

探讨现代化灌区节水改造中的渠道水力设计优化

魏昆仑

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司，新疆乌鲁木齐，830000；

摘要：现代化灌区建设是保障农业高效用水、推动乡村振兴与水资源可持续利用的核心环节，节水改造作为其中的关键内容，直接影响灌区水资源利用效率与灌溉保障能力。渠道作为灌区输水的主要载体，其水力设计的合理性是实现节水目标的基础。本文从现代化灌区节水改造对渠道水力设计的核心要求切入，系统分析渠道水力设计优化的关键技术维度，进而阐述水力设计优化的实施保障路径。研究旨在为现代化灌区节水改造提供科学的渠道水力设计思路，推动灌区从传统输水模式向高效、节水、稳定的现代化输水模式转型。

关键词：现代化灌区；节水改造；渠道水力设计；水力优化；水资源利用

DOI：10.69979/3060-8767.26.01.060

引言

现在，我国农业现代化发展越来越快，对水资源的需求也在增加。但同时，水资源不够用的问题越来越严重，已经影响到农业的发展。传统灌区在长期使用中，出现了很多问题：输水效率低，很多水在输送过程中浪费掉；灌溉工程老化损坏，没有及时维修，进一步增加了水资源浪费；而且管理方式比较粗放，满足不了精细灌溉的需求。现代化灌区节水改造，以“优先节水、高效用水”为主要目标。通过升级技术、改造工程，提高灌区调控水资源、合理分配水和高效利用水的能力。渠道是灌区里连接水源和农田的关键部分，它的水力特性好不好，直接关系到输水时浪费多少水、灌溉是否均匀，以及工程运行是否稳定。但是，传统的渠道水力设计，只注重满足基本的输水功能，没充分考虑节水效果、适应不同运行情况和保护生态环境。这样的设计，满足不了现代化灌区对高效用水和生态保护的需求。所以，深入研究现代化灌区节水改造中的渠道水力设计优化，对提高节水改造效果、保障农业用水安全、让水资源长期合理利用，都有重要意义。

1 现代化灌区节水改造对渠道水力设计的核心要求

现代化灌区节水改造工程比较复杂，对渠道水力设计的要求比传统设计更高。这些要求主要围绕高效节水、运行稳定、生态兼容三个方面，确保渠道既能高效用水，又能适应不同运行情况，还能保护生态环境。

1.1 高效节水：降低输水损失

高效节水是现代化灌区节水改造的首要目标，要求渠道水力设计通过优化水力参数和改变结构形式，最大限度减少输水时的水量损失。输水损失主要有两种：沿程水头损失和局部水头损失。沿程水头损失是水流在渠道里流动时，因为水流和渠道壁摩擦、水流内部质点相互作用产生的能量消耗，和渠道壁的粗糙程度、水流速度、渠道长度直接相关。局部水头损失是水流经过渠道转弯、断面变化、闸阀等地方时，水流运动轨迹改变，产生漩涡、撞击等扰动，从而造成的能量损耗。因此，渠道水力设计要在保证输水能力的前提下，采取这些措施实现高效节水：一是用粗糙程度低的衬砌材料，比如混凝土预制板、土工膜，减少水流和渠道壁的摩擦；二是优化渠道断面形状，比如用梯形、U形等水力最优的断面，降低水流运动中的能量消耗；三是合理布置渠道的转弯、变径等构件，优化转弯半径、渐变段长度等参数，减少水流扰动。通过这些方法，降低水流阻力，减少水头损失，提高渠道输水效率，实现“输水少浪费、灌溉高效用”的目标。

1.2 运行稳定：适配动态工况

现代化灌区的灌溉用水需求，受农作物生长、季节变化等因素影响，呈现出明显的季节性波动。灌溉高峰期，渠道要满负荷输水，保证农田用水；非灌溉期，渠道只需低流量输水，甚至偶尔输水，维持基本功能或满足生态用水。这种变化的运行情况，要求渠道能稳定运行，在不同流量下都不会出现泥沙淤积、渠道冲刷、水溢出或断流等问题。为达到这个要求，渠道水力设计要充分考虑流量的变化范围：一方面，合理确定渠道的设

计流速。流速不能太低，否则水流带不动泥沙，会造成淤积，影响输水；也不能太高，否则水流会冲刷渠道壁，导致衬砌损坏、边坡坍塌。另一方面，优化渠道的断面尺寸和纵坡。调整渠道的宽度、深度，合理设置纵坡坡度，保证渠道在不同流量下都能保持均匀水流，运行稳定；同时，提高渠道调节水流的能力，让渠道能根据灌区用水需求的变化，灵活调整输水量，适应动态的运行情况。

