

LESSO联塑	广东联塑科技实业有限公司计量质量检测中心	编号:LS·QE0·GZ·27·QD08-2020
	PVC-U 双壁波纹管环刚度 S_i 检测结果不确定度的评定	实施日期: 2020 年 7 月 1 日 页码: 1/7

PVC-U 双壁波纹管环刚度 S_i 检测结果不确定度的评定

Uncertainty evaluation for the ring stiffness (S_i) of PVC-U double wall corrugated pipes

摘要: 本文对 PVC-U 双壁波纹管环刚度的测量结果不确定度进行了评估, 分析了测量过程中存在的不确定度来源。

关键词: PVC-U 双壁波纹管环刚度; 环刚度; 测量不确定度

0 引言

PVC-U 双壁波纹管主要应用在市政排水方面, 环刚度是衡量双壁波纹管使用性能的重要依据之一。本文根据相关规程和标准^[1,2,3]对 PVC-U 双壁波纹管环刚度的测量结果不确定度进行分析, 找出主要影响因素, 为测量结果不确定度分析提供参考。

1 概述

1.1 目的

评定 DN/ID315 SN8 PVC-U 双壁波纹管环刚度 S_i 测量结果的不确定度。

1.2 测量依据

1.2.1 GB/T 18477.1-2007 《埋地排水用硬聚氯乙烯(PVC-U)结构壁管道系统第 1 部分双壁波纹管》

1.2.2 GB/T 9647-2015 《热塑性塑料管材环刚度的测定》

1.3 测量仪器设备

1.3.1 WDT-H 型微控型环刚度试验机, 力值范围 0N~50kN, 准确度为 1 级即最大允许误差为 $\pm 1\%$, 分辨力为 0.1N。横梁行程 2200mm, 位移准确度为 1 级即最大允许误差为 $\pm 1\%$, 分辨力为 0.001mm, 经广东省计量测试研究院校准, 在校准有效期内。

1.3.2 钢卷尺, 量程范围: (0~5.0) m, 准确度为 II 级, 分辨力为 1mm, 经广东联塑科技实业有限公司计量质量检测中心校准部校准, 在校准有效期内。

1.4 测量程序

1.4.1 测量环境: (23 $\pm$ 2) °C, 湿度 (50 $\pm$ 10) %, 正常大气压。

1.4.2 测量方法: 测量 PVC-U 双壁波纹管试样的长度与内径尺寸 (长度 L 与内径 d), 然后将其正确放在微控型环刚度试验机的压板中, 在检测方法规定的试验速度下测量 3%变形量对应的力值 F , 从而求得环刚度 S_i 。

2 测量模型

环刚度以试样的长度与内径为基础, 按式(1)计算。

LESSO联塑	广东联塑科技实业有限公司计量质量检测中心	编号:LS·QE0·GZ·27·QD08-2020
	PUC-U 双壁波纹管环刚度 S_i	实施日期: 2020 年 7 月 1 日
	检测结果不确定度的评定	页码: 2/7

$$S_i = \frac{(0.0186 + 0.025 \frac{Y_i}{d_i}) F_i}{L_i Y_i} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

S_i ——环刚度, kN/m²;

Y_i ——垂直方向变形量, mm;

F_i ——垂直方向3%变形量对应的力值 F , N;

d_i ——试样的平均内径, mm;

L_i ——试样的平均长度, mm;

试验过程中应保持一定的温度和试验速度, 因此(1)式是在特定温度和试验速度下环刚度的数学模型。所得结果保留小数点后两位数字。

3 测量不确定度来源

PVC-U 双壁波纹管环刚度 S_i 测量结果的不确定度来源有以下 8 个方面:

- 3.1 环刚度 S_i 的测量重复性引入的不确定度, 按 A 类方法评定;
- 3.2 微控型环刚度试验机的力值最大允许误差引入的不确定度, 按 B 类方法评定;
- 3.3 微控型环刚度试验机的力值分辨力引入的不确定度, 按 B 类方法评定;
- 3.4 微控型环刚度试验机的位移最大允许误差引入的不确定度, 按 B 类方法评定;
- 3.5 微控型环刚度试验机的位移分辨力引入的不确定度, 按 B 类方法评定;
- 3.6 钢卷尺的示值误差引入的不确定度, 按 B 类方法评定;
- 3.7 钢卷尺的分辨力引入的不确定度, 按 B 类方法评定;
- 3.8 数据修约引入的不确定度, 按 B 类方法评定。

