

金树德 陈次昌 主编

# 现代水泵设计方法

兵器工业出版社



# 现代水泵设计方法

金树德 陈次昌 主编

兵器工业出版社

(京)新登字049号

### 内 容 简 介

本书首次全面、系统地介绍了水泵的现代设计方法。全书共分十章。主要包括水泵设计基础、离心泵传统设计方法的一些进展、无堵塞泵的设计、自吸式水泵、水泵的计算机辅助设计、优化设计方法、可靠性设计、造型设计以及水泵的价值工程、水泵的微机测试技术等。以上每种设计方法均配有设计实例和系数图表等。

现代水泵设计方法

金树德 陈次昌

兵器工业出版社 出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

各地新华书店经销

北京昌平县建华印刷厂印装



开本：787×1092 1/32 印张：15.3125 字数：336千字

1993年5月北京第1版 1993年5月北京第1次印刷

印数：0001 — 3370册 定价：11.90元

ISBN 7-80038-576-0 /TH·29

## 序 言

随着我国国民经济的高速度发展和市场竞争机制的建立,对机械产品的功能、可靠性、经济性、新产品的开发周期甚至外形都提出了更高的要求。而要满足这些要求,科学的设计方法起着很重要的作用。在工程设计中,最初是采用直觉设计方法,这种方法完全依靠人的直觉来进行设计,是一种偶然性很大的自发设计方法。到了17世纪,数学和力学得到发展,从而为经验设计方法奠定了基础。经验设计方法是在生产经验的基础之上,运用力学和数学总结得出一些经验公式、图表、手册等,并以此为依据来进行设计,是半理论、半经验的设计方法。由于这些经验公式、图表和手册带有很大的局限性,因而新产品开发需要经过设计—试制—试验—修改的过程。近30年来,科学技术发展迅速,许多工程领域中的问题,仅靠经验设计已经不行了,而计算机的应用和系统论、控制论、信息论等一系列相关学科的发展,促进了设计方法的现代化。现代设计方法是一门综合性的边缘学科,其基础包括系统工程学、价值工程学、优化理论、可靠性、仿真技术、计算机辅助设计、造型设计、测试和分析技术、模块化设计等。

目前,水泵设计主要还是采用经验设计方法。但近10年来,经验设计方法也有了很大发展,例如低比转数泵、无堵塞泵和自吸泵设计方法的逐步完善等。此外,由于原机械电子工业部的大力推广,现代设计方法在水泵行业的应用也日益广泛。江苏工学院排灌机械研究所自1982年以来即致力于泵的CAD、优化设计、可靠性设计和微机测试技术的研究和推

8.11/07

广，沈阳水泵厂在1984年即开始使用价值工程。尽管如此，与其它行业相比，水泵行业在应用现代设计方法方面还存在着不小的差距。

本书的目的一方面是为了总结我们近10年来在水泵现代设计方法方面所做的工作，而更主要的则是抛砖引玉，进一步推动这方面工作的开展。

本书由金树德和陈次昌主编和统稿。全书共分十章，各章的内容相对独立。其中第一章由谢达荣编写，第二章由袁寿其、曹武陵编写，第三章由关醒凡编写，第四章由王文彬编写，第五章由陈次昌、崔韵春编写，第六章由朱永达编写，第七章由金树德、李龙编写，第八章由全诚编写，第九章由李世英、袁寿其编写，第十章由汤跃、张丰编写。袁寿其对全书进行了校对，在此一并致以深切的谢意。

由于编者水平有限，加之时间较仓促，书中缺点在所难免，殷切希望读者给予批评指正。

编者

1992年9月

于江苏工学院

# 目 录

<b>第一章 水泵设计基础</b> .....	( 1 )
<b>第一节 流体力学基本知识</b> .....	( 1 )
一、基本概念.....	( 1 )
二、流体的基本方程式.....	( 3 )
三、流体力学中的相似准则.....	( 7 )
四、沿程水头损失和局部水头损失.....	( 10 )
五、有势流动和平面势流.....	( 12 )
六、翼型、叶栅及其主要知识.....	( 14 )
<b>第二节 水泵的基本理论</b> .....	( 20 )
一、水泵的基本参数.....	( 20 )
二、水泵的基本方程.....	( 22 )
三、水泵的相似定律和比转数.....	( 28 )
四、水泵的汽蚀基本方程式和汽蚀比转数.....	( 32 )
<b>参考文献</b> .....	( 36 )
<b>第二章 离心泵传统设计方法的一些进展</b> .....	( 37 )
<b>第一节 低比转数离心泵加大流量设计方法</b> .....	( 38 )
一、加大流量设计法的基本原理.....	( 38 )
二、加大流量设计的基本方法及叶轮各主要几何参数的选择.....	( 41 )
三、设计实例.....	( 55 )
<b>第二节 低比转数离心泵无过载设计方法</b> .....	( 57 )
一、概述.....	( 57 )
二、离心泵无过载设计的原理.....	( 59 )
三、离心泵无过载设计的方法.....	( 68 )

