

## 灌区水资源供需平衡与精准配水调度研究

倪昌良

新疆维吾尔自治区阿拉尔市第一师水利工程管理服务中心, 新疆 阿拉尔 843300

[摘要] 灌区水资源供需平衡是保证农业高效用水的前提, 精准配水调度是缓解水资源供需矛盾的主要手段。本文立足干旱区大中型灌区管理实际, 对灌区水资源配置中出现的供需不匹配、调度粗放等状况展开梳理, 明晰了供需平衡的基本含义, 剖析了灌区水资源供需组成以及矛盾产生的原因。从研究结果可以看出, 配水计划同需水变化衔接不到位, 配置的精细程度不高, 计量和调度的信息化水平低, 协同管理机制不健全等都是造成精准配水受阻的原因。依据典型灌区年度调度运行经验, 给出完善的供需预测动态分析、以需定供的精准配水方式、加强计量监测和信息化建设、健全统筹协调管理机制等改善途径, 给灌区水资源精细化管理给予参照。

[关键词] 灌区; 水资源; 供需平衡; 精准配水

DOI: 10.64635/ja.2026.1531

中图分类号: S274

文献标识码: A

### Research on Water Resource Supply-Demand Balance and Precise Water Distribution Dispatching in Irrigation Districts

Ni Changliang

Water Conservancy Engineering Management Service Center of the First Division, Alar, Xinjiang 843300, China

**Abstract:** Water resource supply-demand balance in irrigation districts is the prerequisite for ensuring efficient agricultural water use, and precise water distribution dispatching is a major means to alleviate conflicts between water supply and demand. Based on the management practice of large and medium-sized irrigation districts in arid areas, this paper reviews problems such as supply-demand mismatch and extensive dispatching in irrigation district water resource allocation, clarifies the basic meaning of supply-demand balance, and analyzes the composition of water resource supply and demand as well as the causes of related conflicts. The research results show that inadequate connection between water distribution plans and changes in water demand, insufficient refinement in allocation, low informatization levels of metering and dispatching, and imperfect collaborative management mechanisms are important factors restricting precise water distribution. Based on annual dispatching operation experience in typical irrigation districts, this paper proposes improvement paths such as improving dynamic supply-demand forecasting and analysis, establishing demand-oriented precise water distribution methods, strengthening metering monitoring and informatization construction, and improving overall coordination and management mechanisms. The study provides reference for refined water resource management in irrigation districts.

**Keywords:** irrigation district; water resources; supply-demand balance; precise water distribution

### 引言

灌区是农业生产的主要场所, 灌区水资源的调配好坏直接影响到国家的粮食安全和生态安全。但是由于自然条件和工程基础的双重限制, 干旱区灌区普遍存在着水资源时空分布不均、农业用水需求刚性增长之间的矛盾。极端干旱、蒸发量大的沙漠边缘地带, 传统的粗放式配水方式已经不能满足现代农业高质量发展的需要了。从近几年实际调度运行情况来看, 水库与引洪渠道联合调度虽然在一定程度上缓解了用水紧张, 但是由于工程老化、信息反馈滞后等原因, 渠系水利用系数较低, 冬蓄春灌、秋蓄冬灌等既定模式

在执行过程中常常因为来水的不确定性而打乱计划。实现水资源供需平衡和精准配水调度的有机统一, 对提高灌区水资源利用效率、保证农业稳产增产有重大意义。

### 1 灌区水资源供需平衡与精准配水调度的基本内涵

灌区水资源供需平衡指的是在一定区域、一定时期内, 由地表水、地下水和非常规水源构成的供给能力与农业、工业、生活、生态等各方面的需水量之间所形成的动态协调关系。平衡不是简单的总量相等, 而是在水量、水质、时空分布、用水保证率等各方面

都要达到综合协调。精准配水调度就是在供需平衡分析的基础上,按照作物种植结构、生育期需水规律、土壤墒情和气象条件等各方面的因素,对灌区渠系输配水过程进行精细化安排的管理活动。干旱灌区由于渠道防渗措施不到位、斗农渠配套不完善,在输水过程中造成渗漏和蒸发损失较多,这就要求精确的配水不能只考虑时间上错位的问题,还要考虑空间上的损耗。精准配水调度要考虑到渠道多级配水体系的复杂性,协调干、支、斗三级渠系间的水量衔接关系,用配水时间效率、输水渗漏量、渠道过流能力作为约束建立优化模型来制定科学合理的配水方案。

