

回弹法评定混凝土抗压强度 技 术 规 程

培 训 班 讲 义

1985 北 京

回弹法评定混凝土抗压强度 技 术 规 程

培 训 班 讲 义



《回弹法评定混凝土抗压强度规程》编制组

1985年 北京

前 言

采用中型回弹仪检验结构或构件混凝土的抗压强度（本讲义简称回弹法），国外已有三十多年的历史。即使近十多年来国外已先后研制及生产了一系列用于混凝土非破损检测的先进仪器，同时对各种发展起来的新的测试技术进行了深入广泛的研究，但回弹法仍以其仪器简单，操作方便，经济迅速和具有相当的测试精度，而始终保持着它在混凝土非破损检测领域内相当优越的地位。目前至少有十二个国家编制了回弹法的国家标准。国际标准也正在制订中。在历届国际混凝土非破损会议上，回弹法的研究和应用的报导仍占相当的比重。虽然回弹法与其它非破损方法一样，具有一定的局限性，但这种方法在混凝土质量非破损检测中的作用，国际上予以肯定的。

我国对回弹法的研究和应用也较早，但长期以来普遍反映它的测定精度不高。究其原因，不外乎仪器的标准以及如何确定混凝土的强度等两个主要问题没有得到妥善解决。近年来，通过“混凝土质量非破损检测技术的研究”项目协作组各单位的研究工作，上述两个主要问题已基本获得解决，并在大量工程实测中得到了验证。1985年元月，城乡建设环境保护部部标准《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》（JGJ23—85）正式批准颁发，这是我国第一本混凝土质量非破损检验专业标准。可以预料，随着《规程》的实施，这一合乎我国国情，量大面广的测试技术，将在国民经济建设中发挥其确保工程质量，加快施工进度，提高施工技术和管理水平以及节约建设资金等重要的作用。

这本讲义初稿，是1981年为《陕西省回弹法测定混凝土抗压强度技术规程》（DBJ24—1—81）培训班而编写的。在编写过程中，主要根据陕西省建筑科学研究所二十多年来对回弹法的研究和大量工程检测的实践，参考了国内外的经验和科研成果，曾在省内外多次使用，在此基础上，为适应部标准《回弹法规程》培训班的需要，对讲义初稿进行了修改和补充。

由于本讲义是为适合土建部门混凝土质量检测人员系统地掌握有关回弹法的基本知识、实际操作技术和强度计算，评定方法等而编写的，因此在内容的深度和广度上有一定的限制，加之我们水平有限，有些国内外最新资料尚未列入，在内容编排上和某些基本问题的阐述方面如有不足和错误之处，希读者指出，以便今后加以修改和补充。

本讲义由《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》编制组主编单位陕西省建筑科学研究所季光泽、陈丽霞、沐梅仙同志编写，城乡建设环境保护部科技局规范处马宏大同志审稿。

主要符号

回 弹 值

N_i ——第 i 个测点的回弹值

$\bar{N}$ ——测区或试块的平均回弹值

$\bar{N}_\alpha$ ——回弹仪与水平方向成 α 角测试时测区的平均回弹值

ΔN_α ——测试角度 α 的回弹值修正值

$\bar{N}_s$ ——回弹仪测试混凝土浇筑表面或底面时
测区的平均回弹值

ΔN_s ——不同浇筑面的回弹值修正值

(N) ——回弹仪率定值

N ——回弹值

$N_{\alpha i}$ ——与水平方向成 α 角度测试时第 i 个回弹值

碳 化 深 度

L_i ——第 i 次测量的碳化深度值

L ——测区的平均碳化深度值

强 度

R_{ni} ——第 i 个测区或由回归方程算出的混凝土强度值

R_n ——试样混凝土强度平均值

$(R_{ni})_{小}$ ——各个测区中的最低混凝土强度值

R_{n1} ——试样混凝土强度第一条件值

R_{n2} ——试样混凝土强度第二条件值

R_N ——试样、结构或构件混凝土强度评定值
 R_i ——第*i*个试块的混凝土强度值
 R ——混凝土强度
 $\bar{R}$ ——*n*组试块混凝土强度平均值
 $R_{小}$ ——*n*组试块混凝土强度中最小一组的值
 $R_{标}$ ——混凝土标号

