

中华人民共和国国家计量技术规范

**JJF XXXX-XXXX**

**大口径插入式流量计校准规范**

**Calibration Specification for Large Diameter Plug-in Flow Meters**

（征求意见稿）

XXXX－XX－XX发布 XXXX－XX－XX实施

**国家市场监督管理总局** 发 布

|  |  |
| --- | --- |
| 大口径插入式流量计  校准规范  **Calibration Specification for Large Diameter Plug-in Flow Meters** | JJF XXXX-XXXX |

归口单位: 全国碳达峰碳中和计量技术委员会

主要起草单位: 中国计量科学研究院

郑州计量先进技术研究院

中国环境监测总站

参加起草单位: 广东省计量科学研究院

上海市计量测试技术研究院

本规范委托全国碳达峰碳中和计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

张亮（中国计量科学研究院）

鲁贵祥（郑州计量先进技术研究院）

师耀龙（中国环境监测总站）

参加起草人：

郭虎林（郑州计量先进技术研究院）

周军红（广东计量科学研究院）

赖贵琦（广东计量科学研究院）

李海洋（上海计量测试研究院）

目 录

[引 言 II](#_Toc11978)

[1 范围 1](#_Toc3542)

[2 引用文件 1](#_Toc20340)

[3 术语和计量单位 1](#_Toc30280)

[3.1 术语和定义 1](#_Toc26360)

[3.2 计量单位 2](#_Toc11478)

[4 概述 2](#_Toc32030)

[5 计量特性 3](#_Toc10635)

[5.1 流量示值误差 3](#_Toc935)

[5.2 重复性 3](#_Toc29081)

[6 校准条件 3](#_Toc9126)

[6.1 环境条件 3](#_Toc1989)

[6.2 测量标准及其他设备 3](#_Toc25280)

[7 校准项目和校准方法 5](#_Toc6455)

[7.1 校准项目 5](#_Toc18256)

[7.2 校准方法 5](#_Toc4477)

[8 校准结果表达 15](#_Toc6846)

[9 复校时间间隔 15](#_Toc22542)

[附录A 数值模拟标准装置轴向速度修正 16](#_Toc9108)

[附录B 采样点的位置和数目 19](#_Toc15622)

[附录C 对向测量偏航角、俯仰角的计算 29](#_Toc25282)

[附录D 标准装置平均轴向流速计算方法及状态转换 31](#_Toc8214)

[附录E 原始记录表 33](#_Toc11125)

[附录F 校准证书（内页）参考格式 39](#_Toc4727)

[附录G 不确定度评定示例 40](#_Toc2178)

[附录H 扰流件参考结构和形式 43](#_Toc4568)

引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范制定的基础性系列规范。

本规范参考GB/T 16157-1996 《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》、JJG 518-1998 《皮托管》、JJG 643 《标准表法流量标准装置》、JJG 1038 《科里奥利质量流量计》、HJ75《 固定污染源烟气（SO2、NOx、颗粒物）排放连续监测技术规范》、HJ76 《固定污染源烟气（SO2、NOx、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法》和HJ/T 397-2007《固定源废气监测技术规范》编制而成。

本规范为首次发布。

大口径插入式流量计校准规范

# 1 范围

本规范适用于水力直径大于等于400mm以上的单点（如皮托式流量计）、多点（如矩阵式流量计）和巴类插入式流量计的校准。

# 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 518 皮托管检定规程

JJG 643 标准表法流量标准装置

JJG 835 速度-面积法流量装置检定规程

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1004 流量计量名词术语及定义

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB/T 32201 气体流量计

HJ75 固定污染源烟气（SO2、NOx、颗粒物）排放连续监测技术规范

HJ76 固定污染源烟气（SO2、NOx、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法

HJ/T 397 固定源废气监测技术规范

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本，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 术语和定义

3.1.1 流量 flow rate

流体流过一定截面的量称为流量。流量是瞬时流量和累积流量的统称。在一段时间内流体流过一定截面的量称为累积流量，也称总量。当时间很短时，流体流过一定截面的量称为瞬时流量，在不会产生误解的情况下，瞬时流量也可简称流量。流量用体积表示时称为体积流量，用质量表示时称为质量流量。

3.1.2 流量计 flowmeter

测量流量的器具。通常由一次装置和二次装置组成。

注：准确度高、稳定性好，可作为其他流量计比对标准使用的流量计称为标准流量计。

3.1.3 最大流量 maximum flow-rate

满足计量性能要求的最大流量。

3.1.4最小流量 minimum flow-rate

满足计量性能要求的最小流量。

3.1.5 流量范围 flow-rate range

由最大流量和最小流量所限定的范围，在该范围内满足计量性能的要求。

3.1.6 直管段 straight length

安装在流量计上游和下游的用于使流场达到某种要求的管段。其轴线是笔直的而且内部横截面的面积和形状不变，横截面形状通常为圆形或矩形，也可为环形或任何其他有规则的形状。

3.1.7 水力直径 hydraulic diameter

四倍的湿横截面面积与湿圆周长度之商。

注:对于充满流体的圆形管道，水力直径等于管道内径。

3.2 计量单位

3.2.1 长度单位：米，符号m；或毫米，符号mm。

3.2.2 面积单位：平方米，符号m2。

3.2.4 流速单位：米每秒，符号m/s。

3.2.5 流量单位：立方米每[小]时，符号m3/h。

3.2.6 压力单位：帕[斯卡]，符号Pa；或千帕，符号kPa。

3.2.7 温度单位：摄氏度，符号℃；或开尔文，符号K。

3.2.8 角度单位：度，符号°；或弧度，符号rad。

# 4 概述

大口径插入式流量计主要由一次装置和二次装置组成。一次装置用于产生流量信号,包括测量管和感知 流量的传感部件，二次装置接受来自一次装置的信号，并显示、记录、转换和(或)传送该 信号以得到流量值。在有多个显示、记录方式的测量系统中，只能有一种显示、记录方式 作为计量、控制等主要目的使用，其余显示、记录应作为监视等非主要用途使用。

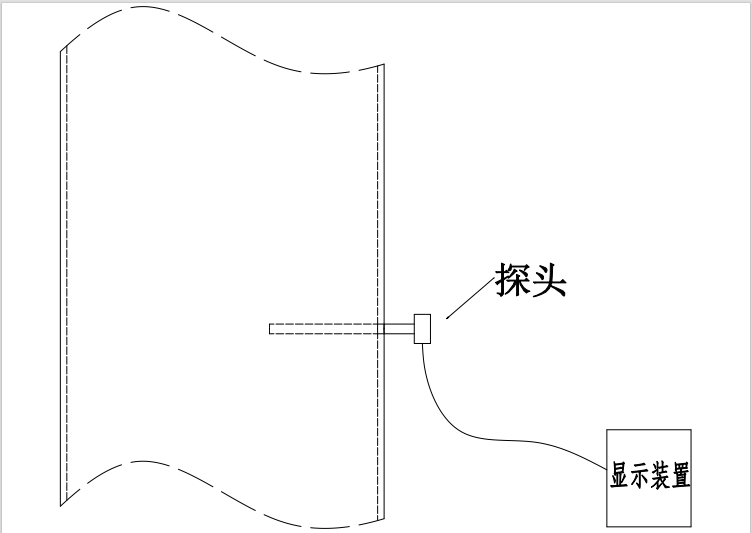
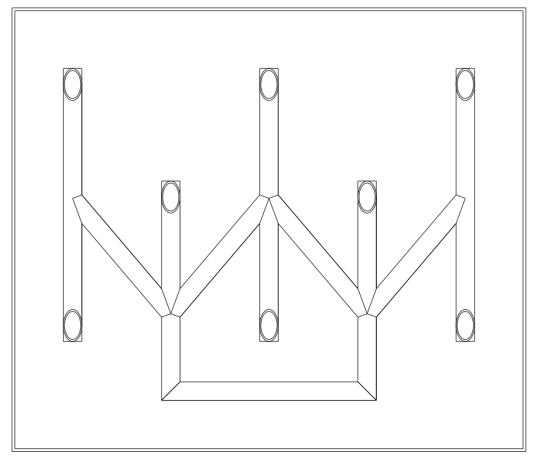
 

图1.单点（左）和多点（右）插入式流量计示意图

按测量原理可以分为插入式差压流量计、插入式电磁流量计、涡街流量计等。

插入式流量计主要用于测量大口径管道瞬时流量或累积流量。

# 5 计量特性

5.1 流量示值误差

流量计示值误差通常使用最大允许误差表示，最大允许误差与准确度等级见表1。

表1 流量计最大允许误差与准确度等级

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 准确度等级 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
| 最大允许误差/% | ±0.5 | ±1.0 | ±2.0 | ±3.0 | ±4.0 | ±5.0 |

5.2 重复性

流量计重复性不得超过相应最大允许误差绝对值的 1/3。

注：该计量技术指标不作为合格判定依据

# 6 校准条件

6.1 环境条件

1) 校准使用的标准器及配套设备需满足使用的温湿度条件;

2) 校准应在周围的污染、振动、电磁干扰对校准结果影响可忽略的环境下进行。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1主标准器

