

气动技术及气动组合机床

第三机械工业部三〇一研究所

1980

前 言

气动技术在应用上具有安全、可靠、简单、便宜等优点；在性能上具有惯性小、反应速度快、软负载、低压力值等特点，受到了国内外各工业部门的关注和重视。随着这一技术的迅速发展，它已成为一门包括动力、控制、检测、运算、自动调节等综合性的技术科学，是实现工业自动化中不可忽视的一个技术领域。在今天，由于气动技术与气动控制在应用上的结合，逐渐形成了一个独立的组合机床分支——气动组合机床及自动线。

近几年来，气动组合机床及自动线在我国的纺织、仪器仪表、汽车、拖拉机、飞机、发动机等部门的机械加工和自动化装配中逐渐得到了应用。尤其是气动组合机床及自动线在实现空间复杂群孔的自动化加工中，实践证明了它的设计制造周期短、成本低、效率高、轻巧灵活和快速调节的特点，具有推广的价值。

为了适应气动组合机床技术发展的需要，在大连组合机床研究所、浙江象山气动元件厂、浙江温州风动力头厂、国营前哨机械厂、国营太行仪表厂等单位的大力支持和帮助下，由我所组织有关人员共同编辑的《气动技术及气动组合机床》一书现已出版，在此表示感谢。

本书从气动逻辑控制技术、元件及回路设计方法、自动进给风钻及攻丝动力头、气—电控制自动进给钻、气动组合机床的设计原理与方法、应用实例等方面选编了十一篇文章。并对国内外气动技术在组合机床及自动线中的应用和发展作了分析与介绍，供广大工人、工程技术人员在设计、制造气动组合机床及自动线时学习参考使用，也可作为“气动技术与气动组合机床”培训班的教材。

由于我们的水平还比较低，实际经验又不多，在编辑、整理过程中错误和缺点一定不少，恳请广大读者批评指正。

第三机械工业部三〇一研究所

一九八〇·五

目 录

1. 高压截止式气动逻辑元件……………浙江象山气动元件厂 林祥生 (1)
2. 气动逻辑控制回路设计的一般方法…浙江象山气动元件厂 林祥生 尤旭良 (14)
3. 自动进给风钻……………国营前哨机械厂 周可昌 (22)
4. 英国狄苏特公司 AFD 自动进给风钻及风动攻丝头系列
 和多轴传动头简介……………三〇一研究所 程 安 (45)
5. 日本苏吉诺公司气电控制自动进给风钻简介……………国营前哨机械厂 沈小雄 (56)
6. 气动技术在组合机床中的应用和发展……………大连组合机床研究所 李世权 (64)
7. 气动进给动力头在多孔加工中
 代替数控机床……………大连组合机床研究所 李世权 (74)
8. 气动组合机床的设计……………大连组合机床研究所 李世权 孙桂芝 (77)
9. 低成本的自动化——国外风动动力头
 在飞机工业中的应用实例……………大连组合机床研究所 李世权 (89)
10. 气动组合机床技术 ………………国营太行仪表厂 齐杏元 (93)
11. 温QZ—I型气控专用钻孔机床简介——温WQLJ气动逻辑元件
 与 FT06K 动力头应用实例 ………………浙江温州风动动力头厂 叶中原 (119)

高压截止式气动逻辑元件

浙江象山气动元件厂 林祥生

气动逻辑元件是以压缩空气作为工作介质，可以用来组成控制系统中能够完成一定逻辑功能的自动化元件。

早在六十年代初期，随着整个气动技术的发展，发现射流元件本身存在着许多娇弱的缺点，而各工业部门又没有较好地解决空气净化和元件污染问题的手段，便出现了寻求新型元件来代替的趋势，气动逻辑元件就在这样一种形势下形成的。它克服了射流技术存在的一些缺点，给工业自动化提供了一种良好的手段，引起国内外的广泛重视，也获得了迅速的发展。

气动逻辑元件按它的工作压力分为：

高压元件（工作压力为2—8公斤/厘米²）；

低压元件（工作压力为0.2—2公斤/厘米²）；

微压元件（工作压力0.2公斤/厘米²以下）。

按它的结构型式分为：

膜片式元件（单膜片、多膜片）；

滑阀式元件；

截止式元件。

目前，一机部大连组合机床研究所和我厂联合研制生产的WQLJ型逻辑元件是一种高压截止式元件。

一、高压截止式气动逻辑元件的主要特点

1. 元件体积小，流量大，压力高，可采用与执行机构相同压力的气源，不需要特殊的净化和稳压装置；
2. 元件动作稳定、可靠，逻辑功能严密；
3. 元件输入阻抗为 ∞ ，负载能力强，可带动许多元件，组成各种线路；
4. 元件结构简单，工艺性好，零部件彼此通用，互换性强，组装方便，有利于检查和维修；
5. 工作寿命长，经鉴定使用寿命达一千万次以上；
6. 系统设计方便，采用电控、液控相同的逻辑语言，便于电、液、气综合控制；
7. 在易燃、易爆、强磁、潮湿、粉尘、幅射等使用电控、液控不合理的恶劣环境中，仍能正常地工作。

