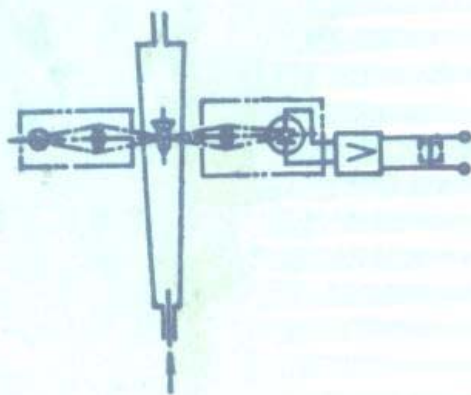




气动测量

石淼森 编著



中国计量出版社

TV 63

S 55

气 动 测 量

石淼森 编著

中国计量出版社

新登(京)字 024 号

内 容 提 要

本书阐述了各类气动量仪的工作原理,介绍各种放大器、转换器及元器件。着重分析用于尺寸误差和形位误差测量的测量头及其检测装置的设计原则、典型图例和具体参数,同时列举测量头和测量系统的设计和应用实例,并附有误差分析理论和实例。本书可供工矿企业工程技术人员阅读,也可供高等院校有关专业师生参考。

气 动 测 量

石森森 编著

责任编辑 朱桂兰

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—14—

开本 787×1092/32 印张 12.375 字数 276 千字

1992 年 2 月第 1 版 1992 年 2 月第 1 次印刷

印数 00,001—5 000

ISBN 7-5026-0472-3/TB·369

定价 7.50 元

绪 言

零件几何量（尺寸、形状和相互位置、粗糙度等）测量，常用的测量方法有机械、电磁、光学、激光和气动等等。利用压缩空气在流动过程中状态参量规律性变化的原理来进行的测量称为气动测量。气动测量是一种适应性较广的精密测量。采用气动测量系统，可以减小测量误差，提高测量的精度和效率，得到较好的技术经济效果。气动测量不仅用于被动测量，还可应用于加工过程中的主动测量，为实现机械加工自动化创造条件。

气动测量仅有几十年的发展历史。它由低压式（测量压力为 $0.03 \times 10^5 \sim 0.12 \times 10^5 \text{ Pa}$ ）测量发展到高压式（测量压力为 $0.5 \times 10^5 \sim 3.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ ）测量；由单气路测量发展到多气路测量；由静态测量发展到动态测量；气动量仪由单一的发展到具有二级放大作用的组合式。如带气动放大器的气动量仪；气动-光学式量仪；气动-机械式量仪；气动-电气式量仪等。目前，组合式气动量仪广泛地应用在生产自动线上，承担着各种自动测量、自动分检、自动记录和自动控制等功能。

气动测量与机械测量相比较，有以下特点：

1. 气动量仪的放大倍率高，测量的重复性好，指示稳定性好，所以测量精度高。如放大倍率为 5 000 倍的浮标式气动量仪的刻度值为 $1 \mu\text{m}$ 。气动测量头上的喷嘴挡板机构，灵敏度很高，它能分辨 $0.1 \mu\text{m}$ 这样微量的位移。

2. 根据测量的需要和可能，可以实现接触式测量，也

可以实现非接触式测量。非接触式测量，对于易变形的薄壁零件和光洁的软质表面特别适用，因为它无损于加工表面，而用机械式测量工具进行测量时，光洁的表面上可能会因测量力的作用而产生接触压痕。

3. 测量的结果不受测量者技术熟练程度的影响。

4. 高压气流可以吹掉被测表面的油污和脏物，起到“自洁”作用，使测量数据正确可靠。因此，气动测量适于在较恶劣的环境下工作。

5. 测量头和量仪是软连接，它能够测量到机械量仪测不到的部位。

6. 气动量仪结构简单，制造容易，维护方便。

与电动量仪相比较，气动量仪的抗干扰（如抗磁场或杂散电波等）能力强，对环境的适应性强。

但是，气动测量也有它的不足之处，如：

1. 必须具备气源。需要连续供给经过处理的洁净、稳压的压缩空气，

2. 测量头的专用性强。对于不同的测量对象和不同的量值范围都要设计、制造出不同的测量头和校对规。

尽管如此，气动测量的优点是可取的，在某些场合，如大批量生产的车间里，用来对流水线上的各道工序进行精密测量和自动测量。因此，气动测量已经成为技术测量中不可缺少的一个分支。

