

供水泵站工程

新技术

吴建华 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

供水泵站工程 新技术

吴建华 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

现代计算机技术是实现供水泵站工程优化设计、管理及安全运行的重要手段。本书分三篇,共19章,介绍了供水泵站工程优化设计的算法,供水工程的经济评价以及山西省万家寨引黄工程计算机仿真系统开发研究的水力学模型和要求等。

本书是作者多年从事供水泵站工程教学及科研工作的总结,以期能够推动我国供水泵站工程技术的发展。

本书可供水利水电、城市给排水、农业水利工程等专业的科研及设计人员阅读,亦可供大专院校相关专业的教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

供水泵站工程新技术/吴建华编著. —北京:中国水利水电出版社, 2002. 6

ISBN 7-5084-1107-2

I. 供… II. 吴… III. 给水排水泵-泵站 IV. TU991.35

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第035697号

书 名	供水泵站工程新技术
作 者	吴建华 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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 14印张 332千字
版 次	2002年6月第一版 2002年6月北京第一次印刷
印 数	0001—1900册
定 价	36.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

能源是发展国民经济,提高人们生活水平的重要物质基础。城镇供水、工农业供水泵站工程的发展每年都要消耗大量的能源,如:泵站工程年耗能占全国总用电量的5%,占农业用电量的44%,占农用柴油量的25%。据统计,排灌机械能耗高,浪费的能源占能源投入量的25%,按此推算,目前我国机电排灌年节能潜力为24亿~30亿kW·h电,36万~40万吨柴油。因此,努力提高机电排灌的工程效益和经济效益,更好地为国民经济服务,已成为供水泵站工程在规划设计、施工安装、运行管理等方面的重要课题。

计算机应用在我国已相当普及,作为机电排灌工作者,如何利用计算机技术,对泵站工程的设计、管理和安全运行提出一个通俗易懂的计算机优化算法,以期推动供水泵站工程技术的发展,一直是作者思考的问题。这也是编写本书的主要目的。

本书提出的计算机优化算法,其根源在于网格法,道理浅显,算法简单,不需要非常高深的数学知识,短期的培训就能很快地掌握并应用。本书读者对象为我国目前面广量大的供水泵站的设计和管理人员。

本书通过大量泵站工程实际问题的计算机求解,介绍计算机优化技术的原理和实现步骤。全书分三篇。第一篇的第一章至第八章,介绍计算机优化技术的原理、算法技巧、解的精度,并给出实例进行解析;其他章节,介绍了泵站工程技术改造的要点。第二篇介绍了供水泵站工程的节能及经济评价的原理及有关的计算方法,并给出了相关的计算实例。第三篇结合山西省万家寨引黄工程的科研项目,介绍了有关的供水泵站工程的计算机技术和长距离输水工程的计算机仿真系统开发的有关内容。

为了校核VISUAL BASIC通用程序的正确性,本书中引用了我国供水泵站工程有关科研单位、高等院校及设计单位的科研成果,在此一并致谢!还要感谢关心和支持本书出版的太原理工大学水利系及计算机系的朋友们!

本书第一篇的第一章至第七章、第二篇的前三章及第三篇的第四章由吴建华副教授完成,大同市供水公司张旭工程师及大同市水务局程建京高

CA613/10

级工程师完成了其余章节。全书由吴建华统稿。

书中提供的全部例题，均在 IBM—PC 机上调试通过，若需要可提供软盘（含必要的运行环境），以便自学参考。

在我国供水泵站工程推广节能技术的今天，该部分的研究成果如能成一块铺路之石或抛砖引玉，这将是作者最大的愿望。由于供水泵站工程集机、泵、管、传、池、电为一体，涉及水力机械、电气设备、水利水电、土木建筑等多个学科，优化的范围及内容相当广泛，受作者知识的局限性，书中难免有错误和疏漏之处，欢迎读者提出批评、指正。

编 者

2002 年 3 月

目 录

前言

第一篇 供水泵站工程计算机实用优化技术

绪 论	3
第一章 泵站扬程的确定	12
第一节 水位频率计算	12
第二节 考虑特大值情况下的水位频率计算	14
第三节 水位资料的延长	16
第四节 泵站扬程计算	18
第二章 泵站设计流量的确定	21
第一节 概 述	21
第二节 旱作物灌溉制度设计	21
第三章 水泵优化选型	24
第一节 单管泵系统运行工作点的确定	24
第二节 复杂泵系统运行工作点的确定	27
第三节 泵站效率的计算	35
第四节 水泵的优化选型	39
第四章 泵站出水管路的优化设计	46
第一节 泵站管路水力损失的计算	46
第二节 泵站经济管径的确定	48
第三节 关阀水锤计算	50
第四节 运城市海鑫供水工程泵系统压力管路安全防护的数值模拟	53
第五章 水泵的优化调节运行	67
第一节 水泵最优转速的确定	67
第二节 水泵最优叶轮直径的确定	68
第三节 水泵最优叶片角度的确定	69
第六章 泵站现场试验资料计算分析的电算方法	72
第一节 泵站现场试验资料的分析计算过程	72
第二节 计算机程序设计	74
第三节 程序清单及计算结果	75
第七章 供水泵站的优化设计	80
第一节 数学模型的建立及有关费用的确定	81

第二节	年耗电费 ϵ_1 的确定	81
第三节	H_{st} 的确定	82
第四节	$\eta_{\text{泵站}}$ 的确定	83
第五节	水泵及动力设备选型	86
第六节	年生产费的确定	88
第七节	计算方法及其步骤	89
第八节	算例	91
第八章	泵站工程优化设计常用数值计算方法	97
第一节	线性方程组求解的程序设计	97
第二节	水泵性能曲线拟合的最小二乘法	99
第三节	拉格朗日插值法	103
第九章	泵站工程技术改造要点	106
第一节	概述	106
第二节	泵站灌区改造标准	106
第三节	输变电设施改造标准	107
第四节	水泵改造标准	108
第五节	配套动力机改造标准分析	109
第六节	传动装置改造标准	109
第七节	管道装置改造标准	110
第八节	泵站进、出水池改造标准	111
第九节	抽水站建筑物改造标准	112
第十节	泵站工程技术经济分析	113

第二篇 供水泵站工程节能及经济分析

绪 论	117
第一章 供水泵站工程的能源消耗	119
第一节 影响直接能耗的因素	119
第二节 能耗过程及装置效率	122
第二章 供水泵站工程的能耗计算	125
第一节 能耗的理论计算	125
第二节 能耗的常用计算方法	127
第三节 其他能耗计算	127
第三章 供水泵站工程的节能	129
第一节 节能的途径	129
第二节 节能的效果计算	131
第四章 供水泵站工程经济	133
第一节 国内外建设项目经济评价方法发展综述	133
第二节 供水泵站经济评价方法的回顾与前瞻	136

第三节 供水泵站工程经济的计算方法·····	139
附录 供水泵站运行技术经济指标·····	163

第三篇 山西省万家寨引黄工程水力调度监测控制模式研究

第一章 工程概况及系统布置·····	177
第一节 概述·····	177
第二节 课题研究的技术途径及内容·····	178
第二章 系统稳态运行特性研究·····	180
第一节 总干泵站系统数学模型及计算方法·····	180
第二节 系统稳态特性的计算及其结果分析·····	184
第三节 泵站系统流量平衡计算结果及其分析·····	187
第三章 总干三、南干一、二级泵站混速运行调度研究 ·····	190
第一节 水泵变速调节模拟计算的数学模型及计算方法·····	190
第二节 水泵变速调节计算的结果及其分析·····	192
第三节 关于变速调节的可行性论证·····	193
第四章 总干泵系统瞬态水力特性的研究·····	195
第五章 无压输水隧洞明渠非恒定流的水力学仿真模拟·····	199
第一节 引黄工程无压隧洞水力学过程及仿真计算·····	199
第二节 总三泵站进水前池水深的计算·····	202
第三节 计算方法与研究结论·····	203
第六章 引黄工程计算机仿真系统需求分析·····	204
参考文献·····	215

第一卷

供水泵站工程计算机实用优化技术

绪 论

随着社会和经济的高速发展,我国将在 21 世纪成为富强文明的现代化国家。根据预测,我国将在 21 世纪中叶出现人口高峰值,突破 16 亿人。按人均每年 400~440kg 粮食计算,人口高峰时的粮食需求量为 6.4 亿~7 亿 t。也就是说,在未来的半个世纪内,我国粮食产量必须在现有 5 亿 t 产量的基础上再提高 1.4 亿~2 亿 t,才能基本满足人口增长和生活水平提高的粮食需求。水和土地是粮食生产的战略资源,在我国尤其如此,农作物生产中灌溉面积上的生产占有举足轻重的作用,近 80% 的粮食产于灌溉农田。根据联合国粮农组织发布的《生产年鉴》分析,虽然中国耕地面积只占世界总耕地的 7%,人均耕地也不足世界平均水平的 1/3,但是中国灌溉面积却占了全球灌溉面积的 21%,人均灌溉面积与世界平均水准相平。由此可见,中国农业发展前景很大程度上依赖于灌溉面积的发展,而灌溉农业的发展的手段之一是机电排灌工程的合理建设和管理。

供水泵站(亦称机电排灌工程,随着国民经济发展的不同时期,其含义有所拓宽)工程是将电(热)能转化为水能进行农业灌溉、乡镇供水、渍涝排水及跨流域调水等一系列综合性水利工程。随着科学技术进步和国民经济的发展以及现代化农业对排灌、节水要求的日益提高,我国泵站工程技术有了突飞猛进的发展,取得了举世瞩目的辉煌成就。到目前为止,我国拥有大、中、小型泵站 50 余万座,安装了数千台水泵机组,排灌动力达 6805 万 kW,与 1949 年的 7.13 万 kW 相比,增加 900 多倍。抽水灌溉面积达 4 亿亩,占全国总灌溉面积的 50% 以上。抽水排涝面积达 0.6 亿亩,占除涝面积的 25%。这些泵站工程的建设,是工农业、城市给排水的重要设施,在工农业生产及城乡用水等方面发挥了巨大作用。

一、供水泵站工程的概况

我国古代,就有以风力、水力、畜力、人力为动力的提水机具,进行灌溉排水的历史很悠久,但是由于技术落后,规模很小。到 20 世纪 20~30 年代在东南沿海地区才开始出现以柴油机、电动机为动力的泵站。随着科学研究与工程技术日益提高,工程规模与效益不断扩大,20 世纪我国泵站的发展大体上可分为四个阶段:

(1) 20 世纪 50 年代初期,新中国经过三年国民经济恢复和第一个五年计划,由于农业的发展,国家在东部经济基础较好的部分省、市抓了农业机械的试点,重点建设了一批柴油机和电动机的动力泵站,到 1957 年底,机电排灌泵站的总装机容量从 1949 年的 71MW 增加到 3530MW,不仅为东部地区的农业发展做出了应有的贡献,而且为全国的推广探索了经验,奠定了较好的技术基础。

(2) 20 世纪 60 年代,机电排灌的全面推广与发展阶段。第二个五年计划与随之而来的国民经济调整时期,农业集体经济的迅速发展与农业机械工业的兴起,为机电排灌事业的发展提供了有利的条件,在此阶段,全国各省市的机电排灌泵站规模由小到大,得到迅速

发展,为农业乃至国民经济的发展发挥了重要的作用,建设与管理水平也得到提高。这一阶段的特点是:大型机电排灌泵站,如江苏省江都排灌泵站,山西夹马口高扬程灌溉泵站,安徽撮镇泵站等相继建成并发挥效益;具有中国特色利用水力资源进行提水的水轮泵站得到重视和迅速推广;相应的管理办法与法则以及管理机构开始建立,1963年水利电力部正式颁发了《机电排灌站经营管理办法》。机电排灌泵站的建设与管理技术得到推广与发展,到1965年,机电排灌泵站的装机容量达到240万kW左右,比1957年增加6倍。

(3) 20世纪70年代,供水泵站的稳步发展时期。在这一时期,国民经济受到极大的冲击和破坏,也严重影响到农业及机电排灌事业的发展。但由于国家各级政府认识到水利是农业的命脉,以及农业发展的需要,机电排灌泵站仍然得到了稳步发展。到1978年底,全国机电排灌泵站的装机容量达到1500万kW,灌溉面积达15370万 hm^2 。其间,建成了一批大型泵站,如甘肃的景泰川电灌工程,江苏江都排灌三站、四站,淮安泵站,淮阳泵站,湖北省的金口、汉川、沉湖、南套沟、高潭口、螺山、排湖等大型排水泵站。这一时期的机电排灌泵站工程从总体上看得到了发展,但存在的问题是重规模、重速度,而对质量、效益与管理重视不够,为以后的发展带来一些不利的因素。

(4) 20世纪80年代至今,供水泵站的综合发展阶段。改革开放为供水泵站事业的发展带来了强劲的春风,供水泵站在规模质量、效益、管理等方面得到全面的提高和综合的发展。其特点一是大批大型泵站及跨流域调水工程(如陕西东雷抽黄工程、山东引黄济青、山西省万家寨引黄工程、天津引深入津工程,宁夏固海扬水工程,湖北的樊口泵站、新滩口泵站,江苏的皂河泵站等)相继建成并投入使用,从工程规划、设计、施工、安装到运行管理,技术水平上了一个新台阶。二是重点抓了技术改造和经营管理,对早期建设的技术陈旧、设备落后能耗高、安全性差的设备、设施进行技术改造,与此同时,水利部先后颁发了SL234—1999《泵站施工规范》、SL254—2000《泵站技术改造规程》、SL255—2000《泵站技术管理规程》(条文说明)等技术规范,举办了一系列技术培训班与研讨班,研究了如何深化改革、加强管理、注重效益、提高技术水平等问题,对一些技术的难点、重点进行了技术攻关,使各类各级机电排灌泵站装置效率明显提高,技术水平越来越先进,经济效益越来越好,建设与管理水平越来越高。

从新中国成立到现在,供水泵站在抗御洪涝干旱灾害,保证农业稳产与增产,改善农业生产条件,以及跨流域调水,解决城镇供水,促进国民经济各部门发展中发挥了重要作用。尤其在1978年抗御长江中下游的特大旱灾,1998年长江特大洪水所造成的洪涝灾害中发挥了巨大作用,确保了农业生产的稳步发展及人民生命财产的安全,取得了显著的经济效益和社会效益。

二、泵站工程的类型及其发展特点

我国疆域辽阔、地形复杂,根据各地区自然条件的不同,我国泵站工程基本上有下列几种类型。

1. 大型低扬程泵站

大型低扬程泵站的建设,最近30多年来发展十分迅速,表1-0-1所示为我国几个主要的大型低扬程泵站。这类泵站的特点是扬程低、流量大、自动化程度高。这些泵站主要分

布在长江中下游沿江低洼地区。自 1961 年兴建江都一站开始，先后在江苏、安徽、山东、湖南、湖北、广东、江西等省（区）建成 200 多座大型泵站。如江苏自 1961 年至 1977 年兴建的江都四座大型排灌泵站，设计安装 33 台轴流泵，抽引流量 $473\text{m}^3/\text{s}$ ，总装机容量达 4.98 万 kW。该站抽引长江水北上，向淮北地区补给水源，同时减轻里下河地区内涝，为彻底改变苏北地区多灾低产面貌，建设高产稳产农田创造了条件。

表 1-0-1 我国大型低扬程泵站

站 名	设计流量 (m^3/s)	设计扬程 (m)	水泵类型	装机容量 (kW)	泵站型式
江都三站	135	8.0	ZL13.5—8	16000	堤后式
江都四站	210	7.0	ZL30—7	21000	堤后式
淮安二站	120	7.0	4.5CJ—70	10000	堤身式
谏壁排灌站	150	3.4	2.8CJ—70	9600	堤身式
皂河一站	200	6.0	6HL—70	14000	堤后式
驷马山站	210	5.62	2.8CJ—70	9600	堤身式
高潭口站	236	7.0	2.8CJ—70	18000	堤身式
排湖站	200	7.6	2.8CJ—70	14400	堤身式
樊口站	214	9.5	4.0CJ—95	24000	

2. 大型高扬程泵站

这类泵站主要分布在陕西、甘肃、宁夏、山西等高原地区，其特点是扬程高、梯级多、工程艰巨。早在 20 世纪 50 年代，黄河中上游广大黄土高原地区就进行了泵站提灌工程的建设。60 年代初，黄河干流上第一座大型工程山西夹马口泵站建成并投入运行，分三级提水，总计净扬程 110m，总流量 $9.5\text{m}^3/\text{s}$ 。到目前为止，黄河干流上兴建了百余座泵站抽水工程，总灌溉面积约 60 万 hm^2 。这些泵站工程的建设，为确保干旱地区的农业灌溉发挥了极为重要的作用。

3. 机井泵站（井灌）

我国华北、西北等广大地区，地表水缺乏，因此，从 60 年代起大力开发利用地下水资源。到目前已发展机井 273 万眼，最大井深达 500m，各型井泵每年抽取地下水 400 亿~500 亿 m^3 ，井灌面积约 800 万 hm^2 。

4. 浮动式泵站

这类型泵站主要分布在我国西南、中南等省区水位变幅较大的江河与水库等沿岸。如长江在重庆的最大水位变幅达 35m。这些地区若采用固定式泵站，则投资大、施工难，因此多采用浮船式和缆车式泵站。

另外，中小型泵站主要分布在平原、圩垸等水源丰富地区，如长江三角洲、珠江三角洲等。这些地区地势平坦，水位变幅小，泵站星罗棋布，形成大面积泵站群，全国有 47 万多座。

跨流域调水是指某一流域的多水区向其他流域的缺水地区补充水源，使水资源得到合理的开发利用。目前，我国跨流域调水工程已具有相当规模，研究建成的引滦入津工程、引

黄(河)济青(岛)工程,即将建成和开工的山西省万家寨引黄工程及南水北调工程等,泵站工程的建设和运行是非常重要的。

总之,已建成的大面积泵站排灌地区有长江三角洲、洞庭湖地区、江汉平原、珠江三角洲、黄河沿岸及西北的高原灌区等。为解决农业稳产高产、解决人民生活密切相关的问题做出了极大的贡献,取得了明显的经济效益和社会效益,由于排灌泵站的建设,使得江南河网圩区实现了自排与机排结合,建设了高效高产的农业发展基地;高扬程提水泵站的建设,给干旱贫瘠的黄土高原带来了勃勃生机,使其旱涝保收,稳产高产,使丘陵山区葱葱翠绿,让沙漠荒原变成了绿洲。同时,也为解决城乡人民生活用水,特别是贫困地区的人畜用水发挥了重要作用。

我国泵站工程的建设具有速度快、类型多、规模大、范围广等特点。

三、泵站的科学研究与工程技术

在泵站工程建设发展中,科学研究与工程技术得到迅速提高,逐步建立起具有我国特色的理论体系与技术基础,结合我国国情和泵站工程的特点,进行了科学试验与研究,取得了举世瞩目的成就,为泵站工程的发展提供了保证。

1. 水泵的研制与生产技术

新中国成立初期,我国的水泵生产几乎为零,50年来,随着水利事业和机械工业的发展,我国已建成了具有相当规模的水泵行业,形成了一支有较强力量的科研队伍,我国农用水泵及工业泵的设计制造能力亦有相应提高,研制和生产了大量适合我国特点的各类水泵。到目前为止,我国生产的水泵产品有50多个系列、800多个品种、1300多种规格,年生产能力达50多万台。主要包括有离心泵(centrifugal pump)、混流泵(mixed flow pump)、轴流泵(axial flow pump)、长轴深井泵、潜水电泵、水轮泵,其进出水口径范围由32mm到600mm,流量为 $3\text{m}^3/\text{h}$ 到 $360000\text{m}^3/\text{h}$ ($100\text{m}^3/\text{s}$),扬程由1.5m到600m,深井提水泵可达325m,单泵配套功率由0.25kW到8000kW,最大的轴流泵安装在江苏省淮安二站,转轮直径4.5m,单机流量为 $60\text{m}^3/\text{s}$,扬程为7.0m,单机容量为5000kW。最大的混流泵安装在江苏省皂河一站,转轮直径5.7m,单机流量为 $97.5\text{m}^3/\text{s}$,扬程为5.96m,单机容量为7000kW。最大的离心泵安装在陕西东雷二级站,单机流量为 $2.2\text{m}^3/\text{s}$,设计扬程为225m,单机容量为8000kW。基本满足农业排灌和城乡供水的需要,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。

我国大型水泵之大,数量之多,解决排灌面积之广居世界前列。最大的离心泵为安装在陕西东雷泵站的高扬程大流量离心泵,其扬程为225m,流量为 $2.2\text{m}^3/\text{s}$,单台配套功率8000kW;最大口径的轴流泵安装在江苏省淮安二站的4.5CT70型水泵,水泵叶轮口径4.5m,扬程为7.0m,流量为 $60\text{m}^3/\text{s}$,配套功率为5000kW;最大功率的轴流泵为安装在湖北省樊口泵站的4.0CJ9.5大型轴流泵,水泵叶轮直径为4.0m,扬程为9.5m,流量为 $55\text{m}^3/\text{s}$,单泵配套功率为6000kW;最大的混流泵为安装在江苏省皂河泵站的叶轮直径为6m的立式全调节混流泵,其流量为 $96\text{m}^3/\text{s}$,扬程为5.6m,配套功率为7000kW。

2. 泵站工程及跨流域调水工程的规划

为了充分发挥泵站工程的作用,以获得最高效益,我国总结了“蓄、引、提相结合,机、电、水合理匹配,排灌、供水、发电多功能综合利用,大、中、小站合理布局”的规划原则。特别在大型泵站工程的规划与设计方面,结合中国的实际,做了大量研究与论证,积累了丰富的经验。山西省万家寨引黄工程是一项跨流域的大型引水工程,由黄河万家寨水库引水,分别向太原、大同和平朔3个地区供水,引水线路由总干线、南干线、连接段、北干线组成,总长约452km,年设计引水量12亿 m^3 ,其中向太原供水6.4亿 m^3 ,向大同、平朔供水5.6亿 m^3 。根据工程规划分两期实施。该工程总干一、二、三级泵站,南干一、二级泵站扬程之高,流量之大,施工任务之艰巨举世无双!这一工程的成功建设,将极大地推动我国跨流域调水工程的规划、设计及管理的水平。

3. 大型轴流泵站工程技术的研究

轴流泵在南方江河湖海地区得到广泛应用,由于其流量大,扬程较低,为了提高效率,确保安全运行,我国高等学校及科研院所紧密结合生产,主要进行了以下方面工程技术的研究,并取得了一些重要成果。

(1) 提高水泵装置效率及其试验的研究。水泵装置效率是一项综合的技术指标,并作为泵站工程建设与管理水平的依据,我国制定了相应的技术规范,明确了各类泵站的技术指标,并积极组织进行了装置模型试验研究、泵站现场测试技术研究、泵站节能改造技术的研究,通过试验和理论分析,得到了如何提高水泵装置效率的方法和工程技术措施,从而为提高泵站效益创造了条件。

(2) 泵站进水池及进水流道的研究。大型泵站由于流量大,进水池及进水流道的设计尤为重要,而水泵厂家提供的水泵性能是由模型试验中得出的,未考虑进水条件的影响,因此从20世纪60年代开始,一些高校相继开展了此项研究,进行了进水池的模型试验及三维流场数学模型分析、肘形进水流道及钟形进水流道的模型试验等,取得了一系列研究成果,并在大型泵站中得到应用,对提高轴流泵站的设计水平和运行安全可靠发挥了重要作用。

(3) 出水流道形式及其断流方式的研究。大型轴流泵站由于扬程低,在出口水位变幅较大时,为了减少工作扬程和启动功率以及防止突然事故停机产生倒流,保证机组的运行安全,出水流道的形式、尺寸以及断流方式的确定非常重要。

对于虹吸式出水流道的结构,其虹吸高度、驼峰顶部在启动停机过程中的汽液两相流动问题,及停机后的断流方式等,国内高校与科研院所结合实际工程,进行了大量的试验研究,联合研制开发了蓄压式液控快速闸门,成功地解决了虹吸式出水流道的大型泵站启动、停泵及超驼峰运行的问题。对于直流式出水流道,采用拍门断流,是一种结构简单、管理方便、造价低廉、动作可靠的方式,有关方面结合生产实际,对拍门的结构形式、开启和关闭角度及方式、振动等问题进行了实验及理论的研究,在生产中得到了应用。

4. 梯级泵站的联合运行、泵站水锤及水泵全性能的研究

一个大型提灌区,往往有十几座甚至数十座泵站“接力”提水,逐级上扬,组成一个相互制约、联合运行的泵站群。如何控制、调度以达到用最少的费用获取最大的效益是一个优化、优选、大范围的系统工程问题。在这方面的研究已取得一定的成就。如大禹渡一

期提水灌区，梯级泵站利用微机进行远调、遥控的调度系统。另外，在解决梯级泵站联合运行中，由于机组配合失调，通信不畅而引起的级间弃水问题，也采取了一些有效措施。在高扬程、大流量泵站中，因事故停泵而引起的水锤（water hammer）是泵站运行安全的极大威胁。泵站水锤问题越来越成为泵站设计及运行管理的主要技术难题。关于水锤分析和计算，我国已利用电算分析求解、自动打印、绘图，并采用水锤消除器和自动控制两阶段关闭蝶阀等措施消减水锤。水泵全性能曲线是泵站水锤计算的主要依据，有关的科研机构先后进行了水泵全性能的试验研究，之后又对水泵全性能的表达方法，特别是在模型试验的基础上，采用理论与试验数据相结合的方法，提出了预测任意比转速水泵全特性曲线的方法，受到国内外专家的好评。此外，还结合北京二水源泵站、山西大禹渡、甘肃景泰川、陕西东雷以及万家寨引黄工程等几十座高扬程泵站以及武钢新3号高炉、河北马头、西柏坡、湖南金竹山、湖北阳逻、江西九江等大型火力发电厂的冷却水系统进行了大量的水锤试验、理论分析及防护技术的研究，取得了一系列研究成果，达到了国际先进水平。

5. 泵站节能及技术改造的研究

我国排灌泵站数量多，使用面广，发展初期，起点低，基础较差，因此较普遍地存在连年失修、管理不善以及效率低、能耗高的问题，从20世纪80年代开始，水利部的工作中心开始转为抓泵站工程管理基础工作和泵站节能技术改造。

对泵站现场测试是掌握机组运行特性及工作状况、进行泵站节能技术改造的基础。国内高校及科研院所结合生产进行了测试技术及方法的研究，开展了各类泵站的效率测试工作，在此基础上，分别对水泵、电动机的技术改造、泵站进出水池、流道及管道的技术改造以及提高效率、增加流量、节约能耗的技术及方法进行了研究，取得了成功的经验。如“山西尊村引黄工程泵站技术改造”、“湖北闸口泵站大型轴流泵的技术改造”等，采用先进的水力模型及工程技术进行了水泵机组的改造，在扩大工程效益、提高排灌标准等方面取得了显著经济效益。泵站技术改造取得了众多的科研成果，此项成果经水利部综合，已列入国家科委重点技术推广项目，并在全国水利系统广泛推广。

6. 多泥沙河流泵站工程技术的研究

我国沿黄河兴建的大、中、小型引提水工程3万多座，在多泥沙河流中兴建泵站，有许多特殊的技术问题，结合工程实际开展的试验及研究，较好地解决了泵站工程建设及管理的技术问题。

（1）泵站取水及进水池的研究。黄河由于含沙量大，河流的淤积及冲刷导致主流游荡不定，摆动频繁，给泵站取水造成很大的困难。在黄河沿岸兴建泵站，其取水的布置方式以及取水的防沙措施尤为重要。为了减少水中夹带泥沙的含量，有关引黄工程中采用多种形式的沉沙池进行泥沙的处理。多泥沙河流中取水的泵站进水池，必须采用特殊形式的进水池结构，才能保证良好的进水流态，又能防止泥沙的淤积。上述问题，都是黄河沿岸泵站取水建筑物设计的技术难题，有关单位结合生产进行了大量的研究，取得了较好的研究成果。

（2）含沙水流中水泵性能及抗磨蚀技术的研究。含沙量较大的水流，对水泵性能将造成一定的影响，因此，如依据水泵厂家按抽送清水的参数来进行水泵选型，在抽送含沙水流时，其工作点必然偏离最高效率点，从而引起水泵工作效率的降低及水泵过流部件的磨蚀，

有关单位结合生产对含沙水流中的水泵性能进行了研究,定量地分析研究了泥沙含量对水泵性能的影响。此外,关于泥沙对水泵过流部件磨蚀的成因,如何提高水泵抗磨蚀的水力性能、研制抗磨蚀的水泵模型、双层辉光离子渗金属技术的开发及应用、抗磨蚀材料的采用以及其他抗磨蚀的技术等方面,也取得了众多的研究成果,较好地解决了水泵在含沙水流中的应用问题。

7. 高扬程提灌的经济问题

高扬程提灌是否经济合算,是人们普遍关注的问题。的确,高扬程提灌工程艰巨,代价昂贵。

多年泵站运行实践表明,灌区的经济效益还是比较显著的,促进了粮棉增产,一般水地比旱地可提高产量4~7倍。由于有了水,还带动了乡镇企业、农副业、林业、畜牧业的发展,人民生活得到较大改善。另外还解决了广大地区的人畜引水问题。但总的来看,高扬程提灌由于投资大,提水成本高,加之有些灌区经营管理不善,尚未很好地发挥作用,如何进一步提高经济效益,仍是高灌区需要解决的另一个重要问题。

(1) 在兴建高灌工程时,一定要进行技术经济的充分分析论证,提出可行性研究报告,而其中影响经济指标最主要的因素是提水高度。工程投资、灌溉成本均随扬程的提高而增大,把扬程限制在经济扬程范围内,具体判别式为

$$\frac{B}{\sum C} > 1 \text{ 时, 经济; } \frac{B}{\sum C} = 1 \text{ 时, 临界; } \frac{B}{\sum C} < 1 \text{ 时, 不经济}$$

式中 B 和 $\sum C$ ——在某一扬程下,表示因灌溉而获得的总产值和增加的总支出。

对临界状态,有

$$B - \sum C = 0 \quad (1-0-1)$$

$$\sum C = f(H) \quad (1-0-2)$$

从式(1-0-1)中求出的扬程 H 值,为极限扬程(或临界扬程),即提灌工程的总扬程应控制在极限扬程以下,才是有利可图的。

(2) 提高机组利用率,适当发展经济作物,可根据灌区自然条件、作物品种、生长季节等特点,适当调整、组合作物种植比例,分散用水高峰,基本做到常年均衡供水,以提高机组设备利用率。

(3) 合理灌溉,节约用水,这是降低灌溉成本的关键。确定最优合理灌溉定额问题,国内进行了研究,并提出了计算最优灌溉定额的数学模型。另外采用节水型的灌溉技术,如喷灌、滴灌、渗灌或适当减小灌溉定额,增加灌水次数,或适当发展耐旱省水作物都是行之有效的节水措施。

(4) 机组装置效率 η_z 和渠系水利用系数值越大,电费支出越小,提水成本也越低。对效率低、性能差的抽水机组,应查明原因,采用检修、调整更换措施。特别应加强渠道防渗措施。还可采用暗渠、暗管输水,减少蒸发和漏失。除此,平整土地,改进灌水方法以节约用水。

(5) 建立健全各项规章制度,加强运行管理。对多级提水泵站还要特别做好级间配合、调度工作,杜绝弃水现象。

8. 泵站自动化及系统优化调度的研究

随着经济的发展与计算机技术的进步,我国泵站监控自动化技术逐渐发展起来。进入