

化工自动化丛书

# 流体输送设备的自动调节

徐炳华 杨学熊 夏上蕙 合编

.21

化学工业出版社

化学自动化丛书

# 流体输送设备的自动调节

徐炳华 杨学能 夏上慧合编

化学工业出版社

## 内 容 简 介

《流体输送设备的自动调节》一书是《化工自动化丛书》的一个分册，共分六章。前四章介绍了泵、风机、容积式压缩机、离心式压缩机的自动调节，叙述了这些泵、机的构造和作用原理，以及它们的工作特性，讨论了各种调节方案。第五章流体的远距离输送问题叙述了燃气轮机-压缩机组在长输管线中的自动调节。第六章扼要地介绍了深井水泵的遥控、遥测、通讯。

本书由化工部第三设计院杨学熊（第一、二、三章及第六章部分）、徐炳华（第四章）、夏上蕙（第五章及第六章部分）编写。北京燕山石油化学总公司设计院林秋鸿审核，最后经浙江大学化工自动化教研室审定。

本书较为通俗，着重于实际，列举了具体设计实例。可供从事化工、炼油自动控制设计、运行的工程技术人员及仪表工人阅读，也可供大专院校有关专业师生参考。

### 化工自动化丛书

#### 流体输送设备的自动调节

徐炳华 杨学熊 夏上蕙 合编

化学工业出版社出版

（北京和平里七区十六号楼）

张掖河西印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本787×1092 1/32印张9 1/2 插页2 字数213千字 印数1—5,100

1982年4月北京第1版1982年4月甘肃第1次印刷

统一书号15063·3311 定价1.05元

## 编写说明

近年来，随着化学工业和自动化科学技术的迅速发展，化工自动化技术有了新的进展。以现代控制理论为基础的各种新型控制方法和调节系统相继成功地应用于化工生产；新型的自动控制技术工具以及电子计算机也日益广泛用于化工自动化领域。

为了总结交流我国化工生产应用自动化技术的经验，介绍新的调节理论和控制方法，提高从事化工自动化工作的工人和技术人员的理论和技术水平，促进化工自动化工作的发展，一九七五年，在《炼油、化工自动控制设计业务建设会议》上，决定由化工部炼油、化工自动控制设计技术中心站负责，组织有关院校、科研设计单位和工厂，编写一套《化工自动化丛书》。

《化工自动化丛书》是在普及的基础上侧重提高的一套读物，主要包括经典和现代控制理论，各类调节系统和化工单元操作控制等方面的题材。“丛书”内容力求密切反映化工应用的特点，做到理论联系实际，既阐明基本概念，作出理论分析，又叙述工程应用方法和应用实例，说明具体实施方案和现场运行经验。

《化工自动化丛书》编审组成员：

兰州化学工业公司设计院（组长）

浙江大学化工自动化教研组（组长）

兰州化学工业公司石油化工厂

上海炼油厂

北京化工学院

化学工业部第三设计院

化学工业部化工设计公司

# 目 录

## 绪论

<b>第一章 泵的自动调节</b> .....	( 3 )
<b>第一节 往复泵的自动调节</b> .....	( 4 )
一、往复泵的构造及作用原理 .....	( 4 )
二、往复泵的工作特性 .....	( 6 )
三、往复泵的调节方案 .....	( 7 )
四、计量泵及其调节方式 .....	( 16 )
<b>第二节 旋转泵的自动调节</b> .....	( 27 )
一、旋转泵的构造及作用原理 .....	( 27 )
二、旋转泵的工作特性 .....	( 29 )
三、旋转泵的调节方案 .....	( 30 )
<b>第三节 离心泵的自动调节</b> .....	( 34 )
一、离心泵的构造及作用原理 .....	( 34 )
二、离心泵的工作特性 .....	( 34 )
三、离心泵的调节方案 .....	( 43 )
<b>第四节 真空泵的自动调节</b> .....	( 55 )
一、真空泵的构造及作用原理 .....	( 55 )
二、真空泵的调节方案 .....	( 56 )
<b>第五节 泵的自动调节中的一些问题</b> .....	( 58 )
一、泵的双位调节 .....	( 58 )
二、两台离心泵的联合运行问题 .....	( 60 )
三、油泵-油马达形式的液压无级调速装置 .....	( 63 )
四、能量回收透平 .....	( 69 )
五、泵的程序控制 .....	( 70 )

