夏比摆锤冲击试验机测量结果不确定度评定

陈镇方，张建军，惠治国

（内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 以N80Q钢的标准V型冲击试样为例，对金属夏比冲击试验测量结果不确定度进行了评定，对影响冲击试验结果的测量不确定度做了详细分析，对各分量进行了计算、合成并作出评定。

关键词： 测量不确定度；夏比摆锤冲击试验；不确定度评定

中图分类号： TG115.5 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2017)01－0047－04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.01.015

Evaluation of Uncertainty in Measuring Result for Charpy Pendulum Impact Test Machine

CHEN Zhen－fang, ZHANG Jian－jun, HUI Zhi－guo

(*Technical Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: The uncertainty in measuring result for metal Charpy impact test is evaluated with N80Q steel standard V type impact specimen as an example. The measurement uncertainty which can affect impact testing results is analyzed in detail. The components are calculated, synthesized and evaluated.

Key words: uncertainty in measurement; Charpy pendulum impact test; evaluation of uncertainty

测量不确定度的评定目前已广泛应用于测量设备的检定和校准中。由于材料力学性能检测是一种破坏性试验，不可重复测量，并且材料本身有一定的不均匀性，影响测量不确定度评定的因素较多，所以目前冲击的测量不确定度评定还处于初级阶段，分析评定难度大，且最不成熟[1]。本文以N80Q钢的标准V型冲击试样为例，对夏比摆锤冲击试验的不确定度进行分析计算，根据试验结果不确定度产生的来源，阐述了引入各不确定度分量的原因及数理依据。通过计算各分量的合成不确定度终求出扩展不确定度。为包钢生产和科研提供实验数据保证。

1 测量过程

按照GB/T 229—2007《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》[2]标准规定的试验方法，采用国家计量部门检定合格、满足GB/T 3808—2002《摆锤式冲击试验机的检验》[3]标准要求的摆锤式冲击试验机对被测对象进行冲击试验，试验系用标准的10 mm×10 mm×55 mm V型试样，按照标准要求取制样，试样尺寸及公差全部符合试验要求，试样经过5人每人10次试验，得到试样的冲击吸收功。

环境条件：本试验温度(20±1) ℃，相对湿度≤80%。

试验仪器：本次评定在JBD－300A冲击试验机上进行试验，冲击刀刃 $R=2$ mm。

2 建立数学模型

常温冲击的冲击试验结果可直接显示，无论是

收稿日期：2016－11－15

作者简介：陈镇方(1982－)，男，辽宁省锦州市人，工程师，现从事金属材料物理检测工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

利用表盘式或数显式摆锤冲击试验机进行试验，当试样冲断后，其测量结果冲击吸收功就可直接从表盘或数显装置得到。建立满足不确定度评定所需的数学模型，综合评定法的数学模型为：

$$Y = X \tag{1}$$

其中，Y 为输出量，冲击试验过程中被测试样的冲击功，J；X 为输入量，试验机度盘的读数值，J。

3 测量不确定度来源分析

由于本试验在标准条件下进行（支座和刀口尺寸、跨距尺寸、摆锤长度与重量以及磨耗等均检定合格，在标准范围内，可以不考虑其引起的不确定度分量），因此本文所考虑的冲击不确定度分量主要有[4]：

（1）试验结果重复性引入的不确定度分量 u_r；

（2）试样形状和尺寸引入的相对标准不确定度分量 u_s；

（3）由缺口底部光洁度引入的相对标准不确定度分量 u_{gr}。

缺口底部的光洁度对某些金属材料的冲击试验结果是有些影响的，缺口底部光洁度低会使冲击吸收功偏低，但国际上多数国家均规定试样缺口应光滑，无与缺口轴线平行的划痕，而没有规定具体定量指标。GB/T 229—2007[2] 中规定仅在仲裁时试样缺口底部表面粗糙度参数 R_a 应不大于 5 μm，至于日常检验，则只要求试样缺口底部应光滑。评定缺口底部的光洁度大多数使用标准光洁度块目视对比评定，用一般的铣、拉等方法就能达到日常检验要求的光洁度，故由缺口底部光洁度引入的相对标准不确定度可忽略。

