

建筑科学研究报告

REPORT OF BUILDING RESEARCH

1981

No. 13

用“超声一回弹”综合法 测定混凝土强度

Determination of the Strenght of Concrete by a Combined
Method Using Ultrasonic-Rebound Tests

中国建筑科学研究院
CHINESE ACADEMY OF BUILDING RESEARCH

提 要

本文扼要地介绍了混凝土非破损技术的发展概况,着重介绍了综合法测强的特点。系统总结了北京地区综合法测强曲线的建立过程,如试件的测试方法、数据处理及测强曲线的计算公式等。在此基础上提出了结构混凝土强度的测试方法和合理选择测强相关曲线的问题。

为了减少结构混凝土和建立地区曲线的试块在龄期、表面湿度、湿度系数等方面存在的差异,提出了具体的修正办法和相应的修正系数值,这就为减少误差和正确评定的结构强度提供了保证。本文最后还介绍了在几十个实测工程中所取得的效果。

目 录

一、“超厚一面”综合法测强的特点	(2)
二、综合法测强曲线的建立	(3)
三、结构混凝土强度的评定及误差估算	(7)
四、综合法在工程测强中的应用	(10)

Determination of the Strength of Concrete by a Combined Method Using Ultrasonic- Rebound Tests Institute of Building Structures

Institute of Building Structures

Abstract

This paper briefly introduces the development in technique of non-destructive test in concrete test and the feature of determining the strength of concrete by the combined method using ultrasonic pulse test and rebound test. Systematical summary has been made about the procedure of obtaining the curves, which are used to determine the strength of concrete in Beijing area. It includes test method on specimen, data processing and determining the equations of the curves. On basis of the work, a method to determine the strength of Concrete in structures and how to use the curves are proposed.

In order to reduce the influence of difference in age of concrete, surface situation and moisture between the structures and specimen used to obtain the curves of an area, a modified means and coefficients have been given. It ensures reducing the error and getting more correct values of strength of structures. At the end the paper mentions the effect in using this method with dozens of engineering examples.

用“超声—回弹”综合法

测定混凝土强度*

中国建筑科学研究院结构所

混凝土是建筑工程中大量使用的结构材料,因此采用非破损方法检测结构混凝土的物理力学性能指标或内部缺陷具有确保工程质量、节约材料和加快施工进度等显著优点。

随着我国基建事业的发展,对质量检验与测试技术提出了更多更高的要求。国家建委从1976年起,就将混凝土检测技术的研究列入科学技术发展规划。在统一计划下,国内已有十来个单位陆续开展了这一工作,并取得了很大进展。一些单位建立了地区性测强曲线,并已在混凝土工程应用中取得较好效果;一些单位在声波探测的理论研究、提高探测技术和仪器的数字化、轻便化等研究方面,也已取得了一定的成果,为推广应用这一方法打下了基础。

一、“超声—回弹”综合法测强的特点

混凝土非破损测强的方法主要有:表面硬度法、回弹法、超声波法以及综合法等。实践表明,综合法测强愈来愈显示出它的优点。所谓综合法,就是采用两种测试方法同混凝土强度建立关系,如超声声速和回弹值的综合,超声声速和脉冲衰减的综合等。其中超声波脉冲速度和回弹值两者的综合法比较简单易行。此法是由罗马尼亚研究成功的,现在罗马尼亚混凝土工程的非破损检测中已占70%以上,在知道混凝土配合比和有试块的情况下,测强误差可以控制在12~15%以内,大大提高了测试精度。近年来,我国对综合法的试验研究,也是以“超声—回弹”综合法为主,它比采用单一的回弹法或超声法具有以下特点:

1. 比较全面地评定混凝土的质量

任何一种非破损方法检测混凝土强度,都有一定的局限性,并且由于影响因素不同,其敏感程度也不一致。回弹法只反映混凝土表面层2~3厘米的质量情况,而对内部质量如疏松、孔洞、裂缝等则无任何反映。混凝土的整体强度是与内部缺陷大小和分布密切相关的。因此用回弹法评定混凝土尤其是大体积混凝土的强度还带有不小的局限性。用超声法测强时,超声波是通过传播路径上的整个混凝土的,而声速又与混凝土的密实度、匀质性及内部缺陷有密切关系,因此采用综合法测强可以取长补短,较全面地评价混凝土的质量。