4 标准不确定度的评定

4.1 环刚度 S_i 测量重复性引入的相对标准不确定度分量 $u_{rel}(S_i)$

在同一试验条件下, 对 PVC-U 双壁波纹管试样进行 10 次独立测量, 所得预评定结果如表 1 所示:

表 1 10 片样品的预评定测量结果

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平均长度 $L_i(\text{mm})$	302	300	299	302	301	298	300	302	298	303
平均内径 $d_i(\text{mm})$	282	282	284	282	281	281	282	282	283	281
力	1140	1102	1138	1148	1127	1104	1112	1139	1119	1132

LESSO 联塑	广东联塑科技实业有限公司计量质量检测中心						编号:LS·QE0·GZ·27·QD08-2020			
	PUC-U 双壁波纹管环刚度 S_i						实施日期: 2020 年 7 月 1 日			
	检测结果不确定度的评定						页码: 3/7			

$F(N)$										
S_i (kN/m ²)	8.86	8.62	8.87	8.92	8.82	8.72	8.70	8.85	8.78	8.80
$\bar{S}_i$ (kN/m ²)	$\bar{S}_i = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} S_i = 8.79$									
$S_i - \bar{S}_i$ (kN/m ²)	0.07	-0.17	0.08	0.13	0.03	-0.07	-0.09	0.06	-0.01	0.01
单次测量 实验标准 偏差 $s(S_i)$ (kN/m ²)	0.0912									

应用贝塞尔公式算得单次测量标准偏差 $s(S_i)$ 为:

$$s(S_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (S_i - \bar{S}_i)^2}{10-1}} = 0.0912 \text{ kN/m}^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

实际测量时在同一试验条件下独立测量 3 次, 所得 S_i 分别为 8.82, 8.58, 8.67 (kN/m²), 其平均值 $\bar{S}_{i3}$ 为 8.69 kN/m², 以此作为最终检测结果 (见表 2)。所以, 由测量重复性引入的标准不确定度分量为:

$$u_{A(S_i)} = \frac{s(S_i)}{\sqrt{3}} = 0.0526 \text{ kN/m}^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

考虑到数学模型, 其 A 类相对标准不确定度分量 $u_{\text{Arel}}(S_i)$ 为:

$$u_{\text{Arel}}(S_i) = \frac{u_A(S_i)}{\bar{S}_{i3}} = \frac{0.0526}{8.69} = 0.6053\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

表 2 3 个样品的实际测量结果

序号	1	2	3
平均长度 $L_i(\text{mm})$	305	303	298
平均内径 d_i (mm)	282	284	281
力 $F(N)$	1147	1116	1097
S_i (kN/m ²)	8.82	8.58	8.67
$\bar{d}_i$ (mm)	282		
$\bar{S}_i$ (MPa)	$\bar{S}_i = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 S_i = 8.69$		

LESSO联塑	广东联塑科技实业有限公司计量质量检测中心	编号:LS·QE0·GZ·27·QD08-2020
	PUC-U 双壁波纹管环刚度 S_i	实施日期: 2020 年 7 月 1 日
	检测结果不确定度的评定	页码: 4/7

$\overline{F_3}$ (N)	1120
-------------------------	------

4.2 微控型环刚度试验机力值的最大允许误差引入的相对不确定度分量 u_{B1rel} :

WDT-H 型微控型环刚度试验机力值的最大允许误差为 $\pm 0.5\%$, 测量值落在该区间内的概率呈均匀分布, 区间半宽为 $a_1=0.5\%$, 包含因子为 $k_1=\sqrt{3}$, 则其 B 类相对标准不确定度分量为:

$$u_{B1rel} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.2887\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

4.3 微控型环刚度试验机力值的分辨力引入的相对标准不确定度分量 u_{B2rel}

微控型环刚度试验机力值的分辨力为 0.1N, 服从均匀分布, 区间半宽为 $a_2=0.05N$, 包含因子 $k_2=\sqrt{3}$, 所以 B 类标准不确定度分量 u_{B2} 为:

$$u_{B2} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.0289N \quad \dots\dots\dots (6)$$

其 B 类相对标准不确定度 u_{B2rel} 为:

$$u_{B2rel} = \frac{u_{B2}}{F_5} = \frac{0.0289}{1120} = 0.0026\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

4.4 微控型环刚度试验机位移的最大允许误差引入的相对不确定度分量 u_{B3rel} :