其 他

δ ——回归方程的混凝土强度平均相对误
 S_r ——回归方程的混凝土强度相对标准差
 S_n ——试样或*n*组试块混凝土强度标准差
 K ——合格判定系数

目 录

主 要 符 号

第一章	非破损方法检测混凝土质量概述	1
第二章	回弹法的基本原理和国内外研究 及应用概况	5
第一节	回弹法的基本原理	5
第二节	国内外研究和应用概况	10
第三章	回 弹 仪	17
第一节	类 型	17
第二节	构造及工作原理	19
第三节	影响测试性能的主要因素	21
1.	机芯主要零件的装配尺寸	21
2.	主要零件的质量	27
3.	机芯装配质量	31
第四节	钢砧率定的作用	32
第五节	操作、保养及校验	34
1.	操 作	34
2.	保 养	34
3.	校 验	35
第六节	常见故障及排除方法	36
第四章	影响回弹法测定混凝土强度的各种因素	39
第一节	原材料	39
1.	水 泥	40
2.	细 骨 料	45

3. 粗骨料	47
第二节 外加剂	49
第三节 成型	49
第四节 养护	51
第五节 碳化	53
第六节 龄期	55
第七节 湿度	56
第八节 模板	59
第九节 测试角度	61
第十节 测试面	61
第十一节 钢筋	62
第十二节 应力	62
第十三节 仪器	63
第十四节 其他	63
第五章 回弹法测强相关曲线的建立	64
第一节 分类及型式	64
第二节 专用测强曲线	66
1. 使用条件及误差	66
2. 制订方法	66
3. 回归方程计算例	69
第三节 统一测强曲线	83
1. 回归方程及误差分析	83
2. 特点	83
3. 与国内外部分测强曲线比较	85
第六章 测试技术及数据处理	89
第一节 测试准备	89
1. 了解情况	89

2. 选择评定方法.....	89
第二节 测试方法.....	90
1. 测区的布置及选择.....	90
2. 回弹值的测量.....	91
3. 碳化深度的测量.....	91
第三节 数据处理.....	92
1. 回弹值的计算.....	92
2. 碳化深度值的计算.....	94
第七章 混凝土强度的评定.....	96
第一节 测区混凝土强度值的确定.....	96
第二节 结构或构件混凝土强度值的评定.....	97
附 录 结构或构件测试和计算例.....	99
例一 大 梁.....	99
例二 杯形基础	103
例三 板	106
例四 屋 架	108
例五 柱、梁	116

第一章 非破损方法检测

混凝土质量概述

在土建工程中,已硬化混凝土的质量受材料、成型养护工艺和施工技术的影响,会出现较大的差异。当材料和施工过程中出现某些薄弱环节时,就会导致混凝土质量产生程度不同的缺陷,包括外观质量,强度和内部存在孔洞、不密实区、裂缝等。这些缺陷,在不同程度上影响工程的安全可靠、使用功能和外形美观。

当混凝土工程发生涉及安全使用的质量事故后,通常需要调查分析造成事故的原因,其中提供结构或构件混凝土实际强度的数据是必不可少的。但长期以来都是用试块试压的方法来确定构件或构筑物的混凝土抗压强度。随着生产技术和工程结构的发展,对混凝土的质量、构件受力性能及结构的可靠性提出更高的要求,人们自然地会提出这样一个问题,即采用试块试压的方法所得出的强度,是否能反映构件的实际强度?进一步观察和研究表明,所谓同条件的试块,即使其质量合乎要求,但它在混凝土取样、成型、养护及受力状态等方面,都与构件有颇大的差异。更何况少量的几组试块的试压结果,能在多大程度上代表构件各部位的强度是值得研究的。而在具体的质量事故中,又往往对某一构件需要确定出强度不合格的区域,藉以据此采用相应的加固补强措施,这也不是能通过试块的试压结果所能解决的。因此,采用非破损方法直接在构件上确定混凝土的强度,不论在理论上还是在实用上,都较传统的试块的