（4）由冲击试验机引入的相对标准不确定度分量 u_{jr}

（5）由试验温度引入的相对标准不确定度分量 u_{Tr}

鉴于本例是研究的室温冲击试验，而且在检测标准 GB/T 229—2007[2] 中对试验温度的要求作了较严格的规定，因此，本例中假定由试验温度引入的相对标准不确定度可忽略不计。

（6）测量结果数字修约所引入的不确定度分量 u_{fr}

基于以上不确定度分量分析，建立以下数学模型：

$$U = k\sqrt{u_r^2 + u_s^2 + u_{gr}^2 + u_{jr}^2 + u_{tr}^2 + u_{fr}^2} \tag{2}$$

其中：U 为扩展不确定度；k 为包含因子。

4 不确定度分量的评定

4.1 试验结果重复性引入的不确定度分量 u_r

由于试样由不同人员多次操作，检测结果必然存在差异，它们引入的不确定度分量 u_{ri} 用 A 类方法进行评定。在本次评定中，由 5 个实验人员按 GB/T 229—2007[2] 标准对“V”型缺口试样进行试验，每人做 10 次试验，所得试验评定数据见表 1。

表 1 “V”型缺口试样冲击试验重复性评定数据 J

样本统计数据	第一人	第二人	第三人	第四人	第五人
平均值 $\bar{A}_{kj}$	200.2	199.6	199.7	200.1	200.8
标准差 s_j	1.55	0.84	1.42	1.45	1.62

$$\bar{S}_j = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} S_i = \frac{1}{5} \times 6.88 = 1.37$$

标准差的标准差：

$$\sigma(S) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}(S_j - \bar{S}_j)/(m-1)} = 0.31$$

由于 $\bar{\sigma} = 0.31(\mathrm{J}) < \dfrac{S_{P,A_{kv}}}{\sqrt{2(n-1)}} = \dfrac{1.41}{\sqrt{2(10-1)}} = 0.33(\mathrm{J})$

说明测量状态稳定，正态分布 S_p（J）可以应用。由于正常的任一次冲击试验结果都作为测量结果，即 $K = 1$，所以：

$$u_{ri} = \frac{S_p}{\sqrt{k}} = 1.41$$

4.2 试样形状和尺寸引入的相对标准不确定度 u_s

试样的形状和尺寸采用国际上通用的形状和尺寸，标准试样为（10 × 10 × 55）mm，中间带 2 mmV 型缺口的试样。试样缺口处横截面尺寸公差的大小，直接进入试验测定的误差，允许大的尺寸公差必然引起 A_{kv} 的偏差与分散性大。缺口处净面积为 $S = a \cdot b$，其中 a 为宽度，b 为缺口底下的高度。标准 GB/T 229—2007[2] 中规定 a 尺寸公差均为 ±0.11 mm，b 尺寸公差均为 ±0.075 mm，故宽度 a 的最大相对允差为 ±0.11 /10 = ±1.1%，设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布，$k = \sqrt{3}$，因此由宽度 a 引入的相对标准不确定度为：$u_{ar} = 1.1\%/\sqrt{3} = 6.35 \times 10^{-3}$。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高度 b 的最大相对允差为: $\pm 0.075/8 = \pm 0.94\%$,同宽度一样,可认为此分布为均匀分布, $k = \sqrt{3}$,因此,由厚度 b 引入的相对标准不确定度为: $u_{br} = 0.94\%/\sqrt{3} = 5.43 \times 10^{-3}$。故由缺口处净面积 S 引入的相对标准不确定度为:

$$u_{sr} = \sqrt{u_{ar}^2 + u_{br}^2} = 8.36 \times 10^{-3}$$

4.3　由冲击试验机引入的相对标准不确定度 u_{jr}

4.3.1　由标尺刻度精确度引入的分量 u_{jr1}

刻度的精确度直接影响试验误差,尤其对小能量的试验结果更不容忽视。本试验室采用的是 JBD-300A 型冲击试验机,以满量程 300 J 计量,则在各点引起的相对误差如见表 2。