WDT-H 微控型环刚度试验机的最大允许误差为 $\pm 1\%$, 测量值落在该区间内的概率呈均匀分布, 区间半宽为 $a_1=1\%$, 包含因子为 $k_1=\sqrt{3}$, 则其 B 类相对标准不确定度分量为:

$$u_{B3rel} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.5774\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

4.5 微控型环刚度试验机位移的分辨力引入的相对标准不确定度分量 u_{B4rel}

微控型环刚度试验机位移的分辨力为 0.001mm, 服从均匀分布, 区间半宽为 $a_2=0.0005mm$, 包含因子 $k_2=\sqrt{3}$,

所以 B 类标准不确定度分量 u_{B2} 为:

$$u_{B4} = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} = 0.0003mm \quad \dots\dots\dots (9)$$

其 B 类相对标准不确定度 u_{B4rel} 为:

LESSO联塑	广东联塑科技实业有限公司计量质量检测中心	编号:LS-QE0·GZ·27-QD08-2020
	PVC-U 双壁波纹管环刚度 S_i	实施日期: 2020 年 7 月 1 日
	检测结果不确定度的评定	页码: 5/7

$$u_{B4rel} = \frac{u_{B4}}{d_i \times 0.03} = \frac{0.0003}{282 \times 0.03} = 0.0035\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

4.6 钢卷尺的示值误差引入的相对标准不确定度分量 u_{B5rel}

根据量程范围: (0~5.0) m 的钢卷尺的示值最大允许误差为 $\pm 0.2\text{mm}$, 测量值落在该区间内的概率呈均匀分布, 区间半宽度为 $a_3=0.1\text{mm}$, 包含因子为 $k_3=\sqrt{3}$, 所以 B 类标准不确定度分量为:

$$u_{B5} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058\text{mm} \quad \dots\dots\dots (11)$$

以内径平均值计算, 其 B 类相对标准不确定度 u_{B3rel} 为:

$$u_{B5rel} = \frac{u_{B5}}{d_i} = \frac{0.058}{282} = 0.0206\% \quad \dots\dots\dots (12)$$

4.7 钢卷尺的分辨力引入的相对标准不确定度分量 u_{B6rel} :

钢卷尺的分辨力为 1mm, 服从均匀分布, 区间半宽为 $a_4=0.5\text{mm}$, 包含因子 $k_4=\sqrt{3}$, 所以 B 类标准不确定度分量 u_{B4} 为:

$$u_{B6} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.2887\text{mm} \quad \dots\dots\dots (13)$$

以内径平均值计算, 其 B 类相对标准不确定度 u_{B4rel} 为:

$$u_{B6rel} = \frac{u_{B6}}{d_i} = \frac{0.2887}{282} = 0.1024\% \quad \dots\dots\dots (14)$$

4.8 数据修约引入的相对标准不确定度分量 u_{B7rel} :

根据 GB/T 9647-2015《热塑性塑料管材环刚度的测定》规定, 对于本例中 PVC-U 双壁波纹管环刚度所得的数值区间, $\overline{S_i}$ 应修约到 0.01kN/m^2 , 区间内服从均匀分布。根据 JJF1059.1 “对于所引用的已修约的值, 如其修约间隔为 δx , 则因此导致的标准不确定度为 $u(x) = 0.29 \delta x$ ”, 则数据修约引入的 B 类标准不确定度分量为:

$$u_{B7} = 0.01 \times 0.29 = 0.0029\text{kN/m}^2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

实际独立测量 3 次所得 S_i 的平均值 $\overline{S_i}$ 为 8.69kN/m^2 , 故数据修约引入的 B 类相对标准不确定度分量为:

$$u_{B7rel} = \frac{0.0029}{8.69} = 0.0334\% \quad \dots\dots\dots (16)$$

LESSO联塑	广东联塑科技实业有限公司计量质量检测中心	编号:LS-QE0-GZ-27-QD08-2020
	PUC-U 双壁波纹管环刚度 S_i	实施日期: 2020 年 7 月 1 日
	检测结果不确定度的评定	页码: 6/7

4.9 S_i 的相对合成标准不确定度 $u_{\text{crel}}(\sigma)$ 评定:

由于各输入量互不相关, 可采用方和根方法合成, 如式(17)所示:

$$u_{\text{crel}}(S_i) = \sqrt{u_{\text{Arel}}^2 + u_{\text{B1rel}}^2 + u_{\text{B2rel}}^2 + u_{\text{B3rel}}^2 + u_{\text{B4rel}}^2 + u_{\text{B5rel}}^2 + u_{\text{B6rel}}^2 + u_{\text{B7rel}}^2} \approx 0.90\% \quad (17)$$

