

分类号：
学号：20222110041

密 级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



新龙口电站压力管道水锤计算及岔管结构优化

学位申请人	李子龙
指导教师	金瑾 教授
	孙建仁 正高级工程师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	土木水利
研究领域	水利工程
所在学院	水利建筑工程学院

中国·新疆·石河子

2025年5月

分类号：
学号：20222110041

密 级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



新龙口电站压力管道水锤计算及岔管结构优化

学位申请人	李子龙
指导教师	金瑾 教授
	孙建仁 正高级工程师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	土木水利
研究领域	水利工程
所在学院	水利建筑工程学院

中国·新疆·石河子
2025年5月

**Water Hammer Analysis and Branch Pipe Structure Optimization
for the Xinlongkou Hydropower Station Pressure Pipeline**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master of Civil and Hydraulic Engineering

By

Li Zi-long

(Hydraulic Engineering)

Dissertation Supervisor: Prof. Jin Jin

Senior engineer. Sun Jian-ren

May,2025

摘要

针对新龙口水电站阀门关闭方式和岔管角度对管道水锤压力及水力特性的影响，本文开展了系统的研究计算。采用 Bently Hammer 水锤计算软件与 CFD 数值模拟技术相结合的方法，对不同工况下的管道水锤压力进行了二维计算分析，进一步利用三维水锤模拟计算的方法探讨了阀门数量、距离和直径三种因素对管道阀门前后端压力瞬态变化的影响，同时对不同岔管角度下的流场特性进行了分析，优化了岔管结构设计。

结果表明关阀程序的选择对水锤压力的变化具有决定性影响：关阀时间越短，水锤压力的极值越大，且压力极值通常出现在阀门末端；延长关阀时间可有效降低水锤的极值和峰值出现次数，压力波动在 30 秒左右趋于稳定；相比一阶段线性关闭，两阶段线性关闭的水锤压力高出 8%-14.1%。因此建议在实际工程中采用超过 9 秒的一阶段线性关阀方式，或采用 60%快关和 40%慢关的关阀策略，以在发电厂卸载负荷时实现效率与安全的平衡。

影响岔管阀门前后端瞬态流变化的主要因素是阀门数量，其次为阀门直径和阀门之间的距离。较大直径的阀门会导致水锤波峰值延迟出现，压力波动幅度较大；而较小直径的阀门则使波峰值提前出现；故在实际运行中，建议优先关闭小直径阀门，以显著降低局部压力损失和水锤压力，从而提升输水系统的运行效率和安全性。

针对岔管角度对岔管处流态变化的影响，计算结果表明岔管角度越大，局部水头损失越小，流速分布越均匀，压力波动幅度越小。在岔管角度为 120° 时，管道分叉处的局部水头损失最小（大直径机组岔管分叉处为 13.27 米，小直径机组岔管分叉处为 1.49 米），流场更为均匀，有效减少了局部湍流和涡流现象，同时降低了水锤压力的极值及其对管道系统的影响。进一步增加岔管角度虽然可进一步降低水头损失，但会显著增加工程成本和施工难度。综合建设成本和施工难度考虑， 120° 为最优设计角度。

本文揭示了不同关阀程序对水锤压力的影响，并通过三维水锤计算明确了岔管角度、阀门直径、阀门距离及数量对管道流态的作用，验证了 120° 岔管角度在工程实际中的合理性；采用二维与三维结合的水锤计算方法，实现了计算精度与时间成本的平衡，为类似多支管输水工程的优化设计和安全运行提供了技术支持，也为进一步研究多支管管道系统的流体力学特性提供了参考依据。

关键词：压力管道；水锤压力；数值计算；岔管；结构优化

Abstract

Aiming at the influence of valve closing mode and fork angle on pipe water hammer pressure and hydraulic characteristics in Xinlongkou Hydropower Station, this thesis carries out a systematic research and calculation. Using Bentley Hammer water hammer calculation software combined with CFD numerical simulation technology, two-dimensional calculation and analysis of pipeline water hammer pressure under different valve closing conditions, and further use of three-dimensional water hammer simulation to explore the number of valves, distance and diameter of the three factors on the pipeline pressure transient changes in the front and rear ends of the valves, and at the same time on the flow characteristics of the different turnpike angle was analyzed. At the same time, the flow field characteristics under different fork angles are analyzed, and the design of the fork pipe structure is optimized.

