

射流技术参考资料

科学技术文献出版社重庆分社

毛主席语录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

编 者 的 话

在毛主席“要采用先进技术”的指示鼓舞下，我国工人阶级、革命科技人员，在党的一元化领导下，大搞射流技术，推动了我国射流技术的发展，在提高自控程度、实现安全作业、提高生产效率和减轻劳动强度等方面，均取得了一定成效。

为适应国内射流技术工作者的需要，我们编辑出版了这本《射流技术参考资料》。

本《资料》包括国内的部分资料和国外的部分资料。在国内资料部分，由于时间关系，未能把各行各业新近总结的成果都全部选入交流。在这里只介绍了两篇小结。国外资料包括理论和应用两个方面的一些资料，以供参考。

在编辑本《资料》的过程中，承蒙中原量仪厂和一机部轴承工厂、天津大学自动化系仪表教研室和国营712工厂的积极支持和帮助，在此谨致以感谢。

由于时间关系，资料收集不全，加之水平不高，本《资料》存在着不少缺点和错误，敬希读者批评指正。

目 录

射流技术在圆柱体四参数自动分选机上的应用	(1)
----------------------------	-------

关于喷嘴挡板机构对砂轮进行动态检测的试验	(18)
----------------------------	--------

※※※※※※※※※※
※ 国 外 技 术 ※
※※※※※※※※※※

射流放大器中射流附壁的机理——柯恩达效应.....	(25)
---------------------------	--------

附壁式射流放大器的切换机理的理论及实验研究	(28)
-----------------------------	--------

关于表面糙度对平面射流元件的影响的实验	(35)
---------------------------	--------

论比例流体放大器中的平均运动、射流紊流和噪声.....	(42)
-----------------------------	--------

射流逻辑在开关控制系统中的应用	(48)
-----------------------	--------

射流元件在流量计上的应用.....	(58)
-------------------	--------

射流元件在表面处理自动化装置上的应用.....	(65)
-------------------------	--------

射流动力控制系统.....	(71)
---------------	--------

射流技术在喷气发动机控制中的应用.....	(80)
-----------------------	--------

惯性平台具有独特的射流姿态	(87)
---------------------	--------

用射流计数器控制自动型锻机	(89)
---------------------	--------

射流技术在圆柱四参数自动分选机上的应用

中原量具厂
一机部轴承工厂设计处

前言

二年来，我们在将射流技术应用于工件尺寸的自动检测方面做了一些尝试，也获得了一些初步认识，“ZQF—Ⅳ”圆柱体四参数自动分选机，就是这些工作中的一部分。

对大批量的工件，进行高精度高速度的自动检测，不仅对提高生产率、提高产品质量、而且对减轻工人劳动强度，均有着积极的意义，而自动分选机就是实现这个过程的主要手段之一。把射流技术应用于自动检测过程、应用于自动分选机有没有可能性和现实性呢，通过一段时间的探索和实践，使我们认识到，射流技术应用于自动检测领域，有着很大的发展可能性，它在很多方面体现出来的优越性，显示出了它的广阔前途，也正因为这样，近年来，国内外从事这方面研制工作的单位日益增多。

遵循毛主席关于“破除迷信，解放思想”和“要采用先进技术”的教导，二年来我们在这方面做了一些工作，有了一些认识，但均是很不成熟和相当肤浅的。为了更好地推动今后的工作，并从兄弟单位得到更多的帮助，现将我们这台设备的试制报告付诸交流，错误和不当之处一定不少，望多予以批评指正。

第一部分

一、概述

圆柱体四参数自动分选机（ZQF—Ⅳ）是为某单位设计和制造的一台专用设备，用来自动分选一种特殊用途的小圆柱体。尽管这是一台专用设备，但其测量系统的工作原理，带有一普遍的意义，所用的一些附件同样可应用在其他场合。

整机由两部分组成，一部分是自动上料机构，另一部分是整机本体。作为自动上料机构的振动料斗，放在一特制小桌上，通过用作料管的弹簧软管与整机的本体相连。振动料斗采用中原量具厂正常产品“DFJ—10G型”自动分选机上所用的那种振动料斗。整机本体是一柜形装置，“柜”的台面上是用于实现传送和测量的机械部分，“柜”中分两层，下层是气源系统，上层是射流工作系统——包括测量和程序控制两部分。显示装置和调整部分在“柜”的正面。

整机结构紧凑，体积较小。经过几个月的运行，证明用于测量和程序控制的射流工作系

统是相当稳定的。

下面介绍一下自动分选的对象和分选的要求。

被分选的小圆柱体如图 1 所示。圆柱体长 10mm，直径 6.5mm，要求测定四个参数：长度、直径左、直径中、直径右。其中长度公差为 $10 \begin{smallmatrix} +0.020 \\ -0.020 \end{smallmatrix}$ ，三个位置的直径公差均为 $\phi 6.5 \begin{smallmatrix} +0.025 \\ -0.025 \end{smallmatrix}$ 。自动分选的过程实质上是对四个参数进行测定后加以自动判别；当工件的四个参数均在公差范围内时，这个工件是合格的，四个参数的测定结果中只要有一个不在公差范围内，即为不合格。使用单位提出的速度要求为不低于 20 个/分。

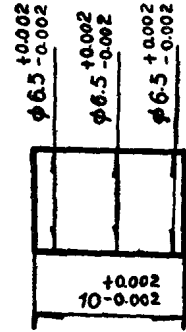


图 1

我们设计的测量装置，对工件四个参数同时加以测量，然后综合

测量结果进行自动判别，实际工作速度为两挡：22 个/分和 13 个/分，测量系统能达到的测量精度（对这个分选机来讲即判别精度）高于实际工作中所提出的，能对图 2 所示公差范围的圆柱体进行判别。