六、流量调节系统的若干问题	( 84 )
<b>第二章 风机的自动调节</b>	( 91 )
第一节 风机的构造及作用原理	( 91 )
第二节 风机的工作特性	( 91 )
一、机械特性	( 91 )
二、管路特性及工作点	( 92 )
第三节 风机的调节方案	( 93 )
一、调节转速	( 93 )
二、管路节流法	( 98 )
三、回流量调节法	( 104 )
第四节 测量风量的机翼形节流装置	( 106 )
<b>第三章 容积式压缩机的自动调节</b>	( 107 )
第一节 往复式压缩机的原理及工作特性	( 108 )
第二节 往复式压缩机的调节方案	( 109 )
一、氮压机的余隙调节和旁路回流调节	( 111 )
二、氧压机顶开阀调节及旁路回流调节	( 111 )
三、氢氮压缩机和二氧化碳压缩机的旁路回流调节	( 112 )
四、乙烯高压压缩机的负荷调节	( 113 )
五、往复式压缩机的双位调节	( 116 )
六、往复式压缩机的安全联锁	( 117 )
第三节 旋转式压缩机的自动调节	( 119 )
<b>第四章 离心式压缩机的自动调节</b>	( 121 )
第一节 离心式压缩机在石油化学工业中的应用及其控制	( 122 )
一、离心式压缩机的应用	( 122 )
二、离心式压缩机的特性参数及控制系统	( 123 )
第二节 离心式压缩机的喘振与防喘振调节系统	( 125 )
一、离心式压缩机的特性曲线及喘振	( 125 )
二、喘振的原因	( 127 )
三、离心式压缩机的振动	( 136 )

四、离心式压缩机的防喘振数学方程式	(138)
五、防喘振调节系统的确定	(143)
六、防喘振调节系统的防积分饱和问题	(153)
七、防喘振调节系统的参数计算及投运	(156)
八、离心式压缩机并联及串联运行时的防喘振调节系统	(172)
九、防喘振调节阀	(179)
第三节 离心式压缩机的负荷调节方法	(183)
一、几种调节方法	(183)
二、压缩机调节方法综合应用实例	(190)
三、离心式压缩机各段缸吸入口温度、压力及分离器液面的调节	(194)
第四节 透平-压缩机组的调速	(196)
一、调速系统及其任务与要求	(197)
二、透平-压缩机组常用的调速器类型及工作原理	(201)
三、透平-压缩机组转速调节实例	(210)
四、透平-压缩机组的超速保安机构	(213)
第五节 透平-压缩机组的油系统及真空冷凝系统的控制	(215)
一、透平-压缩机组油路系统的实例	(216)
二、油系统的一般控制要点	(217)
三、油系统的联锁保护要点	(219)
四、透平-压缩机组常见的真空冷凝系统	(219)
五、真空冷凝系统的调节	(221)
第六节 透平-压缩机组的振动及轴位移测量	(223)
一、振动及轴位移检测原理	(223)
二、连接系统图	(228)
三、轴向推力测定仪	(228)
第五章 流体的远距离输送	(229)
第一节 概述	(229)



