

# JJF (皖)

## 安徽省地方计量技术规范

JJF (皖) 145—2023

### 巴歇尔槽流量计在线校准规范

Online Calibration Specification of Parshall Flume Flowmeters

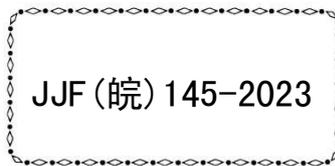
2023-01-09 发布

2023-03-01 实施

安徽省市场监督管理局 发布

# 巴歇尔槽流量计在线校准规范

Online Calibration Specification of  
Parshall Flume Flowmeters



---

归口单位：安徽省流量计量技术委员会

主要起草单位：安徽省计量科学研究院

参加起草单位：中节能国祯环保科技股份有限公司

本规范委托安徽省流量计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人:**

胡志鹏 (安徽省计量科学研究院)

赵 艳 (安徽省计量科学研究院)

胡 昕 (安徽省计量科学研究院)

**参加起草人:**

余 军 (安徽省计量科学研究院)

袁利根 (安徽省计量科学研究院)

李永龙 (中节能国祯环保科技股份有限公司)

# 目 录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 术语.....	1
3.2 计量单位.....	2
4 概述.....	2
4.1 构造.....	2
4.2 工作原理.....	2
5 计量性能要求.....	2
6 校准条件.....	3
6.1 校准环境.....	3
6.2 标准器及其它设备.....	3
7 校准项目及方法.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 校准方法.....	3
8 校准结果表达.....	7
9 复校时间间隔.....	7
附录 A 巴歇尔槽流量计流量测量方法——速度面积法.....	8
附录 B 校准记录参考格式.....	12
附录 C 校准证书（内页）参考格式.....	16
附录 D 巴歇尔槽流量计流量测量不确定度评定示例.....	17

# 引 言

JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1004《流量计量名词术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》、JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列文件。

本规范在制定中参照了 JJJ 711-1990《明渠堰槽流量计》（试行）、JJG 971-2019《液位计》、ISO 9826《明渠中液体流量的测量 巴歇尔槽和孙奈利槽》、ISO 748《水文测量—明渠中液体流量的测量 用点速度测量的速度面积法》等文件的基本要求和方  
法。

本规范为首次发布。

# 巴歇尔槽流量计在线校准规范

## 1 范围

本规范适用于巴歇尔槽流量计的在线校准。其他槽（堰）型的流量计可参照本规范进行校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 711-1990 明渠堰槽流量计（试行）

JJG 971-2019 液位计

JJG（水利）004-2015 明渠堰槽流量计

HJ/T 15-2019 超声波明渠污水流量计技术要求及检测方法

ISO 748 水文测量—明渠中液体流量的测量用点速度测量的速度面积法

（Hydrometry — Measurement of liquid flow in open channels — Velocity area methods using point velocity measurements）

ISO 9826 明渠中液体流量的测量巴歇尔槽和孙奈利槽（Measurement of liquid flow in open channels — Parshall and SANIIRI flumes）

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语和计量单位

### 3.1 术语

JJF 1001、JJF 1004 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

#### 3.1.1 巴歇尔槽 parshall flume

巴歇尔槽为矩形横断面短喉道槽，由喉道上游均匀收缩段、喉道段和喉道下游均匀扩散段组成。

#### 3.1.2 巴歇尔槽流量计 parshall flume flowmeter

测量巴歇尔槽流量的仪表。

#### 3.1.3 液位 liquid level

在规定的巴歇尔槽位置，槽底距离自由液面的高度。

### 3.1.4 喉道 throat

巴歇尔槽内截面面积最小的区段。

### 3.1.5 尺寸法 dimension method

通过测量巴歇尔槽各尺寸参数及液位传感器处的液位,利用公式计算得到巴歇尔槽实际流量的方法。

## 3.2 计量单位

3.2.1 流速单位: 米每秒 (m/s)。

3.2.2 流量单位: 立方米每小时 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ); 或立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