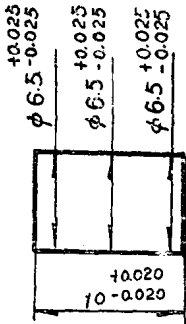


图 2

二、测量系统

测量系统的基本部件是“ZF—09”触发器装置，该装置由触发器本体和一个或非元件组成。触发器本体实质上是一个比例升压器，其结构如图 3 所示。

触发器本体中的可动部分是膜片系统 1，膜片系统的下膜片硬蕊与喷嘴 2 组成了一个喷嘴挡板系统，喷嘴与挡板之间的间隙 δ （实质

是一个可变节流孔）是由膜片系统的平衡位置所决定的。膜片系统在气室 I 中的压力 P' 、气室 II 中的压力 P'' 和气室 III 中的压力 P''' 的作用下处于平衡。其中， P' 在可调气阻 R_1 调整到某一位置后是确定的，而 P''' 则是测量信号 P_a 所决定。当 P_a 增大，原来膜片系统的平衡位置就破坏了，膜片系统向上移动，但是，这一来喷嘴与挡板的间隙 δ 减小了，而气室 II 中的压力 P'' 是取决于 δ 的值的， δ 愈小，通过气室 II 排向大气的量就愈少，因此 P'' 就升高，当 P'' 升高到一定值，与 P''' 增大的值相平衡，膜片系统就又处在一个新的平衡位置。触发器的输出 P_c 是由气室 II 中的压力 P'' 所决定的，因此，在上述连续过程中，随着测量信号 P_a 增大，输出 P_c 也将增大；反之，测量信号 P_a 减小，输出 P_c 将相应减小。

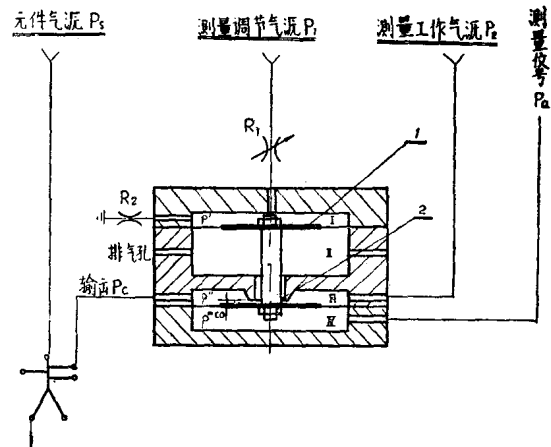


图 3 “ZF—09”触发器装置

把输出 P_c 与“或非”元件的控制孔相连，就组成了触发器装置。由于“或非”元件的正

压切换只有在切换压力(在这里即为 P_c)达到一定值时才能实现,因此只有在测量信号 P_a 为某一值时,才能产生一个能导致“或非”元件切换的 P_c 值,即引起“触发”。“一定值的 $P_a \rightarrow$ 触发”,这就是“ZF-09”触发器装置,也是任何结构的触发器的工作过程。可调气阻 R_1 是用来调整触发位置的,即对“一定值的 $P_a \rightarrow$ 触发”中的 P_a 值进行选择,由此可见同一个触发器装置尽管导致“或非”元件切换的 P_c 是一样的,但只要调节 R_1 ,就可以在不同的测量信号 P_a 输入时,引起“触发”。

测量系统是由四个相同的测量单元组成的,每个测量单元承担对一个参数的测定即进行判别,然后再对四参数的测定结果进行综合,作出对工件的最后判别。

每个测量单元都由两个“ZF-09”触发器装置和一个起负“与”门作用的“或非”元件组成,工件的各个参数是采用气动测量中惯用的双测头无接触方式进行测量,图4所示是对长度进行测量。在两测头距离为定值的情况下,工件尺寸的变化,通过与测头间间隙的变化,反映在背压 P_a ,即测量信号的不同上。特制二个标准圆柱体,一个尺寸为公差范围的上限,一个为下限,将尺寸为公差上限的标准滚子放在测量装置,在对应的背压 P_a 输入触发器装置的情况下,调整可调气阻 R_1 直至使元件“触发”,然后就把这位置固定下来,这样“+”的一边就调整好了,以后再用尺寸为公差下限的标准滚子调整另一边,达到“-”的临界点。线路设计的特点和实际的测量反应过程决定了调整“+”的一边和调整“-”的一边顺序是相反的,前者是调整元件 H^+ 从不“触发”状态到触发状态,而后者则把元件从 H^- “触发”状态调整到不“触发”状态。经过这样调整的测量单元基本上具备执行对圆柱体的各个参数进行判别的机能。

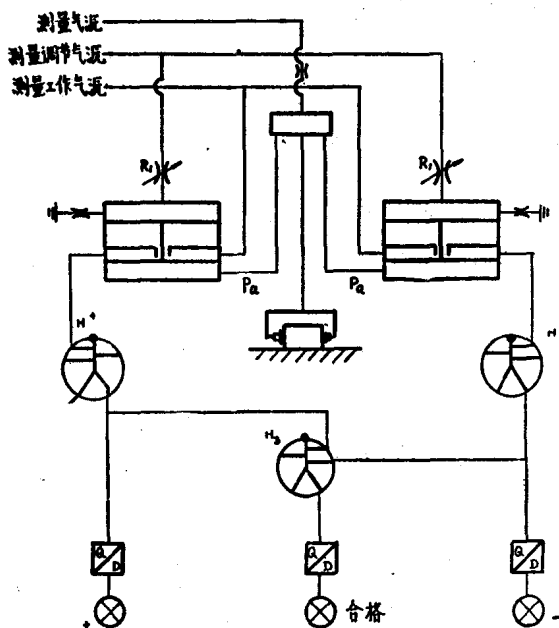
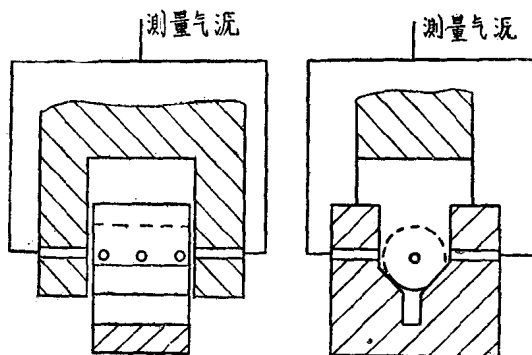


图4 测单量元

我们来看下一个尺寸在公差范围内的圆柱体在测量单元中的判别过程;此工件的尺寸比尺寸为公差下限的工件大,比尺寸为公差上限的工件小,因此,它所对应的测量信号 P_a 不能使左边的触发器装置(“+”的一边)触发“或非”元件 H^+ 的右端仍然没有输出;但是它将使右边的触发器(“-”的一边)触发,“或非”元件被切换到左端输出。起综合信号作用的或非元件 H 的两个控制口分别与元件 H^+ 和 H^- 的右端连接,在这种情况下,其将起一负“与”门的作用,在“非”端有一信号输出,反映了这个被测圆柱体是一合格的工件,如果是过大或过小的圆柱体,由于输入元件 H 两控制口的信号总有一个不为零,所以 H 总保持在“或”端输出,则意味着不合格。

