



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 736—1991

气体层流流量传感器

Gas Laminar Flow Transducer

1991—03—12 发布

1991—10—01 实施

国家技术监督局 发布

气体层流流量传感器

检 定 规 程

Verification Regulation of Gas

Laminar Flow Transducer

JJG 736—1991

本检定规程经国家技术监督局于 1991 年 03 月 12 日批准，并自 1991 年 10 月 01 日起施行。

归口单位：浙江省标准计量管理局

起草单位：浙江省计量测试技术研究所

本规程技术条文由起草单位负责解释

本规程主要起草人：

沈文新 （浙江省计量测试技术研究所）

詹志杰 （浙江省计量测试技术研究所）

参加起草人：

申屠森 （江苏工学院）

朱怀琪 （江苏工学院）

目 录

一 概述	(1)
二 技术要求	(2)
三 检定条件	(3)
四 检定项目和检定方法	(3)
五 检定结果处理和检定周期	(5)
附录 1 气体层流流量传感器系数 K_0 的标定方法	(7)
附录 2 气体层流流量传感器检定记录格式	(9)
附录 3 气体层流流量传感器系数 K_0 标定记录格式	(10)
附录 4 检定证书内页格式内容	(11)
附录 5 气体层流流量传感器空气粘性修正系数 ξ 值表	(12)
附录 6 极差法	(13)

气体层流流量传感器检定规程

本规程适用于新制造、使用中和修理后的气体层流流量传感器的检定。

一 概 述

1 气体层流流量传感器（以下简称传感器）适用于空气等洁净气体流量（包括脉动气流量）的测量。

2 传感器由层流元件、安装元件的本体和取压装置组成。层流元件可由单管或多管流路组成。传感器与微差压仪表配套使用组成层流流量计。

3 传感器工作原理

当气体流经传感器层流元件时，形成层流运动，在元件上下游产生静压力差。根据流体力学原理，流过元件的平均流速或体积流量与这一差压成正比：

$$\bar{v} = \frac{c_1}{\mu} \Delta p \quad (1)$$

$$\text{或} \quad Q = \frac{c}{\mu} \Delta p \quad (2)$$

式中： $\bar{v}$ ——层流元件管路平均流速，m/s；

Q ——层流元件管路实际体积流量，m³/s；

c_1 ——与层流元件结构几何尺寸有关的常数，m；

c ——与层流元件结构几何尺寸有关的常数，m³；

μ ——气体动力粘性系数，Pa·s；

Δp ——流经层流元件产生的静压力差，Pa。

传感器系数 K_0 定义为标准状态下测试时实际体积流量与对应差压的比值。 K_0 通过实验标定得到，方法见附录 1。

由式 (2) 可知，通过测量流经传感器层流元件产生的差压 Δp 和层流元件进口处气体绝对压力 p_m 、热力学温度 T_m ，可确定管道内的实际体积流量或质量流量：

$$Q = \left(\frac{\mu_N}{\mu} \right) K_0 \cdot \Delta p \quad (3)$$

$$q = \left(\frac{p_m}{p_N} \right) \left(\frac{T_N}{T_m} \right) \left(\frac{\mu_N}{\mu} \right) \rho_N \cdot K_0 \cdot \Delta p \quad (4)$$

式中： Q ——实际体积流量，m³/s；

- K_0 ——传感器系数, $(\text{m}^3/\text{s}) \cdot \text{Pa}^{-1}$;
 μ, μ_N ——检定状态下和标准状态下气体动力粘性系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;
 q ——质量流量, kg/s ;
 p_m, T_m ——层流元件进口处气体绝对压力 (Pa) 和热力学温度 (K);
 ρ_N ——标准状态下气体的密度, kg/m^3 ;
 Δp ——流经层流元件产生的静压力差, Pa。

