

长度计量测试丛书

气动量仪

李学俊 编著



中国计量出版社

长度计量测试丛书

第五分册

气 动 量 仪

李学绶 编著

长度计量测试丛书编委会审订



中国计量出版社

内 容 提 要

本书是《长度计量测试丛书》的第五分册。书中较系统地介绍了气动量仪的基础理论知识，量仪的结构和工作原理，国内外发展状况以及使用和维护。

本书内容包括：气动量仪的基本概念；流体力学和热力学的基本知识；气动量仪的原理和结构；气动量仪的主要性能及其检定方法；气动量规和气动测量装置的设计；气动量仪的使用和维护。本书可供中等以上文化程度的计量测试人员及中专以上院校师生、有关的工程技术人员、科研工作者和管理干部参考，也可作为计量部门短训班教材。

EQ50/01

长度计量测试丛书第五分册

气 动 量 仪

李学毅 编著

长度计量测试丛书编委会审定

责任编辑 刘瑞清

中国计量出版社出版

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787×1092/32 印张 4.875 字数 105 千字

1988年1月第1版 1988年1月第1次印刷

印数 1—10 000

ISBN 7-5026-0053-1/TB·48

定价 1.25 元

前 言

长度计量测试丛书是根据计量出版社关于按学科分类组编丛书的总体计划，由中国计量测试学会几何量专业委员会配合计量出版社组织编写的。

党的十二大提出：到本世纪末，力争使全国工农业的年总产值翻两番。为实现此宏伟目标，必须发展机械工业，因为机械工业是国民经济的装备部，应该适当超前。而标准化和计量测试仪器与技术测量是机械工业发展的基础和先决条件，因此必须更超前于机械工业。在计量测试科学领域中，长度的计量测试是重要的一个方面。随着机械产品愈益向精密方向发展，介绍长度计量测试方面的知识、科研成果及经验，以便为机械工业未来的发展打好基础、积蓄力量、创造条件，实为当务之急。这就是组织这套丛书的目的。

翻两番，振兴经济，必须依靠科学技术进步。科学技术需要大量学有专长的专业人材去掌握。目前我国计量测试领域内很多职工缺乏必要的科学知识和操作技能，熟练工人和科学技术人员严重不足。为适应未来经济发展的需要，现在必须立即着手培养计量专业的人才，提高现有计量测试人员的科学技术水平。近年来，更有大批青年新同志参加工作，他们是发展计量测试科学技术的重要力量，迫切需要系统地学习一些计量基础知识，以便结合工作实践更快地提高技术水平，促进计量科学技术的进步。这套丛书主要是针对这部分人员编写的。当然也可以作为计量测试短训班的教材或参考资料，并可供大专院校师生及有关工程技术人员和科研

工作者参考。

丛书比较全面地将长度计量测试领域中所涉及的基础理论、基本知识和实用技术等进行了深入浅出的阐述，重点放在计量测试技术的实际运用方面，同时也简要地对有关技术的发展动向作些介绍。

整套丛书共有二十个分册，每一分册独立论述一个专题。为照顾系统性和便于读者学习，有些内容在不同的分册中有些重复，但侧重点各不相同，这样就把丛书的系统性和分册的独立性统一起来，读者可根据自己的需要选择学习。

本丛书在组编过程中，得到计量出版社的全面支持，还得到有关计量部门、大专院校、科研机构、工矿企业和广大计量工作者的支持和关心，我们在此深表谢意。

限于我们的经验和水平，这套丛书可能存在不少缺点和错误，我们衷心欢迎广大读者给予批评指正。

长度计量测试丛书编委会

一九八三年元月十六日

长度计量测试丛书编委会

主 编： 梁晋文

副主编： 许金钊 徐孝恩

编 委： (按姓氏笔划排列)

王毓铮 许金钊 朱桂兰

刘瑞清 何 贡 陈林才

李毓楨 李隆铸 庾以深

林洪梓 费业泰 徐孝恩

黄生耀 黄福芸 梁晋文

序 言

气动测量技术早在50年以前就已为人们所知。法国的Solex量仪公司于1926年首先研制成功第一台气动量仪，从平面度和喷口面积的测量发展到长度尺寸的测量，其适用范围不断扩大。第二次世界大战大大促进了气动量仪的发展。气动测量系统能适用于炮孔、雷管和弹壳的检测，并能测量公差值精确到百万分之五英寸喷油器的零件。因此在整个工业中，特别是在汽车拖拉机工业中获得了广泛的应用。

气动量仪的适应性很强，既可用于试验室，进行精度达0.0002 mm的精确测量，又可在车间条件下用以检验公差范围宽至0.1 mm的工件。目前它已成为大量生产和精密机械加工中的主要测量手段。随着气动量仪性能的不断改进，可以预料，在科学实验室中，今后它还会得到更多的应用。

