

# 水利工程泵站节能优化设计研究

王敏<sup>1</sup> 周国斌<sup>2</sup> 唐海林<sup>2</sup> 朱吉祥<sup>2</sup>

1. 江苏河海环境科学研究院有限公司 江苏南京 210018; 2. 泗洪县水利局 江苏泗洪 223900

DOI: 10.12238/ems.v6i12.10867

**[摘要]** 泵站作为水利工程常见的水工建筑物,应用极广,并发挥着至关重要的作用。泵站的安全平稳运行直接关系着水利工程的经济效益和社会效益。但是我国目前大多数水利泵站建成后普遍存在运行效率低的情况,使得水资源浪费问题严重。为了实现我国水利泵站的高效运行,节约资源,减少浪费,本文针对节能优化设计进行分析讨论,希望可为我国未来水利泵站优化运行提供有利依据。

**[关键词]** 节能优化; 水利泵站; 节能系统

## Research on Energy saving Optimization Design of Water Conservancy Engineering Pumping Stations

Wang Min<sup>1</sup>, Zhou Guobin<sup>2</sup>, Tang Hailin<sup>2</sup>, Zhu Jixiang<sup>2</sup>

1. Jiangsu Hehai Environmental Science Research Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210018;

2. Sihong County Water Resources Bureau, Sihong, Jiangsu 223900

**[Abstract]** As a common hydraulic structure in hydraulic engineering, pump stations are widely used and play a crucial role. The safe and stable operation of pump stations is directly related to the economic and social benefits of water conservancy projects. However, most of the water conservancy pumping stations in China currently suffer from low operational efficiency after completion, resulting in serious water resource waste. In order to achieve efficient operation, resource conservation, and waste reduction of water conservancy pumping stations in China, this article analyzes and discusses energy-saving optimization design, hoping to provide favorable basis for the future optimization operation of water conservancy pumping stations in China.

**[Keywords]** energy-saving optimization; Water conservancy pumping station; Energy saving system

### 引言:

随着我国国民经济发展,水利工程对日常生活和经济建设的影响越来越大,其中泵站担负了城市供水调水、农业灌溉以及洪涝排水的重大责任,是一项重要的综合性工程,但是目前我国大部分水利泵站都存在运行效率低下、资源浪费严重的弊端<sup>[1]</sup>。

泵站节能的目的在于提高泵机组的运行效率,减少能源消耗并且降低费用,以此来挖掘泵站的调水能力,提高水利工程的效益。

对于水利工程泵站的节能优化研究,国内外学者开展了不少的研究。

国外方面: Ormsbee 和 Reay<sup>[2]</sup>提出显式优化算法,将泵站系统中的泵机组按照费用函数进行排序,每个泵站以为了减少决策变量数,将每一泵站采用一个决策变量,网络仿真采用的时间间隔不同于优化算法采用的间隔。M Moradi-Jalal 等提出了 WAPIRRA 调度器模型<sup>[3]</sup>,该模型优化了泵机的型号、容量和数量,使得泵机的效率提升。G. Mackle 和 D. A. Savic<sup>[4]</sup>采用二进制编码适用于处理非连续变量问题,用遗传算法来求解泵站系统优化方案,对于复杂的目标函数,在约束条件和系统组件上可以再次优化。Jalali M R<sup>[5]</sup>等人提出使用蚁群的改进算法,该算法可以有效地处理离散和连续决策变量的组合,以消除蚁群优化算法在连续空间中性能较差的问题。Milan Cisty 则提出使用一种结合遗传算法(GA)和线性规划(LP)方法<sup>[6]</sup>,来求解配水系统的最优问题,该方法用于设计灌溉系统。Ying LI<sup>[7]</sup>提出的非线性神经网络和遗传算法相融合,求解油田泵站的节能问题,优化后的神经网络具有更好的收敛速度和预测精度。