由于被测工件尺寸很小,而要测定的参数较多,因此若采取同同测量的方式(采用这方

V形槽即用来对圆柱体定位，又是三个“测头”的安装处，三个气测头实际上是V形槽垂直平面上三个通孔，每个通孔与所对的被测工件外表面组成一个喷嘴挡板系统，构成了一个测量装置。长度测头是设在一可以升降的U形体上，这个测量装置，是与测量气缸活塞连成一体，因此只有当气缸下降到底，圆柱体的四个参数，才开始同时测量。从图上可以清楚地看到，测量头是一对一对地存在的，这种气动测量的通用结构可号仅取决于被测工件尺寸。



三、整机工作原理

整机的工作过程,可参看图6所示的“射流工作原理图”。

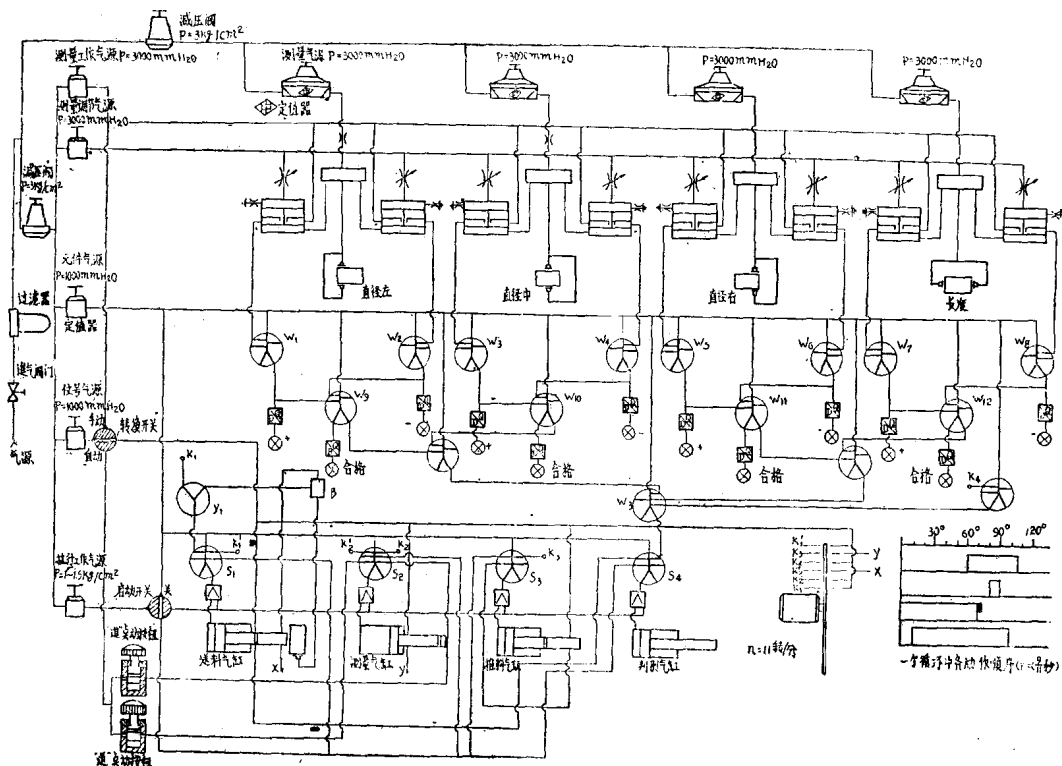


图 6 射流工作原理图

整个系统由两部分组成，即测量部分和程序控制部分，两个部分有机地结合在一起，构成一个能连续工作的自动装置。

从图6可清楚地看到，测量部分由四个相同的测量单元组成，每个测量单元承担对被测圆柱体的一个参数进行测量（判别）。“或非”元件 W_9 、 W_{10} 、 W_{11} 和 W_{12} 的“或”端有输出时，意味着对应的被测参数是不合格的，反之则合格。为了综合四个参数的测量状况，对某个被测圆柱体是否合格作出最后判别，又采用了三个起负“与”门作用的“或非”元件： W_{13} 、 W_{14} 和 W_{15} ， W_{13} 是用于综合直径左和直径中的测量结果， W_{14} 是用于综直径右和长度的测量结果，而 W_{15} 则是把 W_{13} 和 W_{14} 的综合结果再进行最后的综合，作出被测圆柱体是否合格的判断。无疑，若有多控制口的“或非”元件的话，则 W_{13} 、 W_{14} 和 W_{15} 可用一个元件代替，这时，可明显地看出，只有控制口的输入均为零时，亦即四个参数的测量状况均是合格时，元件的“非”端才会有输出，即标志着发出一个被测圆柱体是合格的信号。

在射流工作系统的程序控制部分中，采用了码盘来实现各动作的顺序进行，这样，不但省去了不太可靠的低压延时器，提高工作的可靠程度，而且使线路简化了很多。

下面把整个工作过程概述一下：

在一个循环中，首先动作的气缸是带长度测头的测量气缸，一开始，测量气缸就使整个测量系统处于待测状态，这从图7的码盘图上的 K_2 孔位置即可看出。料管把工件送到送料位置（I），堵住了背压发讯器的喷嘴孔，使发讯器B有背压输出，但是它作为“与”门 y_1 的输入并不能使送料气缸动作，只有当气讯号通过 K_1 输入后，才能使 y_1 有输出，这时送料气缸把工件送入测量位置。工件进入测量位置后由于测量气缸业已下降，所以整个测量系统即开始工作，工件的测量结果“或非”元件 W_{15} 感受，但是最后的判别动作信号是在码盘转到 K_4 孔有信号输入时才发出的。当被测工件是一个合格的圆柱体时，在 K_4 有气信号输入的一瞬间，

