 全国高等院校水利水电类精品规划教材

SHUIBENG YU SHUIBENGZHAN

水泵与水泵站

主编 王春堂 孙玉霞



黄河水利出版社

全国高等院校水利水电类精品规划教材

水泵与水泵站

主 编 王春堂 孙玉霞

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书系统地阐述了水泵的构造、原理、性能、工况点的确定等基础知识,以及进、出水建筑物,进、出水管道,泵房工程设计的方法、步骤。全书共分 11 章:绪论,水泵的基础知识,叶片泵的基本理论,叶片泵的运行工况及调节,水泵的汽蚀与安装高程确定,泵站工程规划,水泵选型和配套,泵房,进、出水建筑物设计,进、出水管道,泵站机组安装与运行管理。每章均设置有学习重点、学习要求、小结及思考题,以便于自学。

本书可作为高等院校水利水电工程、给水排水工程等专业的教学用书及参考书,也可作为成人教育水利水电工程、给水排水工程等专业的教材使用,并可供相关领域的广大科技工作者及工程师参考。

图书在版编目(CIP)数据

水泵与水泵站/王春堂,孙玉霞主编. —郑州:黄河水利出版社,2011.6

全国高等院校水利水电类精品规划教材

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0065 - 3

I. ①水… II. ①王… ②孙… 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(2011)第 108810 号

策划编辑:李洪良 电话:0371-66024331 邮箱:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:16.5

字数:382 千字

印数:1—4 100

版次:2011 年 6 月第 1 版

印次:2011 年 6 月第 1 次印刷

定价:32.00 元

前 言

水泵与水泵站是高等院校水利类专业的一门主干专业课,涉及水、土、电、机等众多内容。面对 21 世纪高等教育教学改革,为更好地适应人才培养需要,造就厚基础、强能力的创新人才,结合继续教育规律,有针对性地进行教与学的有机组合,提高学习成效,编写了本教材。

本教材是按照《水泵与水泵站》教材编写大纲编写的。按照教学计划要求,突出教材的实用性,每章均设置有学习重点、学习要求、小结及思考题,既能显化重点、剖析难点,又能适应各有关专业及各类人员的需求,尽可能地反映本学科的新知识、新技术,相关技术要求与国家标准和行业标准相吻合,理论与实际相结合。

本书编写人员及编写分工如下:绪论、第二章、第三章由王春堂、姬新建编写,第一章由宋德明编写,第四章由董涛编写,第五章、第七章、第八章由孙玉霞、李妮编写,第六章、第九章由朱永梅、董小花编写,第十章由张之营编写。本书由王春堂、孙玉霞担任主编,并由王春堂负责全书统稿,由朱永梅、张之营、董涛、宋德明担任副主编。

在本书编写过程中,得到了有关院校和生产单位的热情协助,在此一并表示感谢。

由于本课程涉及知识面广,限于编者水平和时间紧迫,书中缺点和不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2011 年 1 月

目 录

前 言	
绪 论	(1)
第一节 泵与泵站的定义及分类	(1)
第二节 水泵与泵站发展概况	(4)
第三节 水泵与泵站的发展趋势	(9)
小 结	(11)
思考题	(11)
第一章 水泵的基础知识	(12)
第一节 离心泵的工作原理、基本构造及分类	(12)
第二节 离心泵的主要零部件	(13)
第三节 常见离心泵简介	(20)
第四节 轴流泵与混流泵简介	(28)
第五节 叶片泵的型号	(32)
小 结	(34)
思考题	(34)
第二章 叶片泵的基本理论	(35)
第一节 叶片泵的基本性能参数	(35)
第二节 液体在叶轮中的运动	(40)
第三节 叶片泵的基本方程	(43)
第四节 叶片泵的基本性能曲线	(49)
第五节 水泵的相似理论	(51)
第六节 比转速	(54)
小 结	(57)
思考题	(57)
第三章 叶片泵的运行工况及调节	(58)
第一节 管路特性曲线	(58)
第二节 水泵工况点确定	(60)
第三节 水泵的并联运行和串联运行	(64)
第四节 水泵在分支管路上工作	(71)
第五节 泵的不稳定运行	(72)
第六节 泵站的运行效率	(73)
第七节 水泵运行工作点的调节	(75)
小 结	(88)

