

# 水利工程泵站结构设计及流道优化设计分析

舒婧

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v9i7.6460

**[摘要]** 本文深入探讨了水利工程中泵站结构设计的理论基础及其实际应用,系统地阐述了泵站结构在模型计算、荷载计算与稳定分析以及设计原则方面的复杂考量。同时,文章对混凝土防腐性能、设计要点和施工过程中的关键问题进行了详尽解析,并针对进水流道和出水流道边界条件的优化,以及流道网格计算等流道优化设计内容展开了细致论述。通过此研究,旨在为水利工程领域提供一份具有学术深度和技术指导意义的设计分析报告。

**[关键词]** 水利工程; 泵站结构设计; 流道优化; 稳定分析

中图分类号: TV675 文献标识码: A

## Analysis on Structural Design and Flow Passage Optimization Design of Pumping Stations in Water Conservancy Engineering

Jing Shu

Xinjiang Water Resources and Hydropower Investigation, Design and Research Institute Co., Ltd.

**[Abstract]** This paper delves into the theoretical foundation and practical application of structural design for pumping stations in water conservancy engineering, systematically elaborating on the complex considerations involved in model calculation, load calculation, stability analysis, and design principles for pumping station structures. Meanwhile, the paper provides a detailed analysis of the anti-corrosion performance of concrete, key design points, and critical issues during the construction process. Furthermore, it conducts a meticulous discussion on the optimization of boundary conditions for the inlet and outlet flow passages, as well as flow passage optimization design contents such as flow passage grid calculation. Through this research, the aim is to offer an academically profound and technically instructive design analysis report for the field of water conservancy engineering.

**[Key words]** water conservancy engineering; pumping station structural design; flow passage optimization; stability analysis

### 引言

在现代水利工程体系中,泵站作为重要的组成部分,其结构设计不仅关系到整个水利系统的运行效率,而且对于确保水资源的有效管理和利用具有不可忽视的作用。泵站结构设计是一项集成了多种学科知识的复杂工程活动,它涉及到水力学、材料科学、结构力学等多个领域的交叉融合。泵站结构必须具备足够的强度以抵抗各种自然力的影响,如水流冲击力、土壤压力等,同时还需考虑结构长期处于潮湿环境下的耐久性问题。此外,随着计算机技术的发展,数值模拟方法在泵站结构设计中得到了广泛应用,使得设计师能够在更为精确的基础上进行结构优化,提高泵站的工作性能。因此,开展关于泵站结构设计及流道优化的研究,不仅是水利工程领域技术创新的需求体现,也是保障泵站安全可靠运行的重要举措。

### 1 泵站结构设计的内容

#### 1.1 泵站结构的模型计算

在水利工程泵站结构设计过程中,模型计算是确保结构合理性与安全性不可或缺的一环。模型计算要求设计师根据实际地理环境、地质条件以及预期工作状态等因素,构建出能够准确反映泵站内部结构力学特性的数学模型。该模型通常包含几何形状参数、材料属性、边界条件等基本要素,并且需要结合有限元法等先进的数值分析手段来进行求解。通过模型计算,可以预先评估不同设计方案对泵站整体稳定性的影响,从而为选择最优方案提供科学依据。值得注意的是,在进行模型计算时,还应当充分考虑泵站运行期间可能遇到的各种极端情况,例如洪水水位变化、地震作用等,以此来增强泵站结构应对突发状况的能力。模型计算的结果不仅有助于确定泵站各构件的

具体尺寸与布局,同时也为后续的荷载计算提供了必要的输入数据。

### 1.2 结构的荷载计算与稳定分析

为了保证泵站结构的安全性和可靠性,设计师必须进行全面的荷载计算与稳定分析。这一过程涉及多个方面,包括但不限于静水压力、动水压力、风荷载、雪荷载、自重以及温度应力等外部因素所带来的影响。对于这些荷载,设计师应采用适当的方法进行量化处理,比如基于历史统计数据或现场实测结果建立概率分布模型,进而计算出最不利组合下的荷载效应值。在此基础上,再运用经典理论或现代数值仿真工具对泵站结构进行线性或非线性的静力和动力响应分析,用以检验结构是否满足相关规范所规定的承载能力极限状态和服务性能极限状态的要求。此外,还需特别关注泵站长期服役条件下可能出现的老化现象,如钢筋锈蚀、混凝土开裂等,因为它们会显著降低结构的整体刚度和强度,进而影响其稳定性能。因此,合理设置监测点并定期实施健康检查成为维持泵站良好运行状态的关键措施之一。