## 2 灌区水资源供需平衡分析

### 2.1 灌区水资源供需构成及平衡关系

灌区水资源供给系统是由地表水、地下水和非常规水源组成的,地表水主要是河道径流和水库调蓄,地下水依靠井群开采补给,非常规水源有再生水和集雨利用等。需水端包含农业灌溉、工业用水、生活用水、生态用水四个部分,农业灌溉一般占主导地位。供需平衡关系表现为可供水量与需水总量之间的盈亏状态。从典型灌区年度运行方案可知,水库蓄水分为冬蓄春灌和秋蓄冬灌两个阶段,秋蓄要求在10月中旬前达到满库,冬蓄要在次年2月底前蓄满,其目的是在来水较丰沛时期尽可能多地储备地表水源,以应对春灌、冬灌高峰期的大额需水<sup>[1]</sup>。但是由于调蓄能力的限制,夏季为了减少蒸发渗漏一般保持低库容运行,高温持续或者来水偏枯时供需矛盾就会迅速激化。

### 2.2 灌区水资源供需矛盾及影响因素

灌区水资源供需矛盾的原因是多方面的,在干旱区尤为突出,可以概括为以下几方面。第一,水资源时空分布同农业需水节律严重错位。从灌区运行规律来说,每年的6月至8月为大河来水比较充沛的时候,但是高温蒸发和作物需水同时达到峰值,渠道输水损失也急剧增加;而春灌(3-5月)和冬灌(10-11月)期间,来水一般不够,需要大量依靠水库前期蓄水补给。丰水期限对于调蓄能力又不得不产生弃水,从而降低了水资源的有效利用率。第二,用水结构竞争越来越激烈。随着灌区城镇化进程以及工业发展,生活用水、工业用水所占比例越来越大,对有限的农业供水造成压力。同一灌区内,上下游之间、不同作物类型之间(林果与棉花等)用水竞争关系明显,配水优先级确定为调度难题。第三,渠系输水效率低,工程基础差。大部分灌区骨干渠道修建时间较长,经过多年的使用,老化失修、衬砌破损现象比较普遍,斗渠

以下的田间工程大多为土渠,渗漏严重。由于灌区风沙活动频繁、渠道淤积严重,使输水能力降低。第四,管理手段跟不上生产需求。目前很多灌区的水量调度仍然依靠经验判断,没有建立来水变化、墒情变化、作物实际生长等实时响应的机制。

## 3 灌区精准配水调度现状及存在问题

### 3.1 配水调度计划与实际需水变化衔接不足

目前大部分灌区仍然实行年度或者季节固定的配水计划,没有建立作物实际生长状况、气象条件变化、土壤墒情等动态响应机制。配水计划一旦制定就很难再进行调整,不能适应由于气候异常而造成的作物生育期需水变化。以秋蓄冬灌为例,方案规定夏灌结束时开始集中蓄水,但是实际操作中由于大河来水的不确定性以及引水渠冰凌问题的影响(冬季冰凌达到60%以上就进入防洪状态),蓄水进度常常被打乱,从而影响到冬灌的按时足量供水。计划与变化相脱离的现象在极端枯水年份中更加明显,处于配水优先级较低区域的作物由于得不到及时灌溉而产量下降。

### 3.2 水资源配置精细化程度有待提升

灌区水资源配置在空间尺度上大多只细化到支渠或者斗渠级别,很少延伸到农渠和田间尺度,不能实现对不同田块、不同作物的差异化供水。但是不同的作物(棉花、小麦、林果等)甚至同一个作物的不同生育阶段对水分的需求也存在着很大的差别,而目前的配水方案大多使用统一的灌溉定额和轮灌周期,缺少根据作物需水规律进行精确供给的能力。从实际运行方式上看,灌区一般采取大河来水满足时直接由引洪渠供水,不足时由水库出库调节的切换方式,虽然具有一定的灵活性,但是切换时机和补水量的确定大多依靠经验,而不是精确计算。相关研究显示,根据作物的空间分布及需水紧迫程度来实行差异化配水,可以明显改善灌溉的整体效益,比如把需水的关键期作物当作优先配水的对象,那么它的平均产量以及经济效益都会比统一配水方案要好得多。

