

轻便材质中心支轴式喷灌机关键技术研发

李仰斌¹, 谢崇宝¹, 张国华¹, 鲁少华², 史少培³, 谢瑞环⁴

(1. 中国灌溉排水发展中心, 北京 100054; 2. 北京中灌绿源国际咨询有限公司, 北京 100054;
3. 河海大学, 南京 210098; 4. 中灌润茵(北京)节水灌溉设备有限责任公司, 北京 101302)

摘要:轻便材质中心支轴式喷灌机, 包括能绕其旋转的中心支座、旋转臂上的塔架车、末端悬臂和电控同步系统, 装有喷头的多个桁架, 它们彼此柔性连接, 以适应坡地行走作业, 这些跨度达几十米彼此相连的桁架被支撑在若干塔架车上, 配置的电控同步系统启闭与驱动塔架车上电机和行走轮; 位于中心支轴座的上方装置有一块大型太阳能板, 它连接着安置在该中心支轴座上的可充电电源装置, 该装置另一端连接到供水井泵, 并通过输水主管连接到装在桁架各支点的喷头上。本设备能依靠太阳能自动行走, 节省能源, 结构轻巧, 维护环保, 移动便捷, 成本低廉。

关键词:轻便材质; 太阳能; 大型喷灌设备; 中心支轴式喷灌机

中图分类号: S275.4 **文献标识码:** A

1 研发目的

一是解决能源供应不足的需要。20世纪50年代初, 美国人发明了中心支轴式喷灌机(亦称圆形喷灌机), 至今已近半个世纪。当时美国科技界称圆形喷灌机为自从拖拉机取代耕畜以来意义最重大的农业机械发明。中心支轴式喷灌机亦称为圆形喷灌机, 绕轴旋转时形成圆形喷灌面而得名, 它是一种自动化程度很高的节水灌溉设备, 也是最大的农业机具之一^[1]。中心支轴式喷灌机, 按行走驱动力可分为水力驱动、液压驱动和电力驱动等圆形喷灌机, 其中电力驱动圆形喷灌机在国内外被广泛使用。但是针对我国大部分偏远地区还处于十分贫穷落后的状态, 能源供应不足。因此将太阳能应用于民生领域建设就成为十分必要的举措。

二是避免生产过程污染环境的需要。中心支轴式喷灌机灌溉大田作物有节水、节能、节地、省工、增产、适应性强等优点, 几乎适用于灌溉各种质地的土壤, 以及各种大田作物、经济作物和牧草等。在我国大田作物灌溉中的应用是为了扩大单机控制面积, 解决大块农田和草场所存在的生产效率低、劳动强度大、单位面积投资成本高的问题而发展起来的, 如今已经走过了20多年的历程, 目前在黑龙江、吉林、内蒙古、甘肃、新疆、河北、山东、北京、安徽等省(市、自治区)应用较多。我国目前应用的时针式大型喷灌机既有进口机型也有国产的机型, 其

中进口机型主要有维蒙特(Valmot)、瑞克(Reinke)、林赛(Lindsay)、伊尔(Irrifrance)、保尔(Bauer)公司的产品, 国产的有河北沧州华雨、北京现代农装、宁波维蒙圣菲等公司的产品。在已有生产技术中, 为使有一定强度的钢制水管在长期运作过程中不易生锈, 大多数大型喷灌机上的金属零部件采用热浸镀锌钢材制作而成, 这种制作工艺虽然具有耐酸碱腐蚀、设备使用寿命长等优点, 但热浸镀锌工艺流程对环境会造成较大污染, 环境成本高。因此解决生产过程中的污染环境问题, 寻找替代材质是一条形成有效的途径。