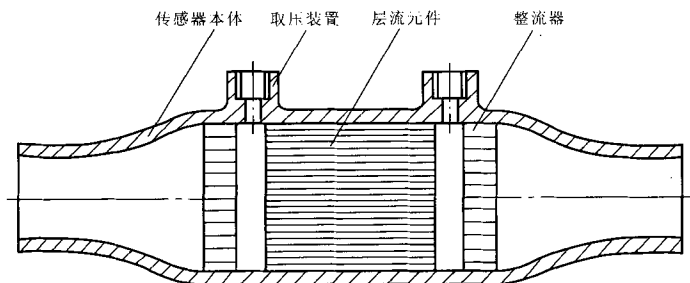


图1 层流流量传感器结构示意图

二 技 术 要 求

- 4 传感器壳体上应具有铭牌，铭牌上应标有下列内容：
 - a. 产品名称和型号；
 - b. 公称口径；
 - c. 流量范围；
 - d. 准确度等级；
 - e. 制造日期和出厂编号；
 - f. 制造厂名或厂标；
 - g. 计量器具标志和编号。
- 5 在传感器外壳的明显部位应有流向标志。
- 6 传感器应附使用说明书，说明书中应注明传感器的型号、公称压力和传感器系数 K_0 值及配套使用的微差压仪表的要求。周期检定的传感器应有上一次检定的检定证书。
- 7 新制造传感器的表面镀层或喷漆应均匀牢固，不应有气泡、划痕等缺陷。
- 8 传感器的层流元件应用耐水气腐蚀的材料制成，并牢固地固定在传感器本体上。
- 9 测压接头内如有阻尼元件，其性能应可靠。
- 10 传感器应在 1.5 倍公称压力下持续 5 min 保持不泄漏和损坏。使用中的传感器应能

保证在最大使用压力下不泄漏和损坏。

11 传感器的准确度等级分为 1.0 级、1.5 级、2.5 级和 4.0 级，其相应的基本误差限分别为 $\pm 1.0\%$ ， $\pm 1.5\%$ ， $\pm 2.5\%$ 和 $\pm 4.0\%$ 。

12 传感器重复性不应超过基本误差限绝对值的二分之一。

三 检 定 条 件

13 检定设备

13.1 检定传感器的气体流量标准装置（以下简称装置）可用钟罩式装置、标准表法装置和 pVT_t 法装置。

13.2 装置应具有检定合格证书，其基本误差应不超过被检传感器基本误差限的三分之一。

13.3 检定系统应具有良好的密封性，一次检定过程中流量应稳定。

13.4 微差压仪表可根据传感器的准确度等级相应选用。微差压仪表在传感器流量下限处测试时的误差应不超过传感器基本误差限的二分之一。

14 附属设备

14.1 分度值 0.2 K 的温度计。

14.2 三等标准液体压力计。

14.3 1.5 级压力表。

14.4 四级秒表。

14.5 气压计。

15 环境条件

15.1 环境空气温度为 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$ 。

15.2 大气压力为 $86\sim 106\text{ kPa}$ 。

15.3 环境空气相对湿度不大于 85%。

16 检定介质为空气，一次检定过程中其温度变化不超过 0.5 K，检定时间不少于 30 s。

四 检定项目和检定方法

（一）外观检查

17 用目测方法检查传感器的外观、其结果应符合本规程 4~8 条要求。

（二）密封性试验

18 传感器进行密封性试验时，把传感器安装在一密封系统中，用空气作加压试验，其结果应符合本规程第 10 条要求。

（三）基本误差检定

19 按照传感器的流量范围，选择五个流量检定点： $Q_{\max}$ ， $0.8 Q_{\max}$ ， $0.6 Q_{\max}$ ， $0.4 Q_{\max}$ ， $Q_{\min}$ 。每个流量点检定两次。

