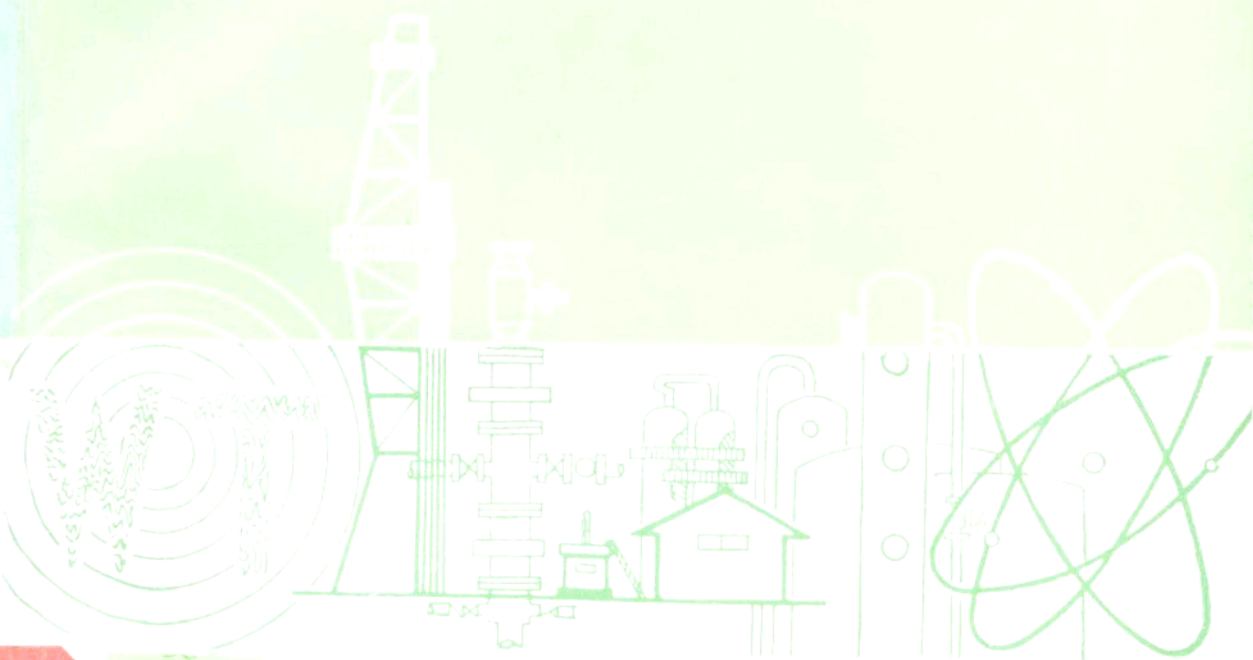




石油技工学校试用教材

输油设备

东北输油管理局技工学校 段海发 主编



北京)

石油工业出版社

第 1 版
第 1 次印刷

前 言

本书是根据 1984 年石油部劳资司审定的石油技工学校输油专业《输油设备》教学大纲编写的。

本书在编写中，不但加强对基本理论的阐述，而且注意联系输油生产的特点，力求反映国内外输油设备的先进技术，特别在输油设备结构原理及操作方面有所侧重。

全书由东北输油管理局技工学校段海发主编，并编写第一、二、三、五、六、七、八、九章，由东北输油管理局技工学校张瑞春编写第四章，并由东北输油管理局技工学校孔样虎、段海发、张瑞春、华东输油管理局技工学校王双喜、石油管道技工学校黄春芳、辽宁省石油化工学校刘中伟等集体审定。

对所有为本书进行审定，并提出宝贵意见，以及在编写出版过程中给予热情帮助和积极支持的同志，在此一并衷心地致谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中缺点和错误在所难免，诚恳希望使用本书的教师和读者给予批评指正。

编者

1987年10月

目 录

结论.....	1
第一章 离心泵.....	4
第一节 泵及其分类	4
第二节 离心泵的工作原理及性能参数	8
第三节 离心泵的工作特性	13
第四节 离心泵的汽蚀	26
第五节 离心泵的一般构造	35
第六节 离心泵的拖动与传动	66
第七节 离心泵的操作和调节	74
第八节 离心泵的并联及串联工作	79
第九节 离心泵的试验	82
第十节 离心泵的维护保养及故障处理	89
第二章 输油泵机组.....	94
第一节 400KD250×2型输油泵	94
第二节 DKS 型输油泵.....	100
第三节 KS 型输油泵	104
第四节 其它类型输油泵	105
第五节 输油泵机组的润滑	125
第六节 输油泵机组的操作和调节	128
第七节 输油泵机组的维护和保养	135
第三章 泵站其它用泵	142
第一节 齿轮泵	142
第二节 旋涡泵	149
第三节 柱塞泵	155
第四节 深井泵及潜水泵	164
第五节 容积式叶片泵	169
第六节 螺杆泵	176
第四章 输油加热炉	181
第一节 加热炉的类型	181
第二节 加热炉用燃烧器	188
第三节 加热炉的操作要点和运行参数	193
第四节 加热炉及附属设备的维护检修	204
第五章 储油罐	211
第一节 油罐的分类及典型油罐	211
第二节 几种油罐的结构特点	214
第三节 油罐的附件	229