四、设计实例·····	( 72 )
<b>第三节 离心泵短叶片偏置设计法</b> ·····	( 76 )
一、短叶片偏置设计的原理·····	( 76 )
二、设计实例·····	( 80 )
<b>第四节 泵的面积比原理</b> ·····	( 81 )
一、概述·····	( 81 )
二、泵的面积比原理·····	( 82 )
三、面积比系数的经验统计资料·····	( 93 )
四、面积比原理的试验研究·····	( 102 )
参考文献·····	( 107 )
<b>第三章 无堵塞泵的设计</b> ·····	( 113 )
<b>第一节 概述</b> ·····	( 113 )
<b>第二节 单流道泵</b> ·····	( 114 )
一、单流道泵的特点及用途·····	( 114 )
二、单流道泵的水力设计·····	( 115 )
三、压水室的水力设计·····	( 118 )
<b>第三节 旋流泵</b> ·····	( 120 )
一、概述·····	( 120 )
二、旋流泵内部流动的试验研究·····	( 121 )
三、结构形式与几何参数·····	( 127 )
四、旋流泵的设计方法·····	( 136 )
五、旋流泵的效率·····	( 139 )
<b>第四节 螺旋离心泵</b> ·····	( 139 )
一、概述·····	( 139 )
二、特点·····	( 140 )
三、设计方法·····	( 142 )
四、轴向力和径向力·····	( 144 )

参考文献	( 148 )
<b>第四章 自吸式水泵</b>	( 149 )
第一节 概述	( 149 )
第二节 外混式自吸离心泵	( 150 )
一、结构及工作原理	( 150 )
二、主要结构参数设计	( 154 )
第三节 内混式自吸离心泵	( 168 )
一、典型结构和工作原理	( 168 )
二、主要结构设计	( 169 )
第四节 水环式自吸泵	( 176 )
一、概述	( 176 )
二、主要部件的设计原理	( 176 )
参考文献	( 178 )
<b>第五章 泵的CAD</b>	( 179 )
第一节 概述	( 179 )
第二节 一元理论CAD	( 182 )
一、水力计算	( 182 )
二、水力图的绘制	( 186 )
第三节 三元流场校核	( 200 )
一、概述	( 200 )
二、主流-边界层组合计算方法	( 204 )
三、数值计算示例	( 250 )
参考文献	( 256 )
<b>第六章 水泵优化设计方法</b>	( 263 )
第一节 优化设计的基本理论	( 263 )
一、概况与概念	( 263 )
二、优化设计的三要素	( 265 )



三、多目标函数及其解·····	( 269 )
四、优化的迭代收敛条件及终止判别·····	( 271 )
第二节 水泵优化设计方法·····	( 274 )
一、优化设计方法在水泵中的应用·····	( 274 )
二、水泵设计中常用的优化计算方法·····	( 282 )
第三节 水泵优化设计实例·····	( 292 )
一、加大流量优化设计数学模型的具体转换 ·····	( 292 )
二、系数的统计确定及优化计算·····	( 305 )
三、验证与结语·····	( 312 )
参考文献·····	( 314 )
<b>第七章 可靠性设计</b> ·····	( 317 )
第一节 概述·····	( 317 )
一、可靠性定义及指标·····	( 317 )
二、可靠性设计与可靠性·····	( 321 )
三、可靠性设计方法·····	( 322 )
第二节 可靠性设计理论·····	( 324 )
一、强度、应力分布理论·····	( 324 )
二、强度、应力分布的确定·····	( 330 )
三、强度-应力分布干涉理论 ·····	( 336 )
四、强度、应力不同组合的可靠度·····	( 338 )
五、可靠性与安全系数·····	( 341 )
六、系统可靠性分析方法·····	( 342 )
第三节 零件设计·····	( 344 )
一、泵轴的可靠性设计·····	( 345 )
二、受拉力作用的零件的设计·····	( 354 )
三、承受弯矩作用的零件的设计·····	( 356 )

