灌区渠道输水效率影响因素与节水改造措施探析

孟燕荣[1]　戴永华[2]

1.内蒙古河套灌区水利发展中心总干渠分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

2.内蒙古河套灌区水利发展中心永济分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘　要】：灌区渠道承担干渠、支渠和末级渠系之间的水量转输任务，渠床渗漏、闸门调控、淤积阻水和配水衔接会共同改变实际到田水量。本文分析灌区渠道输水效率影响因素现状，梳理工程结构、量测设施、渠道断面和供水时段对输水效率的作用关系，提出防渗衬砌修复、闸门计量改造、清淤整坡管护和轮灌调蓄配置等节水改造措施。渗漏控制、过程计量和末级配水被放在同一输水链条中处理后，渠道损失位置可定位，闸门调配有读数，管护责任能落到具体渠段。

【关键词】：灌区渠道；输水效率；影响因素；节水改造；闸门计量

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.007

引言

灌区渠道输水效率反映渠首供水量进入支渠、斗渠和田间出口后的有效保持程度。许多中小型灌区建成时间较早，衬砌板接缝、伸缩缝和渠底基础长期受冻融、干湿交替、植物根系和水流冲刷影响，局部渗漏沿板缝、沉陷带和闸前后扰动区扩展。节水改造若只更换一段衬砌或单独安装闸门，很难解释水量在干渠、支渠和末级渠系之间的损失去向。灌区渠道输水效率分析要把工程结构、计量调控、淤积断面和配水制度连成可检查的输水过程，先识别损失部位和条件，再确定改造措施优先顺序。

1 灌区渠道输水效率影响因素现状

灌区渠道输水效率下降通常不是单一缺陷造成的。干渠首段水量较稳定时，中下游仍可能出现到田水量不足，原因在于衬砌裂缝、闸门启闭误差、渠底淤积和轮灌时段错配会沿输水路线叠加[1]。当同一轮灌周期内 Vs 取 12500m³、Vt 取 10850m³时，二者差值为 1650m³，效率系数为 0.87。该系数本身不能说明损失原因，只有把差值继续分解到渗漏、调控、淤积和配水节点，节水改造才不会停在笼统压缩水耗的层面。

2 灌区渠道输水效率主要影响因素

（1）渠床渗漏强度与衬砌失效影响：渠床渗漏取决于衬砌板完整性、板下垫层密实度和接缝止水状态。老化渠段常见板块错台、接缝张开、板底淘空和边坡裂缝，水流进入缝隙后沿垫层和基础薄弱带扩散[2]。以梯形混凝土衬砌渠段的设计检查情景为例，单段长 80m、底宽 1.60m、设计水深 0.90m，若连续裂缝长度达到 12m、平均缝宽达到 8mm，且板底空鼓带宽度达到 0.35m，水流剪切会继续剥离接缝砂浆。渗漏强度越集中，渠段末端水量差值越容易被误判为供水不足，而不是工程结构失效。渠段输水效率可按式（1）计算。

$$\eta=\frac{V_t}{V_s} \quad （1）$$

式（1）中，Vs 和 Vt 必须来自同一渠段、同一轮灌周期和同一计量口径；Vt 小于 Vs 时，η下降，差值对应沿线渗漏、调控滞后、断面阻水和末级配水不衔接形成的水量损失。

（2）闸门调控精度及量测设施状态影响：闸门调控和量测设施决定水量分配能否从经验调水转向读数调水。闸门丝杆磨损、门槽淤塞和启闭机回程间隙会使同一开度对应不同过流面积，人工读尺若只记录闸前水位，不记录闸后水位和瞬时流量，支渠分水量便缺少校核条件[3]。干渠首端设计流量取 1.25m³/s、支渠入口流量取 0.72m³/s、斗渠入口流量取 0.36m³/s 时，任一节点缺少同步读数，轮灌调度只能按计划时长估算，无法判断水量损失发生在闸前壅水、闸后跌水还是支渠沿线。

（3）渠道淤积形态与糙率增大影响：渠道淤积改变过水断面和糙率，水流速度随断面缩窄、底坡突变和边壁附着物增加而重新分布。支渠转弯、跌水下游、退水口和村庄穿越段容易形成局部沉积，淤积厚度较小时只抬高局部水位，厚度继续增加后会压缩有效水深并诱发漫顶、回水和闸前滞流。设计检查中，清淤断面若按底宽 1.20m、水深 0.70m、淤积厚度 0.18m、淤积长度 45m 设置，水流等效断面被持续压缩，末端出水口即使按时开启也可能无法获得稳定水头。

（4）供水时段变化与末级配水衔接影响：末级配水衔接影响输水效率的时间维度。干渠按日计划供水，支渠和斗渠却常按村组轮灌、作物要水和地块高程临时调整，若开闸时段与田间出水口要求不同步，渠道内水量会在待水、退水和重复蓄泄中消耗。高峰灌水