三是满足移动灵活便于使用的需要。现有的中心支轴式喷灌机机体重量庞大, 在田间灌溉过程中, 当移动与装卸这种设备时, 既费时又费力, 适合大面积地块的灌溉状态, 难以满足目前我国大多数情况下以小地块为单元的灌溉需求。因此, 为了适应国内的现有状况, 开发一种便于移动安装的轻便型材质的机体设备, 而且制造过程不污染环境, 其建造成本比较低的大型喷灌设备。又由于采用铝合金等轻质材料制造喷灌系统, 不仅环保而且质量轻, 使太阳能驱动中心支轴式喷灌系统成为经济可行的选择。

2 设计方案

2.1 设备构成

传统中心支轴式喷灌系统多数是由电力驱动或液压驱动

收稿日期: 2014-04-02

基金项目: 水利部公益性行业科研专项“自驱动多功能高效节水灌溉关键设备研发”(201301010)。

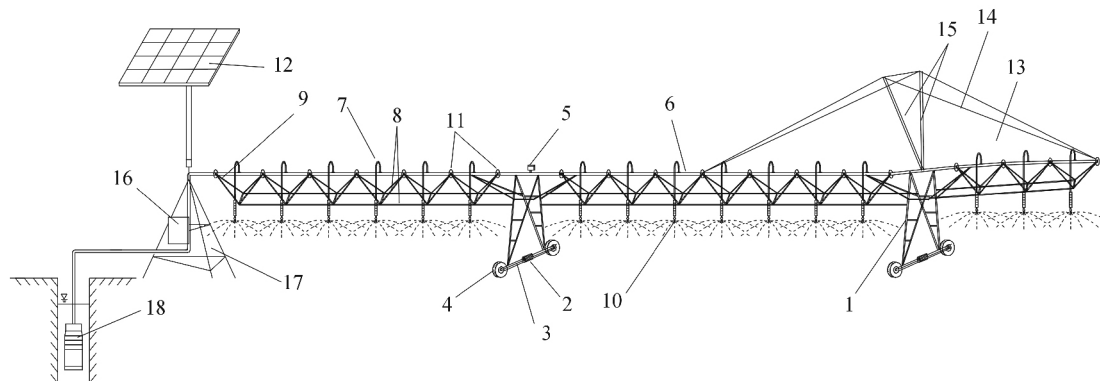
作者简介: 李仰斌(1957-), 男, 教授级高级工程师, 从事农田水利与饮水安全方面的研究。E-mail: liyangbin@mwr.gov.cn。

通讯作者: 张国华(1980-), 男, 高级工程师, 从事农业水土工程方面的研究。E-mail: zgh311133@163.com。

等作为动力的来源,因此对于电力、水力不足的能源匮乏地区使用该设备时需要重点考虑能源供给问题。针对现有中心支轴式喷灌系统大多应用在我国东北、西北和华北地区,这些地区的光照资源丰富,将太阳能作为系统能源以弥补能源不足是可行的。

如图1所示,利用太阳能驱动的轻便材质中心支轴式喷灌机(专利号:201320017080.2),包括旋转臂上的塔架车、太阳能电池板、末端悬臂、钢索、三脚架、主控箱、能绕其旋转的中心支

座;装有喷头的多个桁架(见图2),它们彼此柔性连接,以适应坡地行走作业;这些跨度达几十米彼此相连的桁架被支撑在若干塔架车上,配置于塔盒内的电控同步系统启闭与驱动塔架车上电机和行走轮;其特征在于,位于中心支轴座的上方装置有一块大型太阳能板,它连接着安置在该主控箱内的可充电电源装置,该装置另一端连接到供水井泵,并通过输水主管连接到装在桁架各支点的喷头上。



1-塔架;2-驱动电机及减速系统;3-底梁;4-移动轮;5-塔盒;6-输水主管;7-安喷头的竖管;8-拉筋;9-斜支撑杆;10-喷头;11-法兰盘;12-太阳能板;13-悬臂;14-钢索;15-三脚架;16-主控箱;17-中心支轴座;18-井泵

