



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 18688—20××/ISO 9644: 2018

代替GB/T 18688—2012

## 农业灌溉设备 灌溉阀的 压力损失 试验方法

Agricultural irrigation equipment—Pressure losses in irrigation valves—Test  
method

(ISO 9644:2018, IDT)

(征求意见稿)

20××-××-××发布

20××-××-××实施

国 家 市 场 监 督 管 理 总 局  
国 家 标 准 化 管 理 委 员 会 发布



## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 18688—2012《农业灌溉设备 灌溉阀的压力损失 试验方法》，与 GB/T 18688—2012 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术内容变化如下：

- a) 更改了范围（见第1章，2012年版的第1章）；
- b) 更改了试验台的压力损失的定义（见3.5，2012年版的2.5）；
- c) 更改了流量测量仪器要求（见3.2.3，2012年版的4.2.3）；
- d) 更改了测压孔要求（见3.2.5,2012年版的4.2.5）；
- e) 更改了测量量的允许波动值要求（见4.2.1，2012年版的5.2.1）；
- f) 更改了阀门试验要求（见4.4，2012年版的5.4）；
- g) 增加了关于测量不确定度的相关内容（见附录A、附录B）。

本文件等同采用 ISO 9644: 2018《农业灌溉设备 灌溉阀的压力损失 试验方法》。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国农业机械标准化技术委员会(SAC/TC201)归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2002年首次发布为 GB/T 18688—2002，2008年第一次修订；

——本次为第二次修订。



# 农业灌溉设备 灌溉阀的压力损失 试验方法

## 1 范围

本文件仅适用于手动阀。

本文件规定了农业灌溉用阀（以下简称阀）在稳态流动状态下，水通过时产生的压力损失的试验方法。试验得出的阀性能参数范围和准确度可用于农业灌溉系统设计者比较各种类型阀的压力损失。

通过压力损失试验，可以得出阀的流量与压力损失的函数关系。

本文件还规定了试验数据的处理方法和试验报告的内容。

本文件未涉及产品的用途、设计和应用。

本文件描述的试验方法适用于进口和出口公称尺寸相等的阀。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

公称尺寸 nominal size  
DN  
用于表示阀规格的数字标记。

### 3.2

流量 volume flow rate, flow rate  
 $q_V$   
单位时间内流经阀的水的体积。

### 3.3

压力损失 pressure loss  
 $\Delta p$   
水流经系统内两个规定点或系统内某一部分时产生的压力差。

### 3.4

管路的压力损失 piping pressure loss  
 $\Delta p_p$   
被试阀上游和下游两个测压孔之间试验管路的压力损失，不包括被试阀的压力损失。（见 5.4.4）

### 3.5

试验台的压力损失 bench pressure loss  
 $\Delta p_b$

测量区域 (measurement area) 上游和下游的测压孔之间的水头损失, 不包括被试阀的压力损失。

### 3.6

阀的压力损失 valve pressure loss

$\Delta p_V$

被试阀的压力损失。

### 3.7

参考流速 reference velocity

$v_{\text{ref}}$

阀的实际流量除以阀的参考截面得出的流速。

### 3.8

稳态流动 steady-state flow

通过某一截面的流量不随时间变化而改变的流动状态。

### 3.9

阀的流量系数 valve flow coefficient

$K_V$

阀处于全开状态、压力损失为 1 bar 时通过阀的流量值 (单位为立方米每小时,  $\text{m}^3/\text{h}$ )。

### 3.10

流动阻力系数 flow resistance coefficient

$\zeta$

表示阀的压力损失的无量纲系数。

## 4 试验装置

### 4.1 测量仪器的准确度

测量仪器的读数值相对于真值的允许偏差如下:

- a) 流量:  $\pm 2\%$ ;
- b) 压力和压力差:  $\pm 2\%$ ;
- c) 温度:  $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

测量仪器应按国家现行的校准规范进行校准。

### 4.2 试验设备

#### 4.2.1 管路

被试阀前后的管路直径应与被试阀的接口相同。直管段的长度应符合图 1 的规定。管子内壁不应有锈蚀、氧化层等可能引起严重紊流的缺陷。

各管件/装置应按图中标示布置, 管路的长度应保证试验设备的间距不小于图 1 虚线框中标注的尺寸, 并且图中标明的  $5d$  和  $10d$  为最小允许长度。

