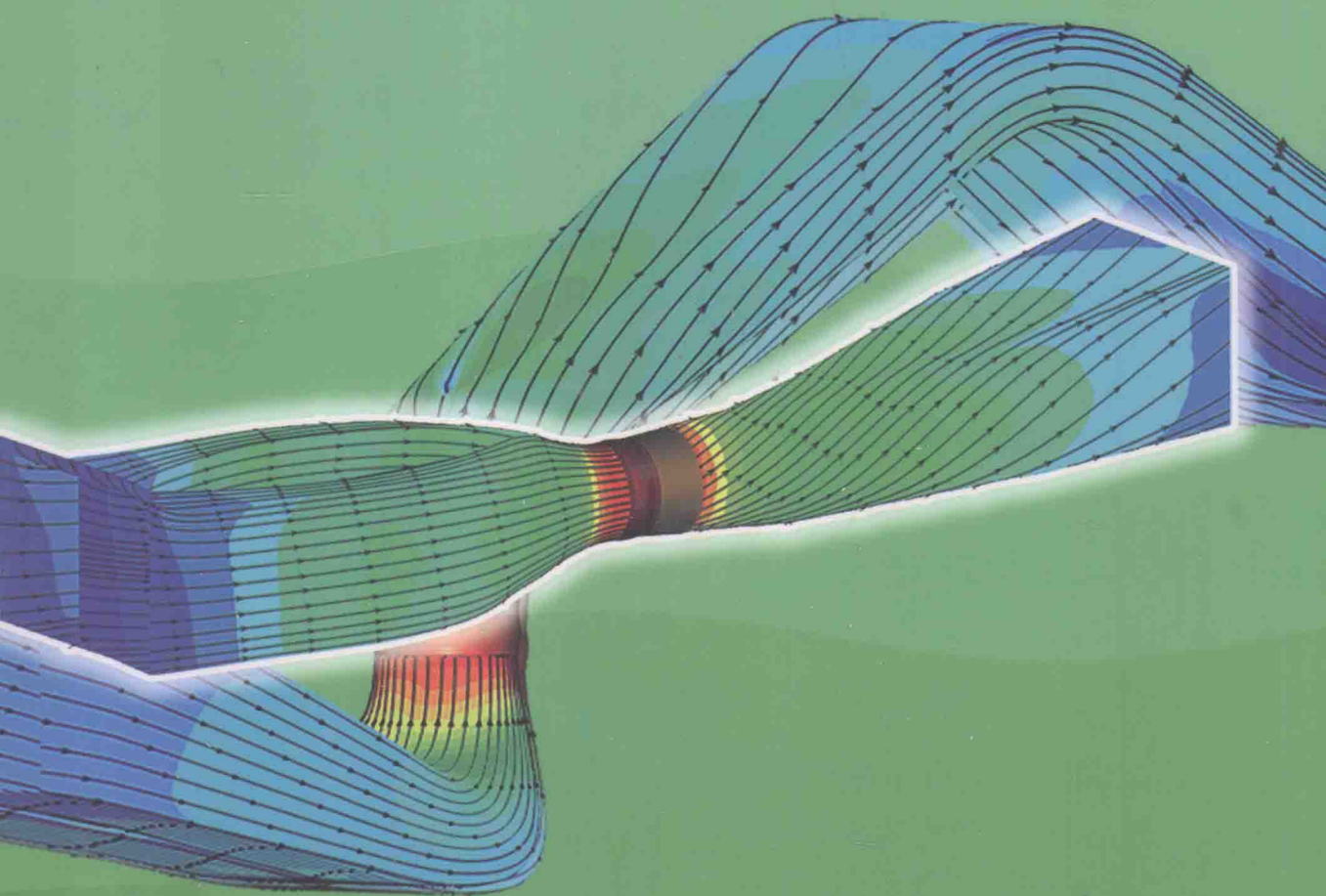


高性能大型低扬程泵 装置优化水力设计

陆林广 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高性能大型低扬程泵 装置优化水力设计

陆林广 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

年运行时间达到数千小时的低扬程、大流量泵站具有与一般泵站不同的特点和要求。本书较为系统地讲述了以三维湍流流动为基础的高性能大型低扬程泵装置进、出水流道优化水力设计的理论和方法,同时也给出了一些具有代表性的工程应用实例。

本书可供水利工程及市政工程勘测设计研究、泵站工程建设管理、水泵设计制造及试验研究等有关单位的工程技术人员参考,也可供高等学校水利水电工程、农业水土工程、热能与动力工程、市政工程等有关专业的师生阅读。

图书在版编目(C I P)数据

高性能大型低扬程泵装置优化水力设计 / 陆林广著
— 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 4
ISBN 978-7-5170-0740-1

I. ①高… II. ①陆… III. ①泵站—水利工程 IV.
①TV675

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第064122号

书 名	高性能大型低扬程泵装置优化水力设计
作 者	陆林广 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京鑫丰华彩印有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 15印张 356千字
版 次	2013年4月第1版 2013年4月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	138.00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

序

我国在城市防洪、农业排灌、跨流域调水、水环境改善等许多国民经济重要领域兴建了大批泵站工程，其规模、数量及类型等皆名列世界前茅。南水北调东线工程是解决我国水资源时空分布不均问题的重大战略性措施之一，用于向苏北和皖东北、鲁西南、胶东半岛、冀东南、天津等地供水。该工程需新建大型泵站，这些泵站的安全、可靠和高效运行在防灾减灾、优化水资源调配、改善生态环境等方面发挥着不可替代的关键性作用，对促进社会稳定与经济发展具有重大而深远的意义。

