

文章编号:1005-0523(2000)03-0012-04

回弹法检测混凝土强度回归方程的精度比较

李立玲¹, 梁四年², 赵碧华³

(华东交通大学 1. 成人教育学院; 2. 基建办; 3. 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 对多组混凝土回弹测强的数据进行多种回归方程式的回归分析和精度比较, 建议为提高精度, 制作回弹专用测强曲线的回归方程式应通过多个回归方程式进行试算比较, 取精度高者为绘制专用测强曲线的依据¹⁹。

关 键 词: 混凝土强度; 回弹法; 回归分析; 精度比较

中图分类号: TU 508.1

文献标识码: A

0 引 言

随着建筑工业的蓬勃发展, 非破损检测技术在结构混凝土强度检验方面应用日趋普遍, 目前主要有回弹法、印痕法、超声脉冲法、超声一回弹综合法、振动法、射线法等, 其中回弹法以其设备简单, 操作方便, 而且检测过程中又不损伤被测构件的优点而被世界各国所采用¹⁹。美国 (ASTM C805)、西德 (DIN 1048)、英国 (BS 4408/4)、保加利亚 (BDS 3816)、匈牙利 (MS 4715/5)、波兰 (PN-74:B06262)、罗马尼亚 (C 30) 以及国际机构 (RILEM) 者已将该法规范化¹⁹。我国于 50 年代中期开始应用回弹法检验混凝土强度的研究, 1978 年, 国家建委将包括回弹法在内的《混凝土质量非破损检验技术研究》正式列为重大科研项目¹⁹。1985 年 8 月 1 日, 我国第一部非破损检验混凝土强度的技术标准——《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》(JGJ 23-85) 开始试行¹⁹。93 年建设部又发布了修订后的技术标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23-93), 10 月 1 日开始施行¹⁹。

回弹法测强最大的缺点就是检测精度较差, 为此我国不少省市、地区都围绕着混凝土无损检测技术, 在国家标准的统一指导下, 制定了各自的地方曲线和专用曲线, 对提高非破损检测技术的测试精度, 起到了一定作用¹⁹。

1 专用测强曲线的制定方法

《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》(JGJ 23-85)、《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23-93) 均在附录 B 规定了专用测强曲线制定方法, 包括制定专用测强曲线的单位应具有资质; 试件的制作、养护、测试要求; 回归方法; 推荐采用的回归方程式以及回归误差的计算等, 回归方法按每一试件测得的 R_n 和 f_{cu} 数据, 采用最小二乘法原理计算, 其中

收稿日期: 1999-08-27; 修订日期: 2000-05-02

作者简介: 李立玲 (1963—), 女, 福建上杭人, 华东交通大学副教授。

(JGJ23-85) 推荐采用的回归方程有

直线式： $R_{ni}=A+BN$ ；

幂函数式： $R_{ni}=AN^B$ ；

抛物线式： $R_{ni}=A+BN+CN^2$ (13)

其中: R_{ni} 为测区混凝土强度换算值; A 、 B 、 C 、为回归系数; N 为测区或试件的平均回弹值(13)

(JGJ/T 23-93) 推荐采用的回归方程是

幂函数式： $f_{cu}^c=AR_m^B$

其中: f_{cu}^c 为测区混凝土强度换算值; A 、 B 为回归系数; R_m 为测区或试件的平均回弹值(13)

2 回归分析实例

现结合我校的超声回弹试验及有关资料的 $f_{cu}^c-R_m$ 数据用多种回归方程进行回归比较, 参见表 1~5.

表 1 数据 1

回弹值 R_i	33.3	33.1	32.9	33.3	32.2	31.5	34.8	33.1	31.5	35.8	35.0	35.4	38.4	38.0	39.8
实测值 f_i	13.98	14.67	16.42	15.36	15.84	14.82	22.60	21.00	20.10	21.40	22.10	25.40	29.10	30.70	31.20
回弹值 R_i	34.8	37.8	36.3	42.6	39.0	40.3	39.5	38.8	39.8	38.5	42.3	41.4	42.1	44.8	42.5
实测值 f_i	27.90	27.80	29.40	36.71	31.17	37.09	31.87	28.58	30.23	42.62	40.93	39.75	35.93	38.88	39.07

