

泵

袁寿其 施卫东 刘厚林 等编著

理论与技术



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



泵理论与技术

袁寿其 施卫东 刘厚林 等编著



机械工业出版社

泵是一种应用十分普遍的通用机械,广泛应用于各个领域。随着国民经济的发展和科学技术水平的提高,泵的应用范围不断扩大,各行各业对泵的性能要求也不断提高。

为了适应需要,我们编写了这本泵的综合性论著——泵理论与技术。本书有三个特点:一是较系统全面,从泵的基本理论、泵的水力设计、泵的测试技术以及泵的运行到各类泵的应用等都有介绍;二是内容较新,从泵的水力设计方法进展、泵 CAD/CFD 技术到泵的流动诱导振动噪声等均有涉及;三是理论联系实际,除总结国内外同行的成果外,特别对作者们长期以来在泵理论研究、技术开发和工程应用的经验作了较好的总结,且给出了一些应用实例。

本书适合从事泵的设计、制造的研究人员和技术人员使用,还可作为泵相关专业师生的参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

泵理论与技术/袁寿其等编著. —北京:机械工业出版社,2014.6
ISBN 978-7-111-45616-2

I. ①泵… II. ①袁… III. ①泵-基本知识 IV. ①TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 017836 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:王春雨 责任编辑:王春雨 版式设计:霍永明

责任校对:丁丽丽 封面设计:陈沛 责任印制:李洋

北京市四季青双青印刷厂印刷

2014 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·41.25 印张·3 插页·1404 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-45616-2

定价:158.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

网络服务

电话服务

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

策划编辑电话:(010) 88379782

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

前 言

泵是一种应用十分普遍的通用机械，广泛应用于各个领域。随着国民经济的发展和科学技术水平的提高，泵的应用范围不断扩大，各行各业对泵的性能要求也不断提高。近年来泵研究领域出现了很多新理论、新技术和新产品，同时经典的泵理论和设计方法也在不断地完善和发展。因此，对于与泵有关的工作人员，无论是初学者还是资深的工程师和学者都非常需要一本有关现代泵知识的综合性书籍。内容应包含经典的泵理论与技术，同时包括泵的新知识、新技术；不仅有泵基础理论，还能够结合工程实践。

江苏大学流体机械工程技术研究中心自1962年成立以来，对泵相关领域进行了大量深入的科学研究、工程应用和人才培养。2011年组建国家水泵及系统工程技术研究中心。针对我国泵行业的需求和学校流体机械及工程国家重点学科建设的需要，结合作者们的工作经历，历经两年多时间组织编写了这本有关泵的综合性的论著——泵理论与技术。本书有三个特点：一是较系统全面，从泵的基本理论、泵的水力设计、泵的设计技术和运行到各类泵的应用等都有介绍；二是内容较新，从泵的水力设计方法进展、泵CAD/CFD技术到泵的流动诱导振动噪声等均有涉及；三是理论联系实际，在总结国内外泵同行的成果外，还特别对作者们长期以来在泵理论研究、技术开发和工程应用的经验作了较好的总结，且给出了一些应用实例。希望本书的出版能为我国泵行业的发展提供帮助。

全书共分27章，内容包括泵概述、泵基本理论、泵汽蚀、离心泵和混流泵的水力设计、轴流泵水力设计、泵特殊水力设计方法、泵CAD技术、泵CFD理论与应用、泵设计方法进展、潜水泵、固液两相流泵、自吸离心泵与射流泵、旋涡泵、磁力泵、屏蔽泵、核电用泵、泵作透平、往复泵、回转式容积泵、诱导轮、泵的轴封、泵零件的强度计算、泵进出水流道、泵的振动与噪声、泵试验、泵内流测试技术与应用和泵的运行等。

本书的撰写人员与分工：施卫东、张德胜、周岭撰写第1章；袁寿其、马新华撰写第2章；潘中永、王勇撰写第3章和第20章；李红、林洪义撰写第4章；施卫东、潘中永、张德胜撰写第5章；袁寿其、张金凤、陆伟刚、周岭撰写第6章；刘厚林、谈明高、王凯撰写第7章；张金凤撰写第8章；袁寿其、刘厚林、谈明高撰写第9章；曹卫东、施卫东、王川撰写第10章；刘厚林、施卫东、谈明高撰写第11章；刘建瑞、向清江撰写第12章和第13章；孔繁余撰写第14章和第15章；袁寿其、朱荣生、付强、王秀礼撰写第16章；杨孙圣撰写第17章；叶晓琰、毛楚方、杨孙圣撰写第18章；叶晓琰、林洪义、杨孙圣撰写第19章；何玉杰撰写第21章；李伟、施卫东、蒋小平、张启华撰写第22章；李彦军撰写第23章；袁建平、裴吉、司乔瑞撰写第24章；汤跃撰写第25章和第27章；袁建平、李亚林撰写第26章；附录由孔繁余、谈明高整理。全书由袁寿其、施卫东、刘厚林统稿，林洪义主审。

在本书撰写过程中，参考和引用了大量国内外相关文献，在此对这些文献的作者表示感谢。

尽管作者们在此书的撰写过程中作出了很大的努力，但错误和不尽人意之处在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