1.3 生态兼容：兼顾生态保护

现代化灌区建设，讲究“节水和生态一起发展”，不再像传统灌区那样只重视工程建设，忽视生态保护。这就要求渠道水力设计，在满足高效节水和运行稳定的同时，充分考虑生态保护，让渠道的工程功能和生态功能结合起来。具体来说，渠道水力设计要关注两个方面：一是避免渠道过度硬化衬砌，导致生态功能下降。传统渠道常用全断面混凝土硬化，虽然能减少输水损失，但会阻断渠道水和地下水的交流，破坏水生生物的生存环境，让渠道生态系统变得单一。所以，现代化渠道水力设计要给生态留空间，比如用透水的衬砌材料，或者做植被护坡、格宾石笼护坡等生态护坡，让水生植物能生长、水生动物能栖息，同时恢复渠道水和地下水的正常交换，维持区域水文循环。二是通过优化水力参数，保证渠道里有足够的最小生态流量。最小生态流量是维持渠道和周边生态系统正常运转，渠道里必须保持的最低水量。如果为了节水，过度减少渠道流量，可能导致部分河段干涸，破坏水生生物的家园，影响周边生态稳定。因此，渠道水力设计要通过计算，确定合理的最小生态流量，并在设计中保障这个流量，避免因节水而破坏生态环境，最终实现工程效益和生态效益的统一。

2 现代化灌区节水改造中渠道水力设计优化的关键技术维度

在现代化灌区节水改造里，渠道水力设计优化是提高水资源利用效率、保障工程正常运行的核心技术工作。这项优化要围绕渠道断面形态、水力参数、衬砌材料与结构三个关键技术方面进行，通过技术创新和精准设计，让渠道的水力性能、适应能力和生态兼容性都得到提升。

2.1 渠道断面形态优化

渠道断面的形状，直接影响水流的水力特性和输水效率。传统的梯形断面虽然施工简单，但水流阻力大、

占地面积广，存在不少缺点，需要结合灌区的实际情况进行优化。弧形底梯形断面是在梯形断面的基础上，把渠底改成弧形。这样能减少水流和渠底的接触面积，降低沿程水头损失，还能增强渠道的抗冲刷能力，适合用在土质渠道或中小型灌区。U 型断面是半圆形或半椭圆形的结构，水流在断面里分布均匀，水力半径大、粗糙程度小，输水效率高。而且这种断面结构整体性强，占地面积少，适合用在混凝土衬砌的小型灌区，或者田间的斗渠、农渠。复式断面是在普通断面旁边加了滩地。流量小时，水流在主槽里流动；流量大时，滩地也能参与输水，能适应灌区流量变化大的情况，适合用在大中型灌区的骨干渠道。优化断面形态时，要综合考虑灌区大小、流量变化、地形条件和施工成本，选择水力性能好、适应能力强的断面形式。

2.2 水力参数精准匹配

水力参数的准确搭配，是实现渠道高效节水和稳定运行的关键，要重点优化设计流量、设计流速和纵坡这三个关键参数。设计流量要根据灌区的灌溉面积、作物需水量、水源供水能力和未来的发展需求来确定。可以结合长期的水文资料分析和用水预测，避免设计流量太大，造成投资浪费和水流淤积；也不能太小，否则满足不了灌溉需求。设计流速要控制在“不冲不淤”的范围内。根据渠道衬砌材料（比如混凝土衬砌允许的最大流速比土质衬砌高）、水流含沙量等因素，通过水力计算公式算出合理的流速区间。保证水流能带走泥沙，防止淤积，又不会冲刷渠道衬砌或边坡。渠道纵坡要和地形坡度相适应，同时满足水流均匀流动的条件。通过水力计算，让纵坡和设计流量、设计流速相匹配，避免纵坡太大导致流速超标，或者纵坡太小导致输水能力不够。

2.3 衬砌材料与结构革新

渠道衬砌是减少渗漏损失、提高输水效率的关键措施，选择衬砌材料和结构时，要兼顾节水效果、耐用性和生态兼容性。在材料选择上，不能只局限于传统的混凝土，要推广使用新型的低糙率、高透水、生态友好的材料。比如高分子复合土工膜（像 HDPE 土工膜），防渗效果好，适合用在渗漏严重的土质渠道；透水混凝土衬砌既能防渗又能透水，能实现渠道水和地下水的交换，适合对生态要求高的灌区；植被混凝土衬砌结合了混凝土的强度和植被的生态功能，既能防止渠道冲刷，又能