第二节 燃气轮机-压缩机组在长输管线中的应用及其特性	(231)
一、燃气轮机的特点	(235)
二、燃气轮机调节系统的任务	(239)
第三节 燃气轮机-压缩机组的自动调节	(242)
一、主调节系统	(244)
二、安全联锁保护系统	(269)
三、程序控制系统	(272)
四、燃气轮机-压缩机组中压缩机的自动调节	(274)
五、燃气轮机-压缩机组的计算机控制	(278)
第六章 水泵的遥控、遥测、通讯	(283)
第一节 概述	(283)
第二节 水泵遥控、遥测、通讯的基本原理	(284)
一、交流遥控	(284)
二、极性遥控	(285)
三、幅值遥控	(286)
四、极性与幅值混合遥控	(287)
五、远动系统控制	(287)
六、运行和事故信号的反映	(289)
第三节 深井泵群遥控线路	(290)
一、交流单线遥控	(291)
二、直流极性遥控	(293)
三、双直流极性远方自动控制	(295)
四、二线八通道深井遥控	(298)
第四节 深井泵站遥控、遥测、通讯的发展	(300)
参考文献	(302)

## 绪 论

石油化工生产装置中，流体连续地流动着，以进行各种化工过程，生产出多种石油化工的产品。用于输送流体和提高流体压头的机械设备，通称为流体输送设备。从能量观点来看，流体输送设备就是把原动机的能量转变为流体能量，使流体的能量增加的机械设备。流程中的液体、气体和蒸汽就是借助于流体输送设备，使之畅流于设备与管道间，以完成必须的反应及过程。

流体有气体、液体和流态化的固体。输送液体并且提高其压头的机械称为泵；输送气体并且提高其压头的设备称为风机和压缩机。

泵按作用原理可以分为：

1. 往复泵 如活塞泵、柱塞泵、隔膜泵和计量泵、比例泵；

2. 旋转泵 如齿轮泵、螺杆泵、转子泵和叶片泵；

3. 离心泵 这在石油化工装置中是大量使用的泵。

气体输送设备按照所提高的压头程度可以分为：

1. 送风机 出口压力小于 $0.1 \text{ kg/cm}^2$ （表压）；

2. 鼓风机 出口压力在 $0.1 \sim 0.3 \text{ kg/cm}^2$ （表压）之间；

3. 压缩机 出口压力大于 $3 \text{ kg/cm}^2$ （表压）。

压缩机按其作用原理又可以分为：往复式压缩机，旋转式压缩机（螺杆压缩机、水环压缩机），速度式压缩机（离

心式压缩机和轴流式压缩机)。

往复式、旋转式的泵和压缩机均是正位移形式的容积泵和压缩机，它的排出流量是固定的容积。

流体输送设备在生产流程中的主要任务是：

1. 克服设备和管路阻力来输送流体；
2. 根据化工过程的要求，提高流体的压力；
3. 制冷装置的气体压缩。

流体输送设备安全可靠的运行是石油化工生产的必要保证。流体输送设备的自动调节系统有两个主要目的：

1. 为确保本身机泵的安全运转；
2. 为保证工艺流程所要求的流量和压力。

这些调节系统的投运，有助于强化生产，提高劳动生产率。本书叙述石油化工流程中常见的流体输送设备的自动调节系统，并对随机的安全联锁及油路系统也作一些必要的介绍。

随着石油化工生产的发展，所需要的天然气、油田气和原油也大量增加。这些油、气的长距离输送管线已成为国民经济中与交通运输线并列的又一动脉。因此，如何保证这些管线及有关升压站的燃气轮机和机泵长期平稳运行，也就成了自动调节系统所研究的课题之一，而列入本书。此外，对水源井群的遥控、遥测、遥讯也作了一些介绍。

## 第一章 泵的自动调节

泵是用来抽吸液体、输送液体和使液体增加压力的机械。在输送液体的时候，泵是通过外界即依靠原动机得到能量。除了克服阻力损失，泵将大部分能量传给液体，使液体具有一定的压头。所以，从能量的观点来说，泵是一种传递能量的机械，它把原动机的机械能传递给被输送的液体，使液体的流速和压力增加。常用的几种泵的使用范围见图 1—1。