前言	
第 1 章 泵概述	1
1.1 泵的定义	1
1.2 泵的分类	1
1.2.1 叶片式泵	1
1.2.2 容积式泵	1
1.2.3 其他类型泵	1
1.3 泵的过流部件	2
1.3.1 叶轮	2
1.3.2 吸水室	3
1.3.3 压水室	3
1.4 叶片式泵的结构形式	5
1.5 泵的用途	7
1.6 泵的发展展望	9
参考文献	10
第 2 章 泵基本理论	11
2.1 泵的基本参数	11
2.1.1 流量	11
2.1.2 扬程	11
2.1.3 转速	11
2.1.4 汽蚀余量	11
2.1.5 功率和效率	11
2.2 泵的基本方程	12
2.2.1 基本方程的推导和说明	12
2.2.2 动扬程、势扬程和反击系数	14
2.3 比转速	14
2.3.1 比转速公式推导	14
2.3.2 关于比转速的说明	15
2.4 特性曲线	16
2.4.1 泵的特性曲线	16
2.4.2 特性曲线的形状分析	16
2.4.3 几何参数对泵特性曲线的影响	17
2.5 相似理论	19
2.5.1 相似理论的基本概念	19
2.5.2 泵相似定律	19
2.5.3 泵相似理论的应用	21
2.6 泵的能量损失	22
2.6.1 泵内的各种损失及泵的效率	22
2.6.2 泵损失的计算	23
参考文献	23
第 3 章 泵汽蚀	24
3.1 泵汽蚀概论	24
3.1.1 泵内汽蚀的发生过程	24
3.1.2 泵发生汽化时的危害	24
3.2 汽蚀基本方程式	24
3.3 汽蚀余量计算方法	26
3.3.1 泵汽蚀余量计算方法	26
3.3.2 装置汽蚀余量计算方法	28
3.4 提高泵抗汽蚀性能的措施	30
3.4.1 考虑抗汽蚀性能泵的设计要点	30
3.4.2 防止汽蚀的措施	32
参考文献	32
第 4 章 离心泵和混流泵过流部件的水力设计	33
4.1 泵设计理论与方法	33
4.1.1 泵设计理论	33
4.1.2 泵设计方法	33
4.2 设计参数及其水力结构方案确定	34
4.2.1 提供设计的参数和要求	34
4.2.2 泵轴功率 P 及配用原动机的额定功率 P'_g	38
4.2.3 确定泵进出口直径	38
4.3 叶轮水力设计	38
4.3.1 泵轴径和叶轮轮毂直径	38
4.3.2 叶轮设计的相似换算法	39
4.3.3 速度系数法计算叶轮主要尺寸	42
4.3.4 叶片绘型	50
4.4 压水室的水力设计	62
4.4.1 压水室的水力设计原理	62
4.4.2 蜗室的水力设计	63
4.4.3 双蜗室的水力设计	66
4.4.4 环形压水室的设计	67
4.4.5 径向及流道式导叶的设计	67
4.4.6 空间导叶的设计	73
4.5 吸水室的水力设计	75
4.5.1 直锥形吸水室	75

4.5.2 环形吸水室	75	6.2.3 主要几何参数的选择原则	107
4.5.3 半螺旋形吸水室	76	6.2.4 应用实例	110
参考文献	78	6.3 分流叶片和堵塞流道设计方法	111
第5章 轴流泵水力设计	80	6.3.1 分流叶片设计方法	111
5.1 轴流泵简介	80	6.3.2 堵塞流道设计方法	114
5.2 过流部件结构参数及设计理论	80	6.4 极大扬程设计方法	115
5.2.1 圆柱截面间液流互不相关假设	80	6.4.1 极大扬程设计法定义	115
5.2.2 结构参数的初步确定	81	6.4.2 极大扬程设计法设计井泵的 步骤	116
5.2.3 设计理论	82	6.4.3 极大扬程设计法设计井泵的 实例	118
5.3 翼型及升力法设计轴流泵叶轮	83	6.5 叶轮和压水室的匹配及面积比原理	121
5.3.1 翼型及其特性	83	6.5.1 定义	121
5.3.2 升力法设计轴流泵叶片的基本 方程	83	6.5.2 面积比与泵性能之间的关系及其 经验统计	121
5.3.3 翼型组和翼型族及 NACA 翼型族 对称翼型	85	6.6 离心泵无驼峰设计	123
5.4 圆弧法设计轴流泵叶轮	85	6.6.1 叶轮和泵体形状对扬程曲线驼峰 的影响	123
5.4.1 圆弧叶栅参数及轴流泵叶轮设计 所需要的数据图表	85	6.6.2 叶轮和泵体相对位置对扬程曲线 驼峰的影响	127
5.4.2 圆弧法设计轴流泵叶轮示例	85	6.6.3 离心泵无驼峰设计应注意的几个 问题	127
5.5 流线法设计轴流泵叶轮	88	6.7 高速泵恒扬程设计方法	128
5.5.1 叶轮出口流动微分方程	88	6.7.1 高速泵的工作原理和特性	128
5.5.2 自由旋涡和强制旋涡	89	6.7.2 高速泵的结构	130
5.5.3 环量修正和流线法设计轴流泵 叶轮	89	6.7.3 高速泵的设计	131
5.6 系列高效轴流泵叶轮出口流动规律	90	参考文献	133
5.6.1 试验装置	90	第7章 泵 CAD 技术	134
5.6.2 测量方法	90	7.1 泵 CAD 软件开发的编程基础	134
5.6.3 试验测量结果	94	7.1.1 开发泵 CAD 软件需采用的主要 技术	134
5.6.4 轴流泵叶轮出口环量和轴面速度 分布规律	97	7.1.2 开发泵 CAD 软件的编译环境	134
参考文献	98	7.1.3 泵 CAD 软件的支撑平台和开发 工具	135
第6章 泵特殊水力设计方法	99	7.2 ObjectARX 应用程序	137
6.1 无过载设计方法	99	7.2.1 ObjectARX 应用程序的结构	137
6.1.1 无过载离心泵及其设计方法的 定义	99	7.2.2 ObjectARX 应用程序的加载、运行 和卸载	137
6.1.2 单级单吸无旋进水的无过载离心泵 设计方法	99	7.3 Pro/TOOLKIT 应用程序	137
6.1.3 带前置导叶的无过载离心泵设计 方法	101	7.3.1 Pro/TOOLKIT 应用程序的结构	138
6.1.4 无过载排污泵的设计方法	102	7.3.2 应用程序的注册、运行和卸载	138
6.2 加大流量设计方法	104	7.4 泵 CAD 软件及应用实例	138
6.2.1 加大流量设计的基本原理	104	7.4.1 泵水力设计软件 PACD	138
6.2.2 基本方法及放大系数的优化	105		