泵装置是大型泵站的工作主体，由水泵和进、出水流道组成。水泵和流道对泵装置的水力性能都有很大影响。过去存在“重水泵轻流道”的倾向，对进、出水流道水力设计及其对低扬程泵装置整体性能影响的研究投入不够，低扬程泵站的效率一般不高，进、出水流态较差，流道水头损失在泵装置扬程中所占的比例较大，有的泵站甚至发生进水涡带、机组振动等现象。此类问题一旦出现，将会危及大型泵站工程的安全、稳定和高效运行，造成严重后果。

本书作者经过 30 年的潜心研究，将三维湍流理论引入大型泵装置水力设计，并通过局部优化方法与整体优化方法相结合、智能优化方法与传统优化方法相结合的途径，对低扬程泵装置优化水力设计的理论、方法及工程应用进行了深入、系统的研究，其成果已在南水北调东线工程及其他大型工程的 48 座泵站得到了成功应用，对较大幅度地提高我国低扬程泵装置水力性能的整体水平发挥了关键作用。本书在作者过去研究成果的基础上又有了深化和提高，可供泵站工程设计者和研究者参考使用。

15 年前，本书作者发表了这方面的第 1 本专著《泵站进水流道优化水力设计》，在为该书作的序中预计到的一些情况与目前的现实比较吻合。根据我国的自然地理条件和全球气候变暖的趋势，遵循国民经济可持续发展的规律，我国的泵站工程今后还将有更大的发展。本书的出版对大型泵装置优化水力设计理论更深入的研究和应用将发挥十分重要的促进作用。

中国工程院院士 周君亮
中国工程设计大师

2012 年 11 月于南京

前 言

学以致用是应用学科永恒的指导方针,“致用”是应用学科存在的前提和发展的基础。学以致用则是应用学科应予以重视的另一个方面。学以致用提倡学习的目的在于应用,学以致用则提倡学习的目的在于深入探索和掌握事物的内部规律。“致知”的目的绝不是为理论而理论,更不是为论文而论文,而是为着更为深刻地理解工程应用中存在的问题,以期能在更为先进、更为深刻的科学理论指导下获得更好的工程应用效果。缺乏科学理论指导的应用,就可能因或多或少地带有盲目性而难以达到接近于理想的境界;与此同时,持续较高水平的工程应用又能促进理论的深化和发展。毫无疑问,学以致用与学以致用之间的关系是相互依赖、相辅相成的两个方面。本书的内容是在多年理论研究和工程应用的过程中逐步积累和提炼而成的,本书的出版也可以说是上述理念所催生的产物。

为了应对随着全球气候日益变暖所导致的特大洪、涝、旱等灾害,为了满足不断提高的水资源优化调配的要求,近十几年来,我国跨流域调水、农业灌排、城市防洪、水环境水生态改善等许多领域的大型低扬程泵站工程的建设发展很快,要求也越来越高。举世闻名的我国南水北调东线工程计划新建大型泵站 51 座,年运行时间达到 5000~8000h,其中大部分都是扬程低于 5m 的低扬程泵站。国务院南水北调工程建设委员会提出:“要努力把南水北调工程建设成世界一流工程”。作者有幸参加了南水北调一期工程建设的部分工作,在此过程中对有关高性能大型低扬程泵装置优化水力设计的理论及方法进行了较多的深入思考,深感如果没有较为系统、较为深入的理论将不能满足 21 世纪现代化大型泵站工程建设发展的需要,同时也有很多对理解和处理低扬程泵装置水力设计至关重要的问题需要探索。例如:提高低扬程泵装置水力性能的核心问题是什么?以什么样的思路解决之?如何有效地提高低扬程泵装置的水力性能?各种不同形式低扬程泵装置的水力性能各能提高到什么程度?用什么方法研究低扬程泵装置的优化水力设计最为有效?等等。本书是在总结多年研究体会与感悟的基础上写成,希望能有助于高性能大型低扬程泵装置优化水力设计理论的逐步完善。

全书共分 16 章,第 1 章概括分析了南水北调东线工程泵站的特点与要求,对大型低扬程泵装置的型式进行了梳理;第 2 章分析了提高大型低扬程泵装置效率的关键问题及解决途径;第 3 章明确了大型低扬程泵装置进、出水流动优

化水力设计的目标函数和约束条件；第4章提出了研究大型泵站进、出水流动优化水力设计的基本思路与6个层次的分步优化方法；第5章建立了进、出水流动水力设计数据管理系统；第6章建立了进、出水流动参数化设计数学模型；第7章介绍了进、出水流动和泵装置三维湍流流动数值计算的数学模型；第8章分析论证了求解进水流道正问题所涉及的进水流道出口的边界条件问题；第9章提出了与泵装置进、出水流动优化水力设计理论配套的流道模型试验研究方法；第10章论证分析了求解出水流道正问题所涉及的出水流道进口的边界条件问题；第11章提出了进、出水流动水力性能分析计算研究方法；第12章分析了立式泵装置常用型式进、出水流动主要几何参数对其水力性能的影响；第13章分析了竖井式贯流泵装置进、出水流动主要几何参数对其水力性能的影响；第14章分析了泵装置与水泵模型测试段能量性能之间的联系与区别，为大型低扬程泵装置水泵选型方法的研究与应用提供依据；第15章提出了水泵模型测试段能量性能修正和低扬程泵装置主要工况能量性能预测的方法；第16章介绍了本书理论及方法部分具有代表性的工程应用实例。各章插图中的高程单位为m，长度单位除注明的以外均为mm。

