

混凝土的非破损检测

侯宝隆 蒋之峰 编译

地震出版社



混凝土非破损检测

侯宝隆 蒋之峰 编译

地震出版社

1992

(京)新登字095号

内 容 提 要

本书简明扼要地介绍了混凝土非破损检测的定义、特点及意义,叙述了国内外正在广泛采用或正在研究开发的各种非破损检测方法,包括超声法、冲击弹性波法、声发射法、测定打击声法、电磁法、摄影法、放射线法、红外线法、回弹法及综合法等,同时介绍了各种局部破损的检测方法,列举了非破损检测的应用实例。本书对混凝土工程检测人员、设计人员、施工人员有一定的参考价值,也可作为土建类院校师生的参考书。

混凝土非破损检测

侯宝隆 蒋之峰 编译

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

北京怀柔渤海印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

850×1168 1/32 12印张 313千字

1992年9月第一版 1992年9月第一次印刷

印数: 0001—5000

ISBN 7—5028—0721—7/TU·65

(1114)定价: 12元

前 言

混凝土非破损检测是整个混凝土工程技术中的一项重要内容，这项技术的推广应用对于提高混凝土工程质量，对于顺利进行老厂改造有着重要的意义。

目前，世界上混凝土非破损检测技术发展很快，各种测试技术、仪器的研制水平不断提高，许多现代科学技术已进入了混凝土非破损检测领域，各国专家已逐渐把混凝土非破损检测技术看作衡量一个国家土建测试技术水平的重要标志之一。我国有关工程技术人员在这方面也做了很多工作，不仅对原有的检测方法进行完善，而且不断在探索、开发新的检测方法和检测仪器。根据这种情况，我们认为有必要把国内国外有关检测方法的资料收集起来，加以消化整理，汇编成册，介绍给大家，以节约大家查找资料的时间。

本书以日本森北出版株式会社1991年出版的《混凝土非破损检测》一书为主，广泛采集了日本《混凝土工学》杂志上的有关文章，参阅国内大量的相关资料编译而成。在编译过程中得到冶金部建筑研究总院肖良钊等高级工程师的热情指导和帮助。顾直青高级工程师对全书作了认真审阅。由于我们水平有限，书中错误之处一定很多，衷心欢迎批评指正。

编译者

1992.6.21

目 录

第一章 概述	1
1.1 混凝土非破损检测技术的定义、特点及意义.....	1
1.1.1 定义.....	1
1.1.2 特点.....	1
1.1.3 意义.....	2
1.2 混凝土非破损检测技术的应用.....	2
1.2.1 应用目的.....	2
1.2.2 测定项目.....	3
1.3 混凝土非破损检测方法的分类.....	4
1.4 混凝土非破损检测方法简介.....	5
1.4.1 混凝土强度的非破损检测方法.....	5
1.4.2 强度以外的非破损检测方法.....	17
1.5 对混凝土非破损检测方法的评价.....	21
1.5.1 非破损检测与破坏试验方法的关系.....	21
1.5.2 对各种非破损检测方法的评价.....	24
1.6 非破损检测在耐久性诊断中的位置.....	25
1.6.1 问诊.....	25
1.6.2 一次调查(观察调查).....	27
1.6.3 二次调查(详细调查).....	28
1.6.4 判定是否需要修补、加固及选定对策工法.....	28
1.7 非破损检测方法的选定.....	28
1.7.1 一般建(构)筑物.....	29
1.7.2 隧道(含盾构).....	29
1.7.3 港湾结构物.....	29
1.7.4 水坝.....	29
1.7.5 设备基础.....	31
1.7.6 桥梁.....	31

