

建设工程 无损检测技术与应用

JIANSHE
GONGCHENG

WUSUN JIANCE JISHU YU YINGYONG

邱 平 主 编

李为杜 副主编

建设工程无损检测技术与应用

主 编 邱 平

副主编 李为杜

图书在版编目(CIP)数据

建设工程无损检测技术与应用 / 邱平主编. — 北京: 中国环境出版社, 2013.8

ISBN 978-7-5111-1371-9

I. ①建… II. ①邱… III. ①建筑工程—无损检验
IV. ①TU712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 044925 号

出 版 人 王新程
选题策划 高 峰
责任编辑 高 峰 辛 静
责任校对 尹 芳
装帧设计 彭 杉

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765(编辑管理部)
010-67112739(建筑图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67130471(传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2013 年 8 月第 1 版
印 次 2013 年 8 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 27.75
字 数 550 千字
定 价 78.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 侵权必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《建设工程无损检测技术与应用》 编委会

主 编:邱 平

副主编:李为杜

编 委:(按姓氏笔画为序)

王安坤 王正成 李为杜 吴慧敏

罗骐先 张治泰 张仁瑜 张荣成

邱 平

前 言

混凝土是当代建筑工程中最主要的结构材料之一,它的质量直接关系到建筑结构的安全。也是关系国家建设和社会经济发展的大事,与广大民众的工作、生活息息相关,一直受到有关领导部门的高度重视。

无损检测方法是在不影响结构或构件受力性能或其他使用功能的前提下,直接推定混凝土强度或评估混凝土质量,它适用于建设工程施工过程中混凝土质量的监测,又适用于工程的竣工验收和建筑物使用期间混凝土结构或构件的评估鉴定。由于混凝土无损检测技术具有直接、快速、重复、可靠、经济等优点,已成为建设工程一项自成体系的测试技术,在我国工程质量检测、监督、验收等技术中得到广泛应用。

工程质量检测是一项技术性很强的工作,为了适应建筑事业的发展,提高无损检测技术水平和人员素质,加强混凝土无损检测技术规程的宣传贯彻,保证检测工作质量和工程质量,我们组织曾主编无损检测技术规程、负责研究检测技术课题的专家,编写《建设工程无损检测技术与应用》一书。

本书主要是按照我国现行的技术规程编写。这些规程包括《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2010)、《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02:2005)、《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS 03:2007)、《超声法检测混凝土缺陷技术规程》(CECS 21:2000)、《拔出法检测混凝土强度技术规程》(CECS 69:2011)、《红外热像法检测建筑外墙饰面层粘结缺陷技术规程》(CECS 204:2006)、《建筑红外热像检测要求》(JG/T 269—2010)等。本书还介绍了上述规程编写的一些背景材料、国内外混凝土无损检测工程实践经验,以及近年来的科研成果。本书可作为质检人员培训教材外,还可供工程质量管理、检测、监理人员以及高等院校有关专业师生参考。

参加本书编写的人员有:第1章 绪论(吴慧敏 湖南大学)、第2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,邱平 中国建筑科学研究院)、第3章 混凝土超声检测技术基础(罗骐先 南京水利科学院)、第4章 超声法检测混凝土强度(李为杜 同济大学)、第5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)、第6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7章 钻芯法检测混凝土强度(王安坤 中国建筑科学研究院)、第8章 混凝土强度拔出法检测技术(张仁瑜 中国建筑科学研究院)、第9章 高强混凝土强度的无损检测技术(张荣成 中国

建筑科学研究院)、第 10 章 红外成像无损检测技术(李为杜 同济大学)、第 11 章 地质雷达检测技术(王正成 北京铁城信诺工程检测有限公司)、第 12 章 检测数据分析处理(邱平 中国建筑科学研究院)。

