

河道整治工程对局部河段水沙条件的影响探讨

张 帆

乌海市河湖与水旱灾害防御中心 内蒙古 乌海 016000

【摘 要】：龙羊峡、刘家峡水库群调度改变黄河内蒙古河段天然水沙过程，沿线丁坝、护岸等整治工程进一步引发汉道分流紊乱、流速不均、洲滩差异化冲淤、浅滩淤积碍航等失衡问题，成因包含断面束窄、滩槽泥沙交换阻断、人工节点控流、流域来沙衰减四类。以乌海段海勃湾枢纽及乌海湖淤积为典型案例，依托二维水沙模型，提出洲头布局优化、分段固滩、分区疏浚、动态护岸综合措施，可为黄河游荡—弯曲过渡河段水沙调控与长效治理提供工程参考。

【关键词】：黄河内蒙古段；水沙失衡；河道整治；河床演变；控导工程

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.015

黄河内蒙古巴彦高勒至头道拐兼具游荡、过渡、弯曲复合河道形态，是上游水沙调控关键区段。上游水库长期调控打破天然滩槽冲淤平衡，沿线控导、护岸工程固化河道边界，诱发分流异变、滩槽淤蚀分化等新问题。乌海段海勃湾水利枢纽淤积问题直观体现人工工程对水沙的干预效应。现有研究多单独分析水库水沙变化，缺少整治工程耦合作用下的系统治理方案。本文结合实测水文断面与乌海典型案例，剖析水沙失衡机理，构建适配本地的河道治理技术体系。

1 整治工程下水沙失衡表现

1.1 汉道分流比例发生突变

游荡型河段布设丁坝、顺坝后河道横向边界被刚性约束，天然状态下多汉道自由分流格局被打破，原有依据来水来沙自动分配流量的平衡体系丧失调节能力^[1]。巴彦高勒至三湖河口分布大面积沙洲衍生多条汉道，整治构筑物束窄主槽断面后主流持续向单一主汉聚拢，其余支汉长期处于低流量过流状态。汛期 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 以上大流量年均作用时长仅2.4天，缺少高水流动力冲刷的支汉河床持续累积细颗粒泥沙，汉道间流量分配比值逐年偏移，分流比例年际变幅超出天然河道调控阈值，不同汉道输沙能力同步出现差异化衰减，分流失衡状态持续传导至下游过渡河段河床演变过程，为同类型游荡型河道汉道整治分流调控研究提供实测演变规律支撑。

1.2 河道局部水流流速分布紊乱

水库群联合调度改变径流年内分配，汛期水量占比由建库前60%降至40%，河道长期以小流量为主。沿线整治构筑物改变天然岸线，打破断面均匀流速场。乌海段海勃湾枢纽流速紊乱问题典型，人工调水打乱天然水流规律，库区大范围缓流，坝后流速高低交错。龙羊峡、刘家峡持续下泄小流量，丁坝坝头、坝后回

流区流速偏低，弯道控导节点形成局部高速水流，断面流速分层明显。昭君坟至头道拐弯顶工程固定水流走向，河道失去自然调流能力，横向流速梯度加大，泥沙输移速率分层分化，该流速紊乱特征可量化评判弯曲过渡河段控导工程布设效果^[2]。

1.3 洲滩出现不均衡冲淤变化

1962—2012年该河段滩地累计淤积泥沙6.379亿t，护滩工程隔断滩槽泥沙交换，洲滩冲淤呈现分区差异。游荡段沙洲得不到漫滩泥沙补给，滩面持续粗化；弯道护岸抑制侧向淘刷，滩面淤积速率高于天然工况。乌海湖为此类失衡典型，枢纽蓄水封闭水域阻断泥沙交换，至2025年底库区淤积2.39亿立方米，淤损率49%，库区淤积、坝后冲刷的分异规律与全域一致。1986年水沙条件突变后，细沙淤积于滩洼，高地泥沙补给不足持续萎缩，各高程滩面冲淤速率差距稳定，相关实测数据可为分段固滩工程布设提供量化支撑。