20 检定方法

20.1 传感器应按其使用说明书的要求安装必要的上下游直管段和有关附件, 并按照装置检定的要求接入检定系统中。图 2 为以标准表法为例的传感器的检定系统示意图。

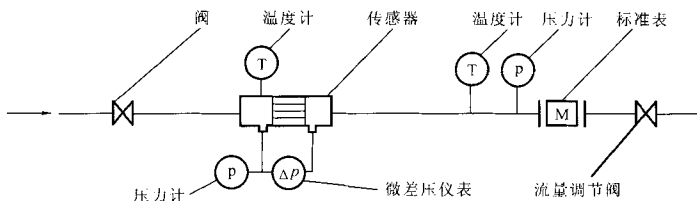


图 2 传感器检定系统示意图

20.2 每次检定记录装置内的气体绝对压力 p_s 和热力学温度 T_s 、传感器层流元件进口处气体绝对压力 p_m 和热力学温度 T_m 。

20.3 传感器差压的测定采用静态间歇读数方法, 一次检定过程中有效读数次数不得少于 10 次, 最后取其平均值作为该次检定的差压值 Δp 。

20.4 根据传感器层流元件进口处温度值, 查出或求出传感器的粘性修正系数 ξ 值。

ξ 为标准状态下实际使用气体的动力粘性系数 μ_N 与检定条件下空气的动力粘性系数 μ 的比值 μ_N/μ 。对于使用介质为空气的传感器, 粘性修正系数 ξ 值可查附录 5。

20.5 传感器流量的计算

20.5.1 按下式把传感器实际体积流量换算到标准状态下的体积流量:

$$Q = \left(\frac{p_m}{p_N} \right) \left(\frac{T_N}{T_m} \right) \left(\frac{\mu_N}{\mu} \right) K_0 \cdot \Delta p \quad (5)$$

式中: Q ——换算到标准状态下的传感器体积流量值, m^3/s ;

p_N , T_N ——标准状态下的绝对压力 (Pa) 和热力学温度 (K);

p_m , T_m ——传感器层流元件进口处绝对压力 (Pa) 和热力学温度 (K);

μ_N/μ ——粘性修正系数 ξ 值;

K_0 ——传感器系数, $(\text{m}^3/\text{s}) \cdot \text{Pa}^{-1}$ 。

20.5.2 如果 $\Delta p/2p_m$ 大于传感器基本误差限的三分之一, 式 (5) 中 p_m 应用 $(p_m - \Delta p/2)$ 代替。

20.6 装置流量的计算

20.6.1 用钟罩式装置检定, 按下式将装置产生的流量换算到标准状态下的体积流量:

$$Q_{SN} = \left(\frac{p_s}{p_N} \right) \left(\frac{T_N}{T_s} \right) \frac{V_s}{t} \quad (6)$$

式中: Q_{SN} ——换算到标准状态下的装置体积流量, m^3/s ;

p_s, T_s ——装置内气体绝对压力 (Pa) 和热力学温度 (K);

V_s ——装置排出的气体体积, m^3 ;

t ——排出时间, s 。

20.6.2 用标准表法装置检定, 按标准表的工作原理将其流量换算到标准状态下的体积流量 Q_{SN} 。

20.6.3 用 pVT 法装置检定, 按下式将装置产生的体积流量换算到标准状态下的体积流量:

$$Q_{SN} = \left(\frac{p_2 \cdot T_N}{p_N \cdot T_2} - \frac{p_1 \cdot T_N}{p_N \cdot T_1} \right) \frac{V_0}{t} \quad (7)$$

式中: p_1, T_1 ——气体进入之前标准容器内气体绝对压力 (Pa) 和热力学温度 (K);

p_2, T_2 ——气体进入之后标准容器内气体绝对压力 (Pa) 和热力学温度 (K);

V_0 ——标准容器容积, m^3 ;

t ——测量时间, s 。

21 计算传感器的基本误差和重复性

21.1 各检定点每次检定的基本误差

$$\delta_{ij} = \frac{Q - Q_{SN}}{Q_{SN}} \times 100\% \quad (j = 1, 2) \quad (8)$$

式中: 角码 i ——流量检定点序号;