2. 减少误差提高测试精度

无论采用回弹测强或超声测强,其影响因素都较多。从单一的回弹法或超声法的影响系数中可以看出,同一个影响因素对不同的测试方法,影响程度不同,有的甚至完全相反。例如混凝土的龄期和温度问题,对回弹法来讲,随着混凝土龄期增长,混凝土表面层结硬和碳

* 本文由吴新德、王安坤、邱平同志执笔。

参加这项课题的还有:北京市第一建筑构件厂、北京市建筑工程研究所。

化,使回弹值偏高,对湿混凝土,超声波传播速度要比在干燥混凝土中快得多。但是采用综合法后,这些影响因素可以减少或者抵消。这样就提高了曲线的可信度,减少了测试误差。因此,对于已失去混凝土组成原始资料或者是长期期的混凝土构件,用综合法测强效果较好。

二、综合法测强曲线的建立

采用综合法评定结构混凝土的强度,须事先建立混凝土强度 R 、超声波在混凝土中的传播速度 V 和回弹值 N 三者之间的相关关系曲线。对于大量的 R 、 V 、 N 数据如何进行分析计算,从中找出规律,使之成为工程服务,这是非破损测强所要解决的重要问题之一。综合法测强曲线系属二元回归分析,对于大量试验数据的计算处理相当烦琐,而且工作量较大,为此我们在441B-Ⅱ型电子计算机上,采用 FORTRAN 语言,编制了综合法直线方程和曲线方程的计算通用程序,基本满足了非破损测强数据计算的要求,这对准确快速的处理数据、减轻工作量起了很大作用。

现将试块测试方法、计算公式、测强曲线及表格等分述如下:

1. 试块测试方法

测试方法与单一的超声法或回弹法是一致的,只不过在同一试块上既测超声声速值,又测回弹值,用这两个非破损参数值共同与混凝土强度建立相关关系,以得到 $R-V-N$ 测强曲线。

测试步骤:采用对测法先测试块的声速值 V ,即在一个相对测试面上布置3个测点(图1),取3个测点的平均声时值 t ,按下式计算试块的声速值 V

$$V = \frac{L}{t} \text{ (千米/秒)}$$

式中 L ——试块尺寸;

t ——声波在混凝土中的传播时间。

测完超声后,将试块上的黄油用扁铲刮干净,然后进行回弹测试。将试块放在压力机平板上,顶压固定,15×15×15厘米的立方体试块加压10吨并保持压力。进行回弹测试时,回弹点应打在超声测试面无油位置,两个相对测试面各测3个点,点间距离不得小于2厘米。而后从16个回弹值中剔除3个最大值和3个最小值,取余下的10个回弹值的算术平均值为该试块的回弹值 N 。

回弹测完后把试块压坏,计算出该试块的抗压强度 R 。

2. 计算公式

根据北京地区常用混凝土配合比及原材料等具体情况,以及几年来北京地区制定的一种矿渣水泥、两种粗骨料(卵石、机碎石)和中砂配制的四种标号混凝土在标养、蒸养和自然养护条件下测试的 R 、 V 、 N 数据,用幂函数方程在电子计算机上共计算了8条综合法测强曲线,这些曲线的具体数值及适用范围见表1。

如果试验数据较少而又没有条件采用电子计算机时,也可采用袖珍电子计算器计算。如有30个试块测试数据(表2),按综合法直线和曲线方程计算率定曲线,其回归分析方法和步骤介绍如下。

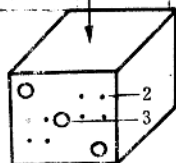


图1 回弹及超声测试位置

1—敲击方向; 2—回弹测点;