高压截止式气动逻辑元件具有上述优点之外，也存在一些不足之处，例如响应速度稍慢，灵敏度略低，一般不宜组成运算十分复杂的控制系统；不能经受特殊高温环境的影响（超过80℃）等等。但与响应速度迟缓的液压系统、使用寿命短暂的继电器、代价昂贵的电子系统等来比较，气动逻辑控制系统用于一般机械，化工，船舶控制等是稳定可靠和经济实用的。

二、WQLJ型气动逻辑元件的结构性能

WQLJ型气动逻辑元件自七四年试制成功以来，已经形成一套比较完整的系列，共14个品种，40个逻辑功能（见附表1）底面尺寸均为18×24毫米，主要技术参数为：

公称通径	φ2.5毫米
应用气压	2—6 公斤/厘米 ²
耐压	8 公斤/厘米 ²
响应速度	6~10毫秒
流量	140升/分
频率响应	50赫兹
耐震	25赫兹±1毫米
环境温度	-5℃~+60℃

WQLJ型气动逻辑元件系列品种以“或”、“与”、“非”、“双稳”为基本逻辑元件，此外还设计了定时元件、定压元件、信号元件、辅助元件以及管路连接件等，配套齐全，可组成各种控制回路。

现就主要元件的结构性能作如下介绍：

“或”元件 “或”元件逻辑符号

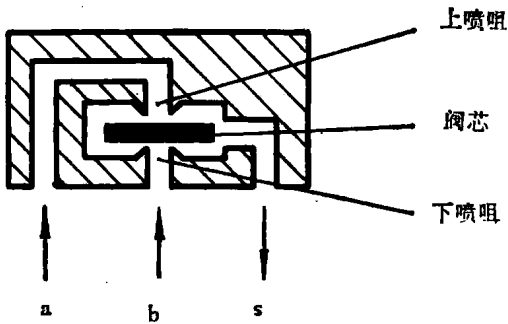
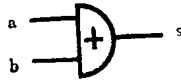


图 1

“或”元件真值表

a	b	s
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

“或”元件的 a、b 为信号输入端，s 为输出端。当 a 有信号输入时，阀芯封闭下喷嘴，气流从 s 输出。同样，当 b 有信号输入时，阀芯封闭上喷嘴，气流也从 s 输出。a、b 和 s 之间的相互关系见真值表，其逻辑函数式： $s = a + b$ 逻辑运算符号“+”表示“或”的意思。

“是”元件 “是”元件逻辑符号



“与”元件 “与”元件逻辑符号



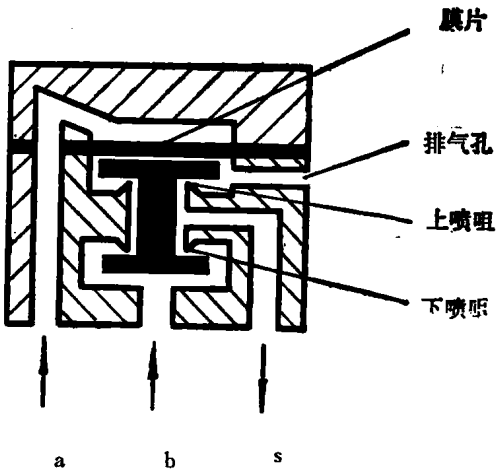


图 2

“是”元件在 b 端接气源，当 a 有信号输入时，膜片变形推动阀芯，封闭上喷咀，开启下喷咀，s 有输出。当 a 信号消失，膜片复原，由于 b 端气源压力，阀芯封闭下喷咀，开启上喷咀，s 没有输出，剩余气体从排气孔排出。a、s 之间的相互关系见真值表，其逻辑函数式： $s = a$

“是”元件真值表

a	s
0	0
1	1

“与”元件真值表

a	b	s
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

上述结构，在 b 端接信号，则构成“与”元件。a、b 和 s 之间的相互关系见真值表，其逻辑函数式： $s = a \cdot b$ 逻辑符号“ \cdot ”表示“与”的意思。

“非”元件

“非”元件逻辑符号



“禁”元件

“禁”元件逻辑符号

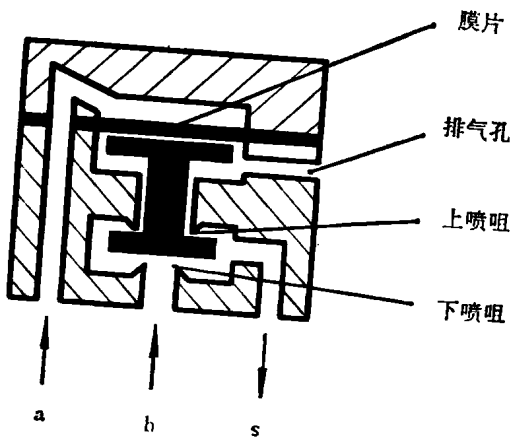


图 3

“非”元件 b 端接气源。在气源压力下，阀芯封闭上喷咀，s 有输出。当 a 有信号输入，膜片变形推动阀芯，封闭下喷咀，s 端没有（“非”）输出。剩余气体从排气孔排出，a、s