### 3.3 灌溉用水计量与调度信息化水平不足

灌区用水计量设施配置不全,是造成精准调度的严重障碍。许多灌区的计量点仍然设在支渠或者斗渠分水口,使用传统的量水设施(梯形堰、巴歇尔槽等),精度低、容易受到淤积的影响,田间实际用水量不能准确掌握。灌区引水渠、放水渠大多为土渠断面,在这种情况下,计量断面的水流稳定性差,量测精度更低。信息化基础设施薄弱更加明显,水位、流量、墒情等监测站点分布较少,数据采集频率低,传输依靠

人工上报,不能满足实时调度的要求。调度决策支持系统应用很少,配水方案的编制和调整主要依靠经验判断,没有使用实时数据驱动、模型算法优化的智能决策能力。

### 3.4 配水调度协同管理机制不够完善

灌区水资源管理牵涉到水利、农业、生态环境等诸多部门,部门之间职责交叉、信息共享欠缺的情况比较明显。地表水和地下水没有统一的调配机制,并渠结合灌区中两种水源的协调利用不够充分,容易出现局部超采或者利用率偏低并存的情况。以灌区实际运行中调度权限划分为例,一般工况下由基层水管部门负责,一旦引水流量超限或者冰凌度超过阈值,就需上报上级多部门联合调度,这样的分级响应机制虽然权责分明,但是在实际操作中由于信息传递层级多、决策链条长,容易造成调度延误。

## 4 灌区水资源供需平衡与精准配水调度优化策略

### 4.1 完善灌区水资源供需预测与动态分析机制

创建以多源数据融合为基础的供需预测体系,是保证精准配水的前提条件。整合气象预报、水文监测、土壤墒情和作物种植结构等各方面数据,利用系统动力学、机器学习等方法建立灌区需水预测模型,提高不同时间尺度下需水预测的准确性与时效性。供水预测要考虑到河道来水、水库蓄水、地下水动态以及非常规水源可利用量,根据不同的来水频率做情景分析。根据灌区年度调度方案,建立“秋蓄、冬蓄、春灌、夏灌”全周期蓄水进度滚动校核机制,把水库库容变化和灌区实际灌溉进度动态匹配起来,及时发现蓄水缺口并预警。

### 4.2 构建以需定供的精准配水调度模式

需定供要求配水方案由按计划供水向按需配置转变,关键在于创建起依照作物需水规律和土壤水分状况的动态配水决策体系。应细化作物种植结构调查,确定不同的作物、不同的生育阶段的灌溉需水定额和关键需水期,根据实时的土壤墒情监测和气象预报信息来制定分区域、分作物的差异化配水方案<sup>[2]</sup>。在配水优先级的确定上,要将需水紧迫程度、作物关键生育期以及单位水经济效益一起考虑进去。根据灌区实际调度中“先保人饮、后保农业灌溉”的原则,在农业内部再细分为等级——把处在需水临界期的经济作物(如果树开花坐果期、棉花花铃期)放在优先保障的位置上,把耐旱作物或者非关键期作物放在弹性调节序列里。多级渠系配水优化研究提出,可以将干、

支、斗三级灌溉渠系分解成两层递阶协调模型,第一层以输水损失和灌区缺水率最小为目标建立多目标配水模型,第二层用智能算法求解实现对全灌区三级渠系的协调配水,优化后渠系水利用系数明显提高。

### 4.3 强化灌溉计量监测与调度信息化建设

完善的灌溉用水计量体系是精确配水的根基。应在干支渠重要断面和田间入口处安装自动化的量测水设备,使用超声波流量计、智能水表等准确计量装置,提高用水计量的准确性以及频率。对于灌区引水和放水渠道大多为土渠、断面不规则的情况,首先要对主要计量断面进行衬砌硬化或者设置标准量水槽,保证计量条件稳定可靠。创建灌区水情、墒情、气象信息监测网,布置物联网感知终端,对水位、流量、土壤含水量等主要参数实施实时采集与远程传送。创建灌区水资源智能调度决策支持系统,把供需预测、配水方案改良、实时监测和效果评定这些功能模块融入其中,从而达成配水决定由经验支配转向数据支配的目的。渠-闸动态协同配水模型的示范应用显示,优化方案比不考虑闸门经验配水更有利于减少渗漏水量损失,渠系水利用系数明显提高,给数字孪生灌区配水效率提升提供了一条技术途径。参照有关灌区“渠-闸动态协同配水”模型成功运用的经验,利用闸门群组联动控制来削减人工逐级调度的滞后与误差,从而达成骨干渠道水量的智能分配。

