

混凝土强度与其超声声速关系的试验研究

邓祥坤 范云霞

青岛市建筑材料研究所有限公司

摘要: 在超声波综合法检测混凝土抗压强度方面, 本文对五种抗压强度级别, 在标准规定每个龄期的混凝土抗压强度试件进行超声波的检测, 并且同时进行抗压强度检测。由试验数据经回归分析得到了抗压强度的超声波声速之间存在的函数性关系, 在某种程度上, 为实现超声波综合法检测混凝土抗压强度提供了试验数据和参考依据, 参照相关方程与曲线即可利用超声波检测设备快速、可信的得出施工现场混凝土抗压强度的推定值。

关键词: 混凝土; 超声波声速; 抗压强度; 强度推定

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.029

一、前言

随着我国城镇建设的快速发展, 混凝土已成为目前用途最广、用量最大的一种建筑材料。对混凝土强度和质量的非破坏试验法的探究不断受到侧重, 超声回弹综合法在检测混凝土抗压强度中作为结构无损检测手段中, 已然成为一项高效的手段, 在结构安全检验检测与混凝土的各种缺欠评级中经常被采用, 存在非常高的可靠性。混凝土是一种弹、粘、塑性多相复合体, 其物理、力学性能受矿物掺和料、外加剂的种类和环境条件的影响^[1]。同样, 混凝土抗压强度与其混凝土超声波声速之间的相关客观规律是受混凝土的成分及技术条件例如硅酸盐水泥用量、水灰比、含水率、骨料的粒径直径和用量等因素的不同而有所差异。非金属材料混凝土的超声波声速一般介于3.50km/s~5.00km/s之间, 同条件或相似条件下混凝土中的超声波传播的速度与混凝土的抗压强度之间有着较强的关联性。本文运用超声检测法对强度等级为C30、C35、C40、C50、C60, 龄期分别为7、14、21、28天的混凝土试块进行了超声测试结合

抗压破坏试验, 对超声声速值和混凝土抗压进行相关性分析, 推出它们之间的函数关系方程, 为超声回弹综合法检测混凝土抗压强度提供一定的参考数据。

二、试验研究方法

(一) 试验样品制作

本文试验采用150mm×150mm×150mm的标准立方体混凝土抗压试件, 对5种常用强度等级的混凝土分别制作4组试件, 且混凝土材料为某商混厂家提供的某批次的泵送混凝土。混凝土试样筑模前, 在钢试模内表面均匀涂抹脱模剂。本文采用的5种强度等级混凝土坍落度均大于70mm, 因此试件成型方法采用人工插捣法^[2]。

(二) 样品养护方案

样品采用标准养护方案, 养护龄期均为28d。标准养护试样在(20±5)℃的温度环境中静置24h后脱模, 再将其置入相对湿度95%以上, 温度(20±2)℃的标准养护室内进行养护。

(三) 试验方法

(1) 超声波声速测量设备采用型号为NM-4B非金属超声波仪, 采用对测法, 平测换能器频率为50kHz, 耦合剂采用医用耦合剂。平测检测面取混凝土立方体试件的浇筑侧面, 在两个相对测试面上, 沿对角线各布置3个测点, 且发射和接受换能器的轴线垂直于测试面。混凝土试件超声波声速代表值 v 取3个测点声速的平均值^[3]。

对各龄期的试件, 按式(1)计算声速:

$$V_i = L_i / t_i \quad (1)$$

式中

V_i ——混凝土试件测点超声波声速值, km/s;

L_i ——测点的超声测距, 即混凝土试件边长, mm;

t_i ——测点声速值, μs 。

(2) 在进行抗压强度测试时,把检测试件两侧超声测试面的耦合剂祛除至干燥、清洁,随后将其中一面放于压力试验机垫板上,另一面可以作为承压面,以0.8MPa/s的加荷速度连续均匀加荷直至破坏,根据破坏时的荷载计算得出抗压强度 f_{cu} 即可^[2]。

三、试验结果与分析

(一) 试验结果

依次在7d, 14d, 21d, 28d的龄期下,对标准养护条件下的各强度级别混凝土立方体试件进行超声波声速采集和抗压强度试验,试验所得数据如下表所示:

表1 标准立方体试件超声声速值

混凝土强度等级	龄期/d	波速/(km/s)	抗压强度 f_{cu} /MPa
C30	7	4.10	23.4
	14	4.29	27.2
	21	4.36	31.6
	28	4.42	35.2
C35	7	4.29	29.8
	14	4.47	33.7
	21	4.52	34.2
	28	4.59	39.2
C40	7	4.35	31.8
	14	4.56	34.7
	21	4.75	39.2
	28	4.82	44.1
C50	7	4.41	45.6
	14	4.75	49.1
	21	4.86	52.3
	28	4.91	56.3
C60	7	4.52	46.8
	14	4.89	54.1
	21	4.99	59.4
	28	5.17	65.8

(二) 结果分析

1. 超声波声速数据分析

由上述表1试验数据可得出一般规律,数据显示,各强度级别混凝土试件的声速值均随着标准养护龄期的增加而不断增加,并且在7d~14d的声速增幅明显变大,在第14d后声速增幅转为缓慢上升。超声波速度的变化趋势主要决定于混凝土的构造性质,在混凝土标准试件制作完毕后的初期(1-3d),试件内部会形成孔隙,其中存在大量的 H_2O ,而且水泥的水化、凝结硬化过

程并没有结束,其内部组分为离散体系,这就导致了波形的杂乱无章,且在试件内部传播所消耗的时间相对变长,进而得出超声波声速值较低。随着试件养护时间的不断延长,试件内部的 H_2O 与水泥发生水化反应,这种反应可以使密实度大幅提高,这样就使混凝土内部逐渐固结为统一体,而且内部的分水也在逐渐散失,依据不同物质形态中声波传播速度不同原理可知,超声波在大多数固体中的声速大于在液体中的声速,因此可知,超声波在混凝土中声速是持续增高的。而且还可以分析出,初期的声速增高幅度是比较快的,而过一段时间增高的幅度就渐渐变缓。原因在于,制作混凝土试件完毕后的1d-3d内,其凝结硬化速度比较快,之后速度日趋放缓的结果。

2. 声速与抗压强度二次函数相关性分析数据

鉴于混凝土抗压强度与其声速值间存在相关性,这次探究对所得数据采用了不同的函数模型(一次函数、二次函数)进行回归分析。因为28d以后各强度等级的混凝土抗压强度增幅均不大,所以我们只考虑了龄期在28d以内的情形。

因为我们要得出两个相关量在多大程度上彼此相关,所以我们使用相关指数的 R^2 值来度量曲线吻合的效果^[3]。如果 R^2 越大,就说明该曲线吻合效果越好。

为了应对用拟合曲线计算的强度可能产生的误差,相关方程的精度采用相对标准差 e_r 进行检验^[4]

$$e_r = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{cu,i}}{f_{cu,i}^c} - 1 \right)^2} \quad (2)$$

式中:

$f_{cu,i}$ 为试件抗压强度值(MPa);

$f_{cu,i}^c$ 为函数方程计算所得抗压强度值(MPa)。

比较分析各混凝土强度等级的两种函数模型,二次函数具有良好的关联性,标准误差最大为3.5%,最小只有2.0%,关联度较一次函数高,且一次函数的标准误差较二次函数大,试验表明混凝土抗压强度与超声波声速和弹性模量与超声波声速之间并不是单一的线性关系,

表2 混凝土强度等级与超声波声速关联性分析

混凝土强度等级	函数模型	函数方程	关联指数R ²	标准误差er
C30	一次函数	$f=35.395v-122.58$	0.9142	0.089
	二次函数	$f=123.34v^2-1013.3v+2104.7$	0.9968	0.020
C35	一次函数	$f=28.255v-92.003$	0.8819	0.064
	二次函数	$f=104.93v^2-901.65v+1966.7$	0.9693	0.035
C40	一次函数	$f=24.348v-75.037$	0.9114	0.072
	二次函数	$f=53.444v^2-465.59v+1045.9$	0.9792	0.034
C50	一次函数	$f=18.509v-36.769$	0.8345	0.062
	二次函数	$f=69.464v^2-627.15v+1460.4$	0.9807	0.021
C60	一次函数	$f=28.777v-84.267$	0.9911	0.051
	二次函数	$f=27.185v^2-233.68v+547.56$	0.9579	0.023

