

节水理念下灌区农田水利规划设计方案研究

鲍 磊¹ 张 衡² 郑 帅²

1. 上海宏波工程咨询管理有限公司 上海 201700

2. 上海市水利工程设计研究院有限公司 上海 200001

摘 要：灌区农田水利是农业生产的命脉，在水资源日益紧缺的约束下，将节水理念深度融入灌区规划设计的全过程已成为必然选择。本文从灌区水资源系统整体最优的角度出发，分析了传统灌区水利规划在水资源调配、工程技术选型和管理制度设计等方面存在的结构性问题，构建了以“水源立体调配—渠系控漏降损—田间精准给水—制度激励约束”为闭环的灌区节水规划框架，并结合北方典型灌区实际提出了分区分类的差异化设计方案。研究表明，灌区节水潜力的释放依赖于工程措施与管理创新的协同发力，两者缺一不可。

关键词：节水理念；灌区规划；农田水利；水资源配置；灌溉效率

引言：我国灌区灌溉面积约占全国耕地面积的五成，却生产了全国七成以上的粮食，灌区的抗灾保产功能无可替代。然而在多数灌区中，从渠首引出的水量真正被作物有效利用的份额不足一半，有限的水资源在长途输送、田间分配和农户使用等环节层层损耗。灌区水利的传统规划思路长期侧重工程规模的扩张而忽视运行效率的提升，侧重供水保障的硬件投入而忽视用水行为的管理引导。当新增水源越来越难、生态用水刚性挤压越来越大时，灌区的出路只能向内挖潜——把节水作为规划设计的基本出发点和核心约束条件。本文正是基于这一逻辑，试图在规划层面为灌区农田水利找到一条节水的可行路径。

1 灌区节水规划的底层逻辑与框架

1.1 从“供水导向”到“效率导向”的思维转换

传统灌区水利规划的核心逻辑是“需求牵引供给”，先测算灌区需水量，再规划水源工程引水送水。这一逻辑在水资源尚有富余时尚可成立，但在当前开发利用已趋极限的背景下局限性日益明显。节水理念要求规划逻辑从供给端转向需求端，将水资源稀缺性置于优先位置，在灌区内不同作物和用水户之间优化水量配置，追求单位水量的农业产出最大化。规划者须带着“节水标尺”审视每一项工程布局、技术选择和流程设计。

1.2 灌区水利用效率的多环节损耗识别

实现灌区节水的首要步骤是识别水的损耗环节与方式。从渠首到田间再到作物根系，灌区水循环经历三个串联环节：渠系输水环节，各级渠道渗漏蒸发导致大型灌区渠系水利用系数仅 0.45~0.55，超四成水量未到田间

即损失；田间配水环节，工程不配套、畦块不合理造成深层渗漏和地表径流；作物利用环节，过量灌溉导致水分以蒸发形式散失或继续渗漏。三环节损耗串联相乘，导致灌区灌溉水利用系数长期低位徘徊^[1]。

1.3 “四维联动”规划框架的构建

基于损耗识别，灌区节水须跳出局部修补思路，建立覆盖全链条的四维联动框架。“保源头”——多水源联合调度提高供水韧性与调配灵活性，避免单一水源枯竭致灌区停摆。“控途中”——渠道防渗、管道替代和建筑物更新，将输水渗漏损失压至最低。“精末端”——田间灌水技术适配性选择，将水精确送至作物根系土层。“管全程”——计量设施、水价机制和考核制度，让参与者均有节水压力与动力。四维相互嵌套，缺一不可。

2 灌区水资源调配的立体化方案

2.1 多水源时空优化调度策略

灌区水资源的调配不能仅仅依赖单一水源，而应建立地表水、地下水、非常规水三水联调的立体化配置体系。规划阶段须对灌区范围内的水库来水、河川径流、地下水资源量以及再生水、矿坑排水等非常规水源进行全面评价，摸清不同水源在年际、年内和空间上的分布特征。在此基础上制定水源调度规则：丰水期以地表水为主要供给水源，同时利用富余水量进行地下水库的补给回灌；枯水期适度增加地下水开采规模，以弥补地表水来水不足；再生水经过处理达标后定向供给生态绿化或对水质要求较低的作物。通过建立水源间的互补机制，使灌区的水源保障率从单一水源条件下的 70% 左右

提高到多水源联合调度下的 85% 以上。

2.2 灌区内部水量分配的分级管控

水进了灌区之后如何在不同渠系、不同作物和不同农户之间公平合理地分配,是规划必须回答的核心问题。建议在灌区内实行“总量控制、逐级分解、动态调整”的三级水量分配制度。第一级在灌区层面,根据年度来水预测和作物种植计划,将全灌区可用水量分解到各支渠控制片区。第二级在支渠层面,由各片区根据片区内作物结构、土壤条件和灌溉制度,将水量进一步分解到斗渠和农渠。第三级在田间层面,通过安装在出水口或田间入口的简易计量设施,将水量落实到具体的用水户或承包地块。各级分配水量并非固定不变,而是根据作物生育阶段、实时墒情和中期来水预测进行动态修正,使有限的水量始终流向最急需、产出最高的地方。