思考题	(89)
第四章 水泵的汽蚀与安装高程确定	(90)
第一节 水泵的汽蚀	(90)
第二节 汽蚀性能参数	(93)
第三节 水泵安装高程的确定	(96)
第四节 预防和减轻水泵汽蚀的措施	(98)
小 结	(100)
思考题	(100)
第五章 泵站工程规划	(101)
第一节 泵站工程规划的内容和原则	(101)
第二节 设计标准	(102)
第三节 灌溉泵站工程规划	(104)
第四节 排水泵站工程规划	(109)
第五节 泵站建筑物布置	(113)
第六节 泵站设计流量和设计扬程的确定	(117)
小 结	(122)
思考题	(123)
第六章 水泵选型和配套	(124)
第一节 水泵选型	(124)
第二节 动力机选型	(127)
第三节 机组传动方式与传动设备	(130)
第四节 辅助设备及其选择	(134)
小 结	(141)
思考题	(141)
第七章 泵 房	(142)
第一节 泵房设计的内容与原则	(142)
第二节 泵房的结构类型及适用场合	(143)
第三节 泵房内部布置及主要尺寸的确定	(149)
第四节 泵房整体稳定分析	(159)
第五节 泵房的结构设计	(164)
小 结	(171)
思考题	(172)
第八章 进、出水建筑物设计	(173)
第一节 引水建筑物	(173)
第二节 前 池	(174)
第三节 进水池	(178)
第四节 出水池和压力水箱	(184)
小 结	(189)

思考题	(190)
第九章 进、出水管道	(191)
第一节 进水管道	(191)
第二节 出水管道	(195)
第三节 泵站水锤计算及防护措施	(202)
小 结	(208)
思考题	(208)
第十章 泵站机组安装与运行管理	(209)
第一节 水泵机组与管道的安装	(209)
第二节 泵站的运行管理与故障排除	(219)
第三节 泵站经济运行	(237)
第四节 泵站技术改造	(243)
小 结	(251)
思考题	(252)
参考文献	(253)

绪 论

学习重点

泵的定义、分类,泵站及其分类,我国及国外水泵与泵站的发展。

学习要求

1. 掌握泵的定义,掌握水泵的分类及各类水泵的主要性能特点。
2. 掌握泵站的分类。
3. 了解泵在我国经济建设中的地位与作用,以及泵与泵站的发展。

第一节 泵与泵站的定义及分类

一、泵的定义

泵是把原动机的机械能或其他能源形式的能量传递给所抽送的液体,并使其能量(动能和势能)增加的机械。在泵的作用下,液体能量增加,从而被提升、增压或输送到所需要的地方。用以输送水或给水增加能量的泵称为水泵。

泵的应用范围非常广泛,如可用于农田排灌、城乡供水排水、浆料输运、石油化工、动力工业、采矿和造船工业等。此外,在火箭燃料供给、船舶及水陆两栖战车的推进等方面,也得到了广泛应用。它除可以用来抽水外,还可抽送其他液体,如油、血液、液态氢等,甚至抽送带有固体粒块的浆液,如泥浆、煤浆、灰浆、纸浆等。所以,根据抽送介质不同,泵分为油泵、血泵、热泵、泥浆泵、气泵等。

泵是一种通用机械,种类多、用途广。在工农业生产蓬勃发展、人民生活水平不断提高的现代社会,很难设想哪个城市或哪个部门不用泵。凡是有液体流动的地方,就有泵在工作。正因为有了现代泵及泵站技术,才使得各类产业向大规模、自动化、集约化发展,才形成了现代意义上的大都市及城镇,人们可以很方便地享用清洁的生产用水和生活用水。

二、水泵的分类

水泵按其构造和工作原理的不同,可分为三大类:叶片泵、容积泵和其他类型泵。

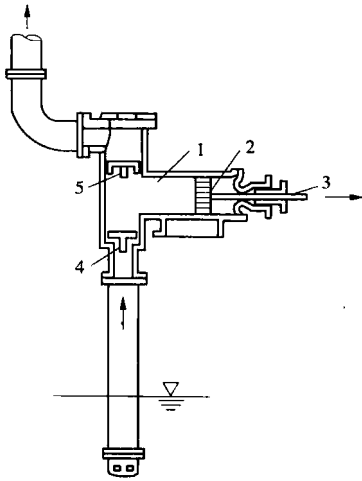
(一)叶片泵

叶片泵是依靠泵中叶轮高速旋转把能量传给液体的泵。这种泵的突出标志就是有旋转的叶轮,同时叶轮上有弯曲的叶片,故称为叶片泵。根据叶轮的结构形式及液体从叶轮流出的方向不同,叶片泵可分为离心泵、轴流泵和混流泵。离心泵是利用装有叶片的叶轮高速旋转时产生的惯性离心力来工作的泵,它的特点是扬程高、小流量,是目前应用最广泛的泵型;轴流泵是利用装有叶片的叶轮高速旋转时产生的轴向升力来工作的泵,它的特

点是大流量、低扬程,与离心泵刚好相反,在大型调水和排灌工程中广为使用;混流泵是利用装有叶片的叶轮高速旋转时产生的惯性离心力和轴向升力的双重作用来工作的泵,其适用范围介于离心泵和轴流泵之间。