1.8 国内外混凝土非破损检测标准规范概况	33
1.8.1 国外概况	33
1.8.2 国内概况	36
1.9 混凝土非破损检测技术的现状与展望	37
1.9.1 国外现状	37
1.9.2 国内现状	39
1.9.3 混凝土非破损检测技术发展趋势展望	43
第二章 超声法及冲击弹性波法	45
2.1 引言	45
2.2 超声法检测原理、一般方法及仪器	46
2.2.1 原理	46
2.2.2 探头的配置	46
2.2.3 超声波的振动方式	47
2.2.4 主要声学参数	48
2.2.5 探头与混凝土之间的声耦合	48
2.2.6 各检测项目的应用概况	49
2.2.7 检测仪器简介	50
2.3 各种检测项目的超声检测方法	51
2.3.1 混凝土强度的检测方法	51
2.3.2 裂缝深度的检测方法	53
2.3.3 内部缺陷的检测方法	58
2.3.4 其它项目的检测方法	62
2.4 冲击弹性波检测法	63
2.4.1 简述	63
2.4.2 冲击弹性波的检测原理	64
2.4.3 检测装置的构成及测定原理	65
2.4.4 检测方法	66
2.4.5 检测方法的应用	67
第三章 声发射法及测定打击声法	70

3.1	引言	70
3.2	声发射检测法	70
3.2.1	基本原理与特点	70
3.2.2	检测仪器和AE参数	73
3.2.3	裂缝的AE检测方法	75
3.2.4	其它项目的AE检测方法	82
3.3	测定打击声检测法	90
3.3.1	原理	90
3.3.2	检测装置的组成及其功能	92
3.3.3	检测装置的应用及探测性能	96
3.3.4	用于检测蜂窝、空洞	97
第四章	电磁法和摄影法	99
4.1	引言	99
4.2	微波检测法	99
4.2.1	简述	99
4.2.2	原理及装置概要	100
4.2.3	地下雷达简介	102
4.2.4	在混凝土非破损检测中的应用	104
4.3	电磁感应检测法	107
4.3.1	简述	107
4.3.2	电磁感应法原理	107
4.3.3	钢筋探测仪	108
4.3.4	其它项目的检测方法	111
4.4	摄影检测法	115
4.4.1	简述	115
4.4.2	裂缝现状调查的内容	115
4.4.3	混凝土裂缝摄影识别系统的组成	116
4.4.4	CCD 摄像机	118
4.4.5	静态照相机的裂缝识别系统	119

4.4.6	裂缝摄影检测方法和处理实例	122
4.4.7	摄影识别系统的特点及今后的研究课题	124
第五章	放射线法及红外线法	127
5.1	引言	127
5.2	放射线检测法	127
5.2.1	简述	127
5.2.2	与透射试验有关的放射线的物理性质	128
5.2.3	射线源	129
5.2.4	胶片	131
5.2.5	摄影检测方法	132
5.2.6	透视照片	133
5.2.7	空洞的检测方法	133
5.2.8	钢筋位置的测定方法	137
5.2.9	其它项目的检测方法	142
5.2.10	安全管理	147
5.3	红外线检测法	147
5.3.1	简述	147
5.3.2	红外线的物理性能	148
5.3.3	红外线照相机	150
5.3.4	红外线检测剥离和空洞的原理	152
5.3.5	红外线摄影观测	152
5.3.6	观测注意事项	154
5.3.7	检测数据的修正	156
5.3.8	检测效果	157
第六章	回弹法及综合法	158
6.1	回弹法	158
6.1.1	简况	158
6.1.2	基本原理	159
6.1.3	测定仪器——回弹仪	160

6.1.4	测定方法	163
6.1.5	强度推定	165
6.2	超声一回弹综合法	166
6.2.1	简况	166
6.2.2	超声一回弹综合法的特点	167
6.2.3	基本原理	168
6.2.4	测试方法	169
6.2.5	强度推定	170
第七章	局部破损检测法	172
7.1	引言	172
7.2	钻芯法	172
7.2.1	简述	172
7.2.2	芯样选取	173
7.2.3	影响因素	174
7.2.4	强度推定	174
7.2.5	小直径芯样	175
7.3	拔出法	177
7.3.1	简述	177
7.3.2	基本原理	178
7.3.3	预埋拔出法	180
7.3.4	后装拔出法	182
7.3.5	强度的推定	185
7.3.6	拔出法与其它检测方法的比较	187
7.4	射钉法(贯入阻力法)	188
7.4.1	简述	188
7.4.2	基本原理	188
7.4.3	主要设备及操作	189
7.4.4	强度推定	190
7.4.5	影响因素分析	190