国内方面:刘超<sup>[8]</sup>提出了泵站经济运行的准则,包括运行成本最小、提水量最大、装置效率最高等。庄仲辉<sup>[9]</sup>以泵

机组能耗最小为目标函数,并利用动态规划进行求解。韩典乘等人<sup>[10]</sup>分析了大系统分解协调理论,来进行优化调度问题的求解。专祥涛等<sup>[11]</sup>介绍了自控泵站的功能,分析了微机自控系统实现最优转速的调速过程。侍翰生等人<sup>[12]</sup>提出采用模拟退火(SA)算法,指出该算法适用于泵站这种非线性模型,且算法复杂度不高、全局寻优效果好。成莹<sup>[13]</sup>提出用指数曲线的概念,以此来对水泵性能曲线进行描述,构建泵站模型,使得效率最高,并用遗传算法进行求解。杨欣等人<sup>[14]</sup>利用人工神经网络对某一类化合物进行研究,分析它的定量构效关系时,运用 PCA 降维法对初始值进行处理,不仅大大提高了训练速度,而且提高了网络的准确性和可预测性。宋春福等人<sup>[15]</sup>采用归一化提取出参数的主成分,作为网络的输入值,大大提高了网络的工作性能。李建峰等人<sup>[16]</sup>在误差函数和激励函数上进行改进,加快了网络的收敛,提升了神经网络的训练效果。

国内还有部分学者考虑从泵站本身的设备出发,进行泵站的节能优化,全方位对泵机各个环节进行研究,进一步提高性能和效率。

本文通过对水利泵站实际能源消耗情况的分析,提出合理选择水泵设备,优化泵站系统设计、水电系统设计等节能设计要点,同时提出优化水泵沉点、提高管理水平、及时更换新泵等节能措施来减少水利泵站的能源消耗,以期达到水利泵站节能的目的。

### 1. 水利泵站能耗分析

目前,水利泵站的能耗主要有两种分类方式,一是从产生能耗途径来说,分为直接能耗和间接能耗;二是从产生能耗必要性来说,分为不必要能耗和必要能耗<sup>[17]</sup>。

#### (一) 直接能耗

主要是指水利泵站在抽水过程中直接耗费的能源,比如

电能等。

### (二) 间接能耗

主要是指水利泵站建设过程由辅助建设设备、材料所产生的间接消耗的能源, 比如建设材料、设备机组、安装运输环节耗费的能源等<sup>[18]</sup>。

### (三) 必要能耗

主要是指维持水利泵站建设与运行必须消耗的能源, 这些能耗不可消减否则会导致水利泵站部分甚至全部功能失效。

### (四) 不必要能耗

主要是指不会对水利泵站功能、使用寿命产生影响的可以不消耗的能源, 不必要能耗即无效能耗。

在水利泵站建设过程中, 往往需要使用到水泥、钢材等辅助材料设备, 这部分间接能耗占据的能耗比例非常大, 因此考虑将这部分能耗作为节能优化的关键环节进行优化设计<sup>[19]</sup>。

另外, 在提倡节能减排、低耗高效的大环境之下, 需要深化水利泵站建设与运行阶段的能耗分析, 尽可能降低必要能耗并消除不必要能耗, 因此从降低不必要能耗入手这个思路着手推进水利泵站节能优化设计也是十分可行的。

## 2. 水利泵站节能优化设计要点

对于水利泵站的节能优化设计, 需要统筹考虑泵站前期的设计、中期的施工以及后期的投入使用实际情况等多个环节, 了解各个环节中能耗的具体原因, 并根据间接消耗及不必要能耗产生的因素进行优化改进, 从而实现水利泵站节能降耗的目的。

### 2.1 合理选择水泵设备

水泵设备选择工作尤为重要, 直接影响到水利泵站前期建设的能源消耗情况, 也在一定程度上决定了后期水利泵站节能优化措施是否能够顺利开展<sup>[20]</sup>, 也会影响到水泵的运行效率、系统的稳定性与经济性。

首先要提前做好参数设计, 初步拟定不同的机组型号与台数选配方案, 然后通过分析其综合性价比选出最适宜的方案, 为后续实践提供参考。其中提升水泵运转效率是设备选型的关键所在。

众所周知, 水泵的扬程  $H$  为单位重量流量的流体通过水泵所获得的有效能量; 流量  $Q$  则是指单位时间内水泵所输送的流体量。随着水泵流量的增大, 水泵的扬程下降。