1.4 航道浅滩淤积碍航问题凸显

造床流量由 $2355\text{m}^3/\text{s}$ 降至 $885\text{m}^3/\text{s}$ ，62.4%的流量降幅大幅削弱河道天然冲沙动力，浅区泥沙输移能力持续衰减。河道整治建筑物压缩过水断面后水流挟沙力沿程衰减，特粗泥沙占淤积总量56.2%，大颗粒泥沙极易在河道束窄段、弯道过渡段形成固定淤积浅滩。汛期高流量历时大幅缩减，原有依靠大水冲刷维持的浅滩水深无法得到周期性恢复，1986年后细泥沙大量淤积于浅滩区域，浅滩淤积厚度逐年抬升，平滩流量空间分布差异进一步加剧局部浅区泥沙堆积，该淤积演变规律可为浅区疏浚时序、疏浚深度方案制定提供实测数据支撑，对北方多泥沙河道浅滩长效治理具备学术借鉴价值。

2 水沙失衡形成驱动机制

2.1 整治构筑物压缩河道横向过水空间

黄河内蒙古河段大量修建丁坝、顺坝等刚性控导工程，依托堤防形成完整防洪体系，持续压缩河道天然横向空间。巴彦高勒至三湖河口原为游荡河段，天然河道可自由横向摆动，沙洲随水沙自由演变，水流可在宽阔区间输沙。人工工程固定岸线后过水断面收窄，水体全部约束在主槽内。水库调度使汛期水量占比降至40%，长期小流量下断面挟沙力横向分层，坝边缓流区泥沙淤积，河道丧失天然冲淤缓冲空间。乌海段枢纽与整治工程进一步压缩过水空间，海勃湾枢纽固化河道边界，低流量时库区淤积、主槽挟沙力失衡问题突出。此类边界改造引发的水沙变化规律，可为游荡河道控导工程间距、坝体挑出长度设计提供实测数据，完善多泥沙河道工程水沙响应理论^[3]。

2.2 护滩护岸工程阻断滩体泥沙交换

黄河内蒙古全域滩岸坍塌侵蚀现象长期存在，土体流失持续威胁堤防主体结构安全，沿线大范围修建黏性土体护滩、块石护岸结构稳定岸线边界。昭君坟至头道拐弯曲河段弯道顶部密集布设整治工程，滩岸表层断续分布黏性土层，土体抗水流冲刷能力本身优于松散沙质滩体，叠加人工护面结构后滩岸侵蚀速率大幅降低。天然河道汛期漫滩阶段，主槽高含沙水流可翻越滩唇完成泥沙落淤，枯水期滩区细颗粒泥沙回流补给主槽，形成周期性滩槽泥沙互馈循环。护滩护岸工程形成连续不透水刚性屏障，彻底隔绝主槽与边滩之间水体、泥沙交换通道，1962—2012年滩地淤积总量达到6.379亿t，主河槽淤积量仅2.256亿t，滩槽泥沙收支平衡状态被永久打破。乌海湖库区治理过程充分印证该机制，库区周边全覆盖的护岸、固滩工程形成封闭刚性边界，完全阻断天然滩槽泥沙交换通道，上游年均4000万立方米入库泥沙无法通过滩槽循环自然疏导，仅半数泥沙可通过下泄水流带走，剩余泥沙持续在库区淤积，最终造成库容大幅淤损。此类滩槽交换受阻演变特征，可为弯曲河段护岸工程分段布设、预留泥沙交换通道的优化方案提供实测数据支撑，完善弯型河道滩岸治理技术体系。见图1。