本书在编写过程中曾得到有关单位的大力支持和帮助,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。

编 者

2013 年 8 月

目 录

1 概论	1
1.1 混凝土无损检测技术的形成和发展	1
1.2 结构混凝土无损检测技术的工程应用	2
1.2.1 结构混凝土无损检测技术的适用范围	2
1.2.2 结构混凝土强度无损检测的基本定义	3
1.2.3 结构混凝土缺陷无损检测的基本定义	4
1.3 结构混凝土常用无损检测方法的分类和特点	5
1.3.1 混凝土强度的无损检测方法	5
1.3.2 混凝土缺陷的无损检测方法	6
1.3.3 以检测结构混凝土其他性能为目的的无损检测方法	7
1.4 结构混凝土无损检测技术的研究动向	7
1.4.1 结构混凝土无损检测技术基本理论方面的探索和发展	9
1.4.2 结构混凝土无损检测领域中检测方法的探索和发展	10
1.4.3 结构混凝土无损检测仪器的研究动向	12
1.4.4 结构混凝土无损检测信息处理和评价技术的探索和发展	13
思考题	15
2 回弹法检测混凝土强度	17
2.1 概述	17
2.1.1 回弹法应用概况	17
2.1.2 回弹法的基本原理	18
2.1.3 回弹法测强的误差范围	19
2.2 回弹仪	20
2.2.1 回弹仪的类型、构造及工作原理	20
2.2.2 影响回弹仪检测性能的主要因素	21
2.2.3 钢砧率定的作用	26
2.2.4 回弹仪的操作、保养及校验	26
2.2.5 回弹仪的常见故障及排除方法	27

2.3	回弹仪检测混凝土强度的影响因素	27
2.3.1	原材料的影响	27
2.3.2	成型方法的影响	32
2.3.3	养护方法及温度的影响	33
2.3.4	碳化及龄期的影响	34
2.3.5	模板的影响	36
2.4	回弹法测强曲线	37
2.4.1	分类及型式	37
2.4.2	专用测强曲线	38
2.4.3	统一测强曲线	39
2.5	回弹法测强曲线的建立	41
2.5.1	回弹法测强优先采用地区(专用)测强曲线	41
2.5.2	测强曲线的建立	44
2.5.3	回归分析	45
2.5.4	回弹值数值的修正	48
2.6	回弹法检测计算实例	50
2.6.1	测试准备	50
2.6.2	检测前,应具备下列有关资料	50
2.6.3	现场被测结构或构件准备	50
2.6.4	回弹值的测量与计算	51
2.6.5	构件混凝土强度推定	51
2.6.6	混凝土强度换算值修正	52
2.7	工程实例	53
	思考题	56
3	混凝土超声检测技术基础	58
3.1	概述	58
3.2	声学原理	58
3.2.1	波与声波	58
3.2.2	谐振动	59
3.2.3	波的产生与传播	60
3.2.4	波的种类和形式	61
3.2.5	波动方程	63
3.2.6	声波在固体中的传播速度	65
3.2.7	声场	66

3.2.8	声波在介质界面的反射与透射	69
3.2.9	声波在传播过程的衰减	75
3.3	混凝土声学参数与测量	78
3.3.1	混凝土的声学参数	78
3.3.2	声学参数的测量	80
3.3.3	现场超声检测的几种测试方法	89
3.4	非金属超声检测设备	93
3.4.1	超声仪	93
3.4.2	换能器	95
3.4.3	超声波自动测桩仪	102
3.5	影响声(波)速测值的因素及修正	105
3.5.1	测距对波速测值的影响	105
3.5.2	钢筋对波速测量的影响	107
3.5.3	换能器频率的影响	109
	思考题	109
4	超声法检测混凝土强度	110
4.1	概述	110
4.1.1	超声法检测混凝土强度的依据	110
4.1.2	超声法检测混凝土强度的技术途径	111
4.1.3	混凝土超声法测强的特点与技术稳定性	111
4.2	超声检测混凝土强度的主要影响因素	112
4.2.1	试件断面尺寸效应	112
4.2.2	温度和湿度的影响	112
4.2.3	结构混凝土中钢筋的影响与修正	113
4.2.4	粗骨料品种、粒径和含量的影响	116
4.2.5	水灰比(w/c)及水泥用量的影响	118
4.2.6	混凝土龄期和养护方法的影响	118
4.2.7	混凝土缺陷与损伤对测强的影响	119
4.3	各种影响因素的显著性分析	120
4.3.1	选定影响因素和变化水平	120
4.3.2	选用正交表、确定试验方案	121
4.3.3	对试验结果进行极差分析或方差分析	121
4.4	声速换算法	124
4.4.1	硬化水泥净浆声速换算方法	125