3—超声测点

综合法测强曲线数值表

表1

曲线编号	曲线方程常数项及回归系数 B、C ($R=A\sqrt{B}+C$)			相关系数 r	相对标准误差 Sr (%)	曲线适用范围		
	A	B	C			水泥品种	养护方式	骨料种类
1VN	0.0223	1.91	1.81	0.97	9.7	矿 渣 水 泥	自然养护 7~90天	卵石
1VN*	0.0243	1.10	2.09	0.84	10.5		181~720天	卵石
2VN	0.0186	1.75	1.96	0.98	8.7		自然养护 7~90天	机碎石
2VN*	0.0445	1.15	1.93	0.88	9.0		181~720天	机碎石
3VN	0.146	2.66	1.09	0.96	8.8		蒸气养护 (蒸出~28天)	卵石
4VN	0.273	1.61	1.23	0.99	6.7		(蒸出~28天)	机碎石
5VN	0.354	2.95	1.05	0.94	12.7	水 泥	标准养护 (7~28天)	卵石
6VN	0.0924	2.59	1.27	0.97	10.9		(7~28天)	机碎石

* 长期期181~720天测强曲线。

回归分析计算表

表2

序号	V_i	N_i	R_i	$\ln V_i$	$\ln N_i$	$\ln R_i$	$V_i^2 / \ln V_i^2$	$V_i N_i / \ln V_i \ln N_i$	$V_i^2 / \ln N_i^2$	$V_i R_i / \ln V_i \ln R_i$	$N_i R_i / \ln N_i \ln R_i$	$R_i^2 / \ln R_i^2$
1	3.69	31.9	102	1.80	3.46	4.62	13.62/ 1.68	117.71/ 4.49	1017.61/ 11.97	376.38/6.06	3253.8/15.98	10404.0/ 21.34
2	3.79	30.2	98	1.33	3.40	4.58	14.36/ 1.76	114.45/ 4.52	912.64/ 11.58	371.42/6.09	2959.2/15.57	9604.0/ 20.97
3	3.66	27.3	84	1.29	3.30	4.43	13.40/ 1.66	99.91/4.25	745.29/ 10.89	307.44/5.71	2293.2/14.61	7058.0/ 19.62
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
29	4.37	40.6	366	1.47	3.70	5.90	19.1/ 2.16	177.42/ 5.43	1648.36/ 13.69	1599.42/8.67	14859.0/ 21.81	133956.0/ 34.81
30	4.20	39.2	316	1.43	3.66	5.75	17.64/ 2.04	164.64/ 5.28	1536.64/ 13.39	1327.2/8.22	12387.2/ 21.04	99856.0/ 33.06
Σ	122.15	1034.0	6267	41.94	105.84	157.46	498.63/ 58.71	4229.81/ 148.11	38082.7/ 373.78	25968.31/ 220.76	224587.7/ 556.88	1505227.0/ 832.36

注：按直线方程计算数据/按曲线方程计算数据

(1) 按直线方程计算($R=A+B\sqrt{V}+CN$)

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i = 4.07$$

$$\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i = 34.4$$

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i = 209$$

$$L_{11} = \sum_{i=1}^n V_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n V_i \right)^2 = 1.275$$

$$L_{11} = L_{21} = \sum_{i=1}^n V_i N_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n V_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n N_i \right) = 19.70$$

$$L_{22} = \sum_{i=1}^n N_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n N_i \right)^2 = 444.16$$

$$L_{1R} = \sum_{i=1}^n V_i R_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n V_i \right) \left(\sum_{i=1}^n R_i \right) = 441.175$$

$$L_{2R} = \sum_{i=1}^n N_i R_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n N_i \right) \left(\sum_{i=1}^n R_i \right) = 8585.1$$

$$L_{RR} = \sum_{i=1}^n R_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n R_i \right)^2 = 196050.7$$

正规方程:

$$\begin{cases} L_{11}B + L_{12}C = L_{1R} \\ L_{21}B + L_{22}C = L_{2R} \end{cases}$$

联立求解得:

$$B = \frac{L_{11}L_{22} - L_{21}L_{12}}{L_{11}L_{22} - (L_{12})^2} = 150.4$$

$$C = \frac{L_{21}L_{11} - L_{12}L_{21}}{L_{11}L_{22} - (L_{12})^2} = 12.64$$

$$A = \bar{R} - B\bar{V} - C\bar{N} = -838.0$$

故得方程:

$$R = -838 + 150.4V + 12.64N$$

回归平方和:

$$U = BL_{1R} + CL_{2R} = 174868.38$$

相关系数:

$$r = \sqrt{\frac{U}{L_{RR}}} = 0.94$$

相对标准误差:

$$Sr = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \hat{R}_i)^2}{n-1}} = 0.1507 \approx 15.1\%$$