在成书的酝酿、思考和撰写的漫长过程中，作者曾有幸与很多工程界和学术界的前辈、专家进行过非常有益的讨论，并从中获得了许多宝贵的启示。他们的指导、支持与鼓励，对于本书许多思想的形成和深入探讨起到了至关重要的作用。作者在此特别要感谢的是：

国务院南水北调办公室专家委员会高安泽中国工程设计大师、宁远研究员级高工、汪易森研究员级高工；

水利部水利水电规划设计总院卜漱和研究员级高工；

江苏省水利厅周君亮院士、陈茂满研究员级高工、沈日迈研究员级高工、潘贤德研究员级高工、叶健研究员级高工、黄海田研究员级高工；

江苏省南水北调办公室刘丽君研究员级高工；

南水北调东线江苏水源有限责任公司邓东升研究员级高工、刘军研究员级高工、冯旭松研究员级高工；

山东省南水北调工程建设管理局于国平研究员级高工；

江苏省水利勘测设计研究院有限公司童利忠研究员级高工、阎文立高工、张平易高工、许宗喜高工、顾美娟高工、张仁田研究员级高工、谢伟东研究员级高工；

江苏省水利工程科技咨询有限公司颜红勤研究员级高工；

中水北方勘测设计研究有限责任公司何成连研究员级高工；

中水淮河工程有限责任公司胡兆球研究员级高工、伍杰研究员级高工；

上海勘测设计研究院胡德义研究员级高工、黄毅高工；

山东省水利勘测设计院岳永起研究员级高工、郭绍春高工；

长江勘测规划设计研究有限责任公司郑建强高工；

淮安市水利勘测设计研究院吴昌新高工、陈坚高工、纪建中高工、王星梅研究员级高工；

徐州市水利建筑设计研究院许明德总工、白丽萍高工；

江苏省江都水利工程管理处汤正军研究员级高工；

江苏省骆运水利工程管理处问泽航研究员级高工；

合肥万浦机电科技开发有限公司邓悌康研究员级高工；

日立泵制造（无锡）有限公司高盘林高工、许跃华高工、朱泉荣高工；

上海凯士比泵业有限公司周国明高工、潘再兵高工；

江苏航天水力设备制造有限公司谈强高工；

清华大学林汝长教授、吴玉林教授、曹树良教授；

中国农业大学王福军教授；

江苏大学袁寿其教授、关醒凡教授、施卫东研究员；

河海大学徐辉教授、郑源教授；

上海大学陈红勋教授；

扬州大学冯汉民教授、夏维成教授、袁伟声教授、潘咸昂教授、严登丰教授、程吉林教授、王林锁教授、王业明教授、储训教授、汤方平教授、朱红耕教授、仇宝云教授、陈松山教授、周济人副教授、袁家博副教授、奚斌副研究员、杨生讲师。

诚挚地感谢作者工作单位扬州大学的有关领导：水建（利）学院罗忠良书记、严文群书记和陈建康院长、吉庆丰院长、陆伟刚院长，他们的理解与支持对于作者得以在宽松、和谐的环境中潜心进行研究弥足珍贵。

还要感谢作者指导过的硕（博）士研究生陈玉明、杲东彦、祝婕、吴开平、冷豫、陈阿萍、黄金军、徐磊、梁金栋、刘军、刘荣华、陈伟、崔健、王刚、董雷和王兆飞等同学，作者在与他们的朝夕相处中进行过许多生动有趣和富有想象力的讨论，并多次从中激发起灵感。

本书的主要作用一是供借鉴；二是供批判：借鉴书中提出的理论和总结的经验，批判书中的不妥不对之处；在借鉴中应用，在批判中发展。作者从事大型泵站进、出水流道方面的研究刚好达到而立之年。回顾这一段跨越世纪的 30 年的历史（1982~2012 年），最大的感慨在于科学技术发展之快、我国泵站工程建设发展之快。时代不断前进，科技不断发展，人们对事物的认识也不断深化，永无止境。作者相信：今后的创新会更多、发展会更快，后来人会通过更为深入、更为严谨的理论研究和科学实验，推动高性能大型低扬程泵装置优化水力设计理论及方法的不断创新和持续发展，以满足我国大型泵站工程建设日益提高的要求。

作者

2012 年 9 月于扬州

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 南水北调东线工程泵站的特点与要求	3
1.3 低扬程泵装置的组成及分类	4
1.4 小结	13
第 2 章 高性能低扬程泵装置优化水力设计的关键问题	14
2.1 泵装置效率决定于水泵效率与流道效率	14
2.2 轴流泵及导叶式混流泵水力模型的研发概况	14
2.3 减少流道水头损失和提高流道效率是关键	15
2.4 影响流道水头损失的两个基本要素	16
2.5 流道形线对流道水力性能的影响	19
2.6 泵装置型式及流道型式对流道水头损失的影响	21
2.7 水泵 nD 值对低扬程泵装置水力性能的影响	22
2.8 小结	26
第 3 章 进、出水流道优化水力设计的理念及思路	27
3.1 以三维湍流流场分析为流道优化水力设计的基础	27
3.2 进、水流道的分层次优化水力设计	28
3.3 泵装置水力设计与泵站工程设计的协同优化	30
3.4 小结	31
第 4 章 流道优化水力设计的目标及约束条件	32
4.1 进水流道优化水力设计的目标	32
4.2 出水流道优化水力设计的目标	34
4.3 进、水流道优化水力设计的约束条件	35
4.4 小结	35
第 5 章 进、出水流道水力设计数据管理系统	36
5.1 数据库管理的资料	36
5.2 Microsoft Access 数据库	37
5.3 数据库管理系统的功能结构	38

