

# 回弹法检测混凝土抗压强度不确定度分析

## Uncertainty Analysis of Concrete Compressive Strength Tested by Rebound Method

程琤<sup>1</sup> 李星震<sup>2</sup>

Zheng Cheng<sup>1</sup> Xingzhen Li<sup>2</sup>

1.徐州工业职业技术学院 建筑工程学院  
中国·江苏 徐州 221140;  
2.徐州建设工程质量检测中心  
中国·江苏 徐州 221000  
1. College of Architectural Engineering,  
Xuzhou Polytechnic,  
Xuzhou, Jiangsu, 221140, China;  
2. Xuzhou Construction Quality Inspection Center,  
Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

**【摘要】**论文分析了回弹法检测混凝土抗压强度的测量不确定度的主要来源,介绍了回弹法检测混凝土抗压强度检测指数的测量不确定度的评定方法和步骤,并给出了评定的结果。

**【Abstract】**This paper analyzes the main sources of uncertainty in measuring concrete compressive strength by rebound method, introduces the evaluation methods and steps of uncertainty in measuring concrete compressive strength index by rebound method, and gives the evaluation results.

**【关键词】**回弹法;测量重复性;不确定度

**【Keywords】**rebound method; measurement repeatability; uncertainty

**【DOI】**10.36012/etr.v1i1.32

### 1 引言

回弹法是通过回弹仪检测混凝土表面硬度从而推算出混凝土抗压强度的方法。混凝土回弹仪有多种优点,在实际工程检测中得到了广泛应用<sup>[1]</sup>。但是由于回弹法在使用过程中存在一些问题,造成了较大的误差。因此,评定回弹法测量混凝土抗压强度的不确定度在实际测量中有重要意义。

### 2 评定方案

对同一个混凝土构件进行回弹,检测人员按规范要求要求进行试验,综合考虑影响混凝土强度的各种因素,根据验证模型公式计算其不确定度。

### 3 混凝土抗压强度不确定度评定

#### 3.1 建立数学模型

由回弹值  $R_m$  及碳化深度值  $d_m$  计算得到构件的现龄期混凝土强度推定值,由 JGJ/T 23—2011《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》提供的测强曲线回归方程:

$$f_i = 0.034488R_i^{1.94}10^{(-0.0173d_m)}$$

式中,  $f_i$  为构件第  $i$  个测区混凝土抗压强度换算值;  $R_i$  为第  $i$  个测区回弹平均值;  $d_m$  为构件测区碳化深度平均值。

#### 3.2 不确定度来源分析

论文不确定的计算只考虑构件测区数不少于 10 个的情况。从测强曲线回归方程可以看出,混凝土构件抗压强度的推定值不确定度来源于测区回弹值引入的不确定度、测区混凝土碳化深度值引入的不确定度以及测强曲线引入的不确定度<sup>[3]</sup>。

其中,测区回弹值不确定度来源:

①测量构件重复性导致的随机波动引入的不确定度;②读数误差引入的不确定度;③回弹仪校准引入的不确定度。

测区混凝土碳化深度值的不确定来源:

①测量构件重复性导致的随机波动引入的不确定度;②读数误差引入的不确定度;③碳化深度仪校准引入的不确定度。

#### 3.3 扩展不确定度

取包含因子  $k$ , 可求得扩展不确定度:  $U = kU$  ( $k=2$ )。

### 4 结果分析

#### 4.1 混凝土抗压强度计算

按照规范要求对同一个构件进行回弹法检测,4 个方向率定值均为 80, 不同人员进行检测,每测区回弹 16 个点,检测 10 个测区。回弹测区测量数值在 40~49 范围内,碳化深度测量数值在 0.75~1.00 范围内,根据数据得到强度换算结果见表 1。

表 1 强度换算结果

测区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平均回弹值	44.3	46.2	43.2	43.8	42.9	43.3	43.4	43.1	43.5	43.6
平均碳化值/mm	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
强度换算值/MPa	47.0	51.1	44.6	45.9	44.0	44.8	45.1	44.4	45.2	45.4

#### 4.2 测区回弹值不确定度分析

回弹仪 4 个方向率定平均值均为 80, 因此不考虑率其引入的不确定度。

#### 4.2.1 测量重复性导致的随机波动引入的不确定度

采用不确定度 A 类评定方法,标准差  $S_R=2.03$ ,

$$\text{标准不确定度: } U_{R1} = \frac{S_R}{\sqrt{n}} = \frac{2.03}{\sqrt{160}} = 0.160$$

