**实验报告**

关于计量校准规范《大口径插入式流量计校准规范》中需要进行的实验内容如下所述。

1 实验装置

实验装置为：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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 | 涡流发生装置 | 湍流度：1%~5% | 用于产生复杂流场 |

配套设备为

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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 |

2实验内容

大口径插入式流量计的校准。

3实验结果

实验主要进行大口径插入式流量计的校准，大口径插入式流量计的结构形式主要有一体式和分体式，一体式的流量计探头插入管道核心区域位置。测量单点或短距离线的速度，然后换成管道流量，主要原理有差压式和超声以及电磁等。分体式的流量计发射信号和接收信号分别在管道的中某一条直线的两端，主要原理是超声流量计。

3.1大口径插入式超声流量计

3.1.1 校准过程

1、充分发展流场校准

1）被校流量计安装位置选取

安装位置应满足上游距扰流件有不少于15倍管道水力直径的直管，下游距扰流件有不少于5倍管道水力直径的直管；

2）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。

3）校准程序

1. 调整标准装置流量至第一个校准点，待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标准装置流量示值；
3. 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。

2、复杂流场校准

1) 复杂流场的产生

分别使用2种不同的涡流发生装置产生复杂流场并进行测试，涡流发生装置参考结构和形式见附录D。

2） 校准点选取

在包含Qmin~1.1Qmin、0.9Qmax~1.0Qmax的不少于2个流量点进行流量示值误差校准。

3）被校流量计安装位置选取

被校流量计安装位置位于涡流发生装置下游2倍管道水力直径的位置。

4）校准程序

参照1中的步骤进行

3.1.2、校准数据

表1 充分发展流场超声流量计校准数据

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第一校准点 | | | | | | |
| 记录数据次数 | 标准流量 | 超声流量计示值 | 温度（℃） | 大气压力（kPa） | 校准系数 | 重复性 |
| 1 | 1238.47 | 1360.87 | 25.56 | 101.11 | 0.91 | 1.86% |
| 2 | 1246.83 | 1388.91 | 25.46 | 100.99 | 0.90 |
| 3 | 1222.79 | 1391.12 | 25.35 | 101.00 | 0.88 |
| 4 | 1208.92 | 1336.70 | 25.31 | 100.84 | 0.90 |
| 5 | 1223.20 | 1384.32 | 25.28 | 101.01 | 0.88 |
| 6 | 1212.53 | 1395.22 | 25.25 | 101.03 | 0.87 |
| 7 | 1246.29 | 1353.86 | 25.32 | 101.15 | 0.92 |
| 8 | 1221.00 | 1373.93 | 25.38 | 101.20 | 0.89 |
| 9 | 1223.92 | 1326.45 | 25.45 | 101.31 | 0.92 |
| 10 | 1223.62 | 1393.59 | 25.36 | 101.42 | 0.88 |
| 第二校准点 | | | | | | |
| 1 | 81812.88 | 83757.99 | 25.56 | 101.11 | 0.98 | 1.07% |
| 2 | 80885.02 | 82698.56 | 25.46 | 100.99 | 0.98 |
| 3 | 80838.36 | 82838.87 | 25.35 | 101.00 | 0.98 |
| 4 | 80025.56 | 83300.83 | 25.31 | 100.84 | 0.96 |
| 5 | 81988.55 | 82066.93 | 25.28 | 101.01 | 1.00 |
| 6 | 80400.11 | 82845.44 | 25.25 | 101.03 | 0.97 |
| 7 | 81349.38 | 82713.64 | 25.32 | 101.15 | 0.98 |
| 8 | 81785.77 | 82482.47 | 25.38 | 101.20 | 0.99 |
| 9 | 81253.94 | 82435.21 | 25.45 | 101.31 | 0.99 |
| 10 | 80312.71 | 82022.22 | 25.36 | 101.42 | 0.98 |
| 第三校准点 | | | | | | |
| 1 | 184056.92 | 187426.18 | 25.56 | 101.11 | 0.98 | 1.01% |
| 2 | 183917.73 | 189447.13 | 25.46 | 100.99 | 0.97 |
| 3 | 184427.89 | 187366.81 | 25.35 | 101.00 | 0.98 |
| 4 | 182378.16 | 189897.81 | 25.31 | 100.84 | 0.96 |
| 5 | 182772.76 | 185233.01 | 25.28 | 101.01 | 0.99 |
| 6 | 184409.46 | 189628.05 | 25.25 | 101.03 | 0.97 |
| 7 | 184056.74 | 185036.50 | 25.32 | 101.15 | 0.99 |
| 8 | 181132.96 | 185652.26 | 25.38 | 101.20 | 0.98 |
| 9 | 183996.24 | 189403.08 | 25.45 | 101.31 | 0.97 |
| 10 | 183293.74 | 189256.60 | 25.36 | 101.42 | 0.97 |