“非”元件真值表

a	s
0	1
1	0

“禁”元件真值表

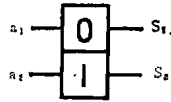
a	b	s
0	0	0
0	1	1
1	1	0
1	0	0

之间的相互关系见真值表，其逻辑函数式： $s = \bar{a}$

上述结构，在 b 端接信号，则构成“禁”元件。a、b 和 s 之间的相互关系见真值表，其逻辑函数式： $s = \bar{a} \cdot b$

“双稳元件”

双稳元件逻辑符号



逻辑函数式：

$$S_1 = a_1 + \bar{S}_2$$

$$S_2 = a_2 + \bar{S}_1$$

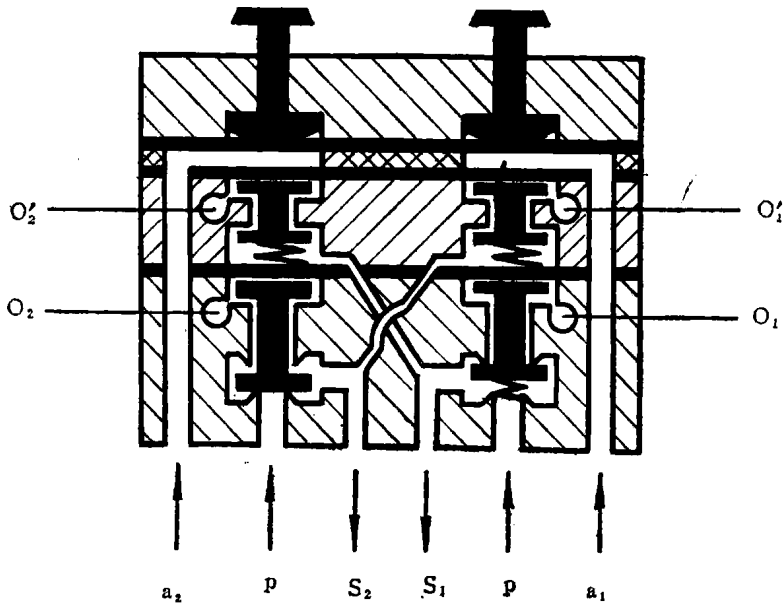


图 4

“双稳”元件真值表

a_1	a_2	S_1	S_2
0	0	1	0
0	1	0	1
0	0	0	1
1	0	1	0

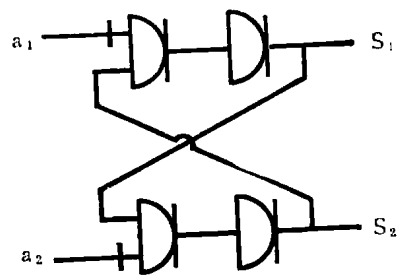


图 5

“双稳”元件也称为记忆元件，这是因为它平时总是处于二种稳定状态的一种，只有输入信号时，才会切换成另一种状态，而信号撤销后，状态保持不变，具有记忆性。“双稳”元件有几种结构类型，这里介绍的是新颖的截止式 B 型“双稳”元件，元件接通气源后，元件的初始状态总是处于“0”状态，即优先置“0”。

B 型“双稳”元件的内部结构相当于二个“禁”元件和二一个“非”元件的组合，参见图 5。

P 端接气源，内部结构保证 S_1 先有输出（优先置“0”），同时经内部通路使左边“非”元

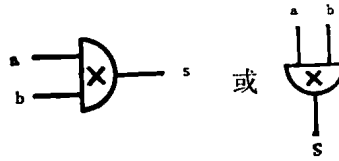
件迅速切换， s_2 无输出。当输入 a_2 信号，膜片变形，左边“非”元件阀芯移位开启 O_2 排气道，“非”元件返回， s_2 有输出，同时经内部通路使右边“非”元件迅速切换， s_1 无输出。当 a_2 信号撤销， s_2 保持记忆输出，直至切换信号 a_1 输入为止。

