

文章编号:1007-9629(2026)01-0097-07

混凝土抗压强度测量不确定度的分析方法

肖 约¹, 胡 畔², 谢佳伟³, 杨 易⁴, 陈 旭^{5,*}

(1. 华杰工程咨询有限公司中南分公司, 湖北 武汉 430033; 2. 德国达姆施塔特工业大学 法律与经济学院, 黑森州 达姆施塔特 64289; 3. 湖南大学 材料科学与工程学院, 湖南 长沙 410082; 4. 武汉华夏理工学院 土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430223; 5. 华中科技大学 土木与水利工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 基于 687 组混凝土抗压强度数据, 采用测量不确定度评定方法, 评估了其标准不确定度和扩展不确定度。结合扩展不确定度区间转换结果, 系统分析了强度分布特征、单值合格性判定及综合评定方法。结果表明: 抗压强度区间可有效量化不确定因素影响, 其平均强度区间与正态分布概率区间存在显著相关性; 单值合格性判定方法能为临界值判定提供不确定性量化依据; 综合评定方法可兼顾送检试件与实际检测条件的差异, 为提升工程质量评定的严谨性和适用性提供重要依据。

关键词: 混凝土; 抗压强度; 测量不确定度; 置信概率; 包含区间

中图分类号: TU528.1

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1007-9629.2026.01.010

Analysis Method for Measurement Uncertainty of Concrete Compressive Strength

XIAO Yue¹, HU Pan², XIE Jiarwei³, YANG Yi⁴, CHEN Xu^{5,*}

(1. Huajie Engineering Consulting Co., Ltd., Central South Branch, Wuhan 430033, China; 2. Faculty of Law and Economics, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt 64289, Germany; 3. College of Materials Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; 4. School of Civil Engineering, Wuhan Huaxia Institute of Technology, Wuhan 430223, China; 5. School of Civil and Hydraulic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on 687 sets of concrete compressive strength data, the standard uncertainty and expanded uncertainty were evaluated using the measurement uncertainty assessment method. By integrating the conversion results of the expanded uncertainty interval, the characteristics of strength distribution, the determination of single value eligibility, and the comprehensive assessment method were systematically analyzed. The results indicate that the compressive strength interval can effectively quantify the impact of uncertain factors, and there is a significant correlation between the average strength interval and the probability interval of the normal distribution. The method for determining single value eligibility can provide a quantitative basis for the uncertainty in critical value determination. The comprehensive assessment method can account for the differences between the specimens submitted for inspection and the actual testing conditions, providing an important basis for enhancing the rigor and applicability of engineering quality assessment.

Key words: concrete; compressive strength; measurement uncertainty; confidence probability; coverage interval

收稿日期: 2024-12-30; 修订日期: 2025-07-02

第一作者: 肖 约(1993—), 男, 湖北武汉人, 华杰工程咨询有限公司中南分公司工程师, 硕士。E-mail: 1337666923@qq.com

通讯作者: 陈 旭(1989—), 男, 湖北武汉人, 华中科技大学副教授, 硕士生导师, 博士。E-mail: xuchen@hust.edu.cn

混凝土的抗压强度受多种因素的综合影响。内因包括原材料、级配及水灰比等,而外因则涵盖龄期、养护条件和试验环境等^[1-2]。因此,对影响混凝土抗压强度的多因素进行综合分析,对工程实践具有重要的指导意义^[3]。

长周期试验所形成的经验公式虽可为强度估算提供理论依据^[4],但其适用性有限,难以应对复杂工况。基于大量基础数据的神经网络学习方法能构建精确的强度拟合模型,并具备更快速、更准确的算法优势。因此,计算机算法和大数据驱动的预测模型被认为是有效的强度分析工具^[5-6]。然而,这些算法和模型对基础数据的质量要求极高,且难以量化各因素的影响程度,导致其结果的广泛适用性仍存在不足^[7]。

测量不确定度理论广泛应用于仪器仪表工业、电力工业、建筑工程等多个领域,取得了显著成果^[8-10]。在道路工程材料试验中,该理论能够定量评估关键影响因素的大小,优化试验数据的利用效率,从而为结构性能的精准评估提供科学依据^[11]。基于上述背景,本文以某工地试验室的混凝土抗压强度试验数据为研究对象,结合测量不确定度理论进行分析,以期为混凝土抗压强度的准确评估提供新思路。

