

灌区改造中渠道水流特性与优化设计

赵建国

淮安市水利勘测设计研究院有限公司新疆分公司

DOI:10.12238/hwr.v8i3.5280

[摘要] 研究目的是探索和优化新疆灌区渠道水流特性以保证水资源高效配置和利用。首先我们对水流动力学基础进行分析,理清水流在渠道内的流动状态,研究断面形状对于水流有显著影响。更进一步地,我们讨论渠道边界条件对水流特性的影响。基于此,我们利用计算流体力学(CFD)技术对渠道设计进行了优化,特别是对渠道的断面、纵坡和横坡进行了细致的设计。考虑到新疆地区的独特环境和丰富的材料资源,选择最适合的渠道衬砌材料。研究成果有利于提升新疆地区灌区渠道运行效率及水资源利用率。

[关键词] 灌区改造; 水流动力学; 渠道流态; 断面优化设计

中图分类号: TV146+.2 文献标识码: A

Water flow characteristics and optimization design of channel in irrigation area reconstruction

Jianguo Zhao

Huai'an Water Resources Investigation, design and Research Institute Co., Ltd

[Abstract] The research aim is to explore and optimize the channel flow characteristics in Xinjiang irrigation area to ensure the efficient allocation and utilization of water resources. First, we analyzed the basis of water flow dynamics to clarify the flow state of water flow in the channel, and studied the section shape has a significant influence on water flow. Further, we discuss the influence of channel boundary conditions on water flow characteristics. Based on this, we use computational fluid mechanics (CFD) technology to optimize the channel design, especially for the section, longitudinal slope and transverse slope of the channel. Considering the unique environment and abundant material resources in Xinjiang region, the most suitable channel lining material is selected. The research results are conducive to improving the channel operation efficiency and water resource utilization rate in Xinjiang irrigated area.

[Key word] Irrigation area reconstruction; water flow dynamics; channel flow state; and section optimization design

引言

新疆地区干旱多风,有效灌溉系统是农业生产的关键。灌区渠道是水资源转移的主要方式,渠道的设计和管理直接关系到水资源能否得到有效开发利用。受新疆地区独特气候及地理特征的影响,传统灌区渠道存在水流损失严重,灌溉效率较低等诸多问题。因此,本研究专注于运用水流动力学和计算流体力学(CFD)技术,对新疆灌区的渠道进行全面的特性分析和优化设计,目的是为了提高水流控制的准确性和灌溉的效率。

1 渠道水流特性分析

1.1 水流动力学基础

考虑到新疆大西沟灌区渠系的特定环境,水流动力学的分析至关重要以确保渠道设计的科学性与实用性。渠基由卵石混合土组成,表明其具备良好的透水性,结合水力坡度较大的特点,

这一地质条件支持了地下水的通畅径流。地下水主要的补给方式为上游侧向入渗和大气降水入渗,这种补给模式对于确定渠道设计中的水力计算参数提供了依据。水文地质条件表明,工程区内的水流具有较大的水力梯度,导致高流速和潜在的冲刷问题。地下水矿化度和水化学类型的知识也对水流动力学分析具有指导意义。新疆大西沟灌区地下水的矿化度较低,pH值适中,指示水质偏向中性至微碱性,这有利于减少渠道衬砌材料的化学腐蚀,提高渠道的耐久性。然而,渠道流速较大的情况下,水流对渠道底部和边坡的物理冲刷作用不容忽视。

1.2 渠道中的水流流态

大西沟现状的水流特性揭示了渠道中存在的流态问题。原设计的引水流量和现有的渠道容量出现了不匹配,导致渠道中的水流动力条件远非理想。特别是总干渠纵坡在2%左右,原设计

的引水流量 $9\text{m}^3/\text{s}$ 已造成渠道的冲刷破坏,这表明渠道的流态可能是洪流,即流速超过了渠床材料的临界抗冲刷能力,导致了渠道结构的破坏。引水渠道由于其地势条件和设计原则,流态多变,有必要对此进行细致分析以确保改建后渠道的稳定性和安全性。为了减轻冲刷破坏并提高灌溉效率,应当考虑到渠道的形状和结构设计,以调节水流速度和流量,避免产生剧烈的水流波动。例如,渠道断面的优化可以通过增加流体的湍流程度来降低冲刷力,同时也要保证足够的流量传输能力以满足灌区的需求。