图1 轻便材质中心支轴式喷灌机工作状态示意图

与传统电力驱动中心支轴式喷灌机类似,本设备的中心支座是一个由铝合金型材连接成的四棱锥架,其上设有太阳能电池板、主控箱、集电环、控制环及旋转弯头等。可充电电源装置内有蓄电池、断路开关、正反转控制设备、调速设备、保护元件、启动停机操纵设备及监控仪表等。集电环装在旋转弯头上,是为了避免喷灌机做旋转运动时,将输电缆缠绕在中心支轴上。控制环是为了限位用的,一是可以使喷灌机限位作扇形喷洒(在一扇形喷洒面积内作正反向回转),二是为了使末端喷头自动启闭。

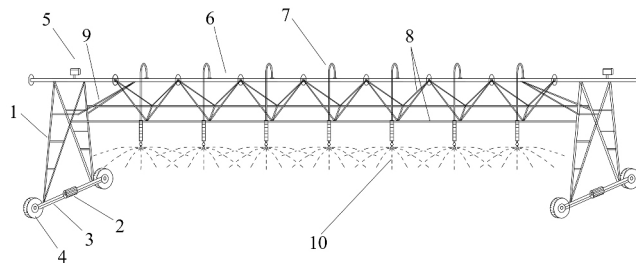
驱动装置包括塔盒、驱动电机、减速箱、传动装置和移动轮。塔盒装有驱动电机的配电设备、同步控制机构、安全保护系统元件等。驱动电机选用直流电机;减速器采用2~3级涡轮蜗杆式链轮,圆柱齿轮减速。移动轮多用低压高浮动式橡胶轮;喷灌机的移动轮转速很低,一般为1 r/min左右。

该设备桁架采用铝合金轻便材质制造,桁架结构上的所有支撑连接点均连接在法兰盘上,它不同于现有中心支轴式喷灌机的连接方式;每个塔架车上,配有太阳能供电的驱动电机。

2.2 桁架结构设计

图2为腹架和塔车组成的一个标准跨桁架示意图。腹架由输水主管、拉筋和安装喷头的竖管组成,起过流和承重作用。输水主管的管径根据喷头的流量和数量确定,每根输水支管通过法兰盘连接;拉筋采用直接为19或22的圆钢筋,连接方式如图2所示,上端连接在法兰盘上,彼此相连构成一个超静定结构,起腹杆作用;塔车由塔架、驱动电机及减速系统、底梁和移动轮组成,它是腹架的支座,也是喷灌机的驱动组件;斜支撑杆将腹架与塔车连接,满足桁架移动时整个系统的刚度要求。

在中心支轴座的中部装有主控箱,它的一端连接着井泵,中心支轴座顶部为大型太阳能板,每一个塔架上装有塔架车驱动电机及减速系统,其上部装有塔盒,每一个桁架支点连接处装有安喷头的竖管及喷头,当大型太阳能板使充电电源装置有足够能量时,即可驱动电控同步系统工作。桁架结构部件由轻质材料制成,这里的轻质材料采用铝或铝合金材质,两两法兰盘连接构成桁架的各个支撑连接点,这种连接结构,大大增强了桁架的强度与支撑力度。



1-塔架;2-驱动电机及减速系统;3-底梁;4-移动轮;5-塔盒;6-输水主管;7-安喷头的竖管;8-拉筋;9-斜支撑杆;10-喷头

图2 一个标准跨桁架结构示意图

图3为桁架上装配的法兰盘结构,桁架上各个支撑点的连接都依靠着在法兰盘上的连接。

3 工作原理

本设备与传统中心支轴式喷灌工作方式基本一致:当相邻两个塔架形成一个不大于1°的工况时,塔架车就一个跟着一个地走起来,绕着中心支轴旋转,从而实现了喷头连续自移喷洒作业,按照各桁架间的柔性连接,适应斜坡地段作业。各支点