在实际运行中, 所有的水泵均存在一个最佳的工作点, 在该工作点上, 水泵以最高的效率  $\eta_{\max}$  运行。

在实际工作中, 由于配置不科学, 导致水泵运转工况点远离高效区, 水泵无法运行在最佳的工作状况, 导致能源浪费。因此, 对水泵进行合理选型, 并使其处于较高的工作效率下运行, 是节能优化设计的一个重要手段。

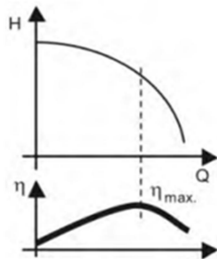


图1 水泵的效率曲线图

Fig.1 Pump Efficiency Graph

### 2.2 优化泵站系统设计

水利泵站系统设计包括安装作业、位置选择以及安装方式等。水利泵站系统设计水平会直接影响后期整个水利泵站是否能够顺利运行。

如果没有按照预先制定的要求进行安装, 在泵站投入使用后必然会出现一系列的连锁反应, 比如零部件的磨损、设备损害严重等<sup>[21]</sup>。另外, 运行中的振动问题就会特别严重, 造成设备的磨损和损耗, 这对于水泵的工作效率极其不利。

势必会因为部件之间的摩擦产生大量的不必要能耗。为了减少这类能耗, 可采取加入适量水滴的方式来进行节能优化。

除此之外, 在安装水泵的时候, 如果位置选择不恰当也会导致非常严重的后果, 如果安装的比较高, 水泵就会出现气蚀的问题。另外, 如果水泵中的管道内壁不够精细, 就会造成水流的阻力增加, 降低工作效率。研究表明: 对水泵的抽水管内部进行涂漆打磨以后, 水泵机组的工作效率对照于改造之前提升了 3.5% 左右, 效果是非常明显的。

### 2.3 优化泵站水电设计

在节电优化设计方面, 水利泵站节能优化设计的重点在于供电方案改进, 从源头上减少水利泵站建设与运营过程中的不必要电力损耗。同时, 还应结合水利泵站的供电需求, 设计出最具节能性的供电方案, 并保障电能供给的稳定性、充足性; 另外, 还要从供电工程的特点和条件着手, 合理配置站用变压器的采用、利用 10 kV 主水泵电动机直接联网运行的供电模式、采用就地补偿的新技术来达到节能目标<sup>[22]</sup>。

在节水优化设计方面, 水利泵站节能优化设计的重点在于流道水力设计, 实践中应以降低水力损耗为导向做好水利泵站的节能改造。在高效的水泵电动机组的运用后, 通过降低水工构筑物的水力损耗来将泵站的装置效率提高, 优化流道设计, 提高水利泵站运行安全, 降低水利泵站内构筑物的水力损耗, 达到节能目的。其中流道设计优化措施主要有以下几点:

(1) 流道布置。采用光滑的流线型和适当的过渡曲线来减小阻力, 并确保流道内部没有尖锐的转弯和突变。

(2) 流道形状。根据具体情况选择圆形、矩形、扇形或优化的特殊曲线形状等流道形状, 以提高水流的均匀性和稳定性, 减小摩擦阻力和压力损失。

(3) 流道长度。根据泵站的流量要求和水利特性进行优化。既能提高能源转换效率, 又不至于增加泵站的建设和维护难度。

(4) 涡轮尺寸和设计。使用先进的 CFD 模拟技术辅助涡轮的优化设计, 主要关注涡轮的类型、叶片数目、叶片形状和叶片角度等参数。

(5) 水流均匀性和控制。通过采取合适的引导装置、分流器和调节装置, 优化水流的分配和控制, 避免不均匀流动和压力脉动, 提高泵站的运行稳定性。

## 3. 水利泵站节能优化设计措施

### 3.1 优化水泵工况点

在水泵运行时, 水流的流量和压力是需要考虑的两个重要因素。水泵的工作点即水流量和压力之间的一个平衡点。一般来说, 工况点位置越靠近水泵性能曲线上扬段, 说明水泵的效率越高, 而工况点位置越靠近下降段, 说明水泵效率越低。