在超声上游2倍水力直径位置安装涡流发生器，使测验段变成高湍流度的复杂流场。

表2 复杂流场超声流量计校准数据

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第一校准点 | | | | | | |
| 记录数据次数 | 标准流量 | 超声流量计示值 | 温度（℃） | 大气压力（kPa） | 校准系数 | 重复性 |
| 1 | 1238.47 | 1475.64 | 25.56 | 101.11 | 0.84 | 3.33% |
| 2 | 1246.83 | 1395.05 | 25.46 | 100.99 | 0.89 |
| 3 | 1222.79 | 1386.99 | 25.35 | 101.00 | 0.88 |
| 4 | 1208.92 | 1361.21 | 25.31 | 100.84 | 0.89 |
| 5 | 1223.20 | 1446.30 | 25.28 | 101.01 | 0.85 |
| 6 | 1212.53 | 1442.76 | 25.25 | 101.03 | 0.84 |
| 7 | 1246.29 | 1347.80 | 25.32 | 101.15 | 0.92 |
| 8 | 1221.00 | 1313.39 | 25.38 | 101.20 | 0.93 |
| 9 | 1223.92 | 1368.13 | 25.45 | 101.31 | 0.89 |
| 10 | 1223.62 | 1346.06 | 25.36 | 101.42 | 0.91 |
| 第二校准点 | | | | | | |
| 1 | 81812.88 | 87399.95 | 25.56 | 101.11 | 0.94 | 1.99% |
| 2 | 80885.02 | 85326.89 | 25.46 | 100.99 | 0.95 |
| 3 | 80838.36 | 85026.73 | 25.35 | 101.00 | 0.95 |
| 4 | 80025.56 | 84970.27 | 25.31 | 100.84 | 0.94 |
| 5 | 81988.55 | 82305.32 | 25.28 | 101.01 | 1.00 |
| 6 | 80400.11 | 83756.10 | 25.25 | 101.03 | 0.96 |
| 7 | 81349.38 | 86649.67 | 25.32 | 101.15 | 0.94 |
| 8 | 81785.77 | 83993.66 | 25.38 | 101.20 | 0.97 |
| 9 | 81253.94 | 86268.36 | 25.45 | 101.31 | 0.94 |
| 10 | 80312.71 | 82217.04 | 25.36 | 101.42 | 0.98 |
| 第三校准点 | | | | | | |
| 1 | 184056.92 | 193395.56 | 25.56 | 101.11 | 0.95 | 1.22% |
| 2 | 183917.73 | 184768.52 | 25.46 | 100.99 | 1.00 |
| 3 | 184427.89 | 189212.52 | 25.35 | 101.00 | 0.97 |
| 4 | 182378.16 | 185332.72 | 25.31 | 100.84 | 0.98 |
| 5 | 182772.76 | 187654.65 | 25.28 | 101.01 | 0.97 |
| 6 | 184409.46 | 186684.83 | 25.25 | 101.03 | 0.99 |
| 7 | 184056.74 | 188407.72 | 25.32 | 101.15 | 0.98 |
| 8 | 181132.96 | 186247.82 | 25.38 | 101.20 | 0.97 |
| 9 | 183996.24 | 188517.46 | 25.45 | 101.31 | 0.98 |
| 10 | 183293.74 | 190201.23 | 25.36 | 101.42 | 0.96 |