“双稳”元件具有的开关功能，有时也用 K_b 来表示。

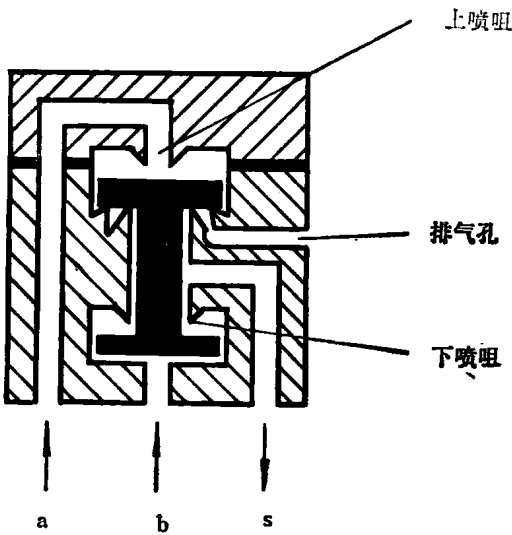
B型“双稳”元件输出可直接控制流量要求不大的执行元件（例如内径 $\phi 40$ 毫米，长度250毫米以下的气缸），所以往往也作主控阀用。

“顺序与”元件

逻辑符号



逻辑函数式： $s = a \times b$



“顺序与”有序真值表

No.	a	b	s
1	0	0	0
2	1	0	0
3	1	1	1
4	0	1	0
5	1	1	0

图 6

“顺序与”元件是在“与”元件基础上略加改动制成。它要求 a 、 b 二个可变函数不仅有“与”的关系，而且还附带有先后顺序的关系。

当先有 a 信号输入，阀芯下移（如原理图所示位置），开启下喷嘴，再有 b 信号输入， s 有输出，即 $s = a \times b$

如果先有 b 信号输入，阀芯上移，封闭下喷嘴，同时封住上喷嘴，后有 a 信号输入，由于差压原理， a 信号的压力无法把阀芯推下来，所以 b 、 s 之间通道仍被堵塞， s 没有输出，即： $\bar{s} = b \times a$

a 、 b 和 s 之间按顺序翻转的关系见有序真值表。

“顺序与”元件的逻辑功能相当于四个元件组成的组合单元，按逻辑关系表达为：

$$s = a \times b = b \cdot K \frac{a \bar{b}}{a}$$

“延时”元件

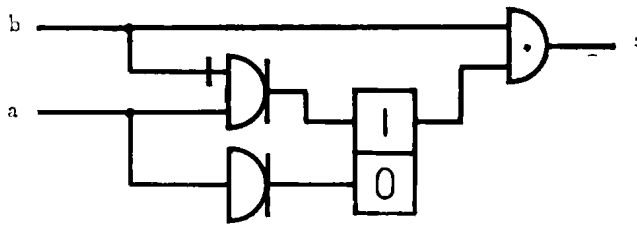


图 7

“延时”元件分：“常开延时闭”、“常开延时开”（常开型）；
“常闭延时闭”、“常闭延时开”（常闭型）。

常开型延时元件由阻容器和“非”元件组成。常闭型延时元件由阻容器和“是”元件组成。阻容器包括节流阀、气容和单向阀。

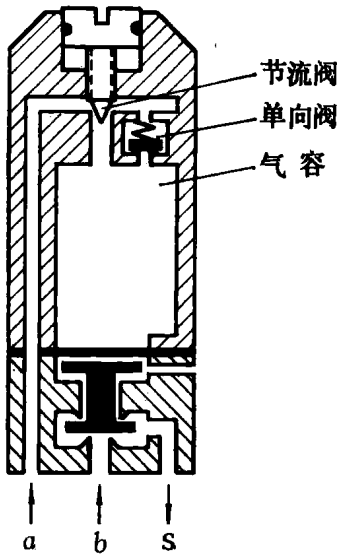
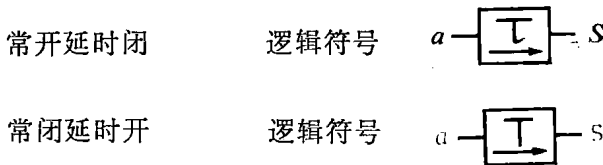


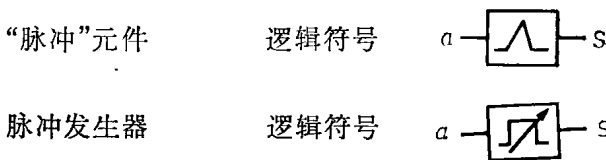
图 8

“常开延时闭”元件由阻容器和“非”元件组成。

b 接气源，s 有输出（常开）。当 a 端输入信号，由于单向阀关闭，气流经节流阀缓慢进入气容，经过一段时间，气容里气压达到使“非”元件切换的压力时，s 端停止输出（延时闭）。当 a 信号消失，气容贮气经单向阀迅速排出，“非”元件立即返回，s 恢复输出。

上述阻容器和“是”元件组成为“常闭延时开”元件。

而“常开延时开”和“常闭延时闭”也是由阻容器分别和“非”元件和“是”元件组成，只是它们的单向阀方向倒置过来。



“脉冲”元件的 a、b 二孔相连，为信号输入端。当输入信号时，s 端输出，但另一路经节流阀升高气容压力，切换“非”元件，使 s 端停止输出。因此长信号输入“脉冲”元件转换成一次脉冲信号输出。信号撤销，气容里气体经单向阀迅速排空。脉冲发讯宽度可调范围 0 ~ 20 秒。见图 9。