7.4.2	泵性能预测软件 PCAD-CP	139	9.6.1	RP 技术制造原理及特点	189
7.4.3	泵三维造型软件 PCAD-3D	139	9.6.2	基于激光技术的快速成形工艺方法	190
7.4.4	基于泵 CAD 软件的泵设计实例	139	9.6.3	快速成形技术软件系统	193
7.4.5	PCAD 应用情况	145	9.6.4	快速成形实例	194
	参考文献	146		参考文献	195
第 8 章	泵 CFD 理论与应用	147	第 10 章	潜水泵	197
8.1	概述	147	10.1	潜水泵概况	197
8.1.1	CFD 的技术简介	147	10.1.1	潜水泵的国内外发展状况	197
8.1.2	常用的 CFD 商用软件	147	10.1.2	潜水泵的主要技术特点	198
8.1.3	CFD 技术在泵中的应用	148	10.1.3	潜水泵的类型	198
8.2	CFD 基础理论	150	10.2	潜水泵典型结构	201
8.2.1	CFD 的工作步骤	150	10.2.1	潜水泵的主要零部件	202
8.2.2	CFD 基础理论和计算方法	150	10.2.2	飞力公司的 C 泵系列潜水泵	204
8.2.3	泵 CFD 计算中的注意事项	156	10.2.3	潜水清水泵	204
8.3	应用实例	159	10.2.4	潜水污水泵	205
8.3.1	离心泵三维定常及非定常计算结果和分析	159	10.2.5	潜水混流泵与潜水轴流泵	206
8.3.2	轴流泵三维全流场定常计算结果和分析	162	10.2.6	矿用多级潜水泵	206
	参考文献	169	10.2.7	矿用抢险排水泵	207
第 9 章	泵设计方法进展	170	10.3	潜水泵的安装方法	208
9.1	泵的性能预测	170	10.3.1	飞力公司潜水泵安装方法	208
9.1.1	流场计算法	170	10.3.2	QW 型潜水排污泵安装方法	209
9.1.2	水力损失法	171	10.3.3	QHD 与 QZ 型潜水泵安装方法	210
9.1.3	神经网络法	173	10.4	潜水泵的控制与保护系统	212
9.2	泵的优化设计	174	10.4.1	起动方法	212
9.2.1	优化设计理论和方法	174	10.4.2	水位控制系统	213
9.2.2	优化设计在泵中的应用	176	10.4.3	故障诊断系统	215
9.3	泵的反问题设计	177		参考文献	216
9.3.1	正、反问题的基本概念	177	第 11 章	固液两相流泵	217
9.3.2	泵叶轮三维设计新进展	177	11.1	固液两相流泵概述	217
9.3.3	离心泵全三维反问题计算	178	11.1.1	杂质泵的种类、特点及发展概况	217
9.4	泵的全寿命成本设计	179	11.1.2	无堵塞泵的种类、特点及发展概况	217
9.4.1	LCC 概述	179	11.2	固体颗粒的运动	218
9.4.2	泵 LCC 分析	179	11.2.1	物料和浆体的物理性质	218
9.4.3	泵 LCC 的设计实例	180	11.2.2	固体颗粒在叶轮中的运动	220
9.4.4	泵系统 LCC 的设计实例	181	11.2.3	泵抽送固液混合物时的理论扬程	221
9.5	泵的可靠性分析	182	11.2.4	泵输送浆体时的性能变化	221
9.5.1	概述	182	11.3	泵的磨蚀	221
9.5.2	可靠性设计理论	184	11.3.1	磨蚀机理	221
9.5.3	泵的零部件可靠性设计	185	11.3.2	泵的磨蚀过程	222
9.5.4	可靠性试验	188			
9.6	泵的快速成形	189			

