的缺陷情况。

混凝土结构,因施工过程中管理不善或者因自然灾害影响,致使在混凝土结构内部产生不同种类的缺陷。按其结构构件受力性能、耐久性能、安装使用性能的影响程度,混凝土内部缺陷可区分为有决定性影响的严重缺陷和无决定性影响的一般缺陷。鉴于混凝土材料是一种非匀质的弹粘性各向异性材料,要求绝对一点缺陷都没有的情况是比较少见的,用户所关心的是不能存在严重缺陷,如有严重缺陷应及时处理。超声法检测混凝土缺陷的目的不是在于发现有无缺陷,而是在于检测出有无严重缺陷,要求通过检测判别出各种缺陷种类和判别出缺陷程度,这就要求对缺陷进行量化分析。属于严重缺陷的有混凝土内有明显不密实区或空洞,有大于 0.05mm 宽度的裂缝;表面或内部有损伤层或明显的蜂窝麻面区等。以上缺陷是易发生的质量通病,常常引起甲乙双方争执的问题,故超声法检测混凝土缺陷受到了广大检测人员的关注。50 年前,加拿大的莱斯利(Leslie)、切斯曼(Cheesman)和英国的琼斯(Jones)、加特弗尔德(Gatfield)率先把超声脉冲检测技术用于混凝土检测,开创了混凝土超声检测这一新领域。由于技术进步,超声仪已由 20 世纪 50 ~ 60 年代笨重的电子管单示波显示型发展到目前半导体集成化、数字化、智能化的轻巧仪器,而且测量参数从单一的声速发展到声速、波幅和频率等多参数,从定性检测发展到半定量或定量检测的水平。我国于 1990 年发布了《超声法检测混凝土缺陷技术规程》(CECS 21:90),1998 ~ 1999 年对该规程进行修订和补充,2000 年又发布了新修订的《超声法检测混凝土缺陷技术规程》(CECS 21:2000)。这是当前超声法检测混凝土缺陷的技术依据。

七、冲击回波法

在结构表面施以微小冲击产生应力波,利用应力波在结构混凝土中传播时遇到缺陷或底面产生回波的情况,通过计算机接收后进行频谱分析并绘制频谱图。频谱图中的峰值即是应力波在结构表面与底面间或结构表面与内部缺陷间来回反射所形成的。由此,根据其中最高的峰值处的频率值可计算出被测结构的厚度,根据其他峰值处频率可推断有无缺陷及其所处深度。

冲击回波法是 20 世纪 80 年代中期发展起来的一种无损检测新技术,这种方法利用声穿透(传播)、反射,不需要两个相对测试面的原理,而只需在单面进行测试即可测得被测结构如路面、护坡、衬砌等厚度,还可检测出内部缺陷(如空洞、疏松、裂缝等)的存在及其位置。

美国在 20 世纪 80 年代研究了利用冲击回波法检测混凝土板中缺陷、预应力灌浆孔道中的密实性、裂缝深度、混凝土中钢筋直径、埋设深度等,均取得了令人满意的检测结果。

我国南京水利科学研究院在 20 世纪 80 年代末研制成功 IES 冲击反射系统,并在大型模拟试验板及工程实测实践中取得了成功,使冲击回波法在我国进入实用阶段。

八、雷达法

雷达法是利用近代军事技术的一种新检测技术。“雷达”是“无线侦察与定位”的缩写。由于雷达技术始于军事需要,受外因限制,雷达技术用于民用工程检测,在国内起步很晚,一直到20世纪90年代才开始。起先是上海用探地雷达,探测地下管线、旧老建筑基础的地下桩基、古河道、暗浜等。

雷达法是以微波做为传递信息的媒介,依据微波传播特性,对被测材料、结构、物体的物理特性、缺陷做出无破损检测诊断的技术。

雷达法的微波频率为300MHz~300GHz,属电磁波,处于远红外线至无线电短波之间。

雷达法引入无损检测领域内大大增强了无损检测能力和技术含量。

利用雷达波对被测物体电磁特性敏感特点,可用雷达波检测技术检测并确定城市市政工程地下管线位置、地下各类障碍物分布、路面、跑道、路基、桥梁、隧道、大坝混凝土裂缝、孔洞、缺陷等质量问题;配合城市顶管、结构等施工工程不可或缺的有效手段。可以想象,雷达波检测技术会在今后城市地下空间开发领域大有用武之地。我国已在路面、跑道厚度检测,市政工程建设中开始应用取得良好效果。

