

钢筋力学性能试验测量结果不确定度评定

段云斌¹ 陈升玉² 赵荣恒² 史进飞²

1 云南路建工程检测咨询有限公司

2 云南航天工程物探检测股份有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i5.9893

[摘要] 本文采用2021版国标《金属材料拉伸试验第1部分: 室温试验方法》及2018版国标《钢筋混凝土用钢第2部分: 热轧带肋钢筋》标准方法对同一批次、同一炉牌号的10组30个试样直径为 $\Phi 16\text{mm}$ 的热轧带肋钢筋力学性能指标进行了试验,依据2017版国标《测量不确定度评定和表示》对试验数据的不确定度进行了分析和评定。

[关键词] 钢筋; 力学性能; 测量不确定度; 评定

中图分类号: TU392.2 文献标识码: A

Evaluation of Uncertainty in Measurement Results of Reinforcement Mechanical Performance Test

Yunbin Duan¹ Shengyu Chen² Rongheng Zhao² Jinfei Shi²

1 Yunnan Road Construction Engineering Testing and Consulting Co.,Ltd

2 Yunnan Aerospace Engineering Geophysical Testing Co.,Ltd

[Abstract] This article uses the 2021 version of the national standard "Tensile Testing of Metal Materials Part 1: Room Temperature Test Method" and the 2018 version of the national standard "Steel for Reinforced Concrete Part 2: Hot Rolled Ribbed Steel Bars" to test the mechanical performance indicators of 10 groups of 30 samples with a diameter of $\Phi 16\text{mm}$ from the same batch and furnace grade of hot-rolled ribbed steel bars. The uncertainty of the test data is analyzed and evaluated based on the 2017 version of the national standard "Evaluation and Representation of Measurement Uncertainty".

[Key words] steel bars; Mechanical properties; Measurement uncertainty; Evaluation

引言

近年来, 国家对各试验室检测、校准结果的可靠性要求越来越高, 除了获得检测或校准结果之外, 还要求各试验室给出检测或校准结果的测量不确定度。

本文分析了钢筋力学性能试验数据测量结果不确定度的主要影响因素及合成标准不确定度的公式推导, 提高了钢筋力学性能试验检测数据的可信度并给出了测量不确定度评定报告, 可为同行在此类试验进行不确定度评定时提供参考。

1 测量不确定度定义及分类

测量不确定度是合理赋予被测量参数的值的分散性。

测量不确定度分为标准不确定度和扩展不确定度, 标准不确定度又分为合成标准不确定度、A类标准不确定度和B类标准不确定度。采用统计学原理分析类的方法对实验数据进行的标准不确定度评定, 称为A类不确定度评定, 用实验数据标准偏差来表示。用实验或其他信息来源来进行的标准不确定度评定, 称为B类不确定度评定。

2 测量过程及数学模型

2.1 测量过程

在规定环境试验条件下, 将符合要求的同一批次、同一炉牌号的10组30个试样直径为 $\Phi 16\text{mm}$ 的热轧带肋钢筋放置在设置好应力加荷速率的万能试验机上进行力学性能试验, 直到钢筋试样破坏, 记录此时的下屈服力及最大力。

2.2 数学模型^{[2][3]}

热轧带肋钢筋屈服强度、抗拉强度、断后伸长率计算公式如下:

$$R_{e1} = \frac{F_{e1}}{S_0} = \frac{4F_{e1}}{\pi d^2}$$

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} = \frac{4F_m}{\pi d^2}$$

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中: R_{e1} —屈服强度 (MPa); R_m —抗拉强度 (MPa); F_{e1} —下

屈服力(N); F_m -最大力(N); S_0 -钢筋公称横截面积(mm^2); d -钢筋公称直径(mm); L_u -钢筋断后标距(mm); L_0 -钢筋原始标距(mm); A -断后伸长率(%)。