7.4.6 与回弹法、拔出法的比较·····	192
第八章 非破损检测应用实例 ·····	193
8.1 引言·····	193
8.2 强度、质量检测·····	193
8.2.1 用超声一回弹综合法检测某工程地下室混凝土质量·····	193
8.2.2 用钻芯、超声等方法检测大体积混凝土质量·····	197
8.2.3 用拔出法检测混凝土强度·····	202
8.3 裂缝分布及裂缝宽度的观察(桥梁底板的变形调查)·····	205
8.3.1 规划、准备·····	206
8.3.2 摄影·····	206
8.3.3 照片处理·····	206
8.3.4 识别、图面化量测·····	206
8.3.5 结果·····	207
8.4 裂缝深度的检测(用超声法对试体进行裂缝深度检测试验)·····	208
8.4.1 BS—4408规定的方法·····	209
8.4.2 利用相位变化的方法·····	209
8.4.3 频率分析法·····	210
8.5 表面剥离的检测·····	212
8.5.1 用打击法检测建筑物外墙的剥离·····	212
8.5.2 用红外线对建筑物进行劣化调查·····	217
8.6 内部缺陷及空洞的检测·····	219
8.6.1 超声法检测蜂窝的实验·····	219
8.6.2 用超声反射法测定空隙·····	222
8.6.3 用电磁波法调查隧道背面空洞·····	224
8.6.4 用声发射(AE)方法判定预应力混凝土套管灌浆充填程度·····	227
8.6.5 用放射线调查空洞·····	230

8.7 钢筋位置的检测	233
8.7.1 用放射线测定钢筋的位置	233
8.7.2 用雷达波(电磁波)检测钢筋位置	239
8.8 其它项目的检测	241
8.8.1 用AE法检测钢筋混凝土桥的劣化程度	241
8.8.2 用超声法检测火灾后混凝土结构的损伤程度	245
附录	250
附录1 国外有关混凝土非破损检测的标准规范的比较	250
附录2 国内有关混凝土非破损检测的技术规程	258
附2.1 回弹法评定混凝土抗压强度技术规程(JGJ 23—85)	258
附2.2 超声—回弹综合法检测混凝土强度技术规程(CECS02:88)	285
附2.3 钻取芯样法测定结构混凝土抗压强度技术规程(YBJ209—86)	314
附2.4 钻芯法检测混凝土强度技术规程(CECS03:88)	320
附2.5 拔出法检测评定混凝土抗压强度技术规程(YBJ 229—91)	330
附录3 国外有关混凝土最新非破损检测仪器介绍	354
附录4 国内有关混凝土非破损检测仪器介绍	369

第一章 概 述

1.1 混凝土非破损检测技术的

定义、特点及意义

1.1.1 定义

在不破坏混凝土内部结构和使用性能的情况下,利用声、光、热、电、磁和射线等方法,测定有关混凝土性能方面的物理量,推定混凝土强度、缺陷等的测试技术,统称为混凝土非破损检测技术。

测定混凝土强度的局部破损检测方法,如钻芯法、拔出法等,由于所造成的局部损伤仅在混凝土表面,对结构的整体没有影响,不会危害结构的安全,所以广义地理解,也将其归入非破损检测范畴。

1.1.2 特点

非破损检测与常规的标准试块破坏试验方法相比,具有下列特点。

(1)不破坏构件或建(构)筑物的结构,不影响其使用性能,且简便快速。

(2)可直接在结构混凝土上作全面检测,能比较真实地反映混凝土的质量和强度,可避免标准试块不能真实反映工程质量的缺点。

(3)能获得破坏试验不能获得的信息,如能检测内部空洞、疏松、开裂、不均匀性,表层烧伤、冻害及化学腐蚀等。这些都是标准试块破坏试验无法代替的。

(4)标准试块破坏试验只能用于新建工程的混凝土质量检查,而非破损检测方法,对新建工程和已有建(构)筑物都能应用。

(5) 可进行非接触检测,如用红外线法、摄影法等,不需接触建筑物,减少了搭脚手架等工程。

(6) 可进行连续测试和重复测试,使测试结果有良好的可比性。

(7) 由于是间接检测,检测结果要受到其它因素的影响,检测精度要差一些。

1.1.3 意义

(1) 研究混凝土非破损检测技术,在现代混凝土工程中,具有重大的现实意义。目前世界上混凝土非破损检测技术发展很快,各种测试技术、仪器研制水平不断提高,许多现代科学技术已进入混凝土非破损检测领域,各国专家已逐渐把混凝土非破损检测技术,作为衡量一个国家土建测试技术水平的重要标志之一。我们要在这个领域里赶上世界发展水平,必须加强这一技术的研究与开发。