九、红外成像无损检测技术

红外成像无损检测技术是建设工程无损检测领域又一新的检测技术。将红外成像无损检测技术移植进建设工程领域是建设工程无损检测技术进步的一个生动体现,也是必然的发展结果。

红外线是介于可见红光和微波之间的电磁波。红外成像无损检测技术是利用被测物体连续幅射红外线的原理,概括被测物体表面温度场分布状况形成的热像图,显示被测物体的材料、组成结构、材料之间结合面存在的不连续缺陷,这就是红外成像无损检测技术原理。

红外成像无损检测技术是非接触的检测技术,可以对被测物体上下、左右进行非接触的连续扫描、成像,这种检测技术不仅能在白天进行,而且在黑夜也可正常进行,故这种检测技术非常实用、简便。

红外成像无损检测技术,检测温度范围为 $-50\sim 2000^{\circ}\text{C}$,分辨率可达 $0.1\sim 0.02^{\circ}\text{C}$,精度非常高。

红外成像无损检测技术在民用建设工程中,可用于电力设备、高压电网安全运营检查、石化管道泄漏、冶炼设备损伤检查、山体滑坡检查、气象预报。在房屋工程中对房屋热能损耗检测,对墙体围护结构保温隔热性能,气密性、水密性检查更是其他方法无法替代的优点;利用红外成像无损检测技术是贯彻实施国家建设部要求实现建筑节能50%要求的有力和有效的检测手段。

十、磁测法

根据钢筋及预埋铁件会影响磁场现象而设计的一种方法,目前常用于检测钢筋的位置和保护层的厚度。

第二节 混凝土无损检测技术的发展

一、国外混凝土无损检测技术的发展概况

混凝土作为一种最重要、用量最大的工程材料,自 19 世纪初问世以来,已有近 200 年的历史。在这一漫长的发展过程中,如何赋予它一些明确的性能指标,以及如何获得和控制这些性能,一直是人们在实际应用中不断探索的问题之一。如何测定这些性能,则是上述探索的基础。首先被采用的混凝土性能试验方法是“试件试验”。早在 1911 年英国皇家建筑学院(RIBA)的研究报告中,就已把立方体抗压强度试验列为推荐方法,此后迅速被各国采用,并一直沿用至今。这类方法以试件破坏时的实测值代表混凝土的性能指标。“试件试验”方法已延用近一百年,已成为混凝土结构设计、施工及验收规范的基本依据。但由于试件中的混凝土与结构物中的混凝土质量、受力状态,混凝土成型和养护条件都不可能完全一致,所以试件实测值只能被认为是混凝土在特定条件下的性能反映,而不能完全确切地代表结构物原位混凝土的质量状况。尤其是对已建成的老建筑及受灾害因素影响的建筑物需要对其安全性作出评估时,“试件试验”就更无法满足要求。因此,人们一直希望找到一种能在建筑物原位直接测量混凝土各项性能指标的方法。

早在 20 世纪 30 年代初,人们就已开始探索和研究混凝土无损检测方法,致使该方法取得了迅速的发展。1930 年首先出现了表面压痕法。1935 年格里姆(G. Grimet)、艾德(J. M. Ide)把共振法用于测量混凝土的弹性模量。1948 年施米特(E. Schmid)研制成功回弹仪。1949 年加拿大的莱斯利(Leslie)和奇斯曼(Chesman)、英国的琼斯(R. Jones)等运用超声脉冲进行混凝土检测获得成功。接着,琼斯又使用放射性同位素进行混凝土密实度和强度检测,这些研究为混凝土无损检测技术奠定了基础。随后,许多国家也相继开展了这方面的研究。如前苏联、罗马尼亚、日本等国家在 50 年代都曾取得许多成果。60 年代,罗马尼亚的弗格瓦洛(I. Facaoru)提出用声速、回弹法综合估算混凝土强度的方法,为混凝土无损检测技术开辟了多因素综合分析的新途径。60 年代声发射技术被引入混凝土检测体系,吕施(H. Rusch)、格林(A. T. Green)等人先后研究了混凝土的声发射特性,为声发射技术在混凝土结构中的应用打下了基础。80 年代中期,美国的 Mary Sansalone 和 Nicholas J. Carino 实现了在水泥混凝土等集结型非金属、复合材料中采用机械波反射法进行无损检测的目标。此外,无损检测的另一个分支——钻芯法、拔出法、射钉法等半破损法也得到了发展,从而形成了一个较为完整的混凝土无损检测方法体系。