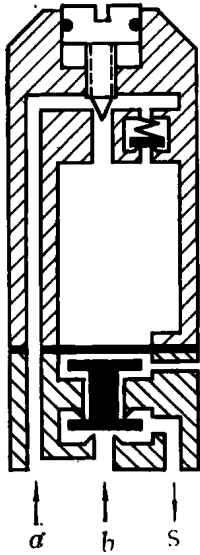


图 9

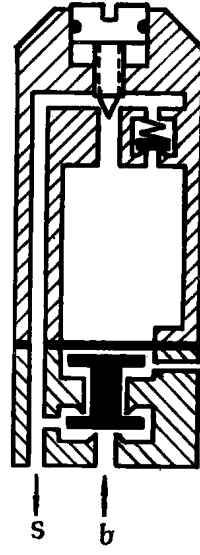



图 10


上述元件通道略加改动便成“脉冲发生器”。长信号从 b 端输入，s 端立即有输出，输出的另一路经节流阀逐步增加气容压力，切换“非”元件，封闭 b 端进气口，使 s 端停止输出。同时，气容里气体经单向阀从“非”元件的排气孔迅速排空，压力撤销，“非”元件返回，s 重新输出。如此循环，长信号经过“脉冲发生器”转换成连续脉冲输出。其脉冲波状为：




如果将原因图中所示的单向阀方向倒过来，则脉冲波状为：



如果将单向阀堵塞，则脉冲波状为：



见图 10。

压力放大器 逻辑符号 

b 为气源输入端，当 a 端没有信号输入时，气源压力封闭 b 和 s 间通道，另一路经过滤片、节流孔从排气口排出，s 无输出。当 a 端有一微压信号输入时，由于差压原理，上膜片变形封住节流孔喷嘴，气流进入气室产生压力，使下面“是”元件切换，气源的高压气流就从 s 端输出，以达到用微压控制信号输入而获得较高压力输出的效果。

这种由“是”元件构成的放大器称常闭型压力放大器，如果改用“非”元件则构成常开型压力放大器。

泄漏传感器 逻辑符号 

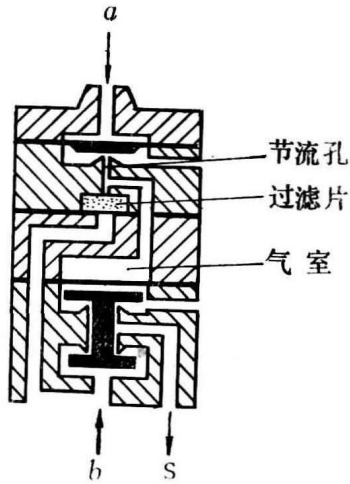


图12

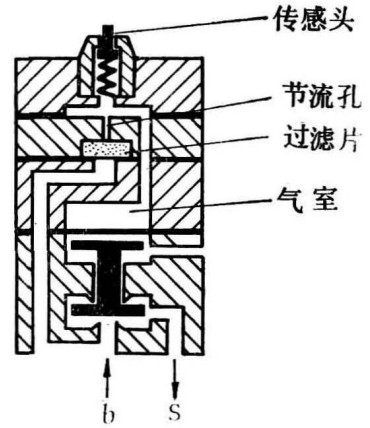


图11

气源从泄漏传感器 b 端输入，一路经过滤片、节流孔使传感头保持封闭状态，另一路进入气室产生气压切换“非”元件，使 s 端停止输出。当传感头碰触某信号，封闭状态被打破，气流迅速从传感头泄漏，压力骤降，“非”元件返回，s 端立即输出信号，和传感头碰触信号同步。

这种由“非”元件构成的为“常闭型泄漏传感器”，如果和“是”元件构成的为“常开型泄漏传感器”。

传感头可按工作条件需要选择其安装位置。

其他信号元件、辅助元件等就不作详细介绍了。

三、WQLJ型气动逻辑元件的技术水平

为了不断提高WQLJ型气动逻辑元件的技术性能和产品质量，近几年来，一机部大连组合机床研究所和我厂对元件进行了大量的试验和改进，并采取一系列相应的技术措施：进一步提高元件微型化、零件通用化水平；用弹性可动件代替硬质可动件；采用酚醛树脂模注工艺提高生产率、降低成本；提高元件流通能力，降低元件输入气容；设计新结构优先置“0”的“双稳”元件和放大元件等等。由于实施了上述技术措施，目前我厂生产的WQLJ型气动逻辑