11.3.3 防止和减轻泵磨蚀的措施	223	12.2.3 射流式喷灌自吸离心泵水力设计实例	259
11.4 渣浆泵的设计方法	223	12.2.4 喷嘴的射流原理及结构设计	263
11.4.1 经验系数设计法	223	12.2.5 回流阀的工作原理	264
11.4.2 畸变速度设计法	225	12.3 自吸离心泵典型结构	265
11.4.3 固液速度比设计法	225	12.3.1 半开式叶轮自吸离心泵	265
11.4.4 渣浆泵典型结构图	226	12.3.2 自吸离心泵其他几种典型结构	265
11.5 单流道泵设计方法	227	12.4 水环泵	267
11.5.1 水力设计方法	227	12.4.1 单腔水环泵	267
11.5.2 单流道叶轮设计实例	229	12.4.2 双腔水环泵	268
11.5.3 单流道泵典型结构图	230	12.5 射流泵及射流-离心泵装置	269
11.6 双流道泵设计方法	230	12.5.1 射流泵概述	269
11.6.1 水力设计方法	230	12.5.2 射流泵的参数及工作性能方程	269
11.6.2 设计实例	235	12.5.3 射流泵的汽蚀	270
11.6.3 双流道泵典型结构图	235	12.5.4 水射流泵的设计	271
11.7 螺旋离心泵设计方法	236	12.5.5 液气射流泵的设计	272
11.7.1 螺旋离心泵的特点	236	12.5.6 离心-射流泵组合装置性能	272
11.7.2 水力设计方法	237	参考文献	273
11.7.3 轴向力和径向力	239	第13章 旋涡泵	275
11.7.4 螺旋离心泵性能的影响因素及改善措施	239	13.1 旋涡泵工作原理和特点	275
11.7.5 设计实例	239	13.1.1 工作原理	275
11.7.6 螺旋离心泵典型结构图	239	13.1.2 旋涡泵特点	275
11.8 前伸式双叶片泵设计方法	240	13.1.3 旋涡泵基本方程式	276
11.8.1 前伸式双叶片污水泵的水力设计	240	13.2 旋涡泵分类和典型结构	276
11.8.2 设计实例和性能试验结果	241	13.2.1 旋涡泵分类	276
11.9 旋流泵设计方法	242	13.2.2 旋涡泵典型结构形式	277
11.9.1 旋流泵概述	242	13.3 旋涡泵的水力设计	279
11.9.2 旋流泵几何参数对性能的影响	242	13.3.1 水力设计计算	279
11.9.3 旋流泵设计方法及设计实例	244	13.3.2 过流部件几何形状对泵性能的影响	282
11.9.4 旋流泵典型结构图	245	13.3.3 单级小流量旋涡泵设计实例	282
参考文献	246	参考文献	284
第12章 自吸离心泵与射流泵	249	第14章 磁力泵	285
12.1 气液混合式自吸离心泵	249	14.1 磁力泵概述	285
12.1.1 气液混合式自吸离心泵概述	249	14.1.1 新型磁力传动技术	285
12.1.2 气液混合式自吸离心泵设计	250	14.1.2 磁力泵的发展与应用	285
12.1.3 影响气液混合式自吸离心泵性能的因素	253	14.1.3 磁力泵的基本结构	285
12.2 射流式喷灌自吸离心泵	254	14.1.4 磁力泵的主要特点	285
12.2.1 射流式喷灌自吸离心泵的结构与工作原理	254	14.2 磁力耦合器	286
12.2.2 射流式喷灌自吸离心泵的理论设计与	254	14.2.1 磁力耦合器传动原理	286
		14.2.2 磁力耦合器转矩计算	287
		14.2.3 磁力耦合器设计	288
		14.2.4 磁力耦合器试验装置	290

14.3 磁转子能量损失分析	291	16.2.2 核主泵发展历程	321
14.3.1 磁涡流损失分析	291	16.2.3 轴封式核主泵结构	325
14.3.2 其他损失	291	16.2.4 AP1000 屏蔽泵结构	332
14.4 磁性材料	291	16.2.5 核主泵内部非定常流动特性	339
14.4.1 永磁材料	291	16.2.6 核主泵失水事故汽液两相流动特性	341
14.4.2 磁路材料选择	292	16.2.7 核主泵瞬态流动特性	344
14.4.3 新型稀土永磁材料的发展	293	16.3 离心式上充泵	345
14.5 磁力泵的主要技术	293	16.3.1 离心式上充泵概述	345
14.5.1 轴向力平衡	293	16.3.2 上充泵的其他要求	346
14.5.2 冷却润滑循环液回路	293	16.3.3 上充泵的结构特点	346
14.5.3 导轴承与推力盘	294	16.3.4 上充泵多工况水力设计	350
14.5.4 低汽蚀余量设计	294	16.3.5 上充泵转子系统临界转速计算	352
14.5.5 主要零部件材料	294	16.3.6 上充泵结构抗震计算	355
14.5.6 其他设计	294	16.4 余热排出泵	359
14.6 磁力泵的应用	294	16.4.1 余热排出泵简介	359
参考文献	296	16.4.2 技术要求	359
第 15 章 屏蔽泵	298	16.4.3 余热排出泵结构	360
15.1 屏蔽泵概述	298	16.4.4 AP1000 余热排出泵	360
15.1.1 屏蔽泵的发展	298	16.4.5 转子模态分析	361
15.1.2 屏蔽泵的结构原理	298	16.5 给水泵	362
15.1.3 屏蔽泵的主要特点	299	16.5.1 给水泵功能	362
15.2 屏蔽泵的结构设计	299	16.5.2 汽动给水泵装置	362
15.2.1 屏蔽泵的主要结构	299	16.5.3 汽动给水泵结构	364
15.2.2 屏蔽泵的主要零部件设计	302	16.5.4 引漏系统	366
15.3 屏蔽泵冷却回路设计	308	16.5.5 国内外核电站给水泵配置方案介绍	366
15.3.1 屏蔽泵冷却循环回路	308	16.6 电动辅助给水泵	367
15.3.2 屏蔽泵冷却循环回路计算	309	16.6.1 电动辅助给水泵简介	367
15.4 屏蔽泵轴向力平衡设计计算	312	16.6.2 电动辅助给水泵国内外研究现状	367
15.4.1 轴向力限定值	312	16.6.3 泵组布置与性能参数	367
15.4.2 屏蔽泵的轴向力平衡设计	312	16.6.4 电动辅助给水泵结构介绍	368
15.4.3 屏蔽泵的轴向力平衡试验	314	16.7 凝结水泵	370
15.4.4 屏蔽泵轴向力计算程序的设计	314	16.7.1 凝结水泵简介	370
15.5 屏蔽泵能耗的分析与计算	316	16.7.2 凝结水泵结构	370
15.5.1 屏蔽电动机能耗的分析	316	16.8 循环水泵	370
15.5.2 屏蔽泵能耗的计算	316	16.8.1 混凝土蜗壳循环泵结构	371
15.5.3 屏蔽泵的泵头部分效率的计算	317	16.8.2 混凝土蜗壳循环泵水力模型开发	372
15.5.4 屏蔽泵机组的总效率	318	16.8.3 AP1000 立式循环水泵	374
15.6 屏蔽泵监控技术设计	318	参考文献	375
参考文献	318	第 17 章 泵作透平	377
第 16 章 核电用泵	320		
16.1 核电用泵概述	320		
16.2 核主泵	320		
16.2.1 核主泵功能	320		