1 材料与试验方法

水泥选用普通硅酸盐水泥;粗集料选用石灰岩,采用16~31.5 mm、10~20 mm和5~10 mm这3种骨料级配掺配;细集料选用机制砂。混凝土试件在工地拌和站现场制作,标准尺寸为150 mm×150 mm×150 mm。混凝土试件每组3个,养护至28 d时利用压力试验机分别对62组C20、194组C30、258组C35、30组C40和143组C50混凝土试件进行抗压强度试验。根据数理统计方法计算该批次混凝土极限荷载的平均值 \bar{F} 及标准差 s_F 、抗压强度的平均值 \bar{f}_{cu} 及标准差 $s_{f_{cu}}$,并统计各强度等级混凝土抗压强度的最小值 $f_{cu, \min}$,结果见表1。

表1 混凝土试件的强度
Table 1 Strength of concrete specimens

Strength grade	\bar{F}/kN	s_F/kN	\bar{f}_{cu}/MPa	$s_{f_{cu}}/\text{MPa}$	$f_{cu, \min}/\text{MPa}$
C20	607.8	41.50	27.0	1.84	22.0
C30	861.6	73.06	38.3	3.25	30.9
C35	969.8	75.61	43.1	3.36	35.4
C40	1 092.0	119.72	48.5	5.32	40.3
C50	1 324.0	96.98	58.8	4.31	50.6

2 分析方法

2.1 分析模型

混凝土抗压强度的计算模型见式(1)。

$$f_{cu} = \frac{F}{A} = \frac{F}{a_1 \cdot a_2} \quad (1)$$

式中: f_{cu} 为试件的抗压强度,MPa; F 为试件的极限荷载,kN; A 为受压面积, mm^2 ; a_1 、 a_2 为受压面长和宽,mm。

由式(1)分析可知,抗压强度的测量不确定度由极限荷载、受压面积及重复试验构成,则混凝土抗压强度的测量不确定度分析模型可表示为式(2)。

$$u(f_{cu}) = f(u(F) + u(A) + u(F_{\text{dis}})) \quad (2)$$

式中: $u(f_{cu})$ 为抗压强度的测量不确定度,MPa; $u(F)$ 为极限荷载的测量不确定度,MPa; $u(A)$ 为受压面积的测量不确定度, mm^2 ; F_{dis} 为重复试验试件强度的离散度,MPa; $u(F_{\text{dis}})$ 为重复试验引入的测量不确定度,MPa。

2.2 不确定度评定

2.2.1 极限荷载的不确定度

根据压力试验机的校准证书,压力试验机的示值相对允许误差为 $\pm 1.0\%$,以均匀分布估计,包含因子 $k = \sqrt{3}$,则其相对不确定度 $u_r(F)_1 = 1.0\% / \sqrt{3} = 0.577\%$ 。压力试验机采用0.3级标准测力仪进行鉴定,该校准源的不确定度为0.3%,包含因子 $k = 2$,则由标准测力仪引入的相对不确定度 $u_r(F)_2 = 0.3\% / 2 = 0.15\%$ 。试验机荷载读数的分度值为1.0 kN,以均匀分布估计,则最小分辨率引入的不确定度为 $u(F)_3 = 0.5 \text{ kN} / \sqrt{3} = 0.289 \text{ kN}$ 。本文考虑不同强度等级混凝土中的最不利情况,取表1中C20混凝土试件的极限荷载平均值607.8 kN作为期望值,则由最小分辨率引入的相对不确定度 $u_r(F)_3 = 0.289 / 607.8 = 0.0476\%$ 。

以上各影响量之间相互独立,故混凝土试件极限荷载引入的合成相对不确定度 $u_c(F)$ 为:

$$u_c(F) = \sqrt{u_r(F)_1^2 + u_r(F)_2^2 + u_r(F)_3^2} = 0.598\% \quad (3)$$

2.2.2 受压面积的不确定度

采用钢制直尺测量试件边长 a ,其最大允许误差为 $\pm 0.1 \text{ mm}$,以均匀分布估计,则直尺测量误差引入的不确定度 $u(a)_1 = 0.1 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0.0577 \text{ mm}$ 。钢直尺的最小分辨率为1 mm,以均匀分布估计,则直尺最小分辨率引入的不确定度 $u(a)_2 = 0.5 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0.289 \text{ mm}$ 。以上两个影响量相互独立,故混凝土试件边长的合成