表 2 数据 2

回弹值 R_i	21.5	25.3	33.6	31.5	33.6	30.2	31.1	30.2	33.8	36.3	33.8	31.3	33.6	36.5	30.6
实测值 f_i	8.72	12.67	22.24	21.12	21.18	22.45	20.84	22.97	28.04	26.43	28.94	28.34	28.50	27.90	28.00
回弹值 R_i	35.1	32.4	35.6	36.0	38.8	36.7	37.3	32.2	38.3	36.5	33.0	33.1	35.7	35.9	37.5
实测值 f_i	31.00	28.50	34.23	33.88	34.04	35.52	33.92	33.13	35.36	35.59	36.79	33.70	34.37	34.08	34.67

表 3 数据 3

回弹值 R_i	27.1	27.5	30.3	31.0	35.7	35.4	38.9	37.6	26.9	25.0	28.0	31.0	32.2	37.8	36.6
实测值 f_i	12.2	11.6	16.9	17.5	20.5	32.1	31.0	32.9	12.0	10.8	14.4	18.0	22.8	27.9	32.9
回弹值 R_i	36.6	24.2	31.0	30.4	33.3	37.2	38.6	37.6	22.9	30.5	30.4	29.7	36.7	37.8	36.0
实测值 f_i	30.8	10.8	15.2	16.3	22.4	31.7	27.0	32.5	10.6	12.9	14.6	18.6	25.4	23.2	28.3

表 4 数据 4

回弹值 R_i	26.9	23.4	24.8	31.9	28.8	28.6	33.8	32.8	31.9	38.9	25.3	27.6	29.5	32.3	32.5
实测值 f_i	19.4	18.9	19.9	24.1	25.3	23.0	31.7	31.2	32.5	42.4	20.7	22.4	20.2	28.3	28.4
回弹值 R_i	30.3	33.0	33.2	32.8	42.5	38.6	37.9	24.4	25.6	22.9	43.0	40.6	30.4	41.3	41.2
实测值 f_i	26.8	30.5	32.8	31.7	48.8	44.7	45.4	14.5	13.8	14.1	48.3	38.1	44.2	43.9	42.0

表 5 数据 5

回弹值 R_i	27.2	28.0	29.9	30.1	30.3	30.2	32.3	33.3	34.0	34.5	35.3	33.0	35.4	34.8	36.7
实测值 f_i	12.3	14.3	16.6	17.9	18.6	18.8	21.9	22.4	22.6	23.2	23.6	24.0	25.5	26.6	28.5
回弹值 R_i	37.6	39.8	39.9	40.0	41.8	40.1	41.0	41.6	40.8	42.7	41.3	43.9	44.5	46.2	47.2
实测值 f_i	28.9	31.1	32.1	32.7	32.8	33.5	37.7	37.8	38.0	40.6	43.9	46.9	52.5	53.9	57.6

以上数据分别用直线式、幂函数式、抛物线式、对数式、指数式方程进行回归, 结果如下:

表 6 不同回归方程回归结果的比较

数据源		回归方程	平均相对误差	误差排序	相对标准差	标准差排序
数据 1	直线式	$2.1169x - 51.174$	10.65	2	14.53	1
	对数式	$79.082\ln(x) - 258.01$	10.60	1	14.62	2
	抛物线式	$-0.0664x^2 + 7.0993x - 143.65$	10.89	3	14.97	4
	幂函数式	$0.0004x^{3.081}$	11.55	4	14.92	3
	指数式	$1.2301e^{0.0821x}$	11.64	5	15.76	5
数据 2	直线式	$1.5617x - 23.851$	10.68	1	14.17	3
	对数式	$47.718\ln(x) - 138.77$	10.71	2	13.94	1
	抛物线式	$-0.0326x^2 + 3.589x - 54.781$	10.88	3	14.05	2
	幂函数式	$0.0084x^{2.308}$	11.65	4	15.31	4
	指数式	$2.2791e^{0.0741x}$	12.95	5	16.74	5
数据 3	直线式	$1.5382x - 28.797$	13.66	3	18.67	3
	对数式	$47.367\ln(x) - 143.2$	16.35	4	25.51	5
	抛物线式	$0.0471x^2 - 1.4481x + 17.508$	10.73	1	13.19	1
	幂函数式	$0.0041x^{2.4413}$	11.32	2	14.02	2
	指数式	$1.5282e^{0.0787x}$	21.65	5	24.31	4
数据 4	直线式	$1.6533x - 23.008$	10.09	1	15.92	1
	对数式	$53.183\ln(x) - 153.54$	11.10	4	16.43	3
	抛物线式	$-0.0087x^2 + 2.2255x - 32.164$	10.20	2	15.97	2
	幂函数式	$0.045x^{1.8651}$	10.42	3	16.61	4
	指数式	$4.4861e^{0.0572x}$	11.39	5	17.68	5
数据 5	直线式	$2.0571x - 45.785$	9.25	4	10.87	4
	对数式	$73.506\ln(x) - 234.27$	11.52	5	14.84	5
	抛物线式	$0.077x^2 - 3.6383x + 57.165$	6.17	3	8.10	3
	幂函数式	$0.0031x^{2.5305}$	6.07	2	7.54	2
	指数式	$2.1363e^{0.0697x}$	5.63	1	7.30	1

