



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

给排水科学与工程专业

# 水泵与水泵站

主 编 张 伟 周书葵

提供电子课件

- 重视工程思维训练，强调工程实践能力
- 总结给排水科学与工程实践经验与实例



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

## 水泵与水泵站

主 编	张 伟	周书葵
副主编	汪彩文	谢德华
参 编	李 斌	汪爱河
	周 俊	谢 敏



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内容简介

本书从水泵基本理论、水泵与泵站的运行调节及节能、泵站的工艺设计与运行管理角度出发对给排水科学与工程中常用水泵及泵站作了相应介绍。全书共分6章,第1章主要介绍了泵及泵站在给排水科学与工程中的地位 and 作用,以及泵及泵站运行管理的发展现状及特点;第2章主要对给排水科学与工程中常用的叶片式水泵的基本工作原理、构造、性能参数、基本方程式作了简要介绍;第3章主要介绍了离心泵装置运行工况及其工况调节,并对现行水泵装置的节能与控制作了介绍;第4章主要对射流泵、气升泵、往复泵、螺旋泵、水环式真空泵、螺杆泵的构造、工作原理、性能特点和选用计算作了简要介绍;第5章从给水泵站的特点、水泵的选择、机组布置与基础、辅助设备等角度介绍了给水泵站工艺设计、计算及其具体的应用实例;第6章结合实例就污水泵站、雨水泵站、合流泵站的构造特点、工艺设计作了介绍。

本书可作为高等院校给排水科学与工程专业本科教材,也可作为环境工程、水利工程等专业的参考教材,还可作为从事泵站规划和泵站运行管理技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

水泵与水泵站/张伟,周书葵主编. —北京:北京大学出版社,2014.1

(21世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-23346-7

I. ①水… II. ①张…②周… III. ①水泵—高等学校—教材②泵站—高等学校—教材 IV. ①TV675

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第245202号

书 名: 水泵与水泵站

著作责任者: 张伟 周书葵 主编

策划编辑: 曹薇

责任编辑: 伍大维

标准书号: ISBN 978-7-301-23346-7/TU·0371

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电子信箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 17印张 396千字

2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷

定 价: 35.00元



未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

21 世纪的工程教育改革趋势是“回归工程”，工程教育将更加重视工程思维训练，强调工程实践能力。针对工科院校给排水科学与工程专业的特点和发展趋势，为了培养和提高学生综合运用各门课程基本理论、基本知识来分析解决实际工程问题的能力，编者总结近年来给排水科学与工程的实践经验与实例，组织编写了本书。

水泵与水泵站是给排水科学与工程中不可缺少的组成部分，在给水管网或排水系统中起着不可替代的枢纽作用。离开水泵，整个给水管网或排水工程系统将不能正常运行。因此，水泵与水泵站是高等学校给排水科学与工程、环境工程、水利工程等专业学生必修的一门重要的专业基础课。

水泵与水泵站技术发展迅速，新技术、新产品层出不穷，为适应教学的需要，使教学与工程紧密结合，使教学与新技术、新产品发展相适应，编者在总结多年的教学和工程实践的基础上，借鉴许多前辈的经验，根据新技术、新产品的发展趋势，编写了本书。

本书参加编写的人员有湖南城市学院张伟博士、南华大学周书葵教授、长沙理工大学谢敏副教授、广州工业大学李斌副教授、湖南科技大学谢德华讲师、湖南城市学院汪彩文讲师、湖南城市学院周俊讲师、湖南城市学院汪爱河讲师。具体编写分工：第 1 章由谢德华编写，第 2 章由张伟、周俊、汪爱河编写，第 3 章由李斌编写，第 4 章由周书葵编写，第 5 章由张伟、汪彩文编写，第 6 章由张伟、谢敏编写。本书由张伟、周书葵担任主编，汪彩文、谢德华担任副主编。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2013 年 6 月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	2.4.3 基本方程式的推导 .....	23
1.1 泵及泵站在给水排水工程中的 地位和作用 .....	1	2.4.4 基本方程式的讨论与 修正 .....	24
1.2 泵的定义及分类 .....	2	2.5 叶片式水泵的特性曲线 .....	26
1.3 发达国家泵及泵站运行管理的 发展现状及特点 .....	4	2.5.1 理论特性曲线的推求 .....	26
1.3.1 国内外泵站工程的发展 状况 .....	4	2.5.2 理论特性曲线的修正 .....	27
1.3.2 国外泵站的运行、管理及 自动化 .....	6	2.6 叶轮相似定律及相似准数 .....	28
1.3.3 国外泵站工程的管理 体制 .....	7	2.6.1 工况相似 .....	29
1.3.4 国外泵站技术和管理制度 值得学习和借鉴的地方 .....	7	2.6.2 叶轮相似定律 .....	31
本章小结 .....	8	2.6.3 轴流泵的特性曲线及 特点 .....	38
习题 .....	8	2.7 离心泵的吸水性能 .....	39
<b>第 2 章 叶片式水泵的构造及理论 基础</b> .....	9	2.7.1 吸水管中压力的变化及 计算 .....	39
2.1 叶片式水泵的工作原理 .....	10	2.7.2 气穴和气蚀 .....	41
2.1.1 离心泵的工作原理 .....	10	2.7.3 泵最大安装高度 .....	41
2.1.2 轴流泵的工作原理 .....	11	2.7.4 气蚀余量(NPSH) .....	43
2.1.3 混流泵的工作原理 .....	12	本章小结 .....	45
2.2 叶片式水泵和基本构造 .....	12	习题 .....	45
2.2.1 离心泵的基本构造和主要 零部件 .....	12	<b>第 3 章 离心泵装置的运行与调节</b> .....	47
2.2.2 轴流泵的基本构造和主要 零部件 .....	17	3.1 离心泵装置的总扬程 .....	48
2.2.3 混流泵的基本构造和主要 零部件 .....	18	3.1.1 离心泵装置的工作扬程 .....	48
2.3 叶片式水泵的基本参数 .....	19	3.1.2 离心泵装置的需要扬程 .....	49
2.4 叶片式水泵的基本方程 .....	21	3.1.3 离心泵装置管路系统 特性 .....	50
2.4.1 叶轮中液体流动情况 .....	21	3.2 离心泵装置工况点的确定 .....	52
2.4.2 叶轮出口速度三角形 .....	22	3.2.1 图解法求离心泵装置的 工况点 .....	52
		3.2.2 数解法求离心泵装置的 工况点 .....	54
		3.3 离心泵装置工况调节 .....	57
		3.3.1 节流调节 .....	57
		3.3.2 变速调节 .....	58