### 4.4 健全水资源统筹配置与调度协同管理机制

建立灌区水资源统一调配管理制度,统筹考虑地表水、地下水、非常规水源的联合利用,确定各个水源的配置顺序和调度规则。根据灌区实际管理中冬季冰凌期、汛期等特殊时段调度权限上移的情况,应该对分级响应流程进行优化,确定各级调度权限的触发条件以及信息通报时限,从而降低由于层级过多而造成的响应延迟。完善灌区管理部门、基层用水者协会和农户之间信息沟通的渠道,建立自下而上的需水信息收集反馈机制和自上而下的配水方案发布执行体系。完善应急调度预案的编制、演练制度,对不同的干旱等级、工程工况制订不同的应急调配方案,提高应对突发事件的能力。

表 1 灌区水资源供需平衡及精准配水调度主要指标对比

| 评价维度    | 传统管理模式      | 精准调度优化模式    | 提升效果    |
|---------|-------------|-------------|---------|
| 渠系水利用系数 | 0.45 ~ 0.55 | 0.59 ~ 0.69 | 提升 0.14 |

| 评价维度      | 传统管理模式       | 精准调度优化模式          | 提升效果      |
|-----------|--------------|-------------------|-----------|
| 灌区渗漏水量损失率 | 25% ~ 35%    | 10.81% ~ 31.15%   | 减少 10% 以上 |
| 作物产量差异    | 低优先级区域产量明显下降 | 均衡分配, 平均产量提高 6.9% | 增产效果显著    |
| 水资源节约量    | 缺乏系统优化       | 远期水平年可实现大规模节约     | 节水效果明显    |
| 配水决策方式    | 依赖人工经验       | 数据驱动模型优化          | 科学性与时效性提升 |

根据表 1 可知, 传统的管理方式以及精确调度优化方式对于各项指标有着不同的影响。通过渠系配水优化、动态协同调度、多目标水资源配置等方式, 渠系水利用系数可以得到提高, 渗漏水量损失明显减少, 作物产量分布更加均匀, 区域水资源节约效果明显, 配水决策的科学性、时效性也得到了明显改善。由原来的粗放式管理转变为精细化调度优化的方式是灌区水资源高效利用的一种必然选择。

5 结语

灌区水资源供需平衡和精准配水调度, 是实现农

业水资源高效利用的主要手段。供需平衡分析显示了水资源供给和需求之间动态匹配的规律, 给精准配水赋予了科学的根据, 精准配水调度把供需平衡分析成果转变成可以执行的渠系输配水方案, 两者互相支撑, 共同前进。目前由于灌区工程基础差、信息化程度低、管理经验欠缺等原因, 造成配水调度在计划适应性、配置精细化、信息化支撑、协同管理等方面还存在着明显的不足。未来还要继续加大智能算法、数字孪生等新技术在灌区配水调度中的应用, 使灌区水资源管理朝着数字化、精准化、智能化的方向不断前进。

[ 参考文献 ]

[1] 邓建伟, 张新民, 李昂, 等. 基于 WEAP 模型的丰乐河灌区渠系配水优化 [J]. 排灌机械工程学报, 2025, 43 (5): 505-514.

[2] 皮滢滢, 王文娥, 胡笑涛, 等. 大型灌区多级渠系多目标配水优化研究与应用 [J]. 中国农业大学学报, 2025, 30 (6): 183-193.

[3] 吴凌琴, 张猛, 沈喜, 等. 基于多目标优化的赣抚平原灌区水资源输配水联合模型研究 [J]. 节水灌溉, 2025 (10): 36-41.

作者简介: 倪昌良 (1971.08—), 男, 汉族, 四川安岳人, 大专学历, 职称: 工程师, 研究方向: 灌区水利调度运行。