改善周边生态环境,适合用在对边坡稳定性要求高的渠道。在结构设计上,可以采用模块化的衬砌结构,方便施工和后期维修。对于大型渠道,在衬砌层下面设置排水层,防止地下水顶起衬砌,造成损坏。同时,施工时要做好接缝处理,用柔性密封材料填充接缝,防止因为温度变化或地基沉降导致接缝渗漏。

3 现代化灌区节水改造中渠道水力设计优化的实施保障路径

要让现代化灌区节水改造里的渠道水力设计优化落地见效,需要一套完整的实施保障办法,覆盖“勘察-设计-施工-评估”全流程,确保设计方案科学、可行、有效,推动节水改造工程高质量开展。

3.1 前期勘察: 夯实设计基础数据

准确的基础数据是水力设计优化的前提,必须做好全面的前期勘察。水文水资源勘察要收集灌区水源的径流、降水、蒸发和地下水变化数据,分析水资源总量和分布特点,为确定设计流量提供依据;地形地质勘察要测绘渠道沿线地形,查明土壤类型、地基承重能力、地下水位深度等,给渠道选线、断面设计和衬砌结构设计提供支持;灌区用水调查要摸清灌溉面积、作物种植结构、灌溉方式和用水需求变化,明确不同时间、不同区域的输水要求;同时,检测评估现有渠道,掌握其水力特性、渗漏情况和运行问题,为改造设计提供参考,让设计方案符合灌区实际。

3.2 技术融合: 引入数字化设计手段

数字化技术能让渠道水力设计更精准高效,要把传统水力计算和现代数字化技术结合起来。通过 BIM 技术搭建渠道三维模型,整合勘察、设计和施工信息,实现设计可视化和多方协同,及时发现设计问题;引入 GIS 技术,把渠道设计和灌区地形、水文、土地利用等数据叠加分析,优化渠道线路,减少对周边环境的影响,提升设计科学性。

3.3 过程管控: 强化设计与施工衔接

设计方案要靠严格的过程管控才能落地,需加强设计和施工的配合。设计阶段,组织设计、施工、监理和灌区管理部门开展设计交底,明确水力设计的核心要求、技术难点和质量标准,听取施工方意见,调整不合理设计;施工阶段,建立“设计-监理-施工”三方联动机制,

设计人员定期到现场指导,解决施工中的设计问题,比如调整地基处理方式、验证衬砌材料适配性;同时,加强施工质量检测,重点检查渠道断面尺寸、衬砌厚度、平整度、接缝密封等和水力性能相关的指标,确保施工符合设计要求。

3.4 后期评估: 建立效果反馈机制

渠道水力设计优化效果需要后期评估检验,形成“设计-施工-评估-优化”的闭环管理。渠道投入运行后,定期监测输水效率(测量输水损失)、运行稳定性(观察不同流量下的水流、淤积和冲刷情况)和生态影响(监测水质、周边植被生长),对比实际效果和设计目标的差异;结合灌区用水反馈,分析水力设计是否满足灌溉需求,找出需要改进的问题;根据评估结果总结经验,优化后续设计方案,不断提高现代化灌区渠道水力设计水平。这些保障路径环环相扣,缺一不可。只有全程严格落实,才能让渠道水力设计优化真正发挥作用,助力现代化灌区实现节水高效目标。

4 结语

现代化灌区节水改造中渠道水力设计优化,是实现水资源高效利用、工程稳定运行与生态保护协同的关键抓手。其核心在于以节水目标为导向,通过断面形态优化、水力参数匹配与衬砌技术革新,提升渠道水力性能;同时依托前期勘察、数字化技术、过程管控与后期评估构建完善的实施保障体系,确保设计优化落地见效。未来,随着智慧水利技术的发展,需进一步推动渠道水力设计与实时监测、智能调控技术结合,实现渠道水力特性的动态优化与精准调控,为现代化灌区建设提供更坚实的技术支撑,助力农业节水减排与水资源可持续利用。

参考文献

- [1] 张伟. 灌区农业水资源管理中的节水灌溉策略探究[J]. 农家科技, 2024(7): 193-195.
- [2] 王琳. 引黄灌区农田水利灌溉设计与节水策略[J]. 装饰装修天地, 2023(7): 121-123.
- [3] 李倩. 小型灌区改造中节水灌溉施工方法的创新[J]. 水电水利, 2022, 5(12): 67-69.
- [4] 云跃峰, 步怀亮. 灌区续建配套与现代化改造节水评价预测分析[J]. 内蒙古水利, 2024(02): 89-91.
- [5] 王茜. 浑蒲灌区续建配套与现代化节水改造工程效益评价[J]. 黑龙江水利科技, 2023, 51(03): 168-171