

泵的设计与应用

张展 曾建峰 邢淮阳 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



泵的设计与应用

张展 曾建峰 邢淮阳 编著

机械工业出版社

本书主要介绍泵的设计与应用,内容主要包括泵的类型与应用、叶片泵的设计方法、往复泵的设计方法、回转泵的设计、常用的润滑油泵、泵的测绘与常用材料、泵类的节能以及泵的技术术语英汉对照。本书是为适应教学、科研和生产的需要而编写的,旨在抛砖引玉,使我国泵的产品更上一层楼。

本书可供泵类技术人员学习与参考,也可供大专院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

泵的设计与应用/张展,曾建峰,邢淮阳编著. —北京:机械工业出版社, 2014. 11

ISBN 978-7-111-48028-0

I. ①泵… II. ①张… ②曾… ③邢… III. ①泵—设计 IV. ①TH3

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第216552号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:黄丽梅 责任编辑:黄丽梅

版式设计:赵颖喆 责任校对:陈越

封面设计:陈沛 责任印制:李洋

中国农业出版社印刷厂印刷

2015年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·17印张·326千字

0001—2000册

标准书号:ISBN 978-7-111-48028-0

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前

言

Preface

泵是用来增加液体能量的机械，属于流体机械。它使原动机的机械能转换为被输送液体的能量，达到输送液体及提高液体压力的目的。

泵是最早发明的机器之一。在当今世界上，泵产品的产量仅次于电动机，所消耗的电量大约为总发电量的四分之一。除农田排灌、城市和工业给排水、热电厂、石油炼厂、输油管线、化工厂、钢铁厂、采矿、造船等部门外，目前泵在原子能发电、舰艇的喷水推进、火箭的燃料供给等方面亦得到重要应用，泵抽送的介质除水之外，还有油、酸、碱浆料、有机溶液、石油产品等多种液体，甚至有超低温的液态气体和高温熔融金属。可以说，凡是要让液体流动的地方，就有泵在工作，泵在国民经济中起着十分重要的作用。因使用场合液体不同，泵名目繁多，应用广泛。

近年来，我国泵业有很大的发展与提高，对泵的参数优化、齿轮泵的困油冲击和卸荷、噪声的控制、降低齿轮泵的流量脉动、齿轮泵的高压化等做了不少的工作，其中在液压齿轮泵、输油齿轮泵领域的研发已达国际先进水平，但在高黏度熔体输送齿轮泵及纺丝计量泵方面的研发还尚显不足，高黏度熔体输送齿轮泵和纺丝计量泵很大程度还依赖进口。我们应当看到聚酯和化纤纺丝技术在高速发展，我国应加大在高黏度熔体输送齿轮泵和纺丝计量泵方面的研发投入。

为了适应教学、科研和生产的需要，特编写此书，其内容主要包括泵的类型与应用，叶片泵、往复泵、回转泵等的设计方法，泵的测绘与常用材料，泵类的节能，以及泵的技术术语英汉对照等，以达到优化设计、正确选择、合理使用的目的。虽然我们曾测绘过各种类型国内、外泵的产品，研制过电站用螺杆泵、齿轮润滑油泵及其他类型的泵产品，但实践仍不够，本书旨在抛砖引玉，使我国泵的产品更上一层楼，为达到国际先进水平而共同努力。

