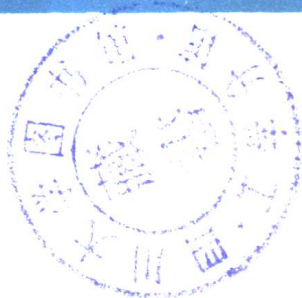


高等学校教材



泵站经济运行

江苏农学院 刘超 编

75
7



1006648

高等学校教材

泵站经济运行

江苏农学院 刘超 编

水利电力出版社

10001

(京)新登字 115 号

内 容 提 要

本书为高等学校水利水电力工程专业和农田水利工程专业的本科生、研究生的选修教材,也可供水利工程技术人员和供排水工程技术人员学习参考。

全书共七章。内容包括泵及其装置特性;各种泵运行工况调节方法及调节性能计算;泵站经济运行的基本理论、优化准则、优化计算;泵站站内优化运行;泵站群、梯级泵站优化运行以及泵站经济运行实现等。书中收集了近年有关研究成果。

高等学校教材
泵站经济运行
江苏农学院 刘超 编

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 8.75印张 204千字

1995年9月第一版 1995年9月北京第一次印刷

印数 0001—1000册

ISBN 7-120-02230-X/TV·890

定价 5.10元

前 言

本书系根据《1990~1995年高等学校水利水电类专业本科、研究生教材选题和编审出版规划》的安排和有关的教材编审会议精神进行编写的。

随着我国经济建设迅速发展,各种各类泵站工程(泵应用工程)正越来越多地在国民经济众多部门投入运行,其配套动力保有量已达数千万千瓦。因此,泵站工程的节能在整个节能工作中所占比重很大。泵站经济运行对于节约能源和发挥泵站工程最大效益是十分有效的途径。泵站经济运行这项工作正越来越得到重视。由于人员水平、设备条件有限和资金来源困难,我国很多泵站工程,尤其是农用灌排泵站工程尚未实现经济运行,远不能适应国民经济高速发展,迫切需要解决优化运行问题。这就向高等学校有关专业提出培养学生掌握这方面知识的要求。本课程的开设和教材编写正是为适应生产需要而确定的。

本书编写力求详尽阐述基本理论、基本概念和基本方法,由浅入深,注重理论联系实际,培养学生基本技能。同时注意介绍本学科方面新的科研成果和发展。

全书由河海大学田家山教授主审。

限于编者水平,书中存在的缺点和错误,恳望读者批评指正。

编 者

1994.9

EAB04/c1

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 泵装置与泵站	4
第一节 泵装置	4
第二节 泵站	5
第三节 泵站运行特点	8
第二章 泵装置动力特性	9
第一节 工作参数和动力指标	9
第二节 泵机组装置动力特性	17
第三节 泵机组装置动力特性曲线绘制	18
第四节 泵机组装置动力特性曲线绘制及拟合的误差问题	22
第五节 泵机组装置动力特性试验的几个问题	23
第三章 泵运行工况调节	25
第一节 泵的变速调节	25
第二节 泵的变角调节	39
第四章 泵站站内运行优化	41
第一节 泵站运行优化准则	41
第二节 泵站优化运行微分法	43
第三节 用微分法确定站内最优运行方式的算例	54
第四节 动态规划法在站内优化运行中的应用	65
第五节 泵站群的运行优化	80
第六节 用耗能率最小准则确定工况不可调机组优化运行	83
第七节 工况可调与工况不可调机组的联合运行	89
第五章 梯级泵站的优化运行	91
第一节 梯级泵站的流量调配和水位(扬程)优化	91
第二节 梯级泵站优化运行实例 ^[11]	98
第六章 泵站自动化和经济运行实施	104
第一节 泵站工作参数监测	104
第二节 泵站自动化	112
第三节 泵站站内经济运行自动控制	116
第七章 泵站技术经济管理	122
第一节 机电设备管理	122
第二节 进水建筑物管理	123
第三节 泵站技术经济指标与计算分析方法	125
参考文献	136

绪 论

泵 (Pump) 是国民经济领域中应用最广泛的机械之一。无论在农田灌溉、排涝工程, 还是各种各类供水工程、排水工程, 或者流体增压输送工程中, 每时每日都有大量的泵在运转, 吞吐大量的能量。泵和动力机, 管路系统及附属设备构成泵送系统或装置 (Pumping System), 通常称为泵系统或泵装置。加上相关的土建设施泵房与进出口建筑和辅助设备即为泵站 (Pumping Plant 或 Pumping Station)。泵在运转时, 除泵系统以外, 辅助系统及土建设施也都处于运行状态, 泵站的运行的总体效果直接影响工程总效益。对确定的泵站, 在设计工况时, 所实现的运行效果是最佳的。然而实际情况总是或多或少地偏离设计工况, 因此, 总体运行效果也就难以保持最佳。这种实际偏离较大时, 就可能在相当大的程度上影响泵站运行效果。我们不可能用更换系统的方法来适应工况变化和改善运行效果, 但是可以通过改变系统运行方式来达到这一目的。与工程设计一样, 泵站运行也应遵循两条原则: ①可靠; ②经济。“可靠”即保证泵站正常、安全运行并达到设计规定的各项要求和指标。“经济”即要使泵站获得或接近最佳总体运行效果, 当实际情况改变 (偏离) 时, 作出相应的新的运行方式决策, 获取在新工况下各种可能运行方式中的最佳方式, 从而获得相对的最佳运行效果。这就是泵站的经济运行。泵站经济运行研究的对象就是泵系统和泵站运行方式。