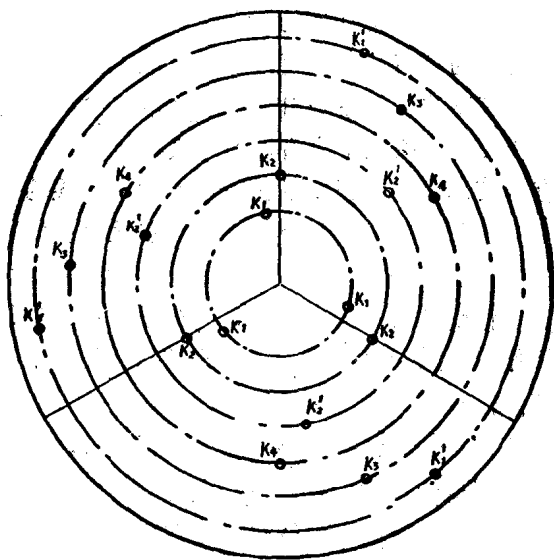


图7 码盘

“或非”元件 W_{15} 的三个控制口均无信号输入，故元件 W_{15} 立即从非端输出一个判别讯号，使双稳 S_4 切换至左端，使判别气缸移动至“合格”的位置。反之，当被测工件是一个不合格的圆柱体时，“或非”元件第一、第二控制孔中至少有一个不合为0，故双稳元件 S_4 始终处于不动作的状态，这种状况下的位置，即为不合格的位置。当码盘转到 K_2 位置时，双稳元件 S_2 被切换到右端输出，测量气缸退回，结束了测量阶段，同时与接收孔 K_3 相对的信号气源 y 接通，当码盘转到 K_3 位置时，双稳元件 S_3 切换到左端，使推料气缸动作把被测工件推入由判别气缸决定的料盒中，而当气缸达到顶端时，一路通过活塞杆上通孔的气流又使双稳 S_3 切换回右端，在弹簧作用下，推料气缸复位。最后，当码盘转到 K_1 的位置时，双稳元件 S_1 切

换到左端，送料气缸退回，这时一个通过活塞杆上通孔的气信号即导至双稳 S_4 切换，判别气缸亦退回（在“不合格”的情况下，则维持原状）。这样就完成了一个循环中的全部动作。

送料气缸和测量气缸的顺序动作之间有以下的联锁关系，只有当送料气缸送料之后，测量气缸才能退回。否则就一直保持待测位置。这样设计的目的是保证测量气缸只有在测量了工件之后才退回，排除了“空动”的可能。测量气缸与推料气缸之间也有顺序动作上的联锁关系，只有在测量气缸退回后，推料气缸才能动作，这样可排除相碰撞的可能性。

码盘安装在转速为11转/分的微型电机上，我们把码盘的圆周角三等分，每 120° 圆弧作为一个循环，因此，每转一周，整个系统就顺序动作三次。所以工作速度是每分钟33次，也就是整机可以33个/分的速度进行自动分选。另外，也还有一个22个/分的码盘。

我们所用的码盘是用2 mm厚的有机玻璃制成，上面采用发讯孔而不是发讯槽，实践证明完成能达到与圆弧槽同样目的。关于码盘的发讯原理这里不再解释了，参看图6和图7即可清楚。

四、提高射流系统工作可靠性的几个措施

衡量射流系统好坏的重要标志之一，是它在工作过程中的可靠性，这台圆柱体四参数自动分选机的运行结果表明，由于采取了一些有效措施，使稳定性和可靠性提高不少。

1.管路连接。整个射流系统使用了二十一只附壁式元件，比一般机床程控的射流系统多用了些，所以采取了线路板的方式，使连线多了容易产生的故障，基本上排除了。而且透明的有机玻璃板，也很容易检查出元件中出现的問題。

2.气源净化装置。造成气动射流元件工作不可靠的重要原因之一就是元件受污染后，影响其性能。元件受污染，一方面是由于气源净化不够，压缩空气中携带有油、水和尘埃，使射流元件受沾污；另一方面，是由于射流元件的一些与大气连通的孔，具有程度不同的抽气作用，其结果是把大气中的脏东西抽进了元件的内部，使元件受到沾污。针对这二方面的原因，采取了相应的措施。

（1）在“红光”型油水分离器之前，再加两级空气过滤器，我们采用了中原量仪厂自行设计制造的，用于气动量仪上的高效空气过滤器，应用效果较好。

（2）在射流元件线路板上加隔离罩。我们的线路板制成如下形式，即：要与外部连线的控制孔、输出孔在线路板的一侧，用接头与相应部分连接；而其他原来是与大气连通的孔、输出孔及排气孔，则开在线路板的另一侧，在这一侧加一特制的罩，这个罩并非密封，而是与大气通过一些小孔道相通，由于排气孔的排气，所以罩内能保持一定的正压，使外部空气进不去，这样维持了罩内空气洁净。我们所用的元件中，绝大部分是“或非”元件，“或非”元件偏压孔的抽气作用特别强烈，所以采用隔离罩是有很大的针对性的。几个月的运行表明，元件沾染极微，甚至用肉眼根本观察不到。

3.短少气源压力波动的影响。对于自动测量、分选的装置来讲，要尽可能消除动力源波动造成的不良影响，尤其是压缩空气这样的动力源。为了使流量供给较合理，首先采用了两个短压阀，分担两部分的气源供应，保证在一定的压力下有足够的流量；另外，触发器工作系统由于承担测量的任务，对精度有重大影响，因此，我们把这系统的气源均选用独立的定

值器供给，即、测量气源、测量工作气源和测量调节气源。事实上，就是这样，还是有相互影响之处，更理想的是对测量调节气源来讲应该是每个触发器有单独的一个，但这无疑是不太可能做到的。

第 二 部 分

一、几种附件的介绍：

射流系统的正常工作与配备性能良好的附件也是分不开的，在这台设备所使用的各种附件中，除了几个定值器和一个“红光”型的水分滤气器是外购的外，其余均采用量仪厂自行设计和生产的产品，大部分还是在承担这几个项目后设计和试制的。

下面介绍其中的几个附件：

1. 高效空气过滤器

图 8 所示的空气过滤器是中原量仪厂定型产品“浮标式气动量仪”上所用的附件，我们将其连接在整机之前（即安装在整机之外，位于“红光”型空气过滤器之前），两个连用，实际使用效果较好。

