

# 混凝土抗压强度超声波法无损检测的试验研究

刘桂玲<sup>1</sup>, 张作鹏<sup>2</sup>

(1. 山西大同大学工学院, 山西 大同 037003; 2. 大同市勘察测绘院, 山西 大同 037006)

**摘要:**采用本地区常见的混凝土原材料及配合比,制作六种不同强度等级混凝土标准试件,按照现行技术规程进行了超声波法混凝土强度无损检测试验。由最小二乘法基本原理,通过三种不同类型函数的回归分析,建立了声速值与混凝土抗压强度之间相关关系的数学模型。误差分析表明,所得超声波法混凝土测强曲线,精度相对较高,有一定的工程应用价值。

**关键词:**混凝土抗压强度;超声波法;无损检测

**中图分类号:**TU528.1

**文献标识码:**A

混凝土应用历史已有二百余年,由于混凝土强度高、耐久性好、施工性能优良、原材料来源广、成本较低和适用于各种自然环境,是最重要的工程材料之一,其质量直接关系到分项工程、分部工程以及单位工程的评定验收。而混凝土强度是混凝土质量控制的核心内容,是结构设计、施工的重要依据。混凝土质量无损检测方法不对混凝土结构造成破坏、仪器简单、操作方便、可重复测试和易于大范围检查,受到现场广大工程技术人员的青睐。其中,冲击/弹性波法(含超声波法)是唯一与材料的力学特性直接相关的测试方法,最适合于混凝土强度的检测<sup>[1-4]</sup>。中国是采用混凝土结构最多的国家,但我国地域辽阔、气候差异巨大,混凝土材料品种繁多,各地施工条件、施工技术水平参差不齐等因素,显然建立适应本地区的混凝土专用测强曲线,与一律采用国家统一测强曲线相比,对加快工程进度、提高工程质量及节约建设资金、工程材料更加有利<sup>[5-6]</sup>。

本文旨在通过对混凝土试件进行超声波法无损检测,应用 Matlab7.0<sup>[7]</sup>对试验数据进行回归分析,初步建立大同地区混凝土强度超声波法测强曲线,为发展与完善适应本地区工程实际的混凝土强度快速检测技术提供有益的参考。

## 1 混凝土原材料

混凝土是集料与水泥浆的混合物,试验中各组成材料均采用大同地区有代表性的原材料。

### 1.1 水泥

水泥在混凝土中起胶结作用,是最重要的材料,正确地选用水泥品种和强度等级,是决定混凝土强度、耐久性 & 经济性的重要因素。

山西中芦普通硅酸盐水泥的基本物理力学性能,见表 1。

表 1 普硅水泥基本性能

强度等级	细度(筛余量)/%	标准稠度 / %	安定性 (饼法)	28d 抗压强度/MPa
32.5	3.8 合格	28.0	合格	33.8
42.5	4.0 合格	28.4	合格	43.5

### 1.2 粗骨料

普通混凝土常用的粗骨料主要有碎石和卵石(砾石)。碎石基本物理力学性能,见表 2。

表 2 碎石基本性能

表观密度 / kg · m <sup>3</sup>	堆积密度 / kg · m <sup>3</sup>	空隙率 / %	颗粒级配	粗细程度/mm
2540	1430	46	级配合格	19

《建筑用碎石、卵石》(GB/T14685 - 2001)规定: II 类(宜用于 C30 - C60 及抗冻、抗渗或其他特殊要求的混凝土)。可见,选用的 II 类碎石,能够满足试验要求。

### 1.3 细骨料

混凝土的细骨料根据产源的不同可分为河砂、湖砂、山砂及海砂。本地区河砂资源较丰富,价格适中,现场应用相当广泛,本试验选用河砂作为细骨料,其基本

收稿日期:2011-04-26

作者简介:刘桂玲(1976-),女,山东泰安人,工程师,硕士,主要从事土木工程方面的研究。

物理力学性能,见表 3。

表 3 河砂基本性能

表观密度 /kg·m <sup>3</sup>	堆积密度 /kg·m <sup>3</sup>	空隙率 /%	平均细 度模数	级配区
2610	1520	42	2.8	二区

《建筑用砂》(GB/T 14684 - 2001) 规定: II 类(宜用于 C30 - C60 及抗冻、抗渗等特殊要求的混凝土)。因此,选用的河砂为 II 类砂,能够满足本研究的基本要求。