第四节	油罐的操作和维护保养	236
第六章	管子、阀门与管件	241
第一节	管子及管子的应用	241
第二节	钢管承压能力的计算	252
第三节	管件	257
第四节	阀门的分类及表示方法	259
第五节	常用阀门的结构特点及应用	265
第六节	阀门的传动及典型阀门介绍	272
第七节	阀门的试验、操作和维护保养	283
第七章	清管设备	289
第一节	清管设备的发展和分类	289
第二节	清管器的结构和原理	289
第三节	清管器的收发装置及附件	296
第四节	收发球机械化装置及操作	299
第八章	泵站常用其它设备	305
第一节	水处理设备	305
第二节	冷却设备	312
第三节	过滤设备	316
第四节	蓄能器	326
第五节	离心式风机	330
第九章	管道的抢(检)修设备及机具	339
第一节	空气压缩机	339
第二节	带压开孔机	369
第三节	管道封堵装置	375
附录	本书使用单位与法定计量单位换算关系	392
主要参考资料		394

绪 论

一、概述

最初石油的开发，因产量有限人们曾用马车运输，随着石油工业的发展，石油产量越来越多，逐渐发展到利用公路、铁路、水上运输。现今管道输送原油及油品，已成为主要的运输方式。

石油长距离管道输送是在第二次世界大战后，即 40 年代后期才大规模发展起来的，近年来管道发展异常迅速。

我国 1938 年发现玉门油田，当时从油井里采出来的原油是直接流入井旁的土坑里，然后装桶用马车或骆驼运出。1940 年前后，油井逐渐增多，开始在地面上建造土油沟和木板集油罐，用以将原油输送到附近的土油坑和木制油罐中去。

新中国成立后，在很短的时间内先后找到了大庆、胜利、大港等油田。由于石油工业的飞速发展，1958 年以来我国逐步建成了大庆—秦皇岛等 20 多条大口径长距离输油（气）管道。

二、输油管道的组成

长距离输油管道是由输油站和管线两大部分组成。输油管道的起点称为首站，它的任务是收集油田来油或港口卸油，经过计量后，加压（有的需升温）向下一站输送，因此，首站除了输油泵以外，还必须设置较多的大容积储油罐和计量装置，以便计量并调节油田或港口来油及管道输油量间的不平衡。

输油管道沿途设有中间泵站，它的任务是对所输送的原油进行加压、升温，以继续输送。中间站主要设置有输油泵、加热炉、阀门等设备，而设置的油罐少（1 个或 2 个），有的甚至不设置油罐。

有时为了供给管道沿途的炼厂，石油化工厂以及有关企业用油，可由某中间泵站或阀室分出一部分原油，通过输油支管道供给用户，也可将中间泵站附近油矿的原油汇集到管道中，输往终点。

输油管道末站接受输油管道送来的全部油品，为了供给用油企业或以其它方式转运，所以末站设置有较多的油罐和准确的计量装置系统。

输油管道的线路部分包括：管道本身，沿线的阀室，江河、铁路、公路、山谷等的穿（跨）越设施和管道阴极防腐保护设施等。

为了保证长距离输油管道的正常运行，输油管道还设置有供电和通讯系统。

电力是输油的主要动力源，为确保安全平稳输油，要求供电系统必须可靠安全。东北输油管道各输油站采用双电源，双回路供电。在供电困难的地区，也有采用柴油机、燃气轮机作动力。

通讯系统是长输管道运行调度和指挥的重要工具，一般都设置专用的通讯线路，国内大

多数管线采用有线载波通讯。随着输油管理水平的提高,对通讯系统也提出越来越高的要求,国外某些输油管道已采用微波通讯,我国部分输油管道也已采用或正在进行试验。

随着石油开采量的增加,世界各国输油管道的建设日益增多,已成为经济上和军事上的重要工程。为了节约钢材,减少动力消耗和投资,输油干管建设的特点是朝着大口径、长距离、耐高压、薄管壁的方向发展;生产管理自动化水平也日益提高,从泵站的就地控制到应用电子计算机进行集中控制、测量和调节,实现生产管理的全面自动化,因而,对输油设备提出更高的要求,以满足于自动化操作管理的需要。

三、国内、外输油管、机、泵与阀门

在管材方面,国外多用焊接性能好的低合金高强度钢材,如美国阿拉斯加管线,直径1220毫米,所用钢号为APIX-60、X-65、X-70,输送压力达84.5公斤/厘米²,壁厚为11~14毫米。我国目前使用锰钢(16Mn)。在制管方面,我国以螺纹焊接管为主,由于工艺不够先进, $\phi 720 \times 9$ 毫米钢管的工作压力仅47公斤/厘米²,而且泵站间距短,耗钢量较多。

