

水利水电工程压力管道镇墩设计的优化与稳定性研究

孟超杰

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v8i9.5745

[摘要] 水利水电工程中的压力管道镇墩作为保障管道安全的关键结构,其设计优化与稳定性研究对于工程安全高效运行至关重要。本文深入探讨了镇墩设计的优化策略,通过系统分析镇墩受力特性,提出了基于力学平衡与结构稳定性的综合设计优化方法。研究聚焦于镇墩的抗滑稳定、抗倾覆稳定及地基应力分布,通过理论计算与数值模拟相结合的方式,验证了优化设计的合理性与有效性。本文旨在为水利水电工程压力管道镇墩设计提供理论支撑与实践指导,促进工程设计的科学化、精细化发展。

[关键词] 水利水电工程; 压力管道; 镇墩设计; 稳定性优化; 受力分析

中图分类号: TU81 文献标识码: A

Optimization and Stability Study of Anchor Block Design for Pressure Pipelines in Water Conservancy and Hydropower Projects

Chaojie Meng

Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Research Institute Co., Ltd

[Abstract] As a key structure to ensure the safety of pipelines in water conservancy and hydropower projects, the design optimization and stability study of anchor blocks for pressure pipelines are crucial for the safe and efficient operation of such projects. This paper delves into the optimization strategies for anchor block design and proposes a comprehensive design optimization method based on mechanical equilibrium and structural stability through systematic analysis of the force characteristics of anchor blocks. The research focuses on the anti-sliding stability, anti-overturning stability, and foundation stress distribution of anchor blocks. Through a combination of theoretical calculations and numerical simulations, the rationality and effectiveness of the optimized design are verified. This paper aims to provide theoretical support and practical guidance for the design of anchor blocks for pressure pipelines in water conservancy and hydropower projects, promoting the scientific and refined development of engineering design.

[Key words] Water conservancy and hydropower projects; Pressure pipelines; Anchor block design; Stability optimization; Force analysis

引言

在水利水电工程领域,压力管道作为输送水流的重要设施,其安全性直接关系到整个工程系统的稳定运行。镇墩作为布置在泵站、水电站及输水管网系统压力管道的转角及伸缩节处的重要构筑物,承担着维持管道方向稳定、防止管道位移的关键作用。镇墩设计需综合考量管道内水压力、自重、地基条件等多种因素,确保其在复杂受力环境下的稳定性与耐久性。因此,对镇墩设计的优化与稳定性研究具有重要意义。

1 项目案例

开干旗灌区位于奎屯市开干齐乡,距奎屯市中心城区约15km,现状为纯井灌区,现状灌溉无其他水源,农业灌溉只能通过超采地下水进行灌溉,导致灌区地下水超采严重。通过新建

9.6km南干渠延伸管线,打通南干渠和开干旗灌区地表水引水系统,可以减轻开干旗灌区对地下水的过度开采,使水资源得到更有效的分配和利用。

南干渠延伸管线设计引水流量 $2.1\sim 3.0\text{m}^3/\text{s}$,通过水力学计算,管道管径采用1.4m,根据管道沿线地质条件,管材选用涂塑钢管和连续缠绕玻璃夹砂管,管道压力等级在 $0.6\text{MPa}\sim 0.8\text{MPa}$ 。本工程采用埋地管敷设,在管道平面和纵向转角大于 3° 处全部设置镇墩。本工程共设有镇墩16座,其中水平镇墩15座,竖向镇墩1座。

2 镇墩设计的基本原理与核心要求

镇墩作为输水系统中不可或缺的结构组件,其设计严格遵循《小型水力发电站设计规范》、《泵站设计规范》等一系列国

家及行业标准,旨在确保在各种复杂工况下,镇墩能够保持稳定的运行状态。设计的基本原理,首先体现在合理的结构布局上,通过科学的空间构型设计,使镇墩能够有效承载并传递管道系统所产生的各种荷载,确保整体结构的稳定性和安全性。

材料选型是镇墩设计的另一关键环节。通常情况下,镇墩采用混凝土浇筑而成,这是因为混凝土具有良好的抗压强度和耐久性,能够满足镇墩长期承受重压和抵御环境侵蚀的需求。同时,依靠镇墩自身的重量,可以有效增加其与地基之间的摩擦力,从而维持管道及镇墩自身的稳定。

在镇墩的设计过程中,还需特别关注因管道方向改变而产生的不平衡轴向力。这种力如果得不到妥善处理,可能会对镇墩结构造成破坏。因此,设计时需要通过精确的计算和分析,确定合理的镇墩尺寸和形状,以有效抵消这种不平衡力。

此外,设计过程中还需完成一系列关键验算,包括抗滑稳定验算、抗倾覆稳定验算、地基应力验算以及裂缝控制验算等。这些验算的目的是确保镇墩结构在各种工况下都能保持安全合理,避免发生滑移、倾覆、地基沉降或裂缝等安全隐患。