第四节	可靠性试验	( 358 )
一、	可靠性试验的种类	( 359 )
二、	指数分布寿命试验	( 360 )
三、	失效判据	( 368 )
四、	试验注意事项及检查	( 369 )
参考文献		( 371 )
附录一	正态分布表	( 372 )
附录二	$X^2$ 分布表	( 374 )
<b>第八章</b>	<b>泵的造型设计</b>	( 378 )
第一节	概述	( 378 )
第二节	造型设计的要求	( 378 )
第三节	造型设计的原则和要素	( 380 )
一、	造型设计的原则	( 380 )
二、	造型设计的要素	( 382 )
第四节	造型形式法则	( 383 )
一、	调和与对比	( 383 )
二、	均衡与稳定	( 385 )
三、	安定与轻巧	( 386 )
四、	过渡与呼应	( 386 )
五、	比例与尺度	( 387 )
第五节	造型色彩设计	( 389 )
一、	色彩概述	( 389 )
二、	色彩的三要素	( 390 )
三、	色彩调配	( 391 )
四、	色彩效应与应用	( 391 )
五、	色彩的对比与调和	( 394 )
第六节	实例分析	( 395 )

第七节 商标设计	( 398 )
参考文献	( 401 )
<b>第九章 泵的价值工程</b>	( 402 )
第一节 价值工程的发展简况及其应用	( 402 )
第二节 价值工程的基本理论与基本方法	( 407 )
一、价值工程的概念	( 407 )
二、价值工程的一般工作程序	( 410 )
第三节 价值工程在泵行业中的应用举例	( 425 )
一、准备阶段	( 425 )
二、分析阶段	( 427 )
三、创新阶段	( 430 )
参考文献	( 433 )
<b>第十章 水泵微机测试技术</b>	( 436 )
第一节 测试系统组成及原理	( 436 )
一、系统组成及原理	( 436 )
二、对系统的基本要求	( 437 )
第二节 硬件原理及设计	( 438 )
一、A/D转换电路	( 438 )
二、前置放大、整形和计数电路	( 441 )
三、BCD编码接口和IEEE-488接口	( 443 )
四、恒压源	( 444 )
五、转速测量和功率测量的新方法	( 446 )
第三节 测试系统程序设计	( 448 )
一、系统主程序设计	( 448 )
二、系统采样程序设计	( 452 )
三、系统数据处理程序设计	( 463 )
第四节 测试系统实例	( 470 )

一、硬件配置.....	( 471 )
二、传感器及接口电路设计.....	( 472 )
三、软件系统.....	( 472 )
参考文献.....	( 477 )

# 第一章 水泵设计基础

## 第一节 流体力学基本知识

### 一、基本概念

#### (一) 不可压缩流体和可压缩流体

流体是液体和气体的统称。就液体而言，其体积受压力和温度的变化程度极小，工程上通常可以不加考虑，称为不可压缩流体。水和类似于水的液体就是如此处理的；而气体的体积随压力和温度的改变有显著的变化，故称为可压缩流体。

#### (二) 流体的粘性

粘性是流体阻止发生剪切变形和角变形的一种特性。这是由于流体分子间内聚力的存在和流体层间的动量交换而造成的。内摩擦力就是这种特性的表现形式。当流体处于静止或各部分之间相对速度为零时，流体的粘性就显示不出来，也就表明其值为零。

内摩擦力大小是根据牛顿于1686年提出的内摩擦定律来进行计算

$$F = \tau A \quad (1-1)$$

$$\tau = \mu \frac{dW}{dY} \quad (1-2)$$

式中  $F$ ——内摩擦力；

- $\tau$ ——切应力；  
 $A$ ——流体与固体平板的接触面积；  
 $\mu$ ——与流体性质有关的动力粘度系数；  
 $\frac{dW}{dY}$ ——流体的速度梯度。

严格说，实际的流体都有一定的粘性，但有的流体如水的粘性很小，而且一旦考虑粘性会使问题复杂化。因此，当粘性不是主要因素の場合常常忽略粘性的影响，这就引入了理想流体的概念，使许多问题简化了处理方法而且不会影响到结论。必要时考虑粘性可以对结论继续深入地研究。

### （三）流体的连续性

以液体为例，它是由无数分子所组成的，分子与分子之间有间隙，因此从微观上看液体是不连续的。但从工程上看我们最重要的是研究流体、流体与固体之间作用的平均、统计效应。因此，常把流体看作是由无数分子组成的质量或微团的连续性介质，这种假设既符合客观实际也便于今后公式的推导。