(2) 按曲线方程计算($R = aV^bN^c$)转换成线性方程: $Y = A + BK + CM$

令: $K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln V_i = 1.39$

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln N_i = 3.52$$

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln R_i = 5.24$$

$$L_{11} = \sum_{i=1}^n (\ln V_i)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln V_i \right)^2 = 0.0812$$

$$L_{12} = L_{21} = \sum_{i=1}^n \ln V_i \ln N_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln V_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \ln N_i \right) = 0.145$$

$$L_{22} = \sum_{i=1}^n (\ln N_i)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln N_i \right)^2 = 0.3777$$

$$L_{1R} = \sum_{i=1}^n \ln V_i \ln R_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln V_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \ln R_i \right) = 0.6319$$

$$L_{2R} = \sum_{i=1}^n \ln N_i \ln R_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln N_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \ln R_i \right) = 1.361$$

$$L_{RR} = \sum_{i=1}^n (\ln R_i)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln R_i \right)^2 = 5.905$$

$$B = \frac{L_{1R}L_{22} - L_{2R}L_{12}}{L_{11}L_{22} - (L_{12})^2} = 4.2839$$

$$C = \frac{L_{2R}L_{11} - L_{1R}L_{12}}{L_{11}L_{22} - (L_{12})^2} = 1.959$$

$$A = \bar{R} - B\bar{V} - C\bar{N} = -7.609$$

得:

$$Y = -7.609 + 4.2839\bar{R} + 1.959\bar{M}$$

回归方程常数项变换:

$$a = e^N, \text{ 则 } a = \frac{1}{e^{7.609}} = 0.000496$$

故得方程为:

$$R = 0.000496V^{4.2839}N^{1.959}$$

回归平方和:

$$U = BL_{1R} + CL_{2R} = 5.4334$$

相关系数:

$$r = \sqrt{\frac{U}{L_{RR}}} = 0.96$$

相对标准误差:

$$Sr = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{R_i - \hat{R}_i}{\hat{R}_i} \right)^2}{n-1}} = 0.1417 \approx 14.2\%$$

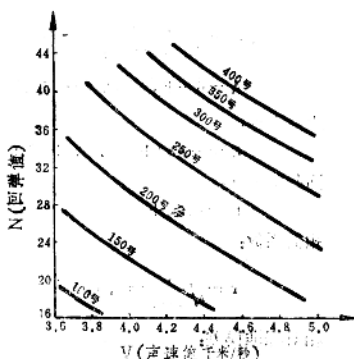


图2 砂质泥岩强度与声速值、回弹值关系曲线
(自然养护, 非碎石)

通过上述两种方程所得曲线的相关系数 r 及曲线相对误差比较看出, 幂函数方程较好。

3. 测强曲线及表格

为便于在工程中使用和查阅,可以将表1中所描述的R、V、N之间的相关关系地区曲线,或者通过微机电子计算机计算出来的R、V、N相关关系率定曲线,简单地用图表的形式表达出来。如龄期7~90天自然养护矿渣混凝土强度与回弹值、超声值关系地区曲线见图2和表3。

矿渣混凝土强度与声速值、回弹值关系表

(自然养护 卵石)

表3

R V N	20	21	22		42	43	44
3.60	58	63	69		222	231	241
3.65	59	65	71		228	238	248
3.70	61	67	72		234	244	254
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
4.90	104	114	124		399	416	434
4.95	106	116	126		407	425	443
5.00	108	118	129		415	433	451

三、结构混凝土强度的评定及误差估算

采用综合法评定结构混凝土强度时,需要经过四个过程:(1)在结构混凝土上测出回弹值和超声值;(2)根据结构混凝土材料组成、养护方法、龄期等,查相应的测强曲线,得出混凝土强度值;(3)根据现场同条件养护预留试块和结构试验状态算出的修正系数,对查得的混凝土强度值进行必要的修正,再用这个值对结构混凝土或某一个施工部位的混凝土进行强度评定;(4)给出混凝土强度评定值相应的误差范围。