角码 j ——第 j 次测量。

21.2 每点检定的基本误差

$$\delta_i = \frac{1}{2}(\delta_{i1} + \delta_{i2}) \quad (9)$$

21.3 每点检定的重复性

$$\delta_{ri} = |\delta_{i1} - \delta_{i2}| \quad (10)$$

21.4 传感器基本误差

$$\delta = \pm |\delta_i|_{\max} \quad (11)$$

21.5 传感器重复性

$$\delta_r = (\delta_{ri})_{\max} \quad (12)$$

22 传感器的基本误差和重复性应符合本规程第 11 和 12 条的规定。

五 检定结果处理和检定周期

23 检定合格的传感器发给检定证书, 检定证书格式见附录 4; 检定不合格的传感器发

给检定结果通知书，或进行修理并按附录 1 进行标定，根据所能达到的准确度等级发给检定证书。

24 传感器检定周期根据具体使用场合条件确定，一般不得超过 2 年。

附录 1

气体层流流量传感器系数 K_0 的标定方法

1 标定传感器的设备和环境条件应符合本规程第 13~16 条的规定。

2 标定方法

2.1 传感器应按其使用说明书的要求安装必要的上下游直管段和有关附件，并按装置的要求接入检定系统中。

2.2 按照传感器的流量范围，选择五个标定点： $Q_{\max}$ ， $0.8 Q_{\max}$ ， $0.6 Q_{\max}$ ， $0.4 Q_{\max}$ ， $Q_{\min}$ 。每个流量点标定次数应不少于 3 次。

2.3 每次标定记录装置内气体绝对压力 p_s 和热力学温度 T_s 、传感器层流元件进口处气体绝对压力 p_m 和热力学温度 T_m 、传感器平均差压 Δp 以及粘性修正系数 ξ 值，记录格式见附录 3。差压 Δp 按本规程 20.3 条方法测定。

3 传感器系数 K_0 的计算

3.1 对各标定点的每次标定，按下式计算其传感器系数：

$$K_{ij} = \left(\frac{p_N}{p_m} \right) \left(\frac{T_m}{T_N} \right) \left(\frac{1}{\xi} \right) \frac{Q_{SN}}{\Delta p} \quad (3-1)$$

式中： p_N ， T_N ——标准状态下的绝对压力 (Pa) 和热力学温度 (K)；

p_m ， T_m ——层流元件进口处气体绝对压力 (Pa) 和热力学温度 (K)；

ξ ——粘性修正系数， $\xi = \mu_N / \mu$ ；

Δp ——传感器平均差压值；

Q_{SN} ——换算到标准状态下的装置体积流量， m^3/s ；

角码 i ——标定点序号；

角码 j ——第 j 次标定。

3.1.1 用钟罩式装置标定，式 (3-1) 实际为

$$K_{ij} = \left(\frac{p_s}{p_m} \right) \left(\frac{T_m}{T_s} \right) \left(\frac{1}{\xi} \right) \frac{V_s}{t \cdot \Delta p} \quad (3-2)$$

式中： p_s ， T_s ——装置内气体绝对压力 (Pa) 和热力学温度 (K)；

V_s ——装置排出的气体体积， m^3 ；

t ——排出时间，s。

3.1.2 用标准表法装置标定，应按标准表的工作原理将其流量换算到标准状态下的体积流量 Q_{SN} ，用式 (3-1) 计算 K_{ij} 。

3.1.3 用 pVT 法装置标定，式 (3-1) 实际为

$$K_{ij} = \left(\frac{p_2 T_m}{p_m T_2} - \frac{p_1 T_m}{p_m T_1} \right) \left(\frac{1}{\xi} \right) \frac{V_0}{t \cdot \Delta p} \quad (3-3)$$

式中: p_1 , T_1 ——气体进入之前标准容器内的绝对压力 (Pa) 和热力学温度 (K);

p_2 , T_2 ——气体进入之后标准容器内的绝对压力 (Pa) 和热力学温度 (K);

V_0 ——标准容器的容积, m^3 ;

t ——测量时间, s 。

3.1.4 如 $\Delta p/2$ p_m 大于传感器基本误差限绝对值的三分之一, 式 (3-1)、(3-2)、(3-3) 中 p_m 应用 $(p_m - \Delta p/2)$ 代替。

3.2 每个标定点的传感器系数

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^n K_{ij}}{n} \quad (3-4)$$

式中: n ——标定次数, $n \geq 3$ 。

3.3 每个标定点的重复性误差

$$\delta_{ri} = \frac{K_{ij\max} - K_{ij\min}}{d_n K_i} \times 100\% \quad (3-5)$$

式中: $K_{ij\max}$, $K_{ij\min}$ ——每点传感器系数 K_{ij} 中的最大值和最小值, $(\text{m}^3/\text{s}) \cdot \text{Pa}^{-1}$;

d_n ——极差系数, 可查附录 6。

3.4 传感器系数 K_0 按下式计算:

$$K_0 = \frac{1}{2} (K_{i\max} + K_{i\min}) \quad (3-6)$$

式中: $K_{i\max}$, $K_{i\min}$ ——各标定传感器系数 K_i 中的最大值和最小值, $(\text{m}^3/\text{s}) \cdot \text{Pa}^{-1}$ 。