3 影响测量不确定度的主要因素

影响测量不确定度主要因素: 试样不均匀性、测量设备、试验人员、环境条件及检测方法缺陷等因素。

本次钢筋试样力学性能试验均严格按照国标试验要求进行试验,因此环境温度湿度变化、拉伸速率对测量结果不确定度的影响可不考虑。

钢筋力学性能试验测量不确定度计算模型引入的不确定度分量为: 钢筋直径允许偏差、力值测量、原始标距测量、断后标距测量及数值修约。

4 测量数据

表1 钢筋下屈服力、最大力、断后标距试验数据

组数J	检测人员	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
下屈服力 F_{el} (kN)	第1人	89.33	89.8	88.89	85.39	84.48	85.11	83.18	82.69	83.91	83.01
	第2人	82.05	83.75	83.45	85.98	84.41	87.78	90.25	83.27	85.14	80.59
	第3人	80.52	80.32	89.33	80.59	87.67	87.44	90.83	85.25	85.54	85.12
标准差 S_j		4.707	4.800	3.275	2.956	1.862	1.453	4.259	1.342	0.849	2.267
下屈服力总平均值 \bar{F}_{el}		85.17									
最大力 F_m (kN)	第1人	128.5	128.1	128.1	117.9	120.7	122.1	121.2	120.6	121.9	117.6
	第2人	121.2	121.3	124.9	119.0	119.6	119.8	119.0	119.3	124.3	120.8
	第3人	124.0	123.4	120.2	119.2	125.7	125.4	120.0	119.0	123.1	122.4
标准差 S_j		3.683	3.482	3.974	0.700	3.179	2.815	1.102	0.850	1.200	2.444
最大力总平均值 \bar{F}_m		121.95									
断后标距 L_u (mm)	第1人	103.29	103.28	104.69	103.49	95.94	98.37	104.64	103.28	102.57	103.18
	第2人	103.51	102.54	102.84	104.22	96.22	97.55	104.29	105.08	102.64	103.27
	第3人	103.64	102.54	103.54	102.18	98.32	99.58	102.28	101.59	102.34	101.56
平均值		103.48	102.79	103.69	103.30	96.83	98.50	103.74	103.31	102.52	102.66
标准差 S_j		0.1769	0.4272	0.9341	1.0337	1.3008	1.0212	1.2736	1.7455	0.1570	0.9571
L_u 的数字期望 $L_{u,1}$		102.08									

5 标准不确定度分量的评定^[1]

5.1 钢筋直径允许偏差引入的不确定度分量

本文研究的 $\Phi 16\text{mm}$ 钢筋标准规定的允许偏差为 $\pm 0.4\text{mm}$,即误差范围在 $-0.4\text{mm} \sim +0.4\text{mm}$ 之间,在此区间范围内钢筋直径出现偏差的概率服从均匀分布,可用B类方法评定,即:

$$U_{(d)} = \frac{a}{k} = \frac{0.4}{\sqrt{3}} = 0.231 \text{ mm}$$

5.2 力值测量引入的不确定度分量

5.2.1 试验人员重复性及材质不均匀性引入的不确定度分量

试验人员对钢筋试样力值重复读数的结果,可用A类标准不确定度进行评定。依据表1钢筋下屈服力和最大力试验数据先用贝塞尔公式计算出各组样品的标准差 s_j ,再求出合并样品标准差 $S_{p,F_{el}}$ 、 S_{p,F_m} ,即:

$$S_{p,F_{el}} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} = 3.099 \text{ KN}$$

$$S_{p,F_m} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} = 2.633 \text{ KN}$$

合并样品标准差 $S_{p,F_{el}}$ 、 S_{p,F_m} 可用与否,须经过判定,因此,还需求出标准差数列 s_j 的标准差 $\widehat{\sigma}_{F_{el}}(s)$ 、 $\widehat{\sigma}_{F_m}(s)$ 及估计标准差 $\widehat{\sigma}_{\widehat{F_{el}}}(s)$ 、 $\widehat{\sigma}_{\widehat{F_m}}(s)$,即:

$$\widehat{\sigma}_{F_{el}}(s) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (s_j - \bar{s})^2}{m-1}} = 1.45 \text{ KN}$$

$$\widehat{\sigma}_{\widehat{F_{el}}}(s) = \frac{S_{p,F_{el}}}{\sqrt{2(n-1)}} = 1.55 \text{ KN}$$

$$\widehat{\sigma}_{F_m}(s) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (s_j - \bar{s})^2}{m-1}} = 1.2675 \text{ KN}$$

$$\widehat{\sigma}_{\widehat{F_m}}(s) = \frac{S_{p,F_m}}{\sqrt{2(n-1)}} = 1.317 \text{ KN}$$

