文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

渠道倒虹吸进口段淤积问题及优化处理路径

李京蔚
黑龙江农垦勘测设计研究院有限公司
DOI:10.32629/hwr.v10i9.7115

[摘　要] 渠道倒虹吸进口段是明渠水流向有压管流转换的关键部位,断面收缩、来流含沙、低流量运行及拦污设施共同作用时,泥沙易在进口前缓流区、渐变段、栅前和管口底部形成局部沉积,并改变进口水头损失与过流条件。围绕灌区倒虹吸常见工况,本文以进口前衔接渠段至下降管起始段为研究范围,从局部水流结构、颗粒沉降条件及运行边界辨析四类淤积机理,并分别提出整治路径,明确沉沙、渐变、过栅及管内防淤参数的适用条件,为既有工程局部改造和运行维护提供依据。
[关键词] 渠道倒虹吸；进口段；泥沙淤积；水流流态；优化处理
中图分类号：TV682　文献标识码：A

Siltation Issues in the Inlet Section of Channel Siphons and Optimization Strategies

Jingwei Li
Heilongjiang Agricultural Reclamation Survey and Design Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] The inlet section of a channel siphon is a critical point where flow transitions from an open channel to a pressurized pipe. When cross-sectional contraction, sediment-laden inflow, low-flow operation, and debris-trapping structures interact, sediment tends to accumulate locally in the slow-flow zone before the inlet, the transition section, the area in front of the screen, and the bottom of the pipe opening, thereby altering the head loss and flow conditions at the inlet. Focusing on common operating conditions of siphons in irrigation districts, this paper examines the section from the connecting channel upstream of the inlet to the beginning of the downpipe. By analyzing local flow structures, particle settling conditions, and operational boundaries, the study identifies four types of siltation mechanisms and proposes corresponding remediation strategies. It clarifies the applicable conditions for anti-siltation parameters in the sedimentation zone, transition zone, grating zone, and inside the pipe, thereby providing a basis for localized modifications and operational maintenance of existing projects.
[Key words] channel siphon; inlet section; sediment deposition; flow patterns; optimization

倒虹吸是渠道跨越河沟、道路、洼地等障碍时常用的输水建筑物,进口段既承担明渠流向压力流的衔接,又直接承受渠道来沙、漂浮杂物及运行流量变化的冲击。运行中,进口前缓流、渐变段流态分离、栅前阻水和管口底层输沙能力不足均可能形成淤积。研究对象限定于进口前稳定渠段、渐变段、控制与拦污区域及管口至下降段起始部位,按“淤积位置—形成机理—控制参数—处理方式”的逻辑建立对应关系,避免将不同水力成因的沉积现象采用同一清淤方法处理。

1 渠道倒虹吸进口段概述

渠道倒虹吸进口段位于上游明渠与倒虹吸有压管道之间,是水流由明渠流逐步转为压力流的衔接区域。典型工程根据运行需要布置进口渐变段、控制或检修闸槽、拦污栅、进水口及连接段,多泥沙渠道还可根据水沙条件在压力前池或其上游设置沉沙、冲沙设施[1]。其典型构造及本文讨论的易淤部位见图1。

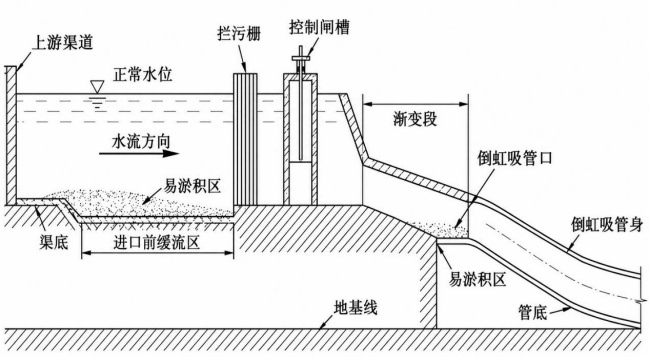


图1 常规渠道倒虹吸进口段结构及易淤部位示意图

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

2 渠道倒虹吸进口段淤积问题分析

2.1进口前缓流区泥沙沉积

倒虹吸进口上游进入渐变段前,常因局部扩宽、底坡减缓、闸前壅水或实际输水流量低于设计工况形成缓流区。含沙水流进入该区域后,断面平均流速降低,较粗颗粒挟沙能力不足并向渠底沉降,细颗粒随后在已有沉积层表面继续附着。轮灌间歇、小流量输水或汛后高含沙来水阶段,这种沉积更易累积。沉积体初期沿渠底薄层分布,增厚后向两侧和渐变段起点扩展,使原有渠底线局部抬高。渠底抬高后,主流会向相对低洼或阻力较小的一侧偏移,沉积体尾部形成新的低速带,后续来沙继续滞留。