在泵和原动机方面,国外大型输油泵多采用离心泵串联工作,目前每级扬程较高的为500~600米,效率为70~80%,其发展方向为单级、高扬程、高转速、大排量和高效率。如美国阿拉斯加原油管线用13500马力(9922.5千瓦)燃气轮机带11500马力(8452.5千瓦)的单级离心泵,该泵的排量为4910米³/时,扬程为610米,转速为5000~7900转/分,重量仅5.5吨。目前我国铁一大输油管线也已开始试验用KS型单级离心泵,其排量为3000米³/时,扬程为190米,转速为2985转/分,效率77~81%,配带电动机功率为2000千瓦。国内泵的原动机除电机外,在缺电的地区也有用柴油机、双燃料发动机和燃气轮机。

在阀门方面,国外长输管道上的截断阀普遍采用球阀或平行滑板闸阀,最大口径为1200毫米,工作压力为20~100公斤/厘米²;阀门的执行机构大部分是电动或电液联动;压力调节阀大都为球形,全关时不泄漏,全开时压降小,调节性能好;安全泄压阀则多采用橡胶挠性管式结构,反应迅速,全开时间只有百分之几秒。在我国,目前截断阀仍以楔式闸板阀为主,球形截断阀的密封装置还有待改进。

四、设备在输油生产中的重要性

输油设备在输油生产中起着决定性的作用。要想达到安全、平稳、经济的输油效果,首先要保证设备的安全运行,否则,一旦设备出了事故,就会影响生产,造成重大的经济损失和人身伤亡事故。如庆一铁线某泵站加热炉出口管线上某压力表的接管稍有偏斜,在管线工作压力39公斤/厘米²的情况下进行校正,致使高压针型阀与1/2英寸管连接处断扣脱落,原油喷出,引起加热炉操作间爆炸起火,被迫全越站52小时,直接损失40多万元,并造成了人身伤亡事故。由此可见,从一个小阀门到输油主机,不管是哪里发生了事故,都会使我们的输油生产受到影响。除此以外,由于输油设备多数是在高温、高压、高转数和防爆的情况下运行,这就对输油设备提出更高的要求,以适应输油生产的需要。

五、本书的内容,特点及要求

本书的内容包括以下几方面:

(1) 离心泵、柱塞泵、齿轮泵、旋涡泵、叶片泵、螺杆泵的结构,原理及性能特点。

- (2) 输油泵机组的操作, 维护和保养。
- (3) 长输管道用加热炉及燃烧器的结构, 性能及使用。
- (4) 长输管道用贮油罐的结构、特点及使用。
- (5) 各种通用阀门的一般知识, 输油管道用典型阀门结构特点, 传动种类及应用。
- (6) 清管器及清管器的收发装置的结构、应用及国外先进清管技术简介。
- (7) 常用的水处理设备、冷却、过滤及蓄能设备的典型结构及应用。
- (8) 空气压缩机, 风机及长输管道抢修机具。如开孔机、封堵器等结构及应用。

本课程是为培养长输管线各泵站输油技术工人而设置的, 所以本书的内容是根据长输管道各输油站使用设备的实际情况编写的, 以作为输油技工教材, 但对输油管线的维修工人及生产管理人员、技术人员亦有一定的实用价值。

通过学习本课程, 可使学生对输油设备的结构、原理、性能有一个较全面系统的了解, 并通过实验课和生产实习, 紧密联系生产的实际, 真正达到会操作, 会维护保养, 能判断和处理设备故障。具体应作到以下几点:

- (1) 真正懂得输油泵机组和泵站其它机泵、加热炉、贮油罐、管路及阀门、管件、清管设备等结构、原理和性能。
- (2) 牢固的掌握以上输油设备性能、运行操作、维护保养和故障处理的基本知识。
- (3) 对泵站常用的其它设备, 如水处理设备、过滤机、冷却器、风机、管道开孔机、封堵器等辅助和检修设备机具, 能了解其结构、原理、性能和安全操作的基本知识。
- (4) 通过本课程学习, 可初步了解国内外技术水平先进的高效泵、高效炉、清蜡装置、抢修机具的一般结构特点, 和输油设备新技术发展的趋势。

第一章 离 心 泵

第一节 泵及其分类

泵是一种流体机械，通过它把机械能转变成液体的位能、压力能，从而使液体能沿管路进行输送。

泵的性能范围很广，巨型泵的流量可达几十万米³/时以上，而微型泵在几十毫升/时以下；其输出压力可从常压一直高达几千公斤/厘米²；输送介质的温度从-200°C到800°C，甚至更高；它输送的介质可以是水、油液、酸碱液、乳化液、悬浮液和液态金属等。

从以上性能便知，泵在农业、工业、国防、交通到日常生活都有广泛的应用，尤其在石油和化工工业中更为重要。泵可称为输油管线的“心脏”。

一、泵的类型

泵的类型复杂，品种繁多，对它的分类方法也各有不同。现代应用的泵，一般按其工作原理和结构可分三大类：

1. 叶片式泵

它对介质的输送是靠装有叶片的叶轮高速旋转而完成的。属于这一类的泵有离心泵、轴流泵、混流泵和旋涡泵等。

2. 容积式泵

它对介质的输送是靠泵体工作室容积的改变来完成的。容积改变的方式有往复运动和旋转运动两种。属于往复运动这一类的有活塞式往复泵、柱塞式往复泵等；属于旋转运动这一类的有齿轮泵、滑片泵、螺杆泵等。