试压方法优越，而且具有较大的说服力。

非破损方法除可以直接在构件上测定其混凝土强度外，还可探测混凝土内部的缺陷，如空洞、孔隙、裂缝以及钢筋的位置等。

非破损方法还可以用于混凝土或其他胶凝制品在硬化过程中质量的检测，即用同一试块或在同一构件上于不同龄期时进行重复测试，以确定其某些物理力学指标。又如混凝土的耐腐蚀性能和抗冻性能的研究，可用同一试块经不同龄期或不同循环次数进行测试。显然，其结果比用传统的按龄期或按循环次数逐个进行破损试验准确而可靠得多。

由于混凝土质量的非破损检验技术具有直接、灵活、重复、准确、可靠、快速、经济等一系列的优点，因此近三十年来其研究和应用发展很快，已成为土建工程中一项自成体系的新测试技术，目前国外已趋向于将这一技术作为衡量一国土建水平的标志之一予以很大的重视，先后研究制订了相应的国家标准。

非破损测强最一般的原理，是建立在所测得的某一物理特征值 u 和混凝土的某一物理力学性能 y 的函数关系基础上的，即所谓单一法：

$$y = f(u) \dots\dots\dots (1-1)$$

也可由测得的几个物理特征值 u 、 z 、 m ……和 y 来建立函数关系，即所谓综合法：

$$y = f(u, z, m, \dots\dots) \dots\dots\dots (1-2)$$

最常用的例子是建立混凝土的抗压强度 R 与回弹值 N 或超声脉冲纵波速度 V 之间的函数关系：

$$\left. \begin{array}{l} R_{n,i} = f(N) \\ R_{v,i} = f(V) \\ R_{n,v,i} = f(N, V) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1-3)$$

弹议
由此建立的函数关系,一般由公式或曲线来表示,称之为回归方程式或校准曲线(率定曲线)。只要在构件上测出 N 或 V 的值,就可由已建立的公式或曲线换算出构件混凝土的强度值 R 。

由上述例子可以看出,采用非破损方法测定混凝土的强度,是建立在破损试验的基础上的,它与传统的试块试压不同之处在于:建立 $R=f(u)$ 关系时,是采用与被测构件的条件相同的混凝土试块,并考虑了构件在施工过程中由于材料、成型、养护、龄期等可能产生的变异而引起混凝土强度的变化。因此,用于建立 $R=f(u)$ 关系的试块数量较多,它在颇大程度上能反映构件性能变异的客观规律,即彼此都具有相同的强度变异正态分布。而传统的试块试压方法,仅只代表构件上某一特定区域的强度,所以虽然建立 $R=f(u)$ 时同样需对试块进行破损试验,但当运用这一关系在构件上直接测定混凝土强度时,却能以正态分布的规律来全面地反映构件混凝土强度的实际情况。

此外,也可以不采用建立 $R=f(u)$ 方法来进行非破损测试,而是通过计算混凝土的某一固有物理指标,考虑相应的实验系数,由所测定的非破损物理特征值来确定混凝土的物理力学性能,如采用共振法来确定混凝土的动弹性模量等,还可以采用直观的方法如 γ —射线穿透法来观察混凝土中孔洞或钢筋的直径或位置。