不同的水泵之间的性能曲线也会有所区别, 而水利泵站的性能曲线需要在其转速达到一定程度后体现出来, 因此不同转速的水利泵站所展现出的性能曲线也是不一样的。

目前我国水利泵站进行水泵工况点调节主要可从两方面进行, 其一是利用水利泵站的性能曲线, 结合水利泵站运转的转速、叶片角度进行控制。其二是可利用管路的特性曲线, 而目前水利泵站中的管路特性曲线主要是取决于其旁通阀和管阀, 因此对管路进行调节的时候主要是对其中具体的管道阀进行设置, 从而实现对整个水泵工况点的调节<sup>[23]</sup>。

由于我国各地所使用到的水泵类型不同, 因此具体的调节措施需要根据各地区水泵运行的实际情况, 并结合水泵特性进行优化, 需秉持的基本原则是: 尽可能地结合其性能曲线, 既能保证水泵正常工作, 还能够起到节能的效果。对于非变速调节型水泵, 调节方式主要有三种, 分别是节流调节、动叶调节及改变泵运行; 对于变速调节型水泵, 主要通过改变传动装置及改变原动机转速来进行调节。

### 3.2 规范水利泵站管理, 提高管理水平

除了从设备选择和工艺优化上对泵站进行节能减排外,

还应加强管理,提高管理水平,通过对泵站日常运行管理能力的提高,从而实现对水利泵站工作效率的有效提高。

规范水利泵站管理主要从以下两个方面出发:

一是提高水利泵站管理规范性。目前,水利泵站的自动化运行水平日渐提升,但在实际操作过程中仍然无法完全脱离人工。人工操作虽然保证了水利泵站管理的变通性和灵活性,但也容易出现主观因素过强、操作不规范等问题,不利于水利泵站节能优化设计方案的执行。因此,想要切实发挥水利泵站节能优化设计效果,必须严控不规范管理行为,着力提升水利泵站的标准化、规范化、科学化管理水平。可以通过制定严格而细致的规章制度,确保水利泵站建设与运行管理有据可依;建立水利泵站日常巡检制度,做好日常运行情况的全面记录与存档,为及时开展运行维护、故障处理、设备更换、节能改造做好充足准备。其中,日常记录包括但不限于以下几点:

1. 每日设备开启时间、关闭时间、运行状态、异常情况记录等;
2. 水泵维护记录:包括每次维护的具体内容、维护人员、维护时间等;
3. 告警记录:包括设备告警信息、处理情况、处理人员等;
4. 设备故障记录:包括设备故障情况、维修情况、维修人员等;
5. 安全检查记录:包括安全检查内容、检查结果、处理情况等;

6. 运行参数记录:包括设备运行参数的记录与变化情况。

二是加强水利泵站节能改造方面的技术培训与人员管理。水利泵站节能优化设计离不开专业人才的支持,在水利泵站运行工程中节能改造属于长效化工作,所以不仅要求设计人员拥有极高专业性,还需要保证设计理念的先进性。为此,水利泵站必须加强专业技术人才培养,组织节能设计与施工人员定期参与学习交流,以便掌握最新的水利泵站节能改造技术、方法。

另外,为了更好地对水利泵站进行管理,还得采取一定的分析鉴定方法对水利泵站的具体运行状况进行调查、评估,对其存在的相关问题进行全面的梳理与摸排,针对识别出来的问题及时采取措施进行应对。同时,还应该对相关问题进行总结,对产生的原因进行分析,避免后续出现同样的问题。同时,做好相关的记录与归档工作,各类记录应当按时间顺序进行整理和归档,同时归档的记录要按照一定的分类和编号进行归档,方便查找和查询。特别是对于水利泵站运行故障的相关记录一定要记录详实,若后续出现类似情况与问题,可以快速翻阅资料进行借鉴,同时也能为后续持续改进与优化管理措施提供一定的依据。

### 3.3 及时更换新的水泵

水利泵站运行效率的关键在于水泵的效率,虽然通过不同调节方式可以改善水泵的运行效率,但由于水泵在运行过程中会产生磨损和消耗,比如其叶轮经过长时间的转动后会出现汽蚀现象,加上水泵本身会受到水流的冲刷产生一定损坏,因此如果长期使用一个水泵不更换的话会影响其运转效率。因此在水泵的日常运转过程中不仅需要定期投入资金对其进行检修和维护,还需要观察其性能是否已经受到严重损害无法修护,及时对其进行更换处理才能使得整个水利泵站工作高效运行。