不确定度 $u_c(a) = \sqrt{0.0577^2 + 0.289^2} = 0.295 \text{ mm}$ 。
以150 mm为试件边长的期望值,试件边长引入的相对合成不确定度 $u_c(a) = 0.295/150 = 0.197\%$ 。则受压面积A引入的合成相对不确定度为:

$$u_c(A) = \sqrt{u_c(a_1)^2 + u_c(a_2)^2} = 0.279\% \quad (4)$$

2.2.3 抗压强度的不确定度

混凝土试件强度试验结果的离散性,主要由混凝土材料的内在非均质性及骨料分布与排列的随机性引起,这些因素导致了不同试件间裂缝扩展量存在差异^[12]。抗压强度由试件的极限荷载值计算确定,因此,试件离散性引入的不确定度取决于极限荷载值。采用A类评定方法,结合表1,计算C20、C30、C35、C40和C50混凝土极限荷载平均值的标准差分别为23.96、42.18、43.65、69.12、55.99 kN。以混凝土抗压强度的平均值期望值,计算由试件离散性引入的抗压强度相对不确定度分别为: $u_r(F_{\text{dis}})_{\text{C20}} = 3.94\%$ 、 $u_r(F_{\text{dis}})_{\text{C30}} = 4.90\%$ 、 $u_r(F_{\text{dis}})_{\text{C35}} = 4.50\%$ 、 $u_r(F_{\text{dis}})_{\text{C40}} = 6.33\%$ 、 $u_r(F_{\text{dis}})_{\text{C50}} = 4.23\%$ 。

2.3 扩展不确定度

根据测量不确定度的传播定律,混凝土抗压强度的合成相对不确定度按式(5)计算。以强度等级为目标值,根据式(6)计算混凝土抗压强度的标准不确定度。 U_P 为不同置信概率P下混凝土抗压强度的扩展不确定度,当包含因子 $k=2$ 时,以 $U_{P=95\%}$ 表示;当包含因子 $k=3$ 时,以 $U_{P=99\%}$ 表示。根据式(7),计算 $U_{P=95\%}$ 和 $U_{P=99\%}$,结果见表2。

表3 不同强度等级混凝土的平均强度区间

Table 3 Average strength intervals of concretes at various strength grades

Strength interval	C20	C30	C35	C40	C50
$[\bar{f}_{\text{cu}} - U_{P=95\%}, \bar{f}_{\text{cu}} + U_{P=95\%}] / \text{MPa}$	[25.4, 28.6]	[35.3, 41.3]	[39.9, 46.3]	[43.3, 53.6]	[54.6, 63.1]
$[\bar{f}_{\text{cu}} - U_{P=99\%}, \bar{f}_{\text{cu}} + U_{P=99\%}] / \text{MPa}$	[24.6, 29.4]	[33.8, 42.7]	[38.3, 47.9]	[40.9, 56.2]	[52.4, 65.3]

以不同强度等级混凝土的平均强度区间、低于区间下限和高于区间上限的强度值为统计单元,结合表2,当取 $P=95\%$ 和 $P=99\%$ 时,分别统计各强度等级混凝土的抗压强度分布比例,结果见图1。

由图1可知,当 $P=95\%$ 和 $P=99\%$ 时,混凝土平均强度区间上限、下限外的抗压强度分布比例基本对称于区间内的抗压强度分布比例,这表明在一定的试验次数下,混凝土抗压强度的试验结果符合正态分布规律。

根据区间分析理论,区间宽度定义为区间上限与下限之差。在相同的试验条件下,同一置信概率

$$u_c(f_{\text{cu}}) = \sqrt{u_c(F)^2 + u_c(A)^2 + u_r(F_{\text{dis}})^2} \quad (5)$$

$$u_s(f_{\text{cu}}) = f_{\text{cu},k} \times u_c(f_{\text{cu}}) \quad (6)$$

$$U_P = k u_s(f_{\text{cu}}) \quad (7)$$

式中: $u_c(f_{\text{cu}})$ 为抗压强度的合成相对不确定度, $\%$; $u_s(f_{\text{cu}})$ 为抗压强度的标准不确定度,MPa; $f_{\text{cu},k}$ 为混凝土的设计抗压强度值,MPa。