3.3.3 变径调节 .....	63	4.6.1 螺杆泵的构造及工作 原理 .....	132
3.4 离心泵并联及串联运行工况 .....	68	4.6.2 螺杆泵的选用 .....	136
3.4.1 并联运行工况点的 图解法 .....	69	4.6.3 螺杆泵故障的常见原因及 处理方法 .....	137
3.4.2 并联运行工况点的 数解法 .....	77	本章小结 .....	137
3.4.3 串联运行工况 .....	83	习题 .....	138
3.5 水泵装置的节能与控制 .....	84	<b>第5章 给水泵站</b> .....	139
3.5.1 水泵装置的节能 .....	84	5.1 给水泵站的分类和特点 .....	140
3.5.2 水泵装置的控制 .....	86	5.1.1 取水泵站 .....	140
3.6 离心泵的使用与维护 .....	93	5.1.2 送水泵站 .....	141
3.6.1 离心泵的使用 .....	93	5.1.3 加压泵站 .....	142
3.6.2 离心泵的维护 .....	94	5.1.4 循环泵站 .....	142
本章小结 .....	98	5.2 水泵的选择 .....	143
习题 .....	98	5.2.1 选泵基本原则 .....	143
<b>第4章 其他泵</b> .....	100	5.2.2 选泵主要依据 .....	143
4.1 射流泵 .....	100	5.2.3 选泵要点 .....	145
4.1.1 射流泵的构造及工作 原理 .....	101	5.2.4 水泵选择 .....	148
4.1.2 射流泵基本方程及简化 计算 .....	102	5.2.5 方案比较与校核 .....	149
4.1.3 射流泵的性能及应用 .....	105	5.3 水泵机组的布置与基础 .....	153
4.2 气升泵 .....	107	5.3.1 泵机组的布置 .....	153
4.2.1 气升泵的构造及工作 原理 .....	107	5.3.2 泵机组的基础 .....	155
4.2.2 气升泵计算及应用 .....	114	5.4 管道设计 .....	156
4.3 往复泵 .....	116	5.4.1 吸水管路的基本要求与 布置 .....	156
4.3.1 往复泵的构造及工作 原理 .....	117	5.4.2 压水管路的基本要求与 布置 .....	159
4.3.2 往复泵性能特点和应用 .....	120	5.4.3 吸水、压水管道敷设 .....	163
4.4 螺旋泵 .....	121	5.4.4 泵房室外出水管道的敷设 .....	164
4.4.1 螺旋泵的工作原理 .....	121	5.5 给水泵站的主要辅助设备 .....	165
4.4.2 螺旋泵装置 .....	122	5.5.1 引水设备 .....	165
4.4.3 螺旋泵的特点及用途 .....	124	5.5.2 计量设备 .....	167
4.5 水环式真空泵 .....	127	5.5.3 起重设备 .....	169
4.5.1 水环式真空泵的构造和 工作原理 .....	128	5.5.4 通风与采暖 .....	173
4.5.2 水环式真空泵的性能 .....	128	5.5.5 泵房内部给水与排水 .....	175
4.5.3 水环式真空泵的选择 .....	130	5.5.6 泵房安全设施 .....	179
4.6 螺杆泵 .....	131	5.6 给水泵站电气概述 .....	180
		5.6.1 变配电系统中负荷等级及 电压选择 .....	181