The results show that the choice of valve closing procedure has a decisive influence on the change of water hammer pressure: the shorter the valve closing time is, the larger the extreme value of water hammer pressure is, and the extreme value of pressure usually occurs at the end of the valve; prolonging the valve closing time effectively reduces the extreme value and the number of peaks, and the pressure fluctuation tends to stabilize around 30 seconds; compared with the one-phase linear closure, the two-phase linear closure of the water hammer pressure is higher than the 8% -14.1%. Compared with one-stage linear shutdown, two-stage linear shutdown is 8-14.1% higher. Therefore, it is recommended to use one-stage linear closure of more than 9 seconds or a valve closing strategy of 60% fast closure and 40% slow closure in practical projects to achieve a balance between efficiency and safety when unloading the power plant.

The main factor affecting the variation of transient flow at the front and rear ends of the turnpike valves is the number of valves, followed by the valve diameter and the distance between the valves. Larger diameter valves lead to delayed appearance of water hammer wave peak and larger pressure fluctuations, while smaller diameter valves make the wave peak appear earlier; therefore, in actual operation, it is recommended to prioritize the closure of small-diameter valves in order to significantly reduce the local pressure loss and water hammer pressure, so as to enhance the operational efficiency and safety of the water transmission system.

For the impact of the angle of the fork pipe on the change of the flow pattern at the fork pipe, the calculation results show that the larger the angle of the fork pipe, the smaller the local head loss, the more uniform the flow distribution, the smaller the pressure fluctuation. In the fork angle of 120 °, the pipe bifurcation of the local head loss is the smallest (large-diameter unit fork fork at 13.27 m, small-diameter unit fork fork at 1.49 m), the flow field is more uniform, effectively reducing the local turbulence and vortex

phenomena, while reducing the extreme value of water hammer pressure and its impact on the piping system. Although further increasing the angle of the bifurcation pipe can further reduce the head loss, it will significantly increase the project cost and construction difficulty. Considering the comprehensive construction cost and construction difficulty, 120° is the optimal design angle.

This thesis reveals the impact of different valve closing procedures on water hammer pressure, and through three-dimensional water hammer calculations to clarify the fork angle, valve diameter, valve distance and the number of the role of the pipeline flow pattern, verifying the reasonableness of the 120° angle of the fork in the engineering practice; the use of two-dimensional and three-dimensional combination of the water hammer calculation method, to achieve the balance between the calculation accuracy and the cost of time for the optimization of the design and safe operation of similar multi-branch pipeline project provides technical support and also provides a reference basis for further research on the hydrodynamic characteristics of multi-branch pipeline systems. It provides technical support for the optimization design and safe operation of similar multi-branch pipeline projects, and also provides a reference basis for further research on the hydrodynamic characteristics of multi-branch pipeline systems.

Key words: pressure pipeline; water hammer pressure; numerical calculation; branch pipe; structural optimization

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：李龙

时间：2015年5月19日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：李龙

时间：2015年5月19日

导师签名：金瑾

时间：2015年5月19日

目录

摘要.....	I
Abstract.....	II
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	3
1.2.1 水锤计算方法的发展.....	3
1.2.2 水锤模拟研究现状.....	4
1.2.3 岔管研究现状.....	5
1.3 本文研究内容与目标.....	7
1.3.1 研究内容.....	7
1.3.2 研究目标.....	7
1.4 技术路线.....	8
第 2 章 新龙口水电站工程介绍.....	9
2.1 新龙口水电站工程简介.....	9
2.2 水电站压力管道概况.....	10
2.3 水电站压力管道运行工况.....	11
第 3 章 水电站压力管道二维水锤计算.....	13
3.1 二维水锤计算方程及方法.....	13
3.1.1 瞬变流方程.....	13
3.1.2 特征线法计算原理.....	14
3.2 一阶段关阀压力管道水锤计算结果.....	17
3.2.1 一阶段关阀管道沿线水锤压力变化规律.....	17
3.2.2 一阶段关阀末端阀门水锤压力变化规律.....	18
3.3 两阶段关阀压力管道水锤计算结果.....	20
3.3.1 两阶段关阀管道沿线水锤压力变化规律.....	20
3.3.2 两阶段关阀末端阀门水锤压力变化规律.....	22
3.4 本章小结.....	24
第 4 章 管道瞬变流作用下的流场模拟计算.....	25
4.1 数值计算方法与方案.....	25