主标准器为大口径气体流量标准装置（以下简称标准装置），主标准器应满足表2要求。

表2 主标准器一览表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备名称 | 技术要求 | 用途 |
| 1 | 大口径气体流量标准装置 | （1）流速范围：（1~30）m/s；流量范围：（2520~190755）m3/h；  （2）流场稳定性≤0.5%；  （3）气体流量标准装置流量扩展不确定度不超过被校标准装置平均流速示值误差的1/3；  （4）测试段包括圆形和矩形管道，水力直径≥1m，长度≥21倍的水力直径。 | 产生标准流速流量 |
| 2 | 风洞 | （1）测试段水力直径不小于0.5m；  （2）流场均匀性≤0.5%；  （3）流场稳定性≤0.5%；  （3）流速范围：（1~30）m/s，流速测量扩展不确定度≤1%；  （4）俯仰角测量范围：-45°~45°，  偏航角测量范围：-45°~45°，  俯仰角和偏航角不确定度≤0.1°； | 校准单点轴向流速 |
| 3 | 三维皮托管烟道流量标准装置 | 1）流速测量技术要求：  测量范围：（1~30）m/s，  俯仰角测量范围：(-45~45)°，  偏航角测量范围：(-45~45)°；  2）截面面积测量技术要求：  水力直径测量范围：（0.3~13m）；  3）流量测量技术要求：  流量准确度等级：（1~5）级； | 用于现场校准，测量烟道内平均流速、截面面积、并计算流量 |

6.2.2 配套设备

配套设备见表3。

表3 配套设备一览表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备名称 | 技术指标 | 用途 |
| 1 | 差压计 | 量程：（-1250~1250）Pa  分辨力≤1Pa  准确度等级优于1.0级 | 气密性检查 |
| 2 | 气压计 | 0.1级以上 | 测量大气压力 |
| 3 | 温度计 | 最大允许误差：±0.1℃ | 测量温度 |
| 4 | 湿度计 | 最大允许误差：±5% | 测量湿度 |
| 5 | 烟气气体组分分析仪 | 测量范围：O2: （0~25）%  CO: （0~10000）μmol/mol  CO2:（0~50）%  NO: （0~3000）μmol/mol  NO2: （0~500）μmol/mol  N2O: （0~500）μmol/mol  SO2: （0~3000）μmol/mol  CH4: （0~10000）μmol/mol  浓度MPE：±5%（相对误差） | 测量烟气密度 |

# 7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

流量的示值误差和重复性

7.2 校准方法

客户可根据自身需要选用实验室或现场校准的方法进行大口径插入式流量计校准。

7.2.1 实验室校准

7.2.1.1大口径插入式流量计现场烟道安装位置满足上游直管段10D，下游直管段2D。

备注：D为烟道水力直径。

a） 一般检查

外观检查确定流量计的标识清晰明确（制造厂家、型号、出厂编号、校准系数等）。

b）校准前准备

1）将大口径插入式流量计探头固定在大口径气体流量标准装置对应管道（与现场安装管道直径一致）中心位置。

2）按照使用说明，调整被校流量计探头指向来流方向，并按要求连接电源。

3）打开流量计预热20min（使用说明有规定预热时间的按使用说明预热）以上。

4）校准点的选取

在0.9*Q*max~1.0*Q*max 、0.4 *Q*max ~ 0.6 *Q*max 、*Q*min~1.1*Q*min不少于3个流量点进行校准。

c）校准程序

1）调整大口径气体流量标准装置流量至第一个校准点，待大口径气体流量标准装置和被校流量计运行稳定后开始校准。

2）校准过程中，同时采集被校流量计和大口径气体流量标准装置流量示值。

3）大口径气体流量标准装置和被校流量计瞬时流量的读取采用间歇读数方法，一次校准过程中有效读数次数不得少于3次，取其平均值作为该次校准的瞬时流量值。

4）调整大口径气体流量标准装置流量至下一个校准点，重复上述操作，直至校准完成。

d）若实验室大口径气体流量标准装置管道直径或水力直径与现场烟道直径或水力直径不一致时。

注：矩阵式流量计必须在与实际烟道口径对应的管道上进行校准。

1）按照a）~c）步骤进行校准。

2）对现场烟道和大口径气体流量标准装置管道进行数值仿真，确定不同管道口径下的流场修正系数。

e）数据处理

1）实验校准系数

 （1）

其中：

——实验室内校准系数；

——大口径气体流量标准装置标准流量值，m3/h；

——被校插入式流量计速度值，m3/h。

2）示值误差

 （2）

其中：

——示值误差。

3）流场修正系数

 （3）

其中：

——流场修正系数；

——实际烟道口径仿真结果截面平均流速，m/s；

——实际烟道口径仿真结果截面测点流速，m/s；

——大口径烟气流量标准装置口径仿真结果截面平均流速，m/s；

——大口径烟气流量标准装置口径仿真结果截面测点流速，m/s。

备注：只有在现场烟道与实验室管道管径不一致时使用。

4）

 （4）

——校准系数；

7.2.1.2 大口径插入式流量计现场烟道安装位置不满足上游直管段10D，下游直管段2D。

a） 一般检查

外观检查确定流量计的标识清晰明确（制造厂家、型号、出厂编号、校准系数等）。

b）单点流速校准前准备

注：只适用于单点式流量计。

1）将被校插入式流量计（单点式）固定在风洞实验段中心位置。

2）连接被校流量计（单点式）电源及管路（如有），并检查管路气密性。

3）按说明书预热一段时间，待示数稳定。

4）在0.9*v*max~1.0*v*max 、0.4 *v*max ~ 0.6 *v*max 、*v*min~1.1*v*min不少于3个流速下进行校准。

5）俯仰角和偏航角如表4所示

表4 校准位置一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 俯仰角（°） | 偏航角（°） | 序号 | 俯仰角（°） | 偏航角（°） |
| 1 | -45 | -45 | 20 | -45 | 45 |
| 2 | -40 | -40 | 21 | -40 | 40 |
| 3 | -35 | -35 | 22 | -35 | 35 |
| 4 | -30 | -30 | 23 | -30 | 30 |
| 5 | -25 | -25 | 24 | -25 | 25 |
| 6 | -20 | -20 | 25 | -20 | 20 |
| 7 | -15 | -15 | 26 | -15 | 15 |
| 8 | -10 | -10 | 27 | -10 | 10 |
| 9 | -5 | -5 | 28 | -5 | 5 |
| 10 | 0 | 0 | 29 | 0 | 0 |
| 11 | 5 | 5 | 30 | 5 | -5 |
| 12 | 10 | 10 | 31 | 10 | -10 |
| 13 | 15 | 15 | 32 | 15 | -15 |
| 14 | 20 | 20 | 33 | 20 | -20 |
| 15 | 25 | 25 | 34 | 25 | -25 |
| 16 | 30 | 30 | 35 | 30 | -30 |
| 17 | 35 | 35 | 36 | 35 | -35 |
| 18 | 40 | 40 | 37 | 40 | -40 |
| 19 | 45 | 45 | 38 | 45 | -45 |
| 序号 | 俯仰角（°） | 偏航角（°） | 序号 | 俯仰角（°） | 偏航角（°） |
| 39 | -45 | 0 | 58 | 0 | -45 |
| 40 | -40 | 0 | 59 | 0 | -40 |
| 41 | -35 | 0 | 60 | 0 | -35 |
| 42 | -30 | 0 | 61 | 0 | -30 |
| 43 | -25 | 0 | 62 | 0 | -25 |
| 44 | -20 | 0 | 63 | 0 | -20 |
| 45 | -15 | 0 | 64 | 0 | -15 |
| 46 | -10 | 0 | 65 | 0 | -10 |
| 47 | -5 | 0 | 66 | 0 | -5 |
| 48 | 0 | 0 | 67 | 0 | 0 |
| 49 | 5 | 0 | 68 | 0 | 5 |
| 50 | 10 | 0 | 69 | 0 | 10 |
| 51 | 15 | 0 | 70 | 0 | 15 |
| 52 | 20 | 0 | 71 | 0 | 20 |
| 53 | 25 | 0 | 72 | 0 | 25 |
| 54 | 30 | 0 | 73 | 0 | 30 |
| 55 | 35 | 0 | 74 | 0 | 35 |
| 56 | 40 | 0 | 75 | 0 | 40 |
| 57 | 45 | 0 | 76 | 0 | 45 |

c）单点校准程序

1）打开风机，调整风速至第一个校准流速点。

2）调整坐标架至第一个俯仰角和偏航角位置。

3）稳定20s以上，标准风速和被校插入式流量计（单点式）的读取采用间歇读数方法，一次校准过程中有效读数次数不得少于3次，取其平均值作为该次校准的流速值。

4）移动坐标架至下一个俯仰角和偏航角位置，重复2）操作。

5）依次按表4中的俯仰角和偏航角进行校准，直到该流速下的所有俯仰角和偏航角校准完成。

6）调整风速到下一个校准风速点，重复2）~5）步骤，直至校准完成。

d）流量积分校准前准备

1）确定被校插入式流量计安装在试验段位置，并在上游对应位置安装附录H中的扰流件（与现场安装直管段位置保持一致）及安装试验段管道水力直径，并将水力直径值输入被校流量计参数中。