3 镇墩受力特性分析

镇墩的受力特性复杂多变,主要包括管道外推力、管道结构自重、管中水重、镇墩自重、上部覆土荷载及主动与被动土压力等。其中,管道外推力主要由内水压力产生,是镇墩设计需重点考虑的荷载之一。此外,镇墩还需承受因管道方向改变而产生的弯矩、剪力等附加荷载。因此,对镇墩受力特性的全面分析是设计优化的基础。

3.1 管道外推力计算

管道外推力计算需考虑管道内径、设计内水压力、弯管角度等因素。对于水平弯管镇墩,其外推力标准值可通过公式计算得出;对于三通管道镇墩及垂直向上或向下弯管镇墩,则需根据具体情况进行适当调整。计算过程中应充分考虑管道材料的弹性模量、泊松比等物理力学参数的影响。

3.2 镇墩所受竖向力分析

镇墩所受竖向力主要包括管道结构自重、管中水重、镇墩自重及上部覆土荷载等。在计算过程中,需分别考虑各分项荷载的标准值,并结合镇墩的实际尺寸与埋设深度进行综合分析。同时,还应考虑地下水产生的浮托力对镇墩竖向受力的影响。

3.3 管道水力计算

(1) 管径的确定,采用如下公式计算:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

式中, D —管道直径/m; Q —设计流量/ m^3/s ; v —设计流速/ m/s 。

(2) 沿程水头损失,常用的水力计算公式:

$$\text{达西 (Darcy) 公式: } h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{谢才 (Chezy) 公式: } h_f = \frac{l * v^2}{C^2 * R}$$

$$\text{海曾-威廉 (Hazen-Williams) 公式: } h_f = \frac{10.67 * Q^{1.852} * l}{C_h^{1.852} * d^{4.87}}$$

通过对各相关规范所推荐计算公式的比较可知,推荐塑料管材选用达西公式计算,金属管材采用谢才公式计算。根据规范要求并结合工程实践,连续缠绕玻璃钢钢管糙率取0.01,玻璃钢钢管糙率取值0.012,既能满足输水能力的要求,又留有一定的富余。输水管水力计算成果详见表1。

南干渠延伸管线路力学计算表

表 1

桩号	设计管径	设计流量	设计流速	糙率 n	累计总水头损失	动水压线	静水压线	静水头	自由水头
0+000.00	1.4	3.00	1.95	0.0120	0.000	537.300	537.300	1.632	1.632
3+000.00	1.4	3.00	1.95	0.0120	7.324	529.976	537.300	22.006	14.682
5+000.00	1.4	3.00	1.95	0.0100	10.715	526.585	537.300	27.348	16.633
9+128.00	1.4	3.00	1.95	0.0100	17.714	519.586	537.300	42.557	24.842
9+596.00	1.4	2.10	1.36	0.0100	18.103	519.197	537.300	42.136	24.033

4 镇墩设计的优化策略

4.1 镇墩布置

镇墩作为输水系统的重要组成部分,主要被布置在管线的关键位置。根据规范,对于有压力的明管,在水平面或外立面拐角处需安装镇墩,以承受因管线变化导致的水流不平衡产生的轴向力,并确保管道与地基稳固连接,防止位移。对于浅埋式管道,仅在变坡和大转向处设置镇墩。镇墩按管线方向分为凹形、凸形和中间型封闭式三类,均采用C30混凝土浇筑。在满足布局要求的前提下,镇墩的地基应优先置于基岩上;若处于较深土层,则可选择旧土层作为地基。通过合理布置镇墩,可以有效保障输水系统的稳定性和安全性,确保水流畅通无阻。

4.2 材料选型的优化

镇墩材料应具备良好的力学性能与耐久性。混凝土作为镇墩的主要材料,其强度等级、配合比及添加剂的使用均对镇墩性能产生重要影响。在材料选型过程中,应充分考虑镇墩的受力特性与工作环境,选择适宜的混凝土强度等级与配合比。同时,为防止镇墩表面开裂,可在混凝土中掺入适量的抗裂纤维或采用高性能混凝土以提高其抗裂性能。各种管材优缺点比较见表2。

4.3 受力平衡的优化

镇墩设计需实现受力平衡,以确保其在复杂受力环境下的稳定性。在优化过程中,可通过调整镇墩尺寸、形状及配筋布置等方式,改善镇墩的受力状态。例如,对于高度较大的镇墩,可通过增加基础宽度或设置抗滑桩等方式提高其抗滑稳定性;对于受力复杂的弯管镇墩,可采用预应力技术或增设加强肋等方式提高其整体稳定性。