17.1 泵作透平概论	377	18.5.1 往复泵的结构形式	396
17.1.1 泵和泵作透平的区别与联系	377	18.5.2 泵主要结构参数的选择	399
17.1.2 泵作透平利用压力能的优点	378	18.5.3 原动机的选择	401
17.1.3 泵作透平的使用场合	378	18.6 空气室的设计	401
17.1.4 泵作透平的使用形式	378	18.6.1 空气室的工作原理	401
17.1.5 泵作透平的应用范围	378	18.6.2 空气室的计算	402
17.2 泵作透平基本参数	379	18.7 计量泵	404
17.2.1 流量	379	18.7.1 计量泵概述	404
17.2.2 扬程	379	18.7.2 计量精度	404
17.2.3 转速	380	18.7.3 计量泵的种类和特点	405
17.2.4 功率	380	18.7.4 计量泵的控制	407
17.2.5 效率	380	参考文献	407
17.3 泵作透平外特性曲线的分析	380	第 19 章 回转式容积泵	408
17.3.1 扬程-流量曲线	380	19.1 回转式容积泵概述	408
17.3.2 轴功率-流量曲线	381	19.1.1 工作原理与主要类型	408
17.3.3 效率-流量曲线	381	19.1.2 主要性能参数	408
17.4 泵作透平的外特性预测	381	19.1.3 性能特征与应用	409
17.4.1 理论分析	381	19.2 回转式容积泵的泵内间隙与吸入 条件	409
17.4.2 经验公式	382	19.2.1 泵内间隙	409
17.5 泵作透平效率的提高	382	19.2.2 吸入条件	410
17.5.1 进口圆角	382	19.3 齿轮泵	411
17.5.2 尾水管	382	19.3.1 外啮合齿轮泵	411
17.6 使用泵作透平时的注意事项	383	19.3.2 内啮合齿轮泵	415
17.6.1 选型	383	19.4 螺杆泵	416
17.6.2 机械校核	383	19.4.1 单螺杆泵	416
参考文献	384	19.4.2 三螺杆泵	419
第 18 章 往复泵	385	19.4.3 双螺杆泵	420
18.1 往复泵工作原理及其特点	385	19.5 旋转活塞泵	423
18.1.1 工作原理	385	19.5.1 凸轮泵	423
18.1.2 往复泵的工作特点	385	19.5.2 滑片泵	424
18.2 结构类型与应用	386	19.6 挠性泵	425
18.2.1 往复泵的分类	386	19.6.1 蠕动泵	425
18.2.2 往复泵的用途	386	19.6.2 挠性转子泵	426
18.3 机动往复泵主要性能参数	387	19.6.3 挠性衬圈泵	426
18.3.1 流量	387	参考文献	427
18.3.2 压力和真空度	389	第 20 章 诱导轮	428
18.3.3 功率和效率	390	20.1 诱导轮基本理论	428
18.3.4 吸入性能	391	20.1.1 诱导轮结构及作用	428
18.4 泵阀的基本理论	392	20.1.2 诱导轮基本理论	429
18.4.1 泵阀运动理论的研究	392	20.1.3 诱导轮改善泵汽蚀性能原因 分析	430
18.4.2 最大允许往复次数的确定及 泵阀计算	394	20.2 诱导轮叶栅稠密度、轮缘间隙及进口	
18.5 往复泵的设计	395		

边作用	430	22.5.1 叶轮强度计算	486
20.3 诱导轮设计	431	22.5.2 键的强度计算	487
参考文献	438	22.5.3 联轴器强度计算	487
第 21 章 泵的轴封	439	22.5.4 平衡盘强度计算	488
21.1 泵的轴封概述	439	22.6 泵体连接螺栓、进出口法兰的强度	
21.2 常用密封类型及应用	439	计算	489
21.3 填料密封	440	22.6.1 螺栓计算的基本原理	489
21.3.1 填料密封的原理	440	22.6.2 连接螺栓计算步骤	490
21.3.2 填料的材料	440	22.6.3 泵进出口法兰的强度计算	490
21.3.3 填料的选型	440	22.7 多级泵穿杠和中段密封凸缘宽度的	
21.4 机械密封	442	强度计算	491
21.4.1 机械密封的工作原理	442	22.7.1 受力分析	491
21.4.2 机械密封的类型	442	22.7.2 计算步骤	491
21.4.3 机械密封的典型结构	443	参考文献	492
21.5 机械密封的选型	445	第 23 章 泵进出水流道	493
21.6 常用机械密封材料	445	23.1 泵装置结构形式	493
21.7 机械密封的设计计算	447	23.1.1 泵装置结构形式分类	493
21.7.1 机械密封的主要参数确定	447	23.1.2 不同形式泵装置比较	493
21.7.2 机械密封的计算	448	23.2 进水池	498
21.8 API 682 标准规定的密封系统方案	450	23.2.1 进水池流态对水泵工作的影响	498
参考文献	452	23.2.2 进水池形状和尺寸确定	498
第 22 章 泵零件的强度计算	453	23.2.3 水泵吸水管口的合理位置确定	499
22.1 轴向力及径向力计算	453	23.3 进水流道	503
22.1.1 轴向力的计算	453	23.3.1 进水流道的设计要求	503
22.1.2 轴向力的平衡	454	23.3.2 肘形进水流道	504
22.1.3 平衡盘的计算及应用	460	23.3.3 钟形进水流道	506
22.1.4 径向力计算及其平衡	463	23.3.4 簸箕形进水流道	507
22.2 泵轴的强度、刚度计算	464	23.4 出水流道	508
22.2.1 泵轴强度校核的方法	464	23.4.1 虹吸式出水流道	508
22.2.2 泵轴直径初步计算	464	23.4.2 直管式出水流道	510
22.2.3 精确强度校核计算	465	23.4.3 其他形式出水流道	512
22.2.4 轴的刚度校核	468	23.5 断流装置	513
22.2.5 泵轴强度校核软件 SPCAD 系统	472	23.5.1 真空破坏阀	513
22.3 泵轴临界转速的计算	474	23.5.2 拍门	513
22.3.1 临界转速的计算	474	23.5.3 快速闸门	514
22.3.2 影响临界转速的因素	481	参考文献	515
22.3.3 临界转速程序化计算	481	第 24 章 泵的振动与噪声	516
22.4 泵体的强度计算	482	24.1 噪声和振动理论基础	516
22.4.1 蜗壳式泵体的强度计算	482	24.1.1 有关概念及单位	516
22.4.2 分段式多级泵中段的强度计算	484	24.1.2 声波的物理性质	517
22.4.3 双层壳体泵体的强度计算	485	24.1.3 声波方程	519
22.5 叶轮、键、联轴器、平衡盘的强度		24.1.4 声波的传播	521
计算	486	24.1.5 声信号的分析技术	522