2）确定校准点位置

在0.9*Q*max~1.0*Q*max 、0.4 *Q*max ~ 0.6 *Q*max 、*Q*min~1.1*Q*min不少于3个流量点下进行校准。

3）将被校插入式流量计安装在大口径气体流量标准装置试验段相应位置，并调整测头正对来流方向。

4）连接被校插入式流量计电源及管路（如有），并检查管路气密性。

5）按说明书预热一段时间，待示数稳定。

e）流量积分校准程序

1）调整大口径气体流量标准装置流量至第一个校准点，待大口径气体流量标准装置和被校流量计运行稳定后开始校准。

2）校准过程中，同时采集被校流量计和大口径气体流量标准装置流量示值。

3）大口径气体流量标准装置和被校流量计瞬时流量的读取采用间歇读数方法，一次校准过程中有效读数次数不得少于3次，取其平均值作为该次校准的瞬时流量值。

4）调整大口径气体流量标准装置流量至下一个校准点，重复上述操作，直至校准完成。

5）对现场烟道和大口径烟道流量标准装置管道进行数值仿真，确定不同管径的流场修正系数。

f）数据处理

1）单点流速校准系数

 （5）

其中：

——俯仰角为，偏航角为时的校准系数；

——风洞标准风速，m/s；

v——被校流量计风速值，m/s；

——俯仰角，°；

——偏航角，°。

2）实验室流速校准系数

 （6）

其中：

——实验室流速校准系数；

——大口径气体流量标准装置标准流速值，m/s；

*v*——被校插入式流量计流速值，m/s。

3）流场修正系数

① 未充分发展流场引入的修正系数

 （7）

其中：

——仿真条件下由于流场未充分发展引入的修正系数。

——仿真条件下充分发展流场测点处的流速值，m/s；

——仿真条件下未充分发展流场测点处的流速值，m/s。

② 当实验室校准采用的管道与现场烟道口径不一致时，在①修正的基础上还需进行以下数值模拟修正。

 （8）

其中：

——由于实验室校准所采用的管道与现场烟道口径不一致引入的流场修正系数；

——实际烟道口径仿真结果截面平均流速，m/s；

——实际烟道口径仿真结果截面测点流速，m/s；

——大口径烟气流量标准装置口径仿真结果截面平均流速，m/s；

——大口径烟气流量标准装置口径仿真结果截面测点流速，m/s。

注：当实验室校准采用的管道与现场烟道口径一致时，取。

4）插入式流量计校准系数

 （9）

5）示值误差

 （10）

其中：

——示值误差；

——标准流量值，m3/h；

——被校插入式流量计示值，m3/h。

7.2.2 现场校准

a） 一般检查

1）外观检查确定流量计的标识清晰明确（制造厂家、型号、出厂编号、校准系数等）。

2）) 安装于烟道上的流量计应牢固，其安装孔（如有）密封良好；

3）) 流量计通电后运行正常；

4）) CEMS配套仪器设备安装牢固，烟气温度、烟道内静压、烟气湿度（如有）、烟气气体组分（如有）运行正常。

b）校准前准备

1） 确认标准装置安装处测量截面检测孔数量；

2） 确认标准装置安装处上下游直管段长度。若测量位置和检测孔不满足表5中要求，参考附录A方法进行流速校准系数修正。

表5 测量位置和检测孔要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 截面形状 | 直管段长度 | 检测孔数量 | 布置要求 |
| 圆形 | 上游直管段长度≥6倍直径且下游直管段长度≥3倍 | ≥1 | / |
| 上游直管段长度≥2倍直径且下游直管段长度≥0.5倍 | 2 | 检测孔轴线夹角为80°~100° |
| 矩形 | 上游直管段长度≥2倍直径且下游直管段长度≥0.5倍 | 检测孔所在边边长/等面积块边长（见附录B表B.4） | 均匀分布 |

3）开机预热20分钟以上。

4）连接管路，并检查气密性。

c) 校准程序

1）测量烟道面积：使用套管尺/激光测距仪测量烟道直径或边长；或使用卷尺测量烟道周长，并使用测厚仪测出烟道壁厚度。根据测量的具体情况计算出烟道内径或内部边长。并计算出烟道横截面积。

2）对于每个检测孔，测量前，将标准装置的三维皮托管插入烟道中，开机运行5min后，开始测量。

2） 在测量过程中保持烟道流速波动小于5%。

3） 按照附录E的布点方式对测量截面上每条测量线的测量点逐次进行流速测量，读取标准装置上每个测量点的流速、俯仰角和偏航角（计算方法及公式见附录C），每个测量点重复测量3次，在每个测量点的总测量时间不少于1min。

4） 标准装置在每条测量线测量1次烟道静压，并记录。

5） 每组测量结束后，读取CEMS在校准期间流速测量数据，计算流速相对标准偏差，相对标准偏差应≤5%，否则该组测量结果无效。

6） 重复2~5步骤进行不少于3组测量，保证测量3组有效数据。

d）数据处理

1）校准系数

第*i*组测量流速校准系数按式（11）计算。

 （11）

式中：

*Kvi*——第*i*组测量流速校准系数；

*A*——烟道内截面面积测量值，m2；

*A*cem——CEMS测量处烟道内截面面积，m2；

——标准装置第*i*组测量平均轴向流速，m/s；

——第*i*组测量CEMS测量截面平均轴向流速，m/s；

流速校准系数按式（12）计算。

 （12）

式中：

*Kv*——流速校准系数；

*Kvi*——第*i*组测量流速校准系数；

*m*——测量组数；

2）示值误差

单次测量的示值误差计算见公式（13）。

 （13）

其中：i表示校准次数

——被校流量计第i次校准的流量值；

——表示标准装置第i次校准的流量值；

——表示被校流量计第i次校准的示值误差；

示值误差见公式（14）。

 （14）

其中：

——表示被校流量计的示值误差。

n——测量次数。

2）重复性

被校流量计重复性公式采用极差法计算，见公式（15）。

 （15）

其中：

——被校流量计示值误差的最大值；

——被校流量计示值误差的最小值；

——被校流量计示值误差的重复性；

为极差系数见表6

表6 极差系数

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *n* | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| *dn* | 1.13 | 1.69 | 2.06 | 2.33 | 2.53 | 2.70 | 2.85 | 2.97 | 3.08 |

# 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息 :

a) 标题:“校准证书”；

b) 实验室名称和地址；

c) 进行校准的地点(如果与实室的地址不同)；

d) 证书的唯一性标识(如编号)，每页及总页数的标识；

e) 客户的名称和地址；

f) 被校对象的描述和明确标识；

g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

k) 校准环境的描述；

I) 校准结果及其测量不确定度的说明；

m) 对校准规范的偏离的说明；

n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；

p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

校准记录和校准证书内页格式参见附录B和C。校准系数的不确定度评定方法和示例参见附录C。

# 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔一般不超过12个月。如果装置或其主要计量模块出现了维修或更换的情况，需要及时进行校准。

附录A 数值模拟标准装置轴向速度修正

A.1 测量点速度修正

a）当标准装置测量位置不能满足7.2.2表5中的要求时，需使用数值模拟方法进行平均轴向流速系数修正。

b）数值模拟流场中，每个测量点获取的轴向流速模拟值与对应测量点轴向流速现场实测值的差异需小于5%或1m/s（以大者为准）。

c）使用数值模拟方法直接获得的截面平均轴向流速模拟值与各测量点轴向流速模拟值的加权平均截面轴向流速的比值（简称数值模拟平均轴向流速修正系数），并对现场测量截面平均轴向流速进行修正。

1）数值模拟中各测量点轴向流速模拟值的加权平均截面轴向流速按式(A.1)计算。

 (A.1)

式中：

——数值模拟中虚拟标准装置所测截面各测量点轴向流速模拟值的加权平均截面轴向流速，m/s；

*v*aN*j*——数值模拟中虚拟标准装置第*j*个测量点轴向流速模拟值，m/s；

*wj*——第*j*个测量点的烟气轴向流速的权重系数（见附录B）；

*n*——测量点数量；

2）数值模拟平均轴向流速修正系数按式(A.2)计算。

 (A.2)

式中：

——数值模拟平均轴向流速修正系数；

——数值模拟直接获得的截面平均轴向流速模拟值，m/s；

——数值模拟中虚拟标准装置所测截面各测量点轴向流速模拟值的加权平均截面轴向流速，m/s；

3）标准装置截面平均轴向流速修正值按式(A.3)计算。

 (A.3)

式中：

——第*i*组测量标准装置平均轴向流速修正值，m/s；

——第*i*组测量标准装置平均轴向流速，m/s；

——数值模拟平均轴向流速修正系数；

A.2单工况流速校准系数计算

a） 在计算流速校准系数时，标准装置和流量计的流速值应换算至相同的状态下，换算方法见附录D。

b）流速校准系数计算方法

1）第*i*组测量流速校准系数按式(A.4)计算。

 (A.4)

式中：

*Kvi*——第*i*组测量流速校准系数；

*A*——标准装置测量处烟道内截面面积，m2；

*A*cem——CEMS测量处烟道内截面面积，m2；

——标准装置第*i*组测量平均轴向流速数值模拟修正值，m/s；

——第*i*组测量CEMS测量截面平均轴向流速，m/s；

2）流速校准系数按式(A.5)计算。

 (A.5)

式中：

*Kv*——流速校准系数；

*Kvi*——第*i*组测量流速校准系数；

*m*——测量组数；

A.3不确定度修正

数值模拟的不确定度为。

测量模型：

 (A.6)

其中：

——数值模拟修正后的标准流量值，m3/h；

——标准装置测量的标准流量值，m3/h；

——数值模拟修正系数。

数值模拟修正后的标准流量值合成标准不确定度按式(A.7)计算：

 (A.7)