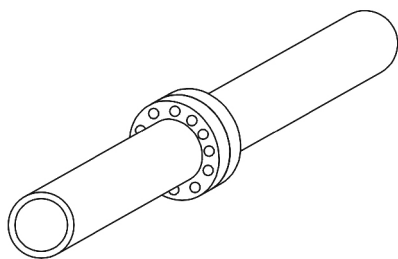


图3 桁架结构支点连接处法兰盘示意图

喷头在输水主管水压作用下连同桁架,绕中心支轴旋转,从而灌溉着一个巨大的圆形面积。一般包括喷洒部分和自走部分:喷洒部分由柴油机或其他动力驱动水泵抽水,通过中心支座的竖管将压力水输送至输水主管,由输水主管上的喷头喷射到空中,洒落在所控制的面积上。输水主管与地面间的距离(通常称为地隙)应根据作物的种类和生育阶段设定;要使水能均匀按一定的降水深度降落到地表,应按设计要求在支管上布置喷头。自走部分由能源系统、驱动系统、行走速度控制系统、同步控制系统和安全保护系统协调工作。

能源系统:由太阳能电池板将太阳能转化为电能,并储存在蓄电池中。

驱动系统:塔车上的直流驱动电机经减速器将动力传递到移动轮。

行走速度控制系统:喷灌机行走速度的快慢,决定了喷灌水量的多少。作物不同种类和不同生育阶段的需水量是不同的,应通过调节行走速度控制灌水量。平均运动速度是通过时间继电器来控制末端塔车走停时间,其他塔车均向末端塔车“看齐”对直(利用同步原理)。

同步控制系统:喷灌机的管道都是绕中心支座旋转,每个塔车的轮轨线都是圆周线,一般调整好时间继电器后,平均运行角速度不变,而外端线比近中心的管线的线速度要大得多。每相邻两跨管道的相互运动位置由同步系统控制,即用接触式继电器控制将每两跨管道的相对角度变为控制在一定的范围内(一般是 $0.5^{\circ}\sim 1^{\circ}$),超过这个范围,本跨塔车启动运行,以缩小至消除这一角度,使管线准直。

安全保护系统:喷灌机上设有同步故障保护、过水量保护等。其中最重要的是同步故障保护,它是当同步系统发生故障时,使相邻跨管道同相对角变位积累增大到某一数值时,接触式继电器控制即切断电流,达到停机停水的目的。

4 技术性能

本设备是由跨架单元组成的可长可短的机组。喷灌圆半径为200~300 m;单跨跨距为40~60 m;控制角度为 360° ;总流量为100~200 m^3/h ;喷洒均匀度为 $\geq 90\%$;最大运行速度为168 m/h;每圈运行最短时间为15.5 h;最小灌溉量为4.0 mm;末端喷头压力为0.15 MPa;入机压力为0.31 MPa;驱动机电电压为48 V,驱动电机功率为0.5 kW。

主要技术性能:①适用喷灌谷物、豆类、经济作物和牧草,特别是对人少地广缺水电力配套的地区更具有高效、节能、节



图4 产品样机

水、增产、省工等特点。②桁架采用铝合金制造,结构轻巧,有助于灌溉过程中的移动、掉头及重新安装。③桁架上所有支撑连接点都在连接法兰盘上,比已有传统的大型喷灌机将连接点全放在钢管中央的结构更结实,支撑效率高。④塔架车用柔性接头连接,可以在起伏不平的丘陵、沙丘上进行喷洒作业,爬坡能力为 $5\%\sim 35\%$ 。⑤同步系统安全可靠,具有过雨量保护和自动显示故障等防护装置。⑥配有低压折射式喷头和尾枪,喷洒均匀度可达到85%以上,并能喷洒化肥农药。⑦有一套专用的拖移装置可供用户在灌溉周期允许范围内由一个作业点拖移到另一个作业点进行喷洒灌溉。⑧中心支轴高度可调节,以适应高矮秆作物灌溉的需要。⑨不仅适合于大面积灌溉要求,同时也适合于目前我国大多数情况下多个连接的小地块的灌溉要求,能满足我国当前土地分散经营的现状。