4.1.1 数学模型的选择.....	25
4.1.2 网格划分及边界条件.....	27
4.1.3 数值计算方案设计.....	27
4.2 压力分布计算结果.....	28
4.2.1 阀门全部关闭时管道压力分布.....	28
4.2.2 关阀时管径对管道压力分布的影响.....	30
4.2.3 关阀数量对压力分布的影响.....	32
4.2.4 阀门距离对压力分布的影响.....	34
4.3 流场计算结果.....	41
4.3.1 关阀时管径对流场分布的影响.....	41
4.3.2 关阀时数量对流场分布的影响.....	44
4.4 本章小结.....	47
第5章 岔管的结构优化设计.....	49
5.1 计算方案.....	49
5.2 岔管角度对管道流场的影响.....	49
5.2.1 压力场计算结果.....	49
5.2.2 流速矢量场计算结果.....	55
5.3 最佳岔管角度分析.....	62
5.4 本章小结.....	62
第6章 结论与展望.....	64
6.1 结论.....	64
6.2 展望.....	64
参考文献.....	66
致 谢.....	71
作者简介.....	72
导师评阅表.....	73

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

我国水资源分布严重失衡，由东南向西北逐渐加深，缺水城市以北方城市为主，华北与东北片区大部分属于资源型和管理型缺水，南方城市多表现为工程型和水质型缺水，东部地区水资源相对丰富，西北片区城市以资源—工程型缺水为主导，并且较多区域面临着严重的水资源短缺问题^[1]。与此同时南方部分城市面临气候变化导致的降水不足、地下水过度开采的问题，部分地区海水倒灌造成地下水污染，水资源供需矛盾进一步加剧^[2-6]。为应对这些挑战，近年来我国在水资源配置方面采取了跨流域调水和远距离输配水等措施，并取得了长足进步，如南水北调中线工程、黄河调水工程、引汉济渭调水工程、罗布泊钾盐供水工程、新疆奎屯河调水工程等^[7-9]。这些工程不仅大大缓解了地区水资源问题，还显著减轻了地区水资源压力，同时缓解了部分低区水资源短缺的问题，还促进了管道供水技术的快速发展。在长距离供水项目中，管道的安全运行是重中之重。然而由于阀门突然关闭或打开、泵站突然甩负荷、管道设计不规范等原因，极易造成管道水锤。一旦发生水锤，其产生的强烈冲击波可能会导致管道破裂，造成严重的财产损失甚至产生人员伤亡，因此在规划管道输配水项目时，管道水锤的防护至关重要。像奎屯河二级电站——新龙口电站这样的大型引水工程来说，对于管道的水锤防护尤为重要。

水锤是在突然停电或者在阀门关闭太快时，由于压力水流的惯性，产生水流冲击波，就像锤子敲打一样，故称之为水锤。水流冲击波来回产生的力，有时会很大，从而破坏阀门和水泵，这种水锤现象不仅会导致管道内压力急剧上升或下降，甚至引起管道爆裂、气蚀和其他危害^[10]。为了防止水锤现象的发生，在水利工程设计阶段通常会安装相应的水锤保护装置，并视具体情况选择合适的阀门关闭时间和水锤控制策略，不仅是确保日后工程安全运行的关键，同时也可以降低建设成本、减少资源浪费、促进经济社会可持续发展。在我国西北地区重点供水工程之一的奎屯河河段沿程中，由于地质灾害和水毁频繁，相关河道部分引水渠道“年年毁、年年修”，临时引水工程引水能力有限，严重影响了下游用水需求，制约了当地农业生产和地区经济发展。为解决这些问题，保障地区稳定可靠的供水，新龙口电站的建设具有重大意义，而输水管道是整个工程的重要组成部分，因此防止管道水锤的发生及相关计算是保障系统安全运行不可或缺的一环。