文中所用符号及其计量单位

P ——压强 (压力)	Pa
t ——摄氏温度	$^{\circ}\text{C}$
T ——绝对温度	K
g ——重力加速度	m/s^2
M ——质量	kg
G ——重量	kg
V ——体积, 容积	$\text{m}^3, \text{cm}^3, \text{l}$
ρ ——密度	kg/m^3
γ ——重度	N/m^3
v ——比容积	m^3/kg
F ——作用力	N
A ——面积	cm^2, mm^2
x ——绝对湿度	N/m^3
φ ——相对湿度	%
R ——气体常数	$\text{N}\cdot\text{m}/\text{N}\cdot\text{K}$
k ——绝热指数	
Q ——流量	$\text{l/s}, \text{kg/s}, \text{N/s}$
ω ——速度	m/s
τ ——时间	s
E ——能量	J
H, h ——高度	mm
Z ——测量间隙	mm
α ——流量系数	

$\bar{D}, d$ —— 直径	mm
B —— 系数	mm^{-1}
C_v —— 系数	$1/\text{s} \cdot \text{mm}^2$
a, b —— 矩形喷嘴尺寸	mm
r —— 半径	mm
K —— 放大倍率	
Z_L —— 线性测量范围	mm
C —— 量仪常数	
θ —— 角度	($^{\circ}$)
W —— 锥管的内锥度	
Δ —— 尺寸公差值	mm
t —— 形位公差值	mm
n —— 测量的分组数、棱数	
i —— 组数	
D_0, D_1 —— 测量头尺寸	mm
δ —— 测量喷嘴凹陷量	mm
L, l —— 长度	mm
ξ —— 系数	
η_1 —— 分水效率	%
η_2 —— 滤灰效率	%
ε_1 —— 流量特性	%
ε_2 —— 压力特性	%
C_R —— 气阻	s/m^2
μ —— 空气动力粘度系数	$\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$
δ_0 —— 缝隙	m
β —— 材料系数	
α —— 线膨胀系数	$1/^{\circ}\text{C}$
U, e —— 测量误差	mm

v_i ——	剩余误差	mm
σ ——	标准差	mm
λ ——	误差传递系数	
U_{lim} ——	极限误差范围	mm
K', K_i ——	比例系数	
h ——	小时	

目 录

绪言	(i)
文中所用符号及其计量单位	(1)
第一章 气动测量基础	(1)
第一节 空气的基本性质	(1)
一、空气的主要物理性质	(1)
二、理想气体状态方程	(8)
第二节 流体动力学基本知识	(11)
一、流量	(11)
二、连续性方程	(12)
三、能量方程	(13)
第三节 喷嘴挡板机构	(14)
一、常用的喷嘴挡板机构	(14)
二、特殊的喷嘴挡板机构	(41)
第四节 气动测量系统	(44)
一、气动测量系统	(44)
二、决定测量系统的主要因素	(47)
第二章 气动量仪的工作原理	(48)
第一节 气动量仪的分类	(48)
一、按工作原理分类	(48)
二、按量仪的工作压力分类	(49)
三、按指示方式分类	(50)
第二节 压力式气动量仪	(50)
一、背压式气动量仪	(51)
二、差压式气动量仪	(54)
三、膜片式气动量仪	(61)

四、波纹管式气动量仪	(66)
五、负压式气动量仪	(71)
第三节 流量式气动量仪	(72)
一、浮子流量计	(72)
二、浮标式气动量仪	(77)
第四节 组合式气动量仪	(81)
一、气动-机械式气动量仪	(81)
二、气动-光学式气动量仪	(82)
三、气动-光电式气动量仪	(83)
四、其它组合式气动量仪	(84)
第三章 气动放大器和转换器	(85)
第一节 气动放大器	(85)
一、膜盒压力计	(85)
二、气动放大器	(86)
第二节 气电转换器	(89)
一、气电转换器	(89)
二、电气转换器	(93)
第三节 气动转换器	(94)
一、膜盒气动转换器	(94)
二、波纹管气动转换器	(95)
三、膜片气动转换器	(95)
第四章 气动测量头和校对规	(97)
第一节 气动外径测量头和校对规	(98)
一、外径测量头的设计原则	(98)
二、外径测量头	(103)
三、外径测量头用校对规	(116)
第二节 气动内径测量头和校对规	(117)
一、内径测量头的设计原则	(117)
二、内径测量头	(120)
三、小孔的气动测量	(130)