5.4 数据库管理系统的功能界面	38
第6章 进、出水流道三维形体参数化设计数学模型	42
6.1 立式泵装置	42
6.2 贯流泵装置	48
第7章 泵装置流道三维湍流流动数值计算数学模型	54
7.1 控制方程	54
7.2 边界条件	55
7.3 计算流场的离散化	56
第8章 轴流泵叶轮对叶轮室进口流态的影响	60
8.1 已有研究资料	60
8.2 轴流泵泵段叶轮对叶轮室进口流态的影响	60
8.3 立式轴流泵装置中叶轮对叶轮室进口流态的影响	64
8.4 小流量工况叶轮室进口出现预旋现象的初步分析	67
8.5 小结	67
第9章 进、出水流道和泵装置模型试验研究方法	69
9.1 进水流道模型试验方法	70
9.2 出水流道模型试验方法	72
9.3 透明泵装置流态模型试验	76
9.4 泵装置水力性能模型试验	77
9.5 小结	80
第10章 轴流泵导叶出口环量对出水流道水头损失的影响	81
10.1 轴流泵导叶出口断面速度环量的定量表示	82
10.2 轴流泵导叶体出口环量与出水流道水头损失的关系	83
10.3 导叶出口水流切向流速分布对出水流道水头损失的影响	88
10.4 流量和环量对出水流道水头损失的交叉影响	91
10.5 小结	91
第11章 进、出水流道和泵装置三维湍流流动数值计算	93
11.1 进水流道三维流场数值计算	94
11.2 出水流道三维流场数值计算	101
11.3 泵装置三维流场数值计算	106
11.4 小结	109
第12章 立式泵装置进、出水流道优化水力设计	110
12.1 进水流道优化水力设计	110
12.2 出水流道优化水力设计	123

12.3	中隔墩对出水流道水头损失的影响	132
12.4	小结	135
第13章	竖井式贯流泵装置优化水力设计	136
13.1	前置竖井式贯流泵装置的优化水力设计	136
13.2	后置竖井式贯流泵装置的优化水力设计	144
13.3	前置竖井式贯流泵装置的流态分析	147
13.4	前、后置竖井式贯流泵装置水力性能的比较	151
13.5	小结	152
第14章	泵装置与水泵模型性能的关系和水泵选型方法	153
14.1	“同台测试”与水泵模型测试段	153
14.2	泵装置模型与相应水泵模型测试段能量性能之间的关系	154
14.3	泵装置模型与相应水泵模型测试段空化性能之间的关系	157
14.4	大型低扬程泵站的水泵选型方法	161
14.5	小结	162
第15章	泵段效率修正与泵装置效率预测	163
15.1	关于“泵段”的概念	163
15.2	“泵段”性能与“水泵模型测试段”性能的差别	164
15.3	水泵模型测试段的管道水头损失	165
15.4	“泵段”效率的修正	166
15.5	泵装置效率预测方法应用实例	167
15.6	低扬程泵装置效率指标的推算方法	169
15.7	低扬程泵装置的空化性能考核指标	173
15.8	小结	175
第16章	工程应用情况简介	176
16.1	工程应用概况	176
16.2	南水北调东线宝应站应用简况	178
16.3	南水北调东线长沟站应用简况	186
16.4	南水北调东线邓楼站应用简况	193
16.5	南水北调东线邳州站应用简况	198
16.6	江苏省通榆河北延送水工程灌北泵站应用简况	204
16.7	南水北调东线泗阳站应用简况	210
16.8	南水北调东线睢宁二站应用简况	216
	参考文献	223

第 1 章 绪 论

1.1 研 究 背 景

早在 20 世纪 80 年代,我国南水北调东线工程即已在计划筹建之中。这项举世闻名的调水工程穿越长江流域、淮河流域、黄河流域和海河流域,是关系到我国经济、社会和生态环境可持续发展的重大基本建设项目。南水北调东线工程分为 13 个梯级泵站群提水,总提水高度为 65m,计划新建大型泵站 51 座,分 3 期实施,其中,一期工程计划新建大型泵站 21 座^[1]。

2003 年 8 月 14 日,国务院南水北调工程建设委员会第一次全体会议在北京召开。国务院总理、南水北调工程建设委员会主任温家宝指出:“兴建南水北调工程,对国民经济全局和中华民族的长远发展具有重大而深远的意义,要以对国家和人民负责、对历史负责的精神,精心组织、精心设计、精心施工,努力把南水北调工程建设成世界一流工程。”^[2]

除南水北调东线工程外,我国还有许多大型泵站近年来正陆续进入建设阶段。这些泵站将在许多地区的水资源调配、城市防洪排涝、水环境改善及农业排灌等方面发挥决定性的作用。南水北调东线泵站工程是我国有史以来规模最大、要求最高的泵站工程,其设计水平和建设水平的提高对国内其他工程大型泵站的建设具有巨大的影响力和示范带动作用。

泵装置是大型泵站的核心,搞好泵装置的优化水力设计是提高泵站工程建设水平的一个关键问题。大型泵站工程设计的主要任务之一就是要实现泵装置的安全、稳定和高效运行。泵装置扬程愈低、年运行时数愈长,这个要求就愈为突出。在科学技术突飞猛进的今天,提高大型泵站的建设水平是 21 世纪的必然要求;在水资源日趋紧张、节能减排要求日益严厉的今天,确保大型泵站泵装置的稳定和高效运行,更是大势所趋。

为保证南水北调东线工程泵站的设计质量和为南水北调工程泵站的水泵选型提供科学依据,2004 年水利部调水局组织开展了水泵模型的同台测试工作^[3]。迄今为止,南水北调工程采用国产设备的泵站都选用了经过同台测试的水泵模型,取得了很好的效果。

