

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201703008



# 考虑龄期影响的福州地区 超声回弹综合测强曲线

盛海洋

(福建船政交通职业学院 道路工程系, 福建 福州 350007)

**摘要:** 依据福州地区常用配合比,采用当地常用原材料,制作强度等级从 C20~C45 的 200 余个混凝土试块.利用超声回弹法进行测量,在不同龄期下,对不同强度的混凝土试块在与实测强度进行比较后,提出考虑龄期影响的修正后的地区超声测强曲线.结果表明:提出的福州地区综合测强曲线的预测精度有明显提高,综合误差小于 15%,可以满足规范对地区测强曲线的要求.

**关键词:** 超声回弹综合法;混凝土龄期;测强曲线;混凝土强度;信赖域优化算法;福州地区

**中图分类号:** TU 502.4(257) **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2017)03-0325-05

## Prediction Curves of Concrete Strength Considering Influence of Different Concrete Ages Using Ultrasonic-Rebound Combined Method

SHENG Haiyang

(Department of Road Engineering, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** More than 200 standard concrete samples with strength from C20 to C45 are casted using local material in Fuzhou with common mix proportion. Ultrasonic-rebound combined method is utilized to test different age concrete samples. An improved prediction curves considering the influence of ages is proposed by comparing the prediction results with the experimental results. Compared to the prediction curve suggested in the current code, the proposed curve greatly improves the prediction precision. The result shows that the comprehensive error is less than 15%, which can meet the requirement of the current code.

**Keywords:** ultrasonic - rebound combined method; concrete age; strength prediction curves; concrete strength; trust-region method; Fuzhou Area

混凝土作为目前建筑工程中最常用的材料之一,如何准确地测量其强度已经成为众多学者所热衷研究的课题.由于无损检测不破坏混凝土结构,应用简便且精度高.在工程实践中,越来越受到建筑从业者的青睐.回弹法、超声法和超声回弹综合法是无损检测的 3 大代表,其中,超声回弹综合法采用两种检测方法综合评定混凝土强度,能够减少单一指标对其测强精度的影响,在全世界范围内得到广泛的应用<sup>[1-3]</sup>.超声回弹综合法测强的影响因素很多,包括水泥品种、骨料级配、龄期、外加剂和测距等<sup>[4-5]</sup>,对回弹法而言,龄期与混凝土结构的碳化深度是紧密联系在一起的,随着龄期的增加,碳化层厚度也随之增加,回弹值也随之增大,但混凝土的实际强度并没有显著增大.超声早龄期的超声波声速值增长明显高

**收稿日期:** 2016-06-09

**通信作者:** 盛海洋(1963-),男,教授,博士,主要从事交通土建工程质量检测的研究. E-mail:2437509522@qq.com.

**基金项目:** 国家自然科学基金面上资助项目(51578159);福建省交通运输厅交通运输科技发展重点项目(201209);福建船政交通职业学院科技服务团队科研基金资助项目(2016 年度)

于混凝土强度的增长<sup>[6-7]</sup>,因此,有必要验证测强曲线在对不同龄期的混凝土强度预测的有效性<sup>[8]</sup>.本文采用福州地区常用的材料和配合比,配制强度等级分别为 C25,C30,C35,C40,C45 混凝土试块,分别选取 7,14,28,60 d 的不同龄期进行超声回弹法测试.

1 试验过程

按《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(以下简称《规程》)要求<sup>[9-10]</sup>,依据福州市各等级混凝土的常用配合比,在测试中分别浇筑出混凝土强度等级为 C25~C45 的标准试块.为避免测量误差,测试中同一强度和龄期的测试试块组的试块个数均大于 3 个.试块的制作及养护,如图 1 所示.



图 1 标准混凝土试块制作及养护

Fig. 1 Standard concrete block production and cure

超声及回弹测试采用的仪器为 HC-U81 系列超声波混凝土检测仪及 HT-225T 一体式数显回弹仪.在试块达到相应龄期后,取出待测的试块,对试块表面进行清洁,在浇筑面侧面的对角线方向上选取 3 个超声测点进行标记,超声测量.为保证测试时换能器与被测试表面的贴合,选择凡士林做超声耦合剂均匀涂抹在两相对声时测点处.逐次测量 3 个测点读取声时读数,测量的数据精确至 0.1  $\mu$ s.回弹测试在超声测试之后进行,为保证试块在回弹测试期间不发生滑移,首先在万能试验机上,对其进行预加载以固定试块;其次,在试块侧面进行回弹并精确度数至 0.1;最后,在检验超声回弹测试数据后利用试验机测得试块的实际抗压强度.

