

泵站工程

严登丰 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

泵 站 工 程

严登丰 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是高校水利水电工程专业教材。主要包括:泵站规划、泵机组选型配套、泵站进水设计、泵站出水设计、泵站站房、泵站运行管理、泵站试验和量测;为拓宽学生知识面和满足相关专业研究生教学需要,结合介绍我国大型泵站建设最新发展,并以专题形式增加了泵站特性预测、泵站动态特性计算方法等应用基础性内容。

本书可供泵站规划、设计、运行、管理、试验研究人员及水利水电工程与给水排水工程等专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

泵站工程/严登丰编著. —北京:中国水利水电出版社, 2005

ISBN 7-5084-3241-X

I. 泵... II. 严... III. 泵站—水利工程—高等学校—教材 IV. TV675

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 103289 号

书 名	泵站工程
作 者	严登丰编著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:sales@waterpub.com.cn 电话:(010)63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国人民大学印刷厂
印 刷	北京市登峰印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 25 印张 601 千字
版 次	2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷
印 数	0001—2600 册
定 价	60.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

我国幅员辽阔,但人多地少,人均耕地仅 1.2 亩,不足世界人均耕地 1/4。国民经济以农业为基础,农田精耕细作,水利是农业以至国民经济的命脉。我国水能资源丰富,但水资源缺少,人均年水资源 2 700m³,仅及世界人均水资源 1/4,是世界少数 10 余个严重缺水的国家之一。降水量时间分配不均,6~9 月份降雨量占年降水总量 4/5,南方台风一次暴雨量可占全年降水总量 4/5;年际变化大,丰枯年降水量可能相差 5~10 倍之多,北方不少河流连枯期大于 5 年,黄河 20 世纪末以来常出现断流,甚至一年数次断流。水资源地域分布悬殊,黄、淮、海及东北诸河流域耕地占全国总耕地 60%,水资源仅为全国总量 1/7。加之地形复杂,山地、丘陵和崎岖高原占全部陆地面积 3/5,平原不足 1/8。自然条件较好、经济发达的地区多沿江(河)滨湖,易生涝灾。随着城市化及部分城市向国际性大都市迈进的趋势,城市供、排水或防洪要求愈高。

基于上述我国国情和建设、发展的需要,兴建提水灌溉、排涝及跨流域翻水调水工程,必为抗御自然灾害、优化水资源配置、改善生态和生活环境、保证农业稳产高产和国民经济持续发展的主要水利措施之一。

泵站工程是运用泵机组及过流设施传递和转换能量、实现水体输送以兴利避害的水利工程。泵站工程设施是“专门水工建筑物”(学科代码 570·2520),是提水灌溉(供水)、提水排涝、翻水调水工程的主体工程,和其他“一般水工建筑物”(学科代码 570·2510)及沟、渠、河道、水库(湖泊)共成水利系统。但是,泵站工程不同于其他一般水利工程之处在于:就设备和作业内容方面,泵站以“水力机械”(学科代码 570·30)之一水泵为工作机,以电动机或内燃机为动力机,又是“动力机械工程”(学科代码 470·30)、“电气工程”(学科代码 470·40)之一。我国已建泵站(特别是面广量大的小型泵站)主要服务于农业,因此,其机械和动力装备又是“农业机械化”(学科代码 210·7015)、“农业电气化与自动化”(学科代码 210·7020)的重要组成部分。

为适应农业和建设的需要,原江苏水利学院(即现扬州大学水利科学与工

程学院)于1960年最早创办本科机电排灌工程专业(1963年调整到原江苏农学院),后改为水利水电动力工程专业,现为热能与动力工程专业(水利水电动力工程方向)及水利水电工程专业(泵站工程方向)。*《泵站工程》*是该专业的主要专业课之一。

1980年起,机电排灌工程专业及其后水利水电动力工程专业即采用“泵站工程”课程名称开课,自编*《泵站工程》*教材(讲义)。教材1983年、1988年修订重印第二及第三稿,1999年重印第四稿,本书是在第四稿的基础上全面修订、补充编写而成。

本书是根据水利部高校水利水电类专业教学指导委员会教材出版计划编写的本科水利水电动力工程专业教材。鉴于泵站工程涉及并综合运用水力学、水工结构、水力机械、电机及电力拖动、金属结构、水能利用等多种学科理论知识和实用技术,*《泵站工程》*教材需要反映这些学科的相关成果,从数易其稿的讲义到本书,也自然是通过总结泵站工程设计、运行经验及试验研究成果逐步形成和系统化。为拓宽学生的知识面,培养其分析、解决实际工程技术问题的能力,本书在基本内容之外以专题形式增加了部分实用性、应用基础性内容。编者也期望通过这种方式介绍泵站工程技术的最新发展,以提供泵站规划、设计、设备配套、科学管理、试验研究人员及水利水电工程和流体机械及工程等专业研究生参考。

参加本书编写的有周济人(第三章)、陈松山(第四章)、陆伟刚(第五章),严登丰编写其余部分并负责全书统稿。李彦军、施伟协助完成绘图。

对于书中存在的错误和疏漏,热忱地希望读者指正。

编著者

2005年3月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 泵站工程规划	7
第一节 灌溉泵站规划	7
第二节 排涝泵站规划	20
第三节 泵站枢纽和排灌沟渠布置	28
第二章 泵机组选型配套	39
第一节 水泵选型	39
第二节 动力机选择	54
第三节 大型泵机组选型配套	64
第四节 传动方式	69
第三章 泵站进水设计	73
第一节 引 渠	73
第二节 前 池	77
第三节 进 水 池	85
第四节 进水管道路布置	96
第五节 进水流道设计	98
第四章 出水管道及出水建筑物	115
第一节 出水池	115
第二节 出水管道	122
第三节 泵站水锤计算及水锤防护措施	139
第四节 水泵压水室	159
第五节 出水流道设计	166
第六节 断流装置	177
第五章 站房	192
第一节 站房结构型式	192
第二节 站房内部布置和尺寸的确定	204
第三节 机房通风	230
第四节 机房整体稳定分析	234
第五节 站房主要构件及计算	251
第六章 泵站运行管理	266
第一节 泵机组正常运行和维护	266

第二节 泵机组反常运行	273
第三节 泵站运行方式与技术经济分析	277
第四节 泵站经济运行	284
第五节 泵站自动化	296
第七章 泵站试验和量测	299
第一节 泵站试验的内容和方法	299
第二节 泵站试验量测	301
第三节 量测误差计算和试验数据处理	324
专题	333
专题 I 水锤基本理论和停泵水锤计算方法	335
专题 II 泵系统起动动态特性计算方法	351
专题 III 水泵、泵装置特性预测	363
《泵站工程》课程复习提纲	388
主要参考文献	393

绪 论

一、水和水利

水是生物、生命起源和生存的基本条件,是人类生活、生产不可缺少的宝贵的自然资源。

据考察,地球上水的总储量约 14 亿 km^3 ,其中 97% 汇聚海洋,是含盐(3%)的咸水; 2% 以上积于耸山极地,成为冰川或冰山; $1/10^5$ 逸散于大气,成为大气水;其余不足 1% 是地表淡水。而这不足 1% 的水中, $2/3$ 渗透于地下,集注和流动于江、河、湖泊的水仅占地球总水量的 0.2% 。

我国年地表降水 6 万亿 m^3 。其中地面径流 2.7 万亿 m^3 ,可开发的地下水 1 万亿 m^3 ,此即为《中华人民共和国水法》规定属国家所有的水资源。所谓水利,即运用工程措施开发、利用、节约、保护、管理水资源并防治水害,通常主要指防洪、排涝、供水、灌溉、水资源开发或配置、漕运、水力发电等。

中国是世界上最早的农作物起源中心之一,水利事业随着农业的发展而兴起和发展。在中华民族文明开化的数千年中,劳动人民进行过一系列艰苦卓绝的治水斗争,就其规模和成就,盖世无双。据记载,我国氏族公社时期就出现了原始的灌溉,古老传说中有共工“壅防百川”、大禹王“治洪水”等。春秋战国时期吴王夫差开凿沟通江(长江)、淮(淮河)的邗沟;魏西门豹修渠引漳(河)水灌邺(今河北临漳县)地;李冰父子修举世闻名的都江堰等。秦王朝时,关中平原开郑国渠,联结黄河上游泾水和洛水,灌田 280 万亩 ;湘桂间史禄贞开灵渠,联结湘江和漓水,沟通长江、珠江两大水系;三国时期曹操开睢阳渠,更沟通了黄河、淮河、长江三大水系。为防洪患,东汉时期王景率工疏导黄河,并修筑了御洪千里长堤。

京杭大运河是世界上最长的人工运河。春秋时期始建,隋朝时初成,再于元朝疏通、延长、裁弯取直,使水运从杭州经苏州、无锡、镇江、扬州、淮安、济宁、德州、天津等地,直达北京,全长 1780 km ,沟通海河、黄河、淮河、长江、钱塘江五大水系。

1194 年,黄河决口于河南原阳,泛滥北夺济水入海,南夺泗水入淮;1495 年全河夺泗合淮,此后黄河下游和淮河流域经常遭受洪灾和涝灾。因此,中国历史上,宋、元、明、清直至民国,水利及水利工程主要围绕治黄、治淮,包括分黄、还道、复淮、导淮等。

黄、淮的根本治理是在中华人民共和国建国以后实行和逐步实现的。建国 50 余年来,在共产党和人民政府领导下,一方面大搞农田水利建设,开展群众性的治水改土、水土保持、改善水环境;同时,或整理水系、疏浚河槽,开挖入江、入海水道,培固堤防,以御洪、泄洪;或建闸筑坝,开凿或浚拓河湖、修建大型水库,既滞蓄洪水,又截流发电、引水灌溉、发展航运和水产;或兴建泵站工程,发展机电排灌,并实现跨地域跨流域翻水调水等。

中华人民共和国成立以来,不仅对黄河、淮河进行根本性治理,长江、珠江、海河以及全国各大水系和流域也都作了全面规划,进行了综合的治理或水资源开发及优化配置和水能资源开发利用。仅水利水电工程,建成了诸如洪泽湖出口三河闸(闸身总长 697 m ,设计泄水流量 $12000 \text{ m}^3/\text{s}$)等 300 余座大型泄洪闸、节制闸、挡潮闸;建成了诸如龙羊峡水电站(发电装机 128 万 kW ,坝高 178 m ,设计年发电量 $59.4 \text{ 亿 kW} \cdot \text{h}$)等一批大型水电站,全国水电装

机总容量已达 10 万 MW;建成了诸如三门峡水库(总库容 354 亿 m^3)等 400 座大型水库;建成了诸如江都排灌站(电动装机 33 台,动力 5 万 kW,设计提水流量 $500\text{m}^3/\text{s}$)等电动装机 1 万 kW 以上或水泵口径 1.6m 以上的大型泵站工程 300 座。更大规模的水利水电工程如雄伟的长江三峡工程(拦长江主流筑坝,坝高 175m,工程总库容 393 亿 m^3 ,其中防洪库容 221.5 亿 m^3 ,设计发电装机容量 1820 万 kW,年发电量 846.8 亿 kW·h)和正在分步实施之中举世瞩目的南水北调工程等。南水北调有东线、中线、西线,其中东线从扬州市、泰州市境内提长江水北送,经苏、皖、鲁、冀至天津,供水范围总面积 18.3 万 km^2 。规划总提水流量抽江 $800\sim 1000\text{m}^3/\text{s}$ (分三期建设,2007 年完成一期 $500\text{m}^3/\text{s}$,2010 年完成二期 $600\sim 700\text{m}^3/\text{s}$,2030 年前完成三期);以 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 计,则出洪泽湖为 $850\text{m}^3/\text{s}$,入骆马湖 $750\text{m}^3/\text{s}$,入微山湖 $600\text{m}^3/\text{s}$,入东平湖 $450\text{m}^3/\text{s}$,送山东胶东地区 $90\text{m}^3/\text{s}$,过黄河(隧洞) $400\text{m}^3/\text{s}$,到天津 $100\text{m}^3/\text{s}$ 。计划多年平均抽引长江水 187.6 亿 m^3 ,向黄河以北送水 56.3 亿 m^3 ,山东半岛 28 亿 m^3 。输水路径基本上沿京杭大运河,梯级泵站接力送水,有 3 孔直径为 10m 的隧洞穿黄,全长 1150km;另有山东境内西水东调支线 240km。黄河以南 13 个梯级,新(扩)建大型泵站 51 座,总动力 100 余万 kW。南水北调东线基础性工程江苏省江水北调工程已建 9 级 10 余座泵站,具备送水入微山湖条件,穿黄 $4\text{m}\times 3\text{m}$ 探洞已于 1987 年凿成。南水北调东线输水河道既送水又开辟或扩展了我国新的南北水路运输干线。南水北调中线工程亦已动工兴建,其末端工程送水北京及支线送水天津的泵站并已提前实施。

我国已建及在建的大型水利工程还有万家寨、小浪底、二滩等数十个大型水利枢纽工程;河北引黄济卫和引黄入淀、天津引黄济津、甘肃引大入秦、辽宁引碧入大、四川武都引水、东北北水南调等一批引水及灌溉工程;长江流域、珠江流域、东南沿海诸河、东北诸河、北方内陆及新疆诸河的河湖综合治理工程;江苏江水北调、安徽引江济淮、天津引滦入津、山西引黄入晋、陕西抽黄灌溉、甘肃景泰川电力提灌、广东东江深圳供水等一批大型跨地域跨流域提水调水工程等。

农田水利工程方面,通过不断建设,全国有效灌溉面积由 1949 年前的 2.4 亿亩增加到 8.5 亿亩,其中提水灌溉 5 亿亩;除涝面积约 3 亿亩,占易涝面积 80%以上;改良盐碱地 8000 多万亩,占盐碱地总面积 70%;治理渍害低产田 5000 万亩,占渍害低产田 1/3;包括喷灌、滴灌等节水灌溉从无到有,灌溉面积已达 2.3 亿亩。

总之,新中国水利建设事业在历代劳动人民治水的基础上,取得了巨大成就,并将进行更大规模的开发和建设。这是振兴中华宏伟大业的重要内容,也体现了社会主义制度的优越性。

但是,也必须指出:随着时代的前进,总结虽大力治水却仍频繁出现大涝大旱灾害、生态环境越发恶化的教训,近年,结合新时期的治水实践,党和政府提出了新的治水方针。具体做法即倡导人与自然界和谐共处,坚持水利与生态同步建设;在水资源和水能资源开发、利用的同时,注重水资源配置、节约,注重水环境保护;洪涝灾害、水资源短缺、水污染综合治理;工程措施与非工程措施并举,建设与管理并重;重视科技兴水;重视水权、水价、水市场理论和政策的探索与实践。

二、机电排灌和泵站工程

水利系统中,机电排灌是以泵站为主体工程,以不同功能的水闸及渠系、河道为配套工程共同发挥作用的水利设施。

小型提水工作机,例如小口径水泵,配动力机及管道,构成小型抽水装置即可提水排灌,

可以固定安装亦可非固定安装(如流动船机);口径较大的水泵,因配套动力大,并有辅机设备及附属设备,因此须建泵站。泵站又称抽水站、扬水站、机埠,根据作用的不同,在水利系统中也有称排灌站、翻水站等。作为完成水利任务的泵设备,以混凝土结构或砖石砌体支承和围护泵机组及辅助设备、附属设备、电气设备,并合理地布置和设计水泵进水管(流)道,配装截流闭锁闸门或阀件,构筑进出口联接建筑物,保证泵机组安全可靠并高效运行,这就成为泵站工程。在无自流灌溉、排涝,或自流灌排不能满足要求、不足以抗御自然灾害时,发展机电排灌、兴建泵站工程是唯一可靠的水利措施;水源缺乏或水资源分布不均,须补水、调水时,也只有兴建泵站工程,才能跨地域、跨流域调度和合理配置水资源,满足农业、工业、城市生活用水,改变、改善生态环境等。

我国运用机械设备作为提水排灌工具始于 20 世纪初。沿太湖的浙江杭(州)嘉(兴)湖(州)地区和江苏苏(州)锡(无锡)常(州)地区最早采用 3PS^① 及 5PS 小型内燃机、“锅驼机”(蒸汽机)、“大头车”(重油单缸内燃机)带动水泵抽水;最早于 1924 年江苏武进建成绕线式异步电动机为动力机的电力泵站。到中华人民共和国成立前夕为止,全国机电提水动力约 9 万 PS,大多为流动船机;提水灌溉面积 378 万亩,占当时灌溉总面积 1% 左右。

中华人民共和国成立后国民经济恢复时期,党和政府为发展农业生产,很重视机电排灌。一方面由国家贷款扶持民营船机、座机(固定安装的泵装置),同时开始使用国产机器,重点示范,在华东、华北、中南各地举办国营抽水机站,为进一步发展机电排灌积累经验。

20 世纪 50 年代中期开始,我国机电排灌事业一直以很高的速度发展,最早建成规模较大的工程有:江苏省丹阳珥渎河上电力提水灌区(8 座泵站,总提水流量 $15\text{m}^3/\text{s}$,装机 1500kW),河北省静海团泊洼排水泵站(口径 1200mm 立式轴流泵 6 台套,总排水流量 $20\text{m}^3/\text{s}$,装机 1200kW);山西省夹马口泵站(口径 600mm 离心泵 10 台套,扬程 71m,三级提水,总扬程 110m,总流量 $9.5\text{m}^3/\text{s}$,总装机 7800kW,灌溉面积 40 万亩);陕西省渭北高原提水灌区(17 座泵站,泵机组 51 台套,总装机 12600kW,灌溉面积 77 万亩)。50 年代,江苏、浙江、福建等省还建有不少水轮泵站、水锤泵站等。

20 世纪 60 年代初,以江苏省江都排灌站的兴建为标志,我国开始运用大型泵机组于机电排灌工程。江都排灌站 1961 年建成一站,至 1975 年已建大型电力泵站 4 座。连同其他江水北调及太湖、里下河地区除洪排涝工程等,江苏省已建水泵口径 1.6m 以上轴流泵、混流泵大泵站 25 座,泵机组 140 台套,总装机 23.5 万 kW,总设计提水流量 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 。其中单泵站最大流量 $360\text{m}^3/\text{s}$;泵叶轮直径轴流泵最大 4.5m,混流泵最大 5.7m。安徽省从和县驷马山泵站开始,并以该站作为一级站,兴建了多级提水的滁河引江工程。到目前为止,连同其他引江济淮及沿江、沿淮除洪排涝和灌溉工程等,已建大型泵站 10 余座,总装机约 8 万 kW。湖北省江汉平原从黄天湖、沉湖等泵站开始,已建大型泵站 70 余座,总装机约 40 万 kW。湖南洞庭湖区从沙河、仙桃等泵站开始,已建大型泵站 20 余座,总装机约 10 万 kW。

我国南方各地灌溉、调水、排水大泵站多为低扬程泵站。与此形成对照的是:北方地区灌溉泵站中以甘肃景泰川提水工程(抽黄灌溉,11 级提水,累计总扬程 445m,流量 $13.2\text{m}^3/\text{s}$,最大单机容量 2000kW,总装机 6.4 万 kW,灌溉面积 30.4 万亩)为代表,有许多高扬程、大流量的泵站。陕西省抽黄灌溉工程,沿黄河分别在韩城禹门口、合阳东雷、潼关港口三处建泵

① PS 系公制马力代号,非法定功率计量单位,1PS=0.735kW。

站,总流量 $52\text{m}^3/\text{s}$ 。其中东雷泵站累计总扬程 311m ,总装机 11万 kW ,二级站单级扬程 200m 以上,单机容量 8000kW 。

华北及西南等地江、河、水库沿岸,由于水源水位变化幅度很大,不适宜建固定站,兴建了一批浮动式泵站。其中 1971 年开始兴建的山西省大禹渡站 7 级提水,总扬程 345m ,总灌溉面积 28.6万亩 。一级站在黄河岸边,水源水位变化幅度 $13\sim 18\text{m}$,7 台浮动泵车装 14 台口径 500mm 双吸离心泵,总流量 $8\text{m}^3/\text{s}$ 。

华北、西北地区还开发地下水灌田,最大井深 $400\sim 500\text{m}$,最大提水高度 200m 左右;全国打机电井 370万眼 ,配套动力 3000多万 kW ,年提取地下水 850亿 m^3 ,灌溉农田 2.1亿亩 。

到目前为止,全国已建各类固定泵站 50万座 ,包括机电井总排灌动力 7500万 kW ,数量遥居世界各国首位,对于抗御自然灾害,保证农业稳产高产,实现农业机械化、电气化,对促进国民经济持续发展及改善生态环境等发挥了巨大作用。但是,我国现有机电排灌及其主体工程泵站工程,也普遍不同程度地存在规划设计不合理、设备选型配套不当、技术管理水平不高、工业能源及水资源或水能资源严重浪费等问题,其中相当一部分泵站更存在工程和设备老化,亟待全面更新和技术改造。

在 21 世纪,作为水利设施之一的机电排灌、泵站工程,其规划、发展、建设、管理、改造等同样应有新的思路,遵循新的治水方针。

三、国外机电排灌发展概况

据统计,全球目前已建、在建和拟建的跨流域调水工程至少 160多项 ,分布在 24个国家 。

俄罗斯水资源极丰富,但地域分布不平衡;其水资源总量近 90% 的众多河流位处人口稀少的北部和东部寒冰地区。为解决水资源合理配置,苏联时代建设了 15项 调水工程,年调水量 480多亿 m^3 。较著名的调水工程有:大土库曼运河、伏尔加—莫斯科、纳伦河—锡尔河、库斑河—卡劳斯河、瓦赫什河—喷赤河等多项。

俄罗斯及独联体诸国截止 1972 年,机电排灌总装机 180万 kW ,提水灌溉面积 5100万亩 ,占其总灌溉面积的 30% ;1985 年发展到 1.4亿亩 ,占总灌溉面积的 45% 。其中乌克兰提水灌溉面积最大,1957 年建成的英古列茨泵站设计扬程 60m ,单机容量 4200kW ,总装机容量近 3万 kW ,为当时苏联功率最大的灌溉供水泵站。阿塞拜疆最早应用浮式泵站提水灌溉,库拉河和阿拉卡斯河上建有浮式泵站 100余座 。土库曼大力发展深井泵电动提水井灌。

前苏联水泵设计研究水平较高,建大型泵站较早较多。其中轴流泵站如著名的库拉霍夫和莫斯科运河泵站等。于 1973 年开始运转的卡尔申提灌泵站,总装机容量 45万 kW ,由阿姆河抽水送塔里马让水库,7 级提水,每级各装 6 台全调节立式轴流泵,单泵流量 $40\text{m}^3/\text{s}$,第一级扬程 $17\sim 19\text{m}$,其余各级 $23\sim 26\text{m}$,扬程总和 156m ,灌溉农田 525万亩 ;卡霍夫卡提水工程从第聂伯河上的卡霍夫卡水库提水 $530\text{m}^3/\text{s}$,总装机 10.8万 kW ,灌溉农田 1140万亩 。苏联时代开始及现今俄罗斯还曾计划从欧洲部分河流调水至伏尔加河流域,从西伯利亚调水至咸海。

美国灌溉面积占耕地面积的比例不大,至 1991 年,灌溉面积 3.57亿亩 ,占耕地面积 12.7% ;但是灌溉面积中提水灌溉比重很大。比较著名的工程:① 20 世纪 40 年代末开始于哥伦比亚河建大古力泵站,计划抽提大古力水库 $460\text{m}^3/\text{s}$ 流量,灌溉高原干旱农田 625万

亩。泵机组 12 台套,其中 1949~1951 年装立式混流泵 6 台,单泵流量 $45\text{m}^3/\text{s}$,扬程 94.5m,配套电动机功率 4.78 万 kW;1973 年增加 2 台抽水蓄能机组;单机抽水能力 $48\text{m}^3/\text{s}$;再后 4 台套亦为抽水蓄能机组;全站现有抽水能力 $366\text{m}^3/\text{s}$,电机总功率 38 万 kW。② 1970 年左右开始运转的圣路易斯提水工程。两座泵站,一座装离心泵 3 台,扬程 38m,单泵流量 $62\text{m}^3/\text{s}$,单机容量 3 万 kW;另一座装全调节混流泵 3 台,单泵流量 $34\sim 62\text{m}^3/\text{s}$ 。两座泵站总提水流量 $374\text{m}^3/\text{s}$,灌溉面积 364 万亩。该工程中还有一座抽水蓄能电站,装有 8 台双速可逆式水泵水轮机,在转速 $150\text{r}/\text{min}$ 下作为水泵抽水时,电动机容量为 4.7 万 kW;同一转速下作为水轮机发电时,发电机容量为 5.3 万 kVA;在转速 $120\text{r}/\text{min}$ 下抽水时,电动机容量 2.5 万 kW,同转速发电时,发电机容量 3.4 万 kVA。机组由抽水工况变发电工况或由发电工况变抽水工况切换时间 27s。③ 1973 年,美国加州水利规划中一期工程完成,包括水库 18 座,水电站 5 座,泵站 15 座,水道 870km。由羽河流域和沙加缅度河与山合金河下游三角洲收集水量,经旧金山湾区转送山合金谷地和南加州,年输水量 18 亿 m^3 ,输水距离最远达 715km。世界上提水扬程最高、单机功率最大的泵站爱德蒙斯顿(Edmonston)泵站即位于该输水线的特哈齐比斯山脚下,该站装 11 台(计划装 14 台)4 级立式离心泵,其一级提水净扬程 587m,单泵流量 $8.9\text{m}^3/\text{s}$,单机功率 8 万 PS。加州水利工程即美国“北水南调”工程,其中提水泵站计划总装机 120 万 kW。

日本、荷兰等国,20 世纪 60 年代末至 70 年代以来,陆续兴建了相当数量的大型排水泵站。至 1990 年,日本有排灌泵站 7000 余座,其中排水泵站总排水流量 $9400\text{m}^3/\text{s}$,占总提水能力 85%。1971~1973 年建成新川河口排水站,装叶轮直径 4.2m 灯泡贯流式全调节轴流泵 6 台,设计扬程 2.6m,单泵流量 $40\text{m}^3/\text{s}$,配套电动机功率 1300kW,行星齿轮传动;1975 年建成三乡排水站,安装直径 4.6m 立式混流泵,单泵流量 $50\text{m}^3/\text{s}$,设计扬程 6.3m,扬程变化幅度 $0\sim 9\text{m}$,配套动力 6200PS 柴油机;1980 年建成毛马泵站,装叶轮直径 4m 立式轴流泵,泵站采用蜗壳进水、蜗壳出水双向流道结构布置型式;最大叶轮直径($D=4.6\text{m}$)的立式轴流泵日光川泵站 1996 年建成。流道采用蜗壳进水、蜗壳出水型式;工作门采用拍门,油压闸门事故备用;配套柴油机 5800PS。日本低扬程排水泵站采用各种规格的贯流泵较多,已建口径 1m 以上贯流泵站 70 余座;泵型结构上,还最早或较早生产大口径斜轴泵及大流量潜水电泵。日本高扬程大泵站如神奈川的饭泉泵站,安装 4 台口径 1.6m 的双吸离心泵,扬程 82m,总流量 $24.1\text{m}^3/\text{s}$,总装机 2.6 万 kW。

荷兰地势低洼,全国有 $1/2\sim 1/3$ 土地在海平面以下。由于大规模围海造田和开垦沼泽地等,排水问题突出,因此机电提水事业发达。代表性的大型泵站如 1973 年于北海运河入海处兴建的爱茅顿排水泵站,安装大型轴流贯流泵 4 台,泵叶轮直径 3.94m,1300kW 低频(16.5Hz)电动机驱动,最大扬程 2.3m,单泵流量 $37.5\text{m}^3/\text{s}$ 。荷兰也有柴油机驱动的泵站,如与爱茅顿站前后兴建的大型柴油机驱动叶轮直径 3.6m 的卧式轴流泵站等。泵站布置上,有提水排水站,也有提排、自排结合站。荷兰还有不少开敞出水轴流泵、混凝土蜗壳混流泵泵站。为便于检修,水泵叶轮以至导叶采用可轴向抽芯的结构。荷兰还广泛使用大直径螺杆泵提水排灌。

其他国家如印度等,机电排灌也比较发达。印度跨流域调水始于灌溉用水,其中最大的巴克拉至楠加尔调水工程,灌溉面积 160 万 hm^2 ;全国总提水灌溉面积约 3000 万 hm^2 ,占总灌溉面积 50% 以上,印度提水灌溉面积超过美国。

埃及 20 世纪末开始兴建东水西调和西水东调大型水利工程。1997 年开工的图什卡运河东起尼罗河上游纳赛尔湖,西至西南部沙漠腹地。工程包括 18 座大型泵站,其中一期工程 2 座泵站已建成。

巴基斯坦 1960~1977 年建成世界最大调水量的印度河西水东调工程,年调水量 148 亿 m^3 ,形成受益面积 29.6 万 km^2 世界最大的灌溉系统。

我国的机电排灌设备在数量上居世界首位,工程规模也跻身世界前列;但是,与先进工业国家相比,总体技术水平有一定差距,主机泵及其配套设备的品种规格和制造质量方面差距较大,技术管理方面差距更大。譬如:国外既重视高效率水泵研制,更重视采用高强耐蚀、耐磨材料,重视过流部件加工工艺,重视轴承、密封、传动新技术的应用,重视工程整体动能经济效益,重视提高设备利用率 and 专业化安装维修及管理,自动化程度高等,这些都值得我们借鉴和学习。

四、本课程任务和要求

《泵站工程》是水利水电动力工程、热能与动力工程专业及水利水电工程泵站工程方向相关专业的一门主要专业课。本课程的任务是让有一定机械、电气、水泵、水工专业基础的学生通过学习掌握机电排灌及其他提水工程规划原则和方法,掌握泵机组设备选型配套、泵站建筑物布置和设计、泵站运行特性预测及运行管理的基本理论和基本方法,树立泵站工程水工、水机、金属结构、电力拖动、流体输送的整体科学技术和协同运作概念,树立安全、经济和效率效益观点。

学完本课程应能达到下列要求:

(1) 了解灌溉、排水及其他提水泵站规划的一般原则,掌握泵站规划步骤和方法,能合理地选定泵站站址,确定设计流量和扬程,优选水泵机组。

(2) 能根据供、排水任务要求和具体的地形与工情、水情条件确定泵站建筑物,合理地选择泵站枢纽型式和供、排水河道或管道布置方案,并进行泵站枢纽布置。

(3) 具有完成泵站进、出水管(流)道及进出口联接建筑物等过流设施水力设计能力。

(4) 能根据供、排水任务及泵机组型式等条件,按初步设计阶段要求合理地选择站房结构型式,确定站房地下轮廓线及各部高程、各层平面主要尺寸,并作站房结构布置设计及泵站总体布置设计。

(5) 能对泵站各种附属设备(吊车、截流闭锁门、启闭机、拦清污设施等)作综合选型和配套,并进行合理地布置。

(6) 具有新建中、小型泵站独立设计或各类已建泵站改造设计的初步能力。

(7) 掌握泵站能量传递转换的基本理论,掌握泵站正常、反常或异常运行特性分析预测基本理论。

(8) 初步掌握泵站试验的基本理论和泵站水力量、机械量、电气量等量测及监测技能。

(9) 初步掌握泵站技术经济分析方法及相关规程、规范规定的考核标准,能制定泵站经济运行方案和相应的科学管理制度。具有管理各类泵站的初步能力。

第一章 泵站工程规划

水利系统中,泵站工程规划是水利规划的一部分。水利规划是在一定的任务要求(如防洪、除涝、灌溉、治渍、治污、冲淤、洗碱、漕运、引水调水、水资源和水能资源开发利用等)下,根据自然地理条件和社会经济条件及发展规划,合理确定所需要的水利设施(如闸坝、堤防、水库、河渠、泵站、水电站、水道、桥梁、渡槽、涵洞、倒虹吸等建筑物),合理确定水利工程的规模(标准、等级)、布局 and 调度运用关系。泵站工程的规划是在供水、排水或调水任务要求明确的前提下,分析供水水源或排水出路,综合考虑多种工程和非工程的因素及条件,合理确定泵站工程的组成、灌区及灌水区或排水区的划分、站址选择、泵站枢纽和渠(河)系的布置,论证和确定泵站设计流量和设计扬程及最大、最小扬程等。泵站工程的合理规划不仅能保证兴建时减少工程量、节约投资、缩短工期,而且有利于工程建成后安全、可靠并高效运行,为扩大效益、降低成本、避免水资源及水能资源浪费、减少工业能源消耗创造有利条件。

本章泵站工程规划主要是水利系统灌溉泵站和区域性排水泵站的规划。

第一节 灌溉泵站规划

灌溉泵站规划主要包括以下内容:查勘水源和灌区的地形条件及其他自然条件、社会经济条件、生态环境条件,调查已有水利工程设施及其功能、效益,了解能源供应、交通运输等状况。在此基础上,根据自然区划特点并考虑行政区划进行灌水区的划分,选定站址,作泵站建筑物和渠系布置等。

泵站规划应从工程的全使用期考虑,必须掌握水源、河道(湖泊、水库)水文情势,合理确定水文设计标准(频率标准),即合理确定水泵设计流量和各种水位、扬程等水文特征值。

一、灌区分片

一个大的灌区,从技术上可能和经济上合理考虑,往往需要根据水源条件、地形条件以及供水管理的方便对之进行分片,布置成若干小的灌水区。

水源条件和地形条件不同,灌水区的划分要求也不同。

在水源稀少的西北高原,沟壑纵横,台地较多;扬程高(一般均在 40~100m,也有高达 200m 以上)是这个地区泵站的特点。因此,为求经济合理,常采用多级提水方案。灌水区以沟为界分片,或以高低分片。

南方山丘区雨量充沛,水源丰富,通过兴建水库,大部分农田可以自流灌溉;局部岗地和自流灌溉不能保证的地区须建泵站提水灌溉。这类地区的农田往往为河沟、山涧分割,比较分散,其灌水区主要根据地形地貌的具体情况划分。

沿江滨湖的平原圩垸地区地势平坦,河网密布,取水极便利,因此多分散建泵站,灌水区较小;其中圩垸区,因其地势低洼,每遇汛期,外江、外河水位常高于圩内田面,排涝任务很重。圩区治理重点是排涝防渍。但是,由于降雨年际变化大,一年中,降雨多集中于夏季很短时段内,通常仍需提水灌溉。而除涝与灌溉相比,前者带突击性,后者有常时性,因此,为了充

分利用排涝动力设备,一般多采用排水站兼作灌溉站的规划方案。

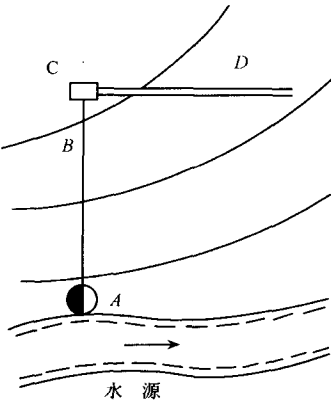
关于灌水区规模,我国早期所建泵站一般受益范围较大;站大、渠道大、灌水区大。但是,随着耕作制度和灌水技术合理化科学化,灌水区面积明显趋小。灌水区大,则交叉建筑物多,渠道挖、压、废土地多,水资源浪费。近年,不少老灌区都进行了改造。首先是“大改小”,万亩以上的灌水区改为数千亩、数百亩的小灌水区;渠道“高改底”、“明改暗”,即将高填方渠道改为半填半挖或全挖渠道,或将明渠改成地下暗渠。

灌水区过小也不适宜,过小则单位动力灌溉效益低,提水成本高,不便技术上的科学管理。当前,圩区的灌水区一般倾向于1000~2000亩左右,泵站开机后,渠道能在1h以内送水到尾田,每天能灌水一次。

根据不同情况和不同要求,灌水区的划分方案一般有以下几种。

1. 一站提水、一区灌溉

这种方式是泵站从水源取水,并将之提升到灌区最高田面高程以上,以一级总干渠通过



若干支、斗渠灌溉全灌区。图1-1为一站提水、一区灌溉示意图。图中A为泵站,B为压力水管。C为出水池,D为输水干渠;斜线表示地面等高线。地形高差不大的小片丘陵地区多用这种布置方式。

2. 多站提水、分区灌溉

当灌区地面等高线与水源水边线(水面与河坡的交线)基本平行,单级提水可灌溉的面积较大,如此时仍采用一站、一区方式,灌水区可能过大,尾田远距离送水,不尽适宜;以天然沟、河或行政区划为界,将灌区分成若干个单独的灌水区较适宜。这样,每个灌水区可由单独的泵站和灌溉干渠供水,见图1-2。图中 A_1 、 A_2 ……分别表示高程梯级相同、担负不同灌水区灌溉任务的各个泵站。

图1-1 一站提水、一区灌溉示意图
这种布置方式多见于圩垸地区。

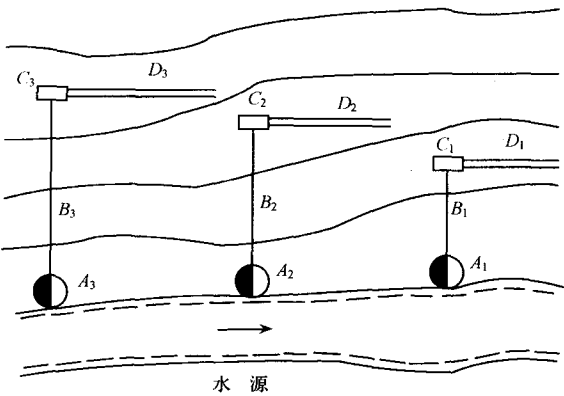


图1-2 多站提水、分区灌溉示意图

3. 多站分级提水、分区灌溉

根据水源和地形条件,有时为了避免“高水低灌”,即用已提升到高处的水下跌灌溉低

地,造成动力浪费,可将已经提升到一定高程的水作为另一泵站的水源,继续提升以灌溉高地。即根据最低最高灌溉田面高差,将灌区分成几个高低不同的灌水区。一般情况下,灌水区即为泵站级数;有时灌水区数少于泵站级数,就是说,某些梯级的泵站,可能仅起输水作用,是“加压站”,没有直接灌溉任务。就每一个梯级而言,灌区还可能进一步分小,一般为一站、一区,也可能为多站分区。多级提水方式常见于西北高原地面高差较大或有明显台地的地区。图 1-3 表示这种布置方式。图中 A_1 、 A_2 、……表示多级提水不同高程梯级的泵站。

此外,对于某些地面高差虽大但是面积不大的灌区,也可以在同一泵站上安装不同扬程的水泵,分高、低两个出水池和相应渠道供水,如图 1-4 所示。这种方式称为一站分级提水、分区灌溉。有时灌水流量很小,也可以利用既有低扬程水泵实现高扬程提水。具体做法是:设高低两个出水池,以低出水池的水作为水源水再提到高出水池,低水灌低田、高水灌高田。这也是一站分级提水、分区灌溉(见图 1-5)。

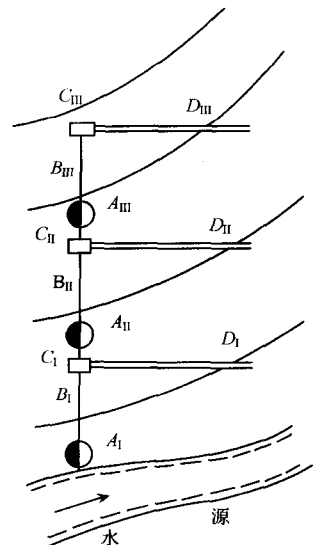


图 1-3 多站分级提水、分区灌溉

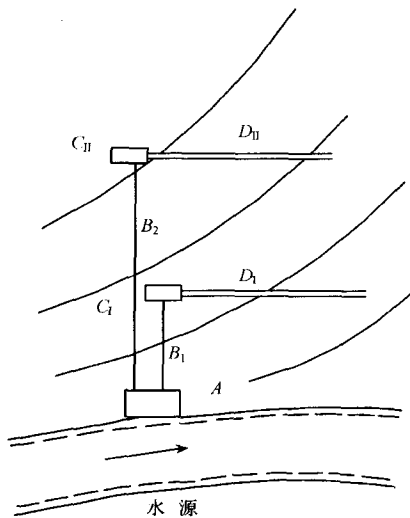


图 1-4 一站分级提水、分区灌溉

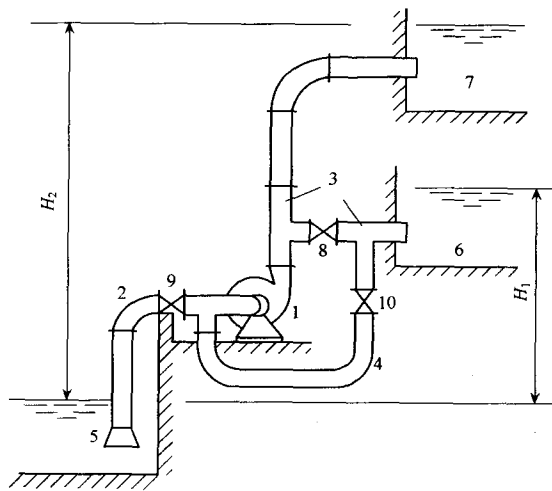


图 1-5 一泵二级提水、分区灌溉示意图

1—水泵;2—进水管;3—出水管;4—连通管;

5—进水池;6—低出水池;7—高出水池;8、9、10—控制闸阀

二、高扬程灌区分级和经济扬程范围确定

扬程高、灌溉面积大的灌区,有时要研究泵站工程的分级,即确定如图 1-1 那样一级提水,还是如图 1-3 那样多站分级提水;决定采用多站分级提水、分区灌溉时,要确定分级数,确定各级泵站的提水扬程及与各扬程相应的灌水面积。

考虑灌区和泵站工程分级的出发点首先在于节省动力。各级泵站总动力少,其工业能源消耗和相应的运营费用也省;其次泵站分级能减少工程量及减少因修筑高大渠道所带来的

挖、压、废土地面积。遇总扬程很高,而地形又陡峭,虽然分级建站并不能节省动力或减少工程量,也有因泵型选配上的困难而不得不分级。这时某些梯级泵站可能仅为加压站,并无直接灌田任务。

节省动力和减少工程量,两者往往矛盾。分级越多泵站动力总和越少;而分级过多,总的土建工程投资和设备费势将增多,亦不便运行管理。因此,针对具体灌区,如何分级建站,既要考虑地形条件,也要考虑其他多种因素。

1. 泵站分级与所需总功率的关系

对于确定的灌区,为什么泵站分级越多所需总功率越少,分析说明如下。

图 1-6 表示高扬程灌区灌溉面积与田面高程的关系曲线。灌区范围内最高田面距水源水面的高度为 H (m),总灌溉面积为 ω (亩),设总提水流量为 Q (m^3/s)。这时,如果采用一级提水,即提水高度(净)扬程为 H ,则动力机的功率为

$$N = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta} = \frac{\rho g q \omega H}{1000 \eta} = K \omega H \text{ (kW)} \quad (1-1)$$

$$K = \frac{\rho g q}{1000 \eta}$$

式中 ρ —— 水密度 (kg/m^3);

q —— 灌溉用水率 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{亩}$);

η —— 包括泵站和渠系两部分的能量转换系数, $\eta = \eta_{\text{站}} \eta_{\text{渠系}}$, $\eta_{\text{站}}$ 、 $\eta_{\text{渠系}}$ 分别为泵站效率和渠系水利用系数^①;

K —— 常数。

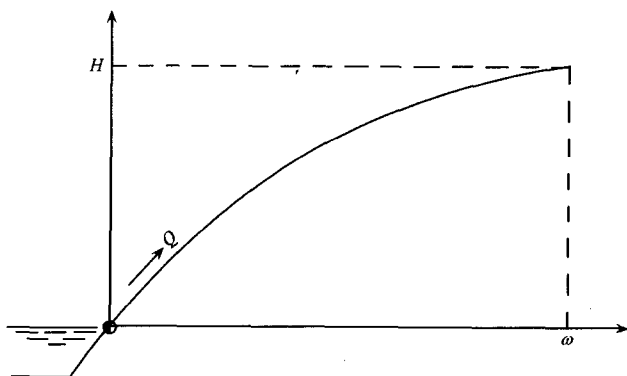


图 1-6 灌区面积—高程关系曲线

如果改用二级提水方案(图 1-7),其一级灌水区面积 $\Omega_1 (= \omega_1)$, 相应的所需灌水流量为 Q_1 , 扬程为 H_1 。由于一级站提水流量中除满足 ω_1 面积的灌水需要外,尚须为二级站输送水源,因此,一级站实际效益范围为全部灌区。在渠系水利用系数相同的条件下,一级站的流量与一级提水方案相同,即流量为 Q 。二级灌水区灌溉面积为 Ω_2 , $\Omega_2 = (\omega - \omega_1)$, 相应的所需灌水流量为 Q_2 , $Q_2 = (Q - Q_1)$ 、扬程为 $(H - H_1)$ 。因此,二级提水时动力机的总功率为

① 泵站效率取值标准:《泵站设计规范》(GB/T50265—97)、《泵站技术管理规程》(SL255—2000)等;渠系水利用系数取值标准:《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288—99)、《节水灌溉技术规范》(SL207—98)等。