5.6.2	泵站中常用的变配电系统	181	6.1.4	排水泵站设计注意要点	234
5.6.3	变电所	183	6.2	污水泵站的工艺设计	234
5.6.4	电动机的选择	184	6.2.1	污水泵站的特点和一般规定	234
5.7	停泵水锤	185	6.2.2	水泵选型	235
5.7.1	停泵水锤特点	186	6.2.3	集水池容积及结构形式	236
5.7.2	停泵水锤防护措施	189	6.2.4	机组与管道的布置特点	236
5.8	泵站噪声控制	201	6.2.5	污水泵站中的辅助设备	237
5.8.1	泵站噪声源	201	6.2.6	排水泵站的构造特点	240
5.8.2	泵站噪声防治措施	202	6.3	雨水泵站的工艺设计	244
5.9	给水泵站土建特点	203	6.3.1	雨水泵站的特点与一般规定	244
5.9.1	一级泵站	203	6.3.2	选泵	245
5.9.2	二级泵站	206	6.3.3	泵房的基本类型	245
5.9.3	循环泵站	207	6.3.4	集水池的设计	246
5.10	深井泵站与潜水泵站	208	6.3.5	出流设施	249
5.10.1	深井泵站	208	6.3.6	附属设备相关规定	249
5.10.2	潜水泵站	211	6.3.7	雨水泵站工艺设计实例	250
5.11	给水泵站的工艺设计	212	6.4	合流泵站的工艺设计	253
5.11.1	设计资料	212	6.4.1	合流制的适用条件	254
5.11.2	泵站工艺设计步骤和方法	213	6.4.2	城市合流水量	254
5.11.3	泵站的技术经济指标	215	6.4.3	合流制泵站的特点	255
5.11.4	取水泵站工艺设计实例	216	6.4.4	合流泵站规划用地指标	255
本章小结		228	6.4.5	水泵配置	255
习题		229	6.4.6	合流泵站的构造特点	256
<b>第6章 排水泵站</b>		<b>230</b>	6.4.7	合流泵站工艺设计实例	256
6.1	概述	231	本章小结		260
6.1.1	组成与分类	231	习题		261
6.1.2	站址的选择	231	<b>参考文献</b>		<b>262</b>
6.1.3	排水泵站的基本类型	232			

# 第1章 绪论

## 教学目标

主要讲述泵及泵站的基本定义,以及目前国际国内的实际情况。通过本章的学习,应达到以下目标:

- (1) 泵的定义及分类;
- (2) 了解各种水泵型号的意义。

## 教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
泵的定义	掌握泵的定义	泵的定义
泵的分类	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 按照工作原理分类</li><li>(2) 按照流体性质分类</li><li>(3) 其他分类方法</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 叶片式泵、容积式泵等</li><li>(2) 清水泵和污水泵</li><li>(3) 立式泵和卧式泵、单吸泵和双吸泵、电动泵、汽轮机泵、柴油机泵</li></ol>



## 基本概念

泵、泵的分类标准等。

## 1.1 泵及泵站在给水排水工程中的地位和作用

泵的基本功能是将流体等物质从低位提升到高位,或者从一个地方输送到另外一个地方。在这一过程中,外界提供的能量(一般是电能或者热能)通过泵这一机械装置被转换成流体等物质所具有的机械能(势能或动能),从而使流体等物质能顺利到达目标位置。

泵的应用范围非常广泛,几乎所有与流体能沾上边的地方都会用到,如农业灌溉、生活用水、城市排污、化工厂原料输送、电厂冷却、石油开采与输送、轮船动力、航空航天等。所有与流体打交道的企业都会用到泵,如自来水公司、炼油厂、油田、房地产企业,化工厂、造船厂、火电厂、核电厂、污水处理厂等。同时,各种行业有不同类型的泵,功能分类十分广泛。

在城市给水和排水工程中,水泵及泵站是极其重要的组成部分。它们通常是整个给水排水系统正常运转的枢纽。图 1.1 所示为城市给水排水系统工艺基本流程。由图可知,原水由取水泵站,从水源地(江、河、湖、水库等)抽送至自来水厂,净化后的清水由送水泵站输送到城市管网,流入工厂、企业以及千家万户。城市中的废水,经过各区域的排水管



网收集进入排水泵站，由各区域的排水泵站将各路污(废)水输送至污水处理厂。经过一系列的污水处理工艺后，由污水处理厂的主泵站将处理合格的出厂水，再回送入江、河、湖水之中。

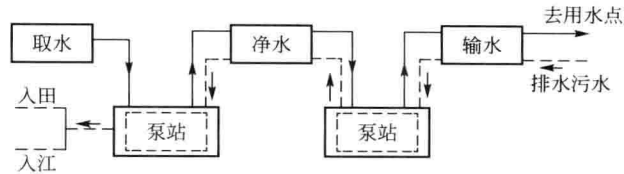


图 1.1 城市给水排水系统工艺基本流程

图 1.1 中虚线表示城市中排泄的生活污水和工业废水经排水管渠系统汇集后，由各区域排水泵站将污水抽送回污水处理厂，是一个逆向的循环过程。实际上，在排水管渠系统中使用泵站的场合是相当多的。除抽送污水和工业废水的泵站外，还有专门抽送雨水的泵站，也有仅用来抽送城市地势低洼区防洪排涝的区域性泵站，在污水处理厂内，往往从沉淀池把新鲜污泥抽送到污泥消化池，从沉砂池中排除沉渣，从二次沉淀池中提送回流活性污泥等，都要用各种不同类型的泵和泵站来保证运行。

由此可见，水的采集、净化、输送、回收利用，直到再净化、再输送及再利用的过程，都涉及泵的使用。泵在给水处理工程中的作用就如同心脏对人的作用。

此外，全国多跨区、跨市的长距离、大流量的输配水系统工程的建设也带动了大型水泵和水泵站的发展及应用。在这些大型的调水工程中，泵站的建设和运行管理通常是起很重要的角色。诸如“引黄(河)济青(岛)”工程，是一项较大规模的跨流域的调水工程。该工程由山东博兴县引黄河水，经惠民、东营、潍坊、青岛四市，全长 290km，沿线建造 5 个梯级站，安装 34 台大型机组，每天为青岛供水  $30 \times 10^4 \text{m}^3$ 。该工程质量优，技术先进，荣获“国家科技进步奖”。