#### 4.2.2 节流阀

在下游安装节流阀用于控制被试阀的流量。该节流阀的类型和规格不受限制。节流阀应安装在下游测压孔 (用于测量试验台的压力) 之后。

#### 4.2.3 流量测量仪器

将测量设备放置在系统顶部。

如果采用开式测量仪器（例如经过标定的量水槽），应安装在系统下游末端，例如下游节流阀之后。

流量测量仪器应按使用说明书进行安装。安装流量测量仪器前后直管段的长度应满足要求。

测量仪器准确度应为±2%。

4.2.4 压差测量仪器

可以采用任何型式的满足准确度要求的压差测量仪器。

4.2.5 测压孔

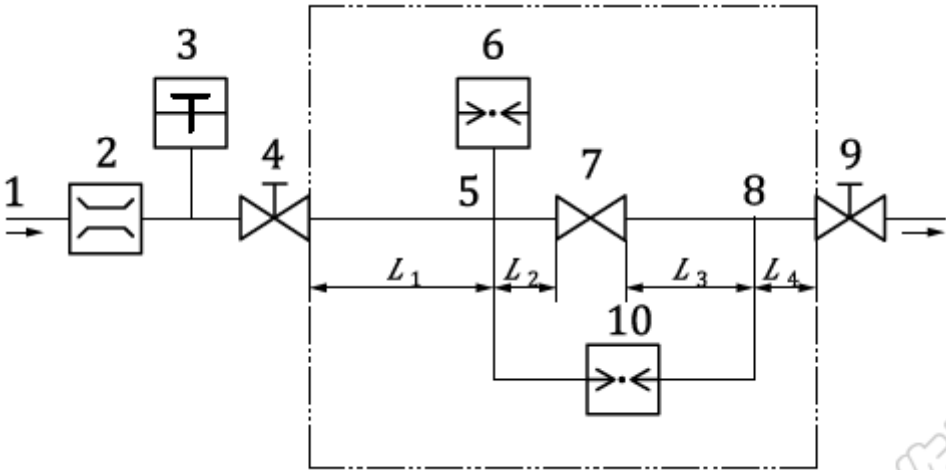
管路中应有测量静水压力的测压孔（见图 2），其位置如图 1 所示。测压孔的中心线应与管子的中心线垂直相交，如图 2 所示。测压孔的直径应按照阀门 DN 选取，见表 1。

表 1 测压孔直径

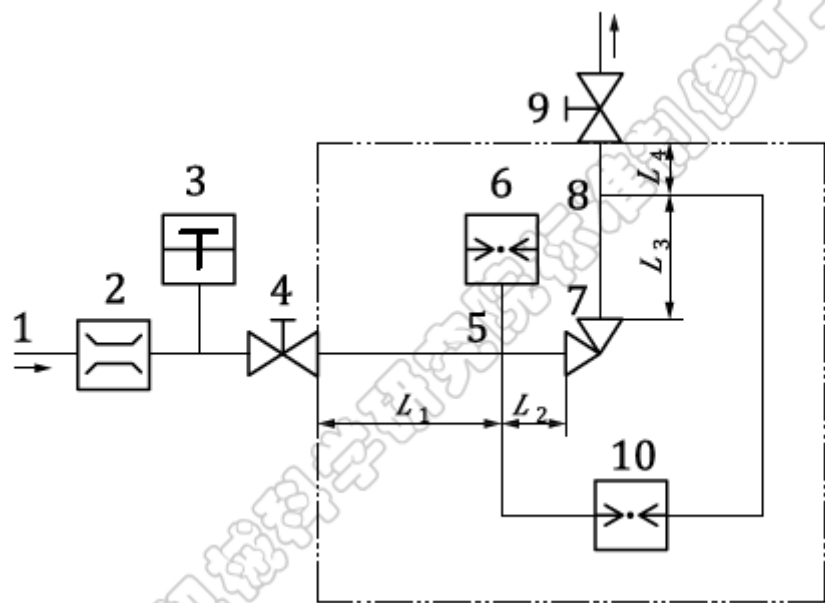
DN	最小孔径 mm	最大孔径 mm
<20	1.5	2
20~50	2	3
大于 50	3	5

测压孔的长度  $l$  应不小于  $2d_1$ 。对于壁厚小于  $2d_1$  的薄壁管应在设置测压孔处的管壁上加一个凸台（见图 2）。

设置测压孔处的管子内壁应进行机加工处理，测压孔不应有毛刺和形状不规则等缺陷。对于直径不小于 50 mm 的管路，应在同一圆周上设置 4 个测压孔，并在圆周方向呈  $90^\circ \pm 5^\circ$  分布；使所有测压孔均不位于管路圆周上的最低点。对直径小于 50 mm 的管路，应在同一圆周上设置 2 个测压孔。管路安装后，测压孔不应位于管路圆周上的最低点。全部测压孔（2 个或 4 个）都应由导管引出，导管内孔的截面积应不小于测压孔截面积的 2 倍。测压孔的  $d_1$  和  $l$  应设计合理，可根据图 2 制作。



a) 直通阀



b) 角阀及多通阀

- 说明:
- |           |           |
|-----------|-----------|
| 1 水源      | 6 上游压力测量点 |
| 2 流量计     | 7 被试阀     |
| 3 温度传感器   | 8 下游压力分接点 |
| 4 调节阀     | 9 调节阀     |
| 5 上游压力分接点 | 10 压差测量仪器 |
- 注: 图 a) 和 b) 中,  $L_1$ 、 $L_3 \geq 10d$ ,  $L_2$ 、 $L_4 \geq 2d$