如 $\widehat{\sigma}_{F_{el}}(s) < \widehat{\sigma}_{\widehat{F_{el}}}(s)$ 、 $\widehat{\sigma}_{F_m}(s) < \widehat{\sigma}_{\widehat{F_m}}(s)$,表明测量

过程及状态稳定可控,被测量未超过预估值,即各组钢筋试样下屈服力、最大力测量标准差相差较小,合并样品标准差 $S_{p,F_{el}}$ 、 S_{p,F_m} 用来求出标准不确定度分量 $u(F_{el},1)$ 、 $u(F_m,1)$,反之则用各组钢筋试样中的最大标准差 S_{\max} 来求取标准不确定度分量 $u(F_{el},1)$ 、 $u(F_m,1)$ 值。

在实际测量中,通常以单次测量值($k=1$)作为测量结果来进行评定,故下屈服力、最大力标准不确定度分量为:

$$u(F_{el},1) = \frac{S_{p,F_{el}}}{\sqrt{k}} = 3.099 \text{ KN} = 3099 \text{ N}$$

$$u(F_m,1) = \frac{S_{p,F_m}}{\sqrt{k}} = 2.633 \text{ KN} = 2633 \text{ N}$$

5.2.2 试验机示值误差引入的标准不确定度分量

I级万能试验机,其示值误差为 $\pm 1.0\%$,误差在此区间 $[-1.0\% \sim 1.0\%]$ 出现的概率是均匀的,用B类方法评定,即:

$$u_{\text{rel}}(F_{el},2) = u_{\text{rel}}(F_m,2) = \frac{a}{k} = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.577\%$$

由表1可知下屈服力 F_{el} 、最大力 F_m 总平均值 $\bar{F}_{el} = 85.17 \text{ KN}$ 、 $\bar{F}_m = 121.95 \text{ KN}$,故该因素引入的绝对标准不确定度为:

$$u(F_{el},2) = \bar{F}_{el} \times u_{\text{rel}}(F,2) = 85.17 \times 0.577\% = 491.4 \text{ N}$$

$$u(F_m,2) = \bar{F}_m \times u_{\text{rel}}(F,2) = 121.95 \times 0.577\% = 703.6515 \text{ N}$$

5.2.3 标准测力仪引入的标准不确定度分量

使用0.3级标准测力仪检定的万能试验机,其检定源的不确

定度为0.3%, 置信因子 $k=2$, 故引入的B类相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(F_{el,3}) = u_{\text{rel}}(F_{m,3}) = \frac{0.3\%}{2} = 0.15\%$$

因此, 此因素所引入的绝对标准不确定度为:

$$u(F_{el,3}) = \bar{F}_{el} \times u_{\text{rel}}(F_{el,3}) = 85.17 \times 0.15\% = 127.755 \text{ N}$$

$$u(F_{m,3}) = \bar{F}_m \times u_{\text{rel}}(F_{m,3}) = 121.95 \times 0.15\% = 182.925 \text{ N}$$

5.2.4 读数分辨力引入的标准不确定度分量

本次钢筋拉伸试验所使用的万能试验机的分辨力 $\delta_x = 0.01 \text{ KN}$, 所以分辨力引入的标准不确定度分量为:

$$u(F_{el,4}) = u(F_{m,4}) = 0.29 \times \delta_x = 0.29 \times 0.01 = 0.0029 \text{ KN} = 2.9 \text{ N}$$