结合表1和表2,以抗压强度的平均值期望值,将混凝土抗压强度的试验结果转化为强度区间形式 $[\bar{f}_{\text{cu}} - U_P, \bar{f}_{\text{cu}} + U_P]$ 。相比于传统的数值点,强度区间量化了混凝土抗压强度的试验结果范围,具有更高的精确性和科学性。

2 混凝土抗压强度的扩展不确定度

Table 2 Expanded uncertainty of compressive strength of concrete

Strength grade	$u_c(f_{\text{cu}}) / \%$	$u_s(f_{\text{cu}}) / \text{MPa}$	$U_{P=95\%} / \text{MPa}$	$U_{P=99\%} / \text{MPa}$
C20	4.00	0.80	1.6	2.4
C30	4.94	1.48	3.0	4.4
C35	4.55	1.59	3.2	4.8
C40	6.36	2.55	5.1	7.6
C50	4.28	2.14	4.3	6.4

3 结果与讨论

3.1 抗压强度分布特征

以各强度等级混凝土抗压强度的平均值作为分析对象,参考表1,计算不同强度等级混凝土的平均强度区间 $[\bar{f}_{\text{cu}} - U_P, \bar{f}_{\text{cu}} + U_P]$,结果见表3。

下的区间宽度越小,说明试验结果的离散性越小。因此,在一定置信概率下,区间内混凝土抗压强度数值的分布比例越大,表明该批次混凝土的强度离散性越小,现场混凝土浇筑的均匀性也越好。从图1可知,当取置信概率为95%时,各强度等级混凝土抗压强度区间内的分布比例均超过60%;当取置信概率为99%时,各强度等级混凝土抗压强度区间内的分布比例均超过80%。总体而言,该批次浇筑的混凝土具有较好的均匀性。

根据表1,结合正态分布理论,分别计算了分布概率为68.27%、95.00%和99.00%的混凝土抗压强

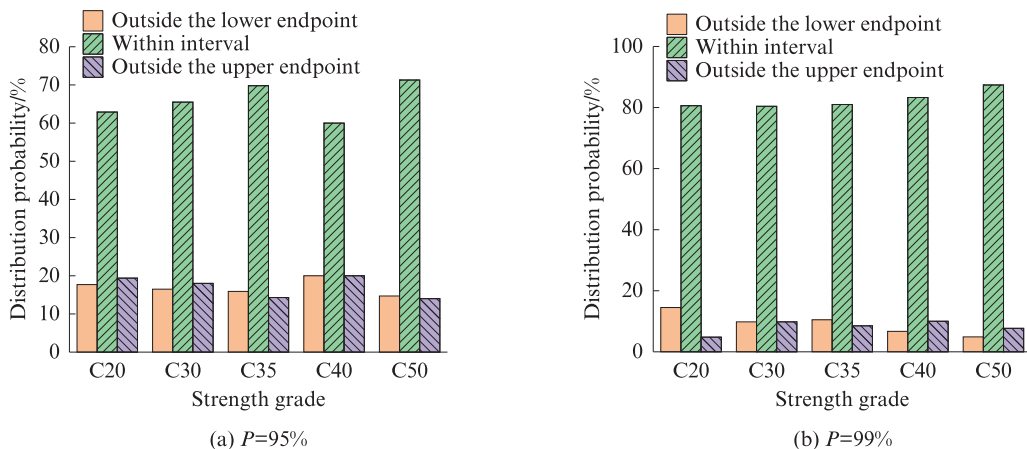


图1 抗压强度分布

Fig. 1 Compressive strength distribution

度区间,结果见表4。表4中 μ 表示随机变量的均值(期望值), σ 表示标准差。

为了建立基于测量不确定度的平均抗压强度区间与正态分布中不同分布概率区间之间的关系,本研究取 $P=95\%$ 时各强度等级混凝土的平均抗压强度区间为分析对象,分别与不同分布概率下的抗压强度区间进行拟合。根据表3和表4,利用各强度等级混凝土抗压强度区间的上限、下限进行了线性回归分析,结果分别见图2(a)和图2(b)。