1.3 渠道断面形状对水流的影响

以新疆大西沟总干渠为例,因渠道纵坡度大,导致水流速度较大,虽然输水效率较高,但同时也产生严重的冲刷破坏问题,特别是渠道中曲线部位,水流在离心力作用下会给渠道外边坡造成很大水压力而加剧侧壁磨损。具体地说,在断面形状上,如果渠道断面是矩形或者梯形,则深度较大可减小水流单位能量以减小底部及侧边冲刷。但由于新疆这一区域渠道多为浆砌石构造,这类构造在水流的作用下很容易出现松散破坏。较规则矩形断面虽易于施工与养护,但是高流速时抗冲击力弱,容易发生侵蚀。相比较而言,梯形或者拱形断面更能分散水流冲击和降低水流直接作用于渠道边坡,使冲刷破坏得到一定的抵御。为了解决高流速导致的各种问题,渠道设计必须全面地考虑到断面形态与流速之间的相互关系,并通过合适的渠道设计方案,例如选择合适的梯形断面和增大曲率半径来进行优化,在降低水力损失和提高输水效率的前提下,有效减轻水流冲刷渠道的压力。

1.4 渠道边界条件与水流关系

渠道的各种边界条件,如其材质、构造和表面粗糙度等,都对水流行为产生了直接的作用。大西沟总干渠内边界条件种类较多,既有新建的全段现浇砼板,也有老化的浆砌石结构等,这几种不同边界条件均显著地影响着水流阻力的大小及流向。现浇砼板表面更光滑,粗糙度更小,水流阻力更小,使流速更大,流量更大,但也存在渠底磨损严重的问题。相应地,陈旧浆砌石渠道也因材料老化、结构破坏等原因而表面粗糙度加大,加大水流能耗,降低了渠道流速,但也易造成水流紊流、整体性差而增加后期渠道修复困难。另外渠道边界处结构完整性对水流状态有重要影响。大西沟总干渠上,如果渠道边界由于年久失修而发生松脱或断裂,就会造成水流通过渠道边界而造成渗漏及渠道的损坏。所以渠道边界是否稳定是确保水流能否顺利传输的关键。

2 灌区改造中渠道优化设计方法

2.1 计算流体力学(CFD)在渠道设计中的应用

以新疆大西沟灌区改造为背景,对渠道进行优化设计,是水资源合理配置、灌溉效率提升的关键所在。计算流体力学作为一种高效的仿真工具,在渠道设计领域的运用为渠道优化工作提供了坚实的科学支撑。运用CFD技术工程师们可以对渠道内水流流动现象进行模拟,其中包括流速分布,水头损失和渠道内湍

流特性。根据设计原则,采用CFD模拟能够保证渠道设计满足输水安全,防止冲刷与淤积等要求。对不同设计方案进行仿真,可预测出各种方案的水力表现情况,并对纵断面进行优化设计,从而确保水面衔接顺畅,水利条件优良。如综合考虑地形特点、地层岩性等因素后,CFD有助于评价增加跌水、调整纵坡等因素对纵断面的影响,继而提出最为合理的方案。此外,通过CFD分析,我们可以针对不同的渠道节制分水闸类型(干渠,支渠,斗渠,农渠),细致计算水头损失。综合渠道长度、纵坡,以及分水闸的具体参数(如 Δh 值),可以精确推算出渠道水位,以满足自流灌溉的需求。

2.2 渠道断面优化设计

断面设计需综合考虑渠道糙率,边坡系数等。以糙率为例,采用精确计算并考虑座浆干砌卵石及现浇混凝土糙率取值可有效地预报渠道中流速分布及水头损失情况,进而优化输水效率。边坡系数选取则以尽可能少占土地资源为原则,并结合地勘资料、规范及各地建设经验决定干渠和支渠的内外边坡设计,以便于渠道的安全稳定及施工方便。例如,在这次的设计方案中,我们根据地勘资料及规范要求选择了内外边坡的1:1.5比例系数,这在合理降低征占地的情况下确保渠道边坡的稳固性与安全性。

2.3 渠道纵坡与横坡的优化设计

表1 新疆灌区改造项目渠道纵坡与横坡设计参数表

| 参数类别 | 描述 | 公式或取值 | 计算或确定结果 |
|--------|---------------------|------------------------------------|---------|
| 纵坡设计基准 | 起点高程 | 10m | - |
| | 渠尾要求水位 | 4m | - |
| | 渠道长度 | 2000m | - |
| | 设计纵坡 (i) | $(H_4 - A_0 - h_0 - \Delta h) / L$ | 0.3025% |
| | 参考点水深 (h_0) | 0.15m | - |
| | 水头损失 (Δh) | 0.2m | - |
| | 横坡设计基准 | 横坡稳定系数 | 1:1.5 |
| | 减少农田和林带占用 | - | 是 |
| | 施工便捷性 | - | 是 |
| 辅助结构设计 | 跌水结构需求 | 根据坡降情况适当设置跌水结构 | 是 |
| | 保障流速符合设计要求 | - | 是 |