24.1.6 振动信号的分析技术与模态分析	524	第 26 章 泵内流测试技术与应用	599
24.2 泵的噪声	525	26.1 泵内流测试技术概述	599
24.2.1 简单声源	525	26.2 传统流动显示技术	600
24.2.2 泵的机械噪声	527	26.2.1 染色线法	600
24.2.3 泵的流动诱导噪声	528	26.2.2 氢气泡法	600
24.2.4 泵的噪声辐射	531	26.2.3 油流法	601
24.2.5 噪声控制技术	532	26.2.4 丝线法	602
24.2.6 噪声测量	534	26.3 粒子图像测速 (PIV) 技术	603
24.3 泵的振动	537	26.3.1 PIV 基本原理	603
24.3.1 简单振动模型	537	26.3.2 PIV 测试流程	603
24.3.2 泵的机械振动	538	26.3.3 PIV 系统	604
24.3.3 流动诱导振动	540	26.3.4 示踪粒子的选择	606
24.3.4 模态分析及实例	541	26.3.5 PIV 测试基本参数的选择原则	607
24.3.5 流动诱导振动计算实例	543	26.3.6 PIV 的发展	607
24.3.6 振动控制技术	544	26.4 激光多普勒测速 (LDV) 技术	608
24.3.7 振动测量	547	26.4.1 LDV 概述	608
24.3.8 泵机械故障诊断	550	26.4.2 LDV 基本原理	609
参考文献	550	26.4.3 LDV 系统	609
第 25 章 泵试验	552	26.4.4 示踪粒子	610
25.1 试验装置	552	26.4.5 LDV 系统的特点	610
25.1.1 标准试验装置	552	26.5 激光相位多普勒测速 (PDPA)	
25.1.2 模拟试验装置	553	技术	611
25.1.3 开式循环回路	554	26.5.1 PDPA 系统	611
25.1.4 闭式循环回路	556	26.5.2 PDPA 基本原理	611
25.2 泵性能参数的传感与测量	558	26.5.3 PDPA 光路参数的选择与光路	
25.2.1 压力的测量	558	调节	613
25.2.2 流量的测量	560	26.6 应用实例	614
25.2.3 转速的测量	567	26.6.1 应用油流法研究离心泵诱导轮内	
25.2.4 轴功率的测量	568	流动	614
25.3 泵试验方法	573	26.6.2 应用 PIV 研究离心泵叶轮内	
25.3.1 试验条件	573	流动	614
25.3.2 性能试验	575	26.6.3 应用 PIV 研究采用不同示踪粒子时	
25.3.3 汽蚀试验	579	离心双流道泵内流动	615
25.4 泵试验的误差分析	583	26.6.4 应用 LDV 研究微型轴流泵内	
25.4.1 泵试验不确定度的估算	583	流动	617
25.4.2 测量结果的表示方法及有效		26.6.5 应用 PDPA 研究旋流泵内两相	
数字	585	流动	618
25.5 泵性能的计算机测试简介	586	参考文献	620
25.5.1 测试系统的组态结构	586	第 27 章 泵的运行	621
25.5.2 测试系统的功能	588	27.1 泵工况的确定	621
25.5.3 测试系统实例	589	27.1.1 管路特性曲线和装置扬程特性	
参考文献	598	曲线	621
		27.1.2 泵工况点的确定	622

27.2 泵的并联与串联运行	622	27.4.2 泵站经济运行	628
27.2.1 泵的并联	622	参考文献	636
27.2.2 泵的串联	624	附录	637
27.3 泵工况的调节	625	附录 A 泵的材料选用	637
27.3.1 装置扬程特性的调节	625	附录 B 单位换算	644
27.3.2 泵特性的调节	625	附录 C 常见液体的密度	647
27.3.3 综合调节	627	附录 D 国内主要城市的海拔和大气压力	647
27.4 泵站的经济运行	628		
27.4.1 经济运行指标	628		

第1章 泵 概 述

1.1 泵的定义

泵是以液体作为工作介质进行能量转换的一种机械，是依据液体和机械之间的相互作用而工作的。从传递能量来看，液体通过泵时所具有的能量将发生变化，即液体的能量与机械运动的能量发生转换。因此，泵又可认为是一种能量转换器。具体来说，泵就是把原动机的机械能转换成所抽送液体能量的机械。泵用来增加液体的位能、压能、动能。通俗地讲，原动机通过泵轴带动叶轮旋转，对液体做功，使其能量增加，从而使一定体积的液体，由吸水池经泵的过流部件输送到要求的高处或达到要求的压力。