从经济的角度来看，城市供水企业一般都是用电大户。在整个给水工程的用电量中，95%~98%的电量是用来维持泵的运转，其他 2%~5%是用于制水过程中的辅助设备(如电动阀、排污泵、真空泵、机修及照明等)。以一般城镇水厂而言，泵站消耗的电费，通常占自来水制水成本的 40%~70%，甚至更多。就全国泵机组的电能消耗而言，它占全国电能总耗的 21%以上。因此，通过科学调度，提高机泵设备的运行效率；采用调速电机，扩大泵机组的高效工作范围；对役龄过长、设备陈旧的机泵，及时采取更新改造等措施，都是合理降低泵站电耗的重要途径。

## 1.2 泵的定义及分类

泵是输送和提升流体的机器。它把原动机的机械能转化为被输送液体的能量，使液体获得动能或势能。由于泵在国民经济各部门中应用很广，品种系列繁多，对它的分类方法也各不相同。按工作原理不同可分为以下三类。

(1) 叶片式泵，依靠旋转的叶轮对液体的动力作用，把能量连续地传递给液体，使液体的动能和压力能增加(主要是动能)，随后通过压出室将动能转换为压力能，又可分为离

心泵、轴流泵、混流泵和旋涡泵等。

(2) 容积式泵, 依靠包容液体的密封工作空间容积的周期性变化, 把能量周期性地传递给液体, 使液体的压力增加至将液体强行排出, 根据工作元件的运动形式又可分为往复泵和回转泵。根据运动部件结构不同, 有活塞泵、柱塞泵、齿轮泵、螺杆泵和水环泵等。

(3) 其他类型的泵, 以其他形式传递能量。如射流泵依靠高速喷射的工作流体将需输送的流体吸入泵后混合, 进行动量交换以传递能量; 水锤泵利用制动时流动中的部分水被升到一定高度传递能量; 电磁泵是使通电的液态金属在电磁力作用下产生流动而实现输送。

另外, 泵也可按输送液体的性质、驱动方法、结构、用途等进行分类。

按流体性质不同可分为清水泵和污水泵等。

清水泵主要用于城市给水处理工程, 污水泵主要应用于城市污水处理工程, 两者在构造上有所不同。污水泵有自身的结构特点, 污水泵的扬程都不高, 由于污水中杂物较多, 叶轮的间隙比清水泵大。污水泵容易产生的故障, 和一般离心泵也是相似的, 因为抽污水, 所以叶轮磨损较快。污水泵属于离心泵范围, 结构和原理与一般离心泵是一样的。普通清水泵是以获得最高效率而设计的, 也就是说, 清水泵的水力结构参数是获得最高效率的最佳组合。对污水泵这类有特殊要求的泵其效率不可能超过同一时期的清水泵。污水泵的效率低于清水泵的主要原因是它们的过流通道加宽了。效率下降的值主要与加宽的程度有关。污水泵流道加宽是为防止阻塞, 污水泵的叶轮比清水泵简单, 没有护圈, 这样就不会挡住污草, 叶轮的下面还有一个锯齿片, 可以上下调节, 能把线头、布片绞碎并抽出。

按泵轴位置分为立式泵和卧式泵。

按吸口数目分为单吸泵和双吸泵。

按驱动泵的原动机分为电动泵、汽轮机泵、柴油机泵。

上述各种类型泵的使用范围是很不相同的。图 1.2 所示为常用的几种类型泵的总型谱图。由图可见, 目前定型生产的各类叶片式泵的使用范围是相当广泛的, 而其中离心泵、轴流泵、混流泵和往复泵等的使用范围各具有不同的性能。往复泵的使用范围侧重于高扬程、小流量。轴流泵和混流泵的使用范围侧重于低扬程、大流量。而离心泵的使用范围则介乎两者之间, 工作区间最广, 产品的品种、系列和规格也最多。

以城市给水工程来说, 一般水厂的扬程为 20~100m, 单泵流量的使用范围一般为 50~10000m<sup>3</sup>/h。要满足这样的工作区间, 由总型谱图可以看出, 使用离心泵装置是十分合适的。某些大型水厂, 也可以在泵站中采取多台离心泵并联工作方式来满足供水量的要求。从排水工程来看, 城市污水、雨水泵站的特点是大流量、低扬程, 扬程一般在 2~12m, 流量可以超过 10000m<sup>3</sup>/h, 这样的工作范围, 一般采用轴流泵比较合适。

综上所述, 在城镇及工业企业的给水排水工程中, 大量的、普遍使用的泵是离心式和轴流式两种。

目前, 我国对泵的型号的编制方法尚未完全统一, 但大多数产品主要以汉语拼音字母来表示泵的结构类型和特征。在泵样本及使用说明中, 都应对泵型号的组成和含义加以说明。例如, 一般大写字母有如下含义:

Q 代表潜水, W 代表排污, G 代表管道, Y 代表液下, N 代表泥浆, Z 代表自吸, L 代表立式, JY 代表搅匀, P 代表不锈钢, B 代表防爆等。