图 1 试验装置

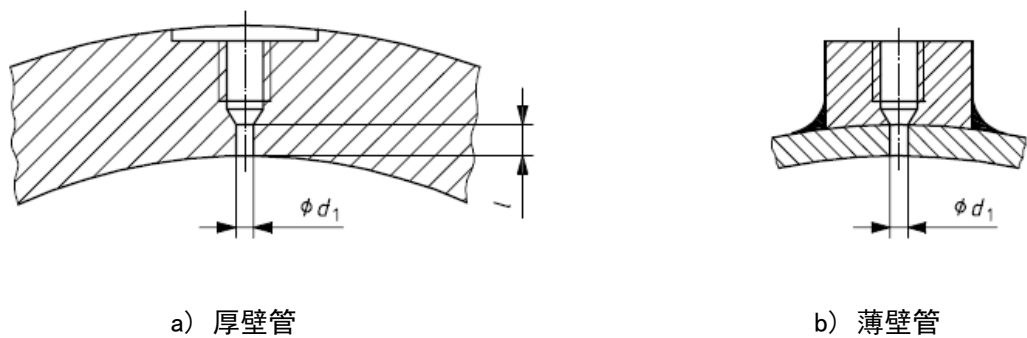


图 2 厚壁和薄壁管路测压孔

4.2.6 温度传感器

可以采用任何满足准确度要求 (见 4.1) 能够测量水温的温度传感器。该仪器应安装在节流阀之前。

4.2.7 过滤装置

如果阀的制造厂建议对水进行过滤, 应在试验系统的首部上游安装一个制造厂推荐的过滤装置。

5 试验程序

5.1 试验安装



将被试阀安装在适当的阀试验台中，如图 1 所示。试验过程中，确保水温保持在 5℃~50℃之间。

5.2 试验条件

5.2.1 测量量的允许波动值

表 2 和表 3 给出了每个测量量允许的波动。

如果出现的波动大于表 2 和表 3 的值，可以通过安装阻尼装置进行测量。阻尼装置的安装不应影响读数的准确度。应使用对称和线性的阻尼装置。

表 2 压差波动值

流动阻力系数 <sup>a</sup> $\zeta$	$\Delta p$ 波动幅度 %
$\zeta > 20$	±6
$4 < \zeta \leq 20$	±10
$1 < \zeta \leq 4$	±17
$0.1 \leq \zeta \leq 1$	±26
<sup>a</sup> 见 6.2.2	

表 3 流量和压力波动值

量	波动幅度 %
流量, $q_V$	5
上游压力, $p_1$	5

5.2.2 稳态状态

在至少 10 s 内观察运行测试点，如果每个量的变化值不超过 1.2%（量的最大读数和最小读数差与平均值的比值）则试验状态为稳态状态。

当处于稳态状态且波动值小于 5.2.1 给出的允许值时，仅记录各个量的一组读数确定测试点。

在达到稳态流动状态，水流无波动时记录所有读数。

5.2.3 非稳态状态

当量的变化量超过 5.2.2 规定的限值时为非稳态状态，在非稳态状态下，应进行下列程序。

在每个测试点，以任意时间间隔但不少于 10 s 内，对被测量重复读数。每个试验点读数应不少于 3 组，波动越大要求的读数组数越多，见表 4 规定。

表 4 读数最少组数的要求

读数组数	量的最大读数和最小读数差与平均值比值允许值 %
3	1.8
5	3.5

7	4.5
9	5.8
13	5.9
>30	6.0

每个被测量所有读数的算术平均值应作为实际值。  
若过大的变化不能被消除时，可通过统计分析计算误差限。

5.3 试验台的压力损失

测量试验台的压力损失 $\Delta p_b$ 时，将被试阀置于全开位置。除非相关标准或制造厂提供的安装和操作说明中另有规定。

测得的试验台的压力损失应包括节流阀（见 3.2.2）的压力损失 $\Delta p_v$ 和管路的压力损失 $\Delta p_p$ ，即

$$\Delta p_b = \Delta p_v + \Delta p_p \cdots \cdots \cdots (1)$$

5.4 阀的试验

5.4.1 应按农业灌溉的实际工作情况安装被试阀，使其开启或运行。阀门应在制造商或固有机械限制规定的全开位置进行测试。

5.4.2 压力损失曲线应在制造商声明的流量范围内测试至少五个流量来确认。试验应在比声明的压力损失至少高 3bar 的近似压力下进行，压力率应比阀门制造商声明的压力损失至少高 3bar。