3. 其它类型泵

其它类型泵包括只改变输送介质的位能（如水车等）和利用输送介质本身能量的泵（如射流泵、水锤泵等）。

各种类型的泵有其各自的适用范围。在实际使用中，可根据所需流量及扬程的大小，以及所输送流体的性质等因素进行合理选择。图 1-1 所示为几种泵的流量与扬程的适用范围，可作选择泵类时参考。由图可以看出，一般容积式泵适用于小流量、高扬程；而离心泵则适用于大流量、扬程不十分高的地方。

本书重点介绍离心泵，对往复泵和其它类型的泵只作一般的介绍。

二、离心泵的分类

离心泵的类型很多，随使用的目的不同而有多种结构。常用的分类方法有：

1. 按泵轴位置分

(1) 卧式泵 泵轴与地面平行安装。

(2) 立式泵 泵轴垂直于地面安装。立式可以减少占地面积。

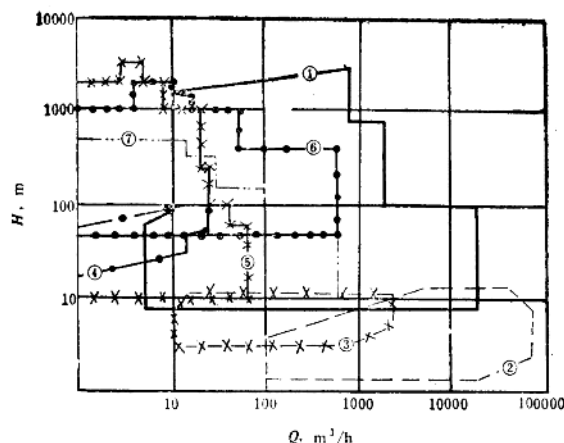


图 1-1 各种常用泵的使用范围

1—离心泵；2—轴流泵；3—混流泵；4—旋涡泵；5—电动往复泵；6—三螺杆泵；7—蒸汽往复泵

2. 按叶轮级数分

(1) 单级泵 在泵轴上只安装一个叶轮。它所产生的最大压头为 100~120 米。

(2) 多级泵 在同一泵轴上安有两个或两个以上的叶轮，共用一个泵体，液体依次通过各级叶轮，所产生的总压头为各级叶轮所产生的压头之和。

3. 按叶轮吸液方式分

(1) 单吸式泵 叶轮只有一个进液口，液体从叶轮的一面进入。这种泵结构简单，易制造，液体在叶轮中流动情况好，但叶轮两侧所受的压力不同。

(2) 双吸式泵 叶轮两侧都有进液口，液体从两面进入叶轮，其流量约为单吸式的两倍，这种泵制造复杂，两面液流汇合时稍有冲击，但两侧压力基本平衡。

4. 按泵壳接缝的型式分

(1) 具有水平接缝的中开式泵 它是在通过泵轴中心线的水平面上开有泵壳接合缝的泵。

(2) 具有垂直接缝的分段式泵 这种泵的泵壳是按叶轮级数联成一串，接缝与轴垂直，用螺栓紧固在一起。

5. 按泵壳结构分

(1) 蜗壳泵 它具有螺旋线形状的壳体，液体从叶轮甩出后，直接进入泵壳的螺旋形流道，再进入排出口。

(2) 导叶泵 在叶轮的外边具有固定的导轮。液体自叶轮中流出后，先经过导轮的导流和转能，再流入蜗壳中，二次升压。垂直接缝的分段式泵只有导轮而没有蜗壳，只是一次升压。

6. 按压力分

(1) 低压泵 压力低于 10 米液柱。

- (2) 中压泵 压力在 10~65 米液柱。
- (3) 高压泵 压力在 65~180 米液柱。

7. 按比转数 n_s 分

- (1) 低比转数 $50 < n_s < 80$ 。
- (2) 中比转数 $80 < n_s < 150$ 。
- (3) 高比转数 $150 < n_s < 300$ 。

8. 按用途分

- (1) 井用泵 深井泵、深井潜水泵。
- (2) 电站用泵 锅炉给水泵、冷凝泵等。
- (3) 化工用泵 耐腐蚀泵、液态烃泵等。
- (4) 油泵 冷油泵、热油泵、输油泵、润滑油泵、污油泵等。

三、离心泵的系列化及其命名方法

1. 离心泵的系列化

从操作运转的经济性看,离心泵最好是按使用单位所提出的要求(即流量和扬程)来设计,这样泵才能在其高效工况下工作,但这样势必出现生产泵种类繁多,批量少,从制造和修配的观点来看这是很不经济的,因此,应在满足生产要求的前提下,产品种类尽量少些。为了解决这个矛盾,经过调查,设计出一系列的产品泵,基本上满足了各种生产情况的要求,生产批量也大大地增加,使泵的成本降低。有关目前我国常用几种离心泵性能下面有关章节逐一介绍。

2. 离心泵的命名方法

目前我国各种离心泵的型号多已用汉语拼音字母编制,离心泵的型号一般分为首、中、尾三部分(见表 1-1)