3.2.3 液位及尺寸单位: 米 (m); 或是其十进制倍数单位: cm、mm 等。

## 4 概述

### 4.1 结构

巴歇尔槽流量计主要用于污水或取水的收集量及排放量的计量。巴歇尔槽流量计由巴歇尔槽、液位传感器、液位流量转换仪表组成。结构见图 1。

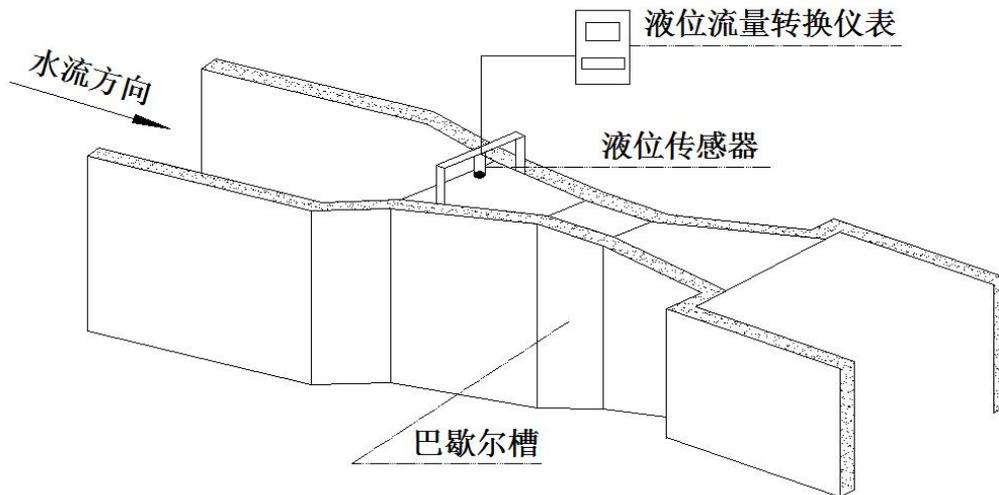


图 1 巴歇尔槽流量计结构图

### 4.2 工作原理

在明渠中设置巴歇尔槽,在上游收缩段安装液位传感器测量液位,液体的流量与液位呈单值对应关系,液位流量转换仪表依据相应的流量公式将测出的液位值换算成流量值并予以实时显示。

## 5 计量性能要求

### 5.1 液位示值误差和重复性

液位最大允许误差应不超过 $\pm 1\%$ ，重复性应不大于最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

### 5.2 流量示值误差和重复性

流量最大允许误差应不超过 $\pm 4\%$ ，重复性应不大于最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境温度：(0~45)℃；

相对湿度： $\leq 95\%$ ；

介质温度：(5~30)℃。

### 6.2 标准器及配套设备

主标准器及配套设备均应有有效的检定/校准证书，要求见表1。

表1 标准器及配套设备

类别	设备名称	技术要求	用途
标准器	流速计	测量范围：(0.1~4) m/s；最大允许误差： $\pm 1.0\%$	测量液体的流速
	液位计	测量范围：(0~2) m；最大允许误差： $\pm 0.2\%$	测量液体的液位
配套设备	钢卷尺	测量范围：(0~5) m；准确度等级：II级	测量巴歇尔槽的各尺寸参数
	钢直尺	测量范围：(1~2000) mm；最大允许误差： $\pm 0.35\text{mm}$ ；分度值不大于1mm	1、测量巴歇尔槽的各尺寸参数。 2、确定速度面积法中测量面各测量点位置。
	温度计	测量范围：(0~50)℃；最大允许误差： $\pm 0.3\text{℃}$ ；分度值不大于0.2℃	测量介质温度

## 7 校准项目及方法

### 7.1 校准项目

流量计的校准项目见表1。

a) 检查项目：外观及功能检查；

b) 校准项目：液位示值误差和重复性、流量示值误差和重复性。

### 7.2 校准方法

### 7.2.1 外观及功能检查

目测检查，巴歇尔槽流量计应符合以下要求：

a) 槽体四周应光滑无附着物，槽底应无杂物。液流应稳定，无漂浮物。

b) 流量计表面应完好无损，不应有生锈、裂纹、霉斑和涂层剥落现象，液位传感器安装应牢固可靠。

c) 液位流量转换仪表显示和标识应清晰完整，铭牌应注明产品名称、型号规格、出厂编号、制造厂名、制造年月等信息，可显示液位和流量，设置槽型应与实际相符。

### 7.2.2 液位示值误差和重复性

液位示值误差用相对误差表示，应满足 5.1 的要求。一般根据现场巴歇尔槽流量计的实际液位进行测量。观察液位流量转换仪表显示的液位值变化，当液位值在 30s 内的波动不大于 3mm 时视为稳定状态。用标准液位计测得液位传感器处对应的液位高度  $h_{si}$ ，同时记录液位流量转换仪表显示的液位高度  $h_i$ 。计算当前液位点液位传感器的示值误差  $E_{li}$ ，计算公式为 (1)：

$$E_{li} = \frac{h_i - h_{si}}{h_{si}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$E_{li}$ ——液位示值误差，%；