2.3 非常规水源的安全利用方案

在淡水资源紧张的灌区,合理开发利用非常规水源是缓解供需矛盾的有效途径。灌区周边的城镇污水处理厂尾水经过深度处理达到农田灌溉水质标准后,可作为灌区补充水源用于粮食作物的灌溉,但须严格控制水质监测频次和灌溉方式,避免盐分和有害物质在土壤中累积^[2]。矿坑排水在矿区周边灌区是可利用的潜在水源,须经沉淀、过滤和中和处理后才能引入灌区。集蓄雨水则适合在灌区内的低洼地带修建小型集雨工程,将汛期无法利用的降雨径流收集起来用于旱季的补充灌溉。各类非常规水源在规划中须明确其利用优先级、处理工艺要求和灌溉适用范围,做到安全可靠、风险可控。

3 输配水系统的控漏降损技术方案

3.1 渠道防渗方案的选择逻辑

渠道防渗是灌区节水最传统也是最有效的工程手段,但防渗方案的选择并非衬砌厚度越大越好、材料越贵越好,而应按照渠道的级别、流量规模、冻胀条件和施工便利程度综合确定。大型干渠承担着全灌区的主要输水任务,一旦停水检修影响范围极大,应选用现浇混凝土衬砌或浆砌石衬砌等耐久性方案,设计使用年限不低于 30 年。中型支渠可以选用混凝土预制板衬砌,工厂预制保证了材料质量的稳定,现场拼装施工速度快、对灌溉期的影响小。小型斗渠和农渠分布广泛、单条长度较短,可选用 U 型混凝土槽或复合土工膜防渗等低成本方案,以大面积覆盖为主要目标。无论采用何种方案,冻胀区的渠道都须在衬砌层下设置砂砾石垫层以消解冻胀应力,避免衬砌体在冬季因冻胀隆起而破坏。

3.2 渠道改造与管道替代的临界条件

在渠道防渗之外,越来越多的灌区开始用管道替代明渠输水,但管道替代并非处处适用,需要在规划阶段划定临界条件。综合工程投资、运行费用、节水效益和土地占用等因素,以下情形优先考虑管道替代:一是渠道渗漏损失率超过 30% 且防渗改造效果不佳的渠段;二是渠线经过高渗透性砂卵石地层,防渗处理难度大且效果难以保证的地段;三是渠道沿线耕地资源紧张、渠道占地与机械化耕作矛盾突出的区域。管道替代方案应选用 PVC 或 PE 管材,按照“干管—支管—竖管”三级布置,干管沿田间道路埋设,支管垂直耕作方向间隔布置,竖管在地面设置出水口。管道系统须在规划的最低点和最高点分别设置排水阀和排气阀,以防止冬季管道冻裂和运行中的气阻问题。

3.3 渠系建筑物配套与水量计量设施布设

渠道和管道是灌区的“血管”,而水闸、涵洞、渡槽、量水堰等建筑物则是灌区的“关节”,关节不灵,血管通畅也无法发挥作用。规划中应对灌区内所有渠系建筑物进行全面排查鉴定,确定需要新建、改建或废除的具体对象。重点对干渠分水闸、支渠节制闸进行更新改造,更换锈蚀的启闭螺杆和闸门止水,保证闸门启闭灵活、止水严密。在各级渠道的分水口和关键断面,须布设计量设施:大型渠道可选用超声波时差法流量计或电磁流量计实现自动化在线计量,中小型渠道可选用标准量水堰或量水槽,由管理人员定期人工读数。计量数据的采集频次和报送流程须在规划中明确,确保计量设施不是“摆样子”,而是真正服务于水量调配和收费核算^[3]。

4 田间精准给水的技术适配方案

4.1 基于种植结构的灌水技术配置矩阵

灌区种植结构多元,不同作物对灌水技术的适应性和经济性差异显著,规划应建立作物—技术配置矩阵。粮食作物连片种植、行距规范,适宜喷灌或低压管道输水加地面灌溉,亩均投资 800~1500 元。经济作物单株价值高,适宜滴灌或微喷灌,亩均投资 2000~4000 元,但节水增产效益 2~3 年可收回投资。饲草及生态林草灌水均匀度要求低,可采用移动式喷灌或简易软管灌溉,亩均投资控制在 500 元以内。各类技术不要求统一,但须确保衔接不影响渠系整体运行调度。