首部:是数字,表示泵的吸入口直径尺寸规格(旧型号用英寸表示,新型号多已改为毫米表示)。

中部:用汉语拼音字母表示泵的类型或特征。例如,

B 或 BA——单级悬臂式水泵;

S 或 Sh——单级双吸式水泵;

D 或 DA——多级分段式水泵;

DK——多级中开式水泵;

DG——锅炉给水泵;

N 及 NL——冷凝水泵;

R——热水循环水泵;

CL——一般用离心泵;

Y——离心式油泵;

F——耐腐蚀泵。

尾部:一般用数字表示泵的参数,旧型号的泵一般表示该泵的比转数的数值(除以 10 而得之,并化为整数),而新型号的泵多是表示泵的扬程(单级扬程)。有的泵在尾部数字后加 A 或 B 等,这表示在泵中装的叶轮是经过车削的。A 是第一次车削, B 是第二次车削。对于多级泵,尾部数字由两部分组成,其中以乘号以后的数字表示泵的级数。例如型号

表 1-1 离心泵型式、型号对照表

离心泵型式和汉语拼音字母对照											
B, BA	S, Sh	D, DA	DK	DG	N, NL	R	L	CL	Y	F	P
单级单吸	单级双吸	多级分吸	多级中开	锅炉给	冷 凝	热水循	立式浸	船用离	离心式	耐 腐	泵 质
悬臂水泵	水 泵	水 泵	式水泵	水泵	水泵	环 泵	式水泵	泵	油 泵	蚀 泵	泵

部分离心泵型号对照

泵的名称	现用型号	旧型号	泵的名称	现用型号	旧型号
单级悬臂式水泵	B, BA	K, B, X 等 代替 BA	离心式灰渣泵	PH	PHA, PHC
			离心式砂泵	PS	PSA, SP
单级双吸式水泵	Sh SA S	Д, S HD 代替 Sh	深井潜水泵	JQ	
			单级油泵	Y _I	DJ, HK
分段多级离心水泵	DA D	SSM DA, DKS	单吸多级油泵	Y _I	FDJ, H
			双吸冷油泵	YS _I	FSJ, HD
中开式多级离心水泵	DK	3B	热油泵	Y _I , Y _{II}	DR, HГK
			多级热油泵	Y _I , Y _{II}	FDR, HГ
多级锅炉给水泵	GC GB DG	TSH II DG	双吸冷油泵	YS _I , YS _{III}	FSR, HГD
			裂化热油泵		KBH
冷凝水泵	N, NL	DN, SN	筒袋式油泵	YT	
热水循环泵	R		油浆泵	PT	
离心式深井泵	J JD	SD, ATH JD, SJ	耐腐蚀泵	F	FG, KH3, XH3
			液下泵	FY	
离心式吊泵	DL	ППH	塑料或玻璃钢泵	FS	
高压注水泵	GY		屏蔽泵	P	
离心式污水泵	PW	PW, PWA, HΦ	氨水泵	PA	
			氨水泵	GBL	
立式离心污水泵	PWL	PWL, ΦB	管道泵	YG	

2B-3A, 它表示吸入口径为 2 英寸的单级悬臂式水泵, 其比转数 $n_s = 60$; 泵中装的第一次切割过的叶轮。又如 100Y₁-120×2, 表示吸入口径为 100 毫米的离心油泵(Y), 其单级扬程为 120 米, 共有两级; Y 的下标 I、II、III 分别表示泵工作部件的材料为铸铁、铸钢及合金钢, 分别适用于 -20~200°C 无硫腐蚀、-45~400°C 无腐蚀及 -40~400°C 中等程度硫腐蚀的情况。

第二节 离心泵的工作原理及性能参数

一、离心泵的工作原理

离心泵是通过离心力的作用完成介质的输送任务。现举产生离心力的例子以帮助理解离心泵的工作原理。

(1) 把水放入敞口的圆形容器内, 用木棒在水中急速旋转搅动, 使水产生旋转运动。这时我们可以看到容器内, 由中心到边缘水面呈抛物线旋转面, 离中心越远液面的垂直高度越大, 如图 1-2 所示, 这说明水是在离心力的作用下由容器的中心甩向边缘, 而越远离中心受离心力越大。

(2) 将小桶盛满水, 用绳子拴住小桶提梁, 使之急速旋转, 此时, 即使桶口朝下水也不会从桶中流出, 这是因为水桶旋转产生离心力, 桶内的水受离心力的作用, 总是要远离旋转中心而压向桶底。离心泵就是基于这一原理进行工作的。

如图 1-3 所示, 离心泵工作原理就是在泵内充满液体的情况下, 叶轮旋转产生离心力, 叶轮槽道中的液体在离心力的作用下被甩向外面而流进泵壳, 于是叶轮中心压力降低, 这个压力低于进水池液面的压力, 液体就在这个压力差的作用下由吸入池进入叶轮, 这样泵就可以不断的吸入压出, 完成液体的输送。