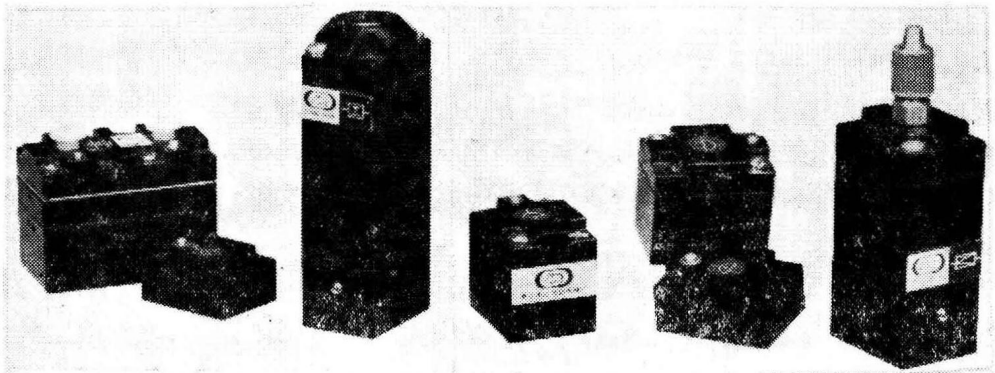


图13 WQLJ型气动逻辑元件

辑元件的主要技术指标已经达到了国外同类元件的水平(例如,比较先进的法国CROUZET元件)。一九七八年十二月,一机部大连组合机床研究所的鉴定委员会,对我厂生产的气动逻辑元件进行了全面测试鉴定。鉴定结果(见附表2)流量和流量系数二项指标超过了法国CROUZET元件水平,特别在元件微型化方面,WQLJ型气动逻辑元件是目前国内外同类产品体积较小的一种,比CROUZET元件底面尺寸缩小46%。

四、气动逻辑通用程序控制器

由气动逻辑元件组成的通用程序控制器的出现,为气控技术的通用化开辟了广阔的前景。由于这种程序器是由同一逻辑单元叠加组成,并且可以根据控制系统的程序需要任意选择步数,这就较好地解决了气动逻辑控制系统的通用化问题,简化了设计方法,使装置在不变或小变的情况下满足组合机床及自动线或其他自动化设备提出的多变的控制要求,达到了通用、可调、快换的目的。另外,气动逻辑通用程序控制器本身具备如下功能:1.实现给定程序,能自行消除回路中的I型、II型信号障碍;2.可进行自动、半自动操作;3.具有故障监控、故障报警、调整处理等功能;4.可进行计数控制。

一机部大连组合机床研究所和我厂联合研制并由我厂投产的QLS型气动逻辑通用程序控制器(即V型程序器)主要由三个部分组成:

1. 程控环节:采用环行计数器线路作为程控环节,以实现一定的程序动作和消除信号输入的各种类型的障碍。程控环节由相同的若干个单元组成,每一个程控单元作为程序的一步。系统需要完成多少步数就采用多少个程控单元串联叠加。参见图14、15。

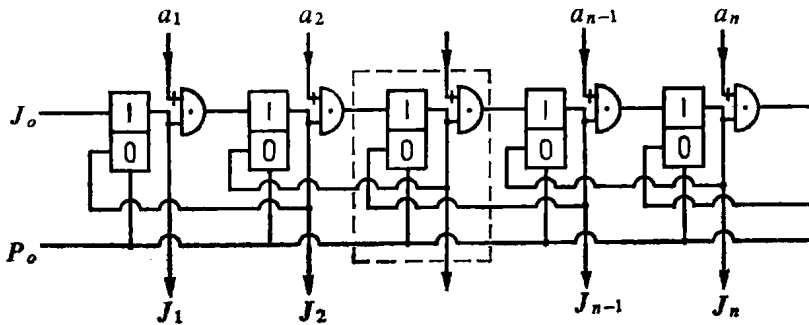


图14 程序器程控环节线路图

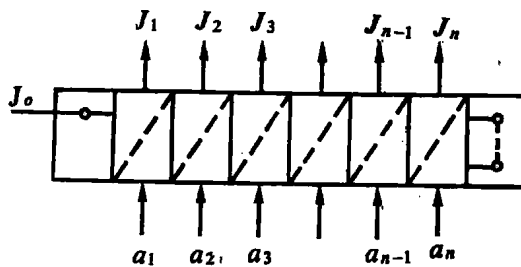


图15 程控环节符号图

图中 J_1, J_2, \dots, J_n 为各步输出信号;

a_1, a_2, \dots, a_n 为各步输入信号;

J_0 为程序器原位输入信号；

P_0 为输入气源。

为了便于介绍，程控环节的逻辑式用以下比较简单的形式表示：

$$J_1 = K_{J_2}^{J_0}$$

$$J_2 = K_{J_3}^{J_1 \cdot a_1}$$

$$J_3 = K_{J_4}^{J_2 \cdot a_2}$$

.....

$$J_{n-1} = K_{J_n}^{J_{n-2} \cdot a_{n-2}}$$

$$J_n = K_{J_n \cdot a_n}^{J_{n-1} \cdot a_{n-1}}$$

2. 操纵环节：为了实现自动、半自动调整、紧急停止、以及在调整和紧急停止状态下程控环节的置零，以便隔离执行机构信号的反馈对系统的再次输入，操纵环节叠加在程控环节之前。

