

唐徕渠渠道清淤技术与淤积防治长效机制研究

马 琦

(宁夏唐徕渠管理处, 宁夏 银川 750000)

摘要 唐徕渠作为宁夏地区重要的灌溉渠道, 承担着为周边农田提供稳定水源的关键任务。然而, 随着使用年限的增加, 渠道内部逐渐出现淤积现象, 不仅影响了灌溉效率, 还对农业生产造成了一定程度的制约。因此, 开展唐徕渠渠道清淤技术与淤积防治长效机制的研究, 对于保障渠道畅通、提高灌溉效益、促进农业可持续发展具有重要意义。本文通过系统分析唐徕渠渠道的淤积原因及现状, 探讨有效的清淤技术和淤积防治策略, 以期为构建长效机制提供参考。

关键词 渠道; 唐徕渠; 渠道清淤技术; 渠道淤积防治

中图分类号:S27

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.31.039

0 引言

唐徕渠, 这条承载着宁夏地区农业命脉的重要灌溉渠道, 自其建成以来, 便在当地农业生产中发挥着举足轻重的作用。它如同一条蜿蜒的巨龙, 穿梭在广袤的田野之间, 为周边的农田输送着宝贵的水资源。然而, 随着时间的推移, 这条巨龙的身体内部却逐渐出现了“淤积”的顽疾。渠道内的泥沙、杂物等不断沉积, 导致渠道过水能力下降, 灌溉效率大打折扣。这不仅使得农田得不到及时、充足的灌溉, 还对当地的农业生产造成了严重的制约。面对这一严峻形势, 开展唐徕渠渠道清淤技术与淤积防治长效机制的研究尤为迫切和必要。

1 唐徕渠渠道淤积现状及影响

1.1 唐徕渠渠道淤积现状

唐徕渠主要引黄河水进行灌溉, 而黄河水含沙量较高, 多年平均含沙量达 35 kg/m^3 , 在渠道输水过程中, 大量泥沙会逐渐沉积。根据实地监测数据, 唐徕渠部分渠段年淤积厚度可达 $0.3 \sim 0.5 \text{ m}$, 部分淤积严重区域甚至超过 0.8 m 。从淤积分布来看, 渠道进口段、弯道段以及渠底坡度较小的渠段淤积更为严重。以唐徕渠某典型弯道段为例, 监测结果显示该段淤积物中粒径大于 0.05 mm 的粗颗粒泥沙占比达 40%, 粒径在 $0.005 \sim 0.05 \text{ mm}$ 之间的中颗粒泥沙占比为 45%, 粒径小于 0.005 mm 的细颗粒泥沙占比仅为 15%, 这表明黄河水中的粗颗粒泥沙更容易在渠道内沉积。

1.2 淤积对唐徕渠渠道功能的影响

淤积会显著降低唐徕渠渠道的过水能力。根据明渠均匀流公式:

$$Q = A \times C \times \sqrt{R \times i} \quad (1)$$

公式(1)中, Q 为渠道过流量, A 为渠道过水断面面积, C 为谢才系数, R 为水力半径, i 为渠道底坡。

当渠道发生淤积时, 渠底高程升高, 过水断面面积 A 减小, 同时淤积物会使渠道壁面粗糙程度增加, 谢才系数 C 减小, 水力半径 R 也随之降低, 最终导致渠道过流量 Q 大幅下降。

经计算, 当唐徕渠某渠段淤积厚度达到 0.5 m 时, 其过流量较无淤积状态下降约 30%, 严重影响了渠道的输水效率。同时, 淤积还会增加渠道的输水能耗。由于淤积导致渠道过水断面减小, 水流速度增大, 水流与渠道壁面及淤积物之间的摩擦阻力增加, 使得水泵等输水设备需要消耗更多的能量才能保证正常的输水流量。根据相关数据统计, 淤积严重的渠段输水能耗较淤积较轻的渠段增加 $20\% \sim 25\%$, 大大提高了灌溉成本。