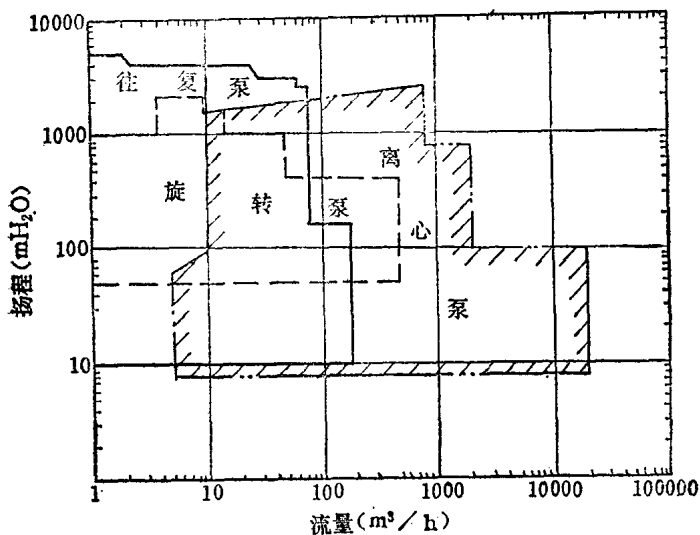


图 1—1 常用的几种泵的使用范围

## 第一节 往复泵的自动调节

### 一、往复泵的构造及作用原理

往复泵属于容积式泵，往复泵主要由泵体、活塞和两个单向活门所构成。它是依靠作往复运动的活塞将外界能量以静压形式直接传给液体。由于活塞作往复运动，故称为往复泵。常见的几种往复泵型式见图 1—2。

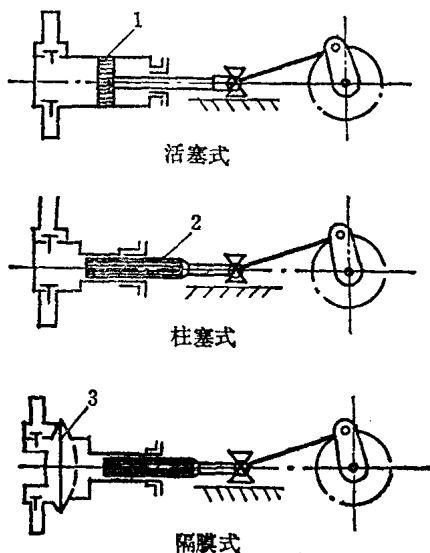


图 1—2 往复泵的几种型式

往复泵的动作原理，可见图 1—3。当活塞由外力作用向右移动时，活塞离开活门，泵内造成低压，排出活门 1 受压关闭，吸入活门 2 被进入的液体冲开，将液体吸入泵内；当活塞向左移动时，活塞迫近活门，泵内造成高压，吸入活门 2 被压关闭，排出活门 1 则被冲而开启。这样就把液体排出泵外。上述动作持久地进行，就能不断地将液体间歇地吸入和排出。

由于单动往复泵是分批吸入和排出液体，所以压出液体的体积流量是不均匀的，随时间有起伏变化。往复泵的流量曲线基本按简谐运动方式变化（见往复泵的流量特性曲线）。往复泵流量呈脉动性质的变化。往复泵有做成双效和