高效空气过滤器的结构与通用的“红光”型水分滤气器有相似的地方，但其驱除压缩空气中的水份、油份和夹杂物的能力比“红光”型的强，主要原因有两点：

①“中原”型空气过滤器所用的金属烧结的“过滤环”的间隙比“红光”型的小得多，前者为 $5\sim 8\mu$ ，而后者为 50μ 。

②“中原”型空气过滤器的金属烧结“过滤环”中密实地充填着脱脂棉花，而“红光”型则没有这样的结构，所以前者有比后者更好的过滤性能。

2. 空气稳压器（“中原”型定值器）

空气稳压器，或称为“中原”型定值器，也是在浮标式气动量仪这个产品上用的，我们将其使用在一般的稳压器之后，作为测量系统的四个测量气源的供给者，效果甚好。

空气稳压器的主要结构如图 9 所示，高压的压缩空气，进入气室 I 后通过钢球阀门进入气室 II，由于上下弹簧及膜片的作用，使钢球处在力的平衡状态，当进入空气稳压器的压力 P_1 增加时，气室 II 内的压力增加，膜片向上变型而使钢球阀门关小，这样把钢球阀门自动维持在保证工作压力不变的位值上，当进入空气稳压器的压力 P_1 减小时，气室 II 内的压力减

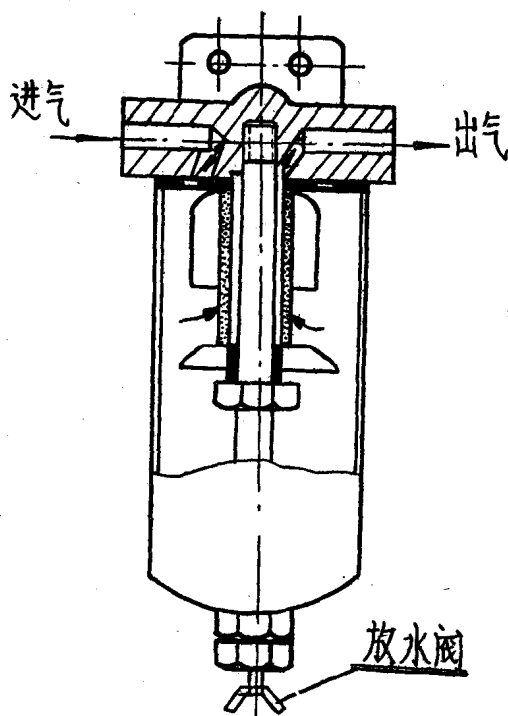


图 8

小，膜片向下变形，而使钢球阀门开大，同样把钢球阀门自动地维持在保证工作压力不变的位置上。

同样道理，当输出流量变化而引起输出压力改变时，稳压器会自动进行补偿。

3. 喷咀挡板背压式发信器

“QFJ—QB”背压式发讯器是用途很多的一种气动附件，但这台圆柱体四参数自动分选机中，它仅仅起一个发讯装置的作用，把感受到的来料信号发送出去，让送料气缸有动作的可能。

从图10所示的背压式发讯器结构图和工作示意图可清楚看出，这事实上就是一个喷咀挡板机构，当挡板与喷咀的间隙 δ 达到某一值时，开始有背压输出，这以后，随着 δ 的减小，背压输出按一定的规律增大，当 $\delta = 0$ ，亦即挡板被完全堵上的时候，背压输出有最大值，等于气源输出值。

根据需，挡板可有不同的形式，在这台设备上，挡板就是被测的圆柱体端面，当圆柱体进入送料位置后，其端面就将喷咀堵上了，严格地讲，与喷咀保持在一个作用距离内，于是即产生了一个背压输出，储存于“与”门 Y_1 中，显然，在这种情况下，对背压式发讯器的要求不高。

喷咀挡板背压式发讯器用在高精度测量的场合是很多的，这时，需对其性能从结构上加以较详细的分析。这一部分，将在有关的项目中再介绍

4. 单向气动升压器

“QF—D”型单向气动升压器是广泛用于气动装置和射流装置中的一个附件，图11为其结构示意图。其工作过程如下：

阀杆6下部凸缘和上部垫环8之间的距离比本体7中部的高度稍大，当信号输入为零时，由于阀杆本身的重量以及输入气源作用在垫环8上的压力，使垫环8紧靠着本体中部的凸边，因此输出为零。当信号输入达到一定值时，顶杆5在鼓起的膜片和硬芯的作用下把阀杆顶起，这样阀杆上部的垫环8与本体上部凸边之间就出现了隙缝，输入气源即通过这

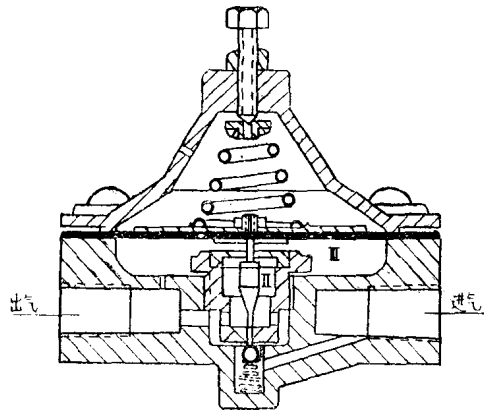


图 9

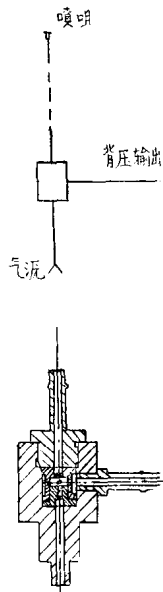


图10
背压式发讯机

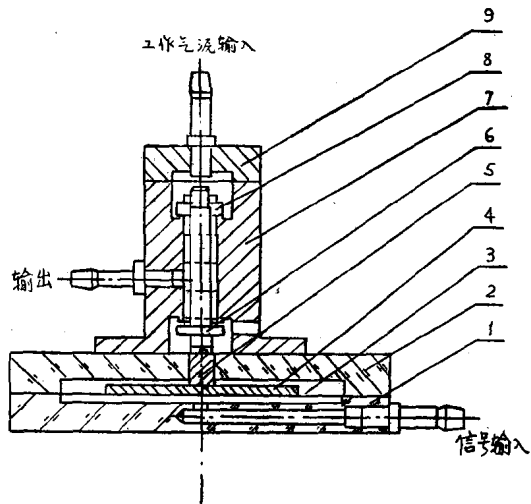


图11 气动升压器

缝隙从输出接头输出。只要信号不撤消，输出就一直存在。

“QF—D”单向气动升压器是为了适应射流技术应用于自动检测的领域而设计和制造的，它与目前广泛应用的一类升压器（如上海电器元件厂的QDF气动升压器）有些不同：

① “QF—D”气动升压器是低中压放大器，它能将大于 $100\text{MMH}_2\text{O}$ 的低压讯号放大为 $0.7\sim 1.5\text{Kg/Cm}^2$ 的中压讯号，而通用的QDF气动升压器的工作气源压力必须在 $4\sim 6\text{Kg/Cm}^2$ 的范围。需要的讯号压力也来得高；