2 唐徕渠渠道淤积原因分析

2.1 黄河水源含沙量大的自然因素

唐徕渠主要依赖黄河水进行灌溉, 而黄河作为世界上含沙量最高的河流之一, 多年平均含沙量达 35 kg/m^3 , 这是渠道淤积的核心自然诱因。在输水过程中, 黄河水中的泥沙受重力作用不断沉降, 尤其是粒径大于 0.05 mm 的粗颗粒泥沙, 因沉降速度快, 极易在渠道内沉积。同时, 宁夏地区降水季节分布不均, 汛期时黄河水量增大、流速加快, 会携带更多泥沙进入渠道; 非汛期水量减少、流速减缓, 泥沙沉降速度进一步加快, 导致渠道内淤积物持续累积, 尤其在渠道进口段和底坡较小的渠段, 淤积现象更为明显。

2.2 人类生产活动的人为影响

周边人类生产活动是加剧唐徕渠淤积的重要人为因素。一方面，在农业生产中，周边农田的化肥、农药残留以及农作物秸秆等，在降雨或灌溉时随地表径流进入渠道，与泥沙混合形成淤积物，不仅增加淤积厚度，还污染渠道水体；另一方面，部分沿线居民存在向渠道内倾倒生活垃圾、建筑垃圾的行为，这些废弃物难以降解，长期堆积在渠道内，既占用过水断面，又阻碍水流运动，加速泥沙沉积。此外，渠道周边的矿产开采活动产生的矿渣，若防护措施不到位，也会随雨水冲入渠道，进一步加重淤积程度。

2.3 渠道自身结构的设计缺陷

渠道自身结构的设计缺陷也会导致淤积问题难以缓解。

一是部分渠段的底坡设计不合理，坡度偏小，导致水流速度缓慢，泥沙无法被有效带走，容易在渠底沉积。

二是渠道弯道段的曲率半径设计不当，水流在弯道处产生离心力，外侧水位升高、内侧水位降低，内侧水流速度减慢，泥沙在弯道内侧大量淤积。

三是渠道沿线的节制闸、分水闸等建筑物布局不合理，水流经过这些建筑物时流速发生突变，容易形成漩涡，导致泥沙在建筑物附近沉积，长期下来不仅影响建筑物正常运行，还会加重渠道整体淤积情况。同时，渠道护岸工程老化破损，也会导致岸边土壤坍塌进入渠道，增加淤积物来源。

3 唐徕渠道清淤技术研究

3.1 机械清淤技术

机械清淤是目前唐徕渠渠道清淤中应用最为广泛的技术之一，主要包括挖掘机清淤、清淤船清淤和水力冲挖清淤等方式。挖掘机清淤适用于渠道断面较大、淤积物较厚且干燥的渠段。该技术具有清淤效率高、操作灵活等优点，一台中型挖掘机每天可清淤 $300 \sim 500 \text{ m}^3$ 。但挖掘机清淤需要将渠道内的水排空，

表 1 不同机械清淤技术的优缺点对比

	挖掘机清淤	清淤船清淤	水力冲挖清淤
适用渠段	断面大、淤积厚且干燥	水深大、淤积为淤泥细沙	各种类型渠段
清淤效率 ($\text{m}^3/\text{天}$)	$300 \sim 500$	$500 \sim 800$	$200 \sim 400$
对灌溉影响	大	小	较小
清淤成本 ($\text{元}/\text{m}^3$)	$15 \sim 20$	$20 \sim 25$	$10 \sim 15$
优点	效率高、操作灵活	不排空水、效率高	设备简单、成本低
缺点	需排空水、破坏边坡	受宽度水深限制	效率相对较低