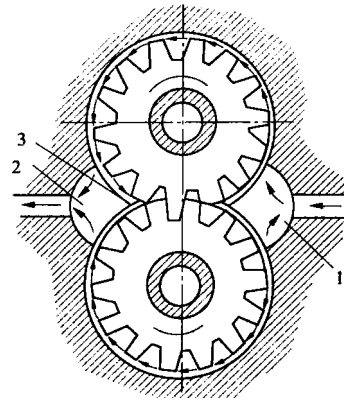
(二) 容积泵

容积泵是靠工作室容积的周期性变化来输送液体的泵。在这种泵中,工作室容积增大时,压力降低,吸入液体;容积变小时,排出液体。根据工作室容积改变方式,容积泵可分为往复式泵和回转式泵两种。往复式泵是利用柱塞在泵缸内作往复运动来改变工作室容积而输送液体的,常见的往复式泵包括活塞泵(见图 0-1)、柱塞泵和隔膜泵等。回转式泵是利用转子作回转运动来改变工作室容积而输送液体的,常见的回转式泵包括齿轮泵(见图 0-2)、螺杆泵和滑片泵等。容积泵可有很高的扬程,能满足实践需要。



1—泵缸;2—活塞;3—活塞杆;
4—吸入阀;5—排出阀

图 0-1 往复式活塞泵构造



1—放流腔;2—出流腔;3—卸压槽

图 0-2 齿轮泵

(三) 其他类型泵

除叶片泵和容积泵外的泵,统称为其他类型泵,如螺旋泵、射流泵、水锤泵、气升泵等。其中,螺旋泵是利用螺旋推进的原理来提水的,而其他各类泵多是利用液体能量来输送液体的。

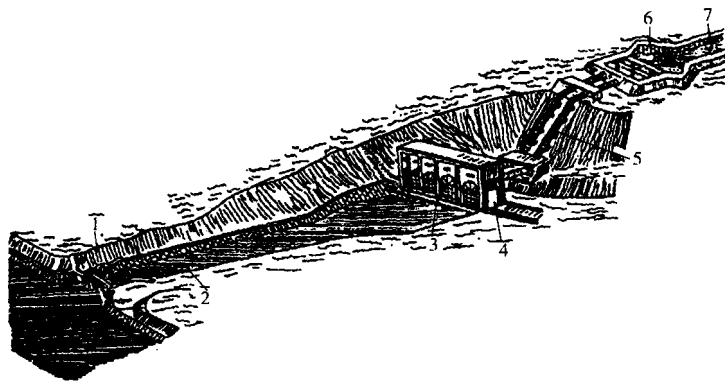
在上述三种类型的泵中,容积泵和其他类型泵只用于特定的场合,远不如叶片泵使用广泛。叶片泵具有效率高、成本低、适用性强等特点,是目前供水、排水、调水广泛采用的主要泵型。

三、泵站

在国民经济各部门中,可以毫不夸张地说,现代社会几乎找不到一个不使用泵的部门或地方。然而,水泵是不能单独工作的,它需要由动力机、传动设备、管道系统和相应的配电系统、相关建筑物等各种辅助设施构成一个完整的系统才能正常工作。我们将这一能

够使水泵正常运行的总体工程枢纽称为水泵站,也称泵站。

一般情况下,泵站主要由泵房、进出水建筑物、管道及变电站等组成(见图0-3),以保证水泵等机电设备的正常运行和为管理人员提供良好的工作条件。在泵房内,安装有水泵、传动装置和动力机组成的水泵机组,还有辅助设备和电气设备等。进出水建筑物主要有引水渠、前池、进水池和出水池等。管道工程包括进水管和出水管及管道的附件(包括管件和阀件等)。在泵的作用下,水源的水由进水管(或进水建筑物)进入水泵,经水泵增加能量,再由出水管(或出水建筑物)被送往出水池或管网,从而达到提水或输水的目的。泵站作为取水输水工程的一个重要部分,已在机电排灌、跨流域调水、城乡给水排水、工矿企业供水排水等工农业生产和水利工程建设等各方面得到了广泛应用。