注:纵坡(i)的计算公式为: $(i=LH_4-A_0-h_0-\Delta h)$,其中(H_4)是渠尾水位, (A_0)是起点高程, (h_0)是参考点水深, (Δh)是水头损失, (L)是渠道长度。

在新疆灌区改造项目中,渠道的纵坡与横坡的优化设计对于确保渠道的输水效率和防止水土流失至关重要。纵坡设计需满足渠道不冲、不淤流速的要求,而横坡设计则关系到渠道的安全稳定性和占地问题。依据设计资料,纵坡的优化首要考虑地形条件和水流特性。针对干渠实际坡降较大的情况,增设跌水结构是合理的选择,它有助于减少水流冲刷并确保流速符合设计要求。例如,若干渠长度为2000m,起点高程为10m,渠尾要求

的水位为4m, 则纵坡*i*可通过公式 $i = (H_4 - A_0 - h_0 - \Delta h) / L$ 计算得出。若取 Δh 为干渠的0.2m, 参考点水深 h_0 为0.15m, 则纵坡 $i = (4 - 10 - 0.15 - 0.2) / 2000 = -0.003025$, 即纵坡为0.3025%。横坡的设计则应结合渠道两岸的土地利用情况和防洪要求, 在考虑边坡稳定性的基础上, 通过横断面参数选择, 决定横坡系数为1:1.5, 这不仅减少了农田和林带的占用, 还能保证施工的便捷性。在具体的水利工程实践中, 该系数对于确保渠道结构的稳定和降低维护成本非常有效。如表1所示:

横坡系数表示渠道横断面的坡度, 通常用两个数字的比例表示, 例如1:1.5表示1单位的垂直高度对应1.5单位的水平距离。

2.4 渠道衬砌材料的选择与设计

渠道衬砌材料的选择直接影响到渠道的防渗效果和耐久性。在新疆地区, 基于当地的气候、水质、土壤条件和经济因素, 合理选取衬砌材料对于渠道优化设计至关重要。根据《灌溉与排水工程设计标准》(GB50288—2018), 糙率的合理选择对于确保渠道输水效率和减少水头损失至关重要。以大西沟干渠为例, 在流量一致、横断面一致、纵坡一致得情况下, 不同的衬砌材料因糙率不同, 对应的流速不同, 现浇砼面板糙率(0.015)最小, 流速最大, 冲刷破坏问题严重; 全断面浆砌石糙率(0.0275)较大, 但整体性较差, 冲刷破损严重。为保障渠道安全稳定, 需要选取一种既能增大糙率降低流速, 又能解决安全稳定运行的材料。根据对于不同衬砌材料输水效率、防渗效果、使用年限、施工、运行维护及建筑材料、造价等多方面比选并结合近年来新疆灌区改造的经验, 对于出山口处干渠, 在流速较大的情况时多采用座浆干砌卵石材料, 既增大了渠道糙率(0.024)、降低了流速, 也确保了建筑结构的稳固性和防止渗漏的能力, 还有效地控制

了制造材料的成本。

结合新疆地区冬季寒冷、夏季干旱炎热等自然情况, 及新疆干支渠的大纵坡问题, 渠道抗冲刷、耐磨性、防渗性等已成为衬砌材料选用时的重要考虑。所以在渠道衬砌设计中选择容易养护和耐久性好的材料, 通过对糙率及边坡系数的准确调节, 所设计衬砌结构不仅能够适应不同季节气候的苛刻环境, 而且能够在长期服役过程中保持其优异的水力性能。

3 结束语

通过本次研究深入分析和优化设计后, 使工程区渠道水流特性明显改善。合理运用设计方法使渠道更符合新疆地理及气候条件又促进水资源管理及利用效率。本研究在为新疆地区农业发展带来积极影响的同时, 对其他同类地区灌溉系统改造有一定参考价值。今后的重点是对长期运行效果进行监测和评价, 以保证对水资源进行持续不断地管理。

[参考文献]

- [1]李娜.灌区节水改造工程中的渠道防渗关键技术研究[J].工程技术研究,2023,8(02):219-221.
- [2]乔永梅,赵健.灌区节水改造中防渗渠道断面的优化设计[J].江苏建材,2022,(05):33-34+61.
- [3]郭宏亮.灌区提升改造渠道设计的几点心得[J].河北水利,2022,(02):47-48.
- [4]于健,李超,李伟帅,等.引黄扬水灌区渠道泥沙淤积特性及防治措施[M].中国水利水电出版社:2021,01.169.

作者简介:

赵建国(1990—),男,汉族,新疆人,本科,研究方向:农业水利工程。