3. 程控环节的保护线路：为了实现主程序的过程保护，设置保护线路。当被保护的程序步，因某种原因不符合该步正常运行条件时，保护线路输出故障信号M。M输入操纵环节进行控制。

程控环节的保护线路只有在极为必要的时候才设置。

QLS型气动逻辑控制程序器采用WQLJ型气动逻辑元件组成操纵单元和程控单元，程序控制器主要由这二种单元根据系统的要求叠加组成，其结构和外型尺寸参见图16、17。

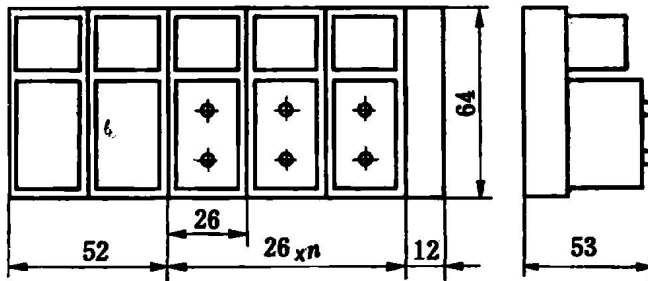


图16

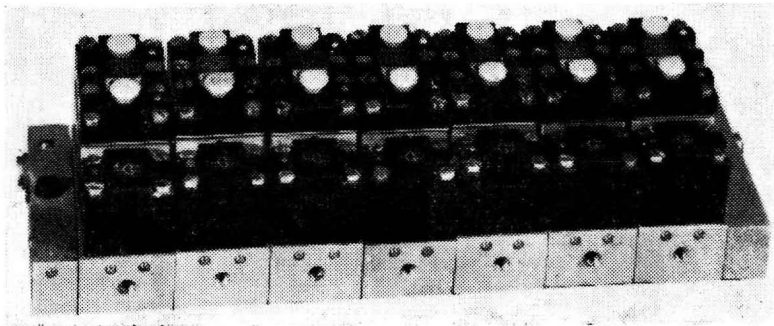


图17

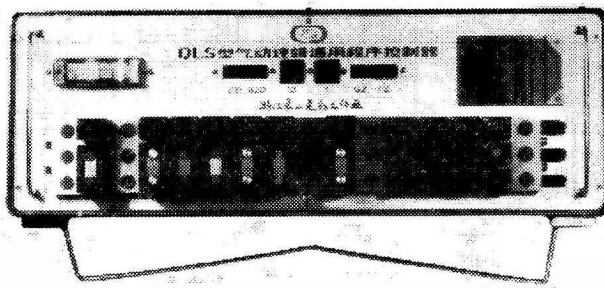


图18 QLS型气动逻辑通用程序控制器

高压截止式气动逻辑元件克服了射流元件的一些缺点，获得了迅速的发展。近年来，随着整个气动技术应用范围的扩大；随着通用逻辑控制系统、气动传感系统、气动检测系统以及运算技术的发展，WQLJ型气动逻辑元件将不断增加系列品种及提高元件性能，为满足控制系统的配套需要，更好地为发展气动技术服务。

WQLJ型气动逻辑元件产品目录

附表 1

产品名称		型号	功能
基本逻辑元件	是	WQLJ-11	输出信号与输入信号状态相同。
	与		二输入信号以逻辑“乘”状态输出。
	非	WQLJ-12	输出信号与输入信号状态相反。
	禁		控制信号禁止另一个输入信号的输出。
	或	WQLJ-13	二输入信号以逻辑“加”状态输出。
	顺序与	WQLJ-15	具有顺序功能的与元件。
	双稳	WQLJ-16	控制信号输入后，输出具有记忆性，直至切换信号输入才换向输出。
定时元件	常开延时闭（可调）	WQLJ-23(I)	延时发出信号或延时消除信号。 可调范围 0—20秒。
	常开延时开（可调）	WQLJ-23(II)	
	常闭延时闭（可调）	WQLJ-24(I)	
	常闭延时开（可调）	WQLJ-24(II)	
	脉冲（可调）	WQLJ-25	将持续的输入信号转换为一次脉冲输出。
	脉冲发生器	WQLJ-26	输出连续脉冲信号。

(续)