一、我国泵 (站) 工程的发展概况

泵 (送) 工程或泵 (站) 工程 (Pumping Engineering) 是研究泵的应用技术包括运行管理的综合科学, 国内惯用“泵站工程”表达。其实, 如取“泵”为“抽提”、“泵送”的动词词义, 用“泵工程”表达国际通用术语“Pumping Engineering”更为贴切。

我国泵 (站) 工程大致可分为四类:

(一) 农田灌溉、排涝泵站

农田灌溉、排涝泵站, 即机电排灌泵站。我国地域辽阔, 但农业自然条件相对较差, 农业用水资源分布极不均匀, 总体来说, 北方易旱, 南方易涝, 即使同在南、北方也有相反的情况发生。例如易旱少水的华北平原, 也会发生夏季汛期洪水泛滥; 在雨水充沛的苏南, 也会出现数十天无雨的严重旱情, 在这种情况下, 要使农业生产旱涝保收, 就必须大力发展机电提水灌溉、排涝。新中国成立后我国政府十分重视农业生产的基本建设, 不断增强抗旱排涝的能力, 机电提水灌排工程迅速发展, 尤其在 70 年代以后, 机电排灌泵站建设得到更快更大的发展。到 80 年代末, 全国机电排灌总装机容量已近 7000 万 kW, 大中型泵站 200 多座, 小型泵站数十万座。提水灌溉面积达 4 亿亩, 提水排涝面积 7000 万亩。随着经济建设的发展, 不少大型机电提水工程已经不再单单为农业生产服务, 其功能已逐渐由单一向多元化发展, 如工业、城镇用水, 航运交通用水, 水源补给等。除了单一的农田灌溉或排涝泵站运行有季节性以外, 其余泵站均为常年运行, 年均运行小时数可达数千小时, 耗

用能源的数量是非常巨大的。随着农业生产的发展，抗旱排涝的标准逐步提高，机电提水灌排泵站将不断增加。

近年来，由于生态环境变化影响，全球气候也发生相当的变化。我国较大的旱、涝、洪灾较过去频繁，华东地区于1991年出现百年罕见特大洪涝；仅隔不久又出现了历史上少有的持续高温大旱；造成巨大经济损失。这就说明机电排灌事业仍需大力发展，才能提高抗御自然灾害的能力，为工农业生产和整个国民经济建设提供保障。

（二）城镇供排水泵站

城镇生活用水均为自来水厂生产的自来水，必需经过泵站提升、加压送入自来水管网才能供用户使用。我国人口众多，全国有大型城市40多座，中型城市200多座，小型城市星罗棋布，全部使用自来水。一部分较发达地区的小型乡镇现在也已建立了自来水厂。与之相应的是建立了大批抽送自来水的泵站。泵站规模也在不断扩大，单机功率可达数千千瓦，泵叶轮直径达1~2m。仅大中型城市的自来水厂就有泵站千余个，总装机容量达数百万千瓦。如果再计入小型自来水厂泵站，其泵站数目就更为可观。尽管如此，城镇生活供水的需求仍然在不断增长，许多城市随着改革开放和经济高速发展，供水矛盾也日益突出，近十年中，还将陆续有大批的自来水厂新建、扩建和改建，水厂泵站势必继续不断地增加。

近几年来，大中城市的排水（包括排雨水和排污水）要求不断提高，排水泵站也有了相当发展，季节性短期排雨水和常年长期排污水的任务相结合，是这类泵站的特点，其运行扬程可能有较大差别。因此，城市排水泵站的运行工况也有较大改变，也需进行调节。

根据初步调查分析，大部分供排水泵站运行工况变化较频，而泵站机组的调节能力远不能适应工况变化的要求，因而造成泵机组偏离设计工况运行，运行效率较低，浪费能源。由于这类泵站常年连续运行，运行时间长。若能提高百分之一的泵机组运行效率，也能获得重大的节能效果。

（三）工业供水泵站

大型工厂，如火力发电厂、核电厂、金属冶炼厂等需要大量的冷却水、循环水等生产用水，建有大量泵站。泵站在整个生产过程中起十分重要的作用。泵站运行与生产密切相关，连续的生产过程要求泵站连续可靠地运行。这类泵站的运行工况相对稳定，但在生产过程调整时，泵站实际工况可能出现较大的变化，如果此时泵机组工况不能作相应调整，必然导致泵机组运行效率下降。根据生产需要，不同生产过程需要的供水量和供水压力亦不同。过去常常采用变阀的方法（节流法）来调节水泵工况，极不经济，白白浪费电能。

（四）增压泵站

在长距离液体输送系统中需要在中途建立一系列增压泵站，以克服管道阻力，补偿流体阻力损失，保证流体输送。例如输油管道系统中的增压泵站，就担负着这一任务。整个管路系统是封闭的、连续的，流体在泵前后流速不变，几何高度相差无几。增压泵站的作用是为输送的流体提供足够的压能。管道系统内的流体连续性的要求很高。各级增压泵站抽送的流量必须相等。这类系统通常设有多级增压泵站，各级泵站之间工况必须严格配合，才能保持系统的稳定运行。