2.2渐变段不良流态诱发局部淤积

进口渐变段承担明渠断面向倒虹吸进水口断面的连续收缩,当边墙收缩过急、底板存在折变、两侧线形不对称或维修后形成局部错台时,水流在短距离内产生横向速度差。主流集中于一侧后,另一侧边墙、墙趾和底板低洼处容易形成回流或低速区,泥沙首先在这些位置沉降。小流量运行时,渐变段过水面积相对偏大,原有平顺流线也可能分离,使落淤范围扩大[2]。此类淤积通常呈条带状、楔形或斑块状分布,与进口前缓流区的面状沉积存在明显差异。沉积体形成后继续挤压主流,高速区进一步集中,横向速度差随之增大,落淤位置因而趋于固定。

2.3拦污设施区域泥沙杂物复合淤堵

倒虹吸进口设置拦污栅后,树枝、水草、塑料薄膜及其他漂浮杂物会在栅面和栅脚截留,泥沙进入杂物孔隙后又被滞留,逐步形成由杂物骨架和泥沙填充物组成的复合淤堵层。栅面局部堵塞使有效过水面积减小,水流被迫从未堵部位集中通过,栅前流场由相对均匀转为明显不均,靠近渠底和边侧的低速区更容易继续捕集砂粒。停水后残留杂物下沉,再次通水时与底部淤沙结合,使栅脚沉积压实。随着堵塞程度增加,栅前后水位差扩大,未堵栅孔过栅速度升高,而栅脚低速区仍可能继续扩展。因此,该区域并非单纯泥沙沉降,而是杂物截留改变有效过水面积后形成的较为稳定复合型淤堵。

2.4倒虹吸管口底部泥沙集中淤积

倒虹吸管口是明渠向有压管流转换的最终部位,流线短距离内向管内集中,垂向速度分布随之变化。靠近底层运动的砂粒受重力沉降影响,容易沿底板向管口推进,当管口下缘与进口底板存在高程差、局部凹槽或底部流速不足时,泥沙会在管口前缘和管内起始段集中堆积。小流量运行时,管内流速下降,进入管口的颗粒难以及时输送,底层滞留明显。多孔或多管倒虹吸若分流不均,长期承担较小流量的管孔还会形成偏淤[3]。

3 渠道倒虹吸进口段淤积问题的优化处理路径

3.1整治进口前缓流沉积区

进口前缓流区的处理应围绕来沙判别、原渠底恢复、必要的沉沙配置及清排能力展开,避免将机械清淤作为长期唯一手段。现场应复测沉积范围、渠底高程和代表性来沙粒径,区分整体抬床与局部积沙,并将清淤边界衔接到稳定原渠底;对局部扩宽、底坡突缓或衬砌修补形成的低洼带,应按原轴线修顺边墙和底板,回补超挖位置并处理新旧衔接突变。多泥沙渠道经水沙计算确认确需增设沉沙池时,应依据目标沉降粒径、设计流量和工作水深核定池宽与有效长度,不能将沉沙池参数直接套用于普通进口前池；SL/T 269—2019规定的工作段平均流速属于初拟设计参数,工作段设计长度宜取泥沙沉降计算长度的1.2倍,相关取值见表1。采用定期水力冲洗式沉沙池时,初拟池厢单宽冲洗流量可取0.4～0.8 ㎡/(s·m),工作段冲沙流速一般不小于2.5 m/s,同时需校核可利用水头、排沙出口和下游受纳条件；不具备水力冲洗条件时,应预留吸泥、抓斗等机械清淤作业条件,不能形成只能沉沙而不能排沙的空间。运行中宜在高含沙过程后、小流量阶段及停水检修前后复测固定断面,设置沉沙设施的工程同步记录进出口流量、含沙量和代表粒径。冲排结束后检查栅前与管口沉积变化,并将本次排沙持续时间、冲洗流量及清除淤积量纳入完整的运行记录。

表1 增设定期冲洗式沉沙池时的主要水力控制参数

控制项目	初拟条件	参数范围或取值	使用边界
工作段平均流速	设计沉降粒径 0.05～0.10 mm	0.05~0.15 m/s	结合沉速与水深复核
工作段平均流速	设计沉降粒径 0.25 mm	0.25~0.55 m/s	不用于更细粒径控制
工作段平均流速	设计沉降粒径 0.35 mm	0.40~0.80 m/s	同步核算沉降长度
工作段设计长度	泥沙沉降计算完成后	计算长度的 1.2 倍	用于设计长度修正
定期水力冲洗	具备冲洗水头及排沙出口	冲沙流速一般≥2.5 m/s	条件不足时机械清淤

注：表中流速为SL/T 269—2019用于沉沙池初拟设计的参数

3.2校正渐变段水流收缩条件

渐变段局部淤积的处理重点是恢复边界连续性和合理收缩过程,使主流进入管口前保持较均匀的横向分布。现场应恢复渐变段起讫断面、中心线及底板设计高程,逐段检查边墙外鼓、维修补块、沉降错台和墙趾突起,并在始端、中部、末端复测左右水深与流速;若单侧落淤与闸门开启差异或上游偏流同步出现,应先排除来流边界影响,避免把运行问题误判为几何缺陷。对收缩过急或两侧线形不对称的部位,可通过延长有效过渡、削除突入水流的构件和修顺底板折点,使断面沿程连续变化;进口渐变段长度宜按上游渠道设计水深的3～5倍复核,但既有工程是否调整仍需结合场地、结构及可利用水头确定。水力校核应覆盖最小、常用和设计流量工况,管内初拟平均流速宜取1.5～2.5 m/s,最小运行流速应大于相应不淤允许流速；同时核对渐变段水面衔接和局部水头损失,防止减淤改造挤占原有输水水头。对重要或来流边界复杂的倒虹吸,可利用三维数值计算识别速度偏斜、回流范围和局部损失,并用原型水位、流量或断面流速校核关键结果,必要时辅以水工模型[4]。