解放前，气动量仪在我国是个空白。50年代初期，随着汽车拖拉机工业的建立，从苏联引进了落后的低压水柱式气动量仪。60年代我国兴建了中原量仪厂，从日本引进了浮标式气动量仪。成都工具研究所和成都量具刀具厂也相继制造了波纹管式和薄膜式气动量仪。70年代，我国第一汽车制造厂又研制成功一种新型气动量仪——流速式水柱气动量仪，使我国的气动测量水平有了较大的提高和发展。

尽管如此，气动量仪在我国还未获得广泛应用。几个大量生产的汽车拖拉机制造厂，例如长春第一汽车制造厂、湖北十堰第二汽车制造厂、北京内燃机总厂和洛阳拖拉机制造厂等都在不同程度上采用了气动量仪，但采用的数量和应用

范围还远远落后于外国。因此较系统地介绍一些气动测量知识，使从事计量工作的读者对气动量仪的工作原理、基础理论知识、国内外发展状况以及使用维护等方面有一概括的了解，是很有必要的。

目 录

序 言.....	(1)
第一章 气动量仪的基本概念.....	(1)
一、气动测量的基本原理和发展.....	(1)
二、测头（或测量装置）的初步概念.....	(7)
第二章 流体力学和热力学的基本知识.....	(13)
一、流体的密度和重度.....	(13)
二、流体静压力及其测量方法.....	(14)
三、可压缩流体和不可压缩流体.....	(19)
四、理想流体的连续方程式.....	(19)
五、伯努利方程式.....	(20)
六、热力学的基本知识.....	(22)
七、气体动力学的有关知识.....	(31)
第三章 气动量仪的原理和结构.....	(43)
一、背压式气动量仪.....	(43)
二、差压式气动量仪.....	(63)
三、流量式气动量仪.....	(77)
四、流速式气动量仪.....	(86)
第四章 气动量仪的主要性能及其检定方法.....	(101)
第五章 气动量规和气动测量装置的设计.....	(114)
一、不接触式气动塞规.....	(114)
二、接触式气动塞规.....	(118)
三、气动卡规.....	(120)
四、高度和厚度的气动测量装置.....	(123)
五、直线度的气动测量装置.....	(127)
六、平行度的气动测量装置.....	(128)

七、垂直度的气动测量装置.....	(132)
第六章 气动量仪的使用和维护.....	(136)
一、气动量仪的使用方法.....	(136)
二、气动量仪的维护和故障排除.....	(139)
参考文献.....	(144)

第一章 气动量仪的基本概念

一、气动测量的基本原理和发展

气动测量是根据流体静力学和流体动力学原理，用压缩空气作介质，对长度尺寸进行测量的一种方法。利用这种原理制成的仪器称之为气动量仪，其传感器（即测头或测量装置）为喷嘴挡板系统。喷嘴和挡板之间的间隙称之为测量间隙，它的微小改变会引起气动量仪内气体流量、压力或流速的变化。利用各种形式的压力计或流量计将这种变化显示出来，就达到了测量的目的。

图 1—1 为最原始的气动量仪示意图。经过滤清的恒压空气自主喷嘴 1（亦称进气喷嘴）流入测压气室 2，并通过管道 4 和测量喷嘴 5 喷向工件 *B*，经测量间隙 *s* 逸入大气。A 为量块，用来与工件作比较。先将量块放在测量位置上，将

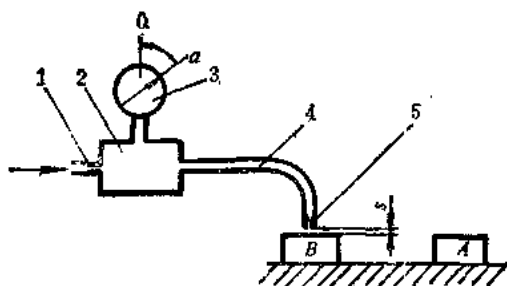


图 1—1

压力表 3 的指针调至零位。然后将量块移开，换上工件 B。如果工件的尺寸大于量块，则测量间隙 s 减小，测压气室中的压力增高，压力表的指针偏转一个正值 u 。如果工件的尺寸小于量块，则 s 增大，压力降低，指针偏转一个负值。

从图 1—1 可知，气动量仪类似于一台比较仪。但与之相比，气动量仪却具有许多优越之处：

① 气动量仪是用压缩空气作介质，在被测工件与量仪之间传递信息，实现了不接触测量。在被测工件表面不允许承受较大的测量力或有可能被测头划伤的情况下，采用气动测量尤为适宜。例如薄壁件、软金属、磷化层、涂料层等。