由图2可知,当分布概率为95.00%时,各转换式的拟合优度 R^2 均达到了0.98以上。这表明基于测量不确定度的平均抗压强度区间与正态分布中不同分

布概率下的区间具有显著相关性,这一结果揭示了基于测量不确定度的平均抗压强度区间向正态分布中不同分布概率区间转换的可行性及准确性。

3.2 单值合格性判定

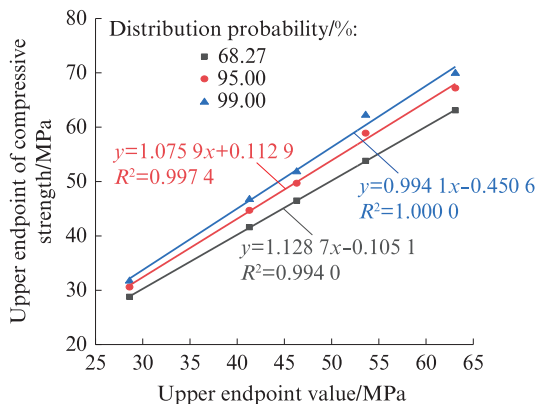
传统混凝土抗压强度的判定以抗压强度标准值为准,满足即合格,反之不合格。由于测量不确定度的普遍存在,实测的抗压强度并非定值,其数值受测量不确定度的影响。特别地,在判定水泥混凝土抗压强度临界值时,应考虑测量不确定度的影响范围。

以混凝土的设计强度为分析对象,根据单侧合格区、不合格区、规范区和不确定区的定义,绘制抗压强度的判定分析图,如图3所示。

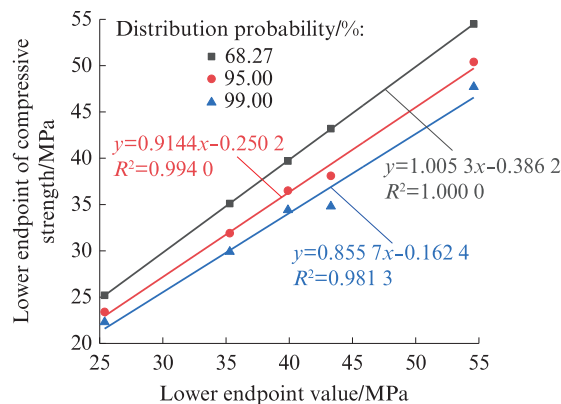
表4 不同分布概率下的混凝土抗压强度区间

Table 4 Compressive strength intervals of concretes under different distribution probabilities

Distribution probability/%	Strength interval/MPa	C20	C30	C35	C40	C50
68.27	$[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$	[25.2, 28.8]	[35.1, 41.6]	[39.7, 46.5]	[43.2, 53.8]	[54.5, 63.1]
95.00	$[\mu - 1.96\sigma, \mu + 1.96\sigma]$	[23.4, 30.6]	[31.9, 44.7]	[36.5, 49.7]	[38.1, 58.9]	[50.4, 67.2]
99.00	$[\mu - 2.58\sigma, \mu + 2.58\sigma]$	[22.3, 31.7]	[29.9, 46.7]	[34.4, 51.8]	[34.8, 62.2]	[47.7, 69.9]



(a) Linear regression of upper endpoint values



(b) Linear regression of the lower endpoint values

图2 线性回归分析

Fig. 2 Linear regression analysis ($P=95\%$)

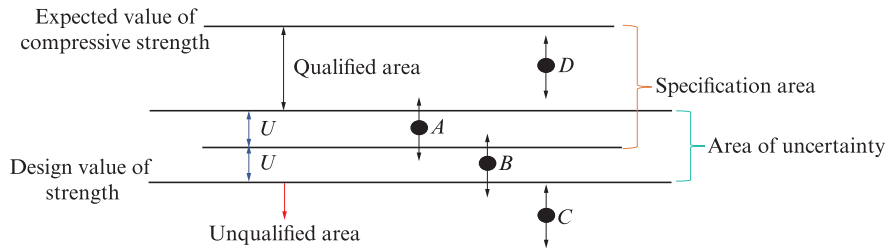


图3 抗压强度的判定分析图

Fig. 3 Evaluation chart for compressive strength

由图3可知,在考虑测量不确定度的条件下,D为合格值,C为不合格值,A和B位于不确定区,其合格性的判定需要进一步验证。以水泥混凝土的强度

等级为分析对象,参考表2,按照 $[f_{cu,k} - U_P, f_{cu,k} + U_P]$,计算置信概率95%和99%下水泥混凝土的强度等级区间,结果见表5。