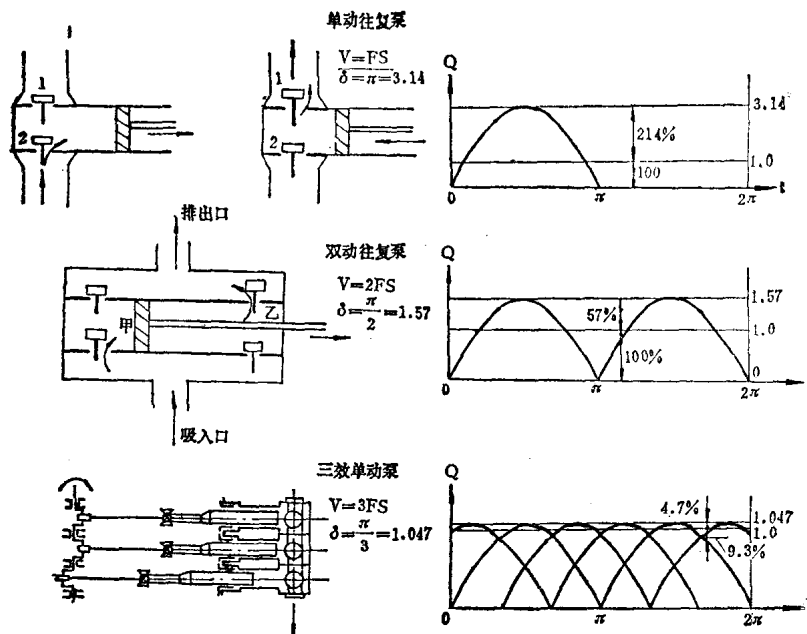


图 1—3 往复泵及其流量曲线图

三效的，这样流量脉动较少，曲线比较平滑。活塞在泵体内从左端移到右端的顶点，这二顶点称为死点。两死点间的活塞运动的距离称为行程 $S$ 。曲轴每转一周，在一个工作循环内有一个吸入行程和一个排出行程，即两个行程内有一次吸排过程的，称为单效泵；有两次吸排过程的称为双效泵；有三次吸排过程的称为三效泵。三效泵各次动作间隔（即曲柄角）为 $120^\circ$ ，故正弦曲线相差 $120^\circ$ 。往复泵的活塞用电动机、柴油机、汽轮机等动力机械通过曲轴、十字头连杆来推

动，故整个行程中流量是脉动的。泵的流量不匀度 $\delta$ ，可以用

最大流量 $F$ 和平均流量 $m$ 比值表示： $\delta = \frac{F}{m}$ 。

单效泵  $\delta = 3.14$           三效泵  $\delta = 1.047$

双效泵  $\delta = 1.57$          四效泵  $\delta = 0.785$

流量不匀度愈大，最大流量与平均流量的差别就愈大，泵的操作也就愈不平稳。在作用效数较小的情况下，三效泵的流量最均匀。因而这种泵适用于对流量平稳要求不太高，而需要产生高压头的场合。

用蒸汽直接作用的泵，则由于活塞运动几乎是等速的，故其流量在整个冲程中亦几乎是均匀的。

## 二、往复泵的工作特性

往复泵的流量和压头无直接的关系，往复泵的流量曲线如图 1—3 所示。往复泵的流量是由气缸的容积、活塞的行程和往复次数来决定。气缸的容积是不变的，故排出量仅取决于活塞的行程和往复次数，它有如下的关系：

$$Q_{理} = 60 \cdot n \cdot F \cdot S \text{ m}^3/\text{h}$$

式中  $Q_{理}$  —— 单位时间内理论排送量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$n$  —— 单位时间内活塞往复次数，rpm(转/分)；

$F$  —— 气缸截面积， $\text{m}^2$ ；

$S$  —— 活塞行程， $\text{m}$ 。

当 $n$ 、 $S$ 不变时，理论流量为恒定，而压头与流量没有直接关系，它的特性曲线如图 1—4 所示。

图中A表示理论状态下流量和压头的关系，从曲线可知，流量是一常数，但在实际中由于泵具有一定的效率，而且随压力的增加效率会下降，所以实际流量有所下降，如曲线B所示。

$$Q_{\text{实}} = \eta Q_{\text{理}}$$

式中  $Q_{\text{实}}$  —— 实际流量，  
 $\eta$  —— 泵效率，一般为 0.85~0.99。

从图 1—4 可知，无论是理论流量 A，还是实际流量 B，在一定的  $\eta$ 、F、S 下，流量几乎是一个不变的常量。计量泵正是利用这个特性，来正确地计量流量。从理论上讲，往复泵

