

小型泵站与灌排系统在高标准农田中的协同设计方法

袁盛林¹ 杨素丽¹ 徐丁皓²

1.南通兴洋水利勘测设计有限公司 江苏 南通 226000

2.如东县水利电力建筑工程有限责任公司 江苏 南通 226400

【摘要】：研究目的是探讨高标准农田小型泵站和灌排系统协同设计方法，促进水资源利用效率和系统运行可靠性的提高。在分析农田灌排要求特点的基础上，建立泵站-渠系功能耦合模型，综合考虑水量平衡，布局优化和多工况运行方式设计等因素，提出了满足不同水文条件下协同设计方案。研究表明：优化泵站规模和渠道布局可以实现灌排系统水力协同、智能化监测和远程调控，进一步提高系统动态调节能力、减少能耗、提高运行效率。结论表明：该系统协同设计方法能有效地满足高标准农田的多样化水文需求并综合考虑节水、节能和管理优化等因素，可为农田的可持续发展奠定了可靠的技术支撑。

【关键词】：小型泵站；灌排系统；高标准农田；协同设计；智能化管理

DOI:10.12417/3083-5526.25.06.023

高标准农田建设注重水资源高效配置和精准管理，而灌排系统是保证作物生长、排涝防涝等功能发挥的重要基础设施，灌排系统的设计及运行水平对农业生产效益有着直接的影响。小型泵站担负着灌排体系水量调控和水位维护等核心作用，其布置方式和运行方式是否科学影响着整个体系水力协同效率。目前高标准农田灌排系统正面临着水资源时空分布不均匀，作物需水动态变化以及多工况调度的复杂性等方面的挑战，迫切需要通过泵站和渠道的协同设计来达到水量平衡，节能增效和运行安全的目的。引进智能化管理和运行优化技术可以实时调节泵站启停，渠道流量以及排涝能力等，提高了系统响应速度以及管理精度，从而为高标准农田持续发展提供可靠支持。本研究的目的是探讨小型泵站和灌排系统的协同设计，促进农田灌排系统整体效能的发挥。

1 以高标准农田为建设对象灌排需求为特点

1.1 农田水资源有效分配的作用需求

在高标准农田建设环境中，农田水资源的高效配置已经成为确保农业稳产增产最重要的前提条件和最基本的条件。农田水资源配置既要满足灌溉、排涝等基本要求，又要考虑生态用水、环境维持等功能，所以实施时必须考虑地区水资源禀赋、农业用水强度，作物种植结构和水文条件等诸多因素使水量分配科学化和精细化。通过改善水源结构，合理规划输配水路径及促进泵站与渠道调度效率等措施，可以显著提高单位水量有效利用率并降低无效损耗与浪费，从而增强了整体灌排系统整体运行效率及稳定性^[1]。在高效配置过程中还应充分考虑农作物各生长阶段差异化需水规律与季节性变化情况，提高水资源调控灵活性与适应性，使得灌排系统可以更加有效地应对气候波动，极端水文条件和突发用水需求。通过这种全方位、动态化水资源管理不但提高高标准农田灌排系统运行功效，而且为农业生产可持续发展，推动农业现代化水平提高提供坚实水利保障与稳定支持。

1.2 灌溉和排涝同时进行的系统适配特点

高标准农田建设中灌溉和排涝功能呈现高度耦合特征，对水利设施系统适配性及综合调控能力有较高需求。灌溉系统需要确保作物生长关键时期稳定供水，注重水量调控精细化和时效性，使其适应不同作物需水规律及生产管理；排涝系统遇到强降雨或者极端气候事件时需要有快速的响应能力以达到高效排水，防洪减灾和水位安全控制的目的^[2]。灌溉和排涝功能从工程布局，渠道设计，泵站和闸门控制节点布置，运行方式等方面互相影响，以功能为导向的单一设计易导致水资源分配不均衡，系统调控不平衡或者工程效能降低等。为了使两者达到协同，必须采取统一水力设计标准并对灌排通道尺度，泵站及闸门等调控设施参数进行合理协调，采取科学布局 and 灵活运行策略，本实用新型使得灌溉及排涝功能能在各种运行条件下快速切换，相互补充促进，进而提升农田水利系统整体适配能力，运行效率及安全保障水平，保证高标准农田能够在各种气象，水文等情况下高效，可靠地作业。