表5 水泥混凝土的强度等级区间
Table 5 Strength classification intervals of cement concrete

Strength interval	C20	C30	C35	C40	C50
$[f_{cu,k} - U_{P=95\%}, f_{cu,k} + U_{P=95\%}] / \text{MPa}$	[18.4, 21.6]	[27.0, 33.0]	[31.8, 38.2]	[34.9, 45.1]	[45.7, 54.3]
$[f_{cu,k} - U_{P=99\%}, f_{cu,k} + U_{P=99\%}] / \text{MPa}$	[17.4, 22.4]	[25.6, 34.4]	[30.2, 39.8]	[32.4, 47.6]	[43.6, 56.4]

在工业技术领域,通常采用95%的置信概率进行分析。因此,在考虑测量不确定度的条件下,水泥混凝土抗压强度的单次试验结果可依据式(8)~(10)进行判定。具体判定标准如下:抗压强度值满足式(8)为合格,满足式(10)为不合格,符合式(9)则判定为不确定值。

$$f_{cu} \geq f_{cu,k} + U_{P=95\%} \quad (8)$$

$$f_{cu,k} - U_{P=95\%} < f_{cu} < f_{cu,k} + U_{P=95\%} \quad (9)$$

$$f_{cu} \leq f_{cu,k} - U_{P=95\%} \quad (10)$$

结合表5和式(8)~(10),本依托项目的混凝土抗压强度单值合格性判定标准见表6。

表6 不同强度等级混凝土的判定标准
Table 6 Criteria for the classification of concrete with varied strength grades

C20	C30	C35	C40	C50	Decision outcome
≥ 21.6	≥ 33.0	≥ 38.2	≥ 45.1	≥ 54.3	Qualified
≤ 18.4	≤ 27.0	≤ 31.8	≤ 34.9	≤ 45.7	Unqualified
(18.4, 21.6)	(27.0, 33.0)	(31.8, 38.2)	(34.9, 45.1)	(45.7, 54.3)	Uncertainty

Unit: MPa

基于测量不确定度的水泥混凝土抗压强度判定方法,能够为抗压强度临界值的合格性判定提供量化标准,从而为判定抗压强度是否合格提供有效依据。对于抗压强度的不确定值,为确保工程结构强度检测结果的可靠性,建议对取样部位进行现场复检。

3.3 抗压强度综合评定

根据JTG F80/1—2017《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》中附录D,混凝土抗压强度的综合评定指标为强度的平均值和最小值,且两项指标需同时满足要求方可评定为合格。鉴于测量不确定度对实测抗压强度的影响,为了满足混凝土抗压强度平均值和最小值的评定要求,以不同置信概率下的抗压强度等级区间为比较对象,作出以下论证分析:(1)以 $P=95\%$ 和 $P=99\%$ 时的抗压强度等级区间上限作为抗压强度平均值 \bar{f}_{cu} 的评定标准;(2)以 $P=95\%$

和 $P=99\%$ 时的抗压强度等级区间下限作为抗压强度最小值 $f_{cu,min}$ 的评定标准。

参考传统的评定方法,当同批试件组数大于或等于10组时,基于测量不确定度的抗压强度评定方法,应同时满足 $\bar{f}_{cu} \geq f_{cu,k} + U_P$ 和 $f_{cu,min} \geq f_{cu,k} - U_P$ 。结合表1和表5中的数据,在置信概率95%和99%下,基于测量不确定度的抗压强度综合评定分析结果见表7、8。

由表7、8可知,基于测量不确定度评定方法的抗压强度平均值和最小值均满足要求,综合评定结果均为合格。为了验证上述评定过程和结果的合理性及可靠性,根据JTG F80/1—2017《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》附录D的评定方法,对同批次混凝土抗压强度进行评定验证。混凝土抗压强度数理统计方法的综合评定结果见表9。

表7 置信概率95%下基于测量不确定度的抗压强度综合评定

Strength	C20	C30	C35	C40	C50
\bar{f}_{cu}/MPa	27.0>21.6	38.3>33.0	43.1>38.2	48.5>45.1	58.8>54.3
$f_{cu,\min}/\text{MPa}$	22.0>18.4	30.9>27.0	35.4>31.8	40.3>34.9	50.6>45.7
Comprehensive evaluation	Qualified	Qualified	Qualified	Qualified	Qualified