二、泵站经济运行的必要性和可能性

泵站经济运行一般是以泵系统为研究对象，在满足扬程流量的基本要求下，寻找一种相对最佳的运行方式，使其产生的效益相对最大。或者说在产生相同效益时消耗的成本最小。这就是泵站经济运行的目标。我国泵工程应用广泛，种类繁多，但绝大多数是以一种固定的方式在运行，即一种转速，一种叶片角度（对叶片可调的泵）的运行方式。尽管泵站的实际工况在变化，泵系统工况却不能作出相应调整。因此，泵系统运行效率普遍偏低。根据现场测试资料，农田排灌泵站装置效率最低不足30%，因偏离设计工况运行引起的效率降低值可达10%左右。大大增加了能源消耗和运行成本。我国水利电力部于1985年颁发了“泵站技术改造通则”，要求从实际出发，对原有机电排灌泵站工程和设施，应用机电排灌的新技术，新工艺和先进设备进行综合技术改造，并规定了泵站技术改造后，必须达到相应的技术经济指标。十余年来，水利系统农田排灌泵站技术改造工作取得了很大的成绩，泵站建设和管理的技术水平都上了一个新的台阶。这是机电排灌泵站工程的重要技术进步。在泵站经济运行方面也已开始予以重视，主要集中在大型、多机组的泵站和灌溉工程。分析现有资料可以预测，通过改变泵站现有的固定运行方式实现优化运行，提高泵站（非设计工况）运行效率5%左右是完全可以达到的。在用电量给定的情况下，则采用经济运行方式可以抽提更多的水量。这对以百万千瓦计的大中型泵站来说，经济意义非常显著。

城市供水泵站的工况变化较农用泵站频繁得多，且供水成本直接关系到企业的效益和发展，故而这类泵站的经济运行要求尤其迫切。依托企业自身的经济实力，近年来城市供水泵站率先采用了大功率可控硅串调装置、大功率变频装置和大功率液力传动装置来实现泵运行转速的调节控制，并取得了显著经济效益。以往惯用的变阀节流调节已经逐步淘汰，有效地降低了供水成本（可达2%~8%）。随着供水量和供水质量（保证性）不断提高，新技术、新设备必将进一步广泛采用，更多的供水泵站将实现经济运行。城市排水泵站，主要为污水泵站，与供水泵站情况类似，近年新建的一些规模较大的排污系统均采用先进的调速装置来调节泵的工况选择最优运行方式，以适应排污量的变化，降低运行成本。

由于工业生产过程的严格限制，工业泵站泵系统工况必须严格按照生产要求作相应调整，改变供水量和供水压力。过去常采用的亦为变阀节流调节，浪费大量能源。采用新的变速调节方法以后，通过无级调速的经济运行方式取得重大节能效果。如在火力发电厂中，为发电机组配套的锅炉给水泵、循环水泵、凝结水泵、冷却水泵等各种泵的装机容量占厂用电的70%左右。占主机容量的10%左右。上海闵行发电厂仅调速给水泵经济运行一项，台泵年节电就达400多万度，上海炼油厂供水车间也采用调速水泵，一台泵年节电173.2万度。这些事例充分说明工业泵（站）工程经济运行的重大意义。

泵站经济运行是在泵机组工况调节和控制的基础上实现的。而泵工况调节控制需要有可靠的调控设备。随着改革开放，我国的经济迅速发展，科学技术水平不断提高，新技术、新工艺、新设备越来越广泛地用于各类泵（站）工程。计算机技术的发展和运用更为泵站经济运行自动实现提供保证。同时这将大大促进泵站经济运行的发展和泵站管理水平的突破性进展，可以预料在不远的将来，在各类泵（站）工程中会更普遍地采用经济运行方式。这同时也为泵（站）工程学科注入新的活力。

第一章 泵装置与泵站

第一节 泵装置

水泵是一种水力机械，通过水泵运转把机械能转变为水能即水的压能、位能和动能，以达到提升、增压和输送的目的。水泵和带动其运转的动力机组成抽水机组，习惯称为泵机组。水泵配以进出水管道及其附件，如闸阀、逆止阀、拍门等就构成一个完整的抽水装置。习惯上称为泵装置或泵系统 (Pumping System)。在农用排灌泵站中，泵的管路系统大多数较为简单，但在市政工程及工厂内，泵的管路系统常较为复杂。只有那些受水泵作用直接控制的充水管道，我们才认为其属于泵系统，其余的管道则归于泵站工程 (Pumping Works) 的一部分，如农田排灌泵站中的引水涵洞，出水涵洞，或归于管网系统 (Pipe Network)。图 1-1 (a)，(b) 分别为离心泵和轴流泵装置。