随着计算机技术和数值模拟理论的飞速发展，数值模拟技术已成为水锤分析的重要

方法，并广泛应用于输配水工程中，但是现有的水锤分析方法在精度和适用性方面仍存在一定的局限性，提高水锤模型的精度、优化水锤保护系统是学术和技术研究的重要领域。目前主要的分析方法是基于特征法和非恒定摩擦模型对管网进行一维和二维水锤计算，这种方法效率较高，但无法分析管道内部的流动规律；三维水锤计算能够准确模拟水锤发生时管道内部流动的变化，但耗时较长。本文以新龙口电厂输水系统为例，通过二维和三维相结合的方法，利用数值模拟技术，详细分析了水锤现象的形成机理和影响因素，对管道结构和水锤防护系统进行了优化设计。本文不仅为奎屯河引水工程的安全运行提供了保障，也为类似调水工程的水锤防护规划提供了宝贵经验，对促进我国水资源合理配置和水保工程的可持续发展具有极其重要的意义。

水锤现象是一种由流体惯性和压缩引起的不稳定流动状态，通常发生在阀门急剧关闭或泵站突然停止等情况下^[11-14]。当有压管道中发生水锤现象时，流体的速度、加速度、压力、密度和剪应力会在时间和空间上迅速变化，形成水锤波在管道中传播。这些波动会对管道系统的稳定性和安全性产生重大影响。水锤的产生和传播过程由运动方程和连续方程来描述，这些非稳态流动的基本方程在结合一定的初始条件和边界条件后，可用于求解水锤的基本微分方程^[15]。利用特征线法求解水锤问题，可将偏微分方程系转化为常微分方程系，然后积分简化得到有限差分方程系，通过数值计算预测水锤压力的大小和分散规律，流体的可压缩性在分析水锤时是一个不容忽视的重要因素，加压水流在水锤现象中会发生显著的压力变化，流体的可压缩性对压力振幅和传播速度有很大影响，水力计算对这一特性进行了详细分析，并为水锤保护装置的设计奠定了理论基础。

现阶段水锤计算方法主要包括解析计算法、图解法、有限差分法和特征线法^[16]，其中特征线法因其精度高、适用性强，成为应用最广泛的方法，特征线法通过将水锤方程在特征方向上离散化^[17]，结合数值计算工具，可准确模拟复杂管网系统中的水锤现象，已成为水锤分析的主流方法。对水锤现象的研究不仅有助于揭示非稳定流特性，同时为压力管道系统的设计和优化提供了科学依据，在长距离输配水工程中水锤的防护是确保管道安全运行的重要因素之一。

本文旨在以新龙口水电站压力管道为研究对象，通过二维水锤计算结果分析揭示了不同关阀工况下管道压力分布与流速变化规律，并基于计算结果设置边界条件利用 CFD 技术开展三维水锤数值模拟，进一步对不同关阀数量、直径、距离及岔管角度条件下的管道内部水锤压力与流速的分布特性与流态变化规律展开分析。结合工程数据及结果提出阀门关闭程序优化与管道结构设计优化的综合防护方案，有效控制了水锤压力极值在管道承压安全设计值范围内。本文利用的二维与三维结合的水锤计算分析方法不仅为新龙口水电站工程安全运行提供了技术支持，在保证水锤计算效率的同时提高了精确度，在实际工程中降低了长距离输水系统水锤风险，还可推广至类似有压管道引水工程，通过理论计算与工程验证的误差对比进行合理优化，在保障管道安全性的基础上兼顾经济