3.1.3 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。

3.1.3.1 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



3.1.3.2 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1238.47m3/h、1246.83m3/h、1222.79m3/h、1208.92m3/h、1223.20m3/h、1212.53m3/h、1246.29m3/h、1221.00m3/h、1223.92m3/h、1223.62m3/h，采用相对标准偏差法计算重复性





同理，其它校准点由测量重复性引入的不确定度分别为0.49%和0.33%。

3.1.3.3 标准器不确定度

第一校准点



其它校准点分别为：0.55%和0.41%

3.1.4 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，已知被校流量计在充分发展流场中第一校准点处示数分别为：1360.87m3/h、1388.91m3/h、1391.12m3/h、1336.70m3/h、1384.32m3/h、1395.22m3/h、1353.86m3/h、1373.93m3/h、1326.45m3/h、1393.59m3/h，采用标准偏差法计算重复性





同理，其它校准点由测量重复性引入的不确定度分别为0.37%和0.60%，在复杂流场下由测量重复性引入的不确定度分别为：2.16%、1.19%和0.78%。

3.1.5 合成标准不确定度

3.1.5.1 合成不确定度见表3

表3 标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 充分发展流场校准点 | | | |
| 校准点 | 不确定度来源 | 不确定度 | 合成不确定度 |
| 1 | 被校重复性 | 1.05% | 1.24% |
| 标准器测量重复性 | 0.61% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 2 | 被校重复性 | 0.37% | 0.66% |
| 标准器测量重复性 | 0.49% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 3 | 被校重复性 | 0.60% | 0.73% |
| 标准器测量重复性 | 0.33% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 复杂流场校准点 | | | |
| 1 | 被校重复性 | 2.16% | 2.26% |
| 标准器测量重复性 | 0.61% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 2 | 被校重复性 | 1.19% | 1.31% |
| 标准器测量重复性 | 0.49% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 3 | 被校重复性 | 0.78% | 0.88% |
| 标准器测量重复性 | 0.33% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 合成标准不确定度：，扩展不确定度：，k=2 | | | |

3.1.5.2 合成标准不确定度

输入量彼此独立不相关，取其中最大值。所以合成标准不确定度按下式得到：



3.1.6 扩展不确定度的评定

超声式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



3.2 差压式大口径插入式流量计的校准

3.2.1 校准过程

1、充分发展流场校准

1）被校流量计安装位置选取

安装位置应满足上游距扰流件有不少于15倍管道水力直径的直管，下游距扰流件有不少于5倍管道水力直径的直管；

2）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。

3）校准程序

1. 调整标准装置流量至第一个校准点，待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标准装置流量示值；
3. 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。