② “QF—D”气动升压器在没有输出时，不向外排气，也即不消耗气源，因此不但节约了能源，也减少了排气噪音，而一般的气动升压器均是始终向外排气的，能源消耗大，噪音也大；

③ 虽然我们没有做频率响应的动态试验，但比较地使用后表明，“QF—D”气动升压器的频率响应速度较高，显得较灵敏，而且，由于工作气源压力低，又是间断排气的，所以工作噪音小得多。以上这些特点，对于要求较高的自动检测情况来说是相当重要的。

二、“ZF—09”触发器性能分析

“ZF—09”触发器是自动分选机测量系统的基本部件，分选机一个重要的基本参数——分组精度（即检测精度）就完全取决于触发器系统的性能。

在前面“测量系统”一节中，我们已经介绍了该触发器系统的组成、结构和工作过程，下面，我们将从两个方面对“ZF—09”触发器的性能进行较详细的分析：对触发器系统工作性能的实验研究；对触发器主体部分（相当一个比例升压器）的初步理论分析。

1. ZF—09触发器系统的实验研究：

ZF—09触发器装置是由触发器主体部分和一个‘或非’元件组成的，见前面第二节图3示，因此触发器的性能既取决于触发器主体部分（相当一个比例升压器），也取决于那个或非元件。

我们通过下面图12所示的实验装置，对这个系统进行比较详细的分析和研究。实验装置中的微动台架起模拟测量头的作用，旋转微动台架右侧的进动螺杆，就能调节喷嘴与挡板之间的间隙 h ，相当于在测量尺寸不同的工件。

测量气源 P_3 分成数支，一支输入微动台架上的喷嘴入口（相当输入气动测量头），另外几支输入触发器，对多级分选的自动分选机来讲，每一级有一触发器，因此总数可多达10个，而对于上文介绍的判别型分选，则只要输入两个触发器就行了，总之，是根据用途来决定的。在实验时，我们则按图12线路来进行，从反映整个过程中的规律来讲，是基本一样的。在测量气源 P_3 为一定值，恒节流孔 R 测和喷嘴孔径 d 固定不变时，喷嘴挡板之间的间隙 h 与输入触发器的测量信号（背压输出） P_a 之间有完全确定的对应关系，可以表达为

$$P_a = f(h)$$

P_a 是 h 的单值函数，即 P_a 是完全可以由 h 决定的。因此在进行讨论时，用 h 代替 P_a 是一样的，尤其在用 h 作为参变量更能说明问题的时候。 $P_a = f(h)$ 的关系可从实验中得出，在此不表示了。

在前面“测量系统”一节中，我们已经叙述了“ZF—09”触发器的触发过程，指出在某个确定的情况下，输入触发器本体以一个定压力测量讯号 P_a ，将能导致或非元件 H 切换，即引起“触发”亦即只要造成背压测量讯号的间隙 h 达到某一值时，即能引起“触发”。

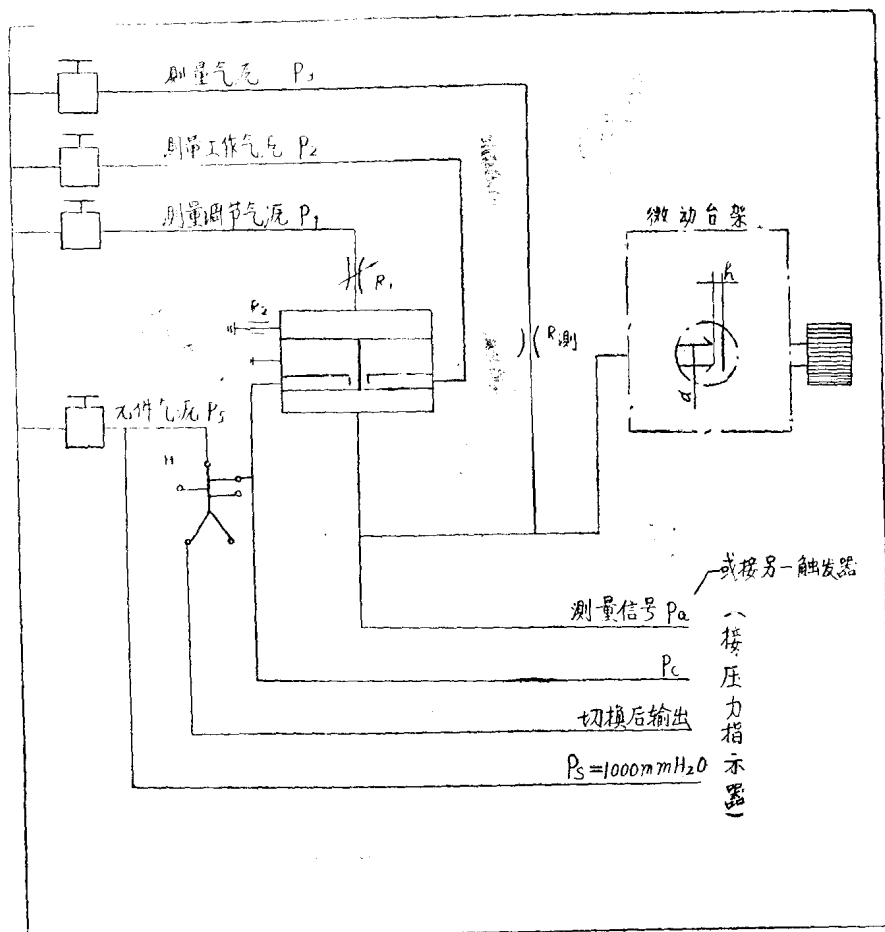


图 12

下面，我们对“触发精度”这个概念，作一些分析：

我们把 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_5 及 R_1 均调整到一定数值，然后旋动微动台架的进动螺杆，使 h 逐渐减小，这时即开始了模拟测量。当 h 达到某一值时，或非元件 H 发生切换，即系统进入“触发”状态。记下这个位置，亦即微动台架这时的读数 N ，随后退回进动螺杆。重复以上过程，分别记下第二次、第三次……的触发位置，即微动台架的读数 N_2 、 N_3 、 N_4 ……，考察这一系列数据，可以清楚地看到，导致触发器系统“触发”的数值 h （亦即背压测量讯号 P_a ），并不是一个固定值，而是一列数值相近的数，它们在一个确定的范围内波动，这个导致触发器系统触发的测量讯号的数值范围就称为“触发精度”前面已说明了，我们这里测量讯号是用测量间隙 h 来表示的，它与背压测量讯号中有完全确定的对应关系； $P_a = f(h)$ 。