### 1.4 拌合水

混凝土拌合用水按其水源分为饮用水、地表水、地下水、海水及经处理后的工业废水,经检验满足《混凝土拌合用水标准》(JGJ 63 - 2006) 后方可使用。故选择饮用水拌制混凝土。

## 2 试验过程

### 2.1 配合比设计

由普通混凝土配合比设计规程<sup>[8]</sup>,根据混凝土强度等级、耐久性和工作性等要求,设计 C15、C20、C25、C30、C35 和 C40 六个强度等级的混凝土配合比,见表 4。

表 4 混凝土配合比设计参数

强度等级	水泥等级	砂率 /%	水泥: 砂: 石子: 水	塌落度 /mm
C15	普硅 32.5	0.39	1:2.35:3.60:0.64	30 - 50
C20	普硅 32.5	0.34	1:1.64:3.15:0.48	30 - 50
C25	普硅 42.5	0.37	1:1.97:3.36:0.54	30 - 50
C30	普硅 42.5	0.34	1:1.51:2.90:0.46	30 - 50
C35	普硅 42.5	0.32	1:1.53:3.24:0.42	30 - 50
C40	普硅 42.5	0.29	1:1.29:3.15:0.34	30 - 50

### 2.2 混凝土性能测试

混凝土试件均采用机械搅拌、机械振捣,标准养护技术要求进行,共制作立方体试件(150 mm × 150 mm × 150 mm)160 余组。混凝土抗压强度值由电液伺服万能试验机测得;声速值测试仪器选用瑞士进口的 TICO - proceq 混凝土超声波仪,其主要技术参数为:54 kHz 传感器、脉冲频率 3/s、分辨率 0.1 ms、电压脉冲 1 kV、测试范围 15 μs - 6550 μs、环境温度 -10 °C - +60 °C。

按现行有关技术规范标准要求,进行混凝土超声波声速值实测(图 1)。

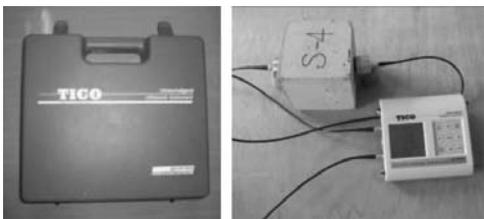


图 1 超声波法测强试验

## 3 试验数据分析

TICO 超声波混凝土检测仪通过发射探头和接收探头用超声波“穿过”混凝土构件,测试超声波在混凝土介质中的传播时间,从而计算出传播速度。所测超声波的声学参数与混凝土力学性能、内部结构及其组成情况密切相关,可以据此分析混凝土强度状况。

由图 2 可知,线性拟合公式为  $f_{cu} = 105.50v - 419.18$ ,平均相对误差  $\delta = 9.1\%$ 、相对标准差  $e_r = 12.1\%$ 、相关系数  $R = 0.867$ ,声速值与抗压强度值两者相关程度较高。

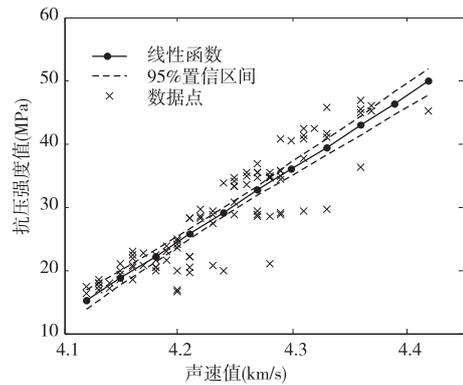


图 2 线性拟合测强曲线

由图 3 可知,幂函数拟合公式为  $f_{cu} = 0.61v^{3.719} - 101.90$ ,平均相对误差  $\delta = 9.2\%$ 、相关系数  $R = 0.865$ 、相对标准差  $e_r = 10.9\%$ ,其相对标准差较小。

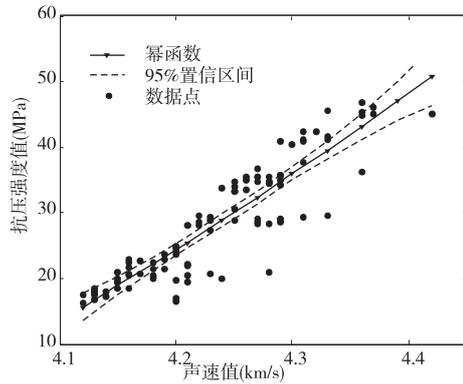


图 3 幂函数拟合测强曲线

由图 4 可知,指数函数拟合公式  $f_{cu} = 13.50e^{0.623v} - 155.30$ ,平均相对误差  $\delta = 9.3\%$ 、相关系数  $R = 0.836$ 、相对标准差  $e_r = 11.7\%$ ,其相对标准差较大。