标准装置相对示值误差合成标准不确定度可按式(A.8)计算得到：

 （A.8）

附录B 采样点的位置和数目

B.1 圆形烟道

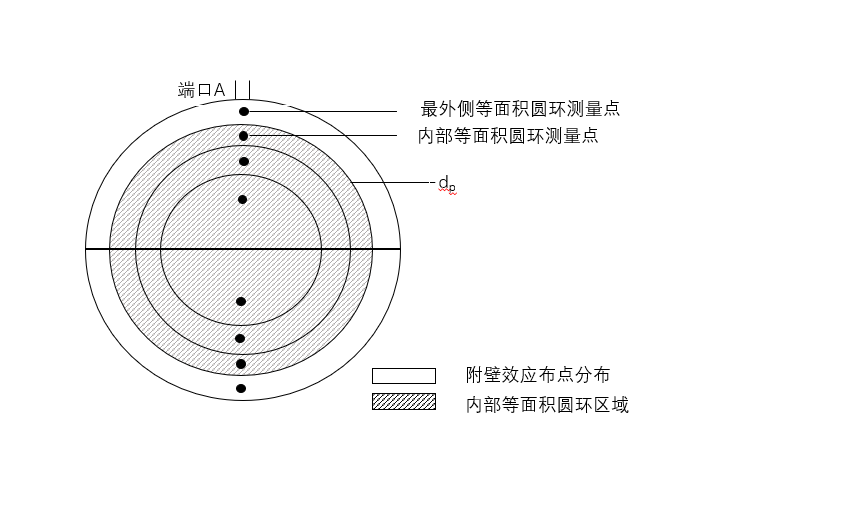
表B.1 单个检测孔圆形烟道分环及测点数确定

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 烟道直径，m | 等面积圆环数 | 测量直径数 | 测量点个数*p* |
| ＜0.3 | / | / | 1 |
| 0.3~0.6 | 1~2 | 1~2 | 2~8 |
| 0.6~1.0 | 2~3 | 1~2 | 4~12 |
| 1.0~2.0 | 3~4 | 1~2 | 6~16 |
| 2.0~4.0 | 4~5 | 1~2 | 8~20 |
| ＞4.0 | 5 | 1~2 | 10~20 |

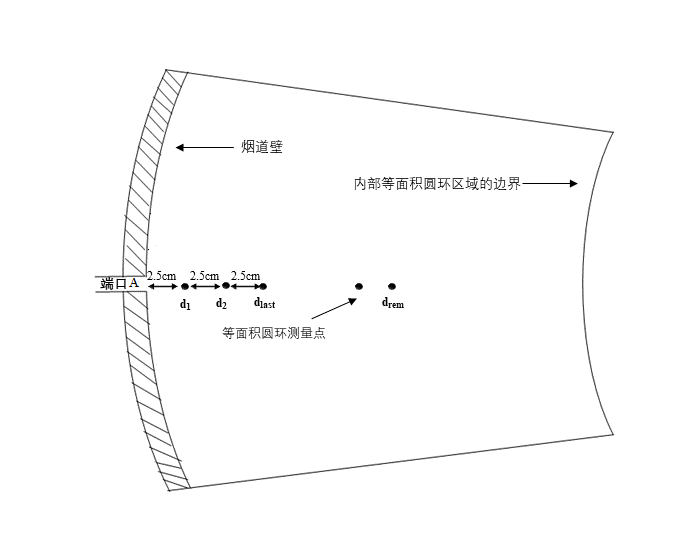
此时烟气轴向流速的权重系数。*p*为测量点个数

B.1.1首先将圆形烟道分成适当数量（参见表B.1）的等面积同心圆环，各测点在各等面积中心线与垂直相交的直线的交点上。

B.1.2 最外侧等面积区域测量点布置



图E.1 等面积圆环测点布置



图B.2 最外侧等面积圆环内测量点布置示意图

从距离墙壁2.5cm（若不能放置探针，以2.5cm的倍数但不大于10cm）处开始布点采样，以2.5cm的增量贯穿整个等面积圆环最外侧的圆环或者达到距离壁面30cm位置处以先到者为准，最后一个2.5cm增量位置处距离墙壁的距离为，是与之间扇形区域的质心位置（计算方法见B.3）。为等面积圆环最外侧圆环的边界距离壁面的距离由公式(B.1)和表(B.2)来确定。

** (B.1)

 (B.2)

 (B.3)

其中，

r——圆形烟道半径，m；

——一条直径上的等面积圆环测量点数；

且，若则。

（） (B.4)

（） (B.5)

其中，

——表示等面积圆环测量法中距离检测孔第个测量点；

——表示等面积圆环测量点到端口的距离，m。

一条直径上考虑近壁效应时，总的测量点数为

此时，烟气轴向流速等面积圆环面积测量点处的权重系数;

近壁效应处测量点的权重系数，即第*j*测量点所在面积与总面积的比值。此时，，n为一侧近壁效应布点个数。

特殊点处的权重系数为。

如表B.2所示为测量点（均以四个等面积圆环计算）距离测量端口内壁面的距离列表。

注：对于直径大于4.47m的烟道,等面积圆环面积最外侧圆环内弧到烟道壁处的距离应大于30cm。

表B.2 半径大于1.12m时测量点数与测量点到测量端口的距离

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点 |  | 测量点数与测量点到测量端口的距离(cm)（一条直径） | | | | | | | | | |
| 直径/m | 1.12~1.49 | 1.49~1.86 | 1.86~2.24 | 2.24~2.61 | 2.61~2.99 | 2.99~3.35 | 3.35~3.73 | 3.73~4.10 | 4.10~4.47 | ＞4.47 |
| 测量点数 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 32 |
| 1 | | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 2 | | 0.065r | 0.065r | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 3 | | 5 | 5 | 0.065r | 0.065r | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| 4 | | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 0.065r | 0.065r | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 5 | | drem | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0.065r | 0.065r | 12.5 | 12.5 |
| 6 | | 0.209r | drem | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 0.065r | 0.065r |
| 7 | | 0.388r | 0.209r | drem | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 8 | | 0.646r | 0.388r | 0.209r | drem | 17.5 | 17.5 | 17.5 | 17.5 | 17.5 | 17.5 |
| 9 | | 1.354r | 0.646r | 0.388r | 0.209r | drem | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 10 | | 1.612r | 1.354r | 0.646r | 0.388r | 0.209r | drem | 22.5 | 22.5 | 22.5 | 22.5 |
| 11 | | 1.791r | 1.612r | 1.354r | 0.646r | 0.388r | 0.209r | drem | 25 | 25 | 25 |
| 12 | | 2r-drem | 1.791r | 1.612r | 1.354r | 0.646r | 0.388r | 0.209r | drem | 27.5 | 27.5 |
| 13 | | 2r-7.5 | 2r-drem | 1.791r | 1.612r | 1.354r | 0.646r | 0.388r | 0.209r | drem | drem |
| 14 | | 2r-5 | 2r-10 | 2r-drem | 1.791r | 1.612r | 1.354r | 0.646r | 0.388r | 0.209r | 0.209r |
| 15 | | 1.935r | 2r-7.5 | 2r-12.5 | 2r-drem | 1.791r | 1.612r | 1.354r | 0.646r | 0.388r | 0.388r |
| 16 | | 2r-2.5 | 2r-5 | 2r-10 | 2r-15 | 2r-drem | 1.791r | 1.612r | 1.354r | 0.646r | 0.646r |
| 17 | |  | 0.935r | 2r-7.5 | 2r-12.5 | 2r-17.5 | 2r-drem | 1.791r | 1.612r | 1.354r | 1.354r |
| 18 | |  | 2r-2.5 | 0.935r | 2r-10 | 2r-15 | 2r-20 | 2r-drem | 1.791r | 1.612r | 1.612r |
| 19 | |  |  | 2r-5 | 2r-7.5 | 2r-12.5 | 2r-17.5 | 2r-22.5 | 2r-drem | 1.791r | 1.791r |
| 20 | |  |  | 2r-2.5 | 0.935r | 2r-10 | 2r-15 | 2r-20 | 2r-25 | 2r-drem | 2r-drem |
| 21 | |  |  |  | 2r-5 | 0.935r | 2r-12.5 | 2r-17.5 | 2r-22.5 | 2r-27.5 | 2r-27.5 |
| 22 | |  |  |  | 2r-2.5 | 2r-7.5 | 2r-10 | 2r-15 | 2r-20 | 2r-25 | 2r-25 |
| 23 | |  |  |  |  | 2r-5 | 0.935r | 2r-12.5 | 2r-17.5 | 2r-22.5 | 2r-22.5 |
| 24 | |  |  |  |  | 2r-2.5 | 2r-7.5 | 0.935r | 2r-15 | 2r-20 | 2r-20 |
| 25 | |  |  |  |  |  | 2r-5 | 2r-10 | 2r-12.5 | 2r-17.5 | 2r-17.5 |
| 26 | |  |  |  |  |  | 2r-2.5 | 2r-7.5 | 0.935r | 2r-15 | 2r-15 |
| 27 | |  |  |  |  |  |  | 2r-5 | 2r-10 | 0.935r | 0.935r |
| 28 | |  |  |  |  |  |  | 2r-2.5 | 2r-7.5 | 2r-12.5 | 2r-12.5 |
| 29 | |  |  |  |  |  |  |  | 2r-5 | 2r-10 | 2r-10 |
| 30 | |  |  |  |  |  |  |  | 2r-2.5 | 2r-7.5 | 2r-7.5 |
| 31 | |  |  |  |  |  |  |  |  | 2r-5 | 2r-5 |
| 32 | |  |  |  |  |  |  |  |  | 2r-2.5 | 2r-2.5 |

当烟道直径大于0.3m且小于1m时，将烟道截面分成两个等面积圆环进行计算，附壁计算近壁效应时，以距壁面2.5cm处为，若值小于时,则用处的测量速度代替处的速度值。测量点数测点到测量端口的距离位置如表E.3所示。

表B.3 半径大于0.3m且小于1.12m时测量点数与测量点到测量端口的距离

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点 | 测量点数与测量点到测量端口的距离(cm) | | | | |
| 直径/m | 0.3~0.37 | 0.37~0.51 | 0.51~0.74 | 0.74~1.12 |
| 测量点数 | 8 | 10 | 12 | 12 |
| 1 | | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 2 | | 5 | 0.134r | 0.134r | 5 |
| 3 | | drem | 5 | 5 | 0.134r |
| 4 | | 0.5r | drem | 7.5 | 7.5 |
| 5 | | 1.5r | 0.5r | drem | drem |
| 6 | | 2r-drem | 1.5r | 0.5r | 0.5r |
| 7 | | 2r-5 | 2r-drem | 1.5r | 1.5r |
| 8 | | 2r-2.5 | 2r-5 | 2r-drem | 2r-drem |
| 9 | |  | 1.866r | 2r-7.5 | 2r-7.5 |
| 10 | |  | 2r-2.5 | 2r-5 | 1.866r |
| 11 | |  |  | 1.866r | 2r-5 |
| 12 | |  |  | 2r-2.5 | 2r-2.5 |

