

# 开关阀动作时间的计算和气路优化研究

华雷

浙江省天正设计工程有限公司

DOI:10.12238/jpm.v4i7.6101

**[摘要]** 本文研究了开关阀动作时间的计算方法和气路优化的方法。通过理论分析和仿真实验, 得出了开关阀动作时间的计算公式, 并提出了气路优化的方案, 能够有效地减小系统的响应时间和误差。文章的研究成果对自动化控制领域的气动控制系统设计和优化具有一定的指导意义。

**[关键词]** 开关阀; 动作时间; 气路优化; 响应时间

## Calculation of switching valve operation time and gas path optimization

Hua lei

Zhejiang Tianzheng Design Engineering Co., LTD., Zhejiang Hangzhou 310012

**[Abstract]** This paper studies the calculation method of switching valve operation time and the method of gas path optimization. Through theoretical analysis and simulation experiment, the calculation formula of switching valve action time is obtained, and the gas path optimization scheme is proposed, which can effectively reduce the response time and error of the system. The research results have certain guiding significance to the design and optimization of pneumatic control system in the field of automatic control.

**[Keywords]** switch and off valve; operation time; optimization of air path; response time

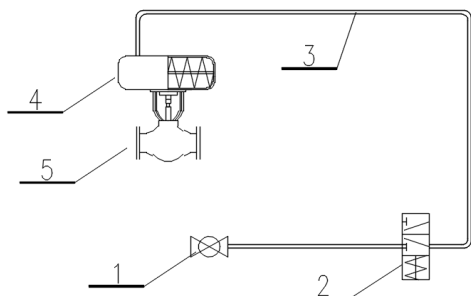
### 1. 引言

气动控制系统是现代工业自动化控制中的重要组成部分, 其主要功能是实现工业流程的自动化控制。开关阀作为气动控制系统中的核心元件, 其动作时间的快慢直接影响到系统的响应时间和控制精度。因此, 如何计算开关阀的动作时间并优化气路, 是气动控制系统设计和优化的重要问题。

### 2. 开关阀动作时间的计算方法

开关阀动作时间的计算是气动控制系统设计和优化的重要问题。在实际运用中, 开关阀的动作时间受到多种因素的影响, 如供气压力、阀芯质量、气路设计等。本文需要通过理论分析得出开关阀动作时间的计算公式。

#### 2.1 开关阀气路的示意图及原理<sup>[2]</sup>



1 气源球阀 2. 电磁阀 3. 气管管 4. 开关阀单作用执行机构 5. 开关阀阀体

图2 开关阀气路示意图

电磁阀得电时:

电磁阀(2)励磁动作, 气路导通, 来自气源总管的 0.45MPa 的仪表空气沿气源管(3)加入到气动执行机构(4), 推动弹簧压缩, 执行机构内的齿条移动, 带动阀杆转动, 阀体内的球体旋转, 阀门实现全开(关)动作。

电磁阀失电时:

电磁阀内弹簧复位, 切断主管进气通路, 气动执行机构内空气沿着气管管通过电磁阀)的排气端排气, 气动执行机构内弹簧复位, 执行机构内的齿条逆向移动, 阀门实现全关(开)动作。

以上就是联锁开关阀开关过程的工作原理。

#### 2.1 开关阀动作时间的理论分析

在气动控制系统中, 开关阀的全行程的动作时间可以分为两个部分: 开启时间和关闭时间。开启时间是指从阀芯开始运动到开启位置所需的时间; 关闭时间是指从阀芯开始运动到关闭位置所需的时间。因此, 开关阀全行程动作时间可以表示为:

$$t = t_1 + t_2$$

其中,  $t_1$  为开启时间,  $t_2$  为关闭时间。

为了简化分析, 只分析开关阀的开启动作时间,

开关阀的开启动作根据原理可以分为三个阶段: 电磁阀的励磁动作、气源管内仪表空气的流动、气动阀气缸活塞运动, 而阀芯转动和活塞运动是同步的。

设电磁阀的励磁动作时间为  $t_1$ , 气源管内仪表空气传输时间为  $t_2$ , 气动阀气缸活塞运动时间为  $t_3$ , 则开关阀的单程动作时间  $t$  可以表示为:

$$t = t_1 + t_2 + t_3$$

a) 电磁阀的励磁动作时间:

电磁阀的励磁动作时间和电磁阀的固有特性有关, 可以通过实验或者厂家资料得到。

b) 气源管内仪表空气传输时间:

假设:

L: 供气管线的长度 (m)

D: 供气管线的直径 (m)

$P_{in}$ : 气源压力 (Pa)

$P_{out}$ : 气动阀所需的工作压力 (Pa)

$\rho$ : 气体密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\mu$ : 气体动力粘度 ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )

Q: 供气管线的流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

管线压力损失:

$$\Delta P = \frac{f((L/D)(\rho(Q^2)))}{(2\pi(D^4)/16)} \quad (1)$$

其中,  $\Delta P$  是管线压力损失,  $f$  是摩阻系数。摩阻系数  $f$  和管道表面的相对粗糙度 ( $\epsilon/D$ ) 和管线路径中的弯头数量等有关, 气源管为内部光滑的无缝钢管, 表面粗糙度很低

在得到管线压力损失后, 我们可以计算气体从气源传输到气动阀所需的时间  $t$ 。假设阀门的动作需要达到的压力为  $P_{out}$ , 可以根据运动公式推得以下公式:

$$t_2 = \frac{VL}{(Q(P_{in} - \Delta P - P_{out}))} \quad (2)$$

其中,  $V$  是气体在管道中的平均流速 ( $\text{m}/\text{s}$ )。

c) 气动阀气缸活塞运动时间:

根据运动公式建立了数学模型

$$t_3 = \frac{m L_s}{A(p - F)} \quad (3)$$

其中:

$t$  - 气缸活塞运动时间;

$m$  - 气缸活塞质量;

$L_s$  - 气缸行程长度;

$A$  - 气缸活塞有效面积;

$P$  - 供气压力;

$F$  - 气缸活塞在运动过程中所受到的摩擦力和其他阻力。

从公式中可得:

气动开关阀影响气缸活塞运动时间的主要因素包括以下几点:

1) 供气压力: 气源的压力会影响气缸活塞的运动速度, 压力越大, 活塞运动速度越快。

2) 气缸活塞的有效面积: 气缸活塞的有效面积直接影响气缸活塞所受到的气压力, 有效面积越大, 气压力越大, 活塞运动速度越快。

3) 气缸行程: 气缸活塞需要完成的行程长度会影响其运动时间, 行程越长, 运动时间越长。

4) 气缸活塞的质量: 活塞质量较大时, 需要更大的气压力来推动, 从而影响活塞的运动速度和时间。

5) 空气流量和阀门开关速度: 气动阀门开关速度和空气流量会影响活塞的运动速度, 开关速度越快, 空气流量越大, 活塞运动速度越快。

6) 内部摩擦力和其他阻力: 气缸活塞在运动过程中, 需要克服内部摩擦力和其他阻力, 这些阻力的大小也会影响活塞的运动速度和时间。

合并公式因此开关阀的单程动作时间  $T$ =

$$\frac{VL}{(Q(P_{in} - \frac{(L/D)(\rho(Q^2))}{(2\pi(D^4)/16)} - P_{out}))} + \frac{m L_s}{A(p - F)} + \text{电磁阀动作时间}$$

考虑到  $P_{in} = p$

公式整合后得

$$T = \frac{VL}{(Q(P_{in} - \frac{8L\rho Q^2}{\pi D^3} - P_{out}))} + \frac{m L_s}{A(P_{in} - F)} + \text{电磁阀动作时间} \quad (4)$$

其中几个参数都是固有特性, 和设备机械加工或者和气体物性有关, 是没法改变的: 如  $P_{out}$  (气动阀所需的工作压力)、 $\rho$  (气体密度)、 $\mu$  (气体动力粘度)、 $m$  (气缸活塞质量)、 $L_s$  (气缸行程长度; )、 $A$  (气缸活塞有效面积)、 $F$  (气缸活塞在运动过程中所受到的摩擦力和其他阻力)