2 试验结果

2.1 测试结果

试验共制作并测试了 245 个不同龄期的混凝土试块.在前期的研究中,首先,依据测试结果对《规程》中规定的全国统一混凝土抗压强度换算公式进行验证,全国超声回弹综合法碎石骨料曲线公式为

$$f_{cu,i}^c = 0.016\ 2\ V_{v,i}^{1.656}\ R_{a,i}^{1.410}.$$
 (1)

式(1)中: $f_{cu,i}^c$ 为试块第*i*个测区的混凝土抗压强度换算值; $V_{v,i}$ 为试块第*i*个测区的混凝土声速代表值; $R_{a,i}$ 为试块第*i*个测区的混凝土回弹代表值.

式(1)预测的混凝土强度与实测强度相比,存在较大误差.因此,进一步利用 Matlab 依据实测数据进行曲线拟合,提出更适用于福建地区混凝土特性的测强曲线,即

$$f_{cu}^c = 0.019\ 4\ R^{1.401}\ V^{1.692}.$$
 (2)

不同测强曲线与实测值之间的对比,如图 2 所示.图 2 中: $p_r$  为实测强度.由图 2 可知:提出的地区测强曲线显然对试块强度有着更好的预测.

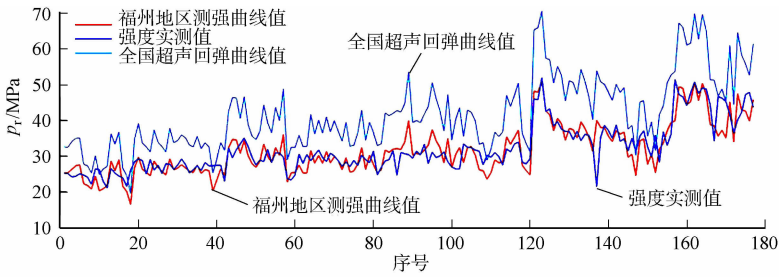


图 2 测强曲线强度预测结果与实测结果比较

Fig. 2 Comparison between prediction strength and tested strength

2.2 超声回弹综合法测量值的龄期显著性分析

考虑不同龄期( $a$ )的混凝土试块的部分计算结果,将此次试验数据代入地区测强曲线,可得到对应龄期的抗压强度预测值( $p_{pre}$ ),部分数据如表 1 所示.

表 1 部分试块的对应龄期的预测强度及实测强度

Tab.1 Prediction strength and tested strength of some samples

序号	$a/d$	强度等级	$V_{v,i}/m \cdot s^{-1}$	$R_{a,i}$	$p_r/MPa$	$p_{pre}/MPa$
1	7	C25	4.31	25.60	20.28	21.57
2	7	C30	4.27	27.40	19.92	23.34
3	7	C35	4.74	31.20	31.49	33.43
4	7	C40	4.79	32.10	39.36	35.43
5	7	C45	4.81	34.40	39.12	39.39
6	14	C25	4.59	29.10	31.26	28.74
7	14	C30	4.37	28.10	26.36	25.18
8	14	C35	4.74	36.80	42.02	42.17
9	14	C40	4.87	37.00	46.56	44.48
10	14	C45	4.97	42.10	47.32	55.16
11	28	C20	4.50	27.10	27.36	25.16
12	28	C25	4.62	29.90	30.88	30.19
13	28	C30	4.66	37.20	40.39	41.60
14	28	C35	4.84	36.40	42.76	43.02
15	28	C40	5.00	44.50	55.13	60.23
16	60	C25	4.80	35.40	38.25	41.36
17	60	C30	4.76	40.40	46.44	47.15
18	60	C35	4.97	40.50	52.09	52.78
19	60	C40	5.00	43.50	50.11	58.34
20	60	C45	5.06	44.60	59.42	63.98

不同等级的混凝土强度随龄期变化规律,如图 3 所示.