1.2 泵的分类

泵的种类很多，结构各异，按其作用原理可分为三大类：叶片式泵、容积式泵和其他类型泵。

1.2.1 叶片式泵

利用装有叶片的叶轮高速旋转，将机械能转换为

液体的动能与压能而工作的泵，称为叶片式泵。根据被抽送液体流出叶轮的方向，可分为离心式、轴流式和混流式三种类型，如图 1-1 所示。

由于叶片式泵效率较高、启动方便、性能可靠，而且流量、扬程适用范围较大，因此，在工程实际中得到了广泛应用。

1.2.2 容积式泵

容积式泵在运转时，机械内部的工作容积不断地发生变化，对液体产生挤压，增加液体的压能，从而吸入或排出液体。按其结构不同，又可再分为以下两种形式。

(1) 往复式 这种机械借助于活塞在缸筒内的往复作用使缸内容积反复变化，借以吸入和排出液体。

(2) 回转式 机壳内的转子或转动部件旋转时，转子与机壳之间的工作容积发生变化，借以吸入和排出液体。

往复泵（活塞或柱塞泵）的工作原理如图 1-2 所示。

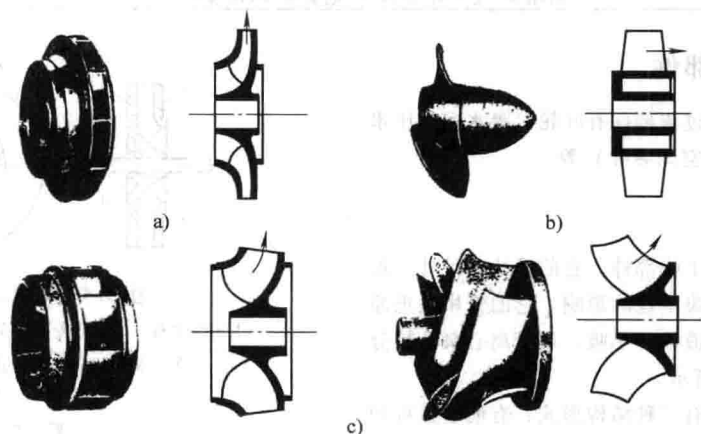


图 1-1 叶片式泵的三种叶轮类型

a) 离心式叶轮 b) 轴流式叶轮 c) 混流式叶轮

以上各类泵的适用范围如图 1-3 所示。由图可以看出，离心泵所占的区域最大，流量在 $5 \sim 25000 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程在 $8 \sim 3000 \text{ m}$ 的范围内。这些图可作为选择泵时的参考。

1.2.3 其他类型泵

射流泵是利用流体（液体或气体）来传递能量的泵；螺旋泵是利用螺旋推进器原理来提高液体的位

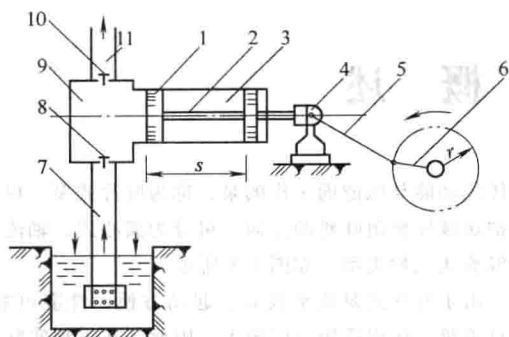


图 1-2 往复泵工作原理示意图

- 1—活塞 2—活塞杆 3—活塞缸 4—十字接头
5—连杆 6—带轮 7—进水管 8—进水阀
9—工作室 10—排水阀 11—压水管

能，而将液体提升的泵；气升泵是以压缩空气为动力

来提升液体的泵；水锤泵是利用管道中产生水锤压力进行提水的泵等。

这些特殊泵在工程实际中用来送水或药剂（混凝剂、消毒剂等）常常起到良好的效果。

泵的详细分类情况见表 1-1。

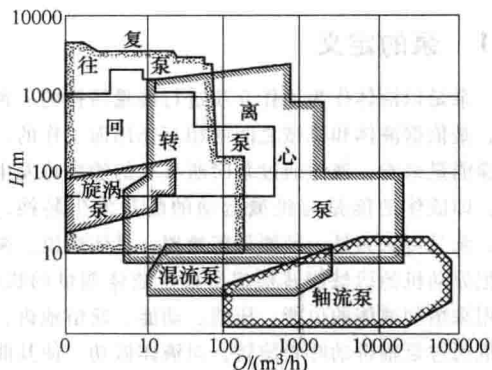


图 1-3 各种泵的适用范围

表 1-1 泵的详细分类

叶片式泵	离心泵	单级（单吸、双吸、自吸、非自吸） 多级（节段式、蜗壳式）
	混流泵	蜗壳泵、导叶式（固定叶片、可调叶片）
	轴流泵	固定叶片、可调叶片
	旋涡泵	单级、多级、自吸、非自吸
容积式泵	往复泵	（活塞式、柱塞式）蒸汽双作用（单缸、双缸） 电动往复式——单作用、双作用（单缸、多缸）
	转子泵	螺杆式（单、双、三螺杆）、齿轮式（内啮合、外啮合） 环流活塞式（内环流、外环流）、滑片式、凸轮式 轴向柱塞式、径向柱塞式
其他类型泵		射流泵、气升泵、水锤泵、电磁泵、水轮泵等

1.3 泵的过流部件

叶片式泵的主要过流部件有叶轮、吸水室、压水室（包括径向导叶和空间导叶）等。

1.3.1 叶轮

叶轮是泵的重要工作部件，它的形状、尺寸、加工工艺等对泵性能有决定性的影响。它的作用是把原动机输入的能量传给液体。单吸、双吸离心泵叶轮分别如图 1-4、图 1-5 所示。

离心泵叶轮主要有三种结构形式：有前后盖板的称为闭式叶轮；仅有后盖板的称为半开式叶轮；无前后盖板的称为开式叶轮。另外叶片的结构形式也可分为圆柱形叶片和扭曲叶片两种。叶轮与叶片的结构形式如图 1-6 所示。

一般闭式叶轮有 2~12 个后弯式叶片，具有较高的运行效率，如前述的单吸式、双吸式清水离心泵就采用了这种叶轮。其中单吸泵叶轮由于具有轴向力，因此有的叶轮在叶片的根部开有平衡孔。