$h_i$ ——第  $i$  次记录液位流量转换仪表显示的液位高度，mm；

$h_{si}$ ——第  $i$  次标准液位计测得的液位传感器处对应的液位高度，mm。

连续测量  $n$  次 ( $n \geq 3$ )，取  $n$  次示值误差的算术平均值作为测量结果。

重复性按照公式 (2) 计算：

$$s(E_l) = \frac{E_{li_{max}} - E_{li_{min}}}{d_n} \quad (2)$$

式中：

$s(E_l)$ ——液位重复性，%；

$E_{li_{max}}$ ——第  $i$  次校准液位示值误差的最大值，%；

$E_{li_{min}}$ ——第  $i$  次校准液位示值误差的最小值，%；

$d_n$ ——极差系数。

### 7.2.3 流量示值误差和重复性

#### 7.2.3.1 尺寸法

如图 2，测量巴歇尔槽的喉道宽度  $b$ 、喉道长度  $L$ 、喉道深度  $N$ 、边墙高度  $D$ 、收缩段进口宽度  $B_1$ 、收缩段进口长度  $L_1$ 、扩散段出口宽度  $B_2$ 、扩散段出口长度  $L_2$  及液位高度  $h_a$  等参数，其中喉道宽度测点数不少于 5 个，取平均值作为喉道宽度的测量值。对照 JJG 711-1990 中表 9-2 巴歇尔槽尺寸表中的要求，若各参数实际测量值与尺寸表中标准值误差在  $\pm 1.0\%$  或  $\pm 1.0\text{mm}$  之间，按照公式 (3) 计算得到巴歇尔槽实际流量。

$$q_s = 0.372b (3.28 \cdot h_a)^{1.569b^{0.026}} \quad (3)$$

式中：

$q_s$ ——通过测量计算得到的标准瞬时流量值， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$h_a$ ——标准液位计测量的液位高度， $\text{m}$ 。

注：尺寸法适用于满足巴歇尔槽的技术要求的情况。

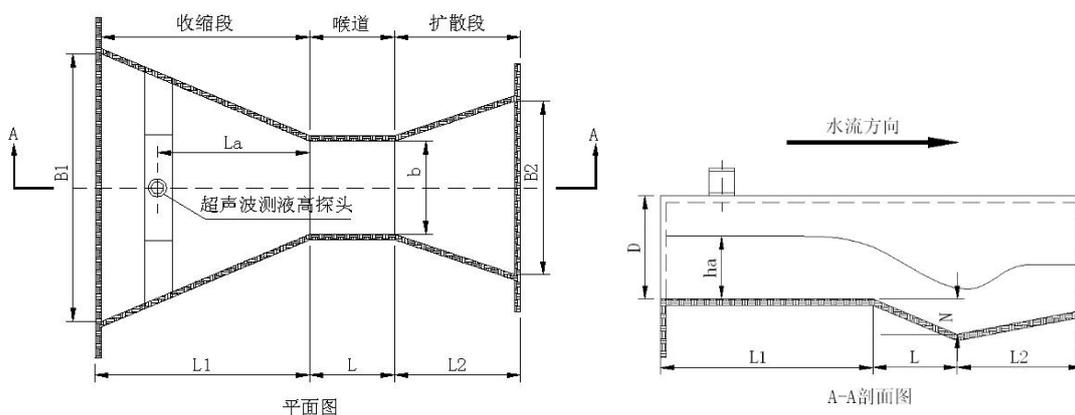


图 2 巴歇尔槽尺寸示意图

#### 7.2.3.2 速度面积法

速度面积法是使用点速度测量巴歇尔槽流量计的流量的方法，即选择巴歇尔槽的某一截面作为测量面，将截面划分成若干更小的截面，然后分别测量每个小截面的面积和平均流速，从而计算出每个小截面上的流量，各小截面流量的总和为巴歇尔槽流量计的流量。

使用速度面积法进行流量测量的方法见附录 A。

流量的计算公式：

$$q_s = \sum_{i=1}^m q_i \quad (4)$$

式中:

$q_i$ ——第  $i$  条测线处构成的小截面流量,  $i = (1, 2, \dots, m)$ ,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$q_s$ ——整个截面流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ , 详见附录 A。

### 7.2.3.3 流量示值误差的计算

流量计流量点单次校准的相对示值误差

$$E_k = \frac{q_{mk} - q_{sk}}{q_{sk}} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

$E_k$ ——第  $k$  次校准时流量计流量点的相对示值误差, %;

$q_{mk}$ ——第  $k$  次校准时流量计显示的瞬时流量值, 可为一次校准过程中多次读取的瞬时流量值的平均值,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$q_{sk}$ ——第  $k$  次校准时计算得到的标准瞬时流量值,  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

流量计校准流量点的相对示值误差:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n E_k \quad (6)$$

式中:

$E$ ——校准流量点的相对示值误差, %;

$n$ ——校准流量点校准次数,  $n \geq 3$ ;

$E_k$ ——校准流量点第  $k$  次校准时巴歇尔槽流量计的相对示值误差, %。

### 7.2.3.4 重复性计算

当校准流量点重复测量  $n$  次时, 该流量点的重复性:

$$E_r = \frac{E_{k_{\max}} - E_{k_{\min}}}{d_n} \quad (7)$$

式中:

$E_r$ ——校准流量点的重复性;

$E_{k_{\max}}$ ——第  $k$  次校准流量示值误差的最大值, %;

$E_{k_{\min}}$ ——第  $k$  次校准流量示值误差的最小值, %;

$d_n$ ——极差系数。

## 8 校准结果的表达

### 8.1 校准记录

校准记录应详尽地记录测量数据和计算结果，记录格式见附录 B。

### 8.2 校准证书

校准证书由封面和校准数据组成，经校准的巴歇尔槽流量计应出具校准证书，校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 C。

不确定度评定方法可参考附录 D。

## 9 复校时间间隔

巴歇尔槽流量计的复校时间间隔建议不超过 1 年。在巴歇尔槽发生变形、液位传感器重新安装等情况下，应重新校准。

## 附录 A

## 巴歇尔槽流量计流量测量方法——速度面积法

## A.1 概述

速度面积法是使用点速度测量巴歇尔槽流量计的流量的方法，即选择巴歇尔槽的某一截面作为测量面，将截面划分成若干更小的截面，然后分别测量每个小截面的面积和平均流速，从而计算出每个小截面上的流量，各小截面流量的总和为巴歇尔槽流量计的流量。

## A.2 满足条件

1) 测量点上游侧巴歇尔槽的直线长度应为其宽度的 5 倍以上，下游侧巴歇尔槽的直线长度应为宽度的 2 倍以上；

2) 当巴歇尔槽的液位发生变化时，单次测量过程中，液位波动度不得超过 2%，波动度按公式 (A.1) 计算：

$$\delta = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2 \cdot \bar{H}} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

式中：

$\delta$ ——液位波动度，%；

$H_{\max}$ ——单次测量过程中液位最大值，m；

$H_{\min}$ ——单次测量过程中液位最小值，m；

$\bar{H}$ ——单次测量过程中，多次液位测量的平均值，m。

3) 测量截面与水流流动方向垂直。

## A.3 测量点的位置与数量

## A.3.1 垂线分布位置

为了保证测量准确，采用平均间隔法对垂线位置进行分布。对于不同巴歇尔槽宽度，垂线数目详见表 A.1。垂线间隔为平均分布，垂线分布中的第一条垂线和最后一条垂线应尽可能的靠近边壁。

表 A.1 平均间隔法垂线数目

巴歇尔槽宽度 $B$ (m)	垂线数目
$B \leq 0.5$	5~6
$0.5 < B \leq 1$	6~7
$1 < B \leq 3$	7~12
$3 < B \leq 5$	13~16
$B > 5$	22

## A.3.2 垂线上测点分布

垂线上流速的测量方法主要有一点法、二点法、三点法、五点法和六点法，由各方法测得的流速取平均得到垂线上的平均流速，各测量方法测点位置分布详见表 A.2。

表 A.2 流速测量方法的测点位置分布

测量方法	测点位置
一点法	0.6H
二点法	0.2H、0.8H
三点法	0.2H、0.6H、0.8H
五点法	水面、0.2H、0.6H、0.8H、底部
六点法	水面、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H、底部