1—进水闸;2—引水渠;3—进水池;4—泵房;5—出水管道;6—出水池;7—输水干渠

图0-3 泵站枢纽示意图

四、泵站类型

根据泵站的特点不同,可将泵站分类如下。

(一) 根据泵站的功能分类

(1) 供水泵站。功能是供水,包括农田灌溉泵站、工业供水泵站、城镇居民供水泵站等。

(2) 排水泵站。功能是排水,将农田、城镇、工矿企业多余的雨水、污水排除,或降低过高的水位,包括农田排水泵站、矿山排水泵站、工业排水泵站等。

(3) 加压泵站。在长管道输水的情况下,在中途加压,以克服管道水力损失。如城市给水工程需要加压泵站将水送到管网。

(4) 调水泵站。指跨流域调水的泵站,实现沿途的供水、灌溉、排水和航运等。

(5) 蓄能泵站。将水从低处(下游)抽送到高处(上游),供用电高峰时发电。这种泵站有时称为抽水蓄能电站。

(二) 根据所使用水泵的类型分类

(1) 离心泵泵站。工作主泵为离心泵的泵站,多用于高扬程灌溉、加压等。

(2) 轴流泵泵站。工作主泵为轴流泵的泵站,多用于低扬程的调水、排水等。

(3) 混流泵泵站。工作主泵为混流泵的泵站,多用于扬程变化幅度大、轴流泵站无法

满足要求的情况。

(三) 根据动力分类

(1) 电力泵站。以电动机为动力机的泵站。因电机启动、停机及运行管理等都比较方便,因此近代大中型泵站都是电力泵站。

(2) 机动泵站。以煤、汽油、柴油等为燃料的蒸汽机和内燃机为动力机的泵站。由于振动和噪声较大,其使用范围在不断减小,目前主要以移动泵站方式用于应急排水情况。但在日本等台风较多的国家和地区,为防止停电后泵站不能工作,常采用这种泵站。

(3) 水轮泵泵站。以水轮泵为动力机的泵站。水轮泵是由水轮机带动水泵抽水的。其可以利用山区溪流、潮汐河道、渠道跌水等的水位差工作,机组结构简单、投资小、运行费用低,在我国西北、东北、福建等地应用较多。

(4) 风力泵站。以风车为动力机的泵站。这是一种环保泵站,但从发展经验看,风力泵站应该走提水与发电并举的道路。

(5) 太阳能泵站。以太阳能为动力的泵站。这种泵站发展前景广泛,但目前太阳能的利用和储存技术尚没有得到很好解决,加之投资较大,发展速度缓慢。

此外,还有一些特殊的分类形式,如为适应水源水位变化幅度在 10 m 以上时所构建的泵站,可根据水位涨落的速度,分为竖井式泵站、缆车式泵站、浮船式泵站和潜没式泵站等。

第二节 水泵与泵站发展概况

一、我国水泵与泵站的发展

(一) 水泵的研制与技术发展

我国提水机具的发展可以追溯到 5 000 年以前的仰韶文化时代,据考证,在半坡遗址出土的尖底带耳陶罐,就是当时人们用于从井或河中汲水的器具。公元前 17 ~ 前 11 世纪商代就制造出了戽斗;公元前 770 ~ 前 476 年春秋时代制造了符合杠杆原理的桔槔,之后又发明了符合绞盘原理的辘轳;公元 25 ~ 220 年东汉时期相继发明了水车、龙骨车、水排;公元 581 ~ 618 年隋朝发明了筒车,在唐朝得到了大力发展。筒车安装在有流水的河边上,因为挖有地槽,被引入地槽的急流推动木叶轮不停转动,将地槽里的水通过竹筒提升到高处,倒入天槽流进农田中。这种靠水力自动的古老筒车,在郁郁葱葱的山涧、溪流间构成了一幅幅远古的田园春色图,为中国古代人民的杰出发明。1276 ~ 1368 年元代开始用畜力带动翻车,筒车也有了高转式,明末制造出了构造比较复杂的斗子水车——八卦水车。这些提水工具和机械的发明与创造促进了农业生产的发展,对世界作出了重要贡献。

我国利用现代机械提水是在 1909 年,当时在江苏武进县进行排水,是我国第一次使用现代水泵;1915 年厚生制造厂生产了我国的第一台水泵(3 马力^①);1924 年在江苏武进县修建了我国第一座电力泵站,安装了一台口径为 150 mm 的离心泵,由 20 kW 电动机带

① 1 马力 = 735.499 W。

动,开创了我国现代泵站的先例。

随着水利事业和机械工业的发展,目前我国已建成了具有相当规模的水泵行业。

20世纪60~80年代,组织有关泵厂进行了许多种泵联合设计。如IS(IB)型单级单吸离心泵、S(SH)型双吸离心泵、D(DG)型节段式多级泵、W型旋涡泵、JC型深井泵、HW型混流泵、QJ型深井潜水泵、BPZ型喷灌自吸泵等。

改革开放初期,我国从国外引进大量泵技术,引进泵产品的技术比较成熟、性能比较先进,对推动我国泵技术的发展起到了重要作用。

在引进技术的同时,我国自行研制开发了TSWA多级离心泵、管道泵、直联离心泵、高楼给水泵、空调泵、潜水排污泵、立式排污泵、潜水轴流泵(混流泵)、多级双吸泵等。关键水泵产品从部分进口到现在基本国产化,如超临界锅炉给水泵(压力25~35 MPa),东深供水改造工程、南水北调工程用大型调水泵,矿用大流量高扬程(1 000 m)排水泵等;低比转速泵理论和设计的研究广泛而深入,无过载设计方法得到推广应用,采用长短叶片和短叶片偏置取得良好效果;轴流泵模型达到国外同类模型的先进水平。