## 4. 结语

为了切实提高各地水利泵站的运行效率,就必须结合水利泵站的实际能源消耗情况,通过对水泵设备的合理选择,对泵站系统、水电系统的合理设计,采取优化水泵工况、提高管理水平、及时更换新的水泵等措施来逐步减少水利泵站的能源消耗,切实达到水利泵站节能的效果。

### 【参考文献】

[1]戴启璠. 大型泵站自动控制现状及发展方向研究[J]. 江苏水利, 2013(3): 8-9.

[2]Akkenar S M S, Stanley S D, Miller C J, et al. Evaluation of genetic algorithms using discrete and continuous methods for pump optimization of water distribution systems[J]. Sustainable Computing Informatics & Systems, 2014, 116(4): 167-81.

[3]Moradijalal M, Rodin S I, Mariño M A. Use of Genetic Algorithm in Optimization of Irrigation Pumping Stations[J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering, 2004, 130(5): 357-365.

[4]Mackle G, Savic D A, Walters G A. Application of genetic algorithms to pump scheduling for water supply[C]// International Conference on Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations & Applications. 1995.

[5]Jalali M R, Afshar A, Mariño M A. Multi-Colony Ant Algorithm for Continuous Multi-Reservoir Operation Optimization Problem[J]. Water Resources Management, 2006, 21(9): 1429-1447.

[6]Cisty M. Hybrid genetic algorithm and linear programming method for least-cost design of water distribution systems. [J]. Water Resources Management, 2010, 24(1): 1-24.

[7]Ying L, Li Y C. Hybrid nonlinear homotopy BP neural network and genetic algorithm for oil-pumping control system[C]// International Conference on Machine Learning & Cybernetics. 2005.

[8]刘超, 耿卫明. 泵站经济运行的数值解法[J]. 排灌机械工程学报, 2004, 22(3): 14-17.

[9]庄仲辉. 二次供水管理系统建设需求探析[J]. 给水排水, 2016(8): 131-134.

[10]韩典乘. 梯级泵站优化调度模型开发及应用研究[D]. 山东大学, 2018.

[11]专祥涛, 李明龙. 基于移峰填谷的排水泵站优化调度研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2011, 44(6): 773-778.

[12]侍翰生, 程吉林, 方红远等. 基于动态规划与模拟退火算法的河-湖-梯级泵站系统水资源优化配置研究[J]. 水利学报, 2013, 44(1): 91-96.

[13]成莹. 基于多智能算法的泵站运行优化系统研究[D]. 河北工程大学, 2013.

[14]杨欣. 神经网络算法在引入津泵站优化运行中的应用[D]. 天津大学, 2012.

[15]宋春福, 周卫东, 汪雄海. 区域排水泵站的优化调度有色 Petri 网模型[J]. 计算机工程, 2011, 37(11): 240-241+244.

[16]李建峰, 赵勇, 张金龙. 基于新维 BP 神经网络-马尔科夫链模型的大坝沉降预测[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(10): 23-27+32.

[17]郗文军. 基于优化调度的梯级泵站节能降耗策略浅析[J]. 地下水, 2019, 44(4): 202-203, 213.

[18]印丽娟, 陈双圆, 胡曦, 江如春. 节能优化设计在水利泵站中的作用研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5(6): 100-102.

[19]都娟娟. 优化调度在梯级泵站节能降耗中的重要性[J]. 农业科技与信息, 2018(21): 95-96.

[20]龙文华. 论水泵站的节能优化[J]. 科学技术创新, 2018(19): 191-192.

[21]郝坤. 浅谈水泵站的节能优化[J]. 民营科技, 2016(9): 174.

[22]刘放. 节能优化设计在水利泵站中的应用[J]. 环保节能与安全, 2016(42): 95-97.

[23]吕佐霄. 浅谈优化调度在梯级泵站节能降耗中的作用[J]. 甘肃农业, 2014(16): 81-82.