制造商声明的水头损失与测试结果的偏差不宜超过±10%。

5.4.3 压力损失试验应逐步进行。首先，逐步加大流量进行试验；然后，逐步减小流量进行试验。

5.4.4 试验台的压力损失 $\Delta p_b$ 由压差测量仪器测得。被试阀的压力损失 $\Delta p_v$ 由试验台的压力损失 $\Delta p_b$ 减去管路的压力损失 $\Delta p_p$ 得到：

$$\Delta p_v = \Delta p_b - \Delta p_p \cdots \cdots \cdots (2)$$

管路的压力损失 $\Delta p_p$ 按如下方法测得：

- 从测试系统中取下被试阀。
- 将两段管路直接连接或连入一个压力损失可以忽略不计的管件。
- 分别测量管路的压力损失。

5.4.5 当与供水管路连接的接头和被试阀一起供货时，该接头被视为阀的组成部分。

6 试验结果

6.1 试验结果的表示形式

阀的压力损失 $\Delta p_v$ 按第 4 章的规定进行测量和计算，试验结果应采用下列一种或两种形式表示：

- a) 将对应流量  $q_v$  下的压力损失值和相关系数列成表格（见表 5）；
- b) 将压力损失 $\Delta p_v$ 和流量  $q_v$  之间的函数关系绘成曲线图。

如果仅采用上述表示形式中的一种，推荐采用 b)。

如果连续进行的加大流量和减小流量试验得出的试验结果相同（两个压力损失值偏差不大于较大值的 5%），则应只用一列压力损失数据编制表格[a)]或仅绘制一条曲线[b)]。

## 6.2 阀各种系数的计算

### 6.2.1 概述

对于内部几何形状固定, 如内部截面积不随压力或流量变化而改变的阀, 下列系数应按照6.1规定的表格或曲线中给出的数据进行计算。

### 6.2.2 流动阻力系数 $\zeta$

流动阻力系数用符号 $\zeta$ 表示, 按式(3)计算:

$$\zeta = \frac{2\Delta p_V}{\rho \cdot v_{ref}^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\Delta p_V$ ——阀的压力损失;

$\rho$  ——质量密度, 单位为千克每立方米 ( $\text{kg/m}^3$ );

$v_{ref}$  ——参考流速, 按式(4)计算:

$$v_{ref} = \frac{q_V}{A_{ref}} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$q_V$  ——流量, 单位为立方米每小时 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$A_{ref}$ ——参考截面积, 单位为平方米 ( $\text{m}^2$ ), 按式(5)计算:

$$A_{ref} = \frac{\pi}{4} \left( \frac{DN}{1000} \right)^2 \dots\dots\dots (5)$$

式中:

DN——阀公称直径, 单位为毫米 ( $\text{mm}$ )。

阀公称直径等于管路的公称直径或螺纹尺寸, 阀不需要中间接头应能与该管道连接。

如果进出口尺寸相同, 只有单一数字。

被试阀 $\zeta$ 的值应为阀的三个压力损失值 $\Delta p_{vmin}$ 、 $\Delta p_{vmax}$ 和 $\Delta p_{vmed}$ 分别对应的且按式(3)计算得到的三个流动阻力系数 $\zeta_1$ 、 $\zeta_2$ 和 $\zeta_3$ 的算术平均值。利用三个压力损失值 $\Delta p_{vmin}$ 、 $\Delta p_{vmax}$ 和 $\Delta p_{vmed}$ 对应 $q_V$ 测量值计算公式中对应的 $v_{ref}$ 值。三个 $q_V$ 值从得到的6.1a)数据表格或b)曲线图中查取。

仅当 $\zeta_1$ 、 $\zeta_2$ 和 $\zeta_3$ 的值相对于其平均值 $\zeta$ 的偏差不大于2.5%时, 利用流动阻力系数 $\zeta$ 表征阀的压力损失才是有效的。

### 6.2.3 阀的流量系数 $K_V$

阀的流量系数通常用于比较不同阀的过流能力方面的性能, 流量系数 $K_V$ 表示产生单位压力损失时通过阀的流量。

对水流,  $K_V$ 按公式(6)计算:

$$K_V = q_V \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p_V \cdot \rho_0}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$q_V$  ——体积流量，单位为立方米每小时（ $\text{m}^3/\text{h}$ ）；

$\rho$  ——试验温度下水的质量密度；

$\rho_0$  ——15℃水的质量密度；

$\Delta p_V$  ——阀的压力损失，单位为巴（bar）。

被试阀的 $K_V$ 值应是计算得到的3个流量系数值的算术平均值。从6.1 a) 规定表格或6.1b) 规定曲线中查得 $q_V$ 和 $\Delta p_V$ （ $\Delta p_{Vmin}$ 、 $\Delta p_{Vmax}$ 和 $\Delta p_{Vmed}$ ），分别代入公式（6）可计算得到阀的3个流量系数值。

最大流量系数和最小流量系数之间的允许差值应不大于最大值的4%。

6.3 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 阀的描述（制造厂名称，阀的型号、规格、尺寸及其他特殊信息和标记等；
- b) 阀在试验中按阀体上示意的流动方向安装的证明；
- c) 阀已达到正常全开位置的证明；
- d) 阀的试验执行了本文件的证明；
- e) 试验期间水的压力和温度；
- f) 按6.1规定方式描述的试验结果；
- g) 使用过滤水进行试验产生影响的声明（如制造厂建议使用过滤装置）；
- h) 试验得到的压力损失数据曲线，如推荐的6.1b)；
- i) 试验得到的压力损失数据表格，如表4。