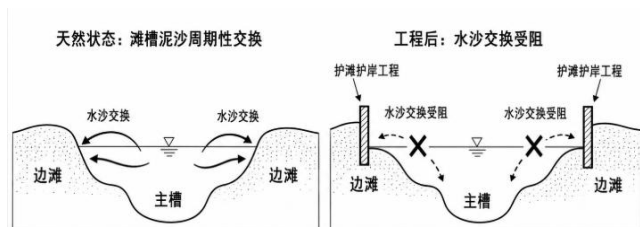


图1：护滩护岸工程阻断滩槽泥沙交换机理示意图

2.3 节点挑流作用削弱改变水流走向

昭君坟至头道拐属于典型弯曲河道，天然状态下河势变化集中在弯道顶点，依靠岸坡、基岩实现挑流，弯顶位置可随水沙条件自主变动。河道整治在弯顶增设人工控导节点，锁定水流转向角度，1987年后头道拐断面河道横向摆动明显减弱，河道形态趋于稳定。龙羊峡、刘家峡联合调度后，年均流量超2000m³/s的汛期时长仅2.4天，大水塑造河床的动力不足，人工节点完全替代天然节点承担挑流作用。水流路径被固定后断面流速横向差异明显，凹岸高速水流冲刷河床，凸岸回流区持续淤沙，河床纵横向冲淤呈现分化特征。乌海段海勃湾枢纽坝体是大型人工控导节点，固定泄流角度与运行水位，丧失天然自适应调流能力，造成坝前库区缓流淤积、坝后河道定向冲刷，局部冲淤差异突出。人工节点干预下的水流演变规律，能够为同类弯曲过渡河道确定控导节点规模、布设间距提供量化依据，丰富河道人工控导相关研究成果。

2.4 流域来沙锐减放大河床调整幅度

头道拐水文站1958—2022年实测序列显示年输沙量M-K统计量为-5.067，输沙序列呈现显著性下降趋势，输沙量于1968年、1986年出现两次突变，输沙总量降幅最高达到61.32%。以1950—1968年天然基准期作为参照，后续两个时段单位径流输沙量分别降低27.3%、46.5%，径流、泥沙同步缩减的趋势长期稳定存在。上游龙羊峡、刘家峡水库协同运行时段为1987—2010年，该阶段河道淤积程度达到峰值，天然河道依靠持续性来沙维持的冲淤平衡状态彻底瓦解。造床流量由多年均值2355m³/s下降至885m³/s，降幅62.4%，河道自身塑造河床的水力动力同步衰减，有限来沙无法匹配原有河床输移空间，河床被迫开展大范围自适应调整。流域来沙衰减背景下的河床演变特征，能够为上游水库群联合调度、下游河道治理协同方案制定提供理论支撑，对北方多泥沙流域水沙调控研究具备重要借鉴价值^[4]。

3 调控水沙失衡整治方案

3.1 优化洲头整治建筑物平面布置

借助二维水沙模型开展多组布局演算，以工程靠河概率优化坝体布置。沙坡头坝下至仁存渡收窄坝距、加长丁坝，靠河概率由78.8%升至92.3%；仁存渡至头道墩延长顺坝、增设短丁坝封堵分流，靠河概率由50%提升至70.1%；头道墩下段沙洲偏小、靠河概率长期不足70%，需依据各级流量深泓线重新布设控导

节点。乌海湖原有洲头构筑物适配天然水沙，蓄水后控沙导流效果变差，优化坝体尺寸与间距可缓解库区缓流淤积。这套平面优化手段能为多泥沙游荡河段控导工程提供量化设计依据，完善微弯河道数值化整治布局方法。

3.2 分段增设固滩工程稳定边滩形态

结合河道平面形态分区分布固滩工程，游荡、过渡河段采用不同施工工艺。巴彦高勒至三湖河口沙洲易受枯水侧流侵蚀，谢拉五至乃玛格林修建适配平滩水位的潜坝削弱淘刷；什米柴登至三湖河口铺设格网块石固滩，保留水流通道补给滩地泥沙。弯曲河段设置间断护滩垛，预留滩槽交换通道，避免封闭护岸引发淤积^[5]。该分段模式可解决乌海湖库区全封闭护岸阻断泥沙交换的难题，拆除部分封闭岸线、增设柔性固滩设施，缓解库区持续淤积。差异化固滩方案可长期稳定滩体形态，为黄河同类河段滩地治理提供可行施工方案，完善滩岸分层治理技术体系。