本书在编写过程中得到上海交通大学张国瑞教授，同济大学归正教授的支

持。上海电力环保设备总厂有限公司刘国锦、黄荣兴、黄海丽、孙韵等同志参与资料收集及部分编写和整理工作，在此深表感谢！

由于我们才疏学浅、实践不够，书中若有不妥之处，请专家和读者批评指正。

编 者

目

录

Contents

前言

第1章 泵的类型与应用 1

1.1 泵的分类与应用 1

1.2 基本参数 3

1.3 名词术语 4

1.4 泵的系列型谱 6

1.5 目前水平及其发展趋势 10

第2章 叶片泵的设计方法 13

2.1 主要特性参数计算及选择 13

2.2 泵的结构 15

2.3 泵的设计 19

2.3.1 选取转速和圆周速度确定
泵的结构型式 192.3.2 离心泵叶轮几何参数的
确定 20

2.3.3 叶片型线的绘制 28

2.4 设计实例 40

2.5 混流泵的水力设计及实例 46

2.6 轴流泵的设计实例 53

第3章 往复泵的设计方法 60

3.1 往复泵的分类 60

3.2 往复泵的结构 61

3.3 主要零件材料及技术要求 63

3.4 往复泵的主要性能参数 74

3.5 空气室 84

3.6 阀的基本理论和计算 88

3.7 主要结构参数选择和计算 92

3.8 计量泵 93

3.8.1 型式与基本参数 93

3.8.2 技术要求 95

3.8.3 试验和检验 98

3.8.4 试验记录与泵数据表 107

3.9 机动往复泵 110

3.9.1 机动往复泵的基本参数 110

3.9.2 设计要求 113

3.9.3 试验和检验 121

3.9.4 机动往复泵数据表 123

3.10 机动往复泵试验方法 128

3.10.1 试验装置 128

3.10.2 试验方法 129

3.10.3 参数测量和测量仪表
精度的规定 138

3.10.4 数据处理 141

3.10.5 性能曲线的绘制 145

3.10.6 试验报告 145

3.10.7 不确定度的估计与分析 147

第4章 回转泵的设计 153

4.1 输油齿轮泵 154

4.1.1 型式与基本参数	154	6.2 泵用铸件材料	210
4.1.2 性能曲线图	156	6.3 离心式渣浆泵	225
4.1.3 技术要求	156	6.3.1 型式与基本参数	225
4.1.4 产品检测	159	6.3.2 技术要求	228
4.2 螺杆泵	160	6.3.3 主要零件材料	231
4.2.1 型式与基本参数	161	6.3.4 制造	232
4.2.2 技术要求	162	6.3.5 离心式渣浆泵数据单	233
4.2.3 主要零件的材料	163	6.3.6 泵的结构与维护	235
4.3 熔体输送齿轮泵	166	第7章 泵类的节能	237
4.4 纺丝计量泵	176	7.1 泵类节能与降噪的重要性	237
第5章 常用的润滑油泵	177	7.2 有利于泵类节能的五大原则	237
5.1 双摆线少齿差内啮合润滑 油泵	177	7.3 系统整体节能的方法	239
5.2 CB-B型齿轮泵	178	第8章 泵的技术术语英汉 对照	248
5.3 BB-B型摆线齿轮油泵	178	8.1 泵类的技术术语	248
5.4 SNBY型多片式双向供油 润滑油泵	183	8.2 离心泵技术术语	251
5.5 其他类型的润滑泵	184	8.3 往复泵技术术语	260
第6章 泵的测绘与常用材料	193	参考文献	266
6.1 泵的测绘	193		

第 1 章 泵的类型与应用

1.1 泵的分类与应用

泵是一种输送和提升液体的机械，它把原动机的机械能转化为被输送液体的能量，使液体获得动能和势能。

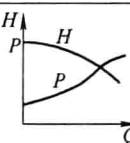
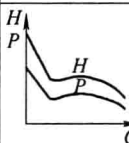
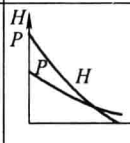
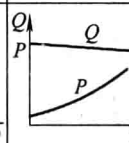
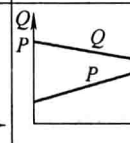
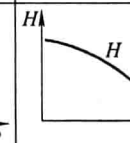
按作用原理不同，根据作用力，把泵分为叶片式和容积式。叶片式和容积式又分为多种，如下所示：