分析时不用考虑这些参数的影响。

还有三个参数和动作时间  $T$  相关

1) 气源压力 ( $P_{in}$ ) 在分母中, 越大,  $T$  越小

2) 供气管线的长度 ( $L$ ) 和  $T$  也成一定的正相关性, 越大,  $T$  越大

3) 供气管线的直径 ( $D$ ) 在式中分母呈三次方项, 它较小的变化也会在最终的结果中产生放大的影响。  $D$  越大,  $T$  越小

### 3. 气路优化的方法

气路优化是指通过改变气路的设计和管道的参数, 来减小系统的响应时间和误差, 提高系统的控制精度。在实际运用中, 气路优化是气动控制系统设计和优化的重要环节。

4) 通过对公式 4 的分析, 可以通过改变气源压力 ( $P_{in}$ )、供气管线的长度 ( $L$ )、供气管线的直径 ( $D$ ) 方面着手。

#### 3.1 气路设计的优化

在气路设计中, 需要考虑管道的长度、直径、弯曲和分支等因素。为了减小管道的阻力和压力损失, 在工程设计中可以采用如下的气路设计方法:

(1) 尽量减小管道的的拐弯, 避免管道的弯曲和分支, 可以减少气源管内仪表空气传输的压力损失。

(2) 在平面供气设计时, 供气管靠近设备, 对于耗气量较大, 或者波动较大的气动阀门, 宜采取单线供气方式供气<sup>[1]</sup>, 供气支管采取尽量最短路径设计, 减少管道的长度, 可以达到实现缩短连锁切断阀全行程动作时间的目的。如图 3.1 所

示

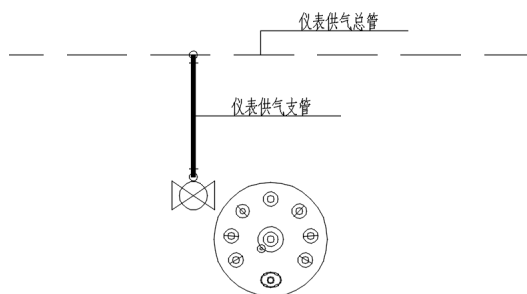


图 3.1 阀门气路布置示意图

### 3.2 气道参数的优化

在气道参数的优化中，需要考虑气道的容积、压力、流量等因素。为了减小系统的响应时间和误差，在公称设计中可以采用如下的气道参数优化方法：

(1) 增加气道的截面积。

根据设计规范，阀门的上游供气系统配管管径最小宜为 1/2in，气源球阀下游测配管的规格选择，根据仪表选型确定，常用的不锈钢管规格有  $\varnothing 12 \times 1.2\text{mm}$ 、 $\varnothing 10 \times 1\text{mm}$ 、 $\varnothing 8 \times 1\text{mm}$ 、 $\varnothing 6 \times 1\text{mm}$  几种规格<sup>[3]</sup>。阀门越大，气缸活塞质量和行程距离都会更高，因此需要选择更大的不锈钢管配管规格来补偿这些参数的影响，根据以往的经验。DN100 口径以上的适合采用  $\varnothing 10 \times 1$  的不锈钢配管，以下口径的阀门可以统一采用  $\varnothing 8 \times 1\text{mm}$  或  $\varnothing 6 \times 1\text{mm}$  的配管。

(2) 开关阀配置快速排气阀，安装在气动执行机构的的出口处使得气缸的排气不用通过换向阀，而快速排出，加快了气缸往复运动的速度，缩短了气缸在排气时的路程，提高了响应速度。如图 3.2 所示

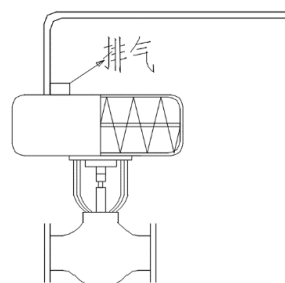


图 3.2 阀门配备快速排气阀示意图

(3) 增加阀门的供气的气源压力

这种措施会增大系统能耗，所以可以针对一些紧急动作时对快速动作时间要求较高的阀门，配备独立的气源罐，气源罐配置较高的供气压力。

### 4 总结

本文研究了开关阀动作时间的计算方法和气路优化的方法。通过理论分析得出了开关阀动作时间的计算公式，并分析得出了气路优化的方案，对提高开关阀的响应速度，有一定的参考意义。

### [参考文献]

- [1]石油化工业仪表管道线路设计规范 SH.T 3019-2016 中华人民共和国工业和信息化部
- [2]赵玉珠. 测量仪表与自动化[M]. 石油大学出版社, 1997. 2.
- [3]仪表供气规范 HG/T 20510-2014 中华人民共和国工业和信息化部