效益，为水利工程领域的水锤风险预测、防护设计优化及水资源管理决策提供重要技术支撑和参考价值。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 水锤计算方法的发展

水锤现象的研究和计算方法的开发与水利工程的建设和技术进步密切相关，随着我国水利工程建设的快速发展，特别是大型输配水工程的建设，管道水锤问题日益成为研究的重点。为了解决水锤对工程安全运行造成的威胁，科研人员不断研究高效、准确的计算方法和防护措施。目前水锤的计算方法已发展出解析法、图解法和电算法等多种形式^[16]。

1. 解析法：

在 20 世纪 30 年代之前，由于基础学科的发展和科学计算工具的局限，水锤计算方法较为简单。解析法是早期应用较为广泛的一种方法，基于 Allievi 水锤连锁方程，通过逐段计算得到任意时刻、任意断面上的水锤压力。这种方法依赖于初始条件和边界条件，可逐步求解管道中的水锤压力^[18]。但是由于解析法适用范围有限，仅适用于简单管道系统的水锤计算，对于边界条件复杂或多分支管道系统，其计算精度不足，难以推广应用。

2. 图解法：

在 20 世纪 40 年代至 60 年代间，图解法逐渐被提出并应用于水锤计算^[19]，该方法通过将水锤基本方程转化为代数方程，并利用绘图求解，不考虑管道摩阻损失。相比解析法，图解法更直观，计算过程简洁，且在一定程度上具有较高的准确性。随着工程中管道系统的复杂化，图解法在处理复杂边界条件和动态流动问题时表现出局限性，故图解法在水锤研究中的应用逐渐减少。

3. 电算法：

20 世纪 60 年代以后，随着计算机技术的发展，电算法开始在水锤计算中占据主导地位，电算法结合了计算机强大的运算能力和数值计算方法的理论成果，使得对复杂系统的水锤分析成为可能。电算法中最常用的方法包括有限差分法、有限元法和特征线法^[20]。

(1) 有限差分法

有限差分法通过用差商代替偏微分方程中的导数，利用离散网格点上的数值求解管道中的流体参数^[21]，有限差分法分为显式和隐式两种格式^[22]，显式差分法逐一求解下一时刻的未知参数，计算时对时间步长要求严格；隐式差分法则无需逐一求解，时间步长

限制较少,适用于变化较慢的水流现象^[23]。近年来,有限差分法在稳定性、收敛性和计算精度方面取得了显著进展^[24],但其对复杂边界条件的适应性仍有待提升^[25]。

(2) 有限元法

有限元法^[26]是一种基于极值原理和分段逼近的数值方法,适用于不规则边界条件的求解,尽管有限元法在理论上具有高效性和灵活性,但由于起步较晚,其在水锤计算中的应用仍需进一步完善^[27-28]。

(3) 特征线法

特征线法是目前水锤计算中应用最广泛的方法之一,由 Wylie 和 Streeter^[29]提出。该方法通过将水锤偏微分方程沿特征线变换为常微分方程,再对常微分方程进行差分化处理。特征线法计算精度高,适用于复杂边界条件的系统,且便于程序实现,已成为水锤研究的主流工具^[30-32]。

水锤计算方法的发展反映了科学技术的进步和工程需求的变化。从早期的解析法和图解法,到计算机时代的电算法,特别是有限差分法、有限元法和特征线法的应用,水锤计算的精度和适用性得到了显著提升。目前,特征线法凭借其计算精度和灵活性,成为水锤计算的主要方法之一。随着计算机技术和数值理论不断发展,水锤计算方法将在工程设计、运行安全保障和水利技术创新中发挥越来越重要的作用。

1.2.2 水锤模拟研究现状

在前期学者们主要采用的一维特征线法进行的水锤计算,不仅操作繁琐且只能应用于简单的管道水锤问题,目前较为普遍使用的是基于特征线法下的三维数值模拟计算,主要是通过各大公司研发的计算机软件对水锤进行相关计算。