四、内径测量头用校对规	(134)
第三节 气动形状误差测量头和校对规	(136)
一、形状误差测量头的设计原则	(136)
二、外径形状误差测量头和校对规	(137)
三、内孔形状误差测量头和校对规	(143)
四、直线度和平面度测量头和校对量块	(151)
五、线轮廓度测量头和校对规	(153)
六、面轮廓度测量头	(155)
第四节 气动位置误差检测装置和校对规	(157)
一、位置误差检测装置的设计原则	(157)
二、平行度检测装置	(158)
三、垂直度检测装置	(181)
四、倾斜度检测装置	(192)
五、同轴度测量头	(202)
六、对称度检测装置	(220)
七、位置度检测装置	(233)
第五节 测量头的制造	(247)
一、测量头的技术条件	(247)
二、测量头的制造	(249)
第六节 校对规的设计原则	(251)
第七节 测量头的调试、使用和磨损	(253)
一、测量头的调试和标定	(253)
二、测量头的使用	(257)
三、测量头的磨损	(257)
第五章 气源及主要元器件	(259)
第一节 气动测量对压缩空气的要求	(259)
一、空气中的水份	(259)
二、空气中的尘埃和固体微粒	(260)
三、空气中的油份	(261)
四、压缩空气的压力精度及其稳定性	(261)

五、压缩空气的消耗量	(262)
第二节 气源系统	(262)
一、气源	(263)
二、空气过滤器	(265)
三、空气稳压器	(269)
四、管路	(283)
第三节 测量系统中的节流装置	(285)
一、固定型节流孔	(286)
二、可调型节流阀	(290)
第六章 气动测量的应用	(294)
第一节 气动测量头和校对规的设计计算	(294)
一、气动外径测量头和校对规	(294)
二、气动内径测量头和校对规	(301)
三、大公差工件的气动测量	(312)
第二节 测量系统的应用	(317)
一、加工中的测轴装置	(317)
二、加工中的测孔装置	(320)
三、差动气路测量系统	(323)
四、型面测量系统	(324)
五、珩磨自动测量系统	(326)
六、无心磨床自动测量和补偿系统	(328)
七、其它测量系统	(330)
第七章 误差分析	(333)
第一节 测量误差的来源、分类和综合	(333)
一、测量误差的来源	(334)
二、测量误差的分类	(338)
三、测量误差的综合	(339)
第二节 检测装置的误差	(347)
一、测量喷嘴引起的误差	(348)
二、检测装置引起的定位误差	(350)

第三节 误差分析举例	(354)
一、测量数据的处理	(354)
二、内径测量的误差综合	(356)
三、检测装置制造误差的估算	(360)
四、接触式测量头的原理误差	(361)
五、函数误差	(365)
六、间接测量中随机误差的综合	(367)
附录	
1 常用气动量仪的规格和性能	(370)
一、浮标式气动量仪	(370)
二、薄膜式气动量仪	(372)
2 常用气动系统图形符号	(374)
主要参考资料	(379)

第一章 气动测量基础

气动测量的媒介是压缩空气。气动测量的原理是经过特殊处理的空气在定常均匀管流中状态参量有规律的变化。利用气动传感器，将几何量转换成气动参量，通过测量系统，实现精密测量。