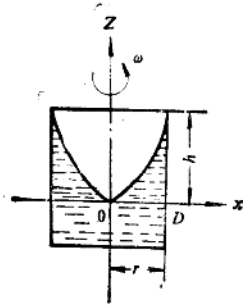


图 1-2 旋转圆筒中水面形状

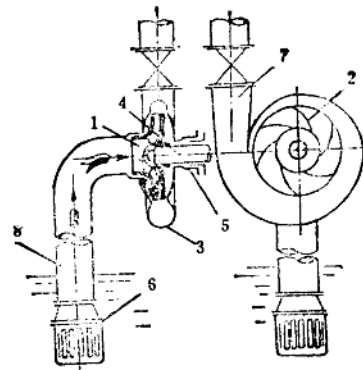


图 1-3 离心泵简图

1—叶轮；2—叶片；3—泵壳；4—泵轴；
5—填料室；6—底阀；7—压水管；8—进水管

除了叶轮的作用之外，泵壳起的作用也是很重要的。从叶轮里获得了能量的液体流出叶轮时具有较大的动能，它在螺旋形泵壳中把动能大部分变成压力能，并被泵壳平稳的引向压出管。

由上可知，离心泵的工作过程实际上就是一个能量的传递和转化的过程，它把电动机高速旋转的机械能转换为输送液体的压力能。在这个传递和转化过程中，伴随着有许多能量损失，这种能量损失越大，该离心泵的性能就越差，泵的工作效率就越低。

二、离心泵的性能参数

1. 流量

泵的流量又称排量，是指泵在单位时间内所能输送的液体数量。有体积（容积）流量和重量（质量）流量两种表示法。

一般体积流量用 Q 来表示，常用的单位有米³/时、米³/秒、升/秒。重量流量用 G 来表示，常用的单位有吨/时、公斤/秒。

体积流量和重量流量的关系可用下式来表示

$$G = \rho Q \quad (1-1)$$

式中 ρ ——输送液体的密度，kg/m³。

2. 扬程

泵的扬程又称压头，是单位重量（1 公斤）液体通过泵后所增加的能量，用 H 来表示。

如果将一系列管线与泵联接在一起，如图 1-4 所示，由于泵对液体做功，即把机械能传给液体，使液体本身的能量增加，若以公斤米表示能量的单位，则 H 的单位应为公斤米/公斤=米。显然， H 也是一个液柱高度，因为它表示了泵向单位重量液体提供能量的多少。但应注意的是，虽然泵的扬程单位与高度单位一样，但不能将泵的扬程简单地理解为泵可将液体送上去的高度，因为泵使液体增加的能量不但用来克服吸入罐和排出罐的位差，还用来克服吸入管线与排出管线的总阻力损失，以及使液体提高速度等，因此应将泵的扬程按其本来的意义去理解。

在实际应用中，需要计算泵的扬程有两种情况。一种是为了在已设计好的管路中（即管长、管径、管件、进出口高度及压力均已定）要得到一定的流量而计算取用扬程多大的泵可以满足要求。这时，泵送单位重量液体的扬程 H ，应与用来使液体进行输送所消耗的能量相等，故泵的扬程 H 可用下式计算

$$H = \frac{p_D - p_S}{\gamma} + \Delta Z - \frac{v_D^2 - v_S^2}{2g} + (\Sigma h)_{SD} \quad (1-2)$$

式中 p_S 、 p_D ——分别为泵吸入口和排出口处的压力，kgf/cm²；

γ ——被输送液体的重度，kgf/m³；

v_S 、 v_D ——分别为泵吸入口和排出口处的液体流速，m/s；

ΔZ ——吸入口和排出口之间的垂直距离，m；

$(\Sigma h)_{SD}$ ——吸入与排出管内总阻力损失，m。

另一种情况是在要求计算运转中的某台泵的扬程时，可列出液流在泵前后的能量方程式

① 重度为单位重量液体的重力，其单位为 kgf/m³ 或 N/m³。

来计算（见图 1-4），即

$$H = \frac{p_D - p_s}{\gamma} + \Delta Z - \frac{v_D^2 - v_s^2}{2g} \quad (1-3)$$

若泵的吸入口与排出口的直径相差很小，根据连续性方程，则 $v_D \approx v_s$ ， $(v_D^2 - v_s^2)/2g \approx 0$ ，且泵的吸入口为负压，于是泵的有效扬程可用下式计算