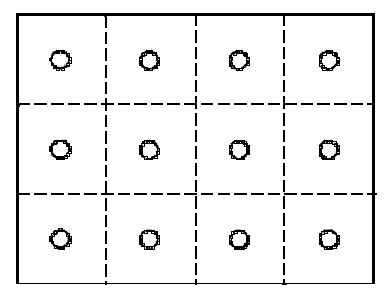
B.2 矩形或方形烟道

B.2.1 将烟道横截面分成适当数量的等面积小块，以各块中心为测点，如图B.3所示，小块的数量按表B.4的规定选取，原则上测点数量不超过20个。

烟道横截面面积小于0.1m2，流速分布比较均匀、对称并符合7.2.1.3 要求的，可取横截面中心作为测点。

表B.4. 矩形烟道的等面积分块和测点数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 烟道截面积（） | 等面积小块边长度（m） | 测点总数*p* |
| ＜0.1 | ＜0.32 | 1 |
| 0.1~0.5 | ＜0.35 | 1~4 |
| 0.5~1.0 | ＜0.5 | 4~6 |
| 1.0~4.0 | ＜0.67 | 6~9 |
| 4.0~9.0 | ＜0.75 | 9~16 |
| ＞9.0 | ≤1.0 | ≤20 |



图B.3 矩形测点分布图

将矩形边长A,B分别分成m,n份，且

(B.6)

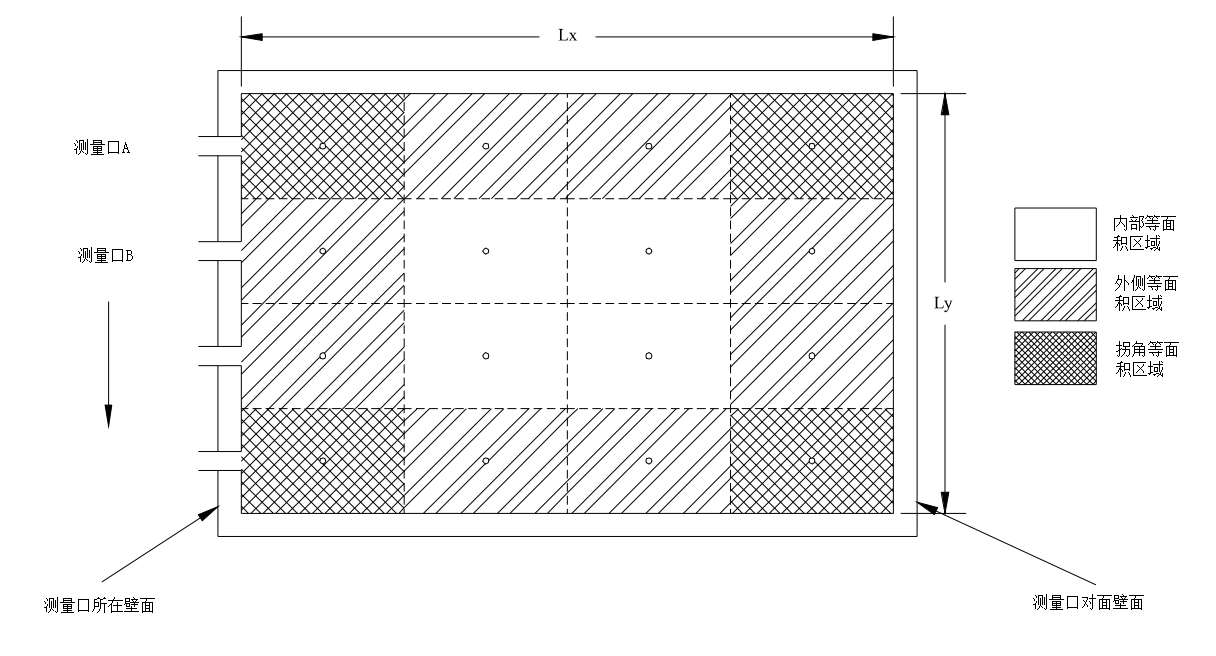
其中，代表从任一角开始边长A上第i个点，边长B上第j个点到该角的A向和B向的距离。

此时烟气轴向流速的权重系数

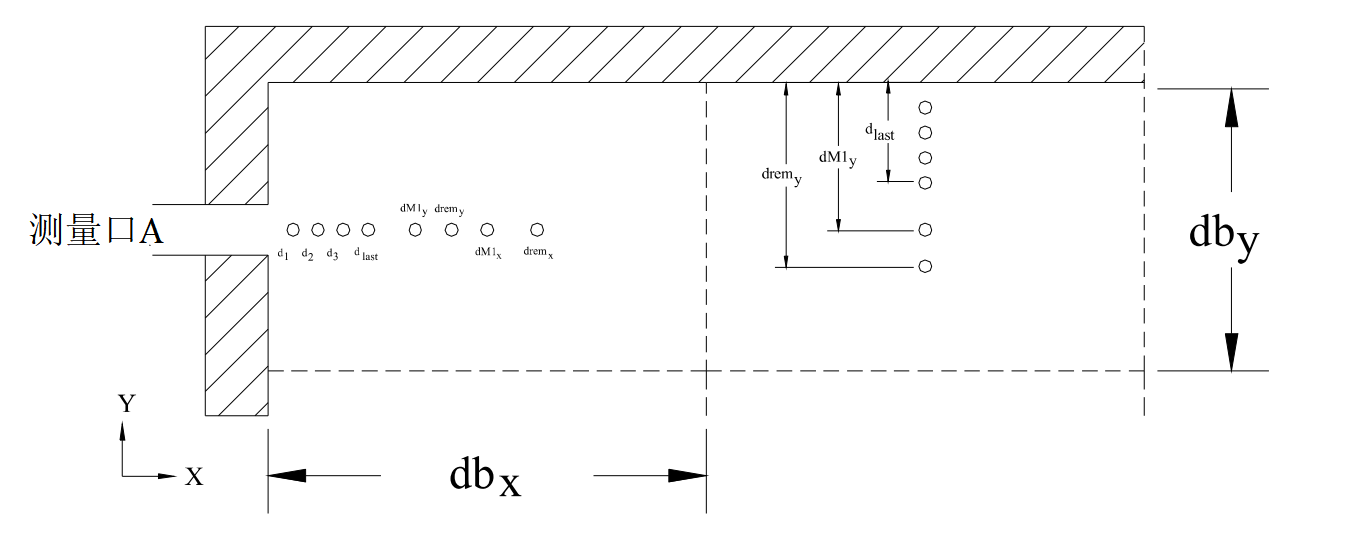
B.2.2 根据与壁面的位置关系将等面积区域分成内部等面积区域，外侧等面积区域以及拐角等面积区域三部分如图B.4所示。

B.2.3 在内部等面积区域，在中心位置进行单点测量代替整个等面积区域的速度值。

B.2.4外侧及拐角等面积区域测量点布置



图B.4 矩形烟道布点分区



图B.5 矩形烟道外侧及拐角壁面区域布点示意图

a）计算方法见(B.7)

 (B.7)

其中：

——检测孔壁面位置到拐角等面积区域另一边界的距离，计算公式见(B.8)，cm；

——依据B.1.2中近壁处的布点方式进行布点，距离检测孔壁面的最远距离，若时，；若时，。

 (B.8)

其中：

—— x方向矩形烟道的内部边长，cm；

——x方向矩形烟道等面积区域的个数。

b）计算公式见(B.9)

 (B.9)

其中：

——垂直检测孔壁面位置到等面积区域另一边界的距离计算公式见(B.10)，cm；

——依据E.1.4中近壁处的布点方式进行布点，距离检测孔壁面的最远距离，若时，；若时，。

 (B.10)

其中：

——y方向矩形烟道的内部边长，cm；

——y方向矩形烟道等面积区域的个数。

c）/ 计算公式见(B.11)

  (B.11)

B.2.5注意事项（当测量点之间的距离≤1.2cm时，需特别注意）

a) 若测量点与等面积区域的中心点位置之间的距离≤1.2cm时，不要求也不推荐两个点都测。如果只测一个点，测距离壁面较远的点处的值，以此位置的速度值代替两个点的值。

b) 若与或之间的距离≤1.2cm，不推荐两个点都测，只需要测位置处的值，用于代替或处的值即可。

c）若与之间的距离≤1.2cm，不推荐两个点都测，只需要测与任一位置处的值，用于代替另一处的值即可。

B.2.6 壁面附近等面积区域平均速度计算

a）沿x方向的外侧等面积区域速度

 (B.12)

其中：

——距离检测孔壁面d位置处的速度，m/s；

——代表2.5cm的长度。

b）沿y方向的外侧等面积区域速度

 (B.13)

c）拐角等面积区域速度

 (B.14)

其中：

——在检测孔位置处的拐角区域，；在非检测孔位置的拐角区域，若，则；若，则

附录C 对向测量偏航角、俯仰角的计算

C.1 偏航角测定

对向测量时，，得到偏航零点，此时偏航角通过旋转皮托管的测量角圆盘测得。

C.2 俯仰角测定

通过公式(C.1)计算得到俯仰角的校准系数F1，将俯仰角校准系数和值代入F1校准系数曲线中找到对应的俯仰角。将角度值带入F2校准曲线中，找到对应的F2值。根据公式(C.2)计算得到差压值。