泵 { 叶片式泵：离心泵、混流泵、轴流泵、旋涡泵
 容积式泵 { 往复泵：活塞泵、柱塞泵、隔膜泵
 回转泵：齿轮泵、螺杆泵、滑片泵、液环泵

叶片式泵对液体的压送是靠有叶片的叶轮高速旋转而完成的；容积式泵对液体的压送是靠泵体工作室容积的改变来完成的。

各类泵的适用范围是各不相同的。表 1-1 所示为各类泵的特性。图 1-1 为常用的几种泵的总型谱图，图 1-2 为各类泵的适用范围。

表 1-1 各类泵的特性

泵类型	叶片式			容积式		其他
	离心泵	混流泵、轴流泵	旋涡泵	往复泵	回转泵	射流泵
特性曲线形状						
流量与压力（扬程）的稳定性	稳定			脉动	脉动	稳定
自吸能力	除特殊结构的离心泵（自吸泵）外无自吸能力		开式泵能自吸	能自吸		
启动与调节	启动前泵须灌液体并关闭出口阀，一般用出口阀调节	启动前泵须灌液体，全开出口阀，用改变叶片安装角调节	出口阀全开下启动，用旁通阀调节	出口阀全开下启动，用专门调节机构或旁通阀调节		出口阀全开下启动，用改变工作液体的流量和压力调节

(续)

泵类型	叶片式			容积式		其他
	离心泵	混流泵、轴流泵	旋涡泵	往复泵	回转泵	射流泵
转速	转速范围大, 可达很高转速	一般转速较低	转速较高	低速	转速较高	—
流量与压力 (扬程) 范围	流量、扬程范围较大	大流量, 低扬程	小流量, 较高扬程	中小流量, 压力范围大, 可达很高压力	流量不大, 中压或较高压力	流量扬程都不大
效率	高	高	较低	高	较高	低

由图可见, 各类叶片式泵的适用范围是相当广泛的。往复泵的适用范围侧重于高扬程、小流量, 轴流泵和混流泵的适用范围侧重于低扬程、大流量, 而离心泵的适用范围则介于两者之间, 工作区间最广, 产品的品种、系列和规格也最多。