下例为无堵塞潜水式排污泵 QW(WQ)的名称的具体含义。

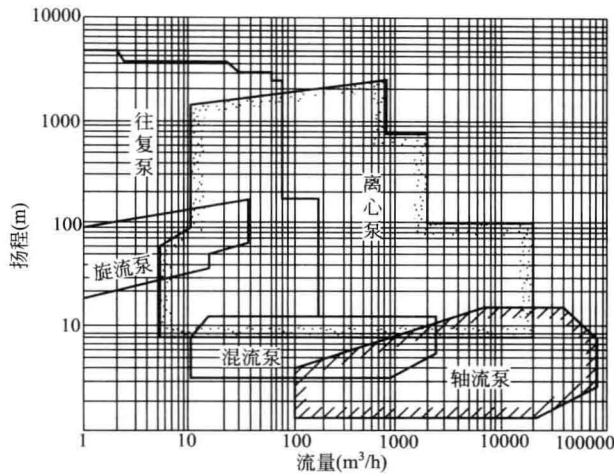


图 1.2 常用几种泵的总型谱图

例：80WQ(QW)P40-15-4



## 1.3 发达国家泵及泵站运行管理的发展现状及特点

随着世界经济的高速发展，水资源的战略地位愈来愈重要，水资源的高效利用和有效管理越来越得到世界各国政府的高度重视。以“水——可持续发展的关键”为主题的国际淡水会议于 2002 年 12 月 3 日在德国波恩拉开序幕。世界各国先后出台了水资源调度及综合利用、水土保持、按用途优化用水及海水淡化等方针政策，并以此来解决日益严重的水危机问题。

泵站作为水的唯一人工动力来源，作为重要的工程措施，它在水资源的合理调度和管理中起着不可替代的作用。同时，泵站在防洪、排涝和抗旱减灾，以及工农业用水和城乡居民生活供水等方面发挥着重要作用。另外，泵站为耗能大户，节能和节水问题一样重要。因此，泵站的经济运行和优化管理就显得尤为重要。

### 1.3.1 国内外泵站工程的发展状况

修建泵站是解决洪涝灾害、干旱缺水、水环境恶化当今三大水资源问题的有效工程措

施之一。泵站承担着区域性的防洪、除涝、灌溉、调水和供水的重任，主要用于农田排灌、城市给排水及跨流域调水等。泵站与其他水利建筑物不同，它无须修建挡水和引水建筑物，对资源和环境无影响，受水源、地形、地质等条件的影响较小，且具有投资省、成本低、工期短、见效快、灵活机动等优点。但是，泵站运行要耗能，设备维护和更新费用高。尽管如此，许多国家还是把泵站工程建设列为优先考虑的重点。尤其是荷兰、日本和美国等国家，他们的发展速度较快，技术更先进，管理更完善，有许多东西值得我们借鉴和学习。

荷兰是一个地势低洼的国家，约有四分之一的国土面积低于海平面，历史上即以筑堤、排水、围海造田而著称，再加上部分地区开垦沼泽地等，其排水问题十分突出。为了解决这些矛盾，荷兰政府兴建了众多的大型排水泵站，迄今已从围海造田中增加土地面积约 60 万  $\text{hm}^2$ 。荷兰排水泵站的特点是扬程低、流量大。如 1973 年兴建的爱茅顿排水泵站，最大扬程仅 2.3m，单机流量  $37.5\text{m}^3/\text{s}$ ，总排水能力  $150\text{m}^3/\text{s}$ ，并有可能在将来扩大至  $350\sim 400\text{m}^3/\text{s}$ 。荷兰目前已建成的大型泵站有 600 多座，安装口径 1.2m 以上的大型水泵机组 2400 多台（荷兰泵的转速高，其口径 1.2m，相当于我国口径 1.8m 以上的大泵），其泵站的数量是我国泵站数量的三倍以上。在水泵设计及装置配套方面，荷兰有世界著名的水力机械专家，可对水泵装置进行性能测试、水锤计算、模型试验等；在机械方面，可进行振动计算和测量、性能和噪声的监测等。他们还广泛利用计算机，从计算机辅助选型(CAS)、计算机辅助设计(CAD)到计算机辅助制造(CAM)；从水力、结构优化设计到叶片、导叶加工的严格控制，全程使用计算机，使产品在高度先进的设计和工艺基础上制造出来。荷兰比较注重科研的投入，科研力量很强，研究机构齐全，设施非常完善，对水泵及其进、出水流道均有比较系统的研究。完美的设计和制造，提高了机组的性能指标，增加了泵站运行的安全性和稳定性。

日本是一个岛国，国土面积大部分为山地、丘陵，人均拥有的耕地面积较少。为增加土地面积，日本采用了大规模拦海造地的方法，同时兴建了一批排水泵站，以解决易涝地区的排渍问题。目前，日本由国家投资兴建的水库、水渠、水闸、泵站等骨干水利设施共 1443 项，灌排水渠总长 17810km。全国共有 7400 个土地改良区，控制面积 340 万  $\text{hm}^2$ 。现在的日本灌排事业，已远远超过了因种植水稻而必须具备的功能。所到之处，灌溉排水设施与自然密切共存，相依相伴。它们在储存地下水、防洪、防污治污、国土治理的生态环境中，发挥着极为重要的作用，维护和创造了日本优美的农村景观和人文环境。在该国众多的大型泵站中，新川河口和三乡排水站是较有代表性的。新川河口排水站共装有 6 台直径为 4.2m 的贯流式水泵，扬程 2.6m，单台泵流量  $40\text{m}^3/\text{s}$ ，排水受益面积 30 万亩（1 亩=666.67 平方米，下同）。三乡排水站装有直径为 4.6m 的混流泵，单台泵流量  $50\text{m}^3/\text{s}$ ，设计扬程 6.3m。