1. 结构测试方法

为减少误差,在结构混凝土上进行超声、回弹测试时,应尽量与试块的测试方法相一致。为此,测试面应尽量选择结构混凝土捣制方向的侧面,并在水平方向进行测试。测试部位可根据构件的具体情况进行选定,一般应具有代表性、均匀性和随机性。在测试面上划出15×15或20×20厘米的方形。每个方形称为一个测区(包括两个对应面),相当于一个试块。测区表面需要平整,并应尽量避免钢筋或缺陷(裂缝、孔洞、疏松)部位,以及内应力较大的部位。为了反映整个构件的情况,减少误差,测区的个数一般不少于9个。

2. 合理选择曲线

合理选择曲线查出混凝土强度,对提高非破损测试结果的准确性和精度起着重要作用。一般说来,按曲线的应用范围,可分为三种类型:即标准曲线(全国通用)、地区曲线、仅适用于某单位或某工程的率定曲线。由于我国幅员辽阔,各地材料及气候差别较大,为了减少误差,提高测强精度,目前各有关单位主要是根据本地区、本部门的材料、配合比、施工等具体情况,制定地区曲线或率定曲线。

在结构或构件上测出每个测区的回弹值N和声速值V之后,可从相应的测强曲线查出混凝土强度值。

当采用率定曲线时,由于现场和制定曲线的试块的混凝土在材料、养护方法、龄期等方面基本上是一致的,因此可直接通过公式计算或查表求得混凝土强度值,一般无须修正。

当采用地区曲线时，因地区曲线是在特定的条件下建立的，还不能准确反映现场材料、养护、施工以及结构试验状态等具体情况，也就是说，从地区曲线查出的混凝土强度和结构实际强度之间还存在着差异。为了减少或消除这些差异，还必须对查表所得强度值进行修正。

3. 地区曲线的修正方法

根据现场试块进行修正 由于同条件养护和同样配合比的预留试块对结构混凝土的实际情况代表性较好，测得的 R 、 V 、 N 值，基本上反映了现场混凝土的实际相关关系。因此应优先利用现场试块的测试结果建立修正系数。该修正系数以 C_r 表示。

$$C_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{R_s}$$

式中 R_i ——试块实际抗压强度值；

R_s ——根据试块实际 N 、 V 值，查选定的地区曲线强度值；

n ——试块的数量。

根据现场结构混凝土的试验状态进行修正 当结构混凝土的试验状态同制定曲线的试验状态存在差异时，对其测试结果均应进行修正。当然，影响测试结果的试验状态比较复杂，但对结构混凝土测强影响较大的有三种：（1）测试表面影响因素 C_1 ，可分为钢模成型和木模成型经过砂轮机磨平两种类型；（2）湿度状态影响因素 C_2 ，可分为潮湿状态（饱和和水）、半干状态（标准养护）、干燥状态（自然养护）；（3）龄期影响因素 C_3 ，可分为 7~90 天、91~180 天。

三种试验状态修正系数见表 4。湿度状态的影响程度，因目前的数据不多，因此对于湿度修正系数均暂按 1.0 考虑。

试 验 状 态 修 正 系 数

表 4

曲线编号	测试面 C_1		湿度状态 C_2			龄期(天) C_3	
	钢模面	磨平面	干燥	半干	潮湿	7~90	91~180
1VN	1.0	1.17				1.0	0.85
1VN*	1.0	1.17					
2VN	1.0	1.16				1.0	0.78
2VN*	1.0	1.16	1.0	1.0	1.0		
3VN	1.0	1.14				1.0	1.00
4VN	1.0	1.12				1.0	
5VN	1.0	1.12				1.0	
6VN	1.0	1.15				1.0	