现在国内泵企业约1 000家,约占世界泵企业10 000家的1/10;国内泵产值2004年约220亿元人民币,约占世界泵产值270亿美元的1/10。到目前为止,我国水泵产品有100多个系列、数千种规格,年生产能力已达2 500万台。产品包括离心泵、混流泵、轴流泵、长轴深井泵、潜水电泵、水轮泵等。水泵进出口口径范围从32 mm到6 m;流量从3 m³/h到100 m³/s;扬程从1.5 m到600 m,深井提水泵可达400 m以上;单泵配套功率从0.25 kW到8 000 kW。这些大型水泵都是我国自行研制的,在国际上也是少有的。现有水泵基本满足了农业排灌和城乡供水的需要。

我国机电排灌泵站的主要特点是数量大、范围广、类型多,为抵御自然灾害,扩大农田排灌面积,改善城镇和乡村供水方面提供了技术装备。特别是20世纪80年代以来,按照ISO国际标准,研制了一批离心泵、轴流泵和混流泵模型,其性能达到国际先进水平。但在水泵制造工艺方面,我国与国际先进水平尚有一些差距,导致某些水泵部件的寿命和可靠性指标比较低。

(二) 泵站工程

“堤防保命、泵站保收”。水利是国民经济的重要基础设施,泵站是水利工程的重要组成部分,是保护和发展粮食生产的关键,特别是大型泵站承担着区域性的除涝、灌溉、调水和供水的重任。

1. 机电排灌泵站

自1949年以来,随着我国工农业的迅速发展,各类农田旱涝保收标准的提高,高扬程提水灌区的发展,沿江滨湖渍涝地区的不断改造,地下水的开发利用,大型跨流域调水工程的规划与实施等,我国机电提水排灌事业得到了巨大发展,排灌设备容量及排灌效益都有成百倍的增长。从1949年全国机电排灌动力71 343 kW,受益面积328万亩(1亩=1/15 hm²,下同),到2004年,我国已建成大、中、小型固定式泵站50余万座,配套机井418万眼,各种农用水泵593万台,机电排灌动力保有量接近8 000万kW,占全国农用总动力的1/4强。机电排灌设施效益总面积5.6亿亩,其中提灌面积4.98亿亩,约占全国有效灌溉面积8.385亿亩的60%;提排面积1.89亿亩,约占全国除涝面积的70%。此外,还

有水轮泵站灌溉面积 457 亿亩,机电排灌效益面积占全国排灌效益总面积的 50% 以上。

我国现有 180 多座大型排灌泵站,装有 800 余台叶轮直径在 1.6 m 以上的大型水泵。98% 的机组为机泵同轴的传动方式。大型低扬程排水泵站主要分布在湖北、湖南、广东、安徽、江苏和浙江等省的低洼地区。这些泵站多采用肘形进水流道和虹吸式出水流道。大泵口径主要有 1.6 m、2.0 m、2.8 m、3.1 m、4.0 m、4.5 m 等几种。其中,樊口泵站的水泵口径为 4.0 m、单泵流量 $53.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 、额定扬程 9.5 m、配套功率 6 000 kW,是目前我国单泵容量最大的轴流泵站之一。我国在高扬程提水灌溉和大流量排水泵站方面发展很快。高扬程泵站以甘肃、陕西、山西、宁夏等高原地区为主。1974 年建成的甘肃景泰川提水一期工程,共 11 个梯级,累计净扬程 445 m,抽水流量 $10.6 \text{ m}^3/\text{s}$,灌溉面积 2 万 hm^2 ,共安装水泵 103 台,总装机容量 6.7 万 kW,最大单泵容量为 2 000 kW。第二期工程 1984 年开始兴建,设计灌溉面积 3.4 万 hm^2 ,共分 18 梯级,累计净扬程 602 m,设计流量 $18 \text{ m}^3/\text{s}$ 。陕西东雷提灌工程设计流量 $60 \text{ m}^3/\text{s}$,共分 8 梯级,累计净扬程 311 m,总装机容量为 120 000 kW。其中,二级泵站水泵额定扬程 225 m,单泵容量 8 000 kW。

2. 跨流域调水泵站

我国水资源分布不均,基本上呈现南多北少局面。近年来,跨流域调水工程发展迅速。引滦入津工程,从河北大黑汀水库引滦河水,经潮白河、尔王庄、大张庄 3 级提升后流入天津,全线共建 4 座大型泵站,总流量 $50 \text{ m}^3/\text{s}$,总装机容量 2 万 kW,每年向天津供水 10 亿 m^3 。