### （四）作用在流体上的力

流体上的受力分为两类：表面力和质量力。表面力是指作用在流体体积表面上的各种力，如由于粘性引起的表面切向力等。质量力则指作用于流体内部每一质点上的力，像重力、惯性力等都属于质量力。

### （五）定常流动和非定常流动

当流体运动时，流体的运动参数（如压力、速度）不随时间改变的流动称定常流动。

当流体运动时，流体的运动参数随时间变化而变化的流动称非定常流动。

## (六) 数量、向量和张量

只有大小没有方向的物理量称数量。

在三元空间中，既有大小而且有方向，可以分解为沿坐标轴的三个分量的物理量称向量。

在三元空间中，有些物理量如流场中的应力可以有九个分量，这时引入张量的概念对分析中更为方便，习惯上可以用物理量的分量与张量的阶数建立以下关系式：

$$N=3^n \quad (1-3)$$

当 $n=0$ 时， $N=1$ ，这就是只有一个分量的物理量，称零阶张量。当 $n=1$ 时， $N=3$ ，这就是具有三个分量的向量，称一阶张量。当 $n=2$ 时， $N=9$ ，故称三元空间中的张量为二阶张量。

## (七) 流线、流管、流束、有效断面、湿周、水力半径

流线——流场中某一瞬时的空间曲线，在这条曲线上所有流体质点的速度均与该曲线相切。

流管——在流场中作任意封闭曲线，通过该曲线上的每一点作流线，形成一个任意长的管状曲面，称为流管。

流束——充满流管内部的全部流体称为流束或总流。

有效断面——垂直于总流的横断面称为该总流的有效断面。

湿周——有效断面上流体与周围固体壁面接触的长度为湿周。

水力半径——有效断面面积被湿周除得的商称为水力半径。

## 二、流体的基本方程式

连续性方程、能量方程、动量和动量矩方程是研究液体

运动时的三个基本方程式，现在重点说明它们各自的数学表达式及其物理含义。

### (一) 连续性方程式

对于不可压缩流体的一元定常流动，连续性方程式为：

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = v A \quad (1-4)$$

式中  $Q$ ——通过有效面积  $A$  的流量；

$A$ ——有效断面面积；

$v$ ——有效断面上的平均流速。

公式(1-4)说明通过各有效断面上的流量(图1-1)，只要是不可压缩的液体总是相等的(指一元定常流动)，对于非定常流动，就某个瞬时而言，亦可应用此式。它反映了流体力学中的物质不灭原理。

假如用微分形式表示不可压缩流体的连续方程式，因为流体的密度  $\rho$  不随时间变化而变化，也就是  $\partial \rho / \partial t = 0$ ，所以

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \quad (1-5)$$

公式(1-5)的物理意义是：在单位时间内，流进与流出单位体积表面的流体体积相等。

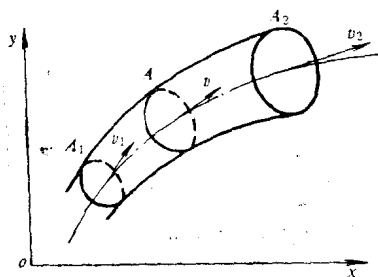


图 1-1 流量



## (二) 能量方程式

能量方程式也称为伯努利方程，它在工程实际中用的很多，下面介绍在大多数情况下适用的重力场作用下的不可压缩的定常流的能量方程。

在讨论流道的伯努利方程式之前先提示一下缓变流的概念。缓变流也称渐变流，它是指流道中流线之间的夹角很小，流线趋于平行的一种流动，反之则称为急变流。

1. 实际流体中总流的任意两个缓变断面上的能量方程式

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \Delta h \quad (1-6)$$

式中  $z_1$ 、 $z_2$ ——两个有效断面的几何中心距离任意一个水平基准面的位置高度；

$p_1$ 、 $p_2$ ——两个有效断面的几何中心上的压力；

$\gamma$ ——液体的重度；

$v_1$ 、 $v_2$ ——两个有效断面上的平均流速；

$\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ ——两个有效断面上的动能修正系数；

$g$ ——重力加速度；

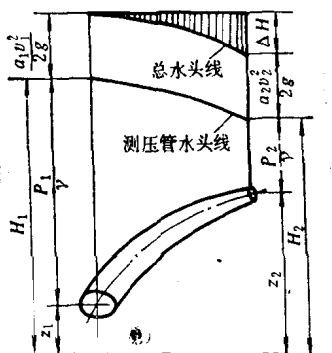


图 1-2 能量图