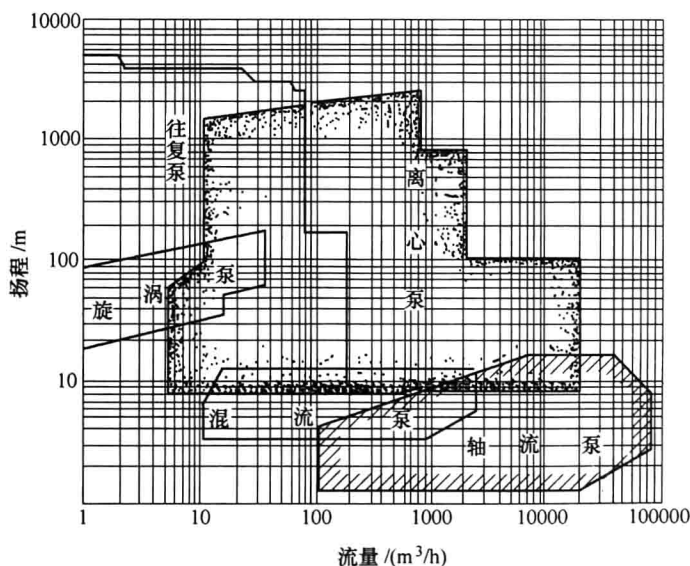


图 1-1 常用的几种泵的总型谱图

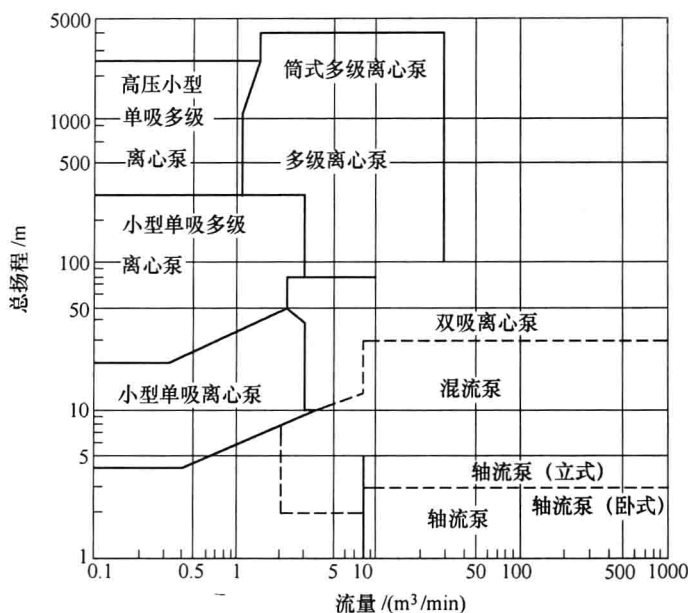


图 1-2 各类泵的适用范围

1.2 基本参数

表示泵工作性能的基本参数主要有以下几个：

1. 流量

流量是单位时间内从泵排出口排出并进入管路的液体体积，一般指的流量均为体积流量，用符号 Q 表示，单位为 m^3/h 、 m^3/s 或 L/s 。

2. 扬程

扬程是单位质量液体通过泵后的能量增值，其值等于单位质量液体在泵出口处的能量减去泵进口处的能量，用符号 H 表示，单位为 m 。

3. 转速

转速是泵轴旋转的速度，即单位时间内泵轴旋转的次数，用符号 n 表示，单位为 r/min 或 s^{-1} 。

4. 功率

单位时间内流体机械出口的流体从泵中获得的有效能量，称为有效功率，用符号 P_e 表示，单位为 kW 。现称为泵的输出功率 P_{out} 。

如果按体积流量计算，则泵的输出功率为

$$P_{\text{out}} = \frac{QH\rho g}{1000}$$

式中 Q ——体积流量 (m^3/s);
 H ——泵的扬程 (m);
 ρ ——流体的密度 (kg/m^3);
 g ——重力加速度 (m/s^2)。

5. 效率

泵的输出功率 P_{out} 与泵的输入功率 P_{in} (旧称泵的轴功率) 之比称为泵的效率, 以 η 表示, 即

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

6. 空化余量 (汽蚀余量)

泵入口处, 单位质量液体所具有的超过该温度下饱和蒸气压的富裕能量, 这是反映泵吸入性能的主要参数, 用符号 Δh_a 表示, 也可以 N_{psHa} 表示。

1.3 名词术语

1. 黏度

黏度是流体层相互滑动的剪应力与剪切速度变化率的比例常数, 用下式表示:

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}}$$

式中 μ ——黏度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$);