由图 2 - 图 4 试验数据回归分析的结果,可以看出:

(1) 随着混凝土强度等级的提高,超声波声时值减小,而声速值增大,且数据离散性不大。因此,超声波法所测得的物理参量—声速值与混凝土抗压强度相关性较好 ( $R > 0.836$ )。

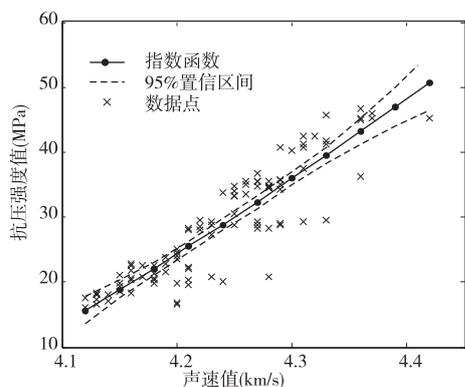


图4 指数函数拟合测强曲线

(2) 超声波法所得三个拟合公式,其相关性系数、平均相对误差和相对标准差等评价指标差别不大,均满足地区测强曲线<sup>[9]</sup>精度要求( $\delta < 14\%$ 、 $e_r < 17\%$ )。

因此,根据工程实际情况,超声波法声速值与混凝土抗压强度之间的相关关系,可在线性拟合公式 $f_{cu} = 105.50v - 419.18$ 与幂函数拟合公式 $f_{cu} = 0.61v^{3.719} - 101.90$ 中选用。

#### 4 结束语

运用超声波法进行了混凝土强度无损检测试验,回归分析表明,大同地区常用的原材料形成的混凝土超声声速值 $v$ 均与混凝土抗压强度 $f_{cu}$ 之间具有较好的相关关系,检测精度较高,误差较小,宜优先选用。同时,混

凝土无损检测方法是一种既古老又年轻的技术,在工程实际中,最好采用两种或两种以上的不同方法对比试验,以提高检测结果的可靠性。

#### 参考文献:

- [1] 吴新璇.混凝土无损检测技术手册[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 张仁瑜,王征,孙盛佩.混凝土质量控制与检测技术[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [3] Mehta P K. Concrete: microstructure, properties and materials[M]. New York: McGraw Hill, 2005.
- [4] 吴佳晔,安雪晖,田北平.混凝土无损检测的现状和进展[J].四川理工学院学报:自然科学版,2009,22(4): 4-7.
- [5] Liang M T, Wu J. Theoretical elucidation on the empirical formulae or the ultrasonic testing method for concrete structures[J]. Cement and Concrete Research, 2002, 32: 1763-1769.
- [6] 丘平.混凝土强度检测用专用或地区测强曲线(1)[J].施工技术,2006,35(8):94-96.
- [7] 陈仲生. Matlab7.0 的统计信息处理[M].长沙:湖南科学技术出版社,2005.
- [8] JGJ 55-2000,普通混凝土配合比设计规程[S].
- [9] JGJ/T23-2001,回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S].

## Experimental Research of Concrete Compression Strength with Ultrasonic Non-destruction Detecting Method

LIU Gui-ling<sup>1</sup>, ZHANG Zuo-peng<sup>2</sup>

(1. Engineering School, Shanxi Datong University, Datong 037003, China;

2. Datong Geotechnical Investigation & Surveying Institute, Datong 037006, China)

**Abstract:** Regional materials and mixing ratios which are usually seen in Datong area were used to make the concrete testing blocks. The ultrasonic non-destruction detecting testing for concrete strength were done by using the six types of strength grades concrete standard specimens according to the current technical regulations. On the basis of regression analysis with least squares technique, the mathematical models between ultrasonic velocity values and concrete compression strength were set up by three kinds of functions' regression analysis. The error analysis shows that the ultrasonic non-destruction detecting testing method has higher precision results and this method has great value in engineering field.

**Key words:** concrete compression strength; ultrasonic method; non-destruction detecting