气动参量主要是指气流的压力 P 和流量 Q 。为了掌握这些参量变化的规律，必须首先掌握气体状态量的变化规律及其流体动力学的基本知识。

喷嘴挡板机构是最常见的气动传感器。几何量能够转换成气动参量，并且几何量与气动参量之间有确定的函数关系，都是由喷嘴挡板机构的压力特性和流量特性所决定的。

气动测量系统包括气源及其处理空气的元器件，计量指示仪，气动测量头和校对规等部分。确定测量系统时应该考虑放大倍率和线性测量范围等因素。

第一节 空气的基本性质

一、空气的主要物理性质

1. 空气的组成

自然界中的空气，是由若干气体所组成的混合物。其主要成分有 N_2 ， O_2 ， Ar ， CO_2 ，还有其他微量的气体成分。除此以外，空气里还含有一定量的水蒸气。

在标准状态 ($t=0^{\circ}C$ ， $P_0=1\text{ atm}$ ， $g=9.80\text{ m/s}^2$) 下，

干空气的标准组成成分见表 1—1。

表1—1 空气的组成成分

	组 成 分 %				
	N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	其 他
体积组分	78.03	20.93	0.93	0.03	0.078
重量组分	75.5	23.1	1.28	0.046	0.074

2. 空气的密度、重度和比容

(1) 密度

单位体积空气所具有的质量称为密度。用符号 ρ 表示。

$$\text{即} \quad \rho = \frac{M}{V} \quad (1-1)$$

式中 M ——空气的质量 (kg);

V ——空气占有的体积 (m³)。

(2) 重度

单位体积空气所具有的重量称为重度。用符号 γ 表示。

$$\text{即} \quad \gamma = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

式中 G ——空气的重量 (N);

V ——空气占有的体积 (m³)。

重度和密度之间的关系为:

$$\gamma = \rho g \quad (1-3)$$

式中 g ——重力加速度 ($g = 9.80 \text{ m/s}^2$)。

干空气的重度 γ 和密度 ρ 是随其压力和温度条件而变化

附. 有关系式

$$\gamma = \gamma_0 \frac{273}{273 + t} \frac{P}{P_0} \quad (1-4)$$

式中 γ_0 ——标准状态下干空气的重度,

$$\gamma_0 = 12.93 \text{ N/m}^3$$

t ——摄氏温度 ($^{\circ}\text{C}$);

P ——干空气的压力 (Pa);

P_0 ——标准大气压 (Pa),

$$P_0 = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

在 1 个标准大气压条件下, 干空气的密度 ρ 和重度 γ 随着温度而变化的数值见表 1—2。

表 1—2 $P_0 = 1 \text{ atm}$ 时干空气的 ρ 和 γ 的值

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	密度 ρ ($\text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^3$)	重度 γ (N/m^3)
-20	1.424	13.97
-10	1.369	13.42
0	1.319	12.93
10	1.272	12.47
20	1.229	12.05
30	1.188	11.65

(3) 比容积

单位重量的空气所占有的体积称为比容积。用符号 v 表示。

即

$$v = \frac{V}{G} \quad (1-5)$$

式中 V ——空气占有的体积 (m^3);

G ——空气的重量 (N).

比容积和重度之间的关系为:

$$\nu\gamma = 1 \quad (1-6)$$

3. 空气的压力

单位面积上的垂直作用力,称为压力强度,简称压强。在工程上称为压力,用符号 P 表示。

即
$$P = \frac{F}{A} \quad (1-7)$$

式中 F ——垂直作用力 (N);

A ——力作用的面积 (cm^2).

空气的压力 P 由于空气的分压和空气中所含的水蒸汽的分压两部分组成。

即
$$P = P_k + P_s \quad (1-8)$$

式中 P_k ——空气中所含干空气的分压 (Pa);

P_s ——空气中所含水蒸汽的分压 (Pa).

气动测量所用的空气,在理论上说是干空气。因此有

$$P = P_k \quad (1-9)$$

在物理学上,把处于纬度为 45° 的海面上的大气压力叫做标准大气压 P_0 。用符号 atm 表示。并且有

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

在工程计算中,往往把 1 at 叫做 1 个工程大气压。并且有

$$1 \text{ at} = 9.80665 \times 10^4 \text{ Pa} \approx 10^5 \text{ Pa}$$

有时,压力的大小还可以以毫米汞柱 (mmHg) 和毫米水柱 (mmH_2O) 来表示,

$$1 \text{ mmHg} = 133.3224 \text{ Pa} \quad (\text{按 } 0^\circ\text{C} \text{ 时水银比重得出})$$