华晔使用计算流体力学动网格技术对特定管道的阀门启闭规律进行了仿真模拟,并与相同模型的特征线法和实验结果进行了对比,验证了此方法计算水锤的可行性^[33]。章勇根^[34]使用 Fluent 软件对大口径静音止回阀的稳态和关阀过程进行了三维流固耦合数值模拟,分析了在不同阀门开度的情况下的管道流场分布,并得到了其相对应的动态曲线。刘光临进行了单向调压塔长输水管道的水柱分离研究,优化出有单向调压塔下的水锤计算模型,有效地预防了水柱分离现象的发生^[35]。石建杰在泵站管道系统中引入排气阀和气压罐,有效地解决了水泵启闭时发生的瞬时负压,并利用 Hammer 软件对泵站进行了数值模拟计算,证明了排气管结合气压罐对于水锤消减的有效性和可行性^[36]。梁圣辰对带有连通阀的阻抗调压室水锤进行了研究,得出了连通阀的启闭规律对于水锤大小的影响,由计算结果得出阻抗调压室还能减小调压室的占地面积,有效增强了调压室的防水锤效果^[37]。王彤则针对输水管道的支管水锤进行了研究,得出了支管和干管管径比对于水锤的影响^[38]。王祺武利用 MATLAB 进行了重力流双阀调节水锤的控制

分析,得出双阀合理调节的模式有利于管道水锤现象的改善的结论^[39]。梁建军利用 Surge 平台对高扬程停泵水锤进行了分析,通过优化过的注气排气阀等防护装置的搭配使用,模拟计算得出这样可以有效防止管道正负压的产生^[40]。董茹在研究关阀程序对水锤升压的影响研究中指出重力流中末端关阀是引起水锤升压的主要原因,并得出干线和支线阀门关闭顺序对于水锤变化的影响^[41]。郭兰兰采用了 Fluent 中的滑移网格技术模拟了球阀的转动过程,模拟分析了时间一定时阀门关闭的速度对于最大水锤压强的影响^[42]。刘华坪同样使用里面的 UDF 技术模拟了四种不同阀门在水锤冲击时的流场,研究了水锤现象对于阀门精度和结构强度影响^[43]。黄源进行了物理模型关阀实验,利用粒子群算法优化了多阶段线性关阀的水锤模型。对于管道输水系统来说水锤计算已经是必不可少的一个环节,与之相对应的则是不同的防护措施,针对水锤带来的危害,工程上要做的主要是正负压的消除^[44]。李小周研究了不同空气阀型式对于压力管道水锤防护的影响,得出防水锤型空气阀不仅可以有效的消除负压,还能有效地减小水柱分离现象^[45]。刘梅清证实了空气罐对于长距离管道水池的预防作用,并建立了复杂条件下系统水锤和空气罐边界条件的数学模型^[46]。刘志勇采用遗传算法优化了空气阀和泵出口关阀程序的模型,并应用到了实际工程且达到了水锤防护效果^[47]。刘竹青建立了空气阀进入流量系数对水锤影响的数学模型,并通过实验很好地论证了流量系数的大小对管道正负压的影响^[48]。近年来,国内外在流体力、液压回路设计和水锤保护等领域进行了多项研究^[49-51]。例如, Mor^[52]采用可配置的液压回路来全面测量固定和可变输送头条件下的流量和压力,为后续研究提供了宝贵的实验数据。然而,这项研究缺乏对水锤波传播机制的深入探索。同样, Kumar^[53]证明水锤压力瞬变会对 RCS 供应管道的关键部件(如压力传感器)造成严重损害,并强调了这一现象对供水系统的潜在风险和危害。然而,该研究在分支管道中的水锤现象的计算分析方面存在不足。万等人^[54]证明,改善 IAB 摩擦模型中的单系数和双系数,同时增加旋转惯量和采用合理的阀门操作方法,有助于控制流体中的瞬态压力变化。这种方法可以有效地减少水锤波对阀门的严重影响,并在不需要额外保护装置的情况下管理水锤。然而,增加旋转惯量需要引入更高效的涡轮机,这可能导致实际工程中更高的经济成本。因此,本研究主要集中在研究通过适当的阀门关闭程序有效控制水锤。