$$H = \frac{p_D - p_s}{\gamma} + \Delta Z_{SD} \quad (1-3)'$$

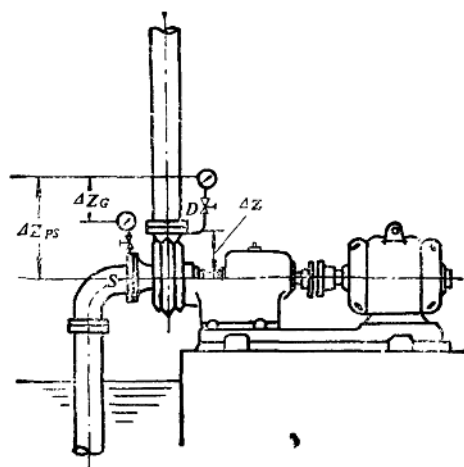


图 1-4 泵扬程的计算

只要测出入口处真空表所示 p_s 和出口压力表所示 p_D ，以及两表测点间距离 ΔZ_{SD} ，就可算出泵所能提供的有效压头（表压力）或扬程（液柱高度）来。

扬程与有效压头的关系为

$$p = \gamma H \quad (1-4)$$

式中 p ——泵的有效压头， kgf/cm^2 ；

H ——泵的扬程， m ；

γ ——输送液体的重度， kgf/m^3 。

3. 功率

离心泵的功率常指泵的轴功率，即单位时间内由原动机传递到泵轴上的功，以 N 表示，其单位为千瓦或马力。

此外还有常用到的有效功率 N_e ，即单位时间内，泵排出口排出的液体从泵中

得到的能量。可按下式计算

$$N_e = \frac{\gamma Q H}{102} \text{ kW} \quad (1-5)$$

$$N_e = \frac{\gamma Q H}{75} \text{ HP} \quad (1-5)'$$

配用功率是指泵选用原动机的功率，以 N_f 表示。 $N_f = 1.1 \sim 1.2 N_e$ 。在给泵选配电机功率时，应比泵轴功率稍大一些，以免在实际运行中，出现电机过载，甚至烧毁的情况；但也应避免选配功率过大的电机，使电机的容量不能得到充分的利用，从而降低电机效率。

4. 效率

由于泵工作时，其运转部件间不可避免要产生相对摩擦、泄漏及水力摩擦与冲击等损失等，而要消耗一定的功率，所以泵不可能将原动机输入的功率完全传递给液体。这种损失常用效率来衡量，因此，效率是衡量泵工作时是否经济的指标。效率以 η 表示，用下式计算

$$\eta = \frac{N_e}{N} \times 100\% \quad (1-6)$$

即泵的效率为有效功率与轴功率之比。泵的效率 η 也称为总效率，为泵内各种损失效率的乘积，即

$$\eta = \eta_m \eta_v \eta_h \quad (1-7)$$

式中 η_m ——机械效率；

η_v ——容积效率；

η_h ——水力效率。

泵工作时，轴与填料和轴承，平衡盘与平衡环，叶轮两侧盖板与液体间的摩擦等产生机械损失。通过机械损失的测定得到机械效率 η_m 为

$$\eta_m = \frac{N - N_m}{N} \quad (1-8)$$

式中 N_m ——机械损失功率。

液体通过口环、隔板等泵内各部件间隙，产生高压腔到低压腔的回流，从而产生容积损失，可用容积效率 η_v 来衡量

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + q} \quad (1-9)$$

式中 q ——泵内泄漏量。

离心泵的水力损失有由液体紊流运动所引起的液体内部摩擦损失，以及因液流速度大小和方向的变化所形成的冲击和旋涡损失。这些损失消耗了液体能量，统称为水力损失。用水力效率 η_h 表示。

$$\eta_h = \frac{H}{H_r} \quad (1-10)$$

式中 H_r ——理论扬程，m。

5. 转数

指泵轴每分钟旋转的次数，常用 n 表示（单位为转/分）。往复泵的转数通常以活塞每分钟往复的次数表示（次/分）。转数是离心泵的一个重要指标，它的改变可以影响泵的性能，引起流量、扬程和轴功率的变化，因此每台泵都有一个设计要求的转数，称为泵的额定转数。

6. 允许吸入高度

也叫允许吸上真空度，一般用 $[H_s]$ 表示，它表示在标准状况下（水温为 20°C ，表面压力为 1 标准大气压）运行时，泵所允许的最大吸入真空度。它反映了离心泵的吸入性能，决定了泵的安装高度与位置。

泵的安装高度，（即叶轮入口中心线距吸水面的高度）加上吸水管路损失，如果在泵允许吸上真空高度之内，就可以保证泵的正常运转和出力；如果超出了限度，泵的性能下降；如果超过的很多，泵就有可能因抽空而不能工作；如果吸入介质是易挥发的液体，则泵允许的吸入真空度应再扣除该液体的蒸气压力折合的扬程数。

7. 比转数

比转数是离心泵用来分类、比较、设计和选型的重要参数。将某一台泵的实际尺寸，几何相似地缩小为标准泵，此标准泵应满足流量为 75 升/秒，扬程为 1 米的条件，此时标准

泵的转数就是实际泵的比转数。比转数是从相似理论中引出来的一个综合性参数，它说明流量、扬程和转数之间的相互关系。比转数的表达式为

$$n_s = 3.65n \sqrt{\frac{Q}{H^{\frac{3}{4}}}} \quad (1-11)$$

式中 n ——泵的转数，r/min；

Q ——泵的额定流量，对于双吸式叶轮为 $\frac{Q}{2}$ ， m^3/s ；

H ——泵的额定扬程 m；对多级泵应为 H/i ；

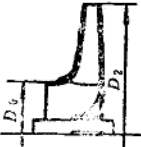
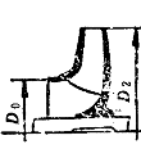
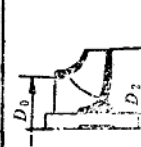
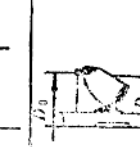
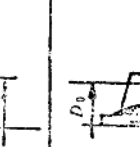
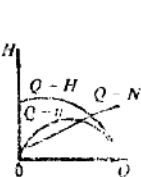
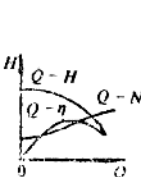
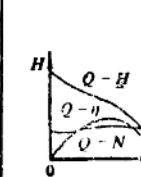
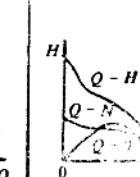
i ——泵的级数。