不同强度等级混凝土回弹值及超声值随龄期的变化比较,如图 4 所示.由图 4 可知:总体上回弹值随龄期大致呈增长趋势,且开始回弹值随龄期增加较快,随着龄期的变长随后变化缓慢;另外,回弹值随着混凝土的强度等级的增加,大致也呈增长趋势;同样,超声值早龄期大致呈增长趋势,随着龄期的变长超声值随后变化平缓,基本不变.

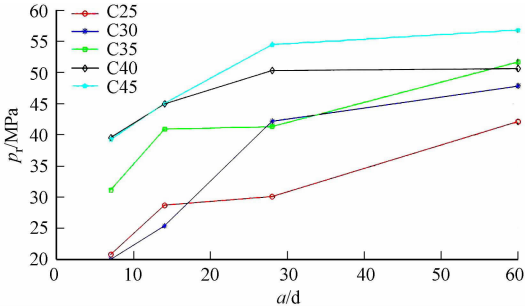
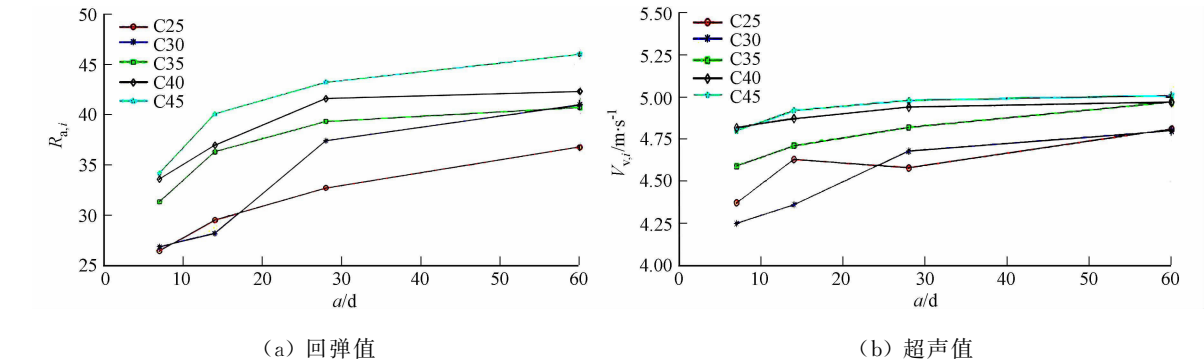


图 3 混凝土强度随龄期的增长

Fig. 3 Strength of concrete along with age growth



(a) 回弹值

(b) 超声值

图 4 不同强度等级混凝土回弹值及超声值随龄期的变化图

Fig. 4 Rebound value and ultrasonic value of concrete for different strength grade and age

2.3 考虑龄期的修正超声回弹测强曲线

由表 1 可知:虽然相比《规程》中的测强曲线,建立的地区超声回弹测强曲线在预测精度上有了很大的改进,但是当考虑龄期影响时,还是存在误差,特别对于早期强度的预测精度上误差更为明显. 因此,在原有超声回弹测强曲线的基础上引入龄期这一变量,利用信赖域最优算法对数据进行拟合迭代后,有

$$f_{cu}^c = \alpha R^{1.401} V^{\xi}.$$

当  $\alpha < 28$  时,  $\alpha = 0.0178, \xi = 1.9085$ ; 当  $\alpha \geq 28$  时,  $\alpha = 0.0194, \xi = 1.8351$ .

分别用龄期为 7, 14, 28, 60 d 的混凝土试块测定回弹值与超声值,将测定的回弹值与超声值代入修正后的测强曲线,并进行验证,得到混凝土强度预测值. 混凝土强度预测值与压力机测定的混凝土强度实测值的比较图,如图 5 所示. 由图 5 可知:修正后曲线与实测值吻合. 根据《规程》给定的全国超声回弹测强曲线,得出的预测值与实测值相比,偏差比较大,其相对误差值分别为 26.46%, 27.15%, 25.35%, 31.44%;按龄期为 7, 14, 28, 60 d 的混凝土试块测定回弹值与超声值建立相应龄期的测强曲线的相对误差分别为 7.30%, 9.40%, 6.69%, 6.39%, 小于《规程》给定的 14%, 说明依据龄期修正建立的测强曲线的正确性及适用性.