1902 年，美国国会通过《灌溉法案》，拉开了西部 17 个州水利建设的序幕。20 世纪 30 年代初遭遇经济大萧条后，总统富兰克林·罗斯福提出“新政”，把以水利设施为主的公共工程建设作为刺激经济的重要手段之一。大批水力发电、防洪、灌溉、调水等综合性工程纷纷上马，全国水利建设达到空前高潮。经过近一百年的努力，已建成并管理 345 座水库、254 座大坝、267 座泵站、21.6 万  $\text{km}$  渠道、2300km 输水干管、950km 隧洞和 58 座水电站，这些水资源开发利用骨干工程的建设 and 建成，为西部的社会和经济的发展奠定了坚实的基础，解决了 3100 万人的用水问题，为西部 1000 万英亩（1 英亩=4046.86 平方

米,下同)农田提供了灌溉水,这些农田生产的蔬菜目前在全美蔬菜总产量中占到60%。美国拥有世界上流量和扬程最大的泵站——埃德蒙斯顿泵站。它位于美国加州中部圣华金河谷地区的贝克斯菲尔德市南郊,是全长864km加州北水南调工程干渠上22座大型泵站之一(将水从加州北部干渠越过Tehachapi山脉输送到加州南部)。埃德蒙斯顿泵站装有14台泵,每台泵的流量为 $9\text{m}^3/\text{s}$ ,需提供的净扬程为587m(不包括管路损失),效率为92.2%,转速是600r/m(与电动机同),配套电动机功率为8万马力(近6万kW)。泵站总流量为 $125\text{m}^3/\text{s}$ ,配套总功率112万马力,年耗电量约60亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。水泵为立轴4级串联,高9.45m,转轮直径4.88m,重220t。水泵与电动机直联,机组总高近20m,重420t。该工程于1951年5月提出方案论证,1965年5月最终确定方案,1971年9月正式提出实施,1984年完成最后3台机组的安装,工程总投资约1.75亿美元。

### 1.3.2 国外泵站的运行、管理及自动化

国外泵站在运行、管理方面自动化程度高,监控系统完善。这样,既提高了泵站运行的安全性、可靠性和经济性,又节约了人力资源,为工程的维护提供了可靠依据。其中,泵站在运行、管理方面自动化程度高的有美国、日本、英国和荷兰等。

美国西部调水工程的建设和管理经验表明,对系统实行集中统一调度具有许多优越性。加州的调水工程由水资源部统一管理运行,并于1964—1974年安装了控制系统,包括计算机、通信和电子设备。该系统可对17座泵站和电厂,71座节制闸的198个闸门和其他各种设备、设施实行计算机通信、监控、检测和调度。为便于工程的控制和运用,除在萨克拉门托市设置中央控制室外,还在奥洛维尔、三角洲、圣路易斯、圣华金和南加州等5个区域设置分控制中心。中央控制室负责所有工程的管理和协调,同时也兼作其各分控制中心的备用。整个控制系统的投资为1350万美元,其中中央控制系统为260万美元。

中央控制系统主要由计算机系统、CRT系统、调度控制台、模拟屏、打印系统和通信系统组成。其中,模拟屏高3m,长16m,带有警铃装置。一旦出现事故或非常情况,警铃会自动报警。

日本水管理几乎全部实现了自动化。工程设施和自动化设备均有明确的使用期限,一般规定10~20年更新一次。所以,20世纪60—70年代兴建的水利工程和安装的设备,现已完成改造、扩建,并安装新的计算机系统。监控系统大都采用集中管理的分层分布式结构,即在一个水系上设有中央管理站,采用计算机和遥测、遥控装置对各种泵站、水工建筑物、渠道等进行集中监控,以达到水资源综合利用的目的。各分站和中央管理站之间采用无线电进行联系,也有采用国家专用电话线进行联系的,70—80年代新装的设备大多采用微波通信。水管理系统的监控设备随着CRT的高密度化,辅助存储器的小型化、大容量化及微型计算机的普及和个性化等,大大地提高了工程的自动化水平。大型泵站由于设备比较集中,易于实现自动化。例如,新川河口排水站装有6台贯流式轴流泵,扬程2.6m,单台泵流量 $40\text{m}^3/\text{s}$ ,该站的水泵及其他设备均由中央控制室远距离操作。为保证新川河口的水位稳定在设计范围内,采用自动调节水泵叶片安装角和自动选择运转台数的控制机构,并根据内外水位差的变化,可发出开启自动排水闸的信号。该站的其他辅助设备 and 自动清污装置,也均由中央控制室操作。

### 1.3.3 国外泵站工程的管理体制

和其他水利工程一样，“有法可依、有法必依”是泵站工程稳定发展的基础和保证，充足的经费是泵站保证正常持续运转、实行有效管理的动力源泉。不同制度下的国家对泵站工程投资、管理的方法不同，其中管理、投资体制比较完善的国家有日本、荷兰和美国等。

