

中型灌区低压管道灌溉系统的设计与优化： 基于节水效益的分析

周遥频

江西省九江市湖口县水利局

摘要：随着全球气候变化和人口增长对水资源的影响日益显著，中型灌区面临着水资源短缺和效率低下的问题。本文以中型灌区低压管道灌溉系统设计为研究对象，旨在解决该问题并提高农业生产效率。首先，通过全面评估灌区的水资源情况，包括水量、质量和季节性变化，为合理规划灌溉系统提供基础数据。其次，针对不同作物类型和土壤特性，通过精确的灌溉需水量计算，确保灌溉供水能满足各农田的需求，避免过度灌溉。在灌溉网络布局方面，采用主干管和支管相结合的方式，考虑灌区地形和作物种植布局，实现水源的高效、均匀供给。为进一步优化设计，本文提出了节水效益的策略。通过水量计量和监测技术，实时了解灌溉水量和土壤水分情况，结合互联网+技术，实现智能化控制和信息管理，从而精确调整灌溉水量，避免水资源浪费。同时，引入水肥一体化技术，将灌溉与施肥相结合，提高水肥利用率，减少养分流失。

关键词：低压管道；灌溉系统；节水效益

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.18.060

一、前言

随着全球气候变化和人口增长的影响，水资源短缺和水资源利用效率不高成为制约农业发展和粮食生产的主要问题。灌溉作为提高农业生产效率的关键手段，对于中型灌区而言尤为重要。中型灌区通常面积较大，涉及农田众多，土地利用状况复杂，而且灌区内作物的种类和生长情况也各异，对水资源的需求量有所不同。因此，在设计灌溉系统时，需要考虑到灌区的特点和差异性，合理规划灌溉网络，确保每一块农田都能得到充分的灌溉供水。

二、中型灌区低压管道灌溉系统设计

（一）灌区水资源与需水量分析

（1）灌区水资源评估

在该阶段，需要对灌区内的水资源进行全面的评估和调查，以了解灌溉水的来源、供应情况和季节性变化。

首先，进行水资源调查，包括对附近河流、湖泊、水库和地下水位的观测和记录。通过监测水资源的水量、水质和流量，可以初步了解灌区的水资源潜力和可利用程度。其次，需要考虑降水量和气候条件。通过历史气候数据和降水量记录，可以分析灌区的降水情况和气候特点。这对于确定灌溉水需求和季节性变化非常重要，特别是在干旱季节和高温季节，灌溉需求会增加。再次，还需考虑水资源的分配和供应情况。灌区的水资源可能来自不同的渠道，如水库、河流引水、地下水

等。在设计灌溉系统时，需要对水源进行合理的分配和规划，确保水资源能够满足灌溉需求，并避免浪费。最后，还要考虑水资源的可持续性和环境影响。在设计中，要注重节约用水和水资源的保护，避免过度开采水资源导致环境问题。可以采取节水灌溉技术，如滴灌、喷灌等，减少水资源的浪费，同时关注水土保持和环境保护，确保灌区的可持续发展。

（2）灌溉需水量计算

在这一阶段，需要准确地计算出灌区的灌溉需水量，以确保灌溉系统能够满足作物生长的水分需求。灌溉需水量的计算涉及多个因素，包括作物类型、土壤类型、气候条件等。

首先，需要了解灌区内主要种植的作物类型和面积分布。不同作物对水分的需求不同，因此在计算灌溉需水量时，需要根据不同作物的蒸腾量和生长季节来进行区分。同时，还要考虑不同作物的灌溉系数，即作物从灌水中实际吸收的比例。其次，要考虑灌区土壤的蓄水能力和排水条件。土壤类型直接影响着灌溉水在土壤中的保水和排水情况，从而影响作物对水分的利用效率。不同土壤类型的蓄水能力不同，因此在计算灌溉需水量时，需要考虑土壤的蓄水系数。再次，气候条件也是计算灌溉需水量的重要因素。气候条件包括降水量、蒸发量和蒸腾量等。通过测量和记录这些气候参数，可以计算出灌区的水分亏缺量，从而确定灌溉需水量。最后，还要考虑灌溉系统的输水损失和水浪费情况。灌溉系统中的管道和设备会存在一定的输水损失，因此在计算灌溉需水量时，需要将这部分损失考虑在内，确保实际供水量能够满足作物需水量。

（二）灌区低压管道网络布局

（1）管道输水方式和布置

在设计中，需要确定管道的输水方式和布置，以确保灌区内的灌溉水源能够高效、均匀地供给各个农田，其中应用较多的管道输水方式是采用主干管和支管相结合的布置方式。主干管是从灌溉水源（如水库、河流或地下水井）引出的主要输水管道，负责将水源输送到灌区的各个部分。支管则是从主干管分出的辅助管道，将水源引入到具体的农田进行灌溉。主干管和支管的设置要考虑灌溉水量和距离，合理划分灌区，确保水源能够覆盖整个灌溉区域。

在布置方面，需要充分考虑灌区的地形、土地利用和作物类型。管道应尽量沿着地势较为平缓的区域铺设，以减少管道的施工难度和运行阻力。同时，应根据作物的种植布局和灌溉需求，合理划分支管的长度和数量，保证每个农田都能得到充足的灌溉水源。另外，在

管道的布置过程中，还需要注意避免交叉和死角。交叉会增加管道的施工和维护难度，死角可能导致某些区域的灌溉不均匀，影响作物的生长。因此，在设计中应尽量避免管道的交叉和死角，确保灌溉水流的顺畅和均匀性。

(2) 管网分区与控制

在灌区低压管道灌溉系统的设计中，管网的分区与控制是为了更好地管理和利用灌溉水资源，确保灌区内各个分区能够得到合理的灌溉供水，并根据需要进行控制和调节。

首先，管网分区是将整个灌溉区域划分为若干个较小的灌溉区块的过程。这些灌溉区块通常根据土地利用类型、作物种植结构、土壤水分情况等因素进行划分。每个灌溉区块的灌溉需求和特点可能不同，因此将其划分为独立的分区，有利于分别进行供水计划和管网控制。这种灌区分区的设计使得灌溉系统能够更加精细化地对每个区块的灌溉进行调控，从而实现更高效的水资源利用。

其次，管网控制是指通过阀门、流量计等设备对灌溉管网的供水进行控制和调节。每个灌溉分区通常配备有相应的阀门和流量计，以便根据作物生长需水和土壤含水量等情况，灵活地调节和控制灌溉水的流量和供应时间。这种精确的控制手段可以减少水资源的浪费，避免过度灌溉，同时保证每个灌溉分区都能得到足够的水源供应，从而提高灌溉的效率和精确性^[1]。

(三) 灌溉设备选型与布置

(1) 水泵与控制系统

在灌溉系统设计中，水泵与控制系统是关键的部分，负责将水源从水库、河流或地下水井等地引入灌溉管网，实现对灌溉水的供应和控制。

首先，水泵的选型非常重要，需要根据灌溉区域的水源类型、用水量以及输水距离等因素进行合理选择。不同类型的水泵，如离心泵、涡轮泵和潜水泵等，具有不同的工作性能和适用范围。在设计中，要充分考虑灌溉区的水位变化和用水需求的动态性，确保选用的水泵能够满足灌溉系统在不同条件下的供水要求。

其次，水泵控制系统的设计是为了实现对水泵运行的自动化和智能化控制。自动化控制可以根据灌溉计划和灌溉需求，精确地控制水泵的启停和运行时间，避免过度灌溉和水资源的浪费。智能化控制则通过传感器和自动控制设备，实时监测和反馈灌溉水的需求和供应情况，从而实现对水泵运行状态的智能调节和优化。这种智能化的控制系统能够有效地节约水资源，提高灌溉的效率和准确性。

在水泵的布置方面，需要考虑其与灌溉管网之间的连接方式和布局。水泵通常位于灌溉区的水源附近，通过合适的管道和阀门与灌溉管网相连。合理的水泵布置可以减少管道的长度和压力损失，从而降低能源消耗，并确保灌溉水的稳定供应。

(2) 喷灌头和滴灌设备

喷灌头是一种喷射式的灌溉设备，它通过喷口将水

流以雾状或喷射状喷洒到农田中。喷灌头适用于覆盖面积较大的灌溉区域，可通过调节喷头的喷洒范围和角度，实现不同农田的灌溉需求。喷灌头的优势在于覆盖范围广，快速覆盖作物表面，适用于许多农作物的灌溉，如小麦、玉米等。在设计中，需要合理选择喷灌头的型号和数量，考虑灌溉区的地形和作物特点，以确保喷灌头能够均匀、高效地进行灌溉。

滴灌设备是一种滴水式的灌溉系统，它通过滴灌管将水滴滴落到作物的根部，减少水分蒸发和浪费，实现精确的滴灌作用。滴灌设备适用于灌溉水量较少、作物根系分布广的情况，如果树、蔬菜等。滴灌能够减少土壤表面的湿润程度，降低病虫害的发生，同时能够节约水资源，提高水分利用效率。在设计中，需要合理布置滴灌管网，保证滴灌器与作物根部的距离和滴灌流量的控制，以满足不同作物对水分的需求^[2]。

三、基于节水效益的优化设计

(一) 灌溉水量控制与调节

(1) 水量计量与监测技术应用

首先，水量计量技术是确保灌溉水量准确计量的关键手段。通过在灌溉系统中安装水表或流量计等计量设备，可以实时监测和记录灌溉水的用量。这样一来，灌溉管理者可以精确了解每个灌溉区域消耗的水量，从而实现精准浇灌。水量计量技术还能及时发现管道漏损或系统故障，有助于及早排查和修复问题，避免水资源的非必要损耗。

其次，水量监测技术的应用可以提供灌溉决策的参考依据。通过传感器等技术手段，实时监测土壤水分含量、作物水分需求以及气象因素等参数，对灌溉水量进行动态调节。当监测数据显示土壤处于干旱状态或作物需要水分时，灌溉系统可以自动启动，根据实际需求进行浇灌。相反，当监测数据表明土壤含水量充足或有降雨预报时，可以适时停止灌溉，避免过度浇水。这种智能化的灌溉水量控制与调节方式，可以有效地节约水资源，提高水资源利用率。

(2) 灌溉水量的动态调整策略

传统的固定灌溉水量往往无法适应作物生长的不同阶段和气候变化的影响，容易造成水资源的浪费或作物缺水。因此，采用灌溉水量的动态调整策略是非常必要的。

首先，灌溉水量的动态调整可以根据作物的生长需要进行灵活变化。在不同生长阶段，作物对水的需求量是不同的，若能根据作物的生长周期和需水量特点，科学合理地调整灌溉水量，就能避免不必要的水浪费，并保障作物的正常生长发育。其次，灌溉水量的动态调整也需要结合气象条件进行合理的决策。气象因素对灌溉水量有着直接的影响，如降雨量、温度、湿度等。通过灌溉系统与气象监测数据的联动，及时了解气候变化情况，可以进行灵活调控，避免在雨水充沛时进行无效灌溉，减少浪费；而在干旱炎热时，根据实际情况增加灌溉水量，确保作物的生长需水^[3]。

(二) 灌溉排水与水肥一体化

(1) 土壤水分监测与灌溉调度

灌溉排水与水肥一体化是指将灌溉和排水与施肥相结合,通过科学合理地调控水肥供应,实现高效的水肥利用和灌排协调。在实际操作中,通过灌溉水量的精确控制和排水系统的合理规划,可避免过度灌溉造成的水分浪费,并确保灌溉水和施肥充分渗透到作物根区,避免水肥流失,提高水肥利用率。此外,合理的排水系统还可避免土壤中盐分和有害物质的累积,保证土壤的良好结构和肥力,有利于作物的生长发育。

土壤水分监测与灌溉调度是实现灌溉排水与水肥一体化的关键手段。通过在灌区内布设土壤水分监测设备,实时监测土壤水分含量和作物的水分需求,可以精确了解土壤水分状况,为灌溉调度提供科学依据。根据土壤水分监测数据,灌溉系统可以智能化地进行灌溉调度,根据作物的实际需水情况,调整灌溉水量和灌溉频率,避免过度灌溉和不足灌溉的问题,实现精准浇灌。同时,土壤水分监测还可以及时发现土壤干旱或积水等异常情况,并及时采取措施进行调整,保障作物的正常生长。

(2) 水肥一体化技术在灌区的应用

水肥一体化是将灌溉和施肥有机结合,通过科学调配灌水和施肥的时间、剂量和方式,实现水肥的高效利用,提高作物产量和品质,同时减少水和肥料的浪费,达到节水和节肥的目的。

在应用水肥一体化技术时,首先需要进行土壤测试和作物需水需肥分析,了解土壤的养分含量和作物的生长需求。然后,根据测试结果和需求分析,合理选择适宜的灌溉水量和施肥剂量,确保水肥供应与作物需求相匹配。此外,还要考虑土壤的肥力特点和作物的生长周期,因地制宜地制定水肥一体化的施肥方案,使其与作物的生长发育阶段相适应。

在灌区的实际操作中,可以采用多种水肥一体化技术,如滴灌、喷灌、微喷等灌溉技术与控释肥、液体肥等施肥技术相结合。这些技术能够精准地将水和肥料输送到作物根区,减少水肥流失,提高利用率,同时避免了传统灌溉施肥中可能存在的水肥冲突问题。此外,还可以采用现代化的自动控制系统,根据土壤水分和养分的监测数据,实时调节灌溉和施肥设备,实现智能化、精准化的水肥管理^[4]。

(三) 智能化控制与信息管理

(1) 互联网+在灌溉系统中的应用

互联网+技术将传感器、物联网、云计算和大数据等先进技术与灌溉系统相结合,实现了对灌溉过程的全面监测、数据采集和远程控制。

首先,通过在灌溉区域布置各类传感器,可以实时监测土壤含水量、气温、湿度等环境信息,以及灌溉设备的运行状态。这些数据通过物联网技术传输到云平台,进行集中管理和存储。其次,利用云计算和大数据分析技术,可以对大量实时采集的数据进行分析和处理,从而提供全面的灌溉决策支持。例如,通过对土壤含水量和气象条件的分析,可以预测灌溉水需求,并制

定智能化的灌溉计划。同时,还可以根据作物的生长情况,调整水泵和灌溉设备的运行参数,实现精准供水和智能化控制。最后,互联网+技术还为农民和管理者提供了方便快捷的信息服务。通过手机App或Web界面,农民可以随时了解灌溉系统的运行状态和作物生长情况,同时接收系统的智能提醒和报警信息。管理者可以通过云平台实现对整个灌溉系统的集中管理和监控,进行远程调控和数据分析,从而及时发现问题并采取措施,提高系统的运行效率和节水效益。

(2) 数据分析与决策支持

通过对灌溉系统收集的大量数据进行深入分析,可以获得有价值的信息,为决策提供科学依据,进一步提高灌溉水利用效率和节水效益。

数据分析是通过运用统计学、机器学习和人工智能等技术,对灌溉系统采集的多源数据进行处理和挖掘,从中找出规律和关联,发现问题和优化的潜力。例如,利用数据分析可以研究不同作物对水分的需求,根据土壤含水量和气象数据预测灌溉需求,优化灌溉计划和供水策略。同时,还可以监测灌溉设备的运行状态,进行故障诊断和预测性维护,降低设备故障率,提高灌溉系统的稳定性和可靠性。

决策支持是在数据分析的基础上,结合灌溉系统的实际情况和目标,为管理者提供科学决策的建议和方案。通过数据分析,可以得出关键的决策指标和优化方向,比如调整灌溉水量、优化水泵运行参数、改进灌溉设备布置等。同时,智能化的决策支持系统能够对不同的灌溉方案进行模拟和评估,预测其效果并提供相应的风险分析,帮助管理者做出更加科学和明智的决策^[5]。

四、结语

综上所述,中型灌区低压管道灌溉系统的设计与优化是为了应对当前水资源短缺和水资源利用效率不高的问题,同时也是为了实现农业可持续发展和节水效益的最大化。通过科学合理地规划灌溉网络,采用适宜的灌溉设备选型与布置,结合节水效益的优化设计,中型灌区低压管道灌溉系统将为灌区农业生产带来巨大的经济和社会效益。因此,对该领域进行深入研究和探索,对于推动农业现代化、促进农民增收和农业可持续发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 李方园.上海市粮田低压管道灌溉系统实施效果与关键技术探讨[D].扬州大学,2020.
- [2] 樊铭京,吴德华,王爱军,陈祥磊,马树升.低压管道灌溉系统中专用水力驱动控制阀的研究与应用[J].山东农业大学学报(自然科学版),2017,48(02):226-228.
- [3] 沈利勤.渠灌区低压管道输水灌溉系统技术要点探讨[J].浙江水利科技,2015,43(03):38-40.
- [4] 李丽娟.谈低压管道灌溉系统的运行管理[J].黑龙江科技信息,2013,(13):168.
- [5] 董全祥.浅析石头河水库灌区低压管道灌溉系统的运行及管理[J].陕西水利,2012,(03):151-152.