表4 试验结果表格表示形式

流量 $q_V$ $\text{m}^3/\text{s}$	压力损失 $\Delta p_V$ $\text{kPa}$	流动阻力系数 $\zeta$	流量系数 $K_V$ $\text{m}^3/\text{h} \sqrt{\frac{1}{\text{bar}}}$

附录 A  
(资料性)  
测量不确定度

A.1 概述

即使测量程序和仪器以及分析方法严格符合现行法规尤其是本文件中的程序,测量也不可避免地会受到不确定度的影响。

测量不确定度部分取决于仪器或测量方法中的残留不确定度。一旦通过校准消除了所有已知的误差,并且严格记录了尺寸测量值并采用了适当的仪器设备,则如果采用相同的仪器和相同的测量方法,将仍然存在不确定度,该不确定度将永远不会消除,且无法通过重复测量来减小。基于所使用的仪器和对测量方法的认知,对该不确定度分量的评定称为系统不确定度。

由于测量系统特性或被测样数量改变,或由于这两者而导致的另一个误差源直接以测量分布的形式出现。该测量不确定度分量的评定称为随机不确定度。随机不确定度评定需要对所测物理量的波动情况和稳定性进行测量和分析(采用统计方法)。

为减少系统不确定度,操作员应采用更精密的仪器或使用多种测量方法。

使用相同的仪器和测量方法,可以通过增加在相同条件下对相同物理量的测量次数来减少由随机不确定度引起的不确定度。

确定系统不确定度和随机不确定度后,总测量不确定度通过系统不确定度和随机不确定度采用方和根法计算。

在本文件中,如果系统不确定度的有关要求(4.1)和对试验程序的所有要求(如本文件所示)都适用,则可以假定总测量不确定度不超过5.2.1的规定值。

A.2 允许的测量波动

A.2.1 概述

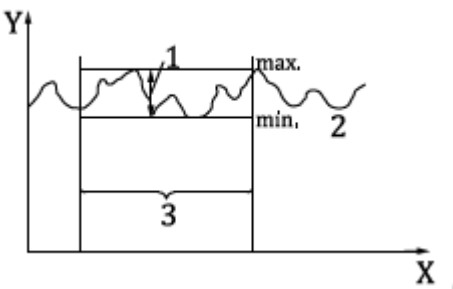
以下示例基于此假设:被测量在被测量系统获取前没有衰减。

A.2.2 目测系统传输信号

如果测量装置不包括电子阻尼器系统,则来自测量装置的信号值会在采集所需的时间内波动。测试者将信号最大值和最小值可视化。

一般情况下,读数为:

$$x_R = \frac{x_{max} + x_{min}}{2} \dots\dots\dots(A.1)$$



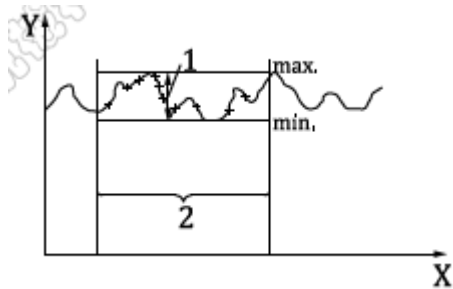
标引说明:  
X——时间

- Y——信号
- 1——波动幅度
- 2——仪器传输信号
- 3——单次目测所需时间

图A.1 波动幅度

A.2.3测量系统传输信号自动记录

当使用自动采集系统时，在给定的时间段内进行了n次测量。则测量次数、相邻两次测量的时间间隔和时间取决于采集系统的属性和配置。



- 标引说明：
- X——时间
  - Y——信号
  - 1——波动幅度
  - 2——一组测量的时间
  - + —— 数据记录系统传输值

图A.2 波动幅度

在这种情况下，测量值为n次测量的算术平均值。

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j \dots\dots\dots(A.2)$$

最大值 ( $X_{max}$ ) 和最小值 ( $X_{min}$ ) 的测量值取自n次测量。

$$X_{max} = \max \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \dots\dots\dots(A.3)$$

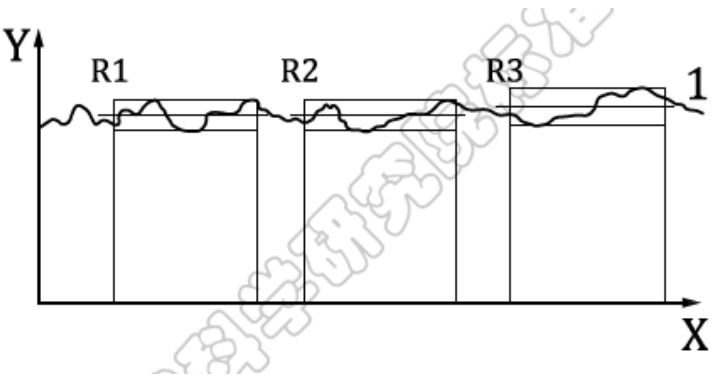
$$X_{min} = \min \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \dots\dots\dots(A.4)$$