可以产生任意的压头，当管路阻力无穷大时（例如，出口阀门全关），压头可达到无穷大。但由于机械本身的强度和结构的限制，是不允许达到这种程度的。因此往复泵的出口管线上是严禁装设调节阀的，因为当其出口流量稍有变化时，从图 1—4 曲线可知，泵出口压力会迅速变化，就会造成泵本身及管道设备的激烈振动以致损坏。所以往复泵是不能用直接改变其出口阻力来调节流量的。

### 三、往复泵的调节方案

从往复泵的工作特性分析可知，往复泵的流量取决于泵本身转速  $n$  和行程 S，所以往复泵合理的调节方案是调节转速、调节行

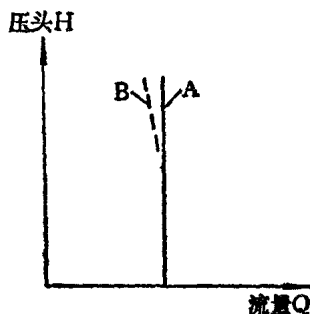


图 1—4 往复泵的特性曲线

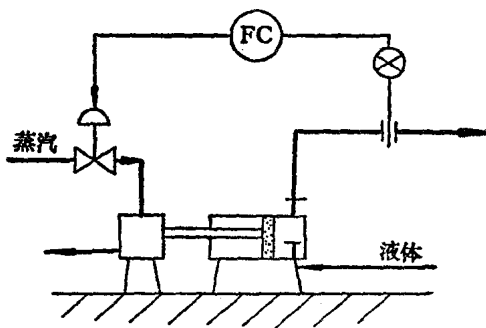


图 1—5 蒸汽往复泵的流量调节系统

程 S，所以往复泵合理的调节方案是调节转速、调节行



程，但这给泵带来了结构上的复杂化，一般在小流量调节时，采用安装旁路的办法，使一部分排出液重新流回贮槽或吸入管路，即被调参数是流量，有时也用压力或液面作为被调参数。用旁路的方案要消耗能量。

### 1. 调节转速

#### (1) 蒸汽往复泵

改变原动机的转速，这对用蒸汽驱动的泵最为方便（炼油厂用得较多），只要改变蒸汽进入量就可以改变往复泵的转速，从而达到增减流量的目的。流量调节

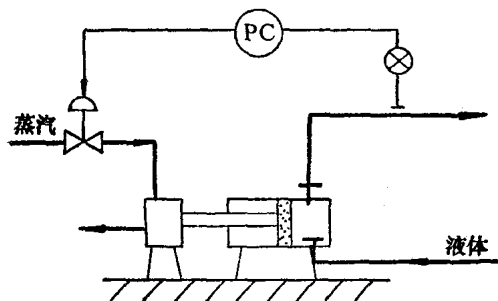


图 1—6 蒸汽往复泵的压力调节系统

系统一般常用在为了保持设备进料稳定的场合；而压力调节系统用在液体性质和管路阻力变化不大，而压力变化或波动

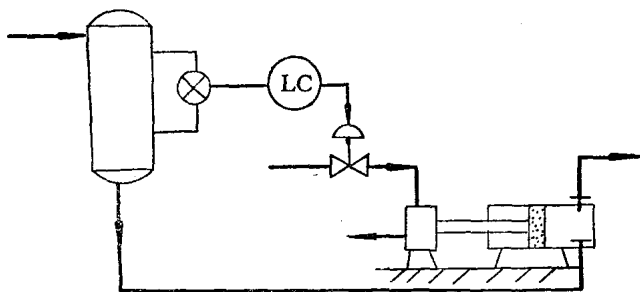


图 1—7 蒸汽往复泵的液面调节系统