产品名称		型号	功能	
定压元件	压力放大器 (常开)	WQLJ-31	低压输入信号转换放大为高压输出。	
	压力放大器 (常闭)	WQLJ-32		
	压力比较器	WQLJ-33	输入信号压力达到或超过定值时改变输出状态。	
流量放大元件		WQLJ-41	小流量输入信号转换大流量输出, 输出口径6毫米。	
信号元件	泄漏传感放大器 (常开)	WQLJ-51	与气动传感器配合使用。	
	泄漏传感放大器 (常闭)	WQLJ-52		
	气开关	气按钮	WQLJ-53(I)	手动或机动信号。
		机动气开关	WQLJ-53(II)	
双联气开关		WQLJ-53(III)		
气电转换元件		WQLJ-73	气信号转换为电信号。	
辅助元件	阻容器	单向可调气阻	WQLJ-83(I)	
		可调气阻	WQLJ-83(II)	
		气容	WQLJ-83(III)	
	真空发生器	WQLJ-84	真空度50—70%。	
连接件	接管安装板	WQLJ-91(I)		
	管接头	WQLJ-91(II)		

主要技术性能比较

附表 2

序号	项 目	WQLJ型		法 国	美 国	日 本
		实 测	设 计	CROUZET	ARO	
1	通 径	$\phi 2.5$	$\phi 2.5$	$\phi 2.5$	$\phi 3.2$	$\phi 2.8$
2	底面尺寸	18×24	18×24	25×32	32×32	20×20
3	流量系数 或 非 与 双稳	(KV) $1.6-1.7$ 1.7 1.7 1.6	KV $1.3 \sim 1.6$ 1.6 1.4 1.3	KV $1.3 \sim 1.5$ 1.6 1.4 1.3	KV 2-4 4 2 2.15	KV 1.4 1.4 1.4 2.3
4	流 量 或 非 与 双稳	NL/分 $140-150$ 160 160 150	NL/分 120 135 120 120	NL/分 117 135 117 110		
5	反应速度 或 非 与 双稳	ms 2 3 3 4	ms 6 6 6 10	ms 3 3 4 5	ms 6 10 11	ms 15 15 15 25
6	频率响应	50HZ	25HZ			
7	温度范围	$-10^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$	$-5^{\circ} \sim 60^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$		
8	寿 命	1000万次	1000万次	$10^3 \sim 3 \times 10^3$ 万次		

带 为超过CROUZET指标

气动逻辑控制回路设计的一般方法

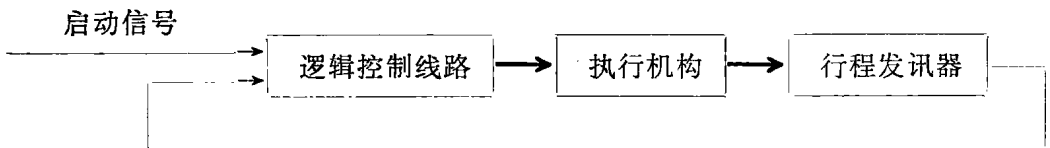
浙江象山气动元件厂 林祥生 尤旭良

引用逻辑运算的概念，通过气动逻辑元件组成控制系统，对预定的机械工作程序实现有条不紊的控制，我们称它为气动程序逻辑控制。一般的气动程序控制包括行程程序控制和时间程序控制二种。对于组合机床及自动线，一般适用于行程程序控制的方法。

行程程序控制系统主要包括行程发讯器、逻辑控制回路、执行机构以及动力源等部份。

通常，当执行机构完成每一步动作之后，由行程发讯器发出讯号输入到逻辑控制线路，并由它进行逻辑运算和判断，然后发出执行信号指令执行机构的下一步动作，整个系统如此循环下去，因此是一种闭环数字控制系统。

行程程序控制原理方框图如下：



气动程序回路设计工作的目的就是要解决如何选择气动逻辑元件、并通过逻辑运算组成较为合理的气动回路来为组合机床及自动线特定的程序控制要求服务。

一、行程程序的表示方法

为了回路设计方便起见，我们采用文字符号来表示执行机构（如气缸）的动作和行程阀及所发的信号，并作如下规定：

用大写拼音字母 A、B、C……表示执行机构（气缸）。数字注脚“1”和“0”表示气缸运动的状态，“1”表示气缸活塞前进，“0”表示活塞后退，例如 A₁，A₀。

A₁B₁C₁……

A₀B₀C₀……为控制系统的输出信号

用与执行机构相应的小写字母 a、b、c……表示行程阀及其发出的信号，例如气缸活塞处于 A₁ 状态，其相应行程阀及所发出的信号 a₁，气缸活塞处于 A₀ 状态，其相应行程阀及所发出的信号 a₀。

a₁b₁c₁……

a₀b₀c₀……为控制系统的输入信号

主控阀的功能实际上是“双稳”元件的逻辑功能，通常用 F 表示。“双稳”元件置“1”端，表示主控气缸前进，“双稳”元件置“0”端表示主控气缸后退。现用图 1 来说明主控阀、行程阀和气缸的关系。

由图 1 可见，主控阀的输出和气缸的动作是相一致的，所以 A₁A₀ 不仅表示 A 气缸的二种动作状态，而且也表示它的主控阀（“双稳”元件）F_A 两端的输出信号，即就是“主控信号”。能够直接指令主控阀 F_A 输出的信号我们称它为“执行信号”，通常在符号右上角加“*”