下面是图12的实验装置在两种情况下的触发精度试验：

① $P_1 = P_2 = P_3 = 1000 \text{ mm H}_2\text{O}$;

$P_5 = 3000 \text{ mm H}_2\text{O}$;

喷嘴直径为 $\phi 2$ ；恒节流孔 R 测为 $\phi 0.5$ ；可调节流阀 R_1 调到某一位置（ $R_1 > 0$ ）。

下面是 $N_1 \sim N_{28}$ 共28次的微动台架读数；

5.2；5.2；5.4；5.8；5.2；5.4；5.2；5.3；5.6；5.7；6.2；5.8；5.9；5.4；5.5；
5.8；6.1；5.3；5.8；5.7；5.6；5.7；6.0；5.6；5.5；5.7；5.5。

② $P_1 = P_2 = P_3 = 3000 \text{ mm H}_2\text{O}$ ；

$P_s = 1000 \text{ mm H}_2\text{O}$

将可调节流阀调到某一大于0的位置，其他条件同上。

$N_1 \sim N_{28}$ 的28次微动台架读数如下：

5.6；5.8；5.9；5.4；5.5；5.8；5.9；6.0；5.9；5.7；5.9；5.8；5.8；5.5；5.9；
5.8；5.9；5.6；5.8；5.9；5.7；5.7；5.8；5.7；5.9；5.8。

在第一种情况下，台架的读数在5.2~6.2之间，也就是说，导致触发器系统“触发”的讯号（喷嘴挡板间隙量 h ）数值变动范围为 1μ ，即这种状态下的“触发精度”为 1μ ；在第二种情况下，台架的读数在5.4~6.0之间，显然，这种状态下的触发精度为 0.6μ 。

那么，触发精度是由那些因素决定呢？

触发精度由以下三个因素决定：

A、触发器主体部分的工作特性；

B、或非元件H的最小切换压力 P_{cmin} 的变动范围（切换压力精度）；

C、工作点的选择。

下面，分别对其进行讨论：

A、触发器的主体部分相当于一个比例升压器，其工作特性实质上即是指输入讯号与输出讯号之间的关系，作为输入讯号的是背压测量讯号 P_a ，作为输出讯号的是 P_c 。但是，前面已提到，为了更能说明问题，我们用测量间隙 h 代替 P_a 作为输入讯号，由于在测量气源 P_3 ，恒节流孔 R 测和喷嘴直径 d 固定情况下， P_a 与 h 的关系是完全确定的，因此这样的代替并不影响说明问题。工作特性既取决于触发器主体部分的结构参数，也取决于工作状态参数（ R_1 、 R_2 、 P_1 、 P_2 ……），由于用参数变量 h 代替了 P_a ，因此还取决于函数 $P_a = f(h)$ 中的有关参数： P_3 、 R 测、 d ，触发器主体部分的这种非线性的工作特性，在下一部分将从理论上加以说明。

图13和图14是上述第①种情况和第②种情况下触发器主体部分的工作特性曲线，图上画出了全部曲线中的一部分。

比较这两条曲线，可以清楚地看到，第②种情况下的工作特性曲线相比第①种情况，具有更陡峭的形状，反映了前者有比后者更大的（输出讯号对输入讯号）的变化率。以输出讯号 P_c 为 $400 \text{ mm H}_2\text{O} \sim 600 \text{ mm H}_2\text{O}$ 这一段说，两条曲线在这一范围均有相当好的线性，但是第一种情况下，这时的变化率（或称放大系数）仅为 $16 \sim 17 \text{ mm H}_2\text{O}/\mu$ ，而在第二种情况下，变化就是 $45 \text{ mm H}_2\text{O}/\mu$ 左右，即后者比前者大二倍。

B、或非元件的最小切换压力 P_{cmin} 不是一个固定值而是一个数值范围，前面所做的触发精度试验实际上已说明了这一点。所谓“触发”，即是指触发器系统的或非元件H在控制讯号 P_c 作用下发生切换，而 P_c 作为触发器主体部分的输出讯号是由输入讯号 P_a ，亦即测

量间隙 h 决定的,若 h 是在一定数值范围内变化,则 P_c 也一定有一个相应的数值范围,这之间的关系是由触发器主体部分的工作特性曲线来决定的。因此,若知道 P_{cmin} 的数值,则从触发精度和相应的工作特性曲线,就可以知道元件H的最小切换压力 P_{cmin} 的数值变动范围(切换压力精度)。

在第一种情况和第二种情况, P_{cmin} 都在 $100\text{mmH}_2\text{O}$ 左右($P_s = 1000\text{mmH}_2\text{O}$),而前者的触发精度为 1μ ,后者的触发精度为 0.6μ ,对照两条工作特性曲线,第一种情况下这一段的特性变化率是 $11\text{mmH}_2\text{O}/\mu$ 左右,第二种情况下是 $19\text{mmH}_2\text{O}/\mu$ 左右。这样就可求出元件H最小切换压力 P_{cmin} 的变动范围 A_{pc} 了。 $A_{pc} = \text{触发精度} A_z \times \text{特性变化率} k_z$ 。

在第一种情况 $A_{pc} = 1\mu \times 11\text{mmH}_2\text{O} = 11\text{mmH}_2\text{O}$

第二种情况 $A_{pc} = 0.6\mu \times 19\text{mmH}_2\text{O}/\mu = 11.4\text{mmH}_2\text{O}$

可见,元件H的切换压力精度在 $11\text{mmH}_2\text{O}$ 左右。

事实上,元件H的切换压力精度 A_{pc} ,在元件气源压力 P_s 一定时是确定值,就与元件的压力恢复系数、最小切换压力 P_{cmin} 等一样,也是衡量元件性能的一个指标。当气源压力 P_s 变化时情况又怎样呢?在或非元件的线性工作段($P_s = 500 \sim 5000\text{mmH}_2\text{O}$ 时),最小切换压力 P_{cmin} 是线性地变化,而参数 A_{pc} 则基本保持不变。