美国是联邦制国家，各州都有相当大的立法权，州政府与联邦政府的关系相对较为松散，这就形成了其在泵站管理上实行以州为基本单位的管理体制。在政治体制上，美国实行私有制，在经济管理上，政府主要任务是基础设施的建设。在过去的一百多年里，联邦政府对水利建设十分重视，兴建了一大批水利设施，收到了明显的经济效益。近二十年来，由于联邦财政困难，其职责更多地由州政府履行，从而更加确立了以州为基本管理单位的管理体制。泵站的运行管理费用则由受益人根据受益的多少来承担。以城市供水为例，它主要通过向用水部门和个人计收水费而获得。在水费的具体收费办法上，各地一般分为七至八项。第一项为发行供水债券，主要用于新增供水及污水处理能力；第二项为地产税中有10%左右为水资源税；第三项为供水与污水处理统一收费；第四项为地下管线接管费；第五项为家庭排污年附加费；第六项为企业单位废水检测费；第七项为取水许可费及违规罚款等。水费的定价为一年一定。每年各城市及各供水区的水务部门会同用户代表，对下一年度的水供需情况进行分析，同时对下一年度的供水及污水处理的财务情况也进行预测，在财务平衡的基础上制订水价。美国政府对水的管理主要集中在水权的管理上。至于供水、配水的管理，则主要依靠市场自发的调节和民间机构的运作。尤其在农村，水的管理主要是通过一些灌溉公司或民间组织来进行，灌溉公司主要由水权拥有人组成。这样，既减少了政府的直接干预，也降低了政府在水资源管理方面的开支，使得政府机构运作效率更高，可以集中精力进行水管理中的重大问题的研究和决策，也避免了由于政府直接干预过多造成的效率低下的问题。在加州，中央河谷工程共兴建了约20座水坝和水库及长达800多千米的运河等，水力发电产生的电力可满足200万人的需求，加州10个农业高产县中有6个靠这一工程供水。据估计，美联邦政府在中央河谷工程上投资30亿美元，在农业等领域共产生了约100倍的回报。而包括32座水库和湖泊、1000多千米运河的加州北水南调工程，也帮助解决了占该州总人口三分之二的约2300万居民以及数千家企业的用水问题，满足了66万英亩农田的灌溉需求。以上数据表明，水利工程，特别是泵站工程在获得减灾、抗旱和排涝等直接效益的同时，还在工业增产、农业增收、人民正常生产生活等方面获得间接效益。所以，由受益单位和个人来支付其运行管理费用是不无道理的。

### 1.3.4 国外泵站技术和管理制度值得学习和借鉴的地方

(1) 国外泵站技术装备好、自动化程度高。

国外水泵的性能指标明显优于国内，机组的结构、配套和传动方式也丰富多彩。国外大型水泵生产企业制造出来的泵，一般具有转速高、体积小、重量轻等优点，其流量是我国同口径水泵流量的1.5~2倍。如荷兰1.8m的水泵与我国2.8m的水泵性能相同，但前

者的重量为 23.1t, 后者的重量却是 48t, 两者相差一倍以上。另外, 采用齿轮传动, 可以大幅度地减小电动机的体积和重量。如荷兰口径 3.6m 的贯流泵, 采用齿轮变速传动的结构设计后, 与其配套的高速电机直径仅 1.2m, 电机和齿轮箱的总重量是 15t。如果将这台泵改用我国的直接传动, 其电机直径将由原来的 1.2m 增加到 6.1m, 重量由 15t 增加到 49t。由此可见, 国外机组的高速化, 不仅使机组的体积减小、重量变轻, 而且还使厂房和土建投资大幅度降低, 特别是考虑不同机组的装置形式(立、卧、斜式)对泵房结构的影响后, 这种效果更明显。

国外水利工程建设, 十分注意严把质量关。如荷兰的水泵生产和泵站管理, 两者在业务上的关系要比我国密切得多, 水泵厂的设计人员对泵站的运行管理非常熟悉, 他们与泵站管理单位在设计、生产、制造、试验、安装、调试、运行和检修等各个环节上配合默契, 协调一致。水泵的内外表面平整光滑, 叶片铝青铜表面加工光洁度高。这样就确保了水泵符合泵站的使用要求, 不仅效率高, 空化性能好, 而且大大地延长了水泵的使用寿命, 减少了事故的发生。

而国内的泵站质量是令人置疑的。如某些泵站, 运行一段时间后就发生地基下陷和建筑物开裂。国内水泵品种规格较少、结构形式单一、制造质量普遍较差, 价格方面甚至低于与其配套的电动机。泵站设计时, 只能选用性能差不多的几种定型产品, 这样不但降低了泵站效率, 而且还留下了许多安全隐患。

国外泵站的自动化程度较高, 对泵站运行的各种指标进行长期跟踪、监测和记录, 发现问题可随时加以解决。同时, 记录下来的数据也将成为水泵开发和性能完善的依据。另外, 自动化大大减少了事故的发生, 也减少了泵站的管理工作人员。如美国, 几十千米的输水干线上, 只有几个工作人员。国内泵站一般建于 20 世纪 60—70 年代, 设备陈旧, 自动化程度低, 往往采用经验管理和定期大修的办法。这样, 大大地影响了泵站的经济性, 增加了管理开支, 造成经济上不必要的损失。

(2) 国外泵站运行管理人员少、素质好、社会分工严密。

(3) 国外十分注重工程的维护和保养、运行管理费用充足。

## 本章小结

本章主要讲述泵及泵站的基本定义和分类标准, 以及目前国际国内的实际情况。本章的重点是泵的定义及分类。

## 习 题

1. 什么叫泵?
2. 简述泵的分类。
3. 城市给水工程一般采用什么泵?
4. 指出下列水泵型号中各符号的意义: 1100B90/30; 2IS100-65-250。