## A.3.2.1 各测量方法垂线上平均流速计算

## A.3.2.1.1 一点法

$$\bar{v}_1 = v_{06} \quad (\text{A.2})$$

## A.3.2.1.2 二点法

$$\bar{v}_2 = \frac{v_{02} + v_{08}}{2} \quad (\text{A.3})$$

## A.3.2.1.3 三点法

$$\bar{v}_3 = 0.25 \times (v_{02} + 2v_{06} + v_{08}) \quad (\text{A.4})$$

## A.3.2.1.4 五点法

$$\bar{v}_5 = 0.1 \times (v_{00} + 3v_{02} + 3v_{06} + 2v_{08} + v_{10}) \quad (\text{A.5})$$

## A.3.2.1.5 六点法

$$\bar{v}_6 = 0.1 \times (v_{00} + 2v_{02} + 2v_{04} + 2v_{06} + 2v_{08} + v_{10}) \quad (\text{A.6})$$

上述式中,  $v_{00}$ 、 $v_{02}$ 、 $v_{04}$ 、 $v_{06}$ 、 $v_{08}$ 、 $v_{10}$  分别为水面位置、距离水面 0.2 倍、0.4 倍、0.6 倍、0.8 倍水深位置及底部位置的流速。

#### A.4 流量测量步骤及计算

本附录示例以平均间隔法为基础, 选取 5 条垂线结合二点法测量计算流量, 分布见图 A.1。

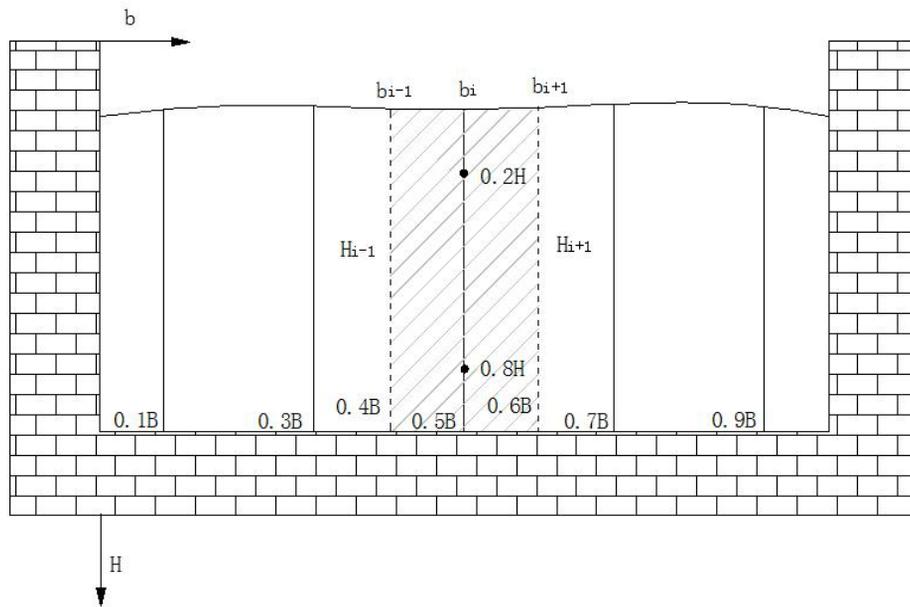


图 A.1 垂线及测点分布图

垂线分别布置在 0.1B、0.3B、0.5B、0.7B 和 0.9B 位置, 在每一条垂线的 0.2H 和 0.8H 水深的位置作为测点。

流量的计算采用中间截面法, 计算公式如下:

$$q_i = \bar{v}_i \times \left( \frac{H_{i+1} + H_{i-1}}{2} \right) \times (b_{i+1} - b_{i-1}) \quad (\text{A.7})$$

式中:

$q_i$  —— 第  $i$  条垂线的小截面流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\bar{v}_i$  —— 第  $i$  条垂线的平均流速,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$H_{i-1}$ 、 $H_{i+1}$  —— 距第  $i$  条垂线相同距离的液位高度,  $\text{m}$ ;

$b_{i-1}$ 、 $b_{i+1}$  —— 距第  $i$  条垂线相同距离的宽度,  $\text{m}$ 。

以图 A.1 为例,  $\bar{v}_i$  可由公式 (A.3) 计算得出, 第三条垂线  $0.5B$  处小截面的边界位置为  $b_{i-1}=0.4B$  和  $b_{i+1}=0.6B$ ,  $H_{i-1}$  和  $H_{i+1}$  分别为  $0.4B$  和  $0.6B$  处液位的高度。