由于人员重复性、材质不均匀性、示值误差、校准源、读数分辨力引入的不确定度分量间彼此独立不相关, 故可依据下式合成得到下屈服力 F_{el} 、最大力 F_m 测量引入的绝对标准不确定度总分量, 即:

$$u(F_{el}) = \sqrt{u_{(F_{el,1})}^2 + u_{(F_{el,2})}^2 + u_{(F_{el,3})}^2 + u_{(F_{el,4})}^2} =$$

$$\sqrt{3099^2 + 491.4^2 + 127.755^2 + 2.9^2} = 3140.32 \text{ N}$$

$$u(F_m) = \sqrt{u_{(F_{m,1})}^2 + u_{(F_{m,2})}^2 + u_{(F_{m,3})}^2 + u_{(F_{m,4})}^2} =$$

$$\sqrt{2633^2 + 703.6515^2 + 182.925^2 + 2.9^2} = 2731.54 \text{ N}$$

5.3 钢筋原始标距及断后标距测量引入的标准不确定度分量

5.3.1 原始标距测量引入的标准不确定度分量

钢筋原始标距 $L_0 = 5.65\sqrt{s_0} = 5.65\sqrt{\pi \times (d/2)^2} = 80 \text{ mm}$ 。打点机极限误差为 $\pm 0.5\%$, 在此区间范围内钢筋原始标距出现偏差的概率服从均匀分布, 可用B类方法评定, 原始标距测量引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(L_0) = \frac{a}{k} = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.289\%$$

该因素引入的绝对标准不确定度为:

$$u(L_0) = L_0 \times u_{\text{rel}}(L_0) = 80 \times 0.289\% = 0.231 \text{ mm}$$

5.3.2 断后标距测量引入的标准不确定度分量

依据表1钢筋试样断后标距测量数据先用贝塞尔公式计算出各组钢筋试样的标准差 s_j , 再求出高可靠度合并样品标准差 S_{p,L_u} , 即:

$$S_{p,L_u} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} = 1.0247 \text{ mm}$$

合并样品标准差 S_{p,L_u} 是否可用, 还需求出标准差数列 s_j 的

标准差 $\widehat{\sigma}_{L_u}(s)$, 及估计标准差 $\widehat{\sigma}_{\text{估},L_u}(s)$, 即:

$$\widehat{\sigma}_{L_u}(s) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (s_j - \bar{s})^2}{m-1}} = 0.5110 \text{ mm}$$

$$\widehat{\sigma}_{\text{估},L_u}(s) = \frac{S_{p,L_u}}{\sqrt{2(n-1)}} = 0.5124 \text{ mm}$$

如 $\widehat{\sigma}_{L_u}(s) < \widehat{\sigma}_{\text{估},L_u}(s)$, 表明测量过程及状态稳定可控, 被测量也未超过预估值, 即各组钢筋试样断后标距试验测量的标准

差相差较小, 高可信度的合并样品标准差 S_{p,L_u} 可用来求出标准不确定度分量 $u(L_{u,1})$, 反之则用各组钢筋试样标准差 s_j 中的最大标准差 S_{max} 来求出标准不确定度分量 $u(L_{u,1})$ 。

在实际测量中, 通常以单次测量值($k=1$)作为测量结果来进行评定, 故欲求的标准不确定度分量为:

$$u(L_{u,1}) = \frac{S_{p,L_u}}{\sqrt{k}} = 1.0247 \text{ mm}$$

5.3.3 断后标距量具引入的标准不确定度分量

钢筋断后标距用游标卡尺进行测量, 游标卡尺极限误差为 $\pm 0.02 \text{ mm}$, 该误差在 $-0.02 \text{ mm} \sim +0.02 \text{ mm}$ 区间范围内出现的概率是均匀的, 服从均匀分布, 故可用B类方法进行评定, 即:

$$u(L_{u,2}) = \frac{a}{k} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.01155 \text{ mm}$$