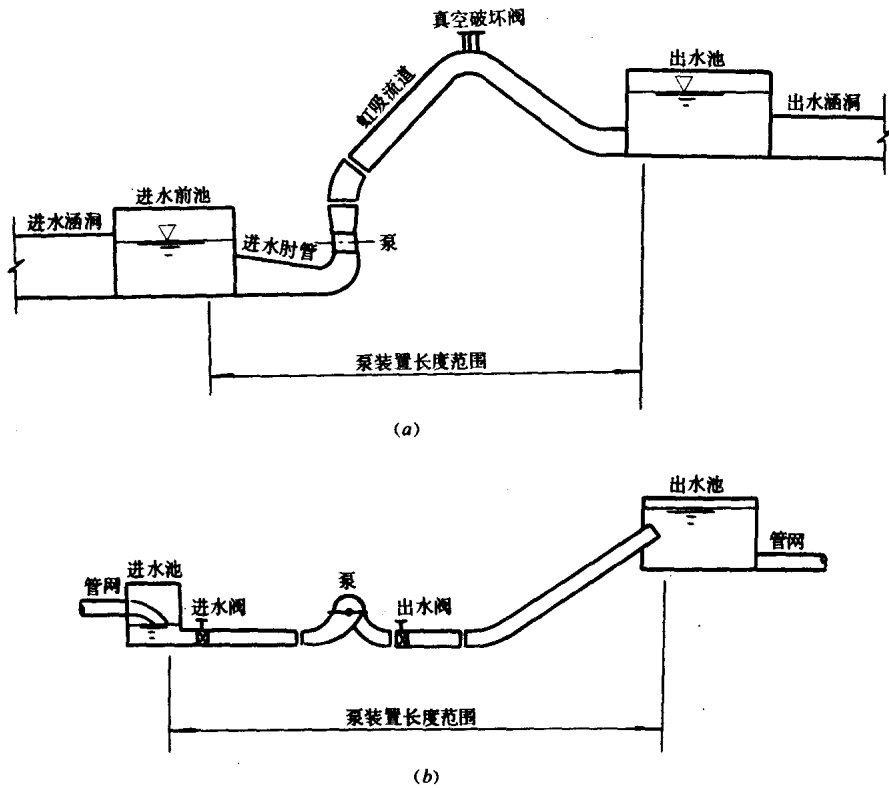


图 1-1

(a) 轴流泵装置；(b) 离心泵装置

许多水泵单独构成泵装置，但根据实际需要，也可把水泵串联起来和并联起来运行，从而构成串联泵装置和并联泵装置 (图 1-2)。

在管网中的泵系统其进水管有时还可设支管，在一些丘陵山区，地势特殊的山区的农田排灌泵站中为送水至不同高程的灌水区，出水管也设有支管道，这就构成一种带有旁支管路的泵装置（图 1-3）。

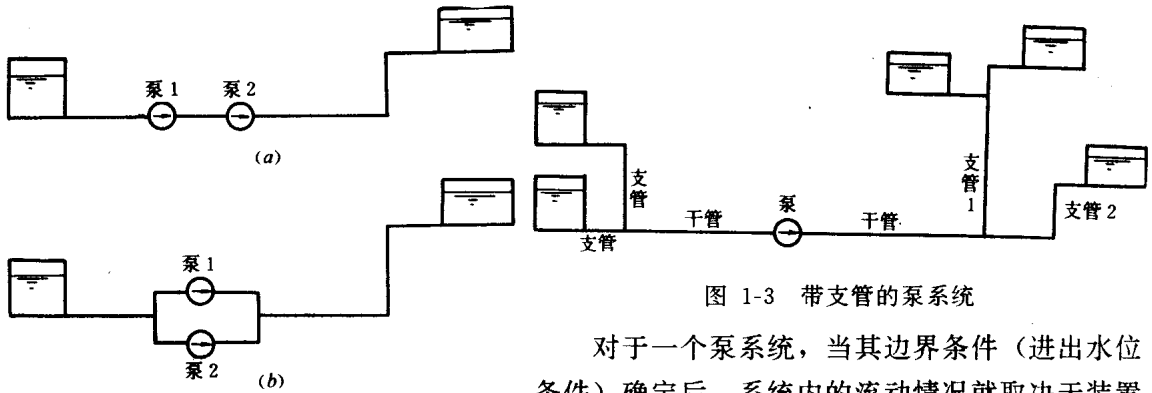


图 1-2
(a) 串联泵装置；(b) 并联泵装置

图 1-3 带支管的泵系统

对于一个泵系统，当其边界条件（进出水位条件）确定后，系统内的流动情况就取决于装置自身情况：包括水泵的工作状况（转速，叶片角度等）及管路的断面形状，布置形式，材料和附件等。水泵的工作状况可加以人为的控制，而管路状况除附件外一般不可改变。液体通过泵系统时，必须克服管路产生的摩阻和局部阻力。这样，水泵除了提供液体升高处所需的水头或进入压力系统所需的压力以外，还必须提供其克服管路阻碍作用所需的水头或压力。

第二节 泵 站

泵站是指包括泵机组及其管路设备（泵装置、动力机、电气设备、辅助设备）及配套建筑物在内的工程设施。其土建部分有站身（厂房及水下建筑），进出水建筑物，引水建筑及其配套建筑物等。一座泵站内仅安装一台泵机组为单泵站，安装二台以上泵机组为多台机组泵站。生产上单泵站均为小型泵站，除此而外的大中型泵站均为多机组泵站。

在农田机电排灌工程中，依据灌溉、排水范围（即灌排区）和泵站运行方式，泵站形成两类组合——梯级泵站和泵站群。

一、梯级泵站

梯级泵站一般由数个布置在不同高程的提水泵站组成。第一级泵站从水源取水，其后各级泵站均以前一级泵站出水作为该级站水源，水从一级站开始逐级经泵站提升，实现对整个灌区的灌溉。这就形成了梯级提水泵站，梯级泵站中各级泵站的运行互相影响而非独立。前一级站运行状态对后一级站运行有决定性影响。例如除了前一级站输水给后一级站外，其本身可能还担负附近的相对高程较低的灌溉任务，还有在输水渠道中的水量损失，这些都要求前一级站的流量必须大于后一级站。前后两级泵站抽提水量要达到平衡，需运行一定的时间后才能实现，在这段时间内，泵站实际上是在不稳定工况下运行。因为前后进出水量不平衡，进出水位就不能保持稳定，而会变化，故泵站扬程不稳定，水泵工况也随

之而变。

在市政供水工程中，从水厂一级泵站再到管网配水增压泵站，也形成一个梯级泵站。一般在清水厂都设有水库用以蓄调解决两级站的水量不平衡矛盾。

梯级泵站联接形式有二种：

(1) 开敞式渠道 这类泵站之间是用开敞式渠道联接的。水流由前一级站出水池，通过渠道进入后一级站的前池或进水池。每级泵站都具有开敞的进出水池（如图 1-4），形似独立。此种联接站间的输水渠道一般很长，从数公里直至数十公里。在远距离调水中甚至更长。