对于一般规则且为矩形的巴歇尔槽,  $H_{i-1} = H_i = H_{i+1}$ , 因此,

$$q_i = \bar{v}_i \times H_i \times 0.2B \quad (\text{A.8})$$

式中:

$H_i$ ——第  $i$  条垂线的液位高度, m。

流经整个截面的流量为:

$$q_s = \sum_{i=1}^m q_i \quad (\text{A.9})$$

式中:

$q_s$ ——流经整个截面的流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$m$ ——总垂线条数。

## 附录 B

## 校准记录参考格式

(尺寸法)

委托单位: \_\_\_\_\_ 委托单位地址: \_\_\_\_\_

器具名称: \_\_\_\_\_ 型号规格: \_\_\_\_\_ 出厂编号: \_\_\_\_\_

制造厂家: \_\_\_\_\_ 环境温度: \_\_\_\_\_ °C 湿度: \_\_\_\_\_ %RH

校准依据: \_\_\_\_\_

标准器及配套设备	型号规格	出厂编号	准确度等级/最大允许误差/不确定度	有效期至

外观及功能检查:

几何尺寸测量结果:

标准值 (m)	允许误差	实测值 (m)	单项结论
喉道宽 $b$ :	$\pm 1.0\%$ 或偏差 $\leq 1.0\text{mm}$		
喉道长 $L$ :			
喉道深 $N$ :			
边墙高 $D$ :			
进口端渠宽 $B_1$ :			
进口收缩段长度 $L_1$ :			
出口端渠宽 $B_2$ :			
出口扩散段长度 $L_2$ :			
超声波探头位置 $L_a$ :			

校准员: \_\_\_\_\_ 核验员: \_\_\_\_\_ 校准日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日 校准地点:

## 校准记录参考格式 (续)

(尺寸法)

液位测量结果

显示液位高度 $h_i$ (mm)	实测液位高度 $h_{si}$ (mm)	示值误差 $E_{li}$ (%)	平均示值误差 $E_l$ (%)	重复性 $s(E_l)$ (%)

流量校准结果:  $b =$  \_\_\_\_\_ m液位高度:  $h_{a1} =$  \_\_\_\_\_ m;  $h_{a2} =$  \_\_\_\_\_ m;  $h_{a3} =$  \_\_\_\_\_ m。

校准流量 (m <sup>3</sup> /h)	显示流量值 $q_{mk}$ (m <sup>3</sup> /h)	实测流量值 $q_{sk}$ (m <sup>3</sup> /h)	示值误差 $E_k$ (%)	平均示值误差 $E$ (%)	重复性 $E_r$ (%)

校准员: \_\_\_\_\_ 核验员: \_\_\_\_\_ 校准日期: \_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 校准地点:

## 校准记录参考格式

(速度面积法)

委托单位: \_\_\_\_\_ 委托单位地址: \_\_\_\_\_

器具名称: \_\_\_\_\_ 型号规格: \_\_\_\_\_ 出厂编号: \_\_\_\_\_

制造厂家: \_\_\_\_\_ 环境温度: \_\_\_\_\_ °C 湿度: \_\_\_\_\_ %RH

校准依据: \_\_\_\_\_

标准器及配套设备	型号规格	出厂编号	准确度等级/最大允许误差/不确定度	有效期至

外观及功能检查:

液位测量结果

显示液位高度 $h_i$ (mm)	实测液位高度 $h_{si}$ (mm)	示值误差 $E_{li}$ (%)	平均示值误差 $E_l$ (%)	重复性 $s(E_l)$ (%)

流量校准结果:

校准流量 (m <sup>3</sup> /h)	显示流量值 $q_{mk}$ (m <sup>3</sup> /h)	实测流量值 $q_{sk}$ (m <sup>3</sup> /h)	示值误差 $E_k$ (%)	平均示值误差 $E$ (%)	重复性 $E_r$ (%)

B=\_\_\_\_\_m

校准员: \_\_\_\_\_ 核验员: \_\_\_\_\_ 校准日期: \_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 校准地点:

## 校准记录参考格式 (续)

(速度面积法)