表2 管材优缺点比较

管材	优点	缺点
钢管(SP)	管材强度高,耐工作压力高,施工敷设方便,适应性强,接口形式灵活,管道渗漏量少,单位管长重量较轻,可用于埋设穿越各种障碍。	耐腐蚀性较差,抗外压能力弱,除内外壁均需做常规防腐处理外,在不良水文地质地段敷设时尚需考虑采用特殊防腐措施。
聚乙烯管(PE)	管材耐老化,使用寿命长,比钢管的耐磨性好,搬运方便,连接可靠。	不耐高温,暴晒下管道纵向伸长率较大。
球墨铸铁管(DIP)	强度高,防腐及密封性能好,具有良好的可挠性和伸缩性,能吸收因地基沉降而产生的压力,避免管道破裂,使用寿命最长,且安装简单快捷。	重量较重。
连续缠绕玻璃夹砂管	承插接口,工艺简单,单管长度12m甚至更长,安装工期最快,运输安装方便,糙率低,耐腐蚀性能好,造价较低。	对管基的要求高,对回填土的要求较高。施工过程中若操作不当,如有尖锐物划伤管道,造成后期运行隐患。

5 镇墩稳定性的计算与分析

5.1 执行抗滑稳定性数学演算

抗滑稳定性数学演算的核心目标,在于精确验证镇墩结构在复杂水平荷载作用下的稳固状态。此过程需细致考量镇墩基底与接触面间的摩擦系数这一关键参数,该系数与材料特性及接触面条件紧密相关。进一步地,需综合计算作用于镇墩之上的全部垂直力与水平力的矢量和,以及镇墩自身的重量,这些因素共同构成了抗滑稳定性分析的力学基础。通过构建力学平衡方程,可推导出抗滑稳定安全系数,该系数需与预设的允许值进行严谨比对,以评估镇墩的抗滑能力。值得注意的是,在计算中必须全面融入管道内水压力、水流离心力等动态荷载的实时影响,确保分析结果的准确性和可靠性。此外,还需采用诸如库仑摩擦定律等理论模型,对镇墩与地基间的相互作用进行深度剖析,以期获得更为精确的抗滑稳定性评估。

5.2 实施抗倾覆稳定性精密分析

针对具有高度特征的镇墩结构,执行抗倾覆稳定性精密分析显得尤为关键。此分析旨在预防镇墩在极端荷载条件下发生倾覆的风险。分析过程中,首要任务是确定镇墩建基面与钢管合理作用点的几何距离,这一距离直接影响到倾覆力矩的计算。随后,需综合考虑水平荷载与竖向荷载的耦合效应,构建力学模型以计算抗倾覆稳定安全系数。该系数的得出,需基于详尽的力学分析,包括但不限于静力平衡原理及力矩平衡方程的应用。通过与预设的允许值进行比对,可科学评估镇墩的抗倾覆稳定性,为工程设计提供坚实依据。同时,分析中还应融入地基土质特性、镇墩结构形式等多元因素,以确保分析结果的全面性和准确性。

5.3 开展地基应力分布深度计算

地基应力分布深度计算,是验证镇墩地基承载能力的重要环节。此计算过程需首先对镇墩基底应力分布进行细致模拟,这包括应力的方向及分布形态等关键要素。随后,需将模拟结果与地基实际的承载力进行严谨比对,以评估地基的稳定性。在计算中,必须充分考虑地基土质的物理力学指标,如土的密度、抗压强度、内摩擦角等,这些因素直接影响到地基的承载能力。同时,还需关注地下水对地基土质的软化作用,以及地基土层的分层特性对应力分布的影响。通过采用诸如布西奈斯克方程等先进理论,可精确计算地基应力分布,为镇墩地基的设计与优化提供科学依据。此外,计算中还应融入地基处理措施、镇墩基础形式等实际工程因素,以确保分析结果的实用性和可靠性。

6 结语

水利水电工程压力管道镇墩设计的优化与稳定性研究是一项系统工程,需综合考虑管道布置、地质条件、施工难度及经济成本等多种因素。本文通过深入分析镇墩受力特性,提出了基于力学平衡与结构稳定性的综合设计优化方法,并通过理论计算与数值模拟相结合的方式验证了优化设计的合理性与有效性。研究成果对于提高水利水电工程压力管道镇墩设计的科学化、精细化水平具有重要意义,为工程实践提供了有力的理论支撑与实践指导。在未来的工程设计中,应进一步推广和应用本文提出的优化设计方法,以促进水利水电工程行业的持续健康发展。

[参考文献]

- [1]柴海.镇宁县输水工程管道水力与镇墩设计[J].水利技术监督,2023,(03):88-91.
- [2]邓宏凯.埋管转明管空间转角镇墩设计方法[J].水利水电快报,1-12[2024-09-21].
- [3]周培勇,王爽.基于被动土压力折减的浅埋镇墩优化设计研究[J].东北水利水电,2020,38(06):1-4+17+71.
- [4]张鹏,许合伟.基于安哥拉琼贝达拉水电站压力管道镇墩设计研究[J].中国水运(下半月),2019,19(08):191-192+245.
- [5]贾杰,赵蕾.水利工程中浅埋压力管道镇墩的优化设计[J].广东水利水电,2019,(06):18-19.
- [6]李密,吕锋,曾祥磊,等.计算机辅助软件在长距离输水管线埋地镇墩设计中的应用[J].地下水,2022,44(06):238-240.

作者简介:

孟超杰(1993--),男,汉族,河南省太康县人,大学本科,职称:工程师,研究方向:灌区工程设计,引调水工程设计,规划设计。