 τ ——剪应力 (N/m^2);
 $\frac{du}{dy}$ ——剪切速度变化率 ($1/\text{s}$)。

2. 运动黏度

用下式表示的液体所固有的物理量称为运动黏度:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

式中 ν ——运动黏度 (m^2/s);
 μ ——黏度 ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$);
 ρ ——密度 (kg/m^3)。

3. 冲角

流体流入翼形的速度方向和翼弦形成的角, 单位为度。

4. 失速

冲角过大时,液流在翼面或叶片表面上产生显著分离现象,称为失速。

5. 汽化(空化)

汽化是液体中形成空穴,使液相流体的连续性遭到破坏的现象。当液体温度一定,压力降低到某一临界值时,便开始汽化,形成空穴。汽化发生在流动区域中。在空穴中主要是液体的蒸气,还有一部分从液体中析出的气体。

6. 空蚀(汽蚀)

空蚀是指由于空泡的溃灭所引起的过流壁面材料损坏的现象。在空泡溃灭过程中,伴随机械、热力和电化等过程的作用,空蚀是空化的直接后果。

7. 喘振

管路系统(包括泵)由于流量小引起液流在泵内脱流而形成自振,表现为压力、流量周期性变化,泵与管路产生激烈振动及低沉噪声。

8. 水击(水锤)

管路系统(包括泵)由于流量急剧变化而引起的较大的压力变动。

9. 脱流

接近物体表面的液流不是沿着物体表面流动,而是产生逆流或死区的现象。

10. 灌泵

起动前向泵内和吸入管内注入液体。

11. 液封

在轴封部位注入液体,以防空气进入泵内。

12. 暖泵

对于高温用泵,起动前对泵和管路进行加热。

13. 预旋

由于不正常的进口条件和不合理的吸入流道形状,在叶轮进口前吸入管某一位置处引起螺旋液流现象。

14. 基准面

离心式:通过由叶轮叶片进口的外端所描绘的圆中心的水平面,如图 1-3 所示。

往复式:卧式——包含液压缸中心线的水平面。

立式——包含行程中点处($S/2$)的水平面。

15. 蜗形体

叶轮外圆侧直接形成的具有蜗形的壳体,如图 1-4 所示。

16. 比转速

判别动力型泵水力特征的相似准数,是一种泵分类的准则。用下式定义:

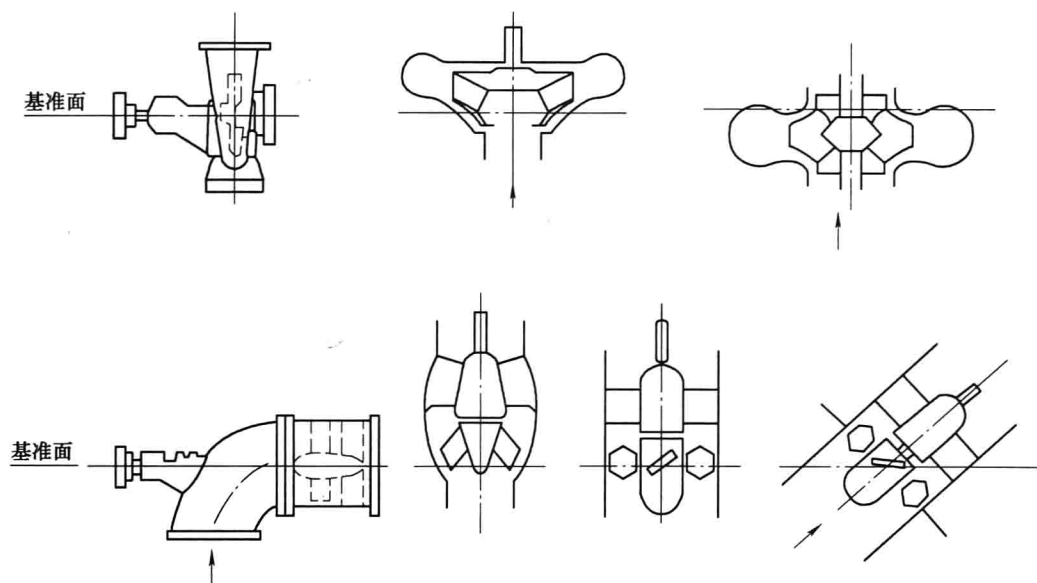


图 1-3 基准面

$$n_s = \frac{3.65n\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

式中 n_s ——比转速；
 n ——泵的转速 (r/min)；
 Q ——流量 (m^3/s)；
 H ——扬程 (m)。

17. 轴面

通过轴心线的平面。

18. 轴面投影

将叶轮流道用圆柱投影法投影在轴面上。

19. 轴面截线

轴面与叶片的交线。

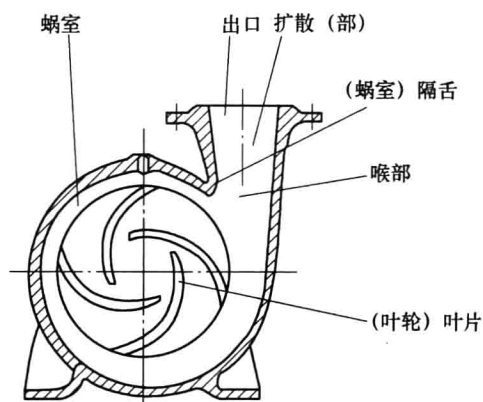


图 1-4 蜗形体

1.4 泵的系列型谱

泵的系列型谱是建立在切削叶轮直径以扩大泵的使用范围的基础上的，所以在介绍泵的系列型谱之前，应先阐明叶轮切削前后泵的流量和扬程的变化规律。

由于切削前后两叶轮的几何形状已不相似，故不能用相似定理的关系式来表达它们的关系。叶轮切削后在相同转速下的性能，可用以下经验公式换算：

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{D_2}{D'_2} \quad (1-1)$$

$$\frac{H}{H'} = \left(\frac{D_2}{D'_2} \right)^2 \quad (1-2)$$

式中 D_2 、 Q 、 H ——叶轮未切削时的直径、泵的流量和扬程；

D'_2 、 Q' 、 H' ——叶轮切削后的直径、泵的流量和扬程。

由式 (1-1) 和式 (1-2)，可得

$$\frac{Q}{D_2} = \frac{Q'}{D'_2} = k_Q = \text{常数}$$

$$\frac{H}{D_2^2} = \frac{H'}{D'^2_2} = k_H = \text{常数}$$

将以上两式合并，得

$$\frac{Q^2}{H} = \frac{Q'^2}{H'} = \frac{k_Q^2}{k_H} = \text{常数}$$

即

$$H = kQ^2 \quad (1-3)$$

这是二次抛物线方程，称之为切削抛物线方程。经验证明，如果切削量不大，对应工况点的效率近似相等。所以切削抛物线也是等效率线。但必须指出，切削抛物线上的对应工况不是相似工况，因为切削前后的叶轮几何形状已不相似，便不可能有相似工况。

图 1-5 所示为车削叶轮外径的特性换算。曲线 D_2 为已知的叶轮未切削时的扬程性能曲线。切削后的叶轮直径为 D'_2 ，由式 (1-1) 和式 (1-2) 可逐点计算出切削后的流量和扬程，绘出切削后的扬程性能曲线 D'_2 。为了保持叶轮切削前后对应工况点的效率近似相等，切削量要有一定限制，即 D'_2 有一最小值 $D'_{2\min}$ 。允许的切削量与泵的比转速 n_s 有关。 n_s 与允许切削量的关系见表 1-2。 $n_s > 350$ 时，泵一般不切削。

表 1-2 n_s 与允许切削量的关系

n_s	60	120	200	300	350
$\frac{D_2 - D'_{2\min}}{D_2}$	0.2	0.15	0.11	0.09	0.07

考虑到泵运转的经济性，按一般规定，泵工作时的效率不得低于最高效率的 7%，即 $\eta > 0.93\eta_{\max}$ 。按照此规定，将图 1-5 中的效率曲线划分出一经济区，随后求出扬程的经济区，如图中的阴影区所示。

由式 (1-1) 和式 (1-2) 计算的结果与切削叶轮前后的试验结果相比，其

一致性仍难以令人满意。根据我国佛山水泵厂的经验，提出了以下切削换算公式：

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{D_2}{D'_2} \frac{F_2}{F'_2} \quad (1-4)$$

$$\frac{H}{H'} = \left(\frac{D_2}{D'_2} \right)^2 \frac{\tan \beta_{b2}}{\tan \beta'_{b2}} \quad (1-5)$$

式中 F_2 和 F'_2 ——叶轮切削前后出口的通流面积；

β_{b2} 和 β'_{b2} ——叶轮切削前后的叶片出口安放角。

泵的系列划分方法与通风机不同。它不是以比转速作为划分系列的标准，而是按泵的结构型式、零部件的通用化、泵的材料和用途等来划分系列的。将同一系列泵的使用范围绘在同一张坐标图上，就构成泵的系列型谱图。图