表 3 标准不确定度评定汇总表

序号	不确定度来源	评定方法	概率分布	包含因子	相对标准不确定度	
					符号	数值
4.1	环刚度 S_i 的测量重复性	A 类	t	/	$u_{\text{Arel}}(\sigma)$	0.6053%
4.2	微控型环刚度试验机力值的最大允许误差	B 类	均匀分布	$\sqrt{3}$	u_{B1rel}	0.2887%
4.3	微控型环刚度试验机力值的分辨力	B 类	均匀分布	$\sqrt{3}$	u_{B2rel}	0.0026%
4.4	微控型环刚度试验机位移的最大允许误差	B 类	均匀分布	$\sqrt{3}$	u_{B3rel}	0.5774%
4.5	微控型环刚度试验机位移分辨力	B 类	均匀分布	$\sqrt{3}$	u_{B4rel}	0.0035%
4.6	钢卷尺的最大允许误差	B 类	均匀分布	$\sqrt{3}$	u_{B5rel}	0.0206%
4.7	钢卷尺卡尺的分辨力	B 类	均匀分布	$\sqrt{3}$	u_{B6rel}	0.1024%
4.8	数据修约	B 类	均匀分布	$\sqrt{3}$	u_{B7rel}	0.0334%
4.9	相对合成标准不确定度				u_{crel}	0.90%

5 S_i 的相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(S_i)$ 评定

取包含因子 $k=2$ (其包含概率约为 95%), 则 PVC-U 双壁波纹管环刚度 S_i 的相对扩展不确定度为:

$$U_{\text{rel}}(S_i) = k u_{\text{crel}}(S_i) = 2 \times 0.90\% = 1.8\% \quad \dots\dots\dots (18)$$

6 S_i 测量结果的报告

实际测量 3 个样品 DN/ID315 SN8 PVC-U 双壁波纹管环刚度, 其平均值 $\bar{S}_i$ 为 8.69 kN/m², 相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(S_i)$ 为 1.22% ($k=2$)。

以 kN/m² 为计量单位的扩展不确定度为:

$$U(S_i) = \bar{S}_i \times U_{\text{rel}}(S_i) = 8.69 \text{ kN/m}^2 \times 1.8\% \approx 0.16 \text{ kN/m}^2 \quad (k=2)$$

LESSO联塑	广东联塑科技实业有限公司计量质量检测中心	编号:LS-QE0-GZ-27-QD08-2020
	PUC-U 双壁波纹管环刚度 S_i	实施日期: 2020 年 7 月 1 日
	检测结果不确定度的评定	页码: 7/7

7 说明

本案例经过对预评审时进行 10 次重复测量和按照平时 3 次测量所做的 S_i 的测量、计算结果数据进行仔细分析, 反映出: 尽管每个样品的长度与内径不同, 每个样品每做一次测试时, 试验机的力值有所不同, 但计算所得的 S_i 的测量结果都很接近。(注: 环刚度的结果主要是由样品本身的性能决定, 在试样类型固定的情况下, 长度与内径的大小偏差只会导致力值大小变化与试验机位移大小变化, 不会影响 S_i 结果值)。因此, 通过对预评审时进行 10 次重复测量所求得 S_i 的测量结果进行 A 类评定、求得 S_i 测量重复性引入的标准不确定度分量, 已经将试验机示值误差引入的分量和标准测力仪校准试验机的力值引入的分量, 包括试样长度与内径不同引入的分量, 都综合反映和包含进去了。所以本案例采用只对预评审时进行 10 次重复测量所求得 S_i 的测量结果进行 A 类评定、求得 S_i 测量重复性引入的标准不确定度分量(即不重复考虑 10 次重复测量时力值引入的和长度与内径不同引入的分量)。因此 B 类评定只需考虑拉力机的最大允许误差和分辨力引入的不确定度分量, 钢卷尺的最大允许误差和分辨力引入的不确定度分量, 及数据修约引入的不确定度分量。也即标准测力仪校准试验机的力值引入的标准不确定度分量不再进行 B 类评定。

参考文献:

[1] JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》.北京.中国计量出版社

[2] GB/T 9647-2015《热塑性塑料管材环刚度的测定》.中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会

[3] GB/T 18477.1-2007《埋地排水用硬聚氯乙烯(PVC-U)结构壁管道系统第 1 部分双壁波纹管材》. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会

编制	朱伟	审核	黄建生	批准	小秀裴
----	----	----	-----	----	-----