② 机械式量仪的传动比不可能很大，其放大倍数最高只能达到 10^3 ，而气动量仪的放大倍数常在 $10^4 \sim 10^6$ 之间，甚至还可更高，因此大大提高了测量精度。

③ 如将表盘式压力计换成 U 形液柱式压力计或使用流量计，则可采用直刻度尺，使读数直观，便于多管拼合使用，进行多参数同时测量。

④ 配合各种不同的测量装置，可进行各种各样的测量工作。例如，内径、外径和各种形状和位置的测量。

此外，用气动量仪进行测量，还有不怕振动、造价低、使用维护方便等优点，这里就不一一列举了。

图 1—1 所示的气动量仪为背压式气动量仪，对气源的稳定性要求极高，气源压力的波动会引起量仪示值的漂移。针对这个缺点，40 年代在英国出现了差压式气动量仪，其原理示意图如图 1—2 所示。

这种量仪的特点是，恒压的压缩空气进入气动量仪后，分成两路。一路经过主喷嘴 1 进入上气室，然后经可调放气阀 5 流入大气。另一路由主喷嘴 2 进入下气室，通过测量喷嘴 4 和测量间隙 s 逸入大气。上气室的压力是恒定的，而下

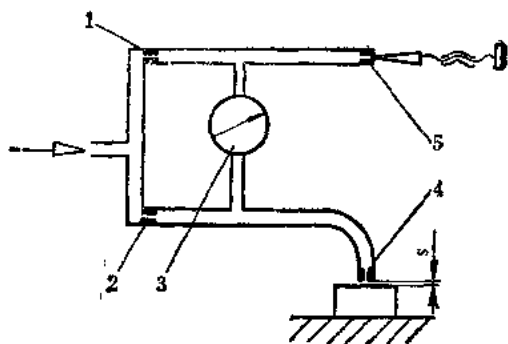


图 1-2

气室的压力则随工件的尺寸不同而改变。因此上下气室便形成了压力差，用差压计 3 指示。这种量仪比之背压式气动量仪前进了一步，它对气源压力稳定性的要求可以降低一些，因为压力的波动同时影响两条气路，上下气室的压力差变动不大。另外，放气阀 5 可用来调节零位。

无论哪种压力式气动量仪，都有一个共同的缺点，即反应速度较慢，而且放大倍数越高，速度越慢。40 年代在美国出现的浮标式气动量仪克服了这一缺点。这种量仪的测量稳定时间只需 1 秒钟左右，在当时可以说是一大突破。浮标式气动量仪的原理示意图如图 1-3 所示。

浮标式气动量仪实际上是一个浮标式流量计。恒定压力的压缩空气经节流孔 1 流入流量计的锥形玻璃管 2，气流将其中的浮标 3 托起至一定高度后，沿浮标周围的环形缝隙流向测量喷嘴 4，然后从测量间隙 s 中逸入大气，浮标的高度随测量间隙的改变而变动。 s 增大，浮标向上； s 减小，浮标向下。

第二次世界大战期间，气动测量技术获得很大的发展。

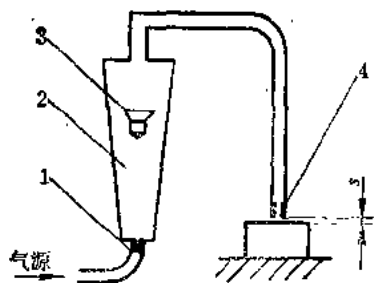


图 1-3

气动量仪大量应用于军火生产中，用以测量各种枪炮的孔径、鱼雷和炮弹的外形、飞机机翼以及螺旋桨的曲面等。同时还大量用于汽车拖拉机工业的生产中，用以检验曲轴、缸体、活塞、活塞销、连杆等关键零件的各种精密尺寸。与此同时，改善气动量仪性能的研究工作也在欧美各国开展起来，许多成果在一些国家形成专利。

日本对气动量仪的研制工作开始于 50 年代中期，主要是从美国引进专利和仿造外国产品。60 年代初期开始大量用于机械制造、汽车制造和电子工业中。到了 60 年代中期，就已向国外出售气动量仪专利了。我国的中原量仪厂就是在 60 年代从日本全套引进的量仪工厂，该厂生产的浮标式气动量仪已在国内获得广泛的应用。成都工具研究所和成都量具刃具厂也相继研制成功波纹管式和薄膜式高压气动量仪。