百分比  $(X_{max} - X_R)/X_R$  和  $(X_R - X_{min})/X_R$  应与表 1、2 和 3 中的值进行比较。

A.2.4 测量系统传输信号的自动积分

如果所使用的测量系统包括一个积分模块，该模块自动以要求的准确度确保在比相应的系统响应时间更长的积分周期内进行平均值计算所需的积分，则读取值的波动通常会大大低于 5.2.2 和 5.2.3 的规定值。

A.3 物理量测量值的稳定性



标引说明：  
X——时间  
Y——信号  
1——仪器传输信号

图A.3 读取仪器传输信号

上图显示了信号的三个系列的读数。值 $X_{R1}$ ,  $X_{R2}$ ,  $X_{R3}$ 是按照 A.2.2 或 A.2.3 的规定确定的平均值。

要验证信号是否稳定，请执行以下操作：

a) 计算三个值的平均值：

$$X_{avg,1} = (X_{R1} + X_{R2} + X_{R3})/3 \dots\dots\dots(A.5)$$

b) 确定读数的最大值和最小值(在此例中 $X_{max}=X_{R3}$ 、 $X_{min}=X_{R2}$ )

如果 $(X_{R3} - X_{avg,1})/X_{avg,1}$ 和 $(X_{avg,1} - X_{R2})/X_{avg,1}$ 均低于 1.8%，则该信号相对于本文件被认为是稳定的。

如果 $(X_{R3} - X_{avg})/X_{avg}$ 或者 $(X_{avg} - X_{R2})/X_{avg}$ 略高于 1.8%，则进行两次额外的采集。

c) 计算五个值的平均值

$$X_{avg,2} = (X_{R1} + X_{R2} + X_{R3} + X_{R4} + X_{R5})/5 \dots\dots\dots(A.6)$$

d)确定读数的最大值和最小值

— 如果 $(X_{max} - X_{avg,2})/X_{avg,2}$ 和 $(X_{avg,2} - X_{min})/X_{avg,2}$ 低于 3.5%，该信号相对于本文件被认为是稳定的。

— 如果 $(X_{max} - X_{avg,2})/X_{avg,2}$ 和 $(X_{avg,2} - X_{min})/X_{avg,2}$ 略高于 3.5%，则进行两次额外的采集。

e) 重复此过程，直到非常接近 5.2.3 的规定值。然而，如果达到 20 个测量系列并且最高值和最低值之间的允许偏差读数相对于平均值高于 6，则该过程应停止：信号不是永久的。

A. 4 测定湍流额定条件下的流量和压力损失系数

对于 DN50 阀的测试，表 A.1 列出了三个不同点的测量值平均值。

表A.1 测量值平均值

测量点	流量 m <sup>3</sup> /h	上游压 力 bar	阀和管 的压差 bar	管压差 bar	阀压差 bar	流速 m/s	$Re$	$K_V$	$\zeta$
1	41.44	5.150	0.254	0.042	0.212	5.86	2,93E + 05	90.0	1.235
2	36.36	5.556	0.194	0.032	0.162	5.15	2,58E + 05	90.3	1.222
3	28.99	5.679	0.122	0.021	0.101	4.10	2,05E + 05	91.2	1.202

在本例中，雷诺数的最小值是号文件要求的授权值（4E+04）的 5 倍。事实证明，在足够高的压差下操作可以获得要求的准确度的测量值。

$K_V$  的算术平均值：

$$(90,0 + 90,3 + 91,2)/3 = 90,5$$

$K_V$  的最大值和最小值之间的差值除以算术平均值，并以百分比形式表示：

$$[(91,2 - 90,0) \times 100]/90,5 = 1,32 \%$$

当两者之差小于 4 % 时，无汽蚀情况下的湍流系数  $K_V$  为 90.5。



附录 B

(资料性)

评定流量系数Kv和压力损失系数ζ的不确定度

B. 1概述

ISO/IEC指南98-3（称为GUM）提供了估算不确定度的国际方法。估算不确定度的方法有很多，严格的数学方法在GUM中得到了最广泛的描述，但也可以使用其他与之相符的方法。

GUM组的不确定度类型根据数据获得方式可分为A类和B类。A类由重复测量的统计方法计算得到，而B类则从其他来源得到，例如参考材料、校准证书、常数的接受值、分辨率、不稳定性、环境条件。

复合方法通常是最合适的，且经常被应用，是因为它不可能单独估计各个不确定度。在此，B类与参考传感器和质量控制传感器一起使用，以避免一些系统不确定度。

A类不确定度是对试验数据进行统计分析得出的一种估计值。当被测对象的值是几个测试结果的平均值或与非独立变量有关时，优选使用A类不确定度评估。

B.2 Kv测量不确定度的评定(Cv)