引黄济青工程是我国山东省境内一项将黄河水引向青岛的水利工程(跨流域、远距离的大型调水工程)。它是“七五”期间山东省重点工程之一,也是山东省近几十年以来最大的水利和市政建设工程。黄河水在滨州的引黄济青工程的起点进行沉淀,向东南经过东营、潍坊,最后抵达青岛市境内的棘洪滩水库。工程全长 290 km,由山东省滨州市境内打渔张引黄闸引水到青岛市白沙水厂,沿途设 4 级提水泵站及渠首打渔张扬水泥沙泵站,共设 36 台机组,总装机容量 2.6 万 kW。截至 2009 年年底,工程第 20 次开闸放水,已成功引黄河水 25.8 亿 m^3 ,累计向青岛市区供水 12 亿 m^3 。

为解决我国北方缺水问题,跨流域的南水北调工程已经在实施之中。南水北调东线工程已于 2002 年年底开工,计划把长江水从江苏扬州调往天津和北京。根据东线调水规划,输水线路长 1 150 km,总扬程 65 m,共设置 13 个梯级,新建泵站 51 座,分三期建成。三期共需叶轮直径 3 m 左右的大型泵约 270 台,总装机容量 52 万 kW。工程完工后,调水规模将达 $1 000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。江苏宝应泵站是东线工程新建的第一座泵站,一期工程采用 4 台导叶式混流泵,叶轮直径 3.2 m、单机流量 $33.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 、设计扬程 7.6 m、转速 125 r/min、功率 3 400 kW,这是目前国内口径和单机流量最大的导叶式混流泵。

3. 水轮泵站

水轮泵是由我国独自创新设计的泵型,由水轮机和水泵组成,它是利用水力冲动水轮并驱动水泵抽水的提水机械。水轮泵站是我国独特的提水工程,其能量转换率高。由于其结构简单、制造维修方便、运行安全可靠、便于综合利用,而且可以利用山区溪流、潮汐河道、渠道跌水或水库下游的水位差工作,故在落差大于 1 m、流量大于 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 的河流、水库和渠道上均可安装水轮泵提水。按取得集中水头的方式有堤坝站、渠道站、塘库站和

潮汐站等多种类型。

在 20 世纪 60 年代,水轮泵站工程在我国南方各省发展很快,此后在西北和东北也相继得到发展,最多时全国达 10 万多台。水轮泵站工程得到了联合国粮食及农业组织的承认,并于 1981 年在福州召开的国际提水机具会上决定在国际上推广应用水轮泵技术。现在的发展趋势是提水灌溉和水力发电相结合。

青山水轮泵站是我国规模最大的水轮泵站工程,位于湖南省临澧县境内。该工程以灌溉为主,兼顾发电、航运,是目前亚太地区最大的提水泵站。泵站装有 DS100-9 型水轮泵机组 32 台、BS100-8 型水轮泵机组 3 台,提水流量 $15.1 \text{ m}^3/\text{s}$,净扬程 50 m,设计年提水量 1.6 亿 m^3 。

4. 抽水蓄能泵(电)站

抽水蓄能泵(电)站是利用电力系统中多余电能,把高程低的水库(通称下池、下库)内的水抽到高程高的水库(通称上池、上库)内,以位能方式蓄存起来,系统需要电力时,再从上池放水至下池进行发电的水电站。抽水蓄能泵(电)站在我国得到了较大发展。我国最早建成的抽水蓄能电站是河北省平山县岗南抽水蓄能电站,建于 1960 年,安装有一台引进的容量为 11 MW 的抽水蓄能机组,运行多年来,经济效果很好。此后又建成了河北潘家口抽水蓄能电站(90 MW)、北京十三陵抽水蓄能电站($4 \times 200 \text{ MW}$)、浙江天荒坪抽水蓄能电站($6 \times 300 \text{ MW}$)和广东从化县的广州抽水蓄能电站($2 \ 400 \text{ MW}$)。位于广东从化县的抽水蓄能电站,上、下水库建在流溪河支流的召大水和九曲水上,落差为 588 m,上、下水库用 2 200 m 长的压力隧道相连,下厂房内安装 4 台 30 万 kW 的抽水蓄能机组,总装机容量 120 万 kW。该泵站是为大亚湾核电站调峰而建的,是我国第一座百万千瓦以上的大型抽水蓄能机组。

山东省泰安抽水蓄能电站为国家“十五”重点工程,位于山东省泰安市泰山风景区西南麓。该电站为日调节纯抽水蓄能电站,主要担负山东电网的调峰、填谷任务,兼有调频、调相及事故备用等功能。地下厂房布置 4 台单级混流可逆式水泵水轮发电机组,单机容量 25 万 kW,总装机容量 100 万 kW。年设计发电量 13.382 亿 kWh。它是山东省第一个大型水电工程。截至 2009 年年底,我国已建成的抽水蓄能电站有 24 座,装机容量 1 564.3 万 kW。