期支渠入口提前开闸，田间出水口尚未完成清障时，水位抬升会增加渗漏水头；末级渠系提前关闭，干渠仍维持较大流量时，回水又会加重边坡浸润。

3 灌区渠道节水改造措施建议

（1）完善防渗衬砌修复与接缝封堵控制：按渠段损失位置、板缝连续程度和坡脚渗出范围划分修复单元，再组合衬砌板更换、接缝封堵和渠床压实。干渠首段和支渠入口等高水头渠段，重点处理贯通裂缝、板底淘空和坡脚渗出，旧板拆除后先清理松散垫层，压实渠床并恢复设计坡比，再铺设防渗层和混凝土衬砌板[4]。非贯通裂缝可采用开槽清缝、弹性止水材料嵌填和表面封闭，接缝两侧板块错台时不宜只涂刷防水层，应同步校正板块支承。衬砌修复完成后按渠首、渠中和渠尾三类测点记录水位和流量，确认同一轮灌周期内差值变化。

（2）强化闸门计量建设与远程采集改造：配置闸门前后水位计、过闸断面流量计和启闭机开度记录，把水位、流量和开度写入同一时间轴。干渠首端采样间隔取 10min、闸门开度取 420mm，适合承担渠首供水读数和主闸启闭校核。支渠入口采样间隔取 15min、闸门开度取 300mm，可把分水量变化固定到支渠入口节点[5]。斗渠入口采样间隔取 20min、闸门开度取 210mm，配合田间出水口开闭记录，能判断末级渠系是否按轮灌时段受水。远程采集设备按节点编号存储读数，调水人员比较相邻节点的水量差值后，再安排闸门回落、支渠补水或现场巡检。节水改造测控布置见图 1。

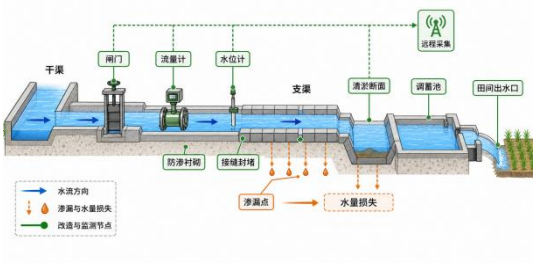

图 1 灌区渠道节水改造测控布置

图 1 中，干渠到支渠的蓝色箭头显示水流方向，闸门、流量计和水位计构成首端计量组，绿色连线把闸门、清淤断面、调蓄池和田间出水口接入远程采集；橙色渗漏点和水量损失标识集中在衬砌与清淤断面附近，说明计量改造必须和防渗修复、清淤整坡同时布置，才能把差值定位到具体渠段。

（3）落实清淤整坡制度与强化糙率管护责任：建立汛后、春灌前和作物高峰要水期前的清淤整坡制度，将支渠转弯、跌水下游和退水口前后列为重点断面。断面恢复时先清除渠底沉积，再修整边坡和护脚，避免只挖渠底导致边坡再次滑落。糙率管护同步处理渠道表面粗糙、杂草根系和破损衬砌，巡渠记录写明桩号、淤积位置、处理量和复查时间。清淤整坡后的水位变化应与闸门读数对照，若上游水位下降而末端出水稳定，说明断面阻水已被削弱；若末端仍不足，则继续排查渗漏和配水时段。

（4）推进轮灌时段细化与支渠调蓄配置：设置支渠、斗渠和田间出水口的到水时刻，把干渠供水计划拆成可执行的轮灌时段。作物要水高峰期可按支渠服务面积、地块高程和调蓄池可用容积划分供水批次，先保证高程较高、输水距离较长的片区获得稳定水头，再安排近渠地块短时补水。支渠调蓄池承担削峰、等水和短时续供功能；当干渠供水时段提前或推迟时，调蓄池可缓冲闸门启闭差，减少渠道反复蓄泄形成的无效损失。这一安排把末级受水对象、调蓄余量和闸门回落顺序放入同一调度表，减少空渠等待和重复蓄泄。

5 结语

灌区渠道输水效率受工程结构、计量调控、断面状态和配水时段共同影响，节水改造不能把衬砌修复、闸门安装和清淤管护割裂处理。渠床渗漏要用衬砌完整性和接缝状态定位，闸门调控要水位、流量和开度同步记录，渠道淤积要按重点断面恢复过水能力，末级配水要用轮灌时段和调蓄容积消除等待水量。防渗修复、计量采集、清淤整坡和调蓄配置形成连续输水链后，渠首与末端水量差值才能被分解到具体位置，灌区渠道节水改造也能从局部维修转向分段控制。

参考文献：

[1] 周骁,胡自勋.灌区渠道输水效率提升措施与节水改造技术实践分析[J].农业开发与装备,2025,(11):203-205.

[2] 邓沃泉.供需平衡下塘田灌区续建配套及节水改造措施[J].河南水利与南水北调,2025,54(12):22-23.

[3] 滕瑜君.灌区续建配套与节水改造工程施工措施探讨[J].黑龙江粮食,2023,(8):51-53.

[4] 董海军.河套灌区节水改造技术措施探究[J].内蒙古水利,2022,(9):67-68.

[5] 张瑞国.朔州市恢河灌区水资源管理与节水改造措施刍议[J].山西水利,2022,(3):46-47+52.