由于钢筋断后标距及量具误差引入的不确定度分量间彼此独立不相关, 故钢筋断后标距测量引入的标准不确定度总分量为:

$$u(L_u) = \sqrt{u^2(L_{u,1}) + u^2(L_{u,2})} = \sqrt{1.0247^2 + 0.01155^2} = 1.02477 \text{ mm}$$

5.4 数值修约引入的不确定度分量

依据2013版《冶金技术标准的数值修约与检测数值的判定》, 金属材料拉伸试验数值修约间隔随性能范围变化而不同, 对本文来说, 屈服及抗拉强度修约至 5 MPa , 断后伸长率修约至 1.0% , 可用B类不确定度来评定, 如修约间隔为 δ_x , 则 $u(x) = 0.29\delta_x$ 。即:

$$u(R_{\text{el,rou}}) = u(R_{\text{m,rou}}) = 0.29\delta_x = 0.29 \times 5 = 1.45 \text{ N/mm}^2$$

$$u(A_{\text{rou}}) = 0.29\delta_x = 0.29 \times 1.0\% = 0.29\%$$

6 合成标准不确定度评定^{[1][4]}

合成标准不确定度是在一个数学计算模型中由各输入量引入的标准测量不确定度分量经计算之后输出的测量标准不确定度。当输入量间明显相关时, 必须考虑其相关性, 反之则不考虑。合成标准不确定度用符号表示 u_c , 所用合成方法, 称为不确定

传播率, 而传播系数被称为灵敏系数, 用 c_i 表示。

由前述分析可知, 影响测量不确定度模型传播公式的输入量分别为钢筋直径允许偏差、数值修约、力值测量、原始标距和断后标距测量, 则测量模型标准不确定度输出量估计值公式分别为:

$$y=f(F_{el},d,R_{el,rou})=R_{el} + R_{el,rou} = \frac{4F_{el}}{\pi d^2} + R_{el,rou}$$

$$y=f(F_m,d,R_{m,rou})=R_m + R_{m,rou} = \frac{4F_m}{\pi d^2} + R_{m,rou}$$

$$y=f(L_u,L_0,A_{rou})=A+A_{rou} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% + A_{rou}$$

以屈服强度为例, 对该函数进行全微分处理, 则该三元函数全微分方程为:

$$dy = \frac{\partial y}{\partial F_{el}} dF_{el} + \frac{\partial y}{\partial d} dd + \frac{\partial y}{\partial R_{el,rou}} dR_{el,rou}$$

将上式全微分方程两边同时平方后展开, 则有:

$$d_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial F_{el}} dF_{el} + \frac{\partial y}{\partial d} dd + \frac{\partial y}{\partial R_{el,rou}} dR_{el,rou} \right)^2$$

$$= \left(\frac{\partial y}{\partial F_{el}} dF_{el} \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial d} dd \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial R_{el,rou}} dR_{el,rou} \right)^2 +$$

$$2 \times \frac{\partial y}{\partial F_{el}} \times \frac{\partial y}{\partial d} \times dF_{el} \times dd \times r(F_{el}, d) + 2$$

$$\times \frac{\partial y}{\partial F_{el}} \times \frac{\partial y}{\partial R_{el,rou}} \times dF_{el} \times dR_{el,rou} \times r(F_{el}, R_{el,rou})$$

$$+ 2 \times \frac{\partial y}{\partial d} \times \frac{\partial y}{\partial R_{el,rou}} \times dd \times dR_{el,rou} \times r(d, R_{el,rou})$$

因钢筋直径允许偏差、力值测量、数值修约引入的标准不确定度分量彼此独立不相关, 因此各分量间的相关关系均为零。即 $r(F_{el}, d) = r(F_{el}, R_{el,rou}) = r(d, R_{el,rou}) = 0$, 故上述公式可简化为:

$$d_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial F_{el}} dF_{el} \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial d} dd \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial R_{el,rou}} dR_{el,rou} \right)^2$$

令 $d_y = u_c(y)$ 、 $dF_{el} = u(F_{el})$ 、 $dd = u(d)$ 、 $dR_{el,rou} = u(R_{el,rou})$ 、