4.4.2	水泥砂浆声速换算法	127
4.4.3	混凝土强度与混凝土中砂浆换算声速的关系	128
4.5	结构混凝土强度检测与推定	129
4.5.1	测区选择	129
4.5.2	结构混凝土强度的推定	129
	思考题	130
5	超声法检测混凝土缺陷	131
5.1	概述	131
5.1.1	混凝土缺陷超声检测技术的发展	131
5.1.2	超声法检测混凝土缺陷的基本原理	132
5.1.3	超声法检测混凝土缺陷的基本方法	132
5.1.4	超声法检测混凝土缺陷的主要影响因素	133
5.2	混凝土裂缝深度检测	135
5.2.1	单面平测法	136
5.2.2	斜测法	140
5.2.3	钻孔测法	142
5.2.4	裂缝深度检测实例	146
5.3	混凝土不密实区和空洞检测	153
5.3.1	测试方法	153
5.3.2	不密实区和空洞的判定	156
5.3.3	不密实混凝土检测实例	164
5.4	混凝土结合面质量检测	168
5.4.1	定义及检测前的准备	168
5.4.2	测试方法	168
5.4.3	数据处理及判定	168
5.4.4	结合面质量检测实例	169
5.5	表面损伤层检测	172
5.5.1	测试方法	172
5.5.2	损伤层厚度判定	174
5.5.3	表面损伤层检测实例	175
5.6	钢管混凝土缺陷检测	178
5.6.1	概述	178
5.6.2	测试方法	179
5.6.3	数据分析与判断	182
5.7	混凝土匀质性检测	182
5.7.1	概述	182

5.7.2	测试方法	182
5.7.3	计算和分析	183
5.8	混凝土钻孔灌注桩的质量检测	184
5.8.1	混凝土钻孔灌注桩的无损检测技术概况	184
5.8.2	钻孔灌注桩超声脉冲检测法的基本原理和检测设备	186
5.8.3	声测管的预埋	188
5.8.4	钻孔灌注桩缺陷检测结果的分析和判断方法	188
5.8.5	桩内混凝土强度的测量	193
	思考题	195
6	超声回弹综合法检测混凝土强度	196
6.1	综合法检测混凝土强度仪器	196
6.2	超声回弹综合法检测技术发展概况	197
6.2.1	超声回弹综合法检测混凝土强度技术	197
6.2.2	综合法测强技术影响因素的研究	198
6.3	超声回弹综合法测强曲线的制定	204
6.3.1	测强曲线的分类	204
6.3.2	测强曲线的建立方法	205
6.3.3	超声回弹综合法测强曲线	206
6.4	综合法测强技术	210
6.4.1	测试前准备	210
6.4.2	回弹测试及回弹值计算	211
6.4.3	超声测试及声速值计算	211
6.4.4	混凝土强度推定	212
6.4.5	超声波角、平测及声速计算方法	212
6.5	综合法测强优先采用地区(专用)测强曲线	216
6.5.1	建立地区测强曲线	216
6.5.2	使用地区测强曲线工程验证	217
6.6	综合法测强规定	219
6.6.1	构件强度推定	219
6.6.2	构件按批检测标准差限值	220
6.6.3	检测记录计算表	220
6.7	工程检测实例	222
6.7.1	工程实例	222
6.7.2	计算机处理	227
7	钻芯法检测混凝土强度	230
7.1	概述	230

7.1.1	钻芯法的发展过程及现状	230
7.1.2	钻芯法的应用特点	230
7.2	钻芯机及切割机	231
7.2.1	钻芯机	231
7.2.2	芯样切割机	236
7.3	钻芯配套机具	237
7.3.1	人造金钢石空心薄壁钻头	237
7.3.2	人造金刚石圆锯片	240
7.3.3	磁感仪(或雷达仪)	242
7.3.4	冲击钻	244
7.4	芯样钻取技术	244
7.4.1	钻芯前的准备	244
7.4.2	钻芯位置的选择	245
7.4.3	钻芯技术	246
7.4.4	钻孔的修补	251
7.5	芯样加工及技术要求	251
7.5.1	芯样试件尺寸要求及测量方法	251
7.5.2	芯样切割加工	253
7.5.3	芯样端面的修整	253
7.5.4	芯样中含有钢筋对抗压强度的影响	255
7.6	芯样试件抗压试验及强度计算	256
7.6.1	抗压试验方法	256
7.6.2	抗压强度计算	258
7.7	混凝土芯样抗压强度推定	258
7.7.1	检测单个构件	258
7.7.2	检测批构件	258
7.7.3	钻芯修正方法	259
7.8	混凝土芯样抗拉强度测试方法	261
7.8.1	轴心抗拉强度	261
7.8.2	劈裂抗拉强度	261
7.9	工程应用	262
7.9.1	检测结构混凝土强度	262
7.9.2	检测结构混凝土抗拉强度	263
7.9.3	检测结构混凝土内部缺陷	265
	思考题	266
8	混凝土强度拔出法检测技术	267
8.1	概述	267
8.2	预埋拔出法	269
8.2.1	拔出仪	269