为保证南水北调东线工程泵站泵装置的设计和制造质量,2005 年国务院南水北调工程建设委员会办公室制定了南水北调工程建设专用技术规定《南水北调泵站工程水泵采购、监造、安装、验收指导意见》(NSBD 1—2005),其中对南水北调工程大型泵站的泵装置效率提出了较高要求^[4]。泵装置的水力设计包括水泵模型的合理选用和进、出水流道优化水力设计等方面。为了实现将南水北调工程建成世界一流工程的目标,必须解决好泵装置的优化水力设计问题。

1.1.1 大型泵站进、出水流动一维设计方法亟待更新

在计算机得到广泛应用和 CFD 理论及技术充分发展之前，我国大型泵装置进、出水流动的水力设计长期沿用以“平均流速法”为基础的一维水力设计方法（以下简称“一维设计方法”）。1987 年 11 月实施的水利电力部部标准《泵站技术规范》（SD 204—86）在其条文说明中推荐了一维设计方法^[5]。该方法是以“断面平均流速”为基础的几何作图法，即：以“断面平均流速”沿流动中心线的变化平顺均匀为依据调整流动道形线，而“断面平均流速”则是用水泵的设计流量除以所谓“过流断面”的面积得到；认为过流道纵向对称平面中心线上的点作其垂线得到的断面便是“过流断面”。然而，通过几何作图法得到的所谓“过流断面”只能是几何意义上的断面，而不是水力学意义上的过流断面。

一维设计理论描述的水流流动与进、出水流动内实际的三维湍流流动出入很大。例如：按一维设计方法设计的肘形进水流道的“过流断面”会在其弯曲段的内侧附近发生相交（图 1-1）。这意味着此处将发生旋涡，而进水流道的设计要求是不允许流道内存在旋涡的。再如：按一维设计方法设计的虹吸式出水流动下降段理论上是没有旋涡的，但事实上此处却存在着旋涡（图 1-2）。类似问题不一而足。可见，进、出水流动的一维设计理论不能自圆其说，存在着实质性的问题，据此设计的流动无疑难以满足泵装置安全、稳定和高效运行的要求。

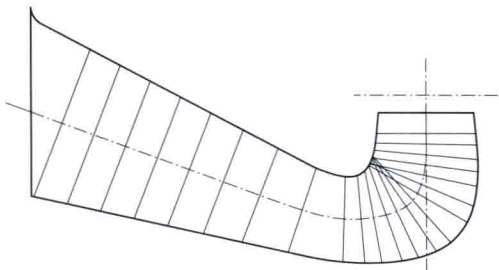
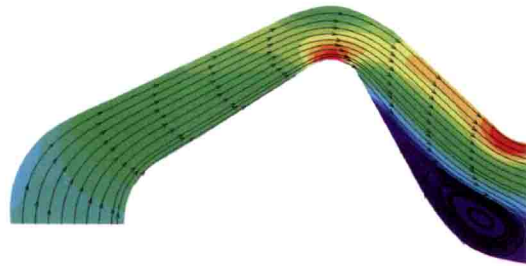
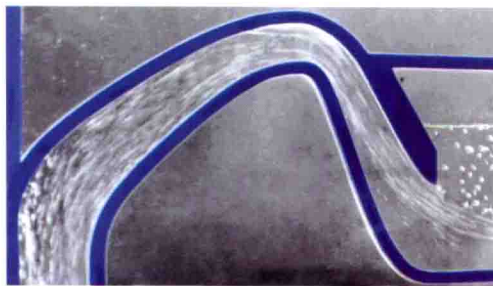


图 1-1 肘形进水流道断面线的交叉



(a) 数值计算得到的流态



(b) 模型试验得到的流态

图 1-2 虹吸式出水流动内的旋涡

大型泵装置进、出水流动一维流动设计理论及方法一直沿用至 20 世纪 90 年代。1997 年 9 月 1 日颁布实施的国家标准《泵站设计规范》（GB/T 50265—97）虽然已将这种设计方法从条文说明中删去^[6]，但未提及以流体力学三维理论为基础的流动水力设计方法。大型泵装置进、出水流动的三维优化水力设计理论及方法到 20 世纪 90 年代初基本上还是空白。

1.1.2 大型泵装置效率整体水平偏低

《泵站设计规范》(GB/T 50265—97) 提出轴流泵站与混流泵站的装置效率不宜低于 70%；净扬程低于 3m 的泵站，其装置效率不宜低于 60%。根据统计资料^[7-15]，我国大型低扬程泵站 21 世纪初的泵装置主要工况点的效率大体上为 65%~75%，净扬程低于 3m 的为 60%~68%，大型低扬程泵装置效率的总体水平可达到 70%左右。虽然这个水平已较 20 世纪八九十年代有了较明显的提高，但与新世纪提出的节能减排要求相比、与大型泵站工程建设现代化的要求相比仍有较大差距，仍有较大的提升空间。

南水北调东线工程泵站的常年运行时间达到 5000h/a 以上。为了降低调水成本和节能减排，要求这些泵站必须具有较高的泵装置效率；另一方面，南水北调东线工程的泵站扬程较低，进、出水流道的水头损失相对于泵装置扬程的比重较大，这就为提高流道效率和泵装置效率带来了较大困难。

1.1.3 南水北调东线工程等大型泵站工程建设的要求

南水北调工程建设专用技术规定《南水北调泵站工程水泵采购、监造、安装、验收指导意见》(NSBD 1—2005) 是国务院南水北调工程建设委员会办公室制定的第 1 个技术标准^[4]。为保证泵装置水力设计的质量，该标准对南水北调东线工程大型泵站的泵装置效率提出了较高要求（表 1-1）。