$C_{F_{el}} = \frac{\partial y}{\partial F_{el}}$ 、 $C_d = \frac{\partial y}{\partial d}$ 、 $C_{R_{el,rou}} = \frac{\partial y}{\partial R_{el,rou}}$, 则上述公式可转换为:

$$u_c^2(y) = C_{F_{el}}^2 u^2(F_{el}) + C_d^2 u^2(d) + C_{R_{el,rou}}^2 u^2(R_{el,rou})$$

依据不确定度传播律, 合成标准不确定度 u_c 可用方和根公

式进行计算。其中, 相应的不确定度灵敏系数 $C_{F_{el}}$ 、 C_d 及 $C_{R_{el,rou}}$ 可由测量不确定度的输出量公式对各输入量求偏导数得到, 即:

$$C_{F_{el}} = \frac{\partial y}{\partial F_{el}} = \frac{4}{\pi d^2}; C_d = \frac{\partial y}{\partial d} = -\frac{8F_{el}}{\pi d^3}; C_{R_{el,rou}} = \frac{\partial y}{\partial R_{el,rou}} = 1$$

上述推导公式两边同时开方即为钢筋试样屈服强度合成标准不确定度 u_c 的计算公式。因 $C_{R_{el,rou}} = 1$, 故可由下列公式计算出钢筋屈服强度测量结果的合成标准不确定度。即:

$$u_c(R_{el}) = \sqrt{C_{F_{el}}^2 u^2(F_{el}) + C_d^2 u^2(d) + u^2(R_{el,rou})}$$

其余同理, 按照上述方法处理即可得出钢筋抗拉强度及断后伸长率试验测量结果的合成标准不确定度。

$$u_c(R_m) = \sqrt{C_{F_m}^2 u^2(F_m) + C_d^2 u^2(d) + u^2(R_{m,rou})}$$

$$u_c(A) = \sqrt{C_{L_u}^2 u^2(L_u) + C_{L_0}^2 u^2(L_0) + u^2(A_{rou})}$$

计算所需的各标准不确定度分量计算汇总表详见表2。

表2 标准不确定度分量汇总表

分量	不确定度来源	标准不确定度分量值
U(d)	钢筋公称直径允许偏差	U(d)=0.231 mm
U(F _{el})	下屈服力测量	U(F _{el})=3140.32 N
	人员重复性及材质不均匀性	U(F _{el} , 1)=3099 N
	试验机示值误差	U(F _{el} , 2)=491.4 N
	标准测力仪不确定度	U(F _{el} , 3)=127.755 N
	试验机读数分辨力	U(F _{el} , 4)=2.9 N
U(F _m)	最大力测量	U(F _m)=2731.54 N
	人员重复性及材质不均匀性	U(F _m , 1)=2633 N
	试验机示值误差	U(F _m , 2)=703.6515 N
	标准测力仪不确定度	U(F _m , 3)=182.925 N
	试验机读数分辨力	U(F _m , 4)=2.9 N
U(L ₀)	打点机误差	U(L ₀)=0.231 mm
U(L _u)	断后标距测量	U(L _u)=1.02477 mm
	测量重复性	U(L _u , 1)=1.0247 mm
	量具误差	U(L _u , 2)=0.01155 mm
U(R _{el,rou})	数值修约(间隔为5 N/mm ²)	1.45 N/mm ²
U(R _{m,rou})	数值修约(间隔为5 N/mm ²)	1.45 N/mm ²
U(A _{rou})	数值修约(间隔为1.0%)	0.29%

将各不确定度分量及灵敏系数代入下列计算公式, 即可求得其合成标准不确定度 u_c 值:

$$u_c(R_{el}) = \sqrt{C_{F_{el}}^2 u^2(F_{el}) + C_d^2 u^2(d) + u^2(R_{el,rou})} = 19.88 \text{ N/mm}^2$$

$$u_c(R_m) = \sqrt{C_{F_m}^2 u^2(F_m) + C_d^2 u^2(d) + u^2(R_{m,rou})} = 22.21 \text{ N/mm}^2$$

$$u_c(A) = \sqrt{c_{L_u}^2 u^2(L_u) + c_{L_0}^2 u^2(L_0) + u^2(A_{rou})} = 1.3641\%$$