对灌溉影响较大，且清淤过程中容易对渠道边坡造成破坏。为减少对渠道边坡的破坏，可采用挖掘机配合长臂挖掘机进行清淤，长臂挖掘机可在渠道岸边作业，避免直接碾压渠道边坡。清淤船清淤适用于渠道水深较大、淤积物为淤泥和细沙的渠段。清淤船通过船上的挖泥设备将水下的淤积物挖起，经过筛选和分离后，将泥沙输送到指定地点。清淤船清淤不需要排空渠道内的水，对灌溉影响较小，且清淤效率较高，一艘中型清淤船每天可清淤 $500 \sim 800 \text{ m}^3$ 。但清淤船清淤受渠道宽度和水深限制，对于狭窄、水浅的渠段无法使用。水力冲挖清淤是利用高压水枪将渠道内的淤积物冲散，形成泥浆，然后通过泥浆泵将泥浆输送到指定的沉沙池或堆放场地。该技术具有设备简单、操作方便、清淤成本低等优点，适用于各种类型的渠道清淤。水力冲挖清淤的清淤效率与水枪压力、流量以及淤积物性质有关，一般情况下，一套水力冲挖设备每天可清淤 $200 \sim 400 \text{ m}^3$ 。为提高清淤效率，可采用多套水力冲挖设备同时作业。不同机械清淤技术的优缺点，对比如表 1 所示。

3.2 生物清淤技术

生物清淤技术是利用微生物、植物等生物的生命活动，将渠道内的有机淤积物分解转化为无害物质，从而达到清淤的目的。该技术具有环保、无污染、成本低等优点，适用于淤积物中有机物质含量较高的渠段。在唐徕渠渠道生物清淤中，可投放具有分解有机物质能力的微生物制剂，如芽孢杆菌、乳酸菌等。这些微生物能够分泌多种酶，将淤积物中的蛋白质、脂肪、碳水化合物等有机物质分解为二氧化碳、水和无机盐等无害物质，同时微生物的生长繁殖还能改善渠道水体的生态环境，提高水体自净能力。通过实验研究发现，在投放微生物制剂后的 30 天内，渠道内有机淤积物的分解率可达 $40\% \sim 50\%$ ，水体透明度提高 $20\% \sim 30\%$ 。此外，还可在渠道岸边和浅水区种植水生植物，如芦苇、菖蒲、荷花等。水生植物的根系能够吸附水中的泥沙和有机物质，同时植物的光合作用能够增加水体中的

溶解氧含量，促进微生物的生长繁殖，加速有机淤积物的分解。水生植物还能美化渠道环境，改善渠道生态景观。但生物清淤技术清淤周期较长，一般需要3~6个月才能达到较好的清淤效果，且对淤积物中无机泥沙的清淤效果较差，因此通常需要与其他清淤技术配合使用。

3.3 新型清淤技术

随着科技的不断发展，一些新型清淤技术逐渐应用于渠道清淤领域，为唐徕渠渠道清淤提供了新的思路和方法。

一是超声波清淤技术，该技术利用超声波的振动作用，将渠道内的淤积物打散、松动，使其更容易被水流携带或被清淤设备清除。超声波清淤技术具有无噪声、无污染、对渠道结构无损伤等优点，适用于各种类型的渠道清淤。通过实验测试，超声波清淤技术对淤积物的松动效率可达80%以上，能够显著提高后续清淤设备的清淤效率^[1]。

二是气动清淤技术，该技术通过向渠道内通入压缩空气，产生气泡和水流扰动，将淤积物掀起并随水流排出渠道。气动清淤技术具有设备简单、操作方便、清淤效率高、成本低等优点，适用于水深较浅、淤积物较松散的渠段^[2]。经现场试验，气动清淤技术的清淤效率可达500~1 000 m³/天，清淤成本仅为传统机械清淤技术的50%~70%。