(2) 我国建国初期所建设的一大批工业与民用建(构)筑物,经过几十年的使用,有的已经严重老化,老建(构)筑物的质量检测鉴定任务越来越大,而且我国混凝土结构在建(构)筑物中占的比例很大,所以研究混凝土非破损检测技术,不仅是技术发展的需要,也是老厂改造等现实检测任务的迫切需要。

(3) 在国外,许多混凝土非破损检测技术是用于施工质量控制的,这是非破损检测技术的发展方向之一。目前我国的混凝土非破损检测技术主要用于事故处理和老建(构)筑物鉴定方面,而在施工质量控制方面,不仅应用很少,而且研究也很不够。随着对混凝土制作全过程的质量控制要求的不断提高,加强混凝土非破损检测技术在施工质量控制方面的研究与应用,对加快施工进度,保证工程质量具有重要意义。

1.2 混凝土非破损检测技术的应用

1.2.1 应用目的

应用混凝土非破损检测技术，总的任务要求和达到的目的如下。

(1) 评定混凝土质量，作为工程验收的依据。包括质量事故处理，对有争议的构件或建（构）筑物的质量进行评价，对遭受冻融、火灾、化学侵蚀等作用后的混凝土破坏情况进行检测等。

(2) 进行施工质量管理。如确定混凝土拆模、保温养护、滑模滑升的准确时间，以及确定后张预应力的加载时间等，以加快施工进度。特别是把本技术用于施工过程中的质量控制，将成为保证施工质量的重要手段之一。如罗马尼亚将超声波检测混凝土强度技术，用于预制构件厂“在线”检测，可生产出保证质量的预制构件，提高劳动生产率，再加热养护还可节省能耗。美国成功地将超声波测缺技术用于浇灌振捣过程中的混凝土质量监测。通过特制的振捣棒在振捣的同时发出超声波，在模板上放置接收探头，接收振捣棒发出的声波，通过接收到的声波信号的变化，随时监测施工中混凝土是否已经捣实，并反馈给振捣者，及时将未振捣好的混凝土振捣密实。

(3) 为已有混凝土建（构）筑物鉴定即进行承载力和耐久性诊断提供数据。对已有建（构）筑物的破损检测目的主要是进行耐久性诊断，确定其劣化度，以采取修补加固措施。许多国家在这方面的应用已越来越多。

(4) 进行已有混凝土建（构）筑物的维修保养管理。随着已有建（构）筑物不断增多与老化，对其进行经常性的管理已提到重要议事日程，用混凝土非破损检测技术，如用红外线法、声发射法、摄影法等，可对混凝土建（构）筑物进行经常性的或定期的监测，提供经时变化和准确的数据等。

1.2.2 测定项目

应用混凝土非破损检测技术，可检测下列项目。

(1) 混凝土的强度 包括抗压强度、抗弯强度和抗拉强度，主要是抗压强度。测定抗压强度是对混凝土质量最一般的定量评

价方法。

(2)混凝土的弹性模量 包括动弹性模量等。其目的是评定混凝土刚度即变形方面的质量。

(3)尺寸、厚度(不能用尺等直接量测的) 如梁、柱端或侧面,单面露出的挡土墙板的厚度测定等。

(4)裂缝的宽度、深度和长度 本项目的测定是劣化诊断的重要内容。

(5)缺陷、空隙 包括饰面剥离,混凝土内部或背面产生的空洞、蜂窝,以及后张法灌浆料饱满度等。

(6)钢筋的直径、位置和保护层 本项目的测定是劣化调查和维修保养检测基本内容之一。

(7)混凝土的温度 其目的主要是为了检测混凝土建(构)筑物表面的剥离情况。

(8)混凝土中的水份 本项目的测定是为了确定各种内外装修的时间和方,法,研讨混凝土抗压强度、弹性模量、热常数值之间的关系,预测表面裂缝(表面和内部干燥差)、碳化速度,及发生冻融的危险性等。

(9)钢材的锈蚀 混凝土内钢材锈蚀将影响建(构)筑物的耐久性,因此钢材锈蚀的测定是不可缺少的一项检测项目。

(10)位移、变形 本项目的测定与强度、尺寸的测定一样,主要用于施工管理。

(11)刚度 包括抗震性能等。

(12)其它 如匀质性等。

1.3 混凝土非破损检测方法的分类

混凝土非破损检测方法可分为两大类:一类是混凝土强度检测方法,另一类是混凝土内部缺陷等强度以外的检测方法。按检测原理又可分为物理方法和化学方法。但除检测碳化等部分方法

外，多数是物理方法。物理方法又可大致分为以超声波为主的“声学”方法，和以电磁波为主的“光学”方法等。

强度检测又可分为纯非破损检测方法，和局部破损检测方法。前者有打击法（回弹法）、振动法（包括声速法和共振法）、成熟度法等；后者有钻芯法、拔出法、贯入阻力法、折断法、拉剥法等。此外还有综合法，即用两种以上的方法，以提高强度推定精度。如超声一回弹、回弹—拔出综合法等。

强度以外的非破损检测方法，主要有超声法、冲击弹性波法、声发射法、电磁波法、电磁感应法、射线法、红外线法、电位法、摄影法以及中子法等。

混凝土非破损检测方法的分类情况如表1.1所示。其中有些方法如红外线法、X射线法、声发射法等，对混凝土技术人员来说可能是不熟悉的，但这些方法在金属检测等领域已被广泛应用。

1.4 混凝土非破损检测方法简介

1.4.1 混凝土强度的非破损检测方法

非破损检测混凝土强度的方法，一般都是通过测定混凝土的有关物理参数，用该物理参数与强度的相关关系，推定混凝土强度的。相关关系的强度方程即测强曲线，是通过对相同混凝土标准试块进行破坏试验，将试验所得大量数据进行回归分析和数学处理，得出回归方程便是强度方程。现对5种有一定代表性的方法，即回弹法、超声法、拔出法、贯入阻力法和测钉压入法的强度方程及其相关系数列于表1.2。

（1）打击法（回弹法）

打击法系指用锤打击混凝土的表面，测定混凝土表面凹痕或回弹值大小推定混凝土强度的方法。其中最常用的是回弹法。由于所用回弹仪是瑞士工程师施密特于1948年发明的，所以也叫施密特锤法，回弹法是利用了混凝土强度不同其回弹硬度也随之变

非破损检测方法的分类及特征

表1.1

检测项目	非破损检测方法的种类	测定内容	优点	缺点	应用时的注意事项
混凝土的抗压强度	打击法	利用左栏所记各种机械打击混凝土表面, 测定打击印痕的深度、直径、面积等	- 测定比较容易; - 能适用于不同形状和尺寸的物体	- 测定部位只限于混凝土的表层; - 在同一部位不能再次进行打击	最近不太使用
	回弹法	利用左栏所记机械, 打击混凝土表面, 测定其回弹硬度	- 测定简便; - 能适用于不同形状和尺寸的物体	- 测定部位只限于混凝土的表层; - 在同一部位不能再次进行打击	其试验方法参照日本建筑学会于1983年2月公布的《推定混凝土强度的非破坏试验方法指南》
	贯入阻力法	测定贯入深度	测定比较容易	- 因使用火药, 有一定的危险 - 试验后需进行修补	- 在使用火药受到严格限制的国家难以实施 - 试验方法在ASTM C803中作了规定
	拔出法	预先在混凝土中埋设钉、螺栓等的钉、螺栓等, 测定拔出时的极限拉力		- 混凝土浇灌前必要作准备 - 试验后需进行修补	试验方法在ASTM C900中作了规定
	局部压缩法	用 $\phi 9\text{mm}$ 左右的钢板测定混凝土的局部压缩应力(或印痕)		- 实施稍有困难 - 试验后需进行修补	实例较少