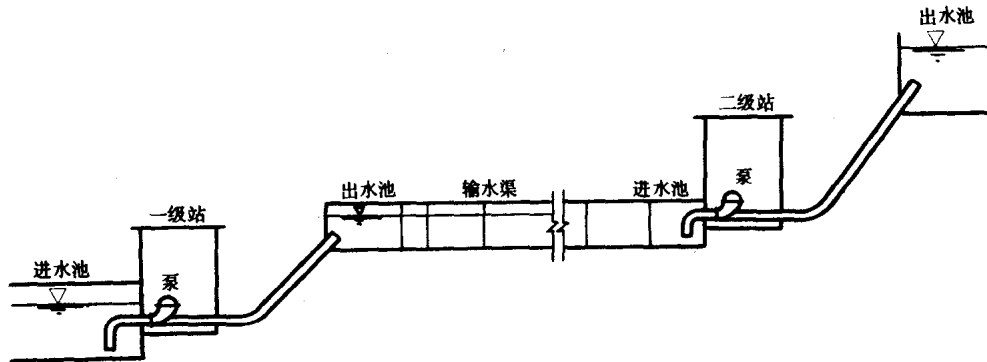


图 1-4 渠道联接的梯级泵站

(2) 封闭管道 梯级泵站另一种联接方式是采用管道联接，一级泵站的出水管道从泵出口一直延伸至二级站的水泵进水口。通常此时两站距离较近，故管道并不太长且一泵一管形似两站，实际为分级串联，如图 1-5。

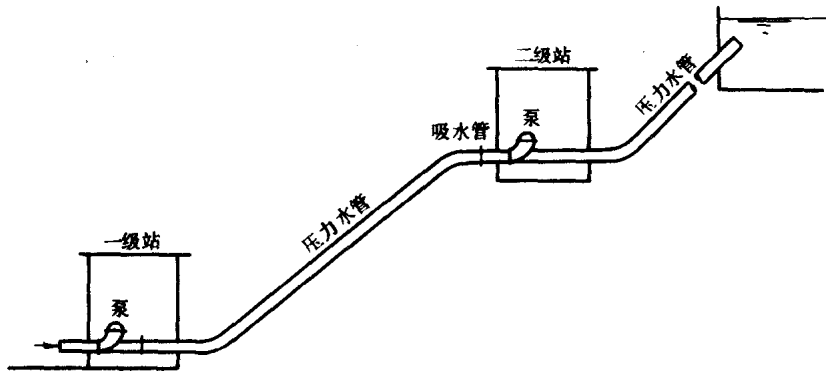


图 1-5 管道联接的梯级泵站

这类泵站的串联一方面是为了提高扬程，另一方面二级站在一定高程上还担负（供水）灌溉任务。两站之间距离较近，用管道串联较经济也方便。但是对泵型配合要求严格，否则将给运行带来困难，如起动等问题。

在多级提水工程中，常常是输水主渠道上带有一些支渠道，在主渠道向上一级送水的同时，对沿程的部分农田需直接进行灌溉或水库补水，这就必须分出部分流量，形成不完全连续的提水方式。

二、泵站群

泵站群为同级提水的多个泵站组成。多见于扬程较低的排水区与灌区。对于大型调水工程，在同一级泵站中也往往有多站组合形成站群。

泵站群的特点是各站的进出水为共同，各站的提水扬程基本相同。例如在一个较大的沿江排水区中，有数个排水出口和数个相应的排水泵站，抽提同一排水区的水排入同一外河，排水区内各排水河道应是相通的。如果排水河道互相隔离，就不是一个排水区而是数个排水区了。对于供水（灌溉）泵站群，也必须具备这一点，即它们进出水是互相关联的，才能作为泵站群。

有一些泵站群在布置上互相之间距离较近，显然，这样的布置给管理带来方便。同级站群就属于这种集中型布置。而有的排水区，因地形条件不同排水口相距较远，相应的泵站也较远，其进出水位就不可能完全相同，甚至在运行条件方面也明显不同，例如自流引水，自流排水的可能性就会使运行问题变得复杂起来。