我国第一汽车制造厂从 60 年代开始也对气动测量技术开展了研究工作，于 1974 年研制成功一种新型气动量仪——流速式水柱气动量仪。这种量仪有较大的测量间隙，

并具有良好的长时间稳定性。与国外各种气动量仪相比，在性能上有所突破。这种量仪的原理示意图示于图1—4。

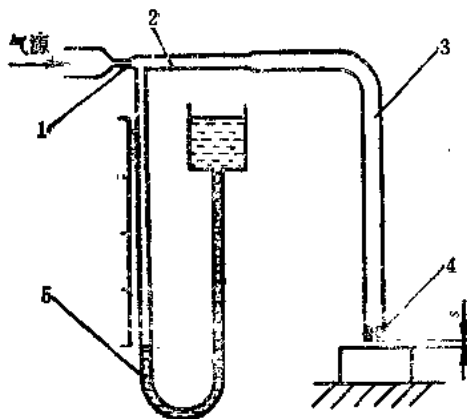


图1—4

压力恒定的压缩空气由主喷嘴1射入小直径圆柱喷管2，经射料管道3和测量喷嘴4从测量间隙 s 中逸入大气。主喷嘴1是音速喷嘴，因此喷管2内的气流速度很高，压强极小，流量则保持不变。U形管压力计5所指示的压强实际上是流速的量度，即流速 v 是测量间隙 s 的函数， $v=f(s)$ 。关于流速式气动量仪的定性问题，在以后的章节中还要专题讨论，在此暂不叙述。

从国外所发表的专利来看，在70年代由于电动量仪的出现而使气动量仪的发展受到影响，几乎处于停滞状态。各种气动量仪在结构上都有所改进，但在性能上却没有新的突破。尽管如此，由于气动量仪具有许多他种量仪无法比拟

的优点，在机械工业和航空工业中仍然被大量采用，在数量上仍占绝对优势。在美国和日本，至今仍大量使用着60年代申请专利的改进型拼合式浮标气动量仪。在英国和西欧一些国家的工厂中，到处都可看到50年代申请专利的膜盒式差压水柱气动量仪。在一些工厂的实验室中甚至还可看到30年代的低压水柱气动量仪。直至1978年，美国本迪克斯（Bendix）公司对背压式气动量仪作了改进，并同时向五个国家申请了专利，这项专利于1980年公开。由于该量仪采用风行一时的电子柱量仪作显示装置，因此有一定的吸引力，使背压式气动量仪获得了新的生命力。这种量仪的原理示意图如图1—5所示。

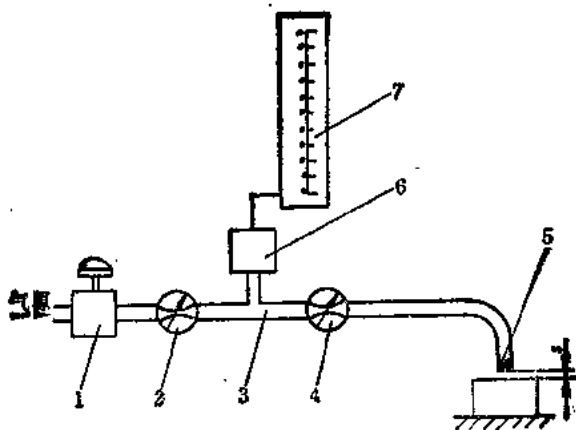


图1—5

压缩空气经稳压器1和第一可调喷嘴2进入测压气室3，再经第二可调喷嘴4和测量喷嘴5从测量间隙中逸入

大气，6为气-电转换器，通过它将气压转换成电信号，输入电子柱量仪7，进行显示。将图1—5与图1—1相比较，可看出这种量仪除显示装置不同外，只比一般的背压式量仪多一个可调喷嘴4。据该专利说明书称，这种气路可改善示值的线性，提高测量精度。

从目前气动量仪的发展状况来看，可以肯定，在今后很长一段时期内，它仍将是工件检验的主要检测手段，不可能被电动量仪所取代。在原理、性能和结构上都还会有新的改进和发展。

二、测头（或测量装置）的初步概念

在上一节中提到，气动量仪的测头实际上是一个传感器。它的任务是将工件尺寸的改变转换成压力、流量或流速的变化，然后在气动量仪中放大和显示。测头的具体结构是喷嘴挡板系统。从图1—1中可看出，测量喷嘴5即为喷嘴挡板系统的喷嘴，而挡板实际上就是被测的工件表面。气动量仪是个通用仪器，好比一台比较仪，而测头则要很据被测工件的形状和尺寸设计成各种不同的结构，有时甚至要设计成很复杂的装置，好比一台检验夹具。在这种情况下，我们不再称它为测头，而要称之为气动测量装置。

气动测头的种类很多，有气动塞规、气动卡规、气动深度规、高度测量台架、厚度测量装置、形状和位置测量装置等等。下面分别进行示意性的介绍，使读者先对气动测头有一个初步概念，在后面的章节中还要就测头的具体结构和设计等问题进行详细讨论。

1. 气动塞规

气动塞规是气动测量中用得最多的一种测头，用以测量工件的孔径、圆度（包括棱边形）和近似圆柱度（椭圆和锥