#### 4.2.2 读数误差引入的不确定度

回弹仪最小分度值为 2, 检测人员读数时造成的误差在 0.5 个分度值内, 假定为均匀分布, 由不确定度的 B 类评定方法, 则读数误差引入的标准不确定度:

$$U_{R2} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289$$

#### 4.2.3 回弹仪校准引入的不确定度

由校准报告书可知,  $U=0.44(k=2)$ , 回弹仪的校准不确定度:

$$U_{R3} = \frac{0.44}{2} = 0.22$$

#### 4.2.4 测区回弹值合成不确定度

$$U_R = \sqrt{U_{R1}^2 + U_{R2}^2 + U_{R3}^2} = 0.397$$

#### 4.2.5 测区回弹值引入的不确定度分量

公式  $f_i = 0.034488R_i^{1.94}10^{(-0.0173klni)}$ , 对  $R_i$  求偏导得:

$$\begin{aligned} |c(R_i)| &= \partial f_i / \partial R_i = 0.034488 \times 1.94 R_i^{1.94-1} 10^{(-0.0173klni)} \\ &= 0.066907 R_i^{0.94} 10^{(-0.0173klni)} \end{aligned}$$

$U_{R'} = |c(R_i)| U_R$ , 经计算得到 10 个测区强度换算值的合成不确定依次为 0.90, 0.94, 0.88, 0.89, 0.87, 0.88, 0.88, 0.88, 0.88, 0.89。则:

$$U_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_{R'} = 0.89$$

### 4.3 测区碳化值不确定度分析

#### 4.3.1 测量重复性导致的随机波动引入的不确定度

采用不确定度 A 类评定方法, 标准差  $S_d=0.124$ ,

$$\text{标准不确定度: } S_{d1} = \frac{S_d}{\sqrt{n}} = \frac{0.124}{\sqrt{30}} = 0.023$$

#### 4.3.2 读数误差引入的不确定度

回弹仪最小分度值为 2, 检测人员读数时造成的误差在 0.25 个分度值内, 假定为均匀分布,  $k=\sqrt{3}$ ,

则由不确定度的 B 类评定方法, 则读数误差引入的标准不确定度:

$$S_{d2} = \frac{0.25}{\sqrt{3}} = 0.144$$

#### 4.3.3 碳化深度仪校准引入的不确定度

由校准报告书可知,  $U=0.12(k=2)$ , 回弹仪的校准不确定度:

$$S_{d3} = \frac{0.12}{2} = 0.06$$

#### 4.3.4 测区碳化合成不确定度

$$U_d = \sqrt{U_{d1}^2 + U_{d2}^2 + U_{d3}^2} = 0.158$$

#### 4.3.5 测区回弹值引入的不确定度分量

公式  $f_i = 0.034488R_i^{1.94}10^{(-0.0173klni)}$ , 对  $d_{mi}$  求偏导得:

$$\begin{aligned} |c(R_i)| &= \partial f_i / \partial d_{mi} = 0.034488 R_i^{1.94} \times 10^{(-0.0173klni)} \times 0.0173 \ln 10 \\ &= 0.001374 R_i^{1.94} 10^{(-0.0173klni)} \end{aligned}$$

$U_2 = |c(d_{mi})| U_d$ , 经计算得到 10 个测区强度换算值的合成不确定依次为 0.33, 0.35, 0.31, 0.32, 0.31, 0.31, 0.31, 0.31, 0.31, 0.32。则:

$$U_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_2 = 0.32$$

### 4.4 混凝土抗压强度测强曲线引入的不确定度

JGJ/T23—2011《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》提供的测强曲线的相对标准差为 17.24%, 假定此相对标准差对所有地区的混凝土均匀分布,  $k=3^{1/2}$ , 则混凝土抗压强度测强曲线引入的不确定度为:

$$U_2 = 17.24\% / 3^{1/2} m f_{cu}^c = 4.56 \text{MPa}$$

式中,  $m f_{cu}^c$  为构件测区混凝土抗压强度换算值的平均值。

### 4.5 测区混凝土抗压强度换算值的合成不确定度

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2} = 4.66 \text{MPa}$$

### 4.6 混凝土抗压强度推定值的合成不确定度

构件混凝土抗压强度推定值有以下公式得出:

$$f_{cu,e} = m f_{cu}^c - 1.645 S f_{cu}^c$$

式中,  $f_{cu,e}$  为构件混凝土抗压强度推定值;  $m f_{cu}^c$  为构件测区混凝土抗压强度换算值的平均值;  $S f_{cu}^c$  为构件测区混凝土抗压强度换算值的标准差。

假设  $S f_{cu}^c$  变化可以忽略不计, 只要考虑  $m f_{cu}^c$  的不确定度即可, 因此构件混凝土抗压强度推定值为:

$$U f_{cu,e} = \frac{U}{\sqrt{n}} = \frac{4.66}{\sqrt{10}} = 1.47 \text{MPa}$$

### 4.7 混凝土抗压强度推定值的扩展不确定度

扩展不确定度  $Uk$ , 取置信水平  $P=95\%$ , 则  $k=2$

$$Uk = k U f_{cu,e} = 2.95$$

## 5 结语

根据以上结果, 表明依据 JGJ/T 23—2011《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》进行回弹法检测混凝土强度时, 进行检测不确定度分析后, 检测结果准确、可靠。

### 参考文献

- [1] GB/T 50344—2004 建筑结构检测技术标准[S].
- [2] JGJ/T 23—2011 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S].
- [3] JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示[S].