图 1-6 所示为一排水区泵站群和同级提水泵站群。

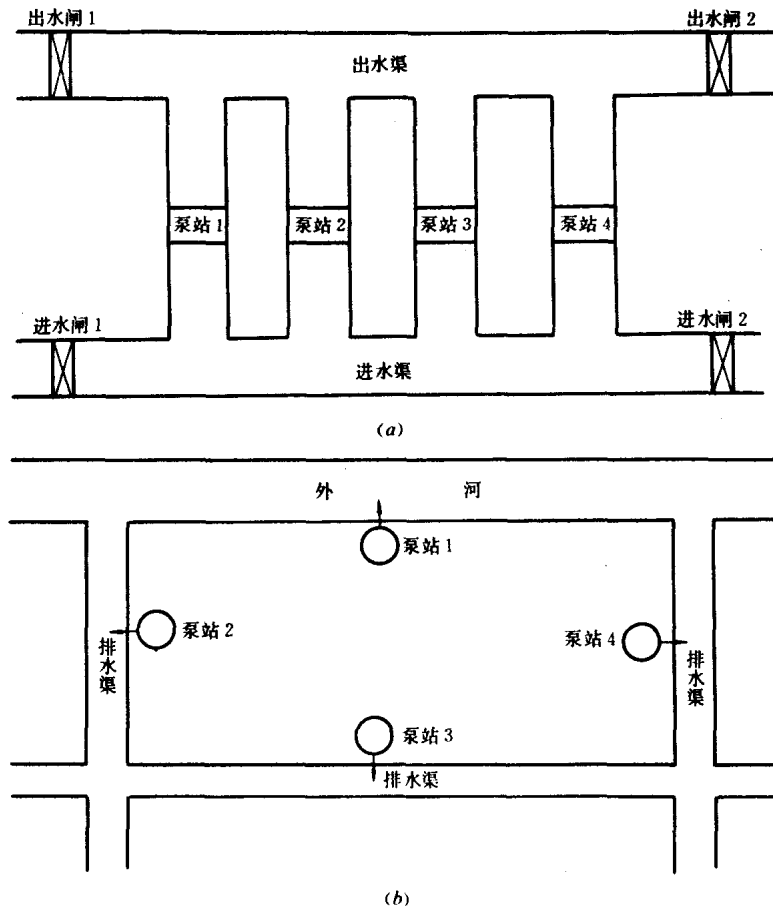


图 1-6

(a) 同级提水泵站群；(b) 排水区泵站群

第三节 泵站运行特点

一、农用泵站运行特点

农用泵站即农田排灌泵站，其主要任务是对农田进行排涝和灌溉。一般的排灌站运行具有明显的季节性，遇涝排水，遇旱灌溉，泵站的运行情况在很大程度上取决于当时当地的水文气象情况。泵站运行时间与泵站设计标准有密切的关系。尤其对于排水泵站，运行时间仅限于雨季汛期发生洪涝期间，除此而外一般是不会运行的。因此，对于高标准的排涝泵站，甚至在建成后数年或更长时间很少开机运行。少数高标准的灌溉泵站也有类似的情况。例如某一丘陵灌区，内有若干小水库，当蓄水量充足时完全满足灌溉用水要求。在干旱年份，水库蓄水不足才需要补水。某年该地区遭受历史上罕见的特大旱灾，百年未遇。为了确保农业生产，建造一座提水泵站，用以向水库补水灌溉。由于设计标准很高，建成后二十余年从未开足机组，仅部分机组作短时间的运行。这样的事例说明农用排灌泵站的运行特点是季节性强，运行时间集中，制约因素多，对泵站运行管理有较大影响。

二、跨流域调水泵站

对于大型跨流域调水工程中的泵站与前述农用泵站不同。由于一般的调水工程虽然要为农田灌溉提供水源，同时也兼顾工业生产和生活用水，甚至交通航运用水，如东线南水北调工程，既需灌溉沿线数百万亩农田，又要保证京杭大运河内水位在最低航运水位以上，还要为沿线工厂企业生产、城镇居民生活供水。因此，在某种意义上调水工程泵站运行方式已不同于农田排灌泵站。调水工程泵站运行的季节性已不再那样突出，年均运行时数亦大大增加，调水受益主要为综合效益、社会效益。

三、给排水泵站

在城镇及工矿企业，给排水工程中也有大量的泵站，这一类泵站的运行特点一般是24小时常年连续不间断地工作，同时对泵机组运行的可靠性要求高，因为任何运行的中断都将对生产生活造成重大的损失和影响。给排水泵站的供水管网十分复杂，供水需要经常变化，这是农用泵站所没有的。它使给排水泵站优化运行计算增加了难度。

第二章 泵装置动力特性

要实现泵站的优化运行，首先必须了解泵装置的主、辅机设备的运行要求，动力指标及其特性，并结合当时当地的具体情况，才能制定出合理的运行方案，达到以最小的能耗发挥最大的效益。

第一节 工作参数和动力指标

水泵是把机械能转变为水能的水力机械，动力机则把电能（电动机）或热能（内燃机）转变为机械能传给水泵，这就是泵装置工作的主要过程。在这一过程中能量转换时会产生变化和必然的损失，为了分析这种变化和损失，采用动力指标参数作为基本手段。在水泵站中常用的有扬程、流量、功率、效率和能源单耗。前三个指标为基本动力指标亦即基本参数，后两个是由基本动力指标计算而来的单位动力指标亦即计算参数。

一、扬程

通常单位重量水体通过水泵后所获得的能量增量被定义为水泵总扬程，习惯上简称为水泵扬程。

$$H_P = \Delta E = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \frac{\Delta v^2}{2g} = (Z_2 - Z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (2-1)$$

式中 H_P ——水泵总扬程，习惯上以米水柱（ mH_2O ）^① 高来表示；

ΔE ——单位重量水流的能量增量；

ΔZ ——高度增量；

ΔP ——压力增量；

Δv ——流速增量。

下标 1、2 分别指泵前和泵后测量断面。测量断面选取与测量方法有关，不同类型的泵应采用不同的方法测量。

（一）总扬程

1) 卧式泵（图 2-1）的总扬程由下式计算

$$H_P = H_2 - H_1 + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \quad (2-2)$$