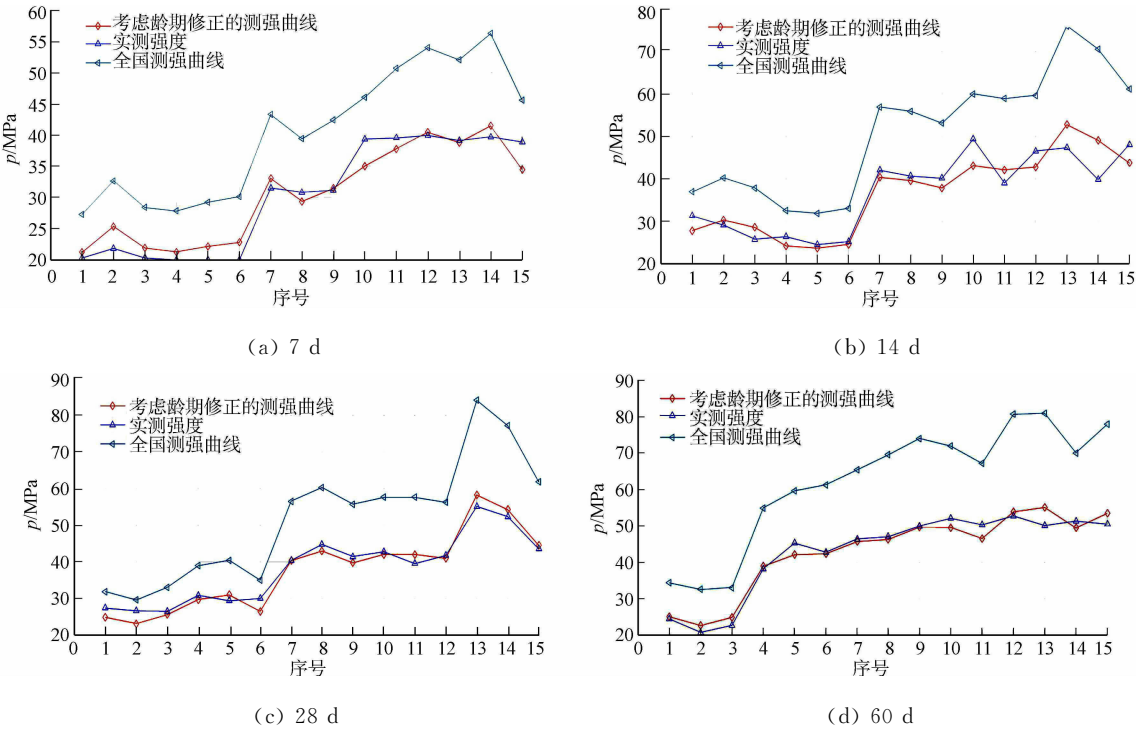
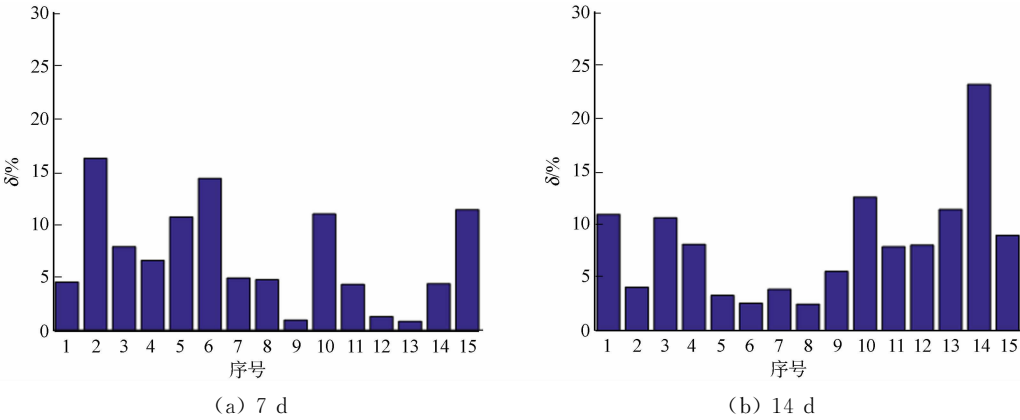


图 5 不同龄期混凝土的测强曲线预测值与实测值比较

Fig. 5 Comparison between prediction strength and tested strength of concrete for different ages

进一步比较各个龄期的超声回弹综合法测强曲线预测误差,不同龄期的测强曲线的预测结果与实测结果的比较,如图 6 所示. 图 6 中:  $\delta$  为误差.