5. 大型潜水电泵站

以往,潜水电泵容量相对较小,多用于工程施工和小面积的灌溉排水。近年来,随着潜水电泵的发展,潜水电泵大型化已可实现。潜水电泵站的主要特点是水工建筑物简单,工程造价低,安装检修方便,机组振动、噪声及电机温升对环境无不良影响。因此,20 世纪 90 年代以来,我国的大型轴流式和混流式潜水电泵发展很快,其口径已从 350 mm 发展到 1 600 mm。单泵流量已超过 $8 \text{ m}^3/\text{s}$ 。潜水电机的工作电压由 380 V 增加到 6 000 V 和 10 000 V。这些大型潜水电泵站不仅在国内一些重要工程得到应用,而且已经开始出口。

此外,矿井排水泵站、城市污水泵站、油田注水泵站、循环泵站等在我国也有较大发展。虽然在泵站的数量和工程规模上,我国已跃居世界前列,但在技术水平、工程标准及经济指标方面与发达国家相比,仍有不小差距。随着机组向大型化、高速化和装置形式多

样化方向发展,今后,需要在泵站规划上注重经济综合利用,更加讲求工程的经济效益;在泵站设计和分析方面应注重采用包括 CAD/CFD/FEM(计算机辅助设计/计算流体动力学分析/结构有限元分析)技术在内的新手段;在机组制造及安装方面更加注重材料及工艺对性能的影响。

二、国外泵站发展概况

泵站是水的人工动力来源,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。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。泵站在防洪、排涝和抗旱减灾、调水,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。同时,泵站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。尤其是美国、日本、荷兰和苏联等国家,发展速度较快,技术更先进,管理更完善。

(一) 美国

美国已建设大型高山调水工程十几处,但就工程规模、调水距离、工程技术和综合效益等来说,加利福尼亚州的北水南调工程最具有代表性。美国西部的北水南调工程经过12年的建设,于1973年竣工。该工程共有12座大型泵站,干线总扬程1 154 m,装机总功率178万kW,流量290 m³/s。利用99台水泵将加利福尼亚州北部的水输送到洛杉矶,灌溉沿海的133万hm²农田,计划年调水量52.2亿m³。其中,埃德门斯顿泵站(Edmonston Pumping Plant)是跨越哈查比山的大型泵站工程,选用了14台单泵流量为9 m³/s、扬程为587 m、单泵功率为58 840 kW、叶轮直径为4.88 m的4级立式离心泵,总设计流量125 m³/s。该站有两条管道,每条长2 560 m,前段管道直径为3 860 mm,后段管道直径为4 280 mm。加利福尼亚州调水工程是一项宏大的跨流域调水工程,输水渠道南北绵延千余千米,纵贯加利福尼亚州,其输水能力各渠段不同,最大渠段输水流量达509 m³/s,为加利福尼亚州南部经济和社会发展及生态环境的改善提供了充足的水源,使加利福尼亚州成为果树蔬菜等经济作物生产出口基地,并保证了1 700多万人的生活 and 工业等用水。

大古力泵站是美国较早的大型泵站。该站是从哥伦比亚的大古力水库提水至高原上的另一调节水库,安装有6台立式混流泵和6台抽水蓄能机组。混流泵单泵流量为45 m³/s,扬程94 m,配套电机为47 807 kW。抽水蓄能机组抽水能力为48 m³/s,灌溉季节将抽上的水储蓄在高原水库,用电高峰期再放回大古力水库发电。

(二) 日本

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。为获得土地面积,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。近代科学技术和日本传统的水田农业技术结合,日本的灌溉排水设施得到了广泛建设,不断发展提高。日本全国排灌设备的总提水能力为11万m³/s,其中排水流量为9 400 m³/s,提灌流量为1 600 m³/s。全日本排灌泵站7 200多座,其中中、小型泵站占93%。如1973年建成的新川水系的25座泵站群中,只有新川河口是大型泵站。该站有6台口径为4 200 mm的贯流式轴流泵,扬程为2.6 m,单泵流量为40 m³/s,泵站总容

量为 7 800 kW,总排水流量为 240 m³/s,控制面积为 2.8 万 hm²,排水受益面积为 2 万 hm²。

此外,日本还建成了一批大型泵站。如日光川排水泵站,选用 2 台口径为 4 600 mm 的大型轴流泵;大和田排水泵站选用了 2 台口径分别为 3 600 mm 和 2 500 mm 的轴流泵;久御山排水泵站选用了 3 台口径为 3 400 mm 的轴流泵;新井乡川排水泵站选用了 3 台口径为 3 200 mm 的轴流泵;新川泵站选用了 2 台口径为 2 800 mm、1 台口径为 1 800 mm 的轴流泵;三乡排水泵站选用了 3 台口径为 4 600 mm、1 台口径为 3 600 mm、1 台口径为 3 000 mm 的立式蜗壳式混流泵。