H_2 ， H_1 分别为泵出口和泵进口水头，这里主要是压力，应统一换算到泵轴线上来。 H_1 为吸入水头，如果其为负值，则二者相加。式（2-2）末的二项是

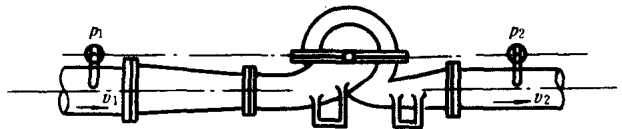


图 2-1 卧式泵的总扬程

① $1\text{mH}_2\text{O} = 9806.7\text{Pa}$ 。

两断面动能差亦即速度水头之差（如图 2-1）。

2) 叶轮淹没在水下的立式泵（图 2-2）的总扬程按下式计算

$$H_P = H_2 + H_1 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2-3)$$

式中 H_1 ——由进水池到泵出水弯管出口断面中心点的距离；

H_2 ——换算到泵出口断面中心点处的压力水头；

$\frac{v_2^2}{2g}$ ——出口速度水头（动能）。

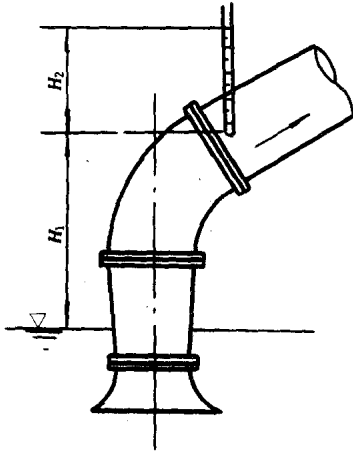


图 2-2 立式泵的总扬程

对于这类立式泵装置，泵总扬程中已经考虑了吸入口（喇叭口）及出水弯管的水头损失。与卧式泵相比，总扬程的含义是不同的。因此，不同的泵装置和不同的扬程测量方法，总扬程的计算方法也不同。应当指出，这样计算的泵总扬程对不同类型的泵水力模型是不适宜相对比较的。因此，在需要对不同的泵水力模型加以比较时，必须保证泵总扬程计算方法和泵进水条件是相同的。为了满足这一要求，不同的泵水力模型通常采用泵段（Bowl）性能进行比较，即保证进水条件相同——接近设计要求的无旋均匀流速分布。为此，立式轴流泵的吸入喇叭口为一定长度的直管取代，这种情况下的总扬程就是从泵进口到泵出口断面之间的总水头增加值见图 2-3 所示。

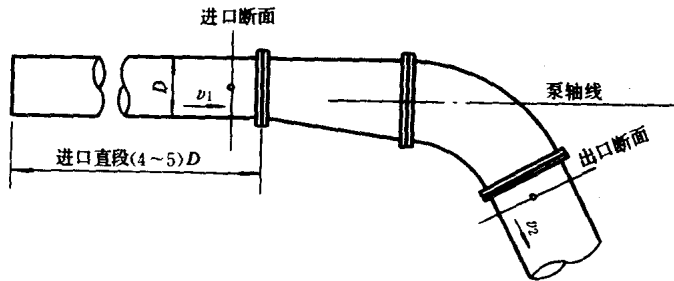


图 2-3 立式泵泵段总扬程测量平面示意图

(二) 泵装置扬程

泵装置（系统）扬程定义为泵装置（系统）进出口断面水头增加值（图 2-4），按下式计算：

$$H_{sy} = H_{sy_2} - H_{sy_1} + \frac{v_{sy_2}^2}{2g} - \frac{v_{sy_1}^2}{2g} \quad (2-4)$$

与泵总扬程相比，泵装置扬程包含了泵的进水管路损失 H_l 。很显然泵装置扬程等于泵总扬程与管路损失扬程的差值，即：

$$H_{sy} = H_P - H_l \quad (2-5)$$

泵装置扬程在生产实际中常和泵站扬程 H_{st} 混淆。泵装置扬程为进出水池的水位差，而

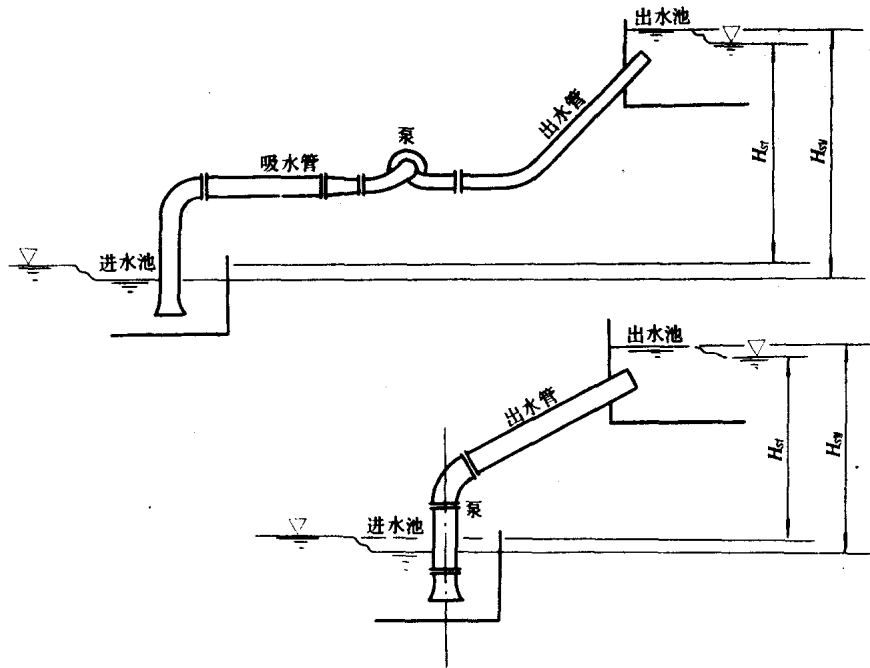


图 2-4 泵装置扬程

泵站扬程包含进出水池的损失，比泵装置扬程略小。由于进出水池的水头损失一般很小，两种扬程相差无几，故常把它们混用，即用泵站扬程泛指两种扬程。事实上，进出水池的水位因临近泵进出口波动较大而不稳定，故用泵站扬程较为准确方便。泵站扬程在泵站经济运行计算中是一个非常重要的参数。