3.5 传感器线性度误差

$$\delta_l = \frac{K_{l\max} - K_{l\min}}{K_{l\max} + K_{l\min}} \times 100\% \quad (3-7)$$

4 计算传感器的准确度和重复性

4.1 传感器准确度

$$\delta = \pm \sqrt{\delta_s^2 + \delta_{\Delta p}^2 + \delta_l^2} \quad (3-8)$$

式中: δ_s ——装置准确度;

$\delta_{\Delta p}$ ——微差压仪表基本误差。

4.2 传感器重复性

$$\delta_r = \max \delta_{ri}$$

附录 2

气体层流流量传感器检定记录格式

送检单位 _____ 规格型号 _____ 表号 _____

生产厂 _____ 流量范围 _____ K_0 _____

检 定 点	气体层流流量传感器					标准装置					误差计算		
	Δp	p_m	T_m	ξ	Q	p_s	T_s	V_s	t	Q_{SN}	基本误差		重复性
											δ_{ij}	δ_i	δ_{ri}
环境条件	大气压力 Pa 室温 ℃ 相对湿度 %												
检定设备													
备 注													

检定结果 _____ 检定员 _____ 复核员 _____ 检定日期 _____

附录 3

气体层流流量传感器系数 K_0 标定记录格式

规格型号 _____ 出厂编号 _____ 制造厂 _____ 流量范围 _____

标准装置型式 _____ 标准装置准确度 _____ 微差压仪表型号、准确度 _____

标 定 点	气体层流流量传感器				标准装置					传感器系数	
	Δp	p_m	T_m	ξ	p_s	T_s	V_s	t	Q_{SN}	K_{ij}	K_i
环境条件		大气压力 Pa 室温 ℃ 相对湿度 %									
计 算	$K_i = \frac{\sum_{j=1}^n K_{ij}}{n} \quad K_0 = \frac{1}{2} (K_{i \max} + K_{i \min})$										
备 注											

标 定 员 _____ 标 定 日 期 _____ 记 录 编 号 _____

附录 4

检定证书内页格式内容

气体层流流量传感器检定结果

- 1 流量范围
- 2 标准状态下传感器系数 K_0
- 3 准确度
- 4 重复性
- 5 检定时介质温度 ℃，大气压力 Pa

附录 5

气体层流流量传感器空气粘性修正系数 ξ 值表($\xi = \mu_N / \mu$, 以 20 ℃ 时空气动力粘性系数为基准)

温度 $t_m / ^\circ\text{C}$	ξ	温度 $t_m / ^\circ\text{C}$	ξ	温度 $t_m / ^\circ\text{C}$	ξ
1	1.054	21	0.997	41	0.946
2	1.051	22	0.994	42	0.943
3	1.048	23	0.991	43	0.941
4	1.045	24	0.989	44	0.939
5	1.042	25	0.986	45	0.936
6	1.039	26	0.984	46	0.934
7	1.036	27	0.981	47	0.931
8	1.033	28	0.978	48	0.929
9	1.030	29	0.976	49	0.927
10	1.027	30	0.973	50	0.925
11	1.024	31	0.971	51	0.922
12	1.022	32	0.968	52	0.920
13	1.019	33	0.966	53	0.918
14	1.016	34	0.963	54	0.915
15	1.013	35	0.961	55	0.913
16	1.011	36	0.958	56	0.911
17	1.008	37	0.956	57	0.909
18	1.005	38	0.953	58	0.906
19	1.003	39	0.951	59	0.904
20	1.000	40	0.948	60	0.902

附录 6

极 差 法

在多次测量中，若各独立测量值 $V_1, V_2, \dots, V_n$ ，服从正态分布，则在其中选出最大值 $V_{\max}$ 和最小值 $V_{\min}$ ，它们的差 $V_{\max} - V_{\min} = W_n$ 称为极差。则一次测量的均方根误差 $\sigma = \frac{W_n}{d_n}$ 。

 d_n 数 值 表

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
d_n	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08	3.17	3.26