这从图1的回归曲线中同样可以看得出。另外，一次函数对曲线的拟合性较差，越往后偏离越大，中前期相对值偏较小；二次函数对曲线的拟合性较好，函数曲线与实测曲线基本吻合。

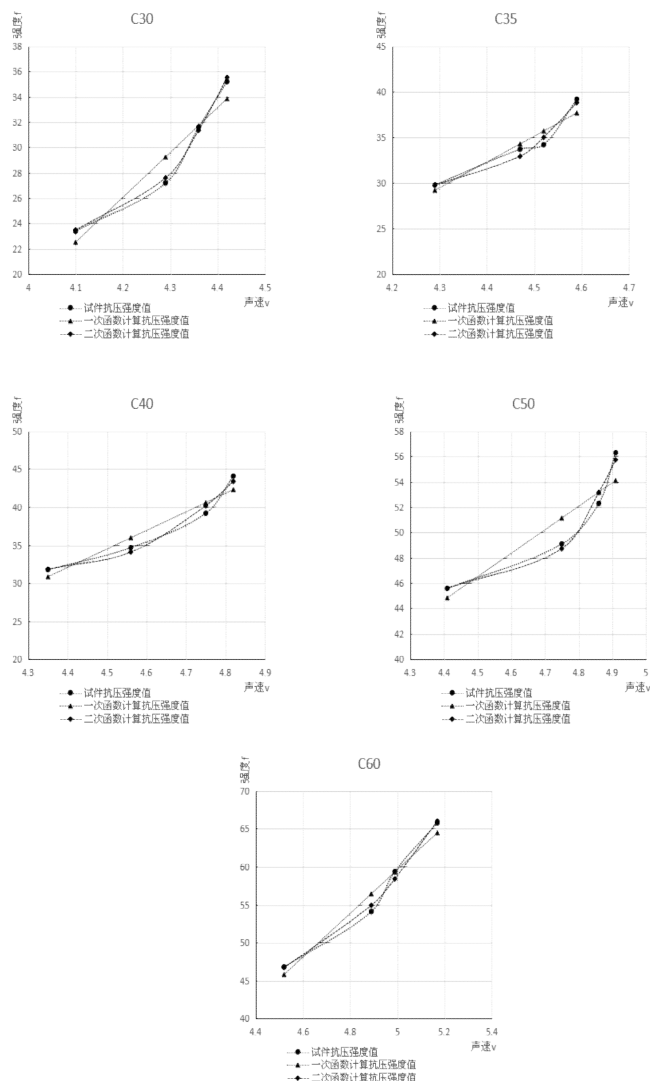


图1 混凝土声速与抗压强度的关系拟合曲线

四、应用探讨

可利用本文经建立的相关性方程，通过超声波仪实现施工现场混凝土强度快速、准确推定。虽然混凝土超声波声速受含水率的影响较大，但经试验分析可知，通常条件下14天时混凝土的含水率约为7%，28天时混凝土的含水率一般会降到5%以下，60天时混凝土的含水率一般会降到3.0%以下，可见14天后含水率已经与后期相差不大，如掺加减水剂或早强剂则效果更好^[4]。因此，利用本文试验所得函数方程，也可根据混凝土早期的声速试验来对28天后混凝土的强度进行推算。

参考文献

- [1] 童寿兴，李为杜，超高强度混凝土超声波测强技术的研究[J].上海：无损检测，1994.
- [2] 中国建筑科学研究院.GB /T50081—2002普通混凝土力学性能试验方法[S].北京：中国建筑工业出版社，2002.
- [3] 中国建筑科学研究院.CECS02：2005超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程[S].北京：中国建筑工业出版社，2005.
- [4] 杨建江，杨乐，陈星，多变量条件下混凝土声速与抗压强度研究[J].山西：施工技术，2015.