B.2.1 流量系数的确定

阀的流量特性参数是流量系数Kv，如下公式给出了被测量和输入量。

$$K_v = q_v \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0 \Delta p}} \dots\dots\dots(B.1)$$

式中：

$q_v$ ——体积流量，单位为立方米每小时 (m³/h)

$\rho$ ——试验流体（水）的密度，单位为千克每立方米(kg/m³)

$\rho_0$ ——15℃时试验流体（水）的密度，单位为千克每立方米(kg/m³)

$\Delta p$ ——阀门压力损失，单位为巴(bar)

B.2.2 输入量的不确定度识别

根据公式（B.1），需要的被测量如下：

—— $q_v$  体积流量。根据表 2 给出的测量仪器准确度确定的最大不确定度 $e_{q_v}$ 。

对于流量测量设备中的某些技术，可能会出现额外的不确定度；有时流量测量值取决于上游压力。应当评估这种偏差，并将其添加到之前的 $e_{q_v}$ 中。因此，流量计最好位于上游测量管的前面，因为该部分不会受到明显的压力变化。

—— $\Delta p$ 上游停滞压力。

根据表 1 中给出测量仪器的准确度确定的最大不确定度 $e_{\Delta p}$ 。

这些输入量是独立变量，且可以计算灵敏度。

B.2.3 灵敏度系数

根据输入参数，从公式（B.1）的偏导数获得灵敏度系数

$$dK_v = \frac{\delta K_v}{\delta q_v} dq_v + \frac{\delta K_v}{\delta \Delta p} d\Delta p + \frac{\delta K_v}{\delta \rho} d\rho + \frac{\delta K_v}{\delta \rho_0} d\rho_0 \dots\dots\dots(B.2)$$

灵敏度系数 $a_{q_v}$ 由下式给出：

$$a_{q_v} = \frac{\delta K_v}{\delta q_v} \left( \frac{q_v}{K_v} \right) = 1 \dots\dots\dots(B.3)$$

灵敏度系数 $a_{\Delta p}$ 由下式给出：

$$a_{\Delta p} = \frac{\delta K_v}{\delta \Delta p} \left( \frac{\Delta p}{K_v} \right) = -\frac{1}{2} \dots\dots\dots(B.4)$$

灵敏度系数 $a_{\rho}$ 由下式给出：

$$a_{\rho} = \frac{\delta K_v}{\delta \rho} \left( \frac{\rho}{K_v} \right) = \frac{1}{2} \dots\dots\dots(B.5)$$

灵敏度系数 $a_{\rho_0}$ 由下式给出：

$$a_{\rho_0} = \frac{\delta K_v}{\delta \rho_0} \left( \frac{\rho_0}{K_v} \right) = -\frac{1}{2} \dots\dots\dots(B.6)$$

B.2.4 A 类评估不确定度

系数  $K_v$  平均值的估计是通过几个测量点的平均值获得的，例如：

$$\overline{K_v} = \frac{1}{n} \sum_i K_{vi} \dots\dots\dots(B.7)$$

式中：

- $n$  ——测量点数量；
- $K_{vi}$  ——i处数据的测量结果。

试验标准偏差 $\sigma_{K_v}$ 表征了测量期间观测值  $K_{vi}$  的变化性：

$$\sigma_{K_v} = \sqrt{\frac{\sum_i (K_{vi} - \overline{K_v})^2}{n-1}} (n>1) \dots\dots\dots(B.8)$$

B.2.5 相关不确定度的表达

表 B.1 总结了不确定度计算中要使用的系数。

表 B.1 不确定度计算系数

不确定度来源	相对不确定度	概率分布类型	标准不确定度除数	灵敏度系数 S	对全体不确定度的贡献	相对不确定度
--------	--------	--------	----------	------------	------------	--------

	$U(x)$			$u(x) = \frac{U(x)}{d}$	$a_i$	$U(x)$
测量重复性	—	—	—	$\frac{\sigma_{K_V}}{K_V}$	1	$\left(\frac{\sigma_{K_V}}{K_V}\right)^2$
压力测试	$U(\Delta p)$	正常	2	$u(\Delta p)$	0.5	$0.25u^2(\Delta p)$
流量测试	$U(q_V)$	正常	2	$u(q_V)$	1	$u^2(q_V)$
密度测试	$U(\rho)$	矩形	1.73	$u(\rho)$	0.5	$0.25u^2(\rho)$
15℃时密度	$U(\rho_0)$	矩形	1.73	$u(\rho_0)$	0.5	$0.25u^2(\rho_0)$

系数  $K_V$  的扩展不确定度由公式 (B.9) 确定:

$$U(K_V) = 2 \sqrt{\sum [a_i u(x_i)]^2} \dots\dots\dots (B.9)$$

流量系数的相对扩展不确定度由下式给出:

$$\frac{\Delta K_V}{K_V} = 2 \sqrt{\left(\frac{a_{q_V}}{2} \frac{\Delta q_V}{q_V}\right)^2 + \left(\frac{a_{\Delta p}}{2} \frac{\Delta \Delta p}{\Delta p}\right)^2 + \left(\frac{a_\rho}{1.73} \frac{\Delta \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{a_{\rho_0}}{1.73} \frac{\Delta \rho_0}{\rho_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{K_V}}{K_V}\right)^2} \dots\dots\dots (B.10)$$