 (C.1)

其中：

——1孔的压力值，Pa；

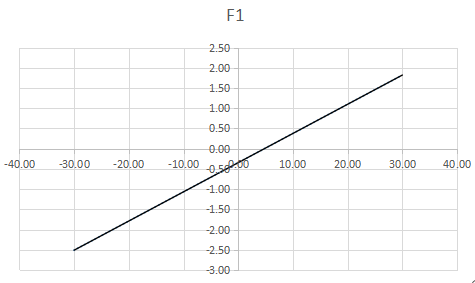
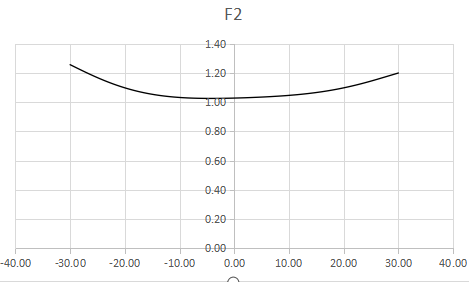
——2孔的压力值，Pa；

——3孔的压力值，Pa；

——4孔的压力值，Pa；

——5孔的压力值，Pa。

 (C.2)

图C.1 F1校准曲线 图C.2 F2校准曲线

C.3 速度

将测得的密度值和计算得到的差压值带入式(C.3)，计算得到速度*v*。

 (C.3)

C.4轴向速度测定

轴向速度按式(C.4)计算

 (C.4)

附录D 标准装置平均轴向流速计算方法及状态转换

D.1烟道截面平均轴向流速计算

测量点轴向流速按式(D.1)计算。

 (D.1)

式中：

*v*a*ij*——第*i*组测量中第*j*个测量点的烟气轴向流速，m/s；

*vij*——第*i*组测量中第*j*个测量点的烟气流速，m/s；

**——第*i*组测量中第*j*个测量点的烟气俯仰角，°；

**——第*i*组测量中第*j*个测量点的烟气偏航角，°；

通常标准装置能够直接测量动压、俯仰角和偏航角，需要将所测动压转换为流速值，按式(D.2)计算。

 (D.2)

式中：

*vij*——第*i*组测量中第*j*个测量点的烟气流速，m/s；

*dpij*——第*i*组测量中第*j*个测量点的烟气动压，Pa；

*ρ*——烟气密度，kg/m3；

D.2 烟气密度计算

干烟气分子量按式(D.3)计算

 (D.3)

式中：

*M*d——干烟气分子量，g/mol；

*Bk*——第*k*种干烟气中主要组分的体积比；

*Mk*——第*k*种干烟气中主要组分的分子量，g/mol。

烟气分子量按式(D.4)计算

 (D.4)

式中：

*M*s——烟气分子量，g/mol；

*M*d——干烟气分子量，g/mol；

*B*ws——烟气中水蒸气的体积比；

烟气密度按式(D.5)计算，烟气密度也可以针对每个测量线或每个测量点单独计算。

 (D.5)

式中：

*ρ*——烟气密度，kg/m3；

*P*s——标准装置测量处烟气静压和大气压的差压，Pa；

*B*a——检测孔高度的大气压，Pa；

*P*sa——标准装置测量处烟气静压（绝对压力），Pa；

*M*s——烟气分子量，g/mol；

*R*——理想气体常数，为8.314J/(mol·K)；

*t*——标准装置测量处烟气温度，℃；

D.3测量截面轴向平均流速状态转换

在计算流速校准系数时，标准装置和流量计的流速值应换算至相同的状态下。例如将工况下测量截面轴向平均流速转换为标况下的值，按式(D.6)计算。

 (D.6)

式中：

——第*i*组测量标况下测量截面轴向平均流速，m/s；

——第*i*组测量烟气工况下测量截面轴向平均流速，m/s；

*B*a——标准装置测量处大气压力，Pa；

*P*s*i*——第*i*组测量标准装置测量处烟气静压和大气压的差压，Pa；

*P*sa*i*——第*i*组测量标准装置测量处烟气静压（绝对压力），Pa；

*ti*——第*i*组测量标准装置测量处烟气温度，℃。

如流量计所测轴向平均流速为干基流速，则需将标准装置所测流速值也转换为干基流速，按式(D.7)计算。

 (D.7)

式中：

——第*i*组测量干基截面轴向平均流速，m/s；

——第*i*组测量截面轴向平均流速，m/s；

Bws——烟气中水蒸气的体积比。

# 附录E 原始记录表

流速校准原始记录表（实验室校准）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准地点 | | |  | | | | | 校准时间 | | |  | |
| 标准值（m/s） | | |  | | | 温度（℃） | | | |  | | |
| 湿度（%） | | |  | | | 密度 | | | |  | | |
| 原校准系数 | | |  | | | 其它 | | | |  | | |
| 校准位置 | 俯仰角（°） | 偏航角（°） | | 标准风速（m/s） | | | | | 被校流量计（m/s） | | | |
| 1 | 2 | | 3 | | 1 | | 2 | 3 |
| 1 | -45 | -45 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 2 | -40 | -40 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 3 | -35 | -35 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 4 | -30 | -30 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 5 | -25 | -25 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 6 | -20 | -20 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 7 | -15 | -15 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 8 | -10 | -10 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 9 | -5 | -5 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 10 | 0 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 11 | 5 | 5 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 12 | 10 | 10 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 13 | 15 | 15 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 14 | 20 | 20 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 15 | 25 | 25 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 16 | 30 | 30 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 17 | 35 | 35 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 18 | 40 | 40 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 19 | 45 | 45 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 20 | -45 | 45 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 21 | -40 | 40 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 22 | -35 | 35 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 23 | -30 | 30 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 24 | -25 | 25 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 25 | -20 | 20 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 26 | -15 | 15 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 27 | -10 | 10 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 28 | -5 | 5 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 29 | 0 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 30 | 5 | -5 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 31 | 10 | -10 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 32 | 15 | -15 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 33 | 20 | -20 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 34 | 25 | -25 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 35 | 30 | -30 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 36 | 35 | -35 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 37 | 40 | -40 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 38 | 45 | -45 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 39 | -45 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 40 | -40 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 41 | -35 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 42 | -30 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 43 | -25 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 44 | -20 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 45 | -15 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 46 | -10 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 47 | -5 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 48 | 0 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 49 | 5 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 50 | 10 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 51 | 15 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 52 | 20 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 53 | 25 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 54 | 30 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 55 | 35 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 56 | 40 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 57 | 45 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 58 | 0 | -45 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 59 | 0 | -40 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 60 | 0 | -35 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 61 | 0 | -30 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 62 | 0 | -25 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 63 | 0 | -20 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 64 | 0 | -15 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 65 | 0 | -10 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 66 | 0 | -5 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 67 | 0 | 0 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 68 | 0 | 5 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 69 | 0 | 10 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 70 | 0 | 15 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 71 | 0 | 20 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 72 | 0 | 25 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 73 | 0 | 30 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 74 | 0 | 35 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 75 | 0 | 40 | |  |  | |  | |  | |  |  |
| 76 | 0 | 45 | |  |  | |  | |  | |  |  |

流量校准原始记录表（实验室校准）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 烟道形状： |  | 截面尺寸： |  | 截面面积： |  |
| 流速范围： |  | 上游直管段长度： |  | 下游直管段长度： |  |
| 温度 |  | 湿度 |  | 大气压力 |  |
| |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 校准点 | 标准流量 | | | 被校流量计示值 | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | 1 |  |  |  |  |  |  | | 2 |  |  |  |  |  |  | | 3 |  |  |  |  |  |  | | | | | | |