表 2　相对误差表

能量/J	1	2	3	5	10	15	20	25	30
相对误差/%	6	3	2	1.5	0.6	0.4	0.3	0.24	0.2

表 2 表明,能量不大于 30 J 以下范围的相对误差是不容忽视的,故在标准 GB/T 229—2007[2] 中 7.2 条中规定冲击试验机一般在摆锤最大能量的 10% ~90% 范围内使用,故在 10% ~90% 范围内使用时的最大相对误差为 0.2%,可认为示值出现在 ±0.2% 范围内的任何处都是等概率的,而落于该范围外的概率基本为零,即是矩形分布。由 JJF 1059—2012[3] 表 3 可知 $k = \sqrt{3}$,所以由此引入的相对标准不确定度为:

$$u_{jr1} = 0.2\%/\sqrt{3} = 1.15 \times 10^{-3}$$

4.3.2　由标准测力仪引入的分量 u_{jr2}

冲击试验机又是借助于 0.3 级标准测力仪进行校准的,该校准源的不确定度为 0.3%,其置信因子为 2,故由此引入的相对标准不确定度为:

$$u_{jr2} = 0.3\%/2 = 1.50 \times 10^{-3}$$

4.3.3　由试验人员读取示值时引入的分量 u_{jr3}

试验人员读取冲击试验机示值时引入的不确定度,与试验机度盘的分度值有关,以量程 300 J 为例,1 个分度相当于 2 J,而试验人员可以估读到 ±0.2个分度,即 ±0.4 J,则相对于满刻度而言,可以估读到 $\pm 0.4/300 = \pm 1.33 \times 10^{-3}$,而本例选择的测量对象为 N80Q 冲击吸收功平均值为 200.08 J,这样 ±0.4 J 相对于 200.08 J 而言,即为 $\pm 0.4/200.08 = \pm 1.99 \times 10^{-3}$。

取 $\pm 1.99 \times 10^{-3}$ 为冲击示值的读数误差,则读数的可能值出现于此范围内的任何处是等概率的,而落于该范围外的概率基本为零,故呈矩形分布,其相对标准不确定度为:

$$u_{jr3} = 1.99 \times 10^{-3}/\sqrt{3} = 1.54 \times 10^{-3}$$

4.3.4　由试验机指针的回零差引入的分量 u_{jr4}

GB/T 229—2007[2] 中规定:"试验前应检查摆锤空打时被动指针的回零差;回零差不应超过最小分度值的四分之一。"以量程 300 J 为例,最小分度值为 2 J 的试验机,1/4 分度值为 0.5 J,折合满量程相对误差为 0.16%,可认为此分布为矩形分布,则由回零差引入的相对标准不确定度分量为:

$$u_{jr4} = 0.16\%/\sqrt{3} = 0.92 \times 10^{-3}$$

鉴于标尺刻度精确度、标准测力仪、读取试验机示值以及被动指针的回零差这 4 个不确定度分量彼此无关,所以,由冲击试验机引入的相对标准不确定度可合成为:

$$u_{jr} = \sqrt{u_{jr1}^2 + u_{jr2}^2 + u_{jr3}^2 + u_{jr4}^2} = 2.59 \times 10^{-3}$$

4.4　测量结果数字修约所引入的不确定度分量 u_{fr}

标准 GB/T 229—2007[2] 中规定:冲击吸收功至少应保留两位有效数字,修约方法按 GB/T 8170—2008,《数据修约规则与极限数值的标示和判定》[5]。这必定引入了不确定度,这可用 B 类方法来评定,见表 3。

表 3　数值修约引起的标准不确定度

参数	修约间隔	半宽	K	B 类标准不确定度
相对误差/%	1	0.5	$\sqrt{3}$	0.29

对于数字修约,如修约间隔为 δ,则则引入的不确定度分量为 $u_{fr} = 0.29\,\delta$,所以当 $K_{V2} \geqslant 10$ J 时,根据试验机度盘的分辨力,修约间隔 δ 为 0.1 J,由此得出:

$$u_{fr} = 0.29 \times 0.1 = 0.029$$

5　合成标准不确定度

鉴于不确定度分量 u_r, u_s, u_{jr}, u_{fr} 彼此独立,不存在任何相关。根据数学模型 $A_{KV} = x$,由数学模型对各输入量求导数,得到传播系数: $c_i = \dfrac{\partial A_{KV}}{\partial x_i} = 1$