# 第2章

## 叶片式水泵的构造及理论基础

### 教学目标

本章主要介绍了叶片式水泵的工作原理，包括离心泵、轴流泵和混流泵的基础理论；叶片式水泵基本构造；叶片式水泵的基本性能参数；叶片式水泵的基本方程；叶片式水泵的特性曲线；叶轮相似定律和相似准数。通过本章的学习，应达到以下目标：

- (1) 掌握叶片式水泵的工作原理；
- (2) 熟悉叶片式水泵的基本构造；
- (3) 掌握叶片式水泵的基本性能参数；
- (4) 掌握运用叶片式水泵的基本方程；
- (5) 掌握运用叶片式水泵的特性曲线；
- (6) 掌握叶轮相似定律和相似准数。

### 教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
叶片式水泵的工作原理	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 掌握离心泵的工作原理</li><li>(2) 掌握轴流泵的工作原理</li><li>(3) 掌握混流泵的工作原理</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 灌水启动</li><li>(2) 机翼的升力理论</li><li>(3) 蜗壳式和导叶式混流泵</li></ol>
叶片式水泵的基本构造	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 掌握离心泵的基本构造</li><li>(2) 掌握轴流泵的基本构造</li><li>(3) 掌握混流泵的基本构造</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 叶轮的分类</li><li>(2) 轴封装置</li><li>(3) 导叶</li></ol>
叶片式水泵的基本性能参数	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 掌握叶片式水泵的六大基本参数</li><li>(2) 掌握基本参数之间关系</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 流量</li><li>(2) 扬程</li><li>(3) 允许吸上真空高度和气蚀余量</li></ol>
叶片式水泵的基本方程	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 了解叶轮中液体流动情况</li><li>(2) 熟悉叶轮出口速度三角形</li><li>(3) 掌握基本方程式的推导</li><li>(4) 掌握基本方程式讨论和修正</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 后弯式叶片</li><li>(2) 三个假定</li><li>(3) 普夫列德尔夫</li></ol>
叶片式水泵的特性曲线	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 掌握理论特性曲线的推求</li><li>(2) 熟悉理论特性曲线的修正</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 离心泵的理论特性曲线</li><li>(2) 离心泵的实测特性曲线</li></ol>
叶轮相似定律和相似准数	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 熟悉叶片式泵的工况相似</li><li>(2) 叶轮相似定律</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 几何相似和动力相似</li><li>(2) 三大相似律</li><li>(3) 比例律的应用</li></ol>



## 基本概念

叶轮、轴封装置、泵轴、导叶、流量、扬程、允许吸上真空高度、气蚀余量、后弯式叶片、三个假定、相似律、比例律。

## 2.1 叶片式水泵的工作原理

水泵是指把原动机的机械能转化为被输送液体的能量，使液体能量(动能或势能)得到增加的装置。

按照水泵作用原理的不同分为以下三类：

(1) 叶片式水泵：依靠装有叶片的叶轮高速旋转完成对液体的压送，属于这一类的如离心泵、轴流泵、混流泵等。

(2) 容积式水泵：它对液体的压送是靠泵体工作室容积的改变来完成的。一般使工作室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如活塞式往复泵、柱塞式往复泵等；属于旋转运动这一类的如转子泵等。

(3) 其他类型水泵：螺旋泵、射流泵(又称水射器)、水锤泵、水轮泵以及气升泵等。其中除螺旋泵是利用螺旋推进原理来提高液体的位能以外，上述各种泵的特点都是利用高速液流或气流的动能或动量来输送液体的。在给水排水工程中，结合具体条件应用这类特殊泵来输送水或药剂(混凝剂、消毒药剂等)时，常常能起到良好的效果。

往复泵的使用范围侧重于高扬程、小流量。轴流泵和混流泵的使用范围侧重于低扬程、大流量。而离心泵的使用范围则介乎两者之间，工作区间最广。

### 2.1.1 离心泵的工作原理

由物理学可知，作圆周运动的物体有受向心力的作用，如果向心力不足或失去向心力，物体由于惯性就会沿圆周的切线方向飞出，离转动圆心越来越远，形成所谓的离心运动，离心泵(图 2.1)就是利用这种惯性离心运动来进行扬水的。

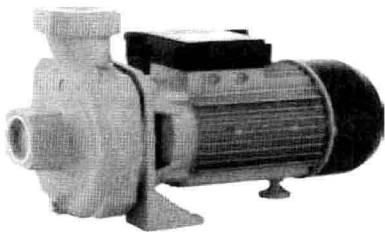


图 2.1 离心泵

图 2.3 所示为给水排水工程中常用的单级单吸式离心泵的基本构造。泵包括蜗壳形的泵壳 1，装于泵轴 2 上旋转的叶轮 3，蜗壳形泵壳的吸水口与泵的吸水管 4 相连，出水口与泵的压水管 5 相连接。泵的叶轮一般是由两个圆形盖板所组成，盖板之间有若干片弯曲的叶片，叶片之间的槽道为过水的叶槽，如图 2.3 所示，叶轮的前盖板上有一个大圆孔，这就是叶轮的进水口，它装在泵壳的吸水口内，与泵吸水管

路相连通。离心泵在启动之前，应先用水灌满泵壳和吸水管，然后驱动电机，使叶轮和水作高速旋转运动，此时，水受到离心力作用被甩出叶轮，经蜗形泵壳中的流道而流入泵的压水管，由压水管而输入管网中去。同时，泵叶轮中心处由于水被甩出而形成真空，吸水池中的水便在大气压力作用下，沿吸水管而源源不断地流入叶轮吸水口，又受到