非破损方法一般按物理学来进行分类,目前通常分为力学法、声学法、电磁法、放射法以及二种或二种以上的综合法。各种方法的测定的物理特征,适用范围和优缺点见表1—1。

表1—1

方法	测定的物理特征	适用范围	优缺点
力学法	印痕直径、体积、射入深度、拔出力、局部压碎力、回弹值。	测定抗压强度	测试简易，有一定精度，很少受构件形状大小限制。不可同点测试，要求混凝土表层与内部质量基本一致。射入法、拔出法、局部压碎法需要事后修补构件。
声学法	共振频率，纵波，横波或表面波的速度。	测定抗压强度，裂缝深度，孔洞或不密实区的大小、位置。混凝土的动态特性。	有一定精度，共振法限于试验室内使用。超声法不受构件形状大小的限制。可同点测试，可测全截面质量，但仪器性能和测试技术要求较高。
电磁法	电阻、导电率、电位、磁场的变化。	测定混凝土的厚度、密度、含水率、钢筋的直径、位置，混凝土的腐蚀情况。	测试简易，可同点测试，但对密集钢筋及深位钢筋的探测有困难，精度不高。
放射法	放射线透速率、衰减率。	测定内部裂缝、孔洞、不密实区及钢筋的大小及位置。混凝土的含水率，单位水泥用量。	测定精度较高，直观，但设备复杂，使用时需要保护措施。
综合法	回弹值，声速，波幅衰减率，动弹性系数	测定抗压强度。	测定精度较高，仪器性能和测试技术要求较高，除回弹值与声速综合法外，其余处于研究阶段。
其他	微波吸收法、表面吸水法、水化度法、空隙率法、声发射法及光纤维法等，尚在研究探索阶段。		

第二章 回弹法的基本原理和 国内外研究及应用概况

第一节 回弹法的基本原理

用于测定普通混凝土强度的中型回弹仪，是一种直射锤击式仪器，它借助于已获得一定拉力的拉簧所连接的弹击锤，冲击弹击杆后，弹击锤向后弹回。计算弹回的距离 L' 和冲击前弹击锤距弹击杆的距离 L 之比（按百分比计算），即得回弹值 N 。回弹值由仪器外壳上的刻度尺示出。

由上述回弹值 N 的定义， N 由下式表示：

$$N = \frac{L'}{L} \times 100 \dots\dots\dots (2-1)$$

回弹值 N 的大小，取决于与冲击能量有关的回弹能量，而回弹能量主要取决于被测混凝土的弹塑性性能。下面具体阐述回弹仪在冲击过程中能量的传递和变化关系：

设回弹仪的动能（公称能量）为 E ，则由功能原理：

$$E = \sum A_i = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 \dots (2-2)$$

- 式中
- A_1 ——使混凝土产生塑性变形的功；
 - A_2 ——使混凝土、弹击杆及弹击锤产生弹性变形的功；
 - A_3 ——弹击锤在冲击过程中和指针在移动过程中因摩擦损耗的功；
 - A_4 ——弹击锤在冲击过程中和指针在移动过程中克服空气阻力的功；

A_5 ——混凝土产生塑性变形时增加自由表面所损耗的功；

A_6 ——仪器在冲击时由于混凝土构件的颤动和弹击杆与混凝土表面移动而损耗的功。

A_3 、 A_4 、 A_5 一般很小，当混凝土构件具有足够的刚度，在冲击过程中仪器始终紧贴混凝土表面时， A_6 也较小，以上均可略而不计。这时，弹击锤的弹回距离决定于 A_1 与 A_2 之比值，即混凝土的塑性变形与混凝土、弹击杆及弹击锤弹性变形之和的比值。在一定的冲击能量作用下，后者的弹性变形接近为常数。因此，弹回距离主要取决于混凝土的塑性变形。混凝土的塑性变形愈大，消耗于产生塑性变形的功也愈大，弹击锤所获得的回弹功能即愈小，回弹距离相应也愈小，即回弹值就愈小。混凝土的塑性变形，可以用在混凝土表面所产生的印痕直径 d 来表示。