### 1.3 泵站结构设计的依据原则

泵站结构设计必须严格遵循一系列既定的原则和标准,以确保最终成果符合预期目标。首先,设计人员需严格按照国家现行法律法规及相关行业标准执行任务,确保所有设计决策均建立在合法合规的基础之上。其次,考虑到泵站所在区域特有的自然地理特征和社会经济背景,设计师应在充分调研的基础上制定针对性强的设计策略,力求使泵站既能适应当地环境又能满足用户需求。再者,鉴于泵站建设往往伴随着较高的初期投资成本,因此在追求技术创新的同时也要兼顾经济效益,尽可能选用性价比高的材料和技术方案,避免不必要的资源浪费。最后,由于泵站结构一旦建成便难以轻易改动,故而在设计阶段就应充分预见未来可能出现的问题,并提前采取预防措施加以解决,确保泵站在整个生命周期内都能够保持良好的工作性能。

## 2 泵站结构设计要解决的关键问题

### 2.1 泵站结构混凝土防腐性能

泵站结构长期暴露于水中或潮湿环境中,这对建筑材料特别是混凝土提出了极高的防腐要求。为提升泵站结构的耐久性,设计师需要从原材料选择、配合比优化、施工工艺改进等方面入手,综合考虑各种因素以实现最佳防腐效果。例如,在选材阶段,优先选用具有良好抗渗性的水泥品种,并适当添加减水剂、防水剂等外加剂来改善混凝土拌合物的流动性与密实度;在配合比设计上,则应根据不同部位受力特点调整砂石比例,确保混凝土具有足够的强度和韧性;至于施工环节,则强调严格执行操作规程,加强对浇筑振捣等工序的质量控制,减少因人为失误而导致的质量缺陷。另外,对于已经出现腐蚀迹象的既有泵站,还可以通过表面涂层保护、阴极保护等方式延长其使用寿命,但这些补救措施的应用前提是必须经过详细的前期勘察和风险评估,确保不会对原有结构造成二次损害。

### 2.2 水利泵站结构设计的要点

水利泵站结构设计不仅要注重结构本身的安全性和功能性,还要充分考虑到泵站与周边环境之间的协调统一。具体而言,设计师在规划泵站位置时,除了要考虑地形地貌、水源分布等因素外,还应该重视生态保护,尽量避免破坏当地生态系统。同时,在确定泵站规模时,既要满足当前用水需求,也要预留一定的发展空间,以便应对未来可能出现的人口增长或工业扩张等情况。此外,泵站内部空间布局同样至关重要,合理的平面布置和垂直分层能够有效提高设备利用率,简化操作流程,降低维护成本。对于一些特殊类型的泵站,如抽水蓄能电站、灌溉排水泵站等,则更需要结合特定功能要求进行专项设计,确保其在特定应用场景下发挥最大效能。

### 2.3 泵站结构设计要重视施工过程

泵站结构的成功建造不仅仅依赖于精心的设计,更重要的是高质量的施工过程。施工质量直接关系到泵站能否按照设计意图正常投入使用,甚至影响到其长期使用的安全性和可靠性。因此,设计师在完成初步设计方案后,还需积极参与施工图纸审核和技术交底等工作,确保施工单位能够准确理解设计意图并将之落实到位。与此同时,施工现场管理也是不容忽视的一环,包括材料进场检验、隐蔽工程验收、竣工测量等各个环节都需要严格按照规范执行,任何疏忽都可能导致不可挽回的质量事故。特别是在泵站基坑开挖、桩基施工、混凝土浇筑等关键工序中,更需要加强监控力度,及时发现并纠正存在的问题。此外,随着建筑信息技术(BIM)的发展,将其应用于泵站建设项目中不仅可以提高工作效率,还能为项目全生命周期管理提供强有力的支持,进一步促进了泵站建设水平的提升。