4.2 灌水定额与灌水周期的精细化确定

田间灌水方案须给出“灌多少、隔多久”的具体操作参数。灌水定额依据土壤田间持水量、凋萎系数和

计划湿润层深度计算有效储水量,结合作物日耗水强度确定合理灌水深,取计算值八成作为设计定额,为降雨预留吸纳空间。灌水周期取决于灌水定额与日耗水量的比值,不同生育阶段耗水强度差异大,拔节抽穗期可达苗期三倍以上,周期需分阶段设定。规划须制定灌溉制度表,按作物和生育阶段列明定额、周期和灌水延续时间,作为运行管理依据。

4.3 水肥一体化条件下的灌溉制度调整

随着水肥一体化技术的推广,灌区的灌溉制度需要随之调整。水肥一体化条件下灌水的频率通常比常规灌溉更高、而单次灌水量更少,这种高频少量的灌溉模式更接近作物的实际需水节律,有利于提高肥料利用效率。规划中如需配套水肥一体化,须重新校核原有的灌水定额和灌水周期:将单次灌水定额在常规基础上减少20%至30%,将灌水周期缩短至常规的60%至70%。同时须在田间首部配置施肥罐或文丘里施肥器,根据作物不同生育阶段的养分需求规律制定随水施肥方案,实现灌溉与施肥在时间和空间上的精确同步。配套条件下灌溉水利用系数可进一步提升至0.9以上,氮肥利用率可从常规地面灌溉的30%左右提高到50%以上。

5 节水管理的制度设计与行为引导

5.1 水权确权与用水总量控制

灌区节水的最终落脚点是用水行为的改变,而行为改变的前提是权责清晰。规划阶段应推动灌区农业水权的确权到户工作,按照当地水资源总量管控指标和灌区可用水量,核定每亩承包地的年度用水定额,将用水权凭证发放到每个用水户手中。确权完成后,灌区年度用水总量被所有用水户的定额之和锁定,总用水量不可能突破这个上限。用水户在定额内用水的,按规定水价缴纳水费;确有节余水量的,可以通过灌区内部的水权交易平台转让给有超定额需求的用水户,从中获得节水收益。水权确权和总量控制制度把“我要节水”的外部要求转化为用水户“我愿节水”的内在激励,是灌区节水管理最核心的制度设计^[4]。

5.2 水价形成机制与精准计量收费

合理的灌溉水价是节水制度得以运行的经济基础。灌区供水水价的核定应遵循“成本核算、分类定价、逐步到位”的原则,在核算水源工程、输配水系统和运行维护全成本的基础上,区分粮食作物与经济作物设置差异化水价,粮食作物执行优惠水价、经济作物执行全成

本水价。水价执行的先决条件是水量精准计量,规划中须在各级供水节点和田间入口安装合格的计量设备,推行“按方计量、按量收费”的收费模式。同时配套超定额累进加价制度:超出用水定额20%以内的部分按基础水价的1.5倍收费,超出20%以上的部分按基础水价的2倍收费。节余水量的用水户可将其节余部分按基础水价的一定比例出售,形成“节约有奖、超用加价”的价格引导信号。

5.3 用水者协会与基层参与式管理

灌区管理不能仅仅依靠自上而下的行政指令,还需要发挥基层用水主体的自我管理能力。规划中应推动以支渠或行政村为单位组建农民用水者协会,由协会负责斗渠及以下田间工程的维护、灌溉轮次安排和水费代收代缴等日常事务。协会的理事会由用水户民主选举产生,所有重大开支和灌溉调度方案须经会员大会审议,确保管理的透明性和公平性。灌区管理机构与各用水者协会之间签订供用水合同,明确各自的权责边界和服务标准。基层参与式管理将灌区管理从政府机构的“单向管理”转变为多元主体的“协同治理”,降低了行政成本,也提高了用水户对节水规则的认同感和执行力。

结束语

灌区农田水利的节水潜力远未被充分挖掘,但这片潜力的打开不依赖于任何单一的技术突破,而在于规划理念的整体性转变。本文从水源调配、输配水改造、田间技术集成和制度管理四个层面构建了灌区节水的闭环方案,试图呈现一个完整的逻辑——水源的优化配置是前提,输配水系统的降损是基础,田间精准给水是核心,而管理制度的变革则是一切工程措施能够持续见效的保障。灌区规划者需要的是在每一个环节都带着“节水”的问题意识去审视、去权衡、去选择,最终使节水成为灌区水循环系统的内在属性而非外部附加要求。

参考文献

- [1] 曾彦祖. 农田水利工程规划设计与灌溉技术的探讨[J]. 棉花科学, 2024, 46(2):106-108.
- [2] 张树仁. 灌区农田水利渠道设计与施工技术[J]. 农业开发与装备, 2023(12): 106-108.
- [3] 仲凯, 杨晓飞. 新型装配式涵闸在农田水利工程规划设计中运用分析[J]. 居业, 2022(2):89-91,94.
- [4] 陈生国. 农田水利灌溉工程规划设计与灌溉技术研究[J]. 农业灾害研究, 2023, 13(7):269-271.