7 扩展不确定度的评定^{[1][4]}

扩展不确定度U由合成标准不确定度乘置信因子k得到。置信因子k值一般取2,有时取3,取决于数学计算模型输出量的概率分布类型及选取的置信概率,当k=2时,置信概率为95%,当k=3时,置信概率为99%。扩展不确定度分为U和U_p两种,一般情况下只需给出测量结果的扩展不确定度U。

钢筋试样力学性能试验(屈服强度、抗拉强度、断后伸长率)扩展不确定度计算结果如下:

$$U = u_c(R_{el}) \times k = 19.88 \times 2 = 40 \text{ N/mm}^2$$

$$U = u_c(R_m) \times k = 22.21 \times 2 = 44 \text{ N/mm}^2$$

$$U = u_c(A) \times k = 1.3641\% \times 2 = 2.7\%$$

8 钢筋力学性能试验测量结果及不确定度报告^{[1][4]}

力学性能试验结果及不确定度计算可在Excel表中编辑公式计算,只需输入测量数据、测量工具检定证书出具的不确定度、置信因子、示值误差、分辨力、极限误差、修约精度及试样允许偏差,即可计算出各标准不确定度的分量值并给出不确定度报告。

8.1 钢筋力学性能试验测量结果

$$R_{el} = \frac{F_{el}}{S_0} = \frac{4F_{el}}{\pi d^2} = \frac{4 \times 85170}{3.14 \times 16^2} = 425 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} = \frac{4F_m}{\pi d^2} = \frac{4 \times 121950}{3.14 \times 16^2} = 605 \text{ N/mm}^2$$

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{102.08 - 80}{80} \times 100\% = 28\%$$

8.2 钢筋力学性能试验测量结果不确定度报告

钢筋力学性能试验测量结果不确定度报告如下:

$$R_{el} = 425 \text{ N/mm}^2; U = 40 \text{ N/mm}^2; k = 2$$

$$R_m = 605 \text{ N/mm}^2; U = 44 \text{ N/mm}^2; k = 2$$

$$A = 28\%; U = 2.7\%; k = 2$$

如果以相对扩展不确定度的形式来报告,则为:

$$R_{el} = 425 \text{ N/mm}^2; U_{rel} = 9.4\%; k = 2$$

$$R_m = 605 \text{ N/mm}^2; U_{rel} = 7.3\%; k = 2$$

$$A = 28\%; U_{rel} = 9.6\%; k = 2$$

9 结论

(1) 测量不确定度是合理赋予被测量参数的值的分散性。是测量结果的质量控制指标。不确定度越小,则测量结果与被测量参数的真值愈接近,可靠度越高,反之则测量结果与被测量参数的真值偏离愈大,可靠度越低。

(2) 钢筋力学性能试验测量结果不确定度评定的难点在于找出影响测量结果不确定度的主要因素以及合成标准不确定度的公式推导。

(3) 本文以钢筋力学性能试验为依托,重点分析了影响测量结果不确定度的来源、主要影响因素及合成标准不确定度的公式推导,给出了测量不确定度评定报告。

[参考文献]

[1] CNAS-GL009:2018, 材料理化检测测量不确定度评定指南及实例[S]. 北京:中国合格评定国家认可委员会,2018.

[2] GB/T 228.1-2021, 金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2021.

[3] GB/T 1499.2-2018, 钢筋混凝土用钢第2部分:热轧带肋钢筋[S]. 北京:中国标准出版社,2018.

[4] GB/T 27418-2017, 测量不确定度评定和表示[S]. 北京:中国标准出版社,2018.

作者简介:

段云斌(1984--),男,汉族,云南文山人,大专,工程师,从事公路工程技术研究、试验检测与项目管理工作。