(三) 泵装置管路损失扬程

式(2-5)的最后一项 H_l ，表示泵系统中的进出水管路损失水头，习惯上又称之为损失扬程。它包含了管路的摩擦损失（沿程损失）水头和局部损失水头。对于水力学中所描述的管流，其流动损失计算有大量的资料可供查用。这本已是很成熟的成果，即管流水头损失与通过管道的流量的平方成比例。目前，在水泵扬程特性的计算中亦按照这一规律进行。然而有不少的测试结果表明，无论是泵吸水管路还是泵出水管路，损失水头都不服从与流量平方成比例的规律。产生这种差异的原因是：

对于进水管路，其吸入口流动十分复杂，势必产生横向附加流速形成环量。水流在通过弯道时，由于离心力的作用在弯道产生横向环流与主流迭加而成为一种特殊的螺旋式流动（图 2-5）。吸水管路在弯道以后的长度较短，约 4~5 倍管径。因此，整个吸水管道内均为此种螺旋式流动。

对立式泵来说，其吸水管路仅有一吸水喇叭口，喇叭口距叶片很近。进入喇叭口的水流同样也会产生环量，对泵的运行性能影响很大。现有水泵样本上的泵性能常常是用前述理想进水的泵段性能。因此，在实际运用时，实际泵性能与样本提供的性能有明显差异（引起差异的另一重要原因是水泵叶片、导叶铸造成形，叶片表面没有进行加工，不能保证

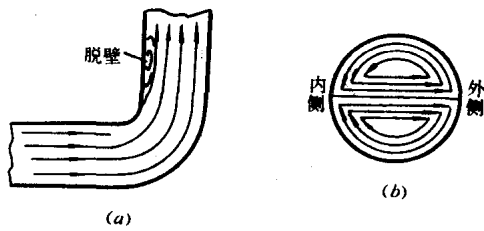


图 2-5 弯道产生的横向环流

准确的线型)。许多实验室试验与现场试验都证实了这种差异的存在。水泵现场进水条件引起水泵性能下降实质上相当于增加了一种附加的扬程损失—现场特性损失，这种附加扬程损失的大小与进水条件有密切的关系，其性质完全不同于通常的水力损失。对进水喇叭，或进水流道所进行的现场测量表明，水力损失很小，只占泵总扬程的1%~2%。而其所引起的附加扬程损失却大得

多，达5%~7%。主要原因是水流在泵进口之前急剧改变流向引起泵进口断面压力场不均匀，产生环流破坏流速的均匀性，不能保证实际流动与水泵设计时进水流速均匀的前提条件相接近。因而使泵内流动情况变坏，从而导致泵性能下降（图2-6）。

应当指出，如厂家提供的立式水泵性能是按图2-2所示方法测定和计算总扬程，则此时就包含了上述附加扬程损失，泵的吸入口流动情况接近实际运行条件，也就不存在泵的现场特性损失。

因此，泵现场特性损失是相对于目前现存的泵样本性能而言。由于进水条件的好坏决定现场特性的优劣。因此，要使现场特性损失最小，就必须保证最佳的进水流态。

很早就已有试验表明即使对于进水无弯道的吸水管，水流在吸水管路中仍会产生“预旋”。这种预旋可能是进口水流的收缩所致，也可能是某种扰动引起，水泵叶轮的旋转对预旋的影响尚无明确的证实。由于对这种进水预旋的研究不够深入，至今还没有准确详细的叙述。预旋使得流场均匀性被破坏，甚至引起管道四周边壁处的压力升高（见图2-7）。

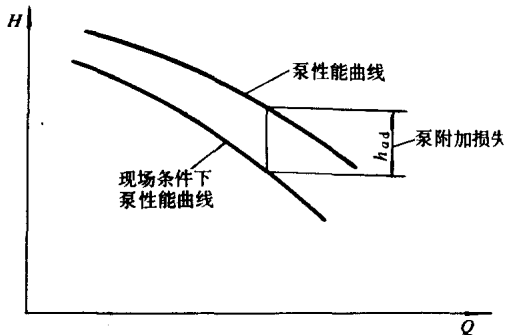


图 2-6 泵附加扬程损失-现场特性损失

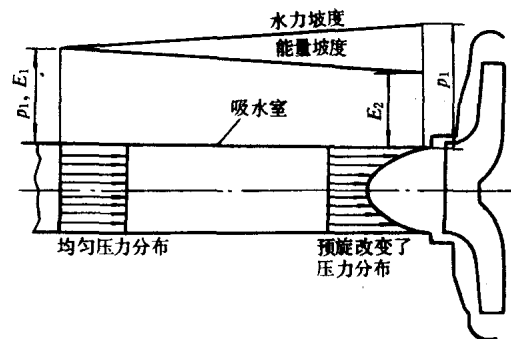


图 2-7 预旋引起的压力升高

这种压力升高，直接影响水泵进口压力测试结果。在有预旋时测得的周边压力偏高，吸水扬程偏小，结果是以此计算得出的泵总扬程偏小，与泵的实际性能有较大出入。

与立式轴流泵相比，卧式泵吸水管较长，水流可以得到充分的调整，因进水条件差而产生的附加扬程损失要小得多。这是卧式泵在实际使用中的一个优点。图2-8为一卧式离心泵的样本性能与现场实测性能的比较。从图中可见二者十分接近，表明附加扬程损失很小。

多年的实践说明，水泵进水条件对水泵性能的影响是不能用通常的管路水头损失来计