再回过头来看上面的计算公式;

切换压力精度 $A_{pc} = \text{触发精度} A_z \times \text{特性变化率} k_z$

$$\text{或} \quad A_z = \frac{A_{pc}}{k_z}$$

就可以获得很清晰的意义,这就是这一部分一开始所指出的,触发器系统的性能既取决于触发器主体部分,也取决于那个或非元件,指标 k_z 和 A_{pc} 即是它们性能的标志。

C、所谓工作点乃是指或非元件的最小切换压力 P_{cmin} 在触发器工作特性曲线上所处的位置。由于工作特性曲线不是一条直线,故若工作点选的不同,特性变化率 k_z 也不同。无疑,如果我们把工作点选在特性曲线比较陡峭的部分,则 k_z 就大,这样,在同样的情况下就可获得较高的触发精度,反之,若触发器主体部分的工作特性曲线总的来讲是相当陡峭的,但工作点正好选在其较平缓的一段,这样触发精度还是不高的。

因此,触发精度的表达式严格地说应该写成以下形式:

$$A_z = \frac{A_{pc}}{(k_z) P_{cmin}}$$

上式说明了触发精度是由三个因素综合决定的。

在我们实验的二种情况里, P_{cmin} 为 $100\text{mmH}_2\text{O}$ 左右($P_s = 1000\text{mmH}_2\text{O}$) 在两条工作特性曲线中,这个工作点均处在趋于平缓的转折阶段,因此,对应的特性变化率 k_z 是较低的,若能把工作点提高到 $200\text{mmH}_2\text{O}$ 左右,特性变化率均可以整整提高一倍,这就意味着在同样的情况下,把触发精度提高了一倍。

从理论上来说,可以通过改变(一般总是提高)或非元件H的气源压力 P_s ,使 P_{cmin} 在特性曲线上的对应值(k_z) P_{cmin} 获得最大,从而提高触发精度。但事实上,或非元件H的气源压力到底确定多大,受到很多方面的限制,因此必须要具体分析,兼顾其他方面,尽量

在系统的正常工作和机械结构的设计不要受到很大影响的前提下适当提高气源压力 P_s 值。

综合上述对三个影响触发精度因素的分析，可以看到触发器主体部分的工作特性涉及到的参数（既有工作状态参数，又有结构参数）最多，问题复杂，我们将在下面对这一问题作一些理论上的初步分析。

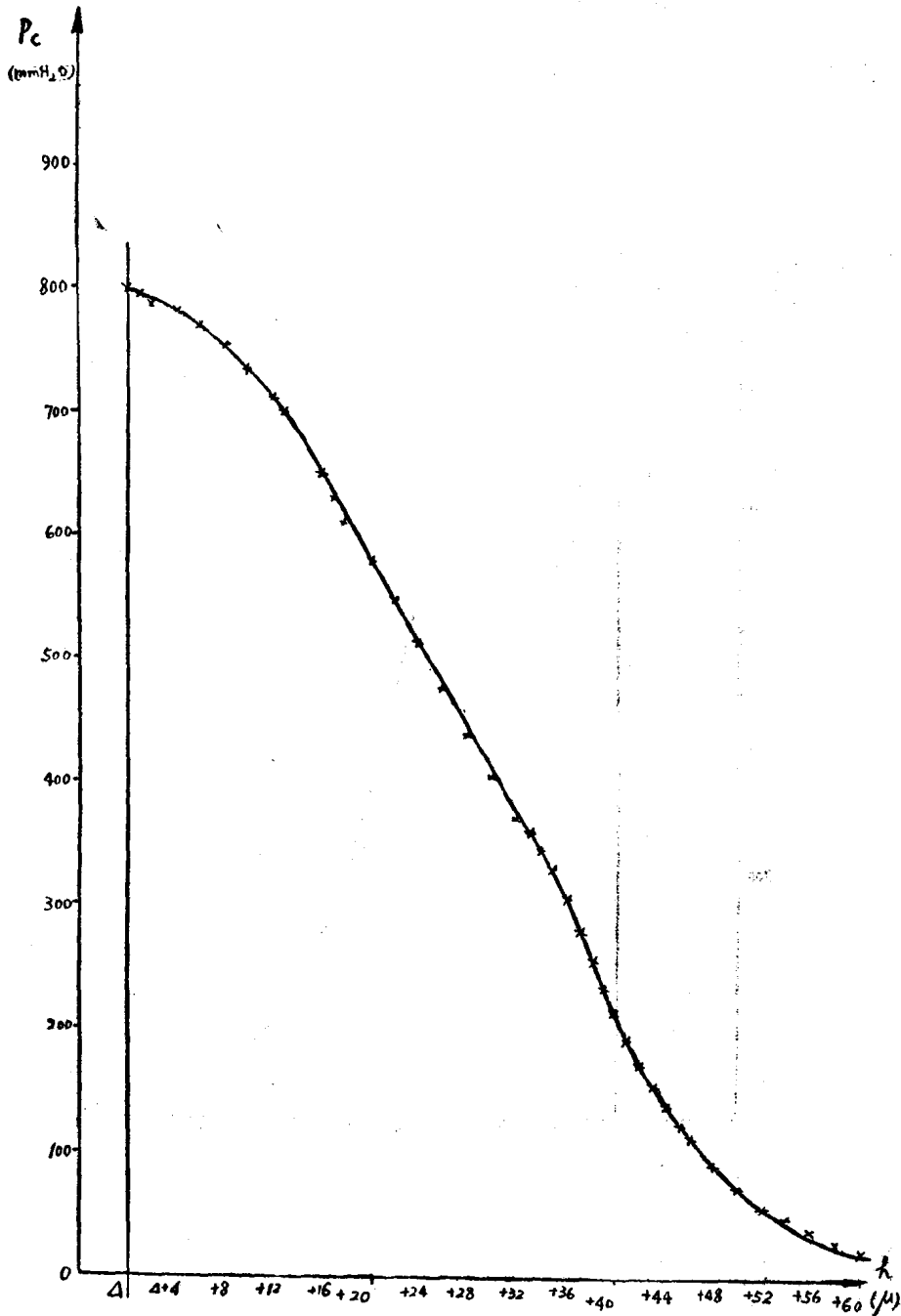


图 13