校准原始记录表（现场校准）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 烟道形状： | | |  | | | 截面尺寸： | |  | | | 截面面积： | | |  | |
| 流速范围： | | |  | | | 上游直管段长度： | |  | | | 下游直管段长度： | | |  | |
| 温度 | | |  | | | 湿度 | |  | | | 大气压力 | | |  | |
| 校准时间 | | |  | | | 校准地点 | |  | | | | | | | |
| 第一条测量线第一组 | | | | | | | | 同时间段内CEMS流速平均值： | | | | | | | |
| 测量点 | 速度（m/s） | 俯仰角（°） | | 偏航角（°） | 轴向速度（m/s） | | 密度（kg/m3) | 测量点 | 速度（m/s） | 俯仰角（°） | | 偏航角（°） | 轴向速度（m/s） | | 密度（kg/m3) |
| 1 |  |  | |  |  | |  | 17 |  |  | |  |  | |  |
| 2 |  |  | |  |  | |  | 18 |  |  | |  |  | |  |
| 3 |  |  | |  |  | |  | 19 |  |  | |  |  | |  |
| 4 |  |  | |  |  | |  | 20 |  |  | |  |  | |  |
| 5 |  |  | |  |  | |  | 21 |  |  | |  |  | |  |
| 6 |  |  | |  |  | |  | 22 |  |  | |  |  | |  |
| 7 |  |  | |  |  | |  | 23 |  |  | |  |  | |  |
| 8 |  |  | |  |  | |  | 24 |  |  | |  |  | |  |
| 9 |  |  | |  |  | |  | 25 |  |  | |  |  | |  |
| 10 |  |  | |  |  | |  | 26 |  |  | |  |  | |  |
| 11 |  |  | |  |  | |  | 27 |  |  | |  |  | |  |
| 12 |  |  | |  |  | |  | 28 |  |  | |  |  | |  |
| 13 |  |  | |  |  | |  | 29 |  |  | |  |  | |  |
| 14 |  |  | |  |  | |  | 30 |  |  | |  |  | |  |
| 15 |  |  | |  |  | |  | 31 |  |  | |  |  | |  |
| 16 |  |  | |  |  | |  | 32 |  |  | |  |  | |  |
| 第一条测量线第二组 | | | | | | | | 同时间段内CEMS流速平均值： | | | | | | | |
| 测量点 | 速度（m/s） | 俯仰角（°） | | 偏航角（°） | 轴向速度（m/s） | | 密度（kg/m3) | 测量点 | 速度（m/s） | 俯仰角（°） | | 偏航角（°） | 轴向速度（m/s） | | 密度（kg/m3) |
| 1 |  |  | |  |  | |  | 17 |  |  | |  |  | |  |
| 2 |  |  | |  |  | |  | 18 |  |  | |  |  | |  |
| 3 |  |  | |  |  | |  | 19 |  |  | |  |  | |  |
| 4 |  |  | |  |  | |  | 20 |  |  | |  |  | |  |
| 5 |  |  | |  |  | |  | 21 |  |  | |  |  | |  |
| 6 |  |  | |  |  | |  | 22 |  |  | |  |  | |  |
| 7 |  |  | |  |  | |  | 23 |  |  | |  |  | |  |
| 8 |  |  | |  |  | |  | 24 |  |  | |  |  | |  |
| 9 |  |  | |  |  | |  | 25 |  |  | |  |  | |  |
| 10 |  |  | |  |  | |  | 26 |  |  | |  |  | |  |
| 11 |  |  | |  |  | |  | 27 |  |  | |  |  | |  |
| 12 |  |  | |  |  | |  | 28 |  |  | |  |  | |  |
| 13 |  |  | |  |  | |  | 29 |  |  | |  |  | |  |
| 14 |  |  | |  |  | |  | 30 |  |  | |  |  | |  |
| 15 |  |  | |  |  | |  | 31 |  |  | |  |  | |  |
| 16 |  |  | |  |  | |  | 32 |  |  | |  |  | |  |
| 第一条测量线第三组 | | | | | | | | 同时间段内CEMS流速平均值： | | | | | | | |
| 测量点 | 速度（m/s） | 俯仰角（°） | | 偏航角（°） | 轴向速度（m/s） | | 密度（kg/m3) | 测量点 | 速度（m/s） | 俯仰角（°） | | 偏航角（°） | 轴向速度（m/s） | | 密度（kg/m3) |
| 1 |  |  | |  |  | |  | 17 |  |  | |  |  | |  |
| 2 |  |  | |  |  | |  | 18 |  |  | |  |  | |  |
| 3 |  |  | |  |  | |  | 19 |  |  | |  |  | |  |
| 4 |  |  | |  |  | |  | 20 |  |  | |  |  | |  |
| 5 |  |  | |  |  | |  | 21 |  |  | |  |  | |  |
| 6 |  |  | |  |  | |  | 22 |  |  | |  |  | |  |
| 7 |  |  | |  |  | |  | 23 |  |  | |  |  | |  |
| 8 |  |  | |  |  | |  | 24 |  |  | |  |  | |  |
| 9 |  |  | |  |  | |  | 25 |  |  | |  |  | |  |
| 10 |  |  | |  |  | |  | 26 |  |  | |  |  | |  |
| 11 |  |  | |  |  | |  | 27 |  |  | |  |  | |  |
| 12 |  |  | |  |  | |  | 28 |  |  | |  |  | |  |
| 13 |  |  | |  |  | |  | 29 |  |  | |  |  | |  |
| 14 |  |  | |  |  | |  | 30 |  |  | |  |  | |  |
| 15 |  |  | |  |  | |  | 31 |  |  | |  |  | |  |
| 16 |  |  | |  |  | |  | 32 |  |  | |  |  | |  |

校准人员： 核验员：

# 附录F 校准证书（内页）参考格式

校准证书（内页）参考格式

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 烟道形状： |  | 截面尺寸： |  | 截面面积： |  |
| 流速范围： |  | 上游直管段长度： |  | 下游直管段长度： |  |
| 温度： |  | 湿度： |  | 大气压力： |  |
| |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | 工况 | 校准点m³/h | 校准系数 | 重复性% | 标准不确定度% | | 1 |  |  |  |  | | 2 |  |  |  |  | | 3 |  |  |  |  | | | | | | |
| 校准结果的扩展不确定度：*U*r= % (*k*=2) | | | | | |
| 复校时间间隔建议：12个月 | | | | | |

# 附录G 不确定度评定示例

G.1 概述

G.1.1 被校仪器

名称：烟道等大口径插入式流量计

G.1.2 校准依据

《烟道等大口径插入式流量计校准规范》

G.1.3 校准方法

某被校插入式流量计现场安装满足上游10D直管段，下游2D直管段，按照校准规范规定的方法，将被校流量计安装在满足校准条件的风洞直管段上，对被校对象进行校准，通过比较流量计的值和标准值，计算示值误差和校准系数。

G.2 不确定分析

G.2.1 数学模型



其中：

——校准点的相对误差；

——被校流量计的示值m3/h；

——标准流量值，m3/h；

根据不确定度传播规律可得出：



或



G.2.2 系数

根据JJF1059.1《不确定度评定与表示》中4.4.2.3中的模型进行评定，则





G.2.3 输入量的标准不确定度评定

不确定度分量包括测量重复性引入的不确定度，标准装置溯源引入的不确定度。

G.2.3.1 标准器溯源引入的不确定度

标准器超声流量计为0.5级，流量测量不确定度为0.5%，k=2，则



G.2.3.2 测量重复性引入的不确定度

以第一个校准点为例，测量值分别为1101.5m3/h、1107.2m3/h、1098.7m3/h，采用极差法计算重复性





G.2.3.3 标准器不确定度



G.2.4 被校流量计引入的不确定度

被校流量计引入的不确定度主要是测量重复性引入的测量不确定度，已知被校流量计示数分别为：1207.6m3/h、1200.5m3/h、1215.7m3/h，采用极差法计算重复性。





G.2.5 合成标准不确定度的评价

G.2.5.1 标准不确定度汇总表

表G.1 标准不确定度汇总表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 符号 | 不确定度来源 | 合成不确定度 |
|  | 重复性 | 0.43% |
|  | 标准器 | 0.36% |
| 合成标准不确定度：，扩展不确定度：，k=2 | | |

G.2.5.2 合成标准不确定度

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度按下式得到：



G.2.6 扩展不确定度的评定

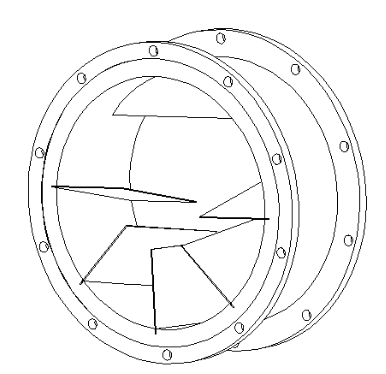
烟道等大口径插入式流量计的校准，取覆盖因子k=2,校准结果的不确定度为



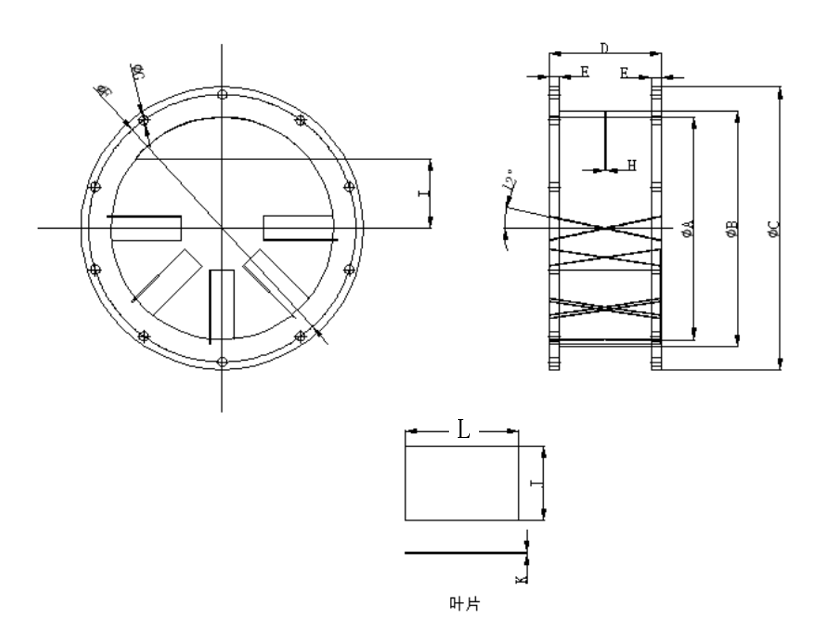
# 附录H 扰流件参考结构和形式

为了产生满足前述7.2.1.2 d）中要求的扰流件，本规范针对圆形和矩形管道分别给出两种形式的涡流发生装置示例。在进行实验室校准时，亦可采用其它满足前述测量要求的涡流发生装置。