(三) 荷兰

荷兰是一个地势低洼的国家,全荷兰有 1/3 ~ 1/2 的土地在海平面以下,历史上即以筑堤、排水、围海造田而著称,由于大规模围海造田和部分地区开垦沼泽地等,排水问题特别突出。因此,机电排灌比较发达,特别是低扬程、大流量的泵站工程更多。如 1973 年在北海运河入口处建成的爱茅顿排水泵站,装有 4 台大型贯流式轴流泵,排水能力达 150 m³/s,单泵流量 37.5 m³/s,最大扬程为 2.3 m,配套电机为变频调速的异步电动机,电源频率可从 50 Hz 变至 16.5 Hz。

荷兰目前已建成的大型泵站有 600 多座,安装口径 1.2 m 以上的大型水泵机组 2 400 多台(荷兰泵的转速高,其口径 1.2 m 的相当于我国口径 1.8 m 以上的大泵),其泵站的数量和大泵的台数都是我国泵站数量的 3 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及实验室,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进行辅助选型、辅助设计、辅助制造。荷兰研究机构齐全、设施完善,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。

(四) 苏联

苏联水资源开发程度较高,水工建设水平堪称世界一流。早在 1972 年,苏联的抽水灌溉面积就已达到 340 万 hm²,占总灌溉面积的 30%,总装机容量为 180 万 kW。1985 年,发展到 950 万 hm²,约占总灌溉面积的 45%。其中,乌兹别克斯坦的卡尔申提水灌溉工程从阿姆河取水的流量为 200 m³/s,已灌溉 35 万 hm² 农田,总功率达 45 万 kW,6 级提水。

苏联大型泵站的建设除应用于平原地区的农业排灌外,主要用于扬程较高的运河供水及跨流域调水等。如已建成的莫斯科运河上的梯级泵站,以及从北方河流调水 200 亿 ~ 250 亿 m³ 水量输送到伏尔加河流域的北水南调工程。苏联大型水泵(轴流泵)具有转速高、扬程高、流量大等特点,其技术性能指标水平比较先进。

第三节 水泵与泵站的发展趋势

一、向着高转速、高扬程、大容量、运行稳定性强的方向发展

随着水泵汽蚀、材料强度等问题的不断改善,泵的转速有可能进一步向高速化发展。

近几年来,国际上大型水泵发展很快,有的轴流泵直径已达7 m,潜水泵直径达1 m。

二、向着“三化”方向发展

为了方便使用、配套,水泵产品的系列化、通用化、标准化是现代工业生产工艺的必然要求。

三、采用复合技术实现泵技术的创新与发展

综观泵技术的发展,许多是采用了复合技术的结果。例如:离心叶轮和旋涡叶轮结合,成为离心旋涡自吸泵;射流喷头和离心泵结合,成为离心射流自吸泵;水泵叶轮和水轮机转轮结合,成为水轮泵;离心泵和活塞隔膜泵结合,构成一种强力自吸泵;诱导轮和离心轮结合,提高了泵的抗汽蚀性能;双吸叶轮和单吸叶轮结合,能解决汽蚀和轴向力平衡问题等。采用复合技术的成功实例不胜枚举,要用好用活复合技术,要求有较宽的知识面,并敢于创新。

四、农业提灌和工业供水相结合

国外泵站提水工程一般是多目标服务,如兼顾工业和城镇生活供水等,这样可以工扶农,促进农业生产的发展。

五、调水工程泵站逐渐增多

随着全球性水资源紧缺的加剧,兴建跨流域、跨地区的调水工程成为全球水利发展的趋势之一,而泵站在调水工程中肩负着不可替代的重要作用。

六、应用范围日益扩大

随着近代工业的迅速发展,除农业灌溉排水和城市给水排水外,泵站正在越来越广泛地应用于石油、煤炭、化工、火电厂等领域。在工程施工中,基坑排水、井点排水、混凝土的拌和和管道输送、水力开挖土方及泥浆输送等都具有广泛的发展前途。

七、工程规模逐渐增大

近年来,除量大、面广的泵站工程外,主要发展动向是“高、大、深”,即在高扬程(如锅炉给水、长距离管道输水)、大流量(如大型跨流域调水工程,需要低扬程、大流量泵站)及深井提水方面发展很快。由于工农业生产的需要,大型泵站工程将会逐渐增多。

八、讲究投资效益,注重高效节能

泵站的投资主要包括工程建设及运行管理费用,工程效益主要包括经济效益、环境效益和社会效益等。近年来,不少泵站工程开始重视泵站工程的投入产出,运用系统的观点和方法,以及优化理论解决工程投资、运行费用和工程效益之间的关系,从而使泵站的水平明显提高。

过去在泵站工程的能量消耗和运行费用方面考虑较少,致使不少泵站工程长期在低