

农业水利工程中节水灌溉技术的应用与发展趋势研究

马志文

宁夏修玮工程咨询设计研究院有限公司 宁夏 银川 750000

摘要：农业水利工程是保障粮食安全与农业可持续发展的基石，而节水灌溉技术是破解水资源约束的核心手段。本文聚焦农业水利工程中节水灌溉技术的应用与发展趋势，以宁夏地区为实践背景展开研究。界定节水灌溉技术的概念；分析滴灌、喷灌、微灌、渗灌等常见技术的系统构成与关键参数；重点探讨基于宁夏主要作物（小麦、枸杞、设施蔬菜等）和水资源条件（引黄灌区、干旱带、黄河滩区等）的具体应用模式，包括技术选型、参数设置及集成管理措施；最后展望技术向智能化、材料革新、集成化及生态友好型方向的发展趋势。研究为干旱半干旱地区节水灌溉技术的推广应用提供了实践参考。

关键词：农业水利工程；节水灌溉技术；应用；发展趋势

引言：我国西北干旱半干旱地区，如宁夏，农业用水占比超90%，水资源供需矛盾突出，传统灌溉方式效率低下，制约农业高质量发展。在此背景下，探究节水灌溉技术的应用模式与发展趋势具有重要现实意义。本文立足宁夏农业生产实际，结合当地作物类型与水资源特点，系统分析常见节水灌溉技术的应用场景，梳理集成管理经验，展望未来发展方向，为优化区域水资源配置、推动农业节水增效提供理论与实践支撑。

1 节水灌溉技术的概念

节水灌溉技术是指在农业生产中，通过科学调控灌溉过程、优化水资源配置，以最少水量消耗实现作物高产高效的技术体系。其核心目标是提高灌溉水利用效率，减少无效耗水，同时兼顾生态环境保护与经济效益平衡。从技术特性看，节水灌溉技术突破了传统漫灌的粗放模式，强调“按需供水”。通过精准感知土壤墒情、作物需水量及气象条件，结合工程措施与智能控制手段，实现水资源的定向输送与高效利用。该技术体系涵盖硬件设施与软件管理两个层面：硬件包括滴灌带、喷灌机、智能阀门等设备，软件则涉及灌溉制度优化、水肥一体化调控等技术方法。其内涵不仅限于“节水”，更包含对灌溉质量的提升。通过控制灌溉水量、时间及方式，调节土壤水、肥、气、热状况，为作物创造最优生长环境，实现“节水不减产、提质又增效”的综合效益^[1]。

2 农业水利工程中常见节水灌溉技术

2.1 滴灌技术

滴灌技术其核心原理是利用低压管道网络，使水流经过滴头时形成稳定的小流量，缓慢渗透至根区土壤，供作物吸收利用。从系统构成来看，滴灌系统主要包括

以下四部分。（1）水源工程负责提供符合水质要求的灌溉用水；（2）首部枢纽包含水泵、过滤器、施肥装置及压力控制设备，其中过滤器是关键组件，可有效防止泥沙、杂质堵塞滴头，常见类型有筛网过滤器、叠片过滤器和离心过滤器；（3）输配水管网由干管、支管和毛管组成，通常采用聚乙烯或聚氯乙烯管材，具有耐腐蚀、柔韧性强的特点；（4）滴头作为终端出水装置，其性能直接影响灌溉均匀性，按水流调节方式可分为压力补偿式和非压力补偿式，压力补偿式滴头通过内置弹性部件抵消管网压力变化，在地形起伏较大的区域能保持出水均匀。该技术的关键参数包括滴头流量（一般为1-10L/h）、工作压力（通常在50-300kPa）、滴头间距（根据作物行距和根系分布确定）以及湿润半径（与土壤质地相关，沙质土可达0.5-1m，黏质土约0.3-0.6m）。在设计时需根据作物种类、土壤理化性质及气候条件，合理匹配各参数，以确保水分精准送达根系活动层。

2.2 喷灌技术

喷灌技术原理是借助压力将水流转化为具有一定动能的射流，经喷头雾化后均匀覆盖作物冠层及地表，模拟自然降雨过程。喷灌系统按移动方式可分为以下三类。（1）固定式系统的水泵、管道及喷头均固定安装，通过阀门控制轮灌，适合灌溉频繁、地形复杂的区域；（2）半固定式系统中，干管固定而支管和喷头可移动，兼顾效率与灵活性；（3）移动式系统则整体可移动，适用于小面积地块或临时灌溉需求。喷头作为核心部件，按工作压力分为低压（< 100kPa）、中压（100-300kPa）和高压（> 300kPa），按喷洒图形可分为全圆喷洒和扇形喷洒，其结构参数（如喷嘴直径、旋转角度）直接决定喷洒半径和水量分布均匀性。技术运行中需重点控制喷

头组合间距、工作压力及喷洒强度。组合间距通常为喷头射程的0.8-1.2倍,以避免漏喷或重叠过多;喷洒强度需与土壤入渗率匹配,防止地表径流;雾化程度则根据作物生长阶段调整,幼苗期需较细雾滴,避免冲击损伤,成株期可采用中粗雾滴,减少蒸发损失。

2.3 微灌技术

微灌技术是介于滴灌与喷灌之间的精细灌溉方式,通过低压管道系统将水以微小流量喷洒或滴入作物根区土壤。微灌系统的核心组件包括以下微喷头、滴箭、流量调节器。(1)微喷头按喷洒方式可分为旋转式和折射式,旋转式通过水流驱动旋转部件形成圆形喷洒域,折射式则利用水流撞击折射片形成扇形或全圆喷洒,两者均能产生直径1-3mm的雾滴;(2)滴箭是一种微型滴灌装置,适用于盆栽或幼苗灌溉,流量可低至0.5L/h,能实现定点精准供水;(3)流量调节器通过限流结构稳定出水流量,确保在管网压力波动时各出水点水量均匀。

与滴灌相比,微灌的湿润范围更广,单个微喷头湿润直径可达1-3m,更适用于根系分布较广的作物;与喷灌相比,其工作压力更低(通常50-150kPa),能耗更小且雾化程度更易控制。技术设计中需根据作物株距确定微喷头布置密度,同时考虑风速对雾滴漂移的影响,一般在风速超过3m/s时需调整灌溉时段或采用防风型喷头。

2.4 渗灌技术

渗灌技术核心机制是利用土壤毛细管作用,使水分从管道周边向根系区扩散,实现“地下浸润”,减少地表蒸发和水分流失。渗灌系统主要由以下部分组成。

(1)输水管道多采用带孔波纹管或多孔陶瓷管,管壁开孔率需根据土壤渗透性确定,沙质土开孔率通常为1%-2%,黏质土为2%-3%,以避免局部积水或输水不畅;(2)渗头是增强局部渗水能力的装置,常见有陶土渗头和塑料渗头,陶土渗头利用自身多孔结构渗水,塑料渗头则通过侧壁狭缝出水;(3)首部控制装置需具备压力调节功能,工作压力通常控制在30-100kPa,防止压力过高导致管道破裂或渗流过快。该技术的关键参数包括埋设深度、管道间距及渗流速率。埋设深度需位于作物主要根系层上方10-30cm,既便于根系吸收又减少深层渗漏;管道间距取决于土壤水平渗透系数,砂土中间距可设为3-5m,黏土中缩小至1-2m;渗流速率需与土壤入渗能力匹配,一般控制在0.1-0.5m/h,通过调整管道压力或开孔密度实现调控^[2]。

3 农业水利工程中节水灌溉技术的具体应用

3.1 基于主要作物类型的节水灌溉技术应用

(1)宁夏引黄灌区的小麦、玉米等大田作物,普遍采

用大型平移式喷灌机与畦灌改良结合的模式。喷灌机单台控制面积多在50-200亩,灌溉时将喷头转速调至30-40转/分钟,水压稳定在0.2-0.3MPa,使水滴直径保持2-3毫米,避免冲击幼苗。在灌溉周期上,结合作物生育期,拔节至灌浆期实行8-10天轮灌,单次灌水量控制在35-40立方米/亩,通过管道压力传感器实时监测,确保各区域水量均匀性误差不超过5%。(2)枸杞作为特色经济作物,采用滴灌为主、微喷为辅的组合系统。滴灌带埋设于树冠投影边缘下方10-15厘米,间距2-3米,单株配置3个滴头,流量2-3升/小时,在花果期通过智能阀门实现每日凌晨定时灌溉,每次持续1.5-2小时。对于葡萄种植园,采用架式微喷系统,喷头安装在葡萄架内侧,距地面60-80厘米,喷洒角度30度,雾化颗粒直径1-2毫米,使叶片湿润度维持在65%左右,减少真菌病害。(3)设施蔬菜大棚中,番茄、黄瓜等作物多采用基质栽培配套潮汐式灌溉。栽培槽内水位升至基质表面下1-2厘米,保持30分钟后排出,使基质含水量稳定在70%-75%。叶菜类无土栽培则用NFT浅液流系统,营养液深度3-5厘米,溶解氧含量控制在6毫克/升以上,每日循环5次,每次25分钟,通过电导率传感器将营养液浓度维持在1.8-2.2mS/cm。

3.2 基于水资源条件的节水灌溉技术应用

(1)宁夏中部干旱带及南部山区,滴灌技术是节水核心。压砂地西瓜种植采用地埋式PE滴灌管,埋深25-30厘米以防风沙侵蚀,毛管间距与种植行距匹配为1.2米,滴头流量1.5-2升/小时,结合砂石覆盖减少蒸发,使灌溉水利用系数达0.9以上。扬黄灌区的玉米田,推广低压管道输水灌溉,支管埋深80-100厘米防冻胀,出水口间距50米,配套闸阀控制每组灌溉单元面积不超过20亩。(2)黄河滩区耕地多采用浅埋式滴灌与沟灌结合。滴灌带埋深10-15厘米,在作物苗期用滴灌补水,水量8-10立方米/亩;拔节后切换沟灌,沟深20厘米,每次灌水至沟深1/2处,通过垄沟侧渗湿润根系层,灌水周期10-12天。对于地下水超采区,井灌配套智能计量系统,当水位低于12米时自动切换为夜间灌溉,延长灌溉时间25%,同时将喷头雾化程度提高10%以弥补蒸发损失。(3)盐碱化耕地改良中,采用膜下滴灌淋盐模式。单次灌水量增至50-55立方米/亩,使水分渗透深度达90厘米,灌溉周期缩短至5天,通过土壤盐分传感器监测根区EC值,当超过3.0dS/m时启动专项淋盐程序。水稻种植区推广“浅-湿-干”间歇灌溉,插秧后保持3厘米浅水层,分蘖期至孕穗期干湿交替,落干至地表出现2厘米裂纹时补水,使根区含盐量控制在0.25%以下。

3.3 节水灌溉技术的集成应用与管理

(1) 水肥一体化在宁夏广泛应用,首部枢纽多采用文丘里施肥器串联80目过滤器。枸杞种植中,氮磷钾配比按3:1:2控制,肥料浓度0.8%-1.0%,灌溉流程为:先清水灌溉10分钟,再水肥混合灌溉35分钟,最后清水冲洗8分钟。玉米田则用压差式施肥罐,将尿素与磷酸二氢钾按比例溶解,通过比例泵控制浓度在0.6%-0.8%,随灌溉同步施用。(2) 智能化灌溉系统在大型农场普及,土壤墒情传感器埋深20、40、60厘米,当20厘米土层含水量低于田间持水量60%时自动启动灌溉。结合宁夏气象数据,当预报日降水量超8毫米时系统延迟灌溉,风速超过4m/s时降低喷头工作压力10%。控制终端采用PLC系统,支持远程设定轮灌组,单个轮灌组面积控制在30亩左右,灌溉数据每小时上传至云端服务器。(3) 灌溉系统维护遵循“春检秋修”制度,每年3月对管道进行打压测试,压力升至设计值1.2倍保持30分钟,检查接口渗漏情况。过滤器每周拆解清洗,黄河水源用120目滤网,井水用100目滤网。灌溉制度根据宁夏气候调整,4-5月春灌期缩短轮灌周期,7-8月伏旱期增加单次灌水量10%-15%,确保作物关键生育期水分供应^[3]。

4 农业水利工程中节水灌溉技术的发展趋势

节水灌溉技术正朝着智能化与精准化深度融合的方向发展,具体如下:(1) 通过物联网传感器实时采集土壤墒情、作物生理指标及气象数据,结合人工智能算法构建动态灌溉模型,实现“按需供水”的闭环控制。基于作物蒸腾系数与土壤含水量的耦合分析,自动调整灌溉时间与水量,使水利用效率提升。同时5G技术的应用将解决大规模农田灌溉的远程控制延迟问题,单系统可实现万亩级农田的精准调控。(2) 材料与设备的革新持续推动技术升级。新型纳米涂层滴头可减少结垢堵塞,使用寿命延长至8-10年;柔性复合管道兼具抗紫外线与

耐低温特性,适应复杂地形铺设需求。光伏提水系统与灌溉设备的集成,在光照充足地区实现能源自给,降低运行成本。模块化设计使设备安装周期缩短,便于小规模农户推广应用。(3) 技术集成与管理模式创新成为重要方向。水肥药一体化系统将灌溉、施肥与病虫害防治同步实施,通过可溶性药剂与营养液的协同输送,减少农药使用量。数字孪生技术构建的虚拟灌溉系统,可模拟不同气候条件下的灌溉效果,为制度优化提供精准依据。“合作社+技术服务商”的模式推动设备共享,降低单个农户的技术应用门槛。(4) 生态友好型技术研发加速推进。雨水收集与灌溉系统的结合,在半干旱地区实现雨水利用率提升;生态沟渠与灌溉尾水净化技术的集成,减少农业面源污染。基于作物-土壤-微生物协同作用的节水技术,通过改良根际环境,增强作物抗旱能力,在同等水量下可使产量提高。

结束语:节水灌溉技术在农业水利工程中的应用需立足区域实际,实现技术与作物、水资源条件的精准匹配。宁夏的实践表明,滴灌、喷灌等技术与当地作物类型、地理水文特征结合,可显著提升用水效率,特色作物与集成管理模式更凸显区域适配性。随着智能化与生态友好型技术的发展,节水灌溉将在保障产量的同时,进一步降低生态影响。

参考文献

- [1] 桂大洪.农业水利工程中节水灌溉技术的应用与推广研究[J].农业灾害研究,2025,15(3):232-234.
- [2] 张宏.农业水利工程中灌溉模式与节水技术应用探究[J].科技创新与生产力,2024,45(3):61-63.
- [3] 蔡邦科.高效节水灌溉技术在农田水利工程中的发展与应用[J].河北农机,2024(8):112-114.