1-6 所示为国际标准（ISO2858）单级悬臂式离心泵系列型谱图。图中每一台泵

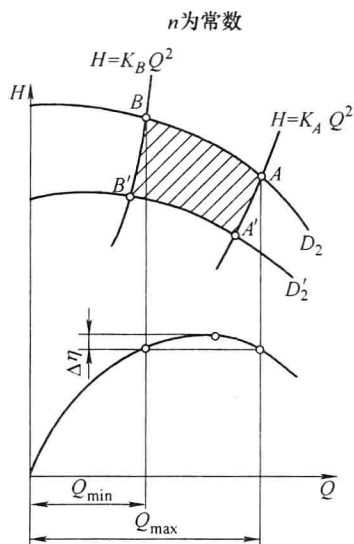


图 1-5 车削叶轮外径的特性换算

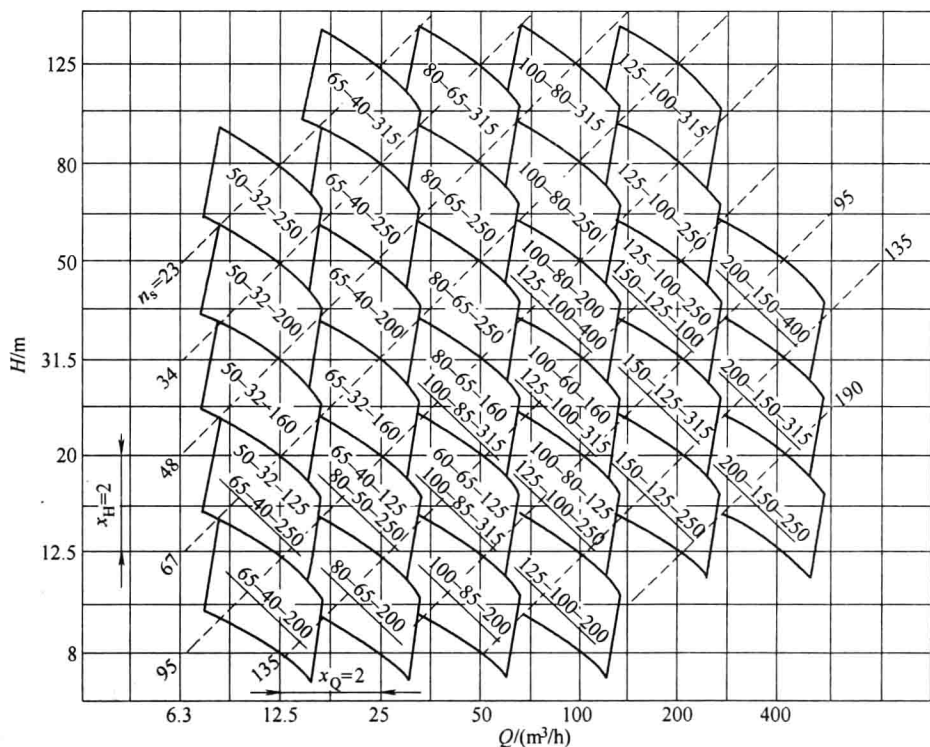


图 1-6 国际标准单级悬臂式离心泵系列型谱图

的使用范围是一个由曲线构成的四边形。上面一条线是泵的扬程性能曲线，下面一条线是叶轮切削后泵的扬程曲线，左、右两条线是切削抛物线。这里说的使用范围即图 1-5 中的扬程经济范围，方框中左边的数字是吸入口直径，中间的数字是排出口直径，右边的数字是叶轮直径，单位是 mm。图中方框带下划线的泵的转速为 1475r/min，不带下划线的泵的转速为 2950r/min。需要指出的是泵的系列型谱中的产品不都是几何相似的，而是若干个水力模型在一定转速下运行的不同尺寸的泵。

图 1-7 为我国制定的单级双吸离心泵系列型谱图。方框内中间的字母 S 表示双级，S 左边的数字为泵的吸入口直径，单位为 mm；S 右边的数字为泵的扬程，单位为 m。上面一排标出泵的比转速 n_s 的近似值，它后面的数字是效率。 Δh_r 为所需的汽蚀（或空化）余量，单位为 m。框内右下角的数字是泵的转速，单位为 r/min。