表8 置信概率99%下基于测量不确定度的抗压强度综合评定

Strength	C20	C30	C35	C40	C50
\bar{f}_{cu}/MPa	27.0>22.4	38.3>34.4	43.1>39.8	48.5>47.6	58.8>56.4
$f_{cu,\min}/\text{MPa}$	22.0>17.4	30.9>25.6	35.4>30.2	40.3>32.4	50.6>43.6
Comprehensive evaluation	Qualified	Qualified	Qualified	Qualified	Qualified

表9 基于数理统计方法的抗压强度综合评定

Strength	C20	C30	C35	C40	C50
\bar{f}_{cu}/MPa	27.0>22.4	38.3>33.1	43.1>38.2	48.5>45.1	58.8>54.1
$f_{cu,\min}/\text{MPa}$	22.0>17.0	30.9>25.5	35.4>29.8	40.3>34.0	50.6>42.5
Comprehensive evaluation	Qualified	Qualified	Qualified	Qualified	Qualified

由表9可知,采用传统数理统计方法评定的抗压强度平均值和最小值均满足要求,综合评定结果均为合格。该结果与基于测量不确定度的抗压强度评

定结论一致。根据表7~9,绘制了两种评定方法下平均抗压强度和最小抗压强度评定值的比较分析图,如图4所示。

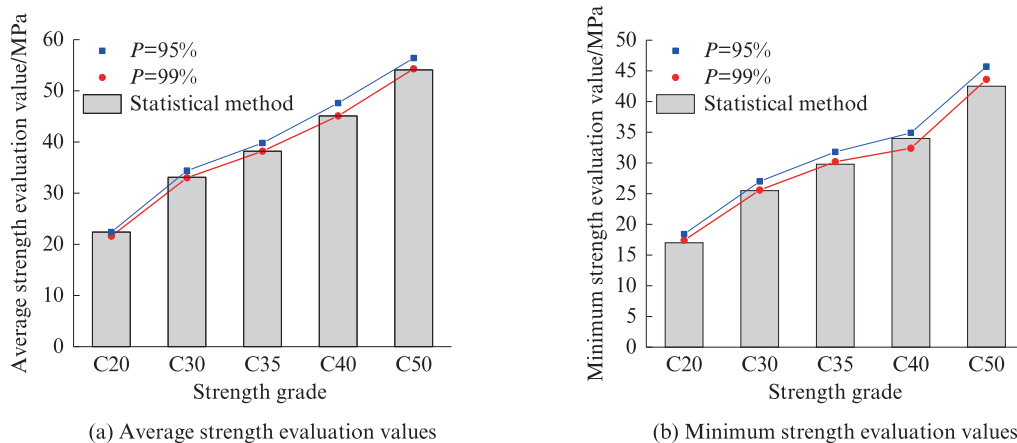


图4 强度评定值的比较

Fig. 4 Comparison of strength assessment values

由图4可知,两种评定方法计算的抗压强度平均值和最小值均具有很强的一致性及相关性,揭示了基于测量不确定度的抗压强度评定过程的可靠性。由图4(a)可知,在确定平均抗压强度评定值时,采用 $P=95\%$ 时的抗压强度等级区间上限与数理统计结果更接近,而采用 $P=99\%$ 时的抗压强度等级区间上限则有更高的评定标准。由图4(b)可知,在确定最小抗压强度评定值时,采用 $P=99\%$ 时的抗压强度等级区间下限与数理统计计算结果更接近,而采

用 $P=95\%$ 时的抗压强度等级区间下限则有更高的评定标准。因此,基于测量不确定度的混凝土抗压强度综合评定条件可表示为:

$$\bar{f}_{cu} \geq f_{cu,k} + U_{P=95\%} \quad (11)$$

$$f_{cu,\min} \geq f_{cu,k} - U_{P=99\%} \quad (12)$$

传统混凝土抗压强度综合评定方法中,采用经验法确定的合格判定系数,在特定项目中或许并非最佳参考。而基于测量不确定度的抗压强度评定方法,能充分考量试验检测水平,更精准评估送检批次