5 操作规程

本设备应按照《中心支轴式喷灌机使用技术规范》(DB23/T1499)进行保养与维护,喷灌机配套部件的维护保养应按有关规定和相应的使用维护说明书进行。此外,使用时还应注意:喷灌机工作温度在 4°C 以上,风力4级以下;停机时,应先切断中枢控制箱电源,关闭闸阀和动力机;喷灌机应正、反向交替运行;喷灌机喷洒农药、化肥后,应供水清洁管道;应及时根据灌水需求调整百分率计时器数值,使喷灌机按适宜速度运行。

6 结 语

与传统电力驱动中心支轴式喷灌机相比,利用太阳能驱动的轻便材质中心支轴式喷灌机有以下创新之处:一是将采用铝合金材质作为构建材料,大大减轻了镀锌钢材质的中心支轴式喷灌机的重量,制造工艺和过程更加环保;二是采用太阳能作为动力能源,更加的节能,也解决了有些偏外地区架设高压线成本高的问题;三是桁架上所有支撑连接点都在连接法兰盘上,比已有传统的大型喷灌机将连接点全放在钢管中央的结构更结实,支撑效率高。

在田间运用规划设计时,需注意两点: (下转第83页)

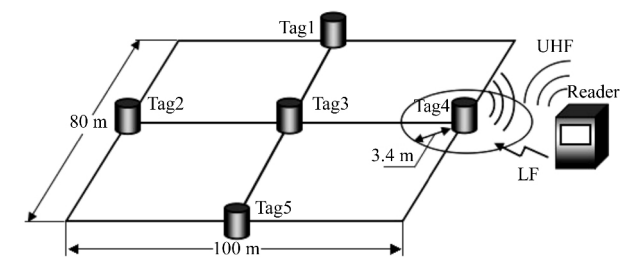


图 9 实地测试模型
Fig. 9 Field testing model

表 1 实验结果
Tab. 1 Experimental result

序号	土壤温度/ ℃	土壤湿度/ %	CO ₂ 浓度/ 10 ⁻⁶	光照强度/ lx	经度	纬度	时间
1	4.5	70.33	356	89	118°48'31"	32°4'40"	11:03
2	4.5	77.95	410	85	118°48'34"	32°4'42"	11:10
3	4.0	62.87	409	90	118°48'31"	32°4'42"	11:13
4	3.9	58.43	346	97	118°48'28"	32°4'42"	11:18
5	3.8	55.67	389	96	118°48'31"	32°4'43"	11:22

时,电子标签被唤醒,工作电流为 230 μ A 左右。当距离大于 3.4 m 时,电子标签均都处于休眠状态,它们单片机休眠电流为 45 μ A 左右,阅读器则无法成功识别标签,也处于休眠状态,休眠电流为 52 μ A 左右。可见低频唤醒模式大大延长了系统电池寿命,起到了降低功耗的作用。

土壤温湿度在短时间内不会显著变化,为了检验系统稳定性,就一个电子标签将测得的温湿度数据进行了采集间隔为 30 s 的 10 次采集,并将得到的数据通过 Origin 软件进行曲线拟合,拟合结果如图 10 所示,近似为两条分别在 4.5 $^{\circ}$ C 和 78% 上下浮动的直线,最大偏差分别在 0.2 $^{\circ}$ C 和 2% 以内,满足稳定性要求。