三是智能清淤技术，该技术结合了物联网、大数据、人工智能等先进技术，通过在渠道内安装传感器、摄像头等设备，实时监测渠道淤积情况，然后根据监测数据制定最优的清淤方案，控制清淤设备进行精准清淤。智能清淤技术能够实现清淤过程的自动化、智能化，提高清淤效率和质量，减少人工成本和劳动强度。目前，智能清淤技术在唐徕渠部分试点渠段进行应用，取得了良好的效果，清淤效率较传统清淤技术提高30%~50%，清淤成本降低20%~30%。

4 唐徕渠渠道淤积防治长效机制构建

4.1 建立完善的监测预警机制

构建淤积防治长效机制，首先要建立完善的监测预警机制。在渠道沿线合理布设监测站点，每个站点安装水位计、流速仪、泥沙含量传感器等设备，实时采集渠道水位、水流速度、泥沙含量等数据，同时利用无人机航拍技术，定期对渠道全线淤积情况进行航拍监测，获取淤积厚度、淤积范围等信息。将监测数据实时传输至数据管理平台，通过大数据分析技术，建立淤积预测模型，根据泥沙沉积规律和水流变化情况，预测未来一段时间内渠道淤积趋势。当监测数据

超过预警阈值时，系统自动发出预警信号，提醒管理人员及时采取清淤或防护措施，避免淤积问题进一步恶化^[3]。

4.2 加强渠道工程建设与改造

加强渠道工程建设与改造是从根本上减少淤积的关键举措。针对渠道自身结构缺陷，对底坡偏小的渠段进行改造，适当增大底坡，提高水流速度，增强水流挟沙能力；对弯道段进行优化，合理调整曲率半径，减少水流离心力对泥沙沉积的影响，同时在弯道内侧增设导流设施，引导水流均匀流动，降低淤积风险。对老化破损的护岸工程进行修复和加固，采用混凝土、浆砌石等材料砌筑护岸，防止岸边土壤坍塌进入渠道。此外，在渠道进口处建设沉沙池，利用沉沙池的沉淀作用，对黄河水进行泥沙分离，减少进入渠道的泥沙量；在渠道沿线合理增设节制闸和分水闸，优化水流调节能力，保证渠道内水流速度稳定，避免因流速突变导致泥沙沉积^[4-5]。

5 结束语

唐徕渠渠道淤积问题严重，不仅影响了渠道的输水效率，增加了输水能耗和灌溉成本，还对周边生态环境和农业生产造成了不利影响。通过对唐徕渠渠道淤积现状、原因的深入分析，明确自然因素、人为影响以及渠道自身结构缺陷是导致淤积的主要原因。在清淤技术研究方面，机械清淤技术成熟且应用广泛，生物清淤技术环保但清淤周期长，新型清淤技术如超声波清淤、气动清淤和智能清淤则为渠道清淤提供了新的选择和思路。为构建唐徕渠渠道淤积防治长效机制，提出建立完善的监测预警机制、加强渠道工程建设与改造以及健全多元协同的管理机制等措施。这些措施的实施将有助于减少渠道淤积，提高渠道输水能力，保障农业灌溉和生态环境安全。

参考文献：

- [1] 宋政昌,高玺.长江流域水库清淤及淤积物利用研究[J].人民长江,2024,55(S2):38-41.
- [2] 王雪昆,李炎,张泽颖.水利工程渠道运行管理与维护的有效对策[J].水上安全,2024(24):49-51.
- [3] 钟佳蕊.城市露天、生活供水渠道清淤及淤泥处理技术探究[J].工程建设与设计,2024(09):147-149.
- [4] 桑淑娟,陶东,曹亚宁,等.唐徕渠灌区洪旱灾害特征与风险预警体系研究[J].甘肃水利水电技术,2024,60(09):16-21.
- [5] 薛里图,陶东,曹亚宁.唐徕渠智慧水利建设的实践与思考[C]//中国水利学会.2022中国水利学术大会论文集(第四分册).宁夏唐徕渠管理处,2022.