2、复杂流场校准

1) 复杂流场的产生

分别使用2种不同的涡流发生装置产生复杂流场并进行测试，涡流发生装置参考结构和形式见附录D。

2） 校准点选取

在包含Qmin~1.1Qmin、0.9Qmax~1.0Qmax的不少于2个流量点进行流量示值误差校准。

3）被校流量计安装位置选取

被校流量计安装位置位于涡流发生装置下游2倍管道水力直径的位置。

4）校准程序

参照1中的步骤进行

3.2.2、校准数据

差压式大口径流量计内置校准系数为0.8，气体密度为1.2kg/m3。输入管道直径为1.5m。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 充分发展流流场 | | | | | | | |
| 标准值（m3/h) | 被校流量计 | | | 温度（℃） | 大气压（kPa） | 校准系数 | 重复性 |
| 差压(Pa) | 速度(m/s) | 流量（m3/h) |
| 5012.37 | 0.61 | 0.81 | 5131.62 | 25.47 | 101.04 | 0.98 | 2.22% |
| 5069.21 | 0.61 | 0.81 | 5131.62 | 25.44 | 101.07 | 0.99 |
| 5018.87 | 0.63 | 0.82 | 5215.06 | 25.30 | 101.10 | 0.96 |
| 5060.01 | 0.65 | 0.83 | 5297.19 | 25.33 | 101.04 | 0.96 |
| 5094.63 | 0.67 | 0.85 | 5378.07 | 25.34 | 101.20 | 0.95 |
| 5047.78 | 0.68 | 0.85 | 5418.06 | 25.34 | 101.17 | 0.93 |
| 5085.93 | 0.62 | 0.81 | 5173.51 | 25.22 | 101.18 | 0.98 |
| 5061.15 | 0.7 | 0.86 | 5497.16 | 25.30 | 101.09 | 0.92 |
| 5009.72 | 0.66 | 0.84 | 5337.79 | 25.13 | 101.14 | 0.94 |
| 5095.99 | 0.66 | 0.84 | 5337.79 | 25.28 | 101.08 | 0.95 |
| 101733.56 | 182.52 | 15.60 | 99242.91 | 23.47 | 100.05 | 1.03 | 1.48% |
| 103619.76 | 181.35 | 15.55 | 98924.83 | 23.10 | 100.09 | 1.05 |
| 103283.50 | 180.19 | 15.50 | 98606.74 | 23.26 | 100.02 | 1.05 |
| 100081.99 | 180.65 | 15.52 | 98733.97 | 23.05 | 100.11 | 1.01 |
| 103796.03 | 181.59 | 15.56 | 98988.44 | 23.02 | 100.17 | 1.05 |
| 101884.73 | 187.23 | 15.80 | 100515.26 | 23.12 | 100.03 | 1.01 |
| 102986.27 | 186.05 | 15.75 | 100197.17 | 23.45 | 100.22 | 1.03 |
| 104615.93 | 183.93 | 15.66 | 99624.62 | 23.25 | 100.08 | 1.05 |
| 100336.21 | 179.49 | 15.47 | 98415.89 | 23.46 | 100.17 | 1.02 |
| 103871.99 | 188.89 | 15.87 | 100960.58 | 23.15 | 100.08 | 1.03 |
| 191726.94 | 657.12 | 29.6 | 188307.06 | 23.72 | 100.23 | 1.02 | 0.79% |
| 194875.29 | 663.80 | 29.75 | 189261.32 | 23.90 | 100.24 | 1.03 |
| 191367.61 | 644.75 | 29.32 | 186525.78 | 23.52 | 100.46 | 1.03 |
| 194930.65 | 651.80 | 29.48 | 187543.66 | 23.67 | 100.21 | 1.04 |
| 192942.64 | 653.57 | 29.52 | 187798.13 | 23.63 | 100.49 | 1.03 |
| 195114.75 | 656.23 | 29.58 | 188179.83 | 23.80 | 100.23 | 1.04 |
| 190469.62 | 635.54 | 29.11 | 185189.82 | 23.95 | 100.45 | 1.03 |
| 192822.61 | 637.73 | 29.16 | 185507.90 | 23.82 | 100.27 | 1.04 |
| 195992.17 | 657.56 | 29.61 | 188370.68 | 23.93 | 100.34 | 1.04 |
| 195855.21 | 655.35 | 29.56 | 188052.59 | 23.69 | 100.32 | 1.04 |
| 复杂流场 | | | | | | | |
| 标准值（m3/h) | 被校流量计 | | | 校准系数 | 重复性 | 标准值（m3/h) | 被校流量计 |
| 差压(Pa) | 速度(m/s) | 流量（m3/h) |
| 5027.98 | 0.56 | 0.77 | 4916.81 | 23.59 | 100.37 | 1.02 | 4.80% |
| 5047.55 | 0.58 | 0.79 | 5003.84 | 23.72 | 100.34 | 1.01 |
| 5040.84 | 0.62 | 0.81 | 5173.51 | 23.99 | 100.20 | 0.97 |