同一台泵在不同的工况下，具有不同的比转数，通常取泵的最高效工况点的比转数做为该泵的比转数。

表 1-2 列出离心泵、混流泵、轴流泵的比转数范围、叶轮形状、叶轮外径与内径的比值。

泵的比转数的大小可反映出叶片的形状。在一定的转数下，低比转数泵的叶轮外径大，

表 1-2 不同比转数的叶轮型式

泵型	离心泵			混流泵	轴流泵
	低比转数	中比转数	高比转数		
n_s	30~80	80~150	150~300	300~500	500~1000
叶轮形状					
尺寸比 $\frac{D_2}{D_0}$	~3	~2.3	~1.8~1.4	~1.2~1.1	~1.0
叶片形状	圆柱形	入口扭曲出口圆柱	扭曲	扭曲	机翼型
性能曲线					

内径小、叶轮出口宽度窄，泵的流量小、扬程高，高比转数泵的叶轮外径小、内径大，叶轮出口宽度大，泵的流量大、扬程小。

泵的比转数大小也反映了泵性能的特点：低比转数泵性能曲线 $Q-H$ 为驼峰形特性，中比转数泵性能曲线 $Q-H$ 为平坦形特性，高比转数泵性能曲线 $Q-H$ 为陡降形特性。驼峰形曲线有不稳定工作区域，工作不如陡降形曲线稳定。

通常曲线的陡度可用 $K = \frac{H_0}{H}$ 表示, H_0 是泵流量等于零时的扬程, H 为泵的额定扬程。

如前所述, 泵的比转数是从泵的相似理论中引出的一个综合性参数。我们所说的相似是指假设两台泵在效率相同的情况下, 要使两泵相似, 必须具备下列条件:

(1) 几何形状相似 泵内液体流道部分所有对应尺寸成比例, 所有对应叶片角相等, 粗糙度相同;

(2) 运动相似 泵内液体流道部分对应的液流方向一致, 流速大小成比例, (即速度三角形相似);

(3) 动力相似 对于输送粘液的泵, 应考虑泵内流体流道部分的雷诺数相同。

第三节 离心泵的工作特性

一、离心泵的实际特性曲线

由于泵的扬程、流量以及所需的功率等性能显然是互相影响的, 所以通常用以下三种形式来表示这些性能之间的关系:

(1) 泵的流量与扬程之间的关系 用 $H=f(Q)$ 来表示, 记作 $H-Q$ 曲线。

(2) 泵的流量与泵的功率之间的关系 用 $N=f(Q)$ 来表示, 记作 $N-Q$ 曲线。

(3) 泵的流量与设备本身的效率之间的关系 用 $\eta=f(Q)$ 来表示, 记作 $\eta-Q$ 曲线。

上述三种关系以曲线形式绘在以流量 Q 为横坐标, 分别以 H , N , η 为纵坐标的图上来表达, 这些曲线叫泵的性能曲线。

1. 离心泵的扬程与流量特性曲线

离心泵的 $H-Q$ 曲线反应着在一定转数下, 泵的扬程与流量的关系。

如图 1-5 所示, 图中曲线 1 为叶片无限多时的理论扬程与流量特性曲线。当叶片为有限数时, $H_T = K \odot H_{T\infty} \ominus$; 在同一流流量下 $H_T < H_{T\infty}$, 并且环流系数 K 一般与流量无关, 故 H_T-Q_T (理论扬程与理论流量) 曲线应是一条位于 $H_{T\infty}-Q_T$ 线下的一条斜直线, 如图 1-5 中曲线 2 所示; 当考虑到液体流过泵时存在有阻力损失和冲击损失时, 得到曲线 3 和 4; 最后考虑到漏损可得出 $H-Q$ 曲线 5。此曲线 5 即为离心泵的实际扬程与流量特性曲线。

离心泵的 $H-Q$ 特性曲线说明, 泵在一定转数下工作时, 对于每一个流量 Q , 它只能按 $H-Q$ 曲线对应地给出一定的扬程 H , 这给出的 H 与泵本身的结构有关, 但与管路的阻力大小无关。

2. 离心泵的功率与流量特性曲线

泵的 $N-Q$ 曲线表示单位时间内, 原动机传到泵轴上的功与流量间的关系。

如图 1-6 所示, 图中曲线 1 是理论功率曲线; 曲线 2 是考虑了阻力损失所需功率的

① 此中 K 为“环流系数”, 理论及实验均证明, K 与叶片数、叶片出口角及叶轮形状尺寸等参数有关。

② $H_{T\infty}$ 表示在叶轮的叶片数是无限多、厚度为无限薄的情况下的理论扬程。