1.3 作物的种植结构和对水分需求的时序特征

作物种植结构对高标准农田灌排系统水量配置和运行模式有直接影响，各作物生育阶段，水分敏感性和需水强度均有明显差异。粮食作物一般表现出生育期需水量较为集中的特点，经济作物及复种模式表现出较为复杂的阶段性需水量特点，造成农田需水量时间尺度波动显著^[3]。作物种植制度调整后，灌溉高峰和排涝关键期重合度将发生变化，这就需要小型泵站和灌排系统配合作业。当降雨集中或者灌溉窗口期一致时，水需求时序错位叠加易放大系统负荷。为此协同设计时需根据作物生育历程精细描绘需水节律，综合考虑灌溉保障和排涝安全等因素，并通过配套泵站能力和渠系调蓄功能来达到高效应对不同时期需水量变化的目的。

2 小型泵站和灌排系统功能耦合机理研究

2.1 小型泵站是灌排系统节点

高标准农田灌排体系下，小型泵站是衔接水源，渠系和田间工程之间的关键节点，担负水量调和和水位控制等核心职能。一方面它通过抬高，分配和回输水量来达到灌溉水源灵活调度的目的，提高灌溉系统适应不均匀降水和阶段性用水高峰；另一方面当出现强降雨或者高水位场景时，小型泵站能够迅速干预排水过程以减少田间滞水时间和渍涝风险^[4]。与单一重力式灌排模式相比，小型泵站节点化布设增强灌排系统调控弹性，实现水流组织从被动响应到主动调节。同时其尺度小，布点灵活等特点有利于与田块尺度进行精细配套，促进了整体系统运行效率的提高，同时确保了灌排安全，从而为高标准农田的稳产高产提供了基础支撑。

2.2 灌溉系统和排水系统之间存在双向调控关系

高标准农田灌溉系统和排水系统并不是独立存在的，它们之间通过水量调节，工程结构和运行方式等构成了一种密切耦合的双向调节关系。灌溉系统通过调节渠系水位和输配节奏来给排水系统留出调蓄空间以减少强降雨时田间积水的危险，同时满足作物生长需水^[5]。排水系统通过精确控制排放的强度和顺序，确保地下水位保持在一个适宜的范围内，从而为灌溉用水的高效使用提供了有利条件。两者在水位控制，流量分配和运行时段等方面协同作用，可以达到田间水分供排的动态平衡，降低无效排水和重复提水，进而促进整体水资源利用效率和农田水利系统的稳定运行。

2.3 在多种工况下的水力合作机制

高标准农田下的小型泵站和灌排系统需要满足灌溉高峰，降雨集中和旱涝急转的多工况作业要求。不同运行条件下水位边界，流量分配和能耗特征存在显著区别，需要系统具有较好的水力协同性。通过建立泵站和灌排渠系整体水力模型可以使灌溉补水和排涝泄洪等过程达到动态匹配状态，从而避免了局部水力冲突和无效能耗。常态灌溉情况下泵站的运行要和渠道的过水能力协调一致，保持稳定的输水水位；当强降雨或者高水位运行时，需对泵站启停次序和流量分级进行调整以达到排水通道快速反应的目的。多工况水力协同机制有利于促进系统运行稳定性和水资源利用效率的提高，为高标准农田安全生产提供可靠保证。

3 小型泵站及灌排系统协同设计法

3.1 以水量平衡为基础提出了一种泵站规模最优计算方法

根据水量平衡原理对小型泵站规模进行优化时，要将灌溉需水量，排涝设计流量和区域水资源条件等因素作为核心约束条件，建立一个多时段，多场景水量平衡分析框架。通过考虑作物生育期内需水变化，降雨入渗及地表径流等过程，阐明了不同运行条件下净需提水量的变化规律，以合理地确定泵站装

机规模和单机流量分配。以此为基础介绍了灌排系统的组合工况，以避免单一极端工况造成规模冗余或者容量不足。将典型年，丰水年和枯水年的水量平衡计算结果进行比较分析，使泵站规模从安全性，经济性和运行效率等方面达到综合最优，为高标准农田灌排系统平稳运行提供了可靠的支持。

3.2 灌排渠系和泵站布置协同分配原则

灌排渠系和小型泵站协同调配，是高标准农田水资源有效开发利用的重要依据。渠系布局要受地形条件及农田分区等因素制约，构成层级分明，功能相互补充的灌排网，小型泵站作为关键调控节点内嵌于渠系布局中，从而缩短输水路径，减少能耗。调配过程中要协调好灌溉和排水的需要，合理设置泵站的服务范围和渠系断面的尺度，以免功能交叉或容量不大。通过统筹干渠，支渠和末级渠系之间的联系，实现泵站运行和水位调控之间的联动机制，可以提高系统对各种水文情景的适应能力。同时考虑农田规模扩展和长期运行维护需求有利于增强整体系统稳定性和可持续性。

