

旱作农田水利灌溉系统规划设计与效益分析

郑帅¹ 鲍磊² 张衡¹

1.上海市水利工程设计研究院有限公司；2.上海宏波工程咨询管理有限公司

DOI：10.32629/jpm.v7i9.9031

[摘要] 旱作农业区是我国粮食生产的重要板块，水资源短缺与降水时空不均长期制约着产能稳定。本文以旱作农田灌溉系统为研究对象，从水资源条件和作物需水特征出发，系统分析了水源选择与配置、灌溉方式适配、田间工程布局等规划设计技术要点，构建了涵盖经济效益、节水效益和生态效益的综合评价体系。研究表明，旱作农田灌溉应以集雨补灌和节水优先为核心策略，通过技术适配与规模适度的规划设计，可在有限水资源条件下实现显著增产增收效果。

[关键词] 旱作农田；灌溉系统；规划设计；节水灌溉；效益分析

Planning, Design, and Benefit Analysis of Irrigation Systems for Dryland Croplands

Zheng Shuai¹ Bao Lei² Zhang Heng¹

1.Shanghai Water Conservancy Engineering Design & Research Institute Co., Ltd.;

2.Shanghai Hongbo Engineering Consulting Management Co., Ltd.

[Abstract] Dryland farming regions constitute a crucial component of China's grain production system; however, water scarcity and the spatiotemporal unevenness of precipitation have long constrained the stability of production capacity. This study focuses on dryland farmland irrigation systems, beginning with an analysis of water resource conditions and crop water requirements, to systematically examine key planning and design considerations—including water source selection and allocation, appropriate irrigation methods, and field engineering layout—and establishes a comprehensive evaluation framework encompassing economic, water-saving, and ecological benefits. The research demonstrates that the core strategies for dryland farmland irrigation should be rainwater harvesting for supplemental irrigation and water-saving prioritization. Through tailored technical solutions and appropriately scaled planning and design, significant increases in both crop yield and farm income can be achieved under conditions of limited water resources.

[Key words] dryland farmland; irrigation system; planning and design; water-saving irrigation; benefit analysis

引言：

我国旱作农业区主要分布在北方和西北地区，耕地约占全国六成，是小麦、玉米等主粮和经济作物的主要产区。该区域多年平均降水量仅 300 至 600 毫米且年际变率大，作物生长关键期与少雨时段重叠，干旱缺水成为首要瓶颈。在农业用水总量控制和地下水超采治理持续加力的背景下，旱作农田须探索与水资源条件相适应的灌溉模式。本文立足旱作区自然禀赋和生产实际，探讨灌溉系统规划设计的核心问题与适用技术，并对方案综合效益进行分析，以期同类区域提供参考。

1 旱作农田灌溉系统的规划基础

1.1 旱作区的自然条件与灌溉需求特征

旱作区自然条件与南方稻作区或北方水浇地灌区有根本差异，决定了灌溉规划的基本方向。降水方面，多年平均降水

量偏低，年际变率大、年内分布不均，丰枯年可相差一倍以上，生长旺季降水集中但多暴雨，有效利用率不高。土壤以黄土、褐土和栗钙土为主，土层深厚但保水能力中等，持续无雨时水分迅速消耗。种植结构以小麦、玉米、马铃薯为主，冬小麦需水关键期在春季返青拔节，恰逢全年最干旱时段，春玉米需水关键期在夏季抽雄吐丝，虽与雨季重合但干旱年份仍需补灌。由此，旱作灌溉的核心定位应是关键期精准补水的补充灌溉，而非大规模全覆盖的充分灌溉。

1.2 旱作灌溉的核心理念与技术定位

旱作灌溉须确立“节水优先、集雨补灌、关键期保障”的核心理念，核心命题是“水从哪里来”和“水用在什么时候最有效”，把有限水资源用在作物需水最迫切、增产效果最显著的时段。技术定位上不以 95%以上高保证率为目标，而以 80%

左右为设计标准，允许枯水年份部分作物减产，以此换取工程投资的大幅降低。空间定位上不宜全面铺开，应将有限资源优先投向地势平坦、土壤肥力高、增产潜力大的优质耕地，形成集中连片的灌溉效益示范区。这一理念是后续规划的逻辑起点，所有技术方案的选择应以此为准^[1]。

1.3 旱作灌溉系统规划的关键参数

关键参数取值是否合理直接决定系统运行效果和经济性。灌溉保证率旱作区一般取 75%至 85%，不宜按 95%高保证率设计，否则工程规模过大、投资回收困难。灌溉水利用系数从水源到田间应不低于 0.75，其中输配水环节不低于 0.85、田间灌水环节不低于 0.90。灌水定额一般为每亩 30 至 45 立方米，灌水周期返青拔节期 10 至 15 天、抽穗开花期 7 至 10 天，全年灌水 2 至 4 次，总定额每亩 80 至 150 立方米。作物水分生产率应提升至每立方米产出 1.5 至 2.0 公斤粮食，显著高于传统漫灌的 1.0 公斤左右水平。

2 旱作农田灌溉系统的规划设计

2.1 水源选择与供水保障方案

旱作灌溉的水源选择需要根据项目区的具体条件因地制宜地确定，不宜盲目依赖单一水源。在地表水条件较好的区域，优先利用灌区上游水库的调节水量或中小河流的径流，通过修建引水渠或提水泵站将水引入田间调蓄池，再通过管道系统输送至各灌水单元。这类水源水质好、水量稳定、取水成本相对较低，是旱作灌溉最理想的水源形式。在地表水匮乏或引水距离过远的区域，可以考虑适度开采地下水作为灌溉水源，但必须严格控制开采量不超过区域地下水可开采量，井群布设间距不小于 500 米，避免造成地下水位持续下降。在既无地表水可用又不宜开采地下水的纯旱地区，集雨补灌是最现实的解决方案，通过修建集雨场、硬化路面集雨和坡面集水工程，将天然降雨收集储存于蓄水池中，在作物需水关键期实施有限面积的精准补灌。无论采用何种水源方案，都应在规划阶段进行水资源供需平衡分析，确保设计水平年内供水与需水在水量和时间上达到基本平衡。

2.2 灌溉方式选择与田间技术方案

灌溉方式的选择是旱作灌溉系统规划的核心决策之一，必须在综合考量水源条件、地形特征、作物类型和投资水平的基础上做出科学判断。对于水源相对充足、地块连片规整的旱作区，可以采用低压管道输水加田间软管灌溉的组合方式，管道系统将水输送至田间地头，农户通过移动式软管将水引至畦块进行沟灌或畦灌。这种模式每亩投资约 600 至 1000 元，灌溉水利用系数可达 0.85 以上，运行维护简便，适合目前旱作区的生产经营水平。对于水源紧缺、以集雨补灌为主的区域，应优先发展移动式喷灌或简易滴灌系统，将有限的水量以最高的效率送到作物根部，这种系统可以根据蓄水量的多少灵活调整

灌溉面积，丰雨年份扩大补灌面积、干旱年份集中保障核心地块^[2]。移动式喷灌机组每亩投资约 300 至 500 元，设备可在不同地块之间流转使用，具有很高的性价比。对于种植经济价值较高作物的地块，可以考虑固定式滴灌系统，虽然每亩投资达到 1500 至 2500 元，但节水增产的综合效益显著，投资回收期一般在 3 年以内。

2.3 田间工程布局与配套设施规划

田间工程的布局是否合理，直接影响灌溉的便利性、均匀度和劳动效率，规划中应给予充分重视。在管道灌溉系统中，主干管应沿田间道路或地边布置，支管垂直于耕作方向间隔布设，间距一般控制在 50 至 100 米，每个出水口控制的灌溉面积以 3 至 5 亩为宜，出水口间距不超过 50 米。出水口的高度应高于地面 20 至 30 厘米，方便农户连接软管，同时避免泥沙进入。在集雨补灌系统中，蓄水池应布置在地块的相对高处，利用自然高差实现自流灌溉，减少提水能耗，蓄水池容量按设计灌水定额和单次灌溉面积确定，一般每 100 亩配置 200 至 400 立方米的蓄水容量。田间配套的移动软管应以地块为单位配置，每 50 至 100 亩配置一套软管和连接件，软管长度根据出水口间距确定，一般每套配置 100 至 150 米。规划中还应在田间布设土壤墒情监测点，每 500 亩至少设置一处监测点，在作物主要生育阶段定期测定土壤含水量，为确定灌水时间和灌水水量提供依据。

2.4 典型旱作区规划方案示例

以北方典型旱作区为例，该区域年均降水量 450 毫米，主要作物为冬小麦和夏玉米轮作。规划方案确定以地表水引水为主、集雨补灌为辅的水源模式，利用灌区上游水库引水，建设容积 5000 立方米的调蓄池 1 座。灌溉方式选用低压管道输水加田间移动软管灌溉，铺设 PVC 主干管 3.2 公里、支管 6.5 公里，设置出水口 65 个，覆盖灌溉面积 800 亩。田间配套移动软管 1600 米，布设墒情监测点 4 处。规划总投资约 85 万元，亩均投资 1060 元，属于经济适用的技术方案。经测算，规划灌溉保证率达到 80%，灌溉水利用系数 0.82，设计灌水定额每亩 40 立方米，全生育期灌水 3 次，总灌溉定额每亩 120 立方米。

3 灌溉系统的综合效益分析

3.1 经济效益分析

灌溉系统建设的直接经济产出体现在作物产量的提升和种植效益的增加上。根据旱作区多年的灌溉试验和示范推广数据，在实施补充灌溉后，冬小麦亩产可由旱作条件下的 250 至 300 公斤提高到 380 至 450 公斤，增产幅度达 40%至 60%；夏玉米亩产可由 350 至 400 公斤提高到 520 至 600 公斤，增产幅度达 30%至 50%。以小麦—玉米两熟制计算，年新增粮食产量约 300 至 400 公斤/亩，按当前市场价格折算，新增农业产值约

600 至 900 元/亩, 扣除灌溉增加的投入(水费、电费、人工费约 80 至 120 元/亩), 年净增收收益约 500 至 800 元/亩。按规划覆盖面积 800 亩计算, 年新增净收益约 40 至 64 万元, 工程静态投资回收期约为 1.5 至 2.5 年, 具有显著的经济可行性。在旱作区扩大灌溉面积时, 边际效益递减的规律仍然存在, 因此灌水量的确定应以作物水分生产率的峰值区间为目标, 不宜单纯追求高产而过度增加灌水量。

3.2 节水效益分析

从水资源利用的角度看, 旱作灌溉系统的节水效益体现在单位水量产出的大幅提升上。规划方案实施前, 旱作农田依靠天然降水, 降水的有效利用率仅为 50%至 60%, 大部分降水以地表径流和无效蒸发形式损失。实施补充灌溉后, 灌溉水通过管道输送和沟灌、畦灌方式施用于田间, 辅以地膜覆盖和秸秆覆盖等保墒措施, 灌溉水的田间利用率可达到 90%以上。综合计算, 规划实施后灌溉水利用系数由现状的 0.50 左右提升至 0.82, 亩均灌溉用水量由传统漫灌条件下的 180 至 200 立方米降至 120 至 150 立方米, 节水幅度达 25%至 40%。在作物层面, 水分生产率(每立方米水生产的粮食产量)由旱作条件下的 0.8 至 1.0 公斤/立方米提升至 1.6 至 2.2 公斤/立方米, 实现了水资源产出效率的翻倍提升^[3]。

3.3 社会效益与生态效益分析

旱作灌溉系统的建设还具有广泛的社会效益和生态效益。在社会效益层面, 灌溉条件的改善使旱作农田摆脱了“靠天吃饭”的被动局面, 粮食产量稳定性显著提高, 农民收入有了更加可靠的保障。灌溉系统的建设运营还创造了一定的就业岗位, 施工期间可吸纳当地劳动力参与工程建设, 运行期间需要管护人员从事设施维护和水费收缴工作, 为农村剩余劳动力提供了就近务工机会。在生态效益层面, 管道输水替代土渠输水减少了输水过程中的渗漏损失, 客观上降低了灌溉回归水对地下水的补给量, 但这种影响在合理灌溉定额下是可控的。集雨补灌系统对天然降雨的拦蓄利用减少了地表径流对土壤的冲刷侵蚀, 保土保肥效果显著。灌溉条件下的作物生物量增加也意味着更多的根茬和秸秆还田, 有利于改善土壤结构、提高土壤有机质含量, 形成良性的农田生态循环。

4 规划方案的实施保障

4.1 科学论证与精准设计

旱作灌溉系统规划方案的科学性必须建立在充分的前期论证基础之上。规划编制阶段应开展详尽的水资源调查和供需平衡分析, 采用不少于 15 年的气象水文系列资料进行不同水文年型的供需模拟, 确保水源方案的可靠性。灌水定额、灌水周期和灌溉制度等关键参数应通过当地的灌溉试验数据或参照邻近区域的成熟经验确定, 不宜直接套用规范中的推荐值而不加修正。工程设计中应对管道水力损失、出水口压力和灌水

均匀度进行精确计算, 确保系统在运行时各出水点的流量偏差控制在允许范围以内。设计方案的比选应进行技术经济综合比较, 选择在节水效果、投资规模和运行成本之间取得最佳平衡的方案。

4.2 资金筹措与投入保障

旱作灌溉工程的建设资金应以公共财政投入为主, 充分发挥政府在公益性基础设施投资中的主导作用。县级政府应将旱作灌溉系统建设纳入高标准农田建设规划和水利发展规划, 积极争取中央和省级财政的专项资金支持, 按照“渠道不乱、用途不变、集中投入、形成合力”的原则统筹整合相关涉农资金。在投资标准上, 应根据不同灌溉方式的经济适用性合理确定亩均投资水平, 避免因争取更高额度的上级补助而盲目提高建设标准。在资金管理上应严格执行工程招投标制度和监理制度, 确保工程质量和资金使用的透明度^[4]。

4.3 建后管护与长效运行

旱作灌溉系统的长效运行依赖于健全的建后管护机制。规划阶段就应同步编制管护方案, 明确管护主体、管护经费来源和管护责任。在组织模式上, 小型旱作灌溉工程可采用“受益农户自行管护、村集体协调监督”的方式, 由使用灌溉设施的农户组成管护小组轮流负责设施的日常巡查和小修小补, 村委会负责协调解决较大故障的维修资金和组织维修力量。在水费收取方面, 旱作灌溉的用水量相对有限, 水费收入难以覆盖全部运行成本, 管护经费不足部分应由县级财政安排专项资金予以补贴。对于集雨补灌等季节性使用的灌溉系统, 应在非灌溉季节安排专人对蓄水池、管道和出水口进行维护保养, 防止冬季冻裂和杂物堵塞, 确保灌溉季节能够随时投入运行。

结束语

旱作农田灌溉系统规划必须立足于水资源总量有限、时空分布不均、经济投入薄弱等客观实际。本文在“有限水”与“稳产粮”的矛盾中寻求可行路径: 通过集雨补灌拓展水源, 通过管道输水和高效灌水技术提升用水效率, 通过精准控制灌水时间和水量实现每一方水的最大产出。效益分析表明, 适度规模的补充灌溉能够以较低投资获得显著增产增收效果。未来旱作区灌溉应在巩固现有成果基础上, 向精准化、智能化方向提升。

[参考文献]

- [1]夏鹏飞.农田水利灌溉工程规划设计与灌溉技术研究[J].科学与信息化, 2024(3): 151-153.
- [2]陈实.甘肃临夏州农田水利高效灌溉的系统性问题与治理路径[J].农业工程技术, 2026, 46(11): 85-86.
- [3]刘进.农田水利灌溉工程规划设计与灌溉技术研究[J].农业技术与装备, 2021(1): 77-78.
- [4]闫仕星.农田水利工程高效节水灌溉技术发展与推广分析[J].安徽农学通报, 2025, 31(16): 106-109.