| 5012.92 | 0.69 | 0.86 | 5457.75 | 23.99 | 100.20 | 0.92 |
| 5032.91 | 0.75 | 0.89 | 5690.10 | 23.60 | 100.37 | 0.88 |
| 5009.07 | 0.74 | 0.89 | 5652.04 | 23.54 | 100.31 | 0.89 |
| 5008.14 | 0.64 | 0.83 | 5256.29 | 23.91 | 100.46 | 0.95 |
| 5049.72 | 0.71 | 0.87 | 5536.28 | 23.65 | 100.32 | 0.91 |
| 5020.09 | 0.62 | 0.81 | 5173.51 | 23.93 | 100.30 | 0.97 |
| 5025.00 | 0.63 | 0.82 | 5215.06 | 23.66 | 100.40 | 0.96 |
| 104161.10 | 184.16 | 15.67 | 99688.23 | 23.74 | 100.12 | 1.04 | 2.29% |
| 104618.25 | 179.03 | 15.45 | 98288.65 | 23.77 | 100.15 | 1.06 |
| 100333.17 | 177.18 | 15.37 | 97779.72 | 23.84 | 100.15 | 1.03 |
| 103856.86 | 189.85 | 15.91 | 101215.05 | 23.82 | 99.94 | 1.03 |
| 101187.99 | 176.03 | 15.32 | 97461.63 | 23.72 | 100.06 | 1.04 |
| 103212.95 | 172.60 | 15.17 | 96507.37 | 24.00 | 100.01 | 1.07 |
| 101351.71 | 173.74 | 15.22 | 96825.46 | 24.15 | 99.95 | 1.05 |
| 103366.43 | 193.20 | 16.05 | 102105.69 | 24.16 | 100.17 | 1.01 |
| 102544.83 | 197.32 | 16.22 | 103187.18 | 23.97 | 100.18 | 0.99 |
| 104020.50 | 189.61 | 15.90 | 101151.43 | 23.91 | 100.15 | 1.03 |
| 192713.76 | 634.88 | 29.09 | 185092.72 | 24.20 | 100.03 | 1.04 | 1.78% |
| 193724.02 | 636.77 | 29.14 | 185368.77 | 24.26 | 99.89 | 1.05 |
| 196724.35 | 643.64 | 29.29 | 186365.70 | 24.33 | 100.00 | 1.06 |
| 191613.11 | 664.30 | 29.76 | 189332.40 | 24.19 | 100.06 | 1.01 |
| 190512.72 | 652.49 | 29.50 | 187642.43 | 24.24 | 99.80 | 1.02 |
| 190788.46 | 674.05 | 29.98 | 190717.85 | 24.21 | 99.84 | 1.00 |
| 194110.61 | 661.42 | 29.70 | 188922.23 | 24.37 | 99.81 | 1.03 |
| 196158.72 | 647.39 | 29.38 | 186908.12 | 23.97 | 99.85 | 1.05 |
| 192305.89 | 637.79 | 29.16 | 185516.05 | 24.40 | 99.88 | 1.04 |
| 191162.83 | 634.81 | 29.09 | 185082.80 | 24.06 | 100.02 | 1.03 |

3.2.3 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。

3.2.4标准器与被校流量计不确定评定方法参见3.1.3和3.1.4中的评定方法

3.2.5合成不确定度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 充分发展流场校准点 | | | |
| 校准点 | 不确定度来源 | 不确定度 | 合成不确定度 |
| 1 | 被校重复性 | 1.37% | 1.44% |
| 标准器测量重复性 | 0.37% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 2 | 被校重复性 | 0.51% | 1.04% |
| 标准器测量重复性 | 0.87% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 3 | 被校重复性 | 0.70% | 0.95% |
| 标准器测量重复性 | 0.59% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 复杂流场校准点 | | | |
| 1 | 被校重复性 | 2.88% | 2.89% |
| 标准器测量重复性 | 0.18% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 2 | 被校重复性 | 1.38% | 1.62% |
| 标准器测量重复性 | 0.82% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 3 | 被校重复性 | 0.62% | 0.93% |
| 标准器测量重复性 | 0.65% |
| 标准证书引入 | 0.25% |
| 合成标准不确定度：，扩展不确定度：，k=2 | | | |

3.1.5.2 合成标准不确定度

输入量彼此独立不相关，取其中最大值。所以合成标准不确定度按下式得到：



3.1.6 扩展不确定度的评定

差压式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