3 结果分析

从表 6 可看出,各回归方程式的精度随着 $f_{cm}-R_m$ 数据的不同而有所波动,以上所采用的数据,由于地区不同,所用原材料不同、试件的强度区间不同,精确度较高的回归方程式不是唯一的,精确度较高且比较稳定的回归方程式有直线式(平均相对误差排序 2、1、3、1、4) (相对标准差排序 1、3、3、1、4)、抛物线式(平均相对误差排序 3、3、1、2、3) (相对标准差排序 4、2、1、2、3)、幂函数式(平均相对误差排序 4、4、2、3、2) (相对标准差排序 3、4、2、4、2),若试件的强度在中低强度区,则直线式回归方程精度较高,若试件的强度在中高强度区,则幂函数式回归方程精度较高,(JGJ23-85) 推荐采用的回归方程是

直线式: $R_{ni}=A+BN$;

幂函数式: $R_{ni}=AN^B$;

抛物线式: $R_{ni}=A+BN+CN^2$

用同一批 30 个数据按不同形式的回归方程式进行试算比较、取其中相对误差和相对标准差均符合要求,且其值较小的一个回归方程式作为绘制专用测强曲线的依据^[13]而在(JGJ/T 23-93)中推荐采用的回归方程仅

幂函数式: $f_{cu}^c = A R_m^B$

这是否对提高专用测强曲线的精度有影响,从上述回归分析结果看,幂函数回归方程式的回归精度并不总是最好的,作为行业标准,它所推荐的回归方程式具有很强的导向性,仅用一个回归方程式很难保证其精度,建议还是如(JGJ23-85)多采用几个方程式试算,取其中相对误差和相对标准差均符合要求,且其值较小的一个回归方程式作为绘制专用测强曲线的依据,这虽然增加了回归计算的工作量,但随着计算机科学的发展和计算机应用的普及,已有很多回归分析的软件,如 Office 套件中的 Excel,SAS 等,甚至有些功能较强的计算器也具备回归分析的功能,使得回归计算的工作量大大简化了,并且增加一些回归计算的工作量,换得回归精度的提高,也是值得的¹⁹.

[参 考 文 献]

[1] 蒙有清.混凝土强度的非破损检测技术[J]¹⁹.湖南交通科技,1989,(4):52¹⁹.
[2] 国家建筑工程质量监督检验中心¹⁹.混凝土无损检测技术[M]¹⁹.北京:中国建材工业出版社,1996¹⁹.
[3] 李为杜¹⁹.混凝土损检测技术[M]¹⁹.上海:同济大学出版社,1992¹⁹.
[4] JGJ/23-85,回弹法评定混凝土抗压强度技术规程¹⁹.
[5] JGJ/T 23-93,回弹法检测混凝土抗压强度技术规程¹⁹.

Resilience Method Measure Concrete Intensity Regression Equations Precision Coparison

LI Li-Ling¹, LIANG Si-nian², ZHAO Bi-hua³

(¹.Adult Education Colloge;².Capital Construction office;³.School of Civil Engineering and Architecture;East China Jiaotong University,Nanchang 330013,China)

Abstract: Through Several groups of datas of concrete resilience measureintensity, This article has carried out regression analyses and precision comparison of Various regression equations, and suggested that in order to raise the precision.

key words: concrete; resilience method; regression analyses; precision.