3.3 满足多情景需求运行方式设计

以高标准农田为背景的小型泵站及灌排系统需要具有适应各种水文情景和生产情景能力。运行模式设计要考虑作物生育期内需水差异，降雨过程的不确定性以及极端气候事件等因素，并通过建立分级调度和动态切换机制来灵活切换灌溉和排涝功能。基于节水高效的常规灌溉场景，对泵站启停频率和输配水路径进行了优化设计；当出现强降雨或者内涝风险场景时，应优先确保排水能力并加强泵站的应急排涝功能。引入情景模拟和参数化控制方法可以提高系统在不同工况下响应的准确性和稳定性，提升整体灌排体系运行的安全性和适应性，从而为高标准农田持续有效利用提供操作支持。

4 高标准农田协同设计应用及优化

4.1 对典型地区协同设计方案进行适用性分析

典型地区协同设计方案将小型泵站和灌排系统集成在一起，达到了水资源高效配置和农田排涝能力同步增长。不同地形地貌和土壤条件下泵站的规模和布置方式对整个系统的水力性能有明显的影响。模拟多工况运行可以评价灌排渠系和泵站协同运行对灌溉均匀性，排涝效率和水能利用率的影响，并对方案适用性给出量化依据。研究表明：根据季节性降水的不同分布，作物需水规律和排水时序等特点，泵站选型和渠系布局得当能有效地减少水损失，提高灌溉覆盖率和系统应对极端气象事件能力等方面进行了研究，为高标准农田建设工作提供了可复制和可推广技术支持。

4.2 以节水节能为导向优化系统运行路径

建设高标准农田，节水节能目标已成为灌排系统优化设计的重要指导方向。系统运行优化要以灌排一体化水量动态调控为基础，以泵站流量和渠系水位协调匹配来达到灌溉供水和排

涝排水最佳平衡。考虑到不同作物生长阶段对水分需求的差异性，可以通过分区调度和阶段性蓄排策略在减少能耗的前提下提高水资源利用效率。将泵站高效运行曲线和可再生能源辅助供能模式相结合，可以使能耗最小化同时保证灌溉安全。采用智能监测及远程控制手段对泵站启停及闸门开度进行实时调整，对多工况及极端气象条件具有较强的适应性，增强了系统响应的灵活性及管理的精细化程度，为高标准农田的可持续发展奠定了坚实的基础。

4.3 长期运行维护和智能化管理的配套措施

长期的运行维护和智能化管理，是确保小型泵站及灌排系统平稳，高效运转的关键环节。通过制定科学巡检和维修制度可以及时发现管网泄漏，泵站设备磨损和控制阀异常情况，保证系统不断满足灌排需要。本文介绍了智能化监测及控制技术，通过物联网传感器进行水位，流量及泵站功率的实时采集，从而达到灌排过程动态调节及预警管理的目的，以提高水资源利用效率。同时对数据进行分析并挖掘历史运行模式，可以对

泵站启停策略以及渠道调配方案进行优化，减少能源消耗以及降低运行成本。本发明将远程控制平台和信息化管理手段相结合，能够实现多区域多泵站协同工作集中调度，从而为高标准农田连续生产提供了可靠支持，增强了系统韧性和智能化程度。

5 结论

小型泵站和灌排系统协同设计，可有效促进高标准农田水资源配置效率和作物生产保障能力。通过优化泵站规模，渠道布局和运行模式，可以实现灌排系统各工况水力协同并兼顾灌溉供水和排涝排水两方面要求。智能化监测及运行管理等技术的提出，在强化系统动态调控能力的同时，也显著地提高水能利用效率和运行可靠性。同时科学长期维护制度和数据驱动优化策略为该体系的持续、高效运转提供支持。总体来看该协同设计方法对于满足农田多样化水文需求，节约水资源，降低能耗以及提高管理水平等均有显著优势，可为高标准农田可持续发展建设提供技术保障和实践借鉴。

参考文献:

- [1] 楚贝,张杰,刘燕妮,等. 湖南省小型泵站现状调查与分析[J].湖南水利水电,2024,(06):87-88+92.
- [2] 廉洁. 基于能耗和效率计算的灌排泵站系统研究[J].黑龙江水利科技,2021,49(05):41-44.
- [3] 徐跃增. 小型灌排工程现代管理机制的研究[J].中国设备工程,2015,(08):58-60.
- [4] 辽宁省小型泵站改造项目进展情况[J].水泵技术,2014,(03):50.
- [5] 董波,仇宝云,彭辉,等. 小型灌排泵站系统能耗与效率计算[J].扬州大学学报(自然科学版),2013,16(03):70-74.