## 3 水利工程泵站流道优化设计

### 3.1 进水流道的优化

进水流道作为连接外部水域与泵站内部的重要通道,其形态和尺寸直接影响到水流进入泵站的速度场分布以及能量损失情况。为了达到理想的进水流态,设计师必须对进水流道的几何形状进行优化设计,使之尽可能平顺过渡,减少局部阻力系数。一方面,可以通过调整进口段长度、宽度、高度等参数,使得水流在进入泵站前能够逐渐减速并均匀分布,避免产生涡流或回流现象;另一方面,则应根据实际情况合理设置导流板或其他辅助装置,引导水流沿预定路径流动,从而降低能量消耗。除此之外,还需要考虑进水流道与周围建筑物之间的相对位置关系,确保两者之间留有足够的空间供检修人员通行,同时也有利于改善通风散热条件。

### 3.2 出水流道边界条件的优化

出水流道边界条件的设定对于泵站出口处水流的顺畅排出起着决定性作用。设计师在进行出水流道设计时,必须充分考虑水流速度、方向、压力等物理量的变化规律,确保水流能够以最小的能量损失快速离开泵站。为此,通常需要借助CFD(计算流体力学)软件对不同工况下的流场特性进行数值模拟,通过反复迭代调整边界条件参数,直至找到最优解。在具体实践中,可以通过改变出水流道末端截面形状、增加扩散角或者设置消能设施

等方式来改善出口处的流态,防止出现溢流、涌浪等问题。此外,考虑到泵站运行过程中可能会受到潮汐、季节性水量变化等因素的影响,设计师还应在设计之初就预留适当的调节余地,使得泵站能够在较宽范围内保持稳定的输出性能。

### 3.3 流道的网格计算

流道网格计算是水利工程泵站流道优化设计中的核心技术之一。通过构建高精度的三维流体动力学模型,可以对泵站内外部流场进行详细描述,揭示水流运动的本质规律。在进行流道网格划分时,设计师需要根据流道的实际几何特征,灵活运用结构化网格、非结构化网格或混合网格等多种形式,确保每个单元格内的物理变量都能得到准确表达。对于复杂区域,如弯头、缩放段等,则应适当加密网格密度,以捕捉细微的流动细节。同时,为了提高计算效率,还需要引入合适的湍流模型和边界条件处理方法,使得数值模拟结果更加贴近实际情况。值得一提的是,随着高性能计算平台和云计算服务的普及,现在可以更容易地实现大规模并行计算,大大缩短了流道优化设计周期。

### 3.4 流道优化设计中的多目标协同考量

在水利工程泵站流道优化设计过程中,除了关注进水流道和出水流道的具体形态与性能外,还需综合考虑多个相互关联的设计目标,以确保泵站整体性能达到最优。首先,设计师必须重视泵站运行效率与能量损耗之间的平衡。通过精确的数值模拟分析,可以识别出影响流道内部流动特性的关键因素,并据此调整设计参数,从而实现降低水力损失、提高泵送效率的目的。然而,在追求高效率的同时,不能忽视结构安全性和耐久性的问

题。因此,在优化流道几何形状时,应充分考虑到材料特性、施工工艺以及长期服役条件下的潜在风险,确保所选设计方案既能满足功能需求又具备足够的可靠性和稳定性。

## 4 结束语

本论文围绕水利工程泵站结构设计及流道优化设计展开讨论,涵盖了从模型计算到荷载分析,再到具体设计原则等多个层面的内容。通过对泵站结构混凝土防腐性能、设计要点以及施工过程的关注,展示了如何在满足功能需求的前提下实现结构的安全性与耐久性。同时,针对进水流道和出水流道的优化设计,本文提出了基于数值模拟和物理原型试验相结合的方法,强调了流道网格计算的重要性。

### [参考文献]

- [1] 糜凯华, 於文欢, 毕树根. PKPM在水利工程框架结构设计中的应用[J]. 中国水能及电气化, 2022, (03): 25-31+64.
- [2] 张朦. 水利工程泵站主要建筑物的结构与基础问题分析[J]. 珠江水运, 2021, (23): 70-71.
- [3] 宁荣杰, 张鑫鑫. 浅谈水利工程中如何规范化管理泵站的安全运行[J]. 中国设备工程, 2021, (20): 249-250.
- [4] 李春保, 吴明白, 杨保恩, 等. 水利工程中小型泵站地基处理[J]. 治淮, 2020, (04): 52-54.

### 作者简介:

舒婧(1987--),女,汉族,新疆霍城县人,大学本科,职称:高级工程师,研究方向:水利水电工程规划设计,水工建筑物,厂房,泵站。