3.3建立拦污栅分级清污控制

拦污设施区的处理应把栅面挂污、栅脚积沙和过栅水力条件统一纳入控制,避免只清除上部漂浮物而保留底部压实淤层。现场应核对典型输水期树枝、水草、塑料物及粗颗粒泥沙的主

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

要尺度,再复核栅条间距、栅槽位置和栅脚与渠底衔接。倒虹吸进口设置拦污栅时可参照SL 285—2020复核过栅条件,该规范对引水工程进水口推荐平均过栅流速0.8～1.0 m/s,并允许经论证适当提高;计算时应采用栅孔实际净过水面积,不能以渠槽总面积替代有效面积。该范围属于进水口设计推荐值,不宜直接作为所有既有倒虹吸的清污启动阈值。人工耙捞、抓斗或机械清污应根据渠宽、栅高和杂物负荷选取,设备作业范围覆盖栅面底缘,清除物直接转运至渠外。具备自动清污条件时,可采用栅前后水位差与定时检查联合控制,差压启动值依据清洁栅水头损失、实际流量和试运行资料确定;高含杂时期同步记录栅前、栅后水位及流量,以同流量清洁栅状态建立基准线,并核查清污后过栅流速是否恢复至设计范围。栅脚应保证清淤设备可到达,停水后先移除大体积杂物,再松动板结泥层并同步吸排,不得把淤积物推入管口。

3.4强化管口底部排沙冲淤

管口底部集中淤积的处理应以沉积范围实测和不淤流速复核为基础,统筹管口清沙、多管运行调整及既有排空条件利用。停水后应在可靠隔水条件下检查管口下缘和下降段起始部位,对可到达区域采用测深、摄像或声呐判别沉积厚度、颗粒组成及延伸范围;松散砂层可用吸泥泵抽排,板结泥层宜分区低压水力松动后同步吸除,清理时不得将大量泥沙向管道深部推移,底板存在凹槽、错台或剥蚀时还应修整为连续轮廓。运行调整仍以管内防淤条件为边界,初拟平均流速宜为1.5～2.5 m/s,最小运行流速应大于按实际含沙量、粒径和沉降速度确定的不淤允许流速;多管倒虹吸在小流量阶段若全部管孔运行导致单管流速不足,可结合闸门和上下游水位减少同时启用管数,并记录各管运行时间,同时复核调整后的总水头损失和管口淹没条件[5]。对同一管口反复积沙的工程,可在结构安全和检修条件满足时利用既有放空管、检修孔或预留接口形成排沙通道,排沙口应对应稳定集沙部位并校核启闭及反压条件,不宜未经论证穿越承压结构增设孔口。物理模型与数值研究表明,特定试验条件下泥沙进入有压管道后上下游水位差增加0.43～2.27 cm、断面流速最大减小0.045 m/s,这些数值只能用于说明淤积引起的水力响应,不能转化为现场统一清淤阈值。处理后应在相近流量和水位条件下复测水位差、流速与底部影像,并核对各管实际分流比例。

4 结束语

渠道倒虹吸进口段四类淤积具有不同控制机制,进口前沉积主要受挟沙能力下降影响,渐变段淤积对应局部流态分离,栅前淤堵受杂物截留与泥沙共同作用,管口积沙则与底层输沙能力和分管运行有关。工程处理不能以统一清淤替代机理判别,宜以实测渠底、流量、水位差、来沙粒径及沉积位置为依据,并区分规范推荐值、计算值与模型数据的适用边界,使沉沙、整流、清污和排沙分别对应其主控因素。

[参考文献]

[1]郭瑞,林农,季文杰,等.平原河网区倒虹吸地涵内流特性及结构优化分析[J].节水灌溉,2026(8):95-99.

[2]徐海珏,罗一,刘军政,等.水流挟沙能力公式研究进展[J].中国农村水利水电,2026(8):51-59.

[3]葛均建,马山玉,李政鹏,等.大型输水渠道倒虹吸流态优化试验研究[J].中国农村水利水电,2025(9):77-84.

[4]赵恕轲,杨莉莉,周生,等.多级过滤沉沙池对高浓度细颗粒泥沙沉降效果的影响[J].节水灌溉,2025(5):34-38.

[5]白妍丽,许哲,杨宁,等.有压输水管道内泥沙淤积形态及水力特性研究[J].人民长江,2024,55(11):206-215.

作者简介：

李京蔚(1989--),男,汉族,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,水利水电高级工程师,研究方向：渠系建筑物。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.