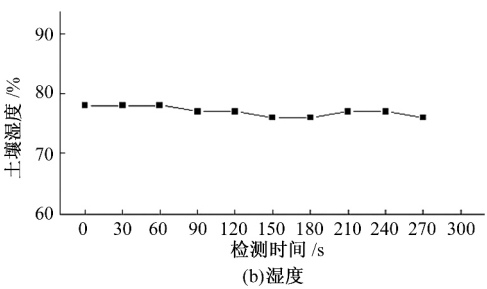
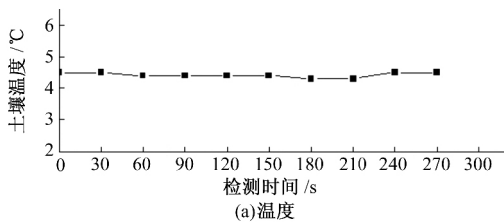


图 10 稳定性测试曲线
Fig. 10 Stability test curve

4 结 语

从硬件和软件两个方面详细介绍了智能农田信息采集系统的设计方案。将 RFID 技术和 GPS 技术相结合,实现农田数据的稳定准确地采集、处理、存储、通信和显示,并采用低频唤醒电子标签的低功耗方案,大大减少了系统耗电。通过实际检测,该系统达到了预期的设计目的,工作效果理想。

参考文献:

[1] 罗通强,周受钦,谢小鹏,等. 基于低频唤醒技术的半主动式电子标签设计[J]. 电子设计工程,2012,20(21):103-106.
[2] 王 冬. 基于物联网的智能农业监测系统的设计与实现[D]. 辽宁大连:大连理工大学,2013.
[3] 孙磊磊. 田间信息采集与预测系统研究[D]. 济南:山东大学,2012.
[4] 周诗伟,毛陆虹,王 倩,等. 集成于无源 UHF RFID 标签的超低功耗 CMOS 温度传感器[J]. 传感技术学报,2013,26(7):462-465.
[5] 李 娟,唐小超,葛立峰. 基于 CC1101 射频技术的室内超声定位系统[J]. 自动化与仪表,2009,(6):1-4.
[6] 汪伯成. 基于 GPS 和 GPRS 的监控导航系统的设计[D]. 武汉:华中科技大学,2011.
[7] 刘福涛,陈科明,苏政伟,等. 基于 ZigBee 技术的 RFID 读写器网络设计[J]. 杭州电子科技大学学报,2012,32(4):102-105.
[8] 闰 浩. 基于 AES 的汽车无钥匙门禁系统的设计与实现[D]. 郑州:郑州大学,2011.
[9] 赵 敏,常 杰,孙棣华. 基于 ZigBee 和 ARM 的分布式 RFID 信息采集系统的设计[J]. 传感器与微系统,2011,30(9):105-108.

(上接第 79 页) ①设计喷灌强度要以靠近外端的喷头的喷灌强度为依据,并且允许土壤表面有短时的积水,以不产生径流为限。这样考虑,显然比土壤的允许入渗速度要大,但对提高喷灌机的经济性能是有很大的作用的。②灌溉作物应是同一种作物或种植季节和需要要求相近的作物,而且种植方式也应一致,以便于田间管理和喷灌机的运行。

参考文献:

[1] 水利部农村水利司,中国灌溉排水技术开发培训中心. 喷灌与微灌设备[M]. 北京:中国水利水电出版社,1998.

[2] 郎景波,李 莹,李铁男. 国内外大型喷灌机生产的发展历程和现状[J]. 节水灌溉,2011,(9):42-43.
[3] 张才民. 谈中心支轴式喷灌机[J]. 节水灌溉,2013,(5):78-80.
[4] 钱一超,侯永胜,席三忠,等. 影响电动圆形喷灌机灌水均匀度的因素及分析[J]. 节水灌溉,2010,(4):20-25.
[5] 李军叶,金宏智,姚培培,等. 论述圆形与平移式喷灌机新旧标准主要差异[J]. 节水灌溉,2011,(9):33-35.
[6] 周立华,全炳伟. 时针式喷灌节水试验示范区喷灌效果分析与研究[J]. 节水灌溉,2008,(6):24-26.