注：* 龄期 181~720 天测强曲线。

总修正系数 C_r 值的确定 现场预留试块修正系数和试验状态修正系数构成了结构混凝土总的修正系数，可按下列不同情况求得：

（1）现场没有预留试块，即 $n = 0$ 时， C_r 等于试验状态修正系数的连乘积。

$$C_r = C_1 \times C_2 \times C_3$$

（2）现场有预留试块， $n \geq 9$ 时，且试块试验状态与现场试验状态一致，这时 $C_r = C_{r0}$ 。

（3）现场有预留试块，试块数量较少或虽然 $n \geq 9$ 时，但试验状态不一致，这样反映

结构混凝土的实际情况要差一些，因此除了考虑预留试块外，还要考虑现场试验状态因素，这时 C_1 取两个系数的平均值。

$$C_1 = \frac{C_1 + C_2}{2} \times C_3 \times C_4$$

测区强度值的修正。当算出修正系数后，从相应地区曲线查表得出的强度值乘以修正系数，即可得到测区混凝土的实际强度值，以下式表示：

$$R = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times R_0$$

4. 结构混凝土强度值的评定方法

各测区的强度值是确定结构构件混凝土强度值的基本依据。由于混凝土材料的非均匀性及受施工条件的影响，往往使结构或构件混凝土强度的离散性较大。在这种情况下，如果只根据各测区的强度算术平均值作为结构或构件的混凝土强度值，那么，就有可能对某些低强部位混凝土的承载能力造成误判。因此，为了准确反映结构或构件混凝土的强度，应根据结构及构件的实际情况划分适当的评定区段，比如是否是分段施工，是否有漏震部位，配合比是否一致等。然后根据测量结果，分段给出评定强度。对同一个构件当混凝土质量比较均匀时，可按一个区段考虑，否则应划分为若干区段进行评定。

在一个评定区段内布置若干个测区时，评定区段内的混凝土标号按下列规定进行：

(1) 一个区段的测区数量一般不应少于 9 个；

(2) 一个测区的强度相当于一个试块的强度，相邻三个测区相当于一组试块（即 3 块）；

(3) 一个评定区段的混凝土强度取下列两式计算结果中的较小者。

$$\bar{R} = 1.18 \bar{R}_{\min}$$

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{R}_i$$

式中 $\bar{R}_{\min}$ ——最小一组的强度平均值；

$\bar{R}_i$ ——相邻三个测区的强度平均值；

n ——组数（按相邻三个测区为一组计算）。

5. 误差估计

非破损测试是属于间接测量法，而 V 、 N 值又受多种因素的影响，这都给测试结果带来一定误差；另外，由于混凝土本身的非均匀性，也给测试结果带来一定离散性，两者构成了评定结构混凝土强度的总误差。经过几十个工程的测试实践验证，用北京地区综合法测强曲线评定结构混凝土强度时，其误差可按下列数值考虑：

(1) 当现场有同条件养护的试块率定，并知道混凝土的组成和试验状态时，其误差为 $\pm 11.0 \sim 19.0\%$ 。

(2) 当现场无同条件养护试块率定，但知道混凝土组成和试验状态时，其误差为 $\pm 13.0 \sim 24.0\%$ 。

(3) 当工程是采用率定曲线来评定结构混凝土强度时，其误差即为计算率定曲线时本身的误差。

四、综合法在工程测试中的应用

在不破坏结构的情况下,达到对结构混凝土的质量状况予以定量的描述,这是非破损测试技术所要实现的主要目的。为此,我们在制定地区测强曲线、探讨对结构混凝土强度评定方法的基础上,根据设计、施工和建设单位的要求,对北京、天津、石家庄、太原、烟台、平顶山等地共40个有争议的结构混凝土的质量进行了现场测试,并邀请工程界、学术界、设计单位、施工单位、监理单位、质量监督站、建设单位等各方代表参加。绝大多数单位反映,测试结果比较符合工程实际,为工程的合理处理提供了可靠的依据。我们认为,随着我国建筑业全面质量管理工作的深入开展,非破损测试技术的广泛研究和推广应用,必将在混凝土的质量检验和控制中日益发挥重要的作用。

建筑科学研究报告

编辑：中国建筑科学研究院科技管理处

印刷：北京印刷三厂

出版、发行：中国建筑科学研究院建筑情报研究所

(北京市西直门外车公庄大街19号)

资料编号8213

工本费：0.15元