

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.03.021

风光互补空气集水系统设计^{*}

竞静静¹, 王玉巍¹, 曾德千²

(1. 新疆工程学院 能源工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830023;

2. 红云红河烟草(集团)有限责任公司 新疆卷烟厂, 新疆 乌鲁木齐 830023)

摘要:针对新疆各地区干旱缺水、灌溉困难的问题,设计了一种风光互补空气集水系统,用以收集农田中因植物的蒸腾作用以及灌溉的蒸发作用形成的湿空气。依据空气动力学设计了空气收集单元,通过对比系统冷凝方式论证了可行性,计算确定了冷凝单元的安装位置为地下 80 cm;通过 3DMAX 建立了系统各单元模型,并依据此制作了实物;利用 C 语言在单片机上编写了集水灌溉程序;通过假设理想数据,计算了理想状态下空气集水量;最后进行试验测得了实际数据,并分析了实际集水量和理论集水量有差距的原因。研究表明:该系统的实际集水量为理论集水量的 57%,说明该系统在农业灌溉、无人区用水等方面具有较好应用前景。

关键词:风光互补;空气集水;自动灌溉;露点

中图分类号:S27;TP273

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)03-0332-05

Design of air water collection system with complementary scenery

JING Jing-jing¹, WANG Yu-wei¹, ZENG De-qian²

(1. College of Energy Engineering, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830023, China; 2. Xinjiang Cigarette Factory, Hongyun Honghe Tobacco(group) Co., Ltd., Urumqi 830023, China)

Abstract: Aiming at the problem that it is difficult to indrought in Xinjiang due to dry climate and water shortage, a wind and solar hybrid air catching system was designed to collecte the wet air formed by transpiration of plants and evaporation of irrigation in the field. The collection unit by aerodynamic was designed, the system feasibility was demonstrate by compared different condensation methods, the installation position of the condensing unit was determined to be 80 cm underground. The modes of the system was established by 3DMAX and the physical object was made according to it. The water collecting irrigation program was compiled on the single chip microcomputer by using C language, and the air water collection under the ideal state was calculated by assuming the ideal data. Finally, the experimental data were measured, and the reasons for the gap between the actual water collection and the theoretical water collection were analyzed. The results indicate that the actual water collection of the system is 57% of the theoretical water collection, it has good development prospect in the field of agricultural irrigation and air water collection in no man's land.

Key words: wind-solar complementarity; air collects water; automatic irrigation; dew point

0 引 言

“空气集水”是收集空气中的气态水变为液态水,目前在国内外均有应用。2007 年,英国水务科学公司研制出“空气集水”机,它每天能从单纯的空气中收集

500 加仑的可饮用水,已经上市,每台 30 万美元;2017 年 7 月,东华大学的郭建生、余玉蝶等人研发了沙漠甲虫 *Stenocara*,该装置通过背部表面的特殊结构从空气中获取水,可解决某些环境下淡水获取困难的问题。由于这些装置价格昂贵、集水效率低、应用范围小,研

收稿日期:2019-07-16

基金项目:新疆维吾尔自治区教育厅自然科学青年项目(XJEDU2019Y065);新疆工程学院校内项目(2018xgy112105)

作者简介:竞静静(1988-),女,河南虞城人,硕士,讲师,主要从事新能源科学与工程、电气工程方面的研究。E-mail:1430919661@qq.com

制一种不消耗常规能源、集水效率高、应用范围广的空气集水系统势在必行。

新疆降水稀少、蒸发强烈,作物生长所需水分主要依靠人工灌溉方式予以满足^[1],水资源是该区域自然生态系统和人类社会经济系统赖以维系和发展的关键制约因素。

针对此,本研究将利用新疆太阳能和风能资源丰富的特点,设计风光互补空气集水系统^[2]。

1 研制背景

农业中的失水现象主要是由植物蒸腾作用与土地水分蒸发作用导致的^[3]。据估计,1株玉米从出苗到收获需消耗四、五百斤水。风光互补空气集水系统能充分利用风能太阳能,对农业中的失水进行回收再利用^[4]。

集水装置主要收集由植物蒸腾作用与土地水分蒸发作用产生的农田湿空气,以缓解新疆干旱地区农业用水问题,并对农田土壤湿度进行监控,对农作物进行合理灌溉,为农作物提供有利的生长环境。

2 设计方案

2.1 总