随着混凝土无损检测方法日臻成熟,许多国家开始了这类检测方法的标准化工作,其中以 ASTM 所颁布的有关标准最多,这些标准有《硬化混凝土射入阻力试验方法》(C 803—82)、《结构混凝土抽样与检测方法》(C 823—83)、《混凝土超声脉冲速度试验方法》(C 579—83)、《硬化混凝土回弹试验方法》(C 805—85)、《就地灌注圆柱试样抗压强度试验方法》(C 873—850)、《硬化混凝土拔出强度试验方法》(C 900—87)、《成熟度估算混凝土强度的方法》(C 1074—87)等。此外还有《硬化混凝土超声脉冲速度的测定》(DIN/ISO 8047)俄罗斯的《混凝土超声测强度》(GOST 17624),英国的《测试混凝土中超声速度》(BS 1881:Part 203),捷克和斯洛伐克的《用超

声脉冲检测混凝土的方法》(STN 73-1371)等。与此同时国际标准化组织(ISO)及材料与结构试验研究国际联合组织(RILEM)也先后提出了若干项相关的国际标准。这些工作对结构混凝土无损检测技术的工程应用起了良好的促进作用。

近年来,国外在这方面的研究工作方兴未艾,尤其值得注意的是,随着科学技术的发展,无损检测技术也突破了原有的范畴,涌现出一批新的测试方法,包括微波吸收、雷达扫描、红外热谱、脉冲回波等新技术。而且,测试内容由强度推定、内部缺陷探测等扩展到更广泛的范畴,其功能由事后质量检测,发展到了事前的质量反馈控制。

混凝土无损检测技术的发展虽然时快时慢,但由于工程建设的实际需要,它始终具有较强的生命力。可以预料,随着科学技术的发展和工程建设规模的不断扩大,无损检测技术的发展前景是广阔的。

二、我国混凝土无损检测技术的发展历程

我国在这一领域的研究工作始于20世纪50年代中期,开始引进瑞士、英国、波兰等国的回弹仪和超声仪,并结合工程应用开展了许多研究工作。60年代初即开始批量生产回弹仪,并研制成功了多种型号的超声检测仪;在检测方法方面也取得了许多进展。70年代以后,我国曾多次组织力量合作攻关,80年代着手制订了一系列技术规程,并引进了许多新的检测技术,大大推进了结构混凝土无损检测技术的研究和应用。随着电子技术的发展,仪器的研制工作也取得了新的成就,并逐步形成了自己的生产体系。90年代以来,无损检测技术继续向更深的层次发展,许多新技术得到应用,检测人员队伍不断壮大,素质迅速提高。纵观整个发展历程,我国无损检测技术的发展是非常迅速的,我们可以从下面几个方面叙述这一发展的过程:

(一)在测试技术方面的发展

早在20世纪50年代中期,随着我国基本建设规模的扩大,混凝土无损检测技术就已引起工程界的重视。当时,我国与建设工程有关的主要研究院所及高等院校都开展了这方面的研究工作,并将研究内容列入了我国第一个科技发展十二年规划。

在早期的研究中值得一提的的是同济大学在该领域中作出了开拓性的贡献。当时的同济大学声学研究室与材性研究室在我国著名声学专家魏墨盒教授的领导下,首先开展了混凝土超声检测方法的研究,试验研究了混凝土强度及配合比参数与超声脉冲速度、衰减系数等声学参数之间的相互关系,并于1964年研制出我国第一台非金属超声仪。

60年代初,我国已能生产回弹仪,并对回弹法的研究日趋成熟。在超声法研究方面,主要是运用超声脉冲法进行裂缝探测及运用专用曲线法进行强度检测,并大量引进前苏联及东欧国家的研究成果和检测经验。与此同时,在国内也有许多新的探索,在测强方面,一些研究者试图消除混凝土中砂石含量对“声速——强度”关系的影响,以便建立一条适应范围较广的基准曲线,在这方面获得一定成果的有建材研究院提出的“水泥净浆声速核算法”,陕西省建筑科学研究院提出的“砂浆声速核算法”,以及湖南大学提出的“声速衰减综合测强法”等。但这些方法都因测试方法或核算方法的烦琐而未能得到广泛应用。但它所提出的问题和思路,至今仍对测强研究有所启示。在测缺方面,南京水利科学研究院提出了用概率法判断缺陷的方法,使原来的经验判断上升为数值判据判断。