实验证明，回弹值 N 与印痕直径 d 之间的关系如图 2—1 所示：

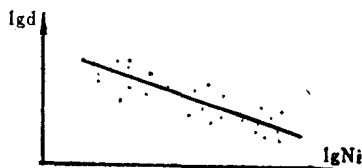


图 2—1 “ N_i-d ”实验关系

$$\text{即 } \lg N = \lg c_1 - 4 \lg d$$

$$\text{或 } N = C_1 d^{-4} \quad \dots\dots (2-3)$$

因此在一定条件下，混凝土抗压强度与其回弹值 N 之间的关系可用下列指数关系来表示：

$$R_{n_i} = f(N) = K_1 N^a + K_2 \quad \dots\dots (2-4)$$

式中 K_1 、 K_2 、 a ——实验常数。

混凝土表面所产生的印痕直径愈大,回弹值愈低,则混凝土的强度愈低,反之则反是。根据上述原理,可由实验方法建立“ $R_{ni}-\bar{N}$ ”曲线,即所谓相关曲线,其曲线图形如图2—2所示。

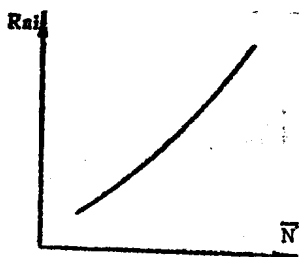


图 2—2 “ $R_{ni}-\bar{N}$ ” 实验关系

由此可见,采用回弹仪所测得的回弹值,只代表混凝土表层的质量,因此用回弹法的必要前提,是要求混凝土构件的表面质量与内部质量基本一致。

现在用近似法来推导回弹仪非水平测试时回弹值的修正问题,如图2—3。

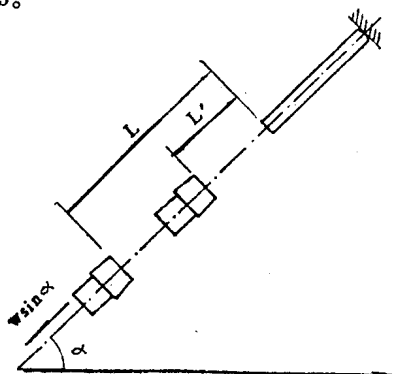


图 2—3 非水平测试示意图

设 L ——弹击锤脱钩前距弹击杆的距离;
 L' ——弹击锤弹回后距弹击杆的距离;
 W ——弹击锤重;
 C ——拉簧的刚度系数;
 α ——仪器轴线与水平方向所成的角度;
 E ——冲击动能;
 E' ——回弹动能;
 $N\alpha_i$ ——与水平方向成 α 角度测试时第 i 个回弹值;
 N_i ——水平方向测试时第 i 个回弹值。

仪器呈标准状态, 如不计及弹击锤与中心导杆, 指针与指针导杆之间的摩擦力和弹击锤与指针移动时空气的阻力, 则根据功能原理, 可得如下关系:

$$E = \frac{1}{2}CL^2 - Lws\sin\alpha \quad \dots\dots (2-5)$$

$$E' = \frac{1}{2}CL'^2 - L'ws\sin\alpha \quad \dots\dots (2-6)$$

$$N_i = L'/L \times 100 \quad \dots\dots (2-7)$$

由 (2-7式), $L' = \frac{N_i L}{100}$ 代入 (2-6) 式

$$\text{得 } E' = \frac{1}{2}CL^2 \times \frac{N\alpha_i^2}{100^2} - LW \frac{N\alpha_i}{100} \sin\alpha \dots (2-8)$$

因水平测试时:

$$N_i = \frac{L'}{L} \times 100 = \sqrt{\frac{E'}{E}} \times 100$$

$$\therefore N_i = \sqrt{\frac{\frac{CL^2}{2} \times \frac{N\alpha_i^2}{100^2} - LW \frac{N\alpha_i}{100} \sin\alpha}{\frac{CL^2}{2} - Lws\sin\alpha}} \times 100$$