所以,可按照下式合成:

$$u_{AKv,r} = \sqrt{u_r^2 + u_{sr}^2 + u_{jr}^2 + u_{Tr}^2 + u_{fr}^2} = \sqrt{(1.41)^2 + (0.008\,36)^2 + (0.002\,59)^2 + (0.029)^2}$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

= 1.41% 本例中冲击吸收功为200.08 J，则合成标准不确定度为:

$$uA_{Kv} = A_{Kv} \cdot U_{AVv,r} = 200.08\ J \times 1.14\% = 2.28\ J$$

6 扩展不确定度

A_{kV}的扩展不确定度为合成标准不确定度与所选择的包含因子 k 之积，对应于置信概率约为95%，即: $U = \mu_{AKv} \times k$

设 $k = 2$，则相对扩展不确定度为: $U(A_{kv}) = 2uA_{AV} = 4.56$ J

7 不确定度报告

根据JJF 1059—2012《测不确定度评定与表示》[6]的规定，按照上述评定的不确定度报告为:

$K_{v2} = 200.1$ J，$U = 4.6$ J，$K = 2$

意义为: 可期望在(200.1 − 4.6) ~ (200.1 + 4.6) J的区间包含了夏比冲击吸收功 K_{v2} 测量结果可能值的95%。

8 结束语

本文以材质优良的N80Q标准 V 型冲击试样为例，对其冲击试验检测结果的测量不确定度进行了评定，提供了具有参考价值的思路和方法，有利于检测实验室操作人员对测量结果进行分析、总结，逐步提高自身的检测水平。根据该次对不确定度各分量的评定可以看出，冲击试验的不确定度主要来自于试验人员、试样加工质量和试验设备。所以在日常检测工作中，除要严格按照操作规程进行试验外，还应关注试验机的工作状态及试样的加工质量，尤其是缺口根部的质量，在设备定期检定与校准之外还要做期间核查。

参 考 文 献

[1] 王承忠. 测量不确定度原理及在理化检验中的应用[J]. 理化检验—物理分册，2003，39(1)：57－60.

[2] GB/T 229—2007，金属材料夏比摆锤冲击试验方法[S].

[3] GB/T 3808—2002，摆锤式冲击试验机的检验[S].

[4] 张增杰. 金属夏比缺口(V型)室温冲击试验检测结果不确定度的评定[J]. 中国测试技术，2006，32(6)：44－45.

[5] GB/T 8170—2008，数据修约规则与极限数值的标示和判定[S].

[6] JJF 1059—2012，测量不确定度评定与表示[S].

(上接第24页)

目标流量比率。对于每个计量泵加速时间可单独调整(加速功能通过流量阀控制实现)。

3.4 关闭油阀

关闭油阀是根据跟踪系统来实现的，当尾部剩余10 m左右时开始关闭轧制油润滑油，但是如果选择连续润滑，则油阀不关闭。

3.5 宽度调整

油阀的开关可根据带钢的宽度自动调整，时序如下。

(1) F1－F4机架: ①带宽≤500 mm时，1段喷射阀打开; ②带宽>1 500 mm时，1段和2段喷射阀打开。

(2) F5－F7机架: ①带宽≤1 150 mm时，1段喷射阀打开; ②1150<带宽≤1 500 mm时，1－2段喷射阀打开; ③1 500<带宽≤1 850 mm时，1－3段喷射阀打开; ④带宽>1 850 mm时，1－4段喷射阀打开。

3.6 防护措施

为了防止喷嘴堵塞，当抛钢后所有水阀不关闭，只关闭油阀，水阀常开，达到冲洗喷嘴的目的。

4 结束语

目前通过投入轧制油润滑系统，降低了轧制力，降低了主电机电流进一步增大了轧制道次压下量，易轧制薄规格及特种规格带钢，减少了轧辊的消耗和储备，提高了作业率; 同时，减少氧化铁皮的压入，改善了在线轧辊的表面状态，提高了成品带钢的表面质量，降低了消耗，真正实现了企业的降能增效的目的。

参 考 文 献

[1] 孟延军. 轧钢基础知识[M] 北京: 冶金工业出版社，2005.

[2] 孙建林. 轧制过程工艺润滑技术的发展和应用[M]. 北京: 冶金工业出版社，2007.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net