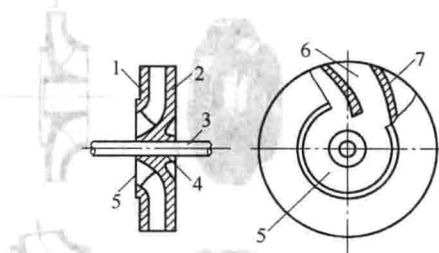


图 1-4 单吸式叶轮

- 1—前盖板 2—后盖板 3—泵轴 4—轮毂
5—吸入口 6—流道 7—叶片

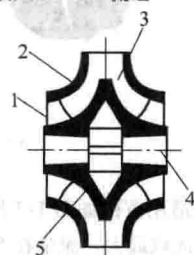


图 1-5 双吸式叶轮

- 1—吸入口 2—盖板 3—叶片 4—轴孔 5—轮毂

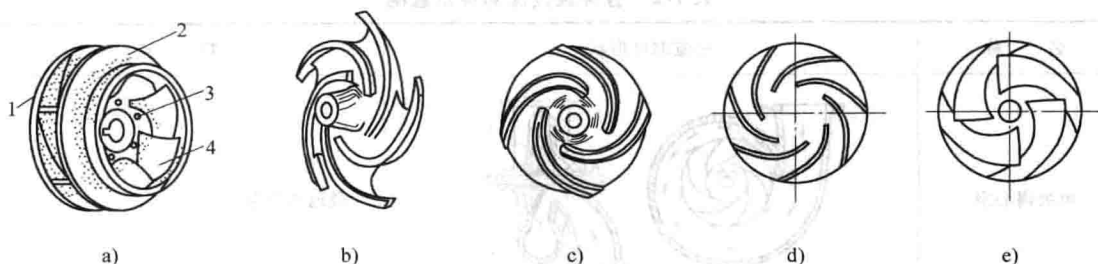


图 1-6 叶轮与叶片的结构形式

a) 闭式叶轮 b) 开式叶轮 c) 半开式叶轮 d) 圆柱形叶片 e) 扭曲叶片
1—后盖板 2—前盖板 3—平衡孔 4—叶片

半开式与开式叶轮叶片数较少，一般为 2~5 片，大多用于抽送浆粒状液体或污水，如污水泵的叶轮。在排污领域，为了保证输送含有固体颗粒、纤维等缠绕物的介质时无堵塞，常采用流道式叶轮。

叶轮材料要有足够的机械强度，并有一定的耐磨、耐腐蚀性。根据输送介质的要求，目前通常采用

铸铁、铸钢、不锈钢或青铜等材料。

1.3.2 吸水室

吸水室位于叶轮前面，其作用是把液体引向叶轮。吸水室通常有三种类型：直锥形、弯管形和螺旋形，如图 1-7 所示。

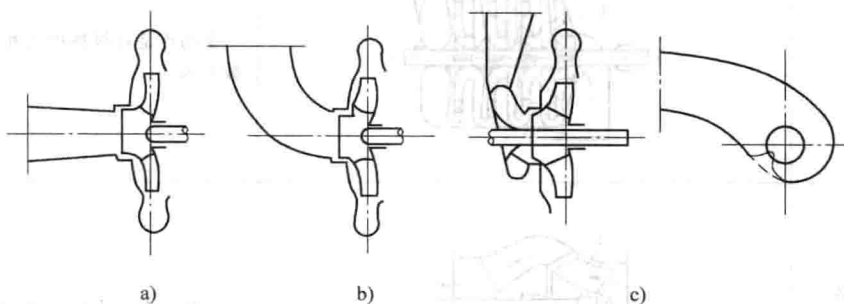


图 1-7 吸水室的类型

a) 直锥形 b) 弯管形 c) 螺旋形

1.3.3 压水室

压水室位于叶轮外围，有时也称泵体。其作用是收集从叶轮中流出的液体，并将大部分动能转化为压

能，然后送入排出管，压水室的类型如图 1-8 所示。

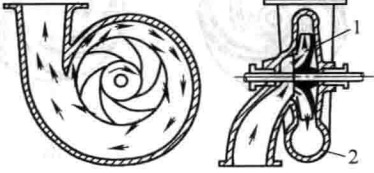
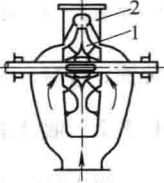
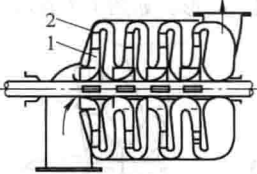
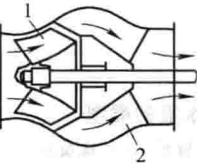
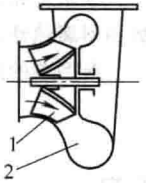
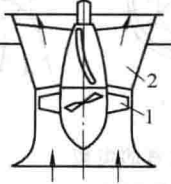
吸水室和压水室的材料应有足够的机械强度、耐磨和耐腐蚀性，一般采用铸铁、铸钢或不锈钢铸造。典型泵的过流部件示意图见表 1-2。



图 1-8 压水室的类型

a) 径向导叶 b) 空间导叶 c) 螺旋形压水室 d) 环形压水室
1—叶轮 2—蜗室 3—扩散管

表 1-2 各种泵过流部件示意图

名称	过流部件形状	特点
单吸离心泵		最通用的泵
双吸离心泵		大流量、中等扬程、检修方便
多级离心泵		泵扬程是各级扬程之和,高达数百米至数千米
导叶式混流泵 (斜流泵)		扬程在 10 ~ 20m 之间,径向尺寸小
蜗壳式混流泵		中低扬程、大流量,结构简单
轴流泵		低扬程、大流量

注: 1—叶轮; 2—压水室(导叶)。