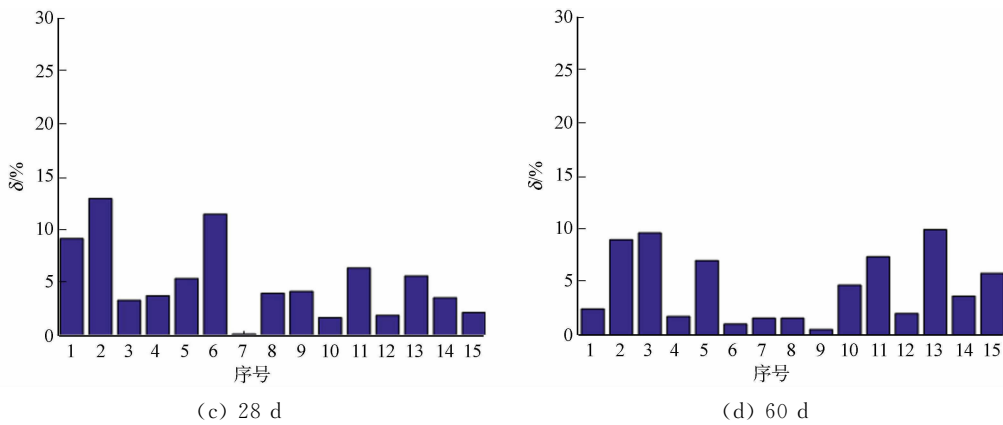


图 6 不同龄期混凝土的测强曲线预测与实测结果的比较

Fig. 6 Different age strength curve of prediction result was compared with measured results

由图 6 可知:修正后的测强曲线在多数情况下可以准确对混凝土强度进行预测,相对而言,对龄期长的混凝土强度的预测更准确,误差值大都小于 10%;而对于龄期小于 14 d 的大部分试块的预测结果较好,但是还是有两根构件的预测结果有较大误差,分析回弹和超声测量结果后发现,这两组数据的回弹值均偏小. 因此,该预测误差可能是由于在进行回弹测量时,压力机的预压力不足产生的滑移导致的.

### 3 结束语

对于不同强度的混凝土试块,龄期对超声及回弹值有类似的影响趋势.《规程》中给出的曲线在多数情况下,都不能很好地对试块强度进行预测,并且将得到较大的相对误差. 将龄期的影响考虑后提出的修正后的地区超声回弹曲线,对试块的混凝土强度可以进行较为准确的预测,相对误差小于 14%,符合《规程》的要求.

### 参考文献:

[1] 熊静,宿文姬,罗旭辉. 超声回弹综合法在混凝土强度检测中的应用[J]. 无损检测,2014,36(10):58-60.

[2] 高峰,郝奇亮,刘桂玲. 回弹-超声波综合法混凝土抗压强度非破损检测研究[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2012,28(4):55-57.

[3] 周启国,张亦飞,韩勤,等. 超声回弹综合法检测单一构件混凝土强度推定值的保证率分析[J]. 海洋学研究,2006, 24(1):97-102.

[4] 董林,杨昊. 超声回弹综合法检测混凝土强度影响因素研究[J]. 工程质量,2012,30(9):52-54.

[5] 潘伟行. 超声回弹综合法测强度及影响因素的研究[J]. 混凝土,2002(8):24-25.

[6] 王雪平,刘素瑞,杨久俊,等. 混凝土超声波速与抗压强度之间关系的试验研究[J]. 混凝土,2015(12):34-37.

[7] 崔德密. 超声回弹综合法检测混凝土抗压强度的不确定度分析[J]. 混凝土与水泥制品,2012(12):24-26.

[8] 邓涛,杨林德,夏才初. 公路隧道衬砌中超声回弹测强公式的修正[J]. 建筑材料学报,2006,9(2):194-199.

[9] 中国建筑科学研究院. 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程: CECS 02—2005[S]. 北京:中国计划出版社, 2005:10-22.

[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构工程施工质量验收规范: GB 50204—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2014:70-72.

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 方德平)