H.1 叶片节流式涡流发生装置



图H.1 叶片节流式涡流发生装置示意图



图H.2 叶片节流式涡流发生装置详图

图H.2中各部分尺寸见下表(mm)。

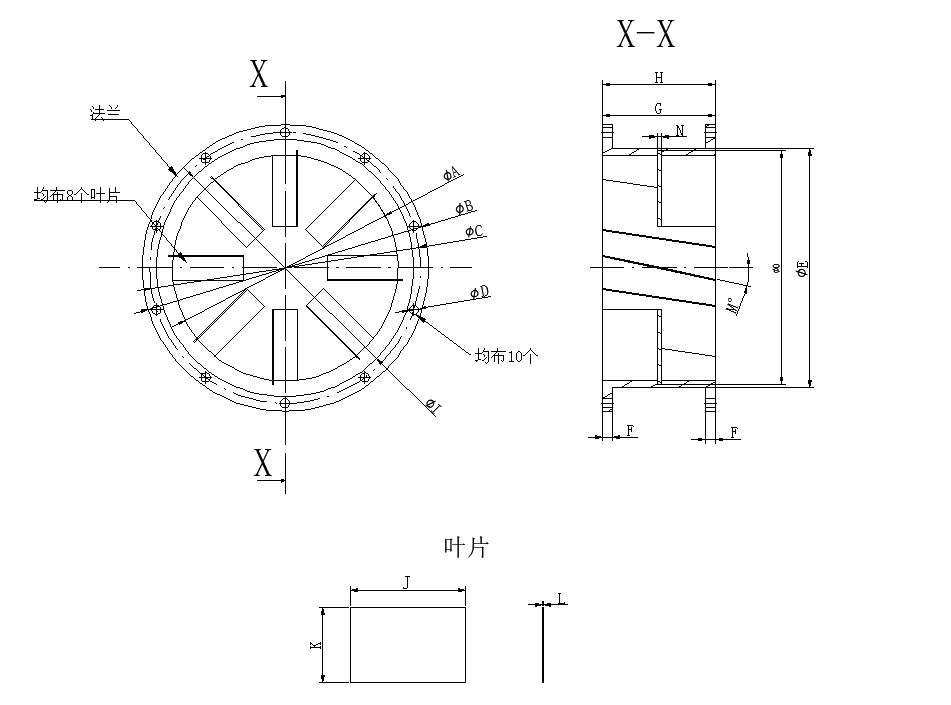
表H.1 叶片节流式涡流发生装置尺寸

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DN | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 1000 | 1000 | 1010 | 1180 | 500 | 20 | 1120 | 30 | 3 | 140 | 340 | 3 | 511 |
| 1200 | 1200 | 1210 | 1400 | 600 | 24 | 1340 | 34 | 3 | 180 | 420 | 3 | 613 |
| 1500 | 1500 | 1510 | 1750 | 750 | 24 | 1660 | 34 | 3 | 230 | 500 | 3 | 766 |

H.2 叶片式涡流发生装置



图H.3 叶片式涡流发生装置示意图



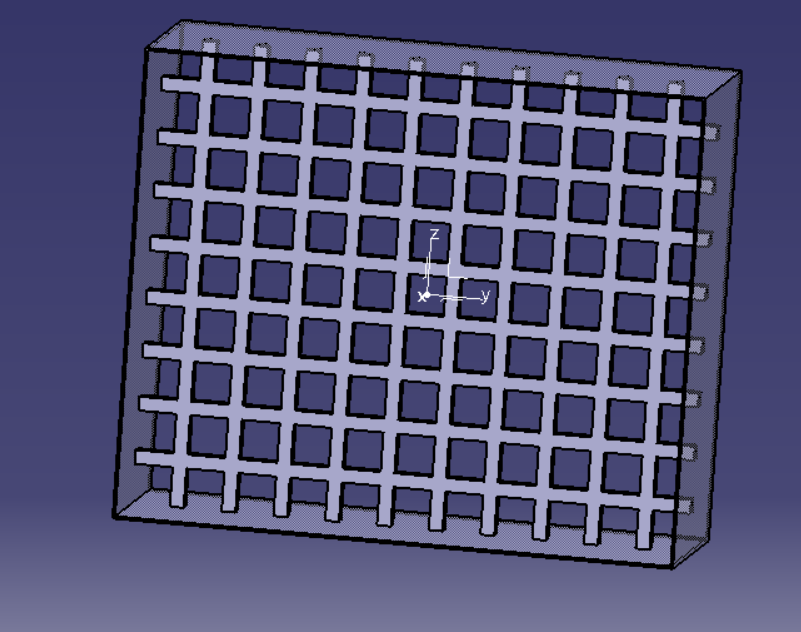
图H.4 叶片式涡流发生装置详图

图H.4中各部分尺寸见下表(mm)。

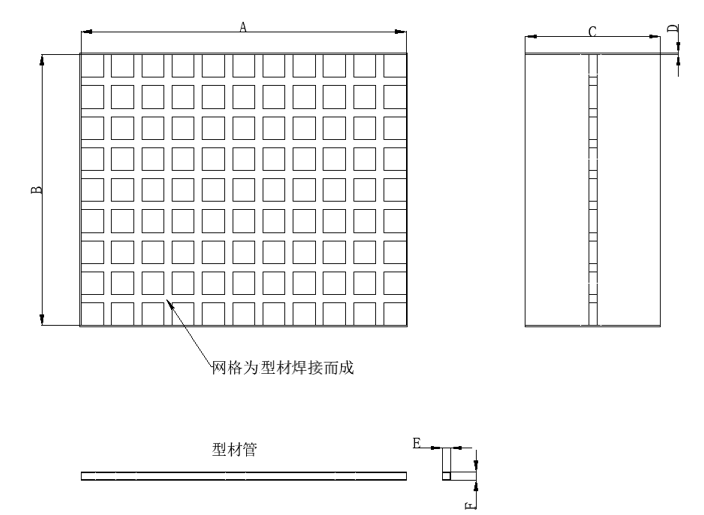
表H.2 叶片式涡流发生装置尺寸

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DN | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M(°) | N | O |
| 1000 | 1000 | 1180 | 1120 | 30 | 1010 | 20 | 497 | 500 | 1045 | 455 | 340 | 3 | 12 | 3.05 | 1006 |
| 1200 | 1200 | 1400 | 1340 | 34 | 1210 | 24 | 497 | 500 | 1245 | 455 | 440 | 3 | 12 | 3.05 | 1206 |
| 1500 | 1500 | 1750 | 1660 | 34 | 1510 | 24 | 497 | 500 | 1545 | 455 | 560 | 3 | 12 | 3.05 | 1506 |

H.3 格栅式涡流发生装置



图H.5 格栅式涡流发生装置示意图



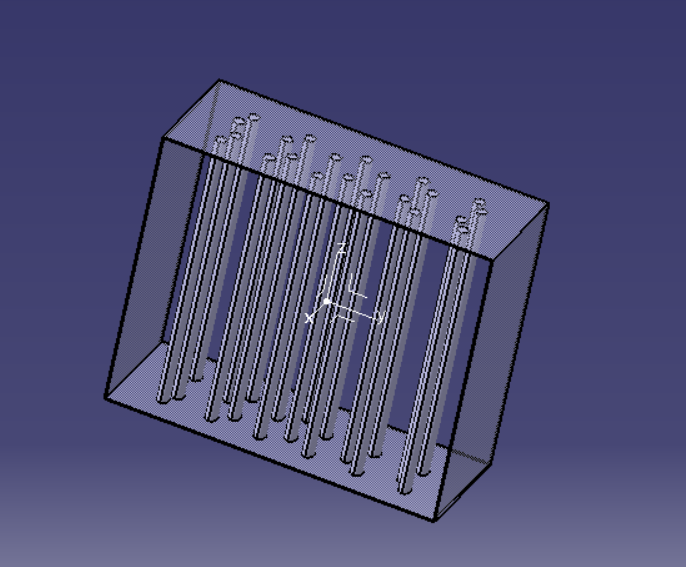
图H.6 格栅式涡流发生装置详图

图H.6中各部分尺寸见下表(mm)。

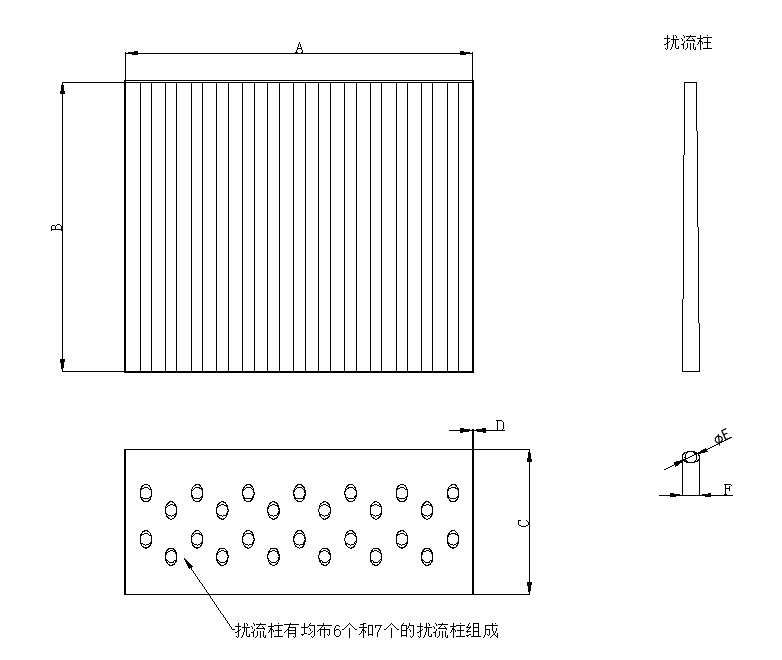
表H.3 格栅式涡流发生装置尺寸

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| A | B | C | D | E | F |
| 1200 | 1000 | 500 | 5 | 30 | 30 |
| 1500 | 1200 | 500 | 5 | 30 | 30 |

H.4 扰流柱式涡流发生装置



图H.7 扰流柱式涡流发生装置示意图



图H.8 扰流柱式涡流发生装置详图

图H.8中各部分尺寸见下表(mm)。

表H.4 扰流柱式涡流发生装置尺寸

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| A | B | C | D | E | F |
| 1200 | 1000 | 500 | 5 | 40 | 60 |
| 1500 | 1200 | 500 | 5 | 50 | 75 |

JJF XXXX-XXXX