校准流量 (m <sup>3</sup> /h)	测量次数	1			2			3		
	显示流量 (m <sup>3</sup> /h)									
	实测值	$v_{02}$ (m/s)	$v_{08}$ (m/s)	液位 (m)	$v_{02}$ (m/s)	$v_{08}$ (m/s)	液位 (m)	$v_{02}$ (m/s)	$v_{08}$ (m/s)	液位 (m)
0.1B										
	$q_1=$				$q_1=$			$q_1=$		
0.3B										
	$q_2=$				$q_2=$			$q_2=$		
0.5B										
	$q_3=$				$q_3=$			$q_3=$		
0.7B										
	$q_4=$				$q_4=$			$q_4=$		
0.9B										
	$q_5=$				$q_5=$			$q_5=$		
实测流量 $q_s$ (m <sup>3</sup> /h)										

注：该记录参考格式以 5 条垂线结合二点法为例。

校准员：\_\_\_\_\_ 核验员：\_\_\_\_\_ 校准日期：\_\_\_\_\_年\_\_\_月\_\_\_日 校准地点：\_\_\_\_\_

## 附录C

## 校准证书（内页）参考格式

证书编号 XXX-XXXX				
校准依据				
校准地点				
校准环境条件		温度:            ℃	湿度:        %RH	大气压:            kPa
校准使用的标准器				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/ 最大允许误差	检定/校准证 书编号	有效期至
液位测量结果				
检测液位 (m)		示值误差 (%)		重复性 (%)
流量校准结果				
校准流量 (m <sup>3</sup> /h)	示值误差 $E$ (%)	重复性 $E_r$ (%)	示值误差的相对扩展不确定度 $U_{rel}$ $k=2$ (%)	

————（以下空白）————

## 附录 D

## 巴歇尔槽流量计流量测量不确定度评定示例

## D.1 概述

D.1.1 测量依据：巴歇尔槽流量计在线校准规范

D.1.2 测量标准：标准流速计，MPE：±1.0%；标准液位计，MPE：±0.2%；5m 钢卷尺，II 级。

D.1.3 测量方法：在规定的测量环境条件下，在巴歇尔槽上游的矩形渠道位置，采用速度面积法，取 5 条垂线，每条垂线采用二点法测量。

## D.2 测量模型及灵敏系数

## D.2.1 测量模型

## D.2.1.1 标准流量计算公式

$$q_s = \sum_{i=1}^m q_i = \bar{v}_1 \cdot H_1 \cdot 0.2B + \bar{v}_2 \cdot H_2 \cdot 0.2B + \bar{v}_3 \cdot H_3 \cdot 0.2B + \bar{v}_4 \cdot H_4 \cdot 0.2B + \bar{v}_5 \cdot H_5 \cdot 0.2B \quad (\text{D.1})$$

式中：

$q_s$ ——为流速面积法测得的流经明渠流量计的标准瞬时流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$\bar{v}_i$ ——第  $i$  条垂线的平均流速， $\text{m}/\text{s}$ ；

$H_i$ ——第  $i$  条垂线处的液位高度， $\text{m}$ ；

$B$ ——矩形渠道的渠宽， $\text{m}$ 。

由于每条垂线处的液位基本一致，可使得  $\bar{v} = (\bar{v}_1 + \bar{v}_2 + \bar{v}_3 + \bar{v}_4 + \bar{v}_5)/5$ ，则公式 (D.1)

可简化为：

$$q_s = \bar{v} \cdot H_i \cdot B \quad (\text{D.2})$$

## D.2.1.2 相对示值误差计算公式

$$E_k = \frac{q_{mk} - q_{sk}}{q_{sk}} \times 100\% \quad (\text{D.3})$$

式中：

$E_k$ ——第  $k$  次校准时流量计流量点的相对示值误差，%

$q_{mk}$ ——第  $k$  次校准时流量计显示的瞬时流量值，可为一次校准过程中多次读取的瞬时流量值的平均值， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$q_{sk}$  ——第  $k$  次校准时速度面积法计算得到的标准瞬时流量值,  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

## D.2.2 灵敏系数及不确定度来源

对于测量模型  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , 相对灵敏系数  $c_{ri}$  的表达式为:

$$c_{ri} = \frac{x_i}{y} \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (\text{D.4})$$

相对合成标准不确定度的表达式为:

$$u_{cr}^2(y) = \sum_{i=1}^n c_{ri}^2 u_r^2(x_i) \quad (\text{D.5})$$

被校巴歇尔槽流量计示值误差的不确定度来源主要包含:

- (1) 示值误差测量重复性引入的相对标准不确定度  $u_r(s)$ ;
- (2) 标准流速计引入的相对标准不确定度  $u_r(v)$ ;
- (3) 标准液位计引入的相对标准不确定度  $u_r(H)$ ;
- (4) 钢卷尺测量槽宽引入的相对标准不确定度  $u_r(B)$ 。

## D.3 相对标准不确定度评估

### D.3.1 示值误差测量重复性引入的相对标准不确定度 $u_r(s)$

在  $65\text{m}^3/\text{h}$  流量下进行 3 次相同条件下的测量, 记录流量计显示的瞬时流量值, 通过计算得到标准流量值, 测得的相对示值误差如表 D.1 所示。

表 D.1 校准结果汇总表

校准流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	测量次数	显示流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	标准流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	示值误差 (%)	平均示值误差 (%)
65	1	66.2	65.35	+1.30	+1.65
	2	65.7	64.59	+1.72	
	3	65.4	64.16	+1.93	

由以上数据可得示值误差测量重复性:

$$E_r = \frac{E_{k_{\max}} - E_{k_{\min}}}{d_n} = 0.37\%$$

校准过程采用三次测量平均相对误差作为该流量点的示值误差, 因此示值误差测量重复性引入的相对标准不确定度为:

$$u_r(s) = \frac{E_r}{\sqrt{3}} = 0.215\%$$

### D.3.2 标准流速计引入的相对标准不确定度 $u_r(v)$

由于标准流速计的最大允许误差为 $\pm 1.0\%$ ，按均匀分布可得，

$$u_r(v) = \frac{1.0\%}{\sqrt{3}} = 0.577\%$$

### D.3.3 标准液位计引入的相对标准不确定度 $u_r(H)$

主要来源于标准液位计的最大允许误差引入的不确定度  $u_r(H_1)$  和液位波动度引入的不确定度  $u_r(H_2)$ 。

由于标准液位计的最大允许误差为 $\pm 0.2\%$ ，按均匀分布可得，

$$u_r(H_1) = \frac{0.2\%}{\sqrt{3}} = 0.115\%$$

由于液位波动度不得超过 $\pm 2\%$ ，按均匀分布可得，

$$u_r(H_2) = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.155\%$$

得出  $u_r(H) = \sqrt{u_r(H_1)^2 + u_r(H_2)^2} = 1.160\%$ 。

### D.3.4 钢卷尺测量槽宽引入的相对标准不确定度 $u_r(B)$

钢卷尺的准确度等级为II级，长度为5m，即最大允许误差为 $\pm (0.3\text{mm} + 2 \times 10^{-4}L)$ ，测量巴歇尔槽收缩段指定位置的宽度为263mm，因此相对误差为0.19%，按均匀分布可得，

$$u_r(B) = \frac{0.19\%}{\sqrt{3}} = 0.110\%$$

## D.4 不确定度的评定

### D.4.1 标准不确定度

各相对标准不确定度汇总如表D.2所示。

表 D.2 标准不确定度一览表

序号	符号	标准不确定度来源	标准不确定度 $u_r(x_i)$ (%)	灵敏系数 $c_{ri}$	$ c_{ri} u_r(x_i)$ (%)
1	$u_r(s)$	示值误差测量重复性	0.215	1	0.215
2	$u_r(v)$	标准流速计	0.577	-1	0.577
3	$u_r(H)$	标准液位计	1.160	-1	1.160
4	$u_r(B)$	钢卷尺	0.110	-1	0.110

## D.4.2 合成标准不确定度

因各不确定度分量不相关，合成标准不确定度为

$$u_{cr}(E) = \sqrt{c_{r1}^2 u_r^2(s) + c_{r2}^2 u_r^2(v) + c_{r3}^2 u_r^2(H) + c_{r4}^2 u_r^2(B)} = 1.32\%$$

## D.4.3 扩展不确定度

取置信概率  $p = 95\%$  查分布表得  $k = 2$ ，则

$$U_{rel} = k \times u_{cr}(E) = 2.7\%, \quad k = 2$$

## D.5 校准结果的测量不确定度报告

巴歇尔槽流量计在  $65\text{m}^3/\text{h}$  流量下示值误差校准结果的扩展不确定度为  $U_{rel} = 2.7\%$ ，

$k = 2$ 。