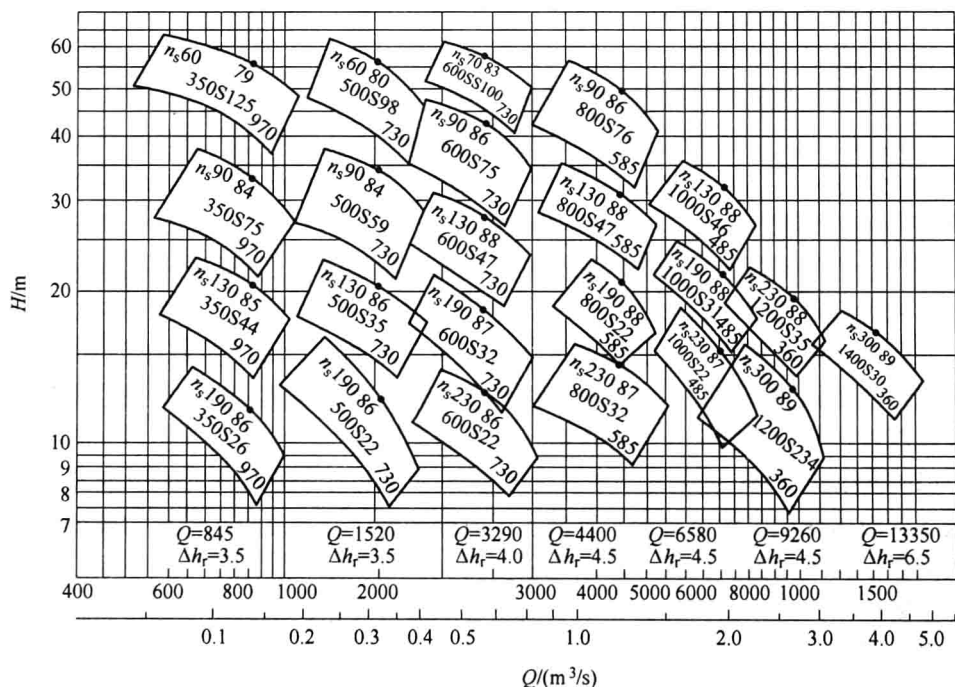


图 1-7 单级双吸离心泵系列型谱图

从图 1-7 还可以看出，系列内产品的流量、扬程参数的排列有严格的规律。流量间隔比（两相邻尺寸泵的设计流量之比） x_Q 为 2.0，扬程间隔比 x_H 为 1.6。整个系列共用 7 个比转速的水力模型，其比转速间隔比 x_{ns} 为 1.4。

1.5 目前水平及其发展趋势

泵的使用场合不同,品种繁多,现以齿轮泵为例,论述目前水平及其发展趋势。

齿轮泵广泛应用在各种工业生产中,按照齿轮啮合型式不同,可分为外啮合齿轮泵和内啮合齿轮泵两大类。外啮合齿轮泵中,齿轮的齿形曲线一般采用渐开线,也有采用双圆弧正弦曲线的;在内啮合齿轮泵中,除了采用渐开线齿形外,还有采用摆线齿形的。外啮合齿轮泵的优点是结构简单,制造维护方便,价格低廉,工作可靠,自吸能力强和对油液污染不敏感等。其缺点是流量和压力脉动较大,噪声大,排量不可变等。内啮合齿轮泵与外啮合齿轮泵相比,主要是其体积小、流量脉动小、噪声小等,但内啮合齿轮泵加工困难,使用受到限制。

1. 齿轮泵现状

根据齿轮泵的使用场合不同,齿轮泵大致可分为液压齿轮泵、输油齿轮泵、高黏度熔体输送齿轮泵、纺丝计量泵等。

(1) 液压齿轮泵 液压齿轮泵应用范围很广,总体可归纳为两大类:一类为固定设备用液压装置,如各类机床、液压机、轧钢机、注塑机等;另一类为移动设备用液压装置,如起重机、各类工程机械、汽车、飞机、矿山机械等。另外,根据压力的不同,可分为低压、中压、高压和超高压;按其输出流量是否可变,可分为定量和变量两大类。

主要的生产厂家有合肥长源液压件有限责任公司、天津液压机械有限公司、江苏淮阴液压机械有限公司、重庆液压件厂、四平力士德液压机械有限公司、四川长江液压件有限责任公司和榆次液压有限公司等。

(2) 输油齿轮泵 输油齿轮泵适用于石油、化工、船舶、机械制造等行业输送各种液体介质,例如石油、重油、工业轻油等。其特点是工作压力较低、流量大。由于其应用面广,生产厂家也较多。

主要的生产厂家有河北恒盛泵业股份有限公司、榆次液压有限公司、长治液压有限公司等。

(3) 高黏度熔体输送齿轮泵 现代工业生产中,输送各种黏稠物料的场合越来越多。与国外产品相比,我国产品在使用寿命上还有一定差距,目前还依赖进口。

(4) 纺丝计量泵 纺丝计量泵是纺丝机的关键部件,是一个精密度很高、制造难度大的部件。这些年来,纺丝计量泵的技术发展很快,品种增加,技术水平很高。目前,在国内外市场上,国产纺丝计量泵在数量上的优势明显,但从纺丝计量泵的品种、特殊性和技术含量分析,国外纺丝计量泵则占绝对优势。