8.2.2 试验拔出	269
8.3 后装拔出法	273
8.3.1 圆环支承拔出试验	274
8.3.2 三点式支承拔出试验	276
8.4 测强曲线的建立	278
8.4.1 基本要求	278
8.4.2 试验规定	278
8.4.3 分析计算	279
8.5 工程检测要点	279
8.5.1 测点布置	279
8.5.2 混凝土强度推定	280
8.6 拉剥试验	281
8.7 后锚固法	282
思考题	283
9 高强混凝土强度的无损检测技术	284
9.1 概述	284
9.2 回弹法测强曲线的建立	284
9.2.1 试验概况	284
9.2.2 回弹法的基本原理及试验结果分析	285
9.3 超声回弹综合法测强曲线的建立	286
9.4 计算公式精度验证	288
9.5 针贯入法测强曲线的建立	289
9.5.1 试验概况	289
9.5.2 试验步骤及试验数据分析	290
9.6 后装拔出法测强曲线的建立	291
9.6.1 试验概况	291
9.6.2 拔出法的理论根据及试验结果分析	292
思考题	294
10 红外成像无损检测技术	295
10.1 概述	295
10.2 红外检测技术基本原理	295
10.2.1 红外线及检测依据	295
10.2.2 红外线辐射特性	297
10.3 红外成像仪	304
10.3.1 红外成像仪工作原理	304
10.3.2 红外成像仪组成系统与特性分析	304
10.3.3 热像仪选用	310
10.4 红外检测技术的适用范围	313

10.4.1	建筑节能中的应用	313
10.4.2	建筑物外墙剥离层的检测	313
10.4.3	饰面砖黏贴质量大面积安全扫测	314
10.4.4	玻璃幕墙、门窗保温隔热性、防渗漏的检测	314
10.4.5	墙面、屋面渗漏的检查	315
10.4.6	结构混凝土火灾受损、冻融冻坏的红外检测技术	315
10.4.7	其他方面	315
10.5	红外成像影响因素与摄像条件选择	316
10.5.1	红外成像影响因素	316
10.5.2	摄像条件选择	316
10.5.3	拍摄热像方法	318
10.5.4	热像图二次处理	318
10.6	建筑工程红外成像诊断的步骤	319
10.6.1	红外成像诊断的步骤	320
10.6.2	进行红外诊断的流程图	321
	附录	323
11	地质雷达检测技术	327
11.1	概述	327
11.1.1	地质雷达发展史	327
11.2	地质雷达基本理论	327
11.2.1	地质雷达的成像原理	327
11.2.2	地质雷达基本理论	328
11.3	地质雷达的探测方式	338
11.3.1	数据采集模式	339
11.3.2	地质雷达的探测方法	339
11.3.3	地质雷达现场探测工作	342
11.4	地质雷达数据处理和解释	346
11.4.1	雷达图像的数据处理技术	346
11.4.2	RAMAC GPR 数据处理实例	347
11.4.3	地质雷达数据解释方法	349
11.5	工程应用实例	350
11.5.1	地下停车场基础拉梁检测	350
11.5.2	楼板厚度及钢筋位置检测	351
11.5.3	构造柱混凝土缺陷检测	352
11.5.4	2.5D 雷达数据	352

11.5.5	隧道衬砌质量检测	352
11.5.6	管线位置探测	355
11.5.7	挡土墙质量检测	358
11.5.8	隧道超前预报	359
11.5.9	公路路基及结构层质量检测	360
11.6	结语	362
	思考题	362
12	检测数据分析处理	364
12.1	误差与数据处理	364
12.1.1	误差的估计	364
12.1.2	测量误差对测量结果的影响	365
12.1.3	多次检测结果的误差估计	366
12.2	数值修约规则与极限数值的表示和判定	372
12.2.1	范围	372
12.2.2	术语和定义	373
12.2.3	数值修约规则	373
12.2.4	修约规则的使用方法多步计算	376
12.2.5	不允许连续修约	376
12.2.6	0.5 单位修约与 0.2 单位修约	377
12.2.7	极限数值的表示和判定	378
12.2.8	工程检测和计算数值修约示例	381
12.2.9	试验室试验测定和修约值计算	381
12.2.10	计算机编程数值修约参考子程序	382
12.3	检测数据的回归分析	383
12.3.1	回弹(超声)法测强一元回归分析	383
12.3.2	二元(或多元)回归分析	392
12.4	采用计算器进行数据处理	404
12.4.1	SHARP EL-5002(或广州 8031、大连 DS-5)计算器	405
12.4.2	SHARP EL-5100 计算器	410
12.4.3	TRNFA 信发牌 SC-118B-4 计算器	413
12.5	采用 Excel 系统进行数据处理	416
12.5.1	制订测强曲线试验数据预处理	416
12.5.2	构件混凝土强度计算预处理	420
12.5.3	采用 Excel 电子表格进行回归、绘图、误差计算数据处理	422