表 1-1 南水北调工程建设专用技术规定（NSBD 1—2005）关于泵装置效率的指标

泵站平均扬程 (m)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
泵装置效率 (%)	≥66	≥68	≥72	≥73	≥74	≥75	≥76	≥77	≥78

要达到和超过上述效率指标，在提出之初还是有一定难度的，特别是对于平均扬程 4m 以下的立式泵装置。

1.1.4 开展高效低扬程泵装置水力设计理论研究的必要性

以南水北调东线工程为代表的大型低扬程泵站工程建设的快速发展和高标准、高要求，迫切需要更新设计理念，用现代的、先进的高性能泵装置优化水力设计理论与方法取代传统的设计理论与方法，以争取较大幅度地提高低扬程泵站的流道效率和泵装置水力性能。对于年运行时间长的大型泵站，泵装置效率是其建设水平的一个十分重要的标志。为了实现将南水北调工程建设成世界一流工程的宏伟目标，深入开展大型高效泵装置水力设计理论与应用的研究已是势在必行。

1.2 南水北调东线工程泵站的特点与要求

南水北调东线工程计划新建大型泵站 51 座，其中一期、二期和三期工程新建泵站数分别为 21 座、13 座和 17 座^[1]，分 13 个梯级提水，提水总高度为 65m。表 1-2 将这些泵站按其平均扬程分档列出。

表 1-2 南水北调东线工程泵站的平均扬程分布情况

平均扬程 (m)		1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8
泵站数量 (座)	一期工程	2	3	7	3	4	0	2
	二期工程	2	3	3	1	3	0	1
	三期工程	1	2	6	2	4	0	2

南水北调东线工程的大型泵站主要有以下两个特点：

- (1) 扬程低，70%的泵站平均扬程低于 5m。
- (2) 年运行时间长，为 5000~8000h。

由于泵站年运行时间长，为了降低调水成本和节能减排，要求这些泵站必须具有很高的泵装置效率。

在扬程较低条件下，提高泵装置效率会由于以下的一些原因而存在困难：

- (1) 进、出水流道水头损失相对于泵装置扬程的比例较大，从而制约了流道效率的提高，大大增加了提高泵装置效率的难度。
- (2) 泵站上、下游水位差较小，泵装置在立面方向的布置尺寸比较紧张。

1.3 低扬程泵装置的组成及分类

1.3.1 低扬程泵装置的组成

大型低扬程泵装置采用轴流泵或导叶式混流泵，其组成主要可分为进水流道、水泵叶轮（含叶轮室，下同）、导叶体和出水流道等 4 个部分。

水泵叶轮是泵装置的核心，其作用是将能量传递给水流，使其产生扬程。轴流泵利用叶轮旋转所产生的升力向水流传递能量，导叶式混流泵则同时利用了叶轮旋转所产生的离心力和升力向水流传递能量。水流流出叶轮之后，按自由涡运动规律旋转前进。在水泵叶轮之后设置有导叶体，其目的是通过对水流运动方向的调整和适当的扩散，将水流所具有的部分旋转动能转换为压能，以减少能量消耗。叶轮和导叶之间的关系非常密切：从结构上看，它们共同组成水泵泵段；从水力设计方面看，导叶体的进口需与叶轮出口相衔接。由于导叶只在一定程度上改变从叶轮流入水流的流动方向，消除了部分环量，进入出水流道的水流仍然是呈螺旋状前进的。

进水流道的作用为引导水流平顺均匀地从前池进入水泵叶轮室，为水泵叶轮室进口提供满足水力设计要求的条件。

出水流道的作用为引导水流在从导叶体出口流入出水池的过程中更好地转向和扩散，在尽可能不发生脱流及旋涡的条件下最大限度地回收水流所具有的动能。水泵导叶出口的剩余环量将在较大程度上影响到出水流道内的流态及水头损失。

从整个泵装置看，进水流道是进水池与叶轮之间的过渡段，出水流道是导叶体与出水池之间的过渡段，而导叶体则是叶轮与出水流道之间的水流调整段。进水流道的优化水力设计需要考虑对叶轮室进口流态的要求，而出水流道的优化水力设计则需考虑导叶体出口流态对出水流道水力性能的影响。

1.3.2 低扬程泵装置的分类

大中型低扬程泵装置的型式比较多，其分类也有多种不同的方法。根据驱动电机的布置位置和泵轴的安裝方式，本书将低扬程泵装置型式分为贯流式泵装置、轴伸式泵装置和潜水泵装置等 3 大基本类型。每一种基本类型又可进一步细分为若干种不同的型式（图 1-3）。