混凝土抗压强度的测量不确定度,统一了送检试件与实际检测条件,其科学性与实用性更强。

4 结论

(1)抗压强度区间能够有效量化不确定性因素的影响,基于测量不确定度的平均抗压强度区间与正态分布中不同分布概率的强度区间呈现显著相关性。

(2)基于测量不确定度的抗压强度单值合格性判定方法,为临界值合格性判定提供了量化标准。

(3)基于测量不确定度的抗压强度综合评定方法,综合考量了送检试件与实际检测条件差异,评定结果更能反映项目实际情况。

参考文献:

- [1] 吴晨洁,柯龙,王德志,等.全废水超硫酸盐水泥混凝土的力学与抗冻性能[J].建筑材料学报,2024,27(10):931-937.
WU Chenjie, KE Long, WANG Dezhi, et al. Mechanical properties and frost resistance of fully wastewater supersulfate cement concrete[J]. Journal of Building Materials, 2024, 27(10): 931-937.(in Chinese)
- [2] 李力剑,刘素梅,徐凡丁,等.含粗骨料超高性能混凝土的单轴受拉力学性能[J].建筑材料学报,2024,27(2):167-173.
LI Lijian, LIU Sumei, XU Fanding, et al. Uniaxial tensile behavior of ultra-high performance concrete containing coarse aggregate [J]. Journal of Building Materials, 2024, 27(2) : 167-173.(in Chinese)
- [3] 巩位,乔宏霞,余红发,等.多因素对氯氧镁水泥混凝土抗压强度的影响[J].西南交通大学学报,2019,54(2):366-372.
GONG Wei, QIAO Hongxia, YU Hongfa, et al. Influence of multiple factors on the compressive strength of magnesium oxychloride cement concrete[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2019, 54(2):366-372.(in Chinese)
- [4] YEUNG J S K, YAM M C H, WONG Y L. 1-year development trend of concrete compressive strength using calcium sulfoaluminate cement blended with OPC, PFA and GGBS[J]. Construction and Building Materials, 2019, 198:527-536.
- [5] ISMAIL L, ABDEL RAZIK M, ATEYA E S, et al. Optimizing sustainable concrete mixes with recycled aggregate and Portland slag cement for reducing environmental impact [J]. Discover Materials, 2024, 4(1):68-68.
- [6] 汪声瑞,胡畔,陈思宝,等.基于耦合BAS-MLP的混凝土抗压强度预测[J].建筑材料学报,2023,26(7):705-715.
WANG Shengrui, HU Pan, CHEN Sibao, et al. Prediction of concrete compressive strength based on coupled BAS-MLP[J]. Journal of Building Materials, 2023, 26(7):705-715.(in Chinese)
- [7] YOUNG B A, HALL A, PILON L, et al. Can the compressive strength of concrete be estimated from knowledge of the mixture proportions?:New insights from statistical analysis and machine learning methods[J]. Cement and Concrete Research, 2019, 115: 379-388.
- [8] ACKO B, TOMPA J, KLOBUCAR R. Evaluation of measurement uncertainty contributions in ring gauge calibration [J]. International Journal of Simulation Modeling, 2024, 23(4): 575-586.
- [9] MARI S, BUCCI G, CIANCETTA F, et al. Impact of measurement uncertainty on fault diagnosis systems: A case study on electrical faults in induction motors[J]. Sensors, 2024, 24(16):5263.
- [10] 秦铁男,马化雄,陈韬,等.混凝土涂层超声波测厚的不确定度评定[J].建筑材料学报,2016,19(1):177-180.
QIN Tienan, MA Huaxiong, CHEN Tao, et al. Uncertainty evaluation of ultrasonic thickness measurement of coatings on concrete [J]. Journal of Building Materials, 2016, 19(1):177-180. (in Chinese)
- [11] TANG L M, XIAO Y, XIE J W. Fatigue cracking checking of cement stabilized macadam based on measurement uncertainty and interval analysis[J]. Construction and Building Materials, 2020, 250:118921.
- [12] 管俊峰,姚贤华,白卫峰,等.由小尺寸试件确定混凝土的断裂韧度与拉伸强度[J].工程力学,2019,36(1):70-79,87.
GUAN Junfeng, YAO Xianhua, BAI Weifeng, et al. Determination of fracture toughness and tensile strength of concrete using small specimens [J]. Engineering Mechanics, 2019, 36(1):70-79,87.(in Chinese)