1 概论

1.1 混凝土无损检测技术的形成和发展

混凝土是当代建筑工程中最主要的结构材料之一。由于混凝土通常是在工地或搅拌站进行配料、搅拌、成型、养护,所以每一个环节稍有不慎都将影响其质量,危及整个结构的安全。因此,加强混凝土的质量监测与控制成为当今建筑工程技术中的重要课题。众所周知,混凝土的主要质量指标历来是以标准试件的抗压强度为依据的。试件抗压强度试验在全世界已沿用 100 多年,成为混凝土与钢筋混凝土结构的设计、施工及验收的基本依据。我国所制定的《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)及《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010),对这一试验法作出了明确的规定,为按试件强度进行混凝土质量监控奠定了基础。但必须看到,混凝土标准试件的抗压试验对结构混凝土来说,毕竟是一种间接测定值。由于试件的成型条件、养护条件及受力状态都不可能和结构物上的混凝土完全一致,因此,试件测量值只能被认为是混凝土在特定的条件下的性能反映,而不能代表结构混凝土的真实状态,至少在下述情况下,混凝土试件抗压强度不可能如实反映结构混凝土的性能:

- (1) 当混凝土施工中发现某一施工环节存在问题,对结构混凝土强度产生怀疑时;
- (2) 当试件的取样、制作、养护等未按规定进行,对其可信度产生怀疑时;
- (3) 当结构混凝土受自然环境的侵蚀或受灾害性因素而损害时。

我国《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010)中规定:“当对混凝土强度试件的代表性有怀疑时,可用从结构中钻取试样的方法或采用非破损检验方法,按有关标准的规定对结构或构件中混凝土的强度进行推定”,这里所说的非破损检验方法,是指在不影响结构或构件受力性能或其他使用功能的前提下,直接在结构或构件上通过测定某些适当的物理量,并通过这些物理量与混凝土强度的相关性,进而推定混凝土强度、均匀性、连续性、耐久性等一系列性能的检测方法。

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,并获得迅速的发展。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)成功研制回弹仪。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.Făcăoaru)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发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.R.üsch)、格林(A.T.Green)等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。此外,无损检测的另一个分支——钻芯法、拔出法、射击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工作,如

美国的 ASTM、英国的 BSI 均已颁布或正准备颁布有关标准,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标准试验方法》(C803-82)、《结构混凝土抽样与检验标准方法》(C823-83)、《混凝土超声脉冲速度标准试验方法》(C597-83)、《硬化混凝土回弹标准试验方法》(C805-85)、《就地灌注圆柱试样抗压强度标准试验方法》(C873-85)、《硬化混凝土拔出强度标准试验方法》(C900-87)、《成熟度估算混凝土强度的方法》(C1074-87)等。此外,国际标准化组织(ISO)也先后提出了回弹法、超声法、钻芯法、拔出法等相应国际标准草案。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。

20 世纪 80 年代以来,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,发展成事前的在线检测和质量反馈控制。

多年来,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,它始终具有生命力,许多国家逐步将其标准化,成为法定的检测手段之一。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。

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。20 世纪 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。20 世纪 70 年代以后,我国曾多次组织力量合作攻关,大大推进了结构混凝土无损检测技术的研究和应用。现已使回弹法、超声回弹综合法、钻芯法、拔出法、超声缺陷检测法等主要无损检测技术规范化。已制定的规程有《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)、《后装拔出法检测混凝土强度技术规程》(CECS 69:94)、《超声法检测混凝土缺陷技术规程》(CECS 21:2000)以及《基桩低应变动力检测规程》(JGJ/T 93—95)等。有关仪器的研究也发展迅速,并制定了有关仪器标准。总的来说,我国在这一领域中的研究工作起步较早、基础广泛、成果丰硕,应用普及率高,在常用的结构混凝土无损检测技术方面的研究和应用水平已处于国际先进地位,但在新的无损检测技术的开拓方面却比较缓慢,有待进一步努力。

1.2 结构混凝土无损检测技术的工程应用

1.2.1 结构混凝土无损检测技术的适用范围

混凝土整个测试技术体系由宏观力学性能及其他宏观性能测试技术、细观结构的观察和分析技术、微观结构的观察和分析技术三部分组成。虽然无损检测技术在这三个层次的测试技术中都有用武之地,但作为工程应用,则主要用于结构安全直接有关的宏观力学性能及宏观缺陷的测试方面。结构混凝土无损检测技术工程应用的主要范围是结构混凝土的强度、内部缺陷及其他性能检测。

1.2.1.1 结构混凝土的强度检测

需直接在结构物上运用无损检测方法推定混凝土实际强度: