

沙区太阳能智能控制滴灌系统应用研究

梁占岐¹, 陈晓东², 张铁钢¹, 珊 丹¹

(1. 水利部牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020;
2. 正镶白旗水土保持工作站, 内蒙古 锡林郭勒盟 003800)

摘要: 库布齐沙漠地处内蒙古西部, 太阳能资源十分丰富, 但本区域降水稀少, 水资源十分短缺。因此, 利用太阳能电池板将光能转化成电能, 作为供给灌溉系统的动力电源, 同时通过采用智能控制技术, 结合作物需水特性、土壤特征与节水灌溉技术等实行按需的、适时的、精确的智能灌溉控制, 可以有效提高有限水资源的利益效率。以灌溉水源出水量为约束条件, 通过核定灌溉面积及系统总用电需求, 最终确定太阳能光伏系统的总容量。同时, 设计了一套循环控制的精准灌溉控制系统, 研制了土壤水分传感器、水泵与电磁阀控制仪及灌溉监测控制仪, 实现了土壤含水率的自动监测与作物灌溉智能化、精确化、节水化、环保清洁的发展趋势, 具有一定的推广价值和应用前景。

关键词: 沙区; 太阳能; 智能控制; 滴灌系统

中图分类号: S275.6 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839 (2017) 11-0051-04

Study on the application of solar energy intelligent control drip irrigation system in desert zone

LIANG Zhanqi¹, CHEN Xiaodong², ZHANG Tiegang¹, SHAN Dan¹

(1. *Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Hohhot 010020, Inner Mongolia*; 2. *Soil and Water Conservation Work Station of Zhengxiangbaiqi, Xilin Gol League, 003800, Inner Mongolia*)

Abstract: Kubuqi Desert is located in the western Inner Mongolia, where the solar energy resources are abundant, but the precipitation in this area is scarce and water resources are scarce. Therefore, using solar panels to convert solar energy into electrical energy as the power supply of irrigation system, at the same time through the use of intelligent control technology, combined with the characteristics of crop water requirement, soil characteristics and water-saving irrigation technology to implement on-demand, timely and accurate intelligent irrigation control could effectively improve the efficiency of limited water resources. Taking irrigation water output as the constrain condition, the total capacity of solar photo-voltaic system was finally determined by checking and ratifying the irrigation area and the total power demand of the system. Meanwhile, a set of circulation control precision irrigation control system was designed, a soil moisture sensor, water pump and the electromagnetic valve control device and irrigation monitoring controller were developed, the automatic monitoring of soil moisture and crop irrigation intelligent, accurate, water-saving, environmental protection and clean development trend would realize, which had certain popularization value and application prospect.

Key words: desert zone; solar energy; intelligent control; drip irrigation system

收稿日期: 2017-09-21

基金项目: 国家科技支撑项目——沙漠化修复工程技术研发与集成 (2015BAC06B01)

作者简介: 梁占岐 (1962-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事干旱、半干旱地区节水灌溉与生态环境保护方面的研究工作。

0 引言

随着传感器技术、计算机技术和自动控制技术的不断发展,灌溉控制逐渐摆脱了传统的灌溉模式,即定期为大田灌溉,逐步转向传感器采集和应用为主,减少人为主观因素^[1]。有线测控系统可以根据监测土壤墒情信息,实现实时定量控制灌溉时间和水量^[2-3],不但可以提高灌溉用水用肥利用率,为农作物生长提供最优的生长环境,也可以有效缓解缺水地区水资源日趋紧张的矛盾。

库布齐沙漠地处内蒙古西部,降水稀少,水资源十分短缺。但本区域有着丰富的太阳能资源,太阳能总辐射量在 1510 ~ 1740 kWh/(m²·a) 之间^[4]。因此,利用太阳能电池板将光能转化成电能,作为供给灌溉系统的动力电源,同时通过采用自动控制技术,结合作物需水特性、地理环境、土壤特征与节水灌溉技术等实行按需的、适时的、精确的智能灌溉控制,具有较好的发展前景。

1 研究区概况

研究区位于库不齐沙漠腹地亿利资源集团沙漠生态循环产业园区,行政区划属内蒙古杭锦旗独贵塔拉镇。本区气候特征属于典型的中温带半干旱高原大陆性气候,太阳辐射强烈,日照较丰富,多年平均日照时间为 3193 h;干燥少雨,多年平均降水量 245 mm,60% 集中在 7 ~ 9 月,多年平均蒸发量 2720 mm;风大沙多,年平均风速 3.0 m/s,最大风速达 28.7 m/s,无霜期 150 d。自然地貌以流动、半流动沙丘为主,北部因其靠近黄河,地下水位较高,水质较好,可作为灌溉水源。

2 技术方案及系统组成

研究区地处半干旱沙漠区域,降水稀少,水资源短缺。因此,要以节水灌溉为主要技术手段,使有限水资源得到充分利用。总体方案为:根据种植作物品种及种植方式确定灌溉形式;由水源井出水量确定可灌溉面积,并确定灌溉系统管网布置方式;根据水源井动静水位(或吸程)、管网末端灌水器最低压力要求、管网水力损失确定灌溉系统最低功率;确定监测方式及控制系统用电需求;最终确定太阳能光伏系统的总容量。因此,本文所研究的太阳能智能控制滴灌系统主要包括:地

面灌溉系统、控制系统、电源系统等 3 个部分。图 1 为小型太阳能智能控制灌溉系统的结构框架图。

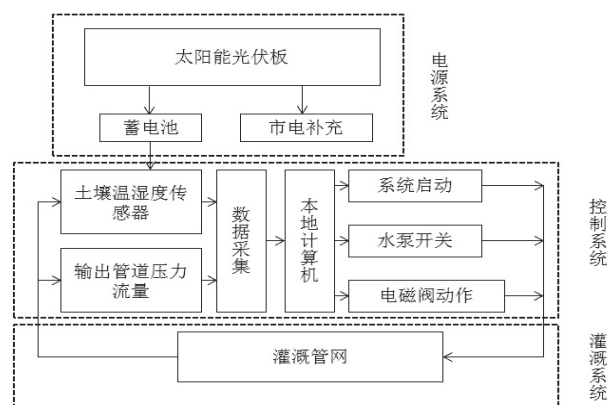


图 1 小型太阳能智能控制灌溉系统结构框架图

3 地面灌溉系统

3.1 灌溉方式的选择

根据试验区水源条件、种植物品种、种植方式,参照节水灌溉工程技术规范^[5]要求,灌溉方式选择地面滴灌形式。

3.2 灌溉面积核定

根据微灌工程技术规范^[6],在水源供水流量稳定且无调蓄时,可用下式确定滴灌面积:

$$A = \eta Q t / 10 I_a (1) I_a = E_a - P_o \quad (1)$$

式中:

- A—可灌面积, hm²;
- Q—可供流量, m³/h;
- I_a—设计供水强度, mm/d;
- E_a—设计耗水强度, mm/d;
- P_o—有效降雨量, mm/d;
- t—水源每日供水时数, h/d;
- η—灌溉水利用系数。

试验区水源井出水量 5.0 m³/h; 种植作物品种为甘草与红枣间作, 5 行甘草 1 行红枣, 行距 1 m, 设计耗水强度 4.5 mm/d; 刘伟、吴永忠等^[7]研究认为太阳能光伏 1 d 的高效工作时间为 6 ~ 7 h。因此, 水源设计供水时数 6 h/d; 其他参数按照规范选取, 确定试验区面积 80 m × 70 m。

3.3 管网布置

滴灌系统采用如下结构:

水源(井水加压)→计量装置(流量计、压力表)→离心式过滤器→施肥罐(施肥控制装置)→网式过滤器(排砂控制装置)→干管(地理 PE 管)

→支管(地面 PE 黑管)→滴灌带(毛管)。

输配水管网采用主干管支管、毛管(滴灌管)的 3 级管网结构, 支管进口设置电磁阀, 1 条支管与其控制的毛管构成 1 个灌水小区。

管道系统中, 根据试验区的具体形状, 滴灌管与支管成正交布置, 支管与干管成平行布置, 试验区田块较为平整, 地形坡度较小, 管路均采用单向布置, 滴灌管沿种植方向(南北向)直线铺设; 支管垂直毛管, 东西向布置, 干管埋设在地下。见图 2。

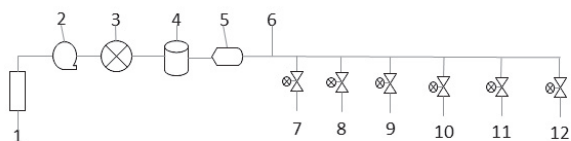


图 2 灌溉系统管网结构示意图

注: 1. 水源井; 2. 加压泵; 3. 流量计; 4. 过滤器; 5. 施肥罐; 6. 主管道; 7—12 轮灌小区(含电磁阀及滴灌毛管)

3.4 滴灌系统总功率确定

滴灌系统的总功率可以通过推算系统的设计扬程及设计流量, 从而确定水泵型号及配套电机功率。

系统设计扬程按下式确定:

$$H=Z_p-Z_b+ho+\sum h_f+\sum h_j \quad (2)$$

式中:

H —滴灌系统设计扬程, m;

Z_p-Z_b —典型毛管进口与水源设计水位之间的高差, m;

ho —典型毛管进口的设计水头, m;

$\sum h_f$ —水泵至典型毛管进口的沿损之和, m;

$\sum h_j$ —水泵至典型毛管进口的局损之和, m。

根据试验区实际情况及滴灌系统总体布置, 核定滴灌系统电机的总配套功率为 2.2 kW。

4 控制系统

控制系统总体上由 4 个部分组成: 检测部分、控制部分、功能设定部分、工况显示部分。检测部分主要是检测土壤水分与温度, 并对检测结果数据进行处理; 控制部分主要是判断作物缺水状况, 并给出灌溉控制信号; 功能设定部分主要是设定判断作物缺水参数值和灌溉方式; 工况显示部分主要是显示土壤水分和温度检测结果及当前控制仪工作状态。

4.1 土壤墒情监测

土壤水分是智能控制主要监测的土壤参数, 同时, 考虑到土壤温度对作物生长及灌溉都有影响, 也需要对土壤温度进行监测。因此, 土壤墒情监测设备的主要工作就是对土壤水分和温度进行监测, 并根据土壤水分传感器与温度传感器传送的当前土壤水分与温度信息进行判断, 在适宜浇水的温度范围内, 若土壤处于缺水状态, 就给出需要灌溉信号, 若是土壤不缺水就给出不需要浇灌或是停止浇灌的控制信号。本试验采用 PH-TRSQ 型土壤墒情监测设备, 配置 5 个探头, 分层布设在 10 ~ 50 cm 的不同深度^[8], 便于实现作物不同生育期按需精确灌溉, 达到节水灌溉的目的。

4.2 灌溉控制

灌溉控制包括 2 个部分, 即: 灌溉设备控制和灌溉方式控制。灌溉设备主要包括水泵的启闭、轮灌小区电磁阀开启及电磁流量计, 本地计算机接收到监测信号后通过交流继电器控制灌溉输水设备的开启与关闭; 灌溉方式控制采用土壤水分上下限与延时灌溉相结合的方式, 即当监测设备检测到土壤水分小于下限值时, 表示作物缺水, 控制设备给出控制信号开始浇水。计算机根据作物不同生育期计划湿润层深度, 在后台计算出其灌水定额, 并依据灌水器的流量计算出 1 次灌水的灌水历时。当本轮灌小区浇水时间达到后, 自动切换到下一个轮灌小区。

5 电源系统

受试验经费所限, 本试验电源系统中控制柜、本地计算机、土壤温湿度监测设备、电磁阀用电由市电补充, 380V 灌溉水泵用电由太阳能光伏板提供。

5.1 光伏系统容量确定

光伏系统设计时需要考虑其容量。计算光伏系统的容量^[9]需要掌握当地的气象、环境情况和系统的用电情况。在这两者的基础上综合考虑, 选择合适的元器件, 保证用电设备正常工作的基础上降低成本。

试验区太阳能年均辐射量 1620 kWh, 峰值日照时数 3.45 h, 光伏系统总效率取经验值 0.628, 则太阳能光伏面板容量与负载耗电总功率的关系如下:

$$P_o = \frac{Q}{H\eta} \quad (3)$$

式中:

P_o —标准状态下太阳能光伏电池阵列的输出功率, kWp;

Q —负载耗电总功率;

H —峰值日照时数;

η —光伏系统总效率。

经计算, 本试验区需要的太阳能光伏电池阵列的输出功率为 2.64 kW。

5.2 太阳能光伏板的选择与配置

根据计算出的太阳能光伏电池阵列的容量, 确定需要的太阳能面板的数量。同时, 为了用电安全可靠, 取安全系数 1.2, 故选择峰值功率 100 W 的太阳能面板 32 枚。

6 智能滴灌系统工作过程

计算机按照设定好的时间间隔, 通过数据线向土壤水分监测设备发送数据采集请求, 土壤水分监测设备对监控计算机的请求进行分析, 并通过总线向相应的土壤水分传感器发送数据采集命令, 土壤水分传感器采集土壤含水率数据, 然后通过总线将数据返回给灌溉监测控制器, 再由灌溉监测控制器返回给监控计算机, 监控计算机按照控制算法对土壤含水率数据与设定的土壤水分上下限作分析对比处理, 并根据处理结果向灌溉监测控制器发送水泵启闭及电磁阀阀门开关请求, 经灌溉监测控制器向水泵及阀门控制器发送启闭水泵和开关阀门的控制命令, 水泵和阀门控制器根据控制命令控制水泵启闭和阀门的开关状态, 并将相关信息经由灌溉监测控制器返回给监控计算机, 周而复始构成一个循环控制的智能控制灌溉系统。

7 智能滴灌系统运行测试

本研究将试验区划分为 6 个轮灌小区, 选择 1 号轮灌区作为典型, 在轮灌小区前部和尾部分别布置 1 台土壤水分监测设备, 分层 (10 ~ 50 cm) 水平插放土壤水分传感器。

滴灌系统的控制目标是: 使作物主要根系层 (即灌溉计划湿润层) 中土壤的含水率稳定在所设灌溉阈值附近。试验区位于库不齐沙漠, 土壤质地为砂土, 土壤田间持水率^[10]为 10, 土壤水分

上下限按田间持水率的 90%、60% 设定。为了使太阳能光伏保持在高效工作区, 以上午 9:00 作为时间节点。通过 2016 ~ 2017 年灌溉季节的运行显示, 太阳能光伏发电与水泵运行工况匹配良好, 未出现能源动力不足情况; 采用土壤水分上下限与延时灌溉相结合的方式, 土壤水分测试数据与设置数据最大误差均小于 3%, 说明该系统数据获取和传输准确可靠, 可以正常工作, 保证灌溉系统的可靠运行; 同时也说明本系统可以将土壤中的含水率控制在灌溉设定值附近, 既保证作物正常生长所需要的水分环境, 又不至于出现过量灌溉现象, 提高了灌溉水利用效率。

8 结语

本文利用太阳能为滴灌系统提供主要能源, 设计了一套循环控制的精准灌溉控制系统, 研制了土壤水分传感器、水泵与电磁阀控制仪及灌溉监测控制仪, 实现了土壤含水率的自动监测与作物灌溉智能化、节约化、精确化、环保清洁的发展趋势, 并且系统运行稳定、操作简单、使用方便、效率高、应用成本低, 具有一定的推广价值和应用前景。

参考文献:

- [1] 董波, 魏新平. 太阳能应用节水灌溉发展现状与发展趋势[J]. 中国农村水利水电, 2014 (07): 27-30.
- [2] 卢泽民, 杜铮, 张唐娟, 等. 小型太阳能灌溉系统设计[J]. 中国农机化学报, 2015, 36 (4): 253-256.
- [3] 匡秋明, 赵燕东, 白陈祥. 节水灌溉自动控制系统的研究[J]. 农业工程学报, 2007 年, 23 (6): 136-139.
- [4] 朱俊峰, 王世锋, 曹亮. 太阳能微喷灌溉试验分析[J]. 中国农村水利水电, 2016 (1): 62-64.
- [5] GB/T 50363—2006, 节水灌溉工程技术规范[S].
- [6] GB/T 50485—2009, 微灌工程技术规范[S].
- [7] 刘伟, 吴永忠, 刘惠敏, 等. 太阳能光伏提水节水灌溉技术[J]. 节水灌溉, 2004 (5): 49-50.
- [8] 孙凯, 王一鸣, 杨绍辉. 墒情监测取样方法的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20 (4): 74-78.
- [9] 施玉川, 太阳能光伏发电动力系统的设计研究[J]. 西安交通大学学报, 1997, 29 (1): 65-68.
- [10] 陈晓燕, 叶建春, 陆桂华, 等. 全国土壤田间持水量分布探讨[J]. 水利水电技术, 2004, 35 (9): 113-119.

(责任编辑: 王宏伟)