### B.3 ζ 测量不确定度的评定

#### B.3.1 流动阻力系数的确定

阀门系数  $\zeta$ , 由式 (B.11) 确定。需要的被测输入量如下:

$$\zeta = \frac{2\Delta p_V}{\rho \bar{v}^2} \dots\dots\dots (B.11)$$

式中:

$\bar{v}$  ——平均流速, 单位为米每秒 (m/s);

$\rho$  ——测试流体 (水) 的密度, 单位为千克每立方米 (kg/m<sup>3</sup>);

$\Delta p_V$  ——阀门压力损失, 单位为帕 (Pa)。

#### B.3.2 输入量不确定度的识别

根据公式 (B.11), 被测输入量是

— $\bar{v}$

— $\Delta p_V$

这些输入量是自变量, 灵敏度可以计算。

## B.3.3 灵敏度系数

灵敏度系数由公式 (B.11) 根据输入参数的偏导数得到。

$$d\zeta = \frac{\delta\zeta}{\delta\Delta p} d\Delta p + \frac{\delta\zeta}{\delta\rho} d\rho + \frac{\delta\zeta}{\delta\bar{V}} d\bar{V} \quad \text{.....(B.12)}$$

灵敏度系数  $a_{\Delta p}$  由以下公式给出:

$$a_{\Delta p} = \frac{\delta\zeta}{\delta\Delta p} \left( \frac{\Delta p}{\zeta} \right) = 1 \quad \text{.....(B.13)}$$

灵敏度系数  $a_{\rho}$  由以下公式给出:

$$a_{\rho} = \frac{\delta\zeta}{\delta\rho} \left( \frac{\rho}{\zeta} \right) = -1 \quad \text{.....(B.14)}$$

灵敏度系数  $a_{\bar{V}}$  由以下公式给出:

$$a_{\bar{V}} = \frac{\delta\zeta}{\delta\bar{V}} \left( \frac{\bar{V}}{\zeta} \right) = -2 \quad \text{.....(B.15)}$$

对于速度的不确定度, 可根据下列公式计算。

平均速度由下列关系式给出:

$$\bar{V} = \frac{q_v \times 10^6}{\left( \frac{\pi d^2}{4} \right)} \quad \text{.....(B.16)}$$

式中:

$q_v$  —— 体积流量, 单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$d$  —— 测试管内径, 单位为毫米 (mm)。

此时, 灵敏度系数由下列公式计算

$$a_q = \frac{\delta\bar{V}}{\delta q} \left( \frac{q_v}{\bar{V}} \right) = 1 \quad \text{.....(B.17)}$$

和

$$a_D = \frac{\delta\bar{V}}{\delta q_v} \left( \frac{d}{\bar{V}} \right) = -2 \quad \text{.....(B.18)}$$

因此, 速度测量的不确定度可以计算如下

$$\frac{\Delta\bar{V}}{\bar{V}} = \sqrt{\left( \frac{a_{q_v} \Delta q_v}{2 q_v} \right)^2 + \left( \frac{a_d \Delta d}{m d} \right)^2} \quad \text{.....(B.19)}$$

其中, 如果直径已被测量, 则  $m=2$ ; 如果制造商给出直径, 则  $m=1.73$ 。

B.3.4 A 类不确定度评定

通过几个测量点的平均值得到系数  $\zeta$  的均值估计，例如：

$$\bar{\zeta} = \frac{1}{n} \sum_i \zeta_i \dots\dots\dots (B.20)$$

式中：

n——为测量点数量；

$\zeta_i$ ——为测量点*i*处测量数据的结果。

实验标准偏差  $\sigma_\zeta$  表征了测量期间观测值  $\zeta_i$  的变化。

$$\sigma_\zeta = \sqrt{\frac{\sum_i (\zeta_i - \bar{\zeta})^2}{n - 1}} (n > 1) \dots\dots\dots (B.21)$$

B.4  $\zeta$  相对不确定度的表达

由公式（B.22）给出了流动阻力系数的相对扩展不确定度。

$$\frac{\Delta \zeta}{\zeta} = 2 \sqrt{\left(\frac{a_{\Delta p}}{2} \frac{\Delta \Delta p}{\Delta p}\right)^2 + \left(\frac{a_{\bar{v}}}{2} \frac{\Delta \bar{V}}{\bar{V}}\right)^2 + \left(\frac{a_\rho}{1.73} \frac{\Delta \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\zeta}{\bar{\zeta}}\right)^2} \dots\dots\dots (B.22)$$

参考文献

- [1] ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*
- [2] EN 1267:2012, *Industrial valves—Test of flow resistance using water as test fluid*
-