3.3 配套浅区疏浚平衡局部泥沙淤积

整理 1962、1982、1991、2000、2004、2008、2012 年多期河道实测断面资料，根据深泓摆动范围确定常年淤积浅区，淤积多分布在坝后回流区、弯道凸岸、河道束窄段，56.2%淤积物为特粗沙，常规水流难以冲走。施工按淤积厚度分区疏浚，结合 885m³/s 造床流量输沙能力设定疏浚底高程，防止泥沙快速回淤，疏浚弃土堆放滩区洼地，利用汛期漫滩水流补给滩地泥沙，平衡滩槽泥沙分布。该方案已应用于乌海段，2025 年当地启动一体化清淤工程，十年计划清淤 2.0 亿立方米恢复库容，化解库区淤积失衡问题。依托多年断面数据规划疏浚范围与工期，可为北方多泥沙河

道均衡调控泥沙提供实测依据，丰富冲淤治理技术手段。

3.4 分阶段实施动态护岸加固工程

依托长期河势监测数据安排护岸施工时序，三湖河口至昭君坟过渡河段主流摆动幅度区域差异明显，部分岸段水流横向位移依旧突出。通过监测不同流量下弯道顶点冲淤变动情况，将岸段划分为轻、中、重度淘刷类型开展差异化加固。轻度冲刷岸段增补石料调整坡比，适配常年小流量低速冲刷；中度冲刷岸段增设水下护底，防止床沙侧向流失；八里湾急弯等高危河段一次性完成 805 米险工整治，加厚块石抵御汛期、凌汛水流冲击。该分阶段动态加固模式可匹配河床演变节奏，适用于黄河各类弯曲险工。乌海段同步结合动态护岸与水库调度，在库区清淤前提下，采用汛期低水位管控、分期加固岸线、优化排沙调度等手段，协调工程防护与水沙变化关系，化解排沙期下游淤积、非汛期河道冲刷交替出现的失衡现象。

4 结语

黄河宁蒙过渡河段水沙变化受水库调度与河道整治工程共同制约，各类控导、护岸工程稳定河势的同时，造成滩槽泥沙交换受阻、局部淤积加剧等连锁演变。乌海段海勃湾枢纽淤积及治理实践完整印证工程干预下水沙失衡规律。本文提出的洲头优化、分段固滩、浅区疏浚、动态护岸举措，可协调人工构筑物与天然水沙运动关系，缓解浅滩淤堵、洲滩冲淤不均等矛盾。依托实测水文数据形成的成套治理思路，可为北方多泥沙同类河道统筹防洪、均衡冲淤提供实践借鉴。

参考文献：

- [1] 李彬,任智慧,郑艳爽,等.宁蒙河段冲淤对黄河上中游水库联合排沙的响应及输沙规律[J].人民黄河,2025,47(12):60-64+76.
- [2] 王克志,刘晓民,张红武,等.黄河内蒙古段造床流量变化及其影响因素[J].长江科学院院报,2023,40(7):8-15.
- [3] 张旭东,陈霄,卢书慧,等.黄河内蒙古河段水沙条件变化与冲淤演变特征[J].人民黄河,2025,47(S2):5-6.
- [4] 卢书慧,姚庆锋,杨明,等.黄河宁蒙河段横断面演变特征及其与水沙过程的响应关系[J].中国水利水电科学研究院学报(中英文),2025,23(4):365-372.
- [5] 郭静怡,李晓英,李新杰.海勃湾水库排沙方式优化研究[J].水电能源科学,2025,43(10):79-83.