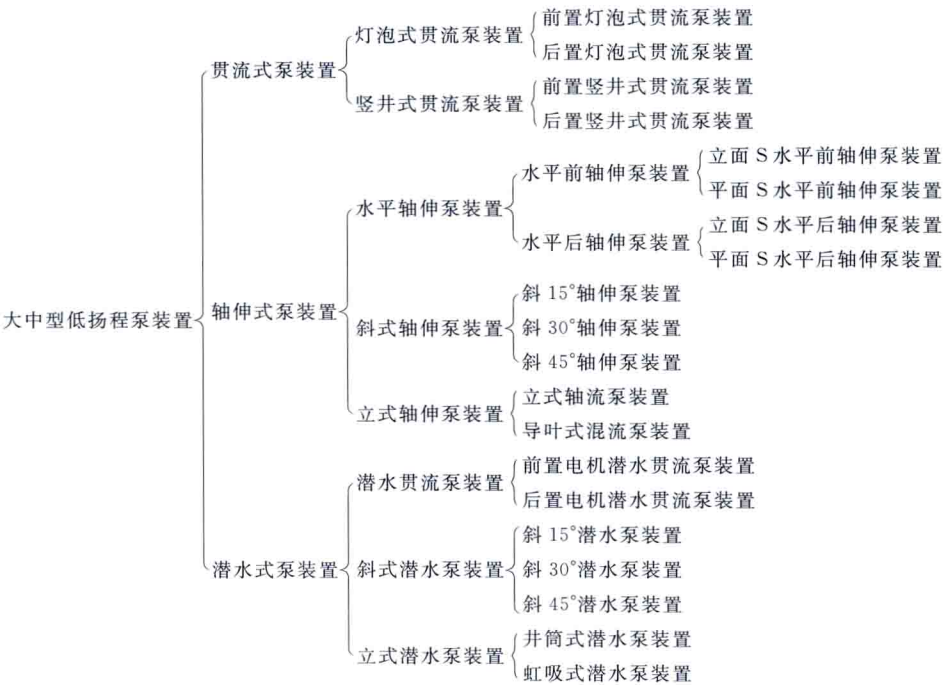


图 1-3 大中型低扬程泵装置型式的分类

贯流式泵装置最显著的结构特征为：①电机、轴承及传动设备等布置在流道内，泵轴无需伸出流道，因而其进、出水流道顺直；②泵轴采用卧式安装。

轴伸式泵装置最显著的结构特征为：①电机、轴承及传动设备布置在流道外，泵轴需要伸出流道，因而其进水流道或出水流道需要弯曲（泵轴伸出流道的方向有前轴伸和后轴伸两种方式，前者的进水流道需弯曲，后者的出水流道需弯曲）；②泵轴有卧式、斜式和立式等 3 种安装方式。

潜水泵装置最显著的结构特征为：①水泵与电机、轴承及传动设备等组成机电一体化集成设备，结构紧凑，泵轴无需伸出流道；②安装方式有卧式、斜式和立式等 3 种。

1.3.3 贯流式泵装置

1. 全贯流式泵装置

全贯流式泵机组将水泵和电机合二为一，电动机的转子与水泵叶轮结合为一体，动力机的磁极直接安装在水泵叶片的外缘（图 1-4）。这种型式的贯流泵结构紧凑、轴向尺寸小，具有水流条件好、水头损失小的优点，特别适用于特低扬程的情况；其缺点是对电机绕组的绝缘等级要求较高、电机效率偏低。目前已有中小型全贯流式泵机组的工程应用。

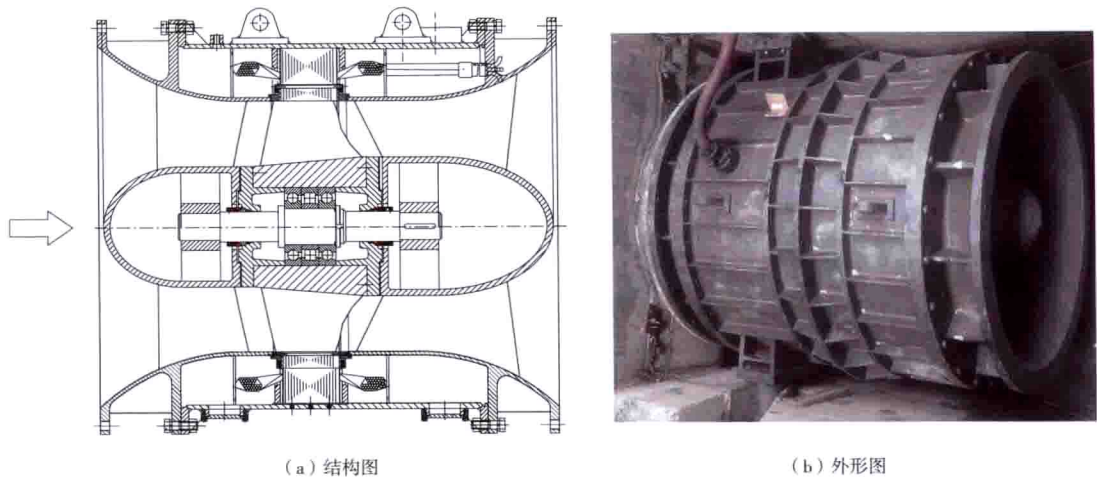


图 1-4 全贯流式泵机组

2. 灯泡式贯流泵装置

灯泡式贯流泵装置的动力机、轴承及齿轮箱等设备安装在灯泡形的金属壳体（简称灯泡体）内。根据灯泡体的布置位置有前置灯泡式（灯泡体置于进水流道内）和后置灯泡式（灯泡体置于出水流道内）之分，配套的流道型式相应地分为前置灯泡式贯流泵进水流道、出水流道（图 1-5）和后置灯泡式贯流泵进水流道、出水流道（图 1-6）。

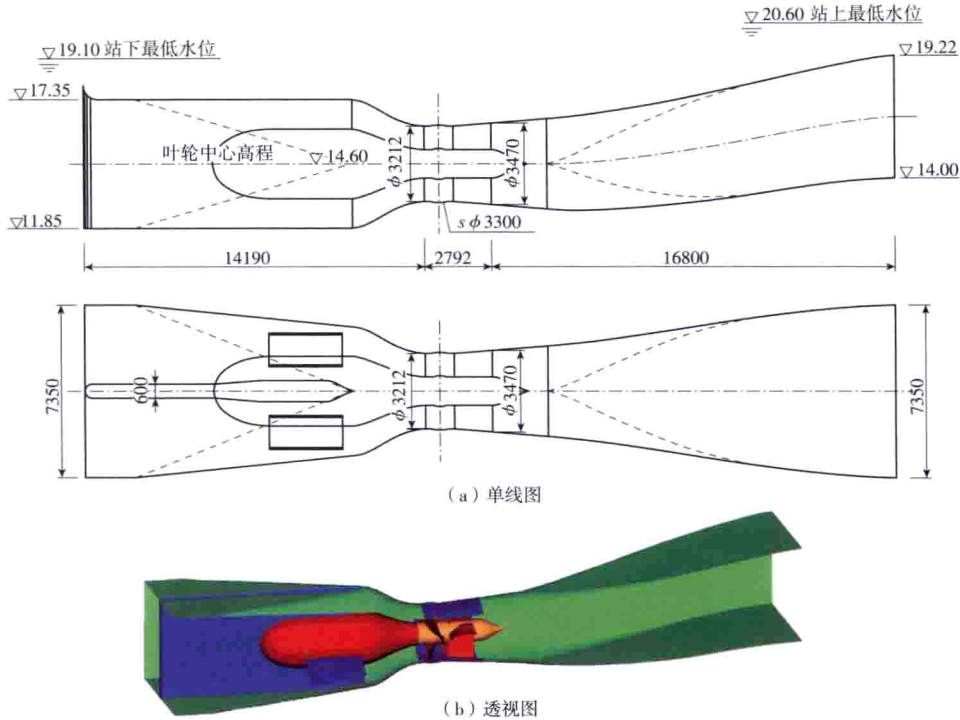


图 1-5 前置灯泡式贯流泵装置

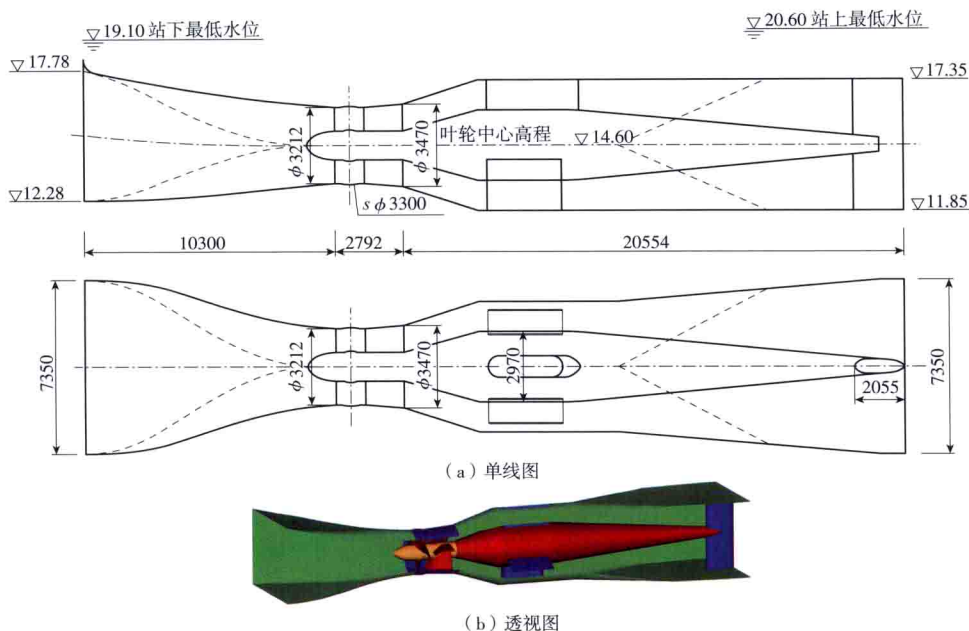


图 1-6 后置灯泡式贯流泵装置

灯泡式贯流泵装置的主要优点是进、出水流道顺直，流道效率高；其缺点是动力机等设备布置在被水流包围的金属灯泡体内，因而具有结构复杂、电机散热条件差、维护检修困难、技术要求高、投资多等缺点。

大型灯泡式贯流泵装置已应用于淮安三站，南水北调东线一期工程有 6 座泵站采用了全套进口设备和技术的灯泡式贯流泵装置。目前大型灯泡式贯流泵装置在国内外的实际运行并不多，在设计、制造及运行管理等方面还缺乏成熟经验。

3. 竖井式贯流泵装置

竖井式贯流泵装置在进水流道或出水流道内设有开敞式的竖井，水泵机组的动力机、轴承及齿轮箱等设备均安装在竖井内。大型泵站竖井的构筑材料一般采用钢筋混凝土。根据竖井的布置位置有前置竖井（竖井位于进水流道内）和后置竖井（竖井位于出水流道内）之分，配套的流道型式相应地分为前置竖井式贯流泵进水流道、出水流道（图 1-7）和后置竖井式贯流泵进水流道、出水流道（图 1-8）。

与灯泡式贯流泵装置相比，竖井式贯流泵装置的主要优点是结构相对简单、电机散热条件相对较好、安装检修较方便、投资较少；过去认为其缺点是水力性能较灯泡式贯流泵装置差。这种泵装置型式目前已在无锡梅梁湖、苏州裴家圩、张家港走马塘、深圳沙河井等泵站得到应用。

1.3.4 轴伸式泵装置

1. 水平轴伸式泵装置

水平轴伸式泵装置有多种型式：按泵轴布置的方式可分为前轴伸式（泵轴从进水流道伸出）和后轴伸式（泵轴从出水流道伸出）；按流道弯曲的方式可分为立面 S 形和平面 S 形（流道在竖直平面内弯曲的为立面 S 形，流道在水平平面内弯曲的为平面 S 形）。上述