1.2.3 岔管研究现状

目前对于管道水锤的模拟研究已经逐渐成熟,从一维水锤计算到三维水锤数值模拟都有经验可供参考,关于大型水利工程的水锤计算是工程安全必不可少的环节。新龙口电站在新疆是为数不多的高落差重力流输水电站,有关研究较少,本次通过相关水锤计算软件对电站进行水锤计算,得出管道的最大水锤压力并提供一些防护建议,为电站安

全运行提供技术支持。

目前,国内外的学者对一些工程项目中的岔管进行了相关数值模拟和模型试验研究,并对一些岔管结构以及布置方式进行了优化研究,取得了一定的研究进展。黄智敏^[55]通过模型试验研究了广州抽水蓄能电站尾水岔管的内部流动,分析岔管内的流态以及水头损失等;季奎^[56]等通过模型试验研究小浪底电站尾水岔管,分析水头损失并优化岔管结构;王新、张晓宏^[57]通过水力学模型试验分析研究了某电站内加强月牙肋岔管,提出了一种方法,可以确定导流板尺寸和形状,并且基于 Y 型岔管详细分析总结了导流板的水力特性;夏庆福^[58]等对某实际工程通过模型试验分析研究,阐述了岔管内水头损失系数与岔管的分岔角、肋宽比以及分流比之间的关系;薛超^[59]通过 Solidworks 软件中的 SolidworksSimulation 模块对岔管结构处梁的内伸宽度、截面高度、厚度等对管壳和梁应力的影响进行了有限元分析与计算,并提出了更为合理的三岔管体型;Dianita^[60]等通过实验研究了 T 型管道内不同分流比对局部水头损失的影响;国内外多位学者对岔管体型进行相关研究,证实了 CFD 是分析能量损失的一种可靠办法,并且得到了在 Y 和 T 型的对称管以及二者的非对称管的能量损失都可以通过水力损失系数进行分析^[61];高亚楠^[62]等以福建某电站的出水侧流道进行基于 Fluent 的三维数值模拟,分析了不同工况下优化前后的岔管压力速度等流场情况,并提出了体型优化方案;Ji^[63]等对球型、无偏转板壳型和有偏转板壳型三岔管在一系列工况下进行了数值模拟,在此基础上,分析了分岔段的流态和水头损失,总结出,带偏转板的壳式三岔管具有最有利的水力特性,为岔管设计运行提供参考意见;张金斌^[64]等以 JLH 超高水头电站为例,研究说明了如何设计超高水头电站中的卜型月牙肋岔管的形状和结构;李玲^[65]等采用三维数值模拟技术,利用 k- ϵ 湍流模型研究分析了三岔管双向流动;毛根海^[66]等利用 Reynolds 应力方程模型(RSM)分析了不同工况下卜型岔管的水流流态、水头损失等水力特性;郑文玲、高学平^[67-68]等对引水岔管在不同工况下的局部水头损失、流速及压强的分布情况进行了数值模拟,并证实数值模拟在计算管内流动的可靠性;顾欣欣^[69]等采用物理模型实验和数值模拟相结合的方法系统的分析了有无锥形过渡段的岔管内单向流水流流态,并对不同工况的水头损失进行计算和对比分析。

综上所述,通过大量文献查阅,国内外学者在水锤的理论、计算方法以及数值模拟等方面进行了大量的研究,取得丰硕的成果,不仅推进本领域研究的发展,服务了各类工程应用,但是针对新疆地区这种地形的输水管道的水锤计算较少,尤其是本文中的新龙口水电站输水管道,无论是落差高度还是发电量在新疆都是屈指可数,水锤的问题更是鲜有人研究。本文针对这一不足,以奎屯河引水工程新龙口水电站输水管道为研究对象,采用水锤计算软件对压力管道进行整体的数值模拟计算,对不同数量蜗壳前端阀门工作状况下压力管道水流特性进行研究分析,获得高落差引水系统管道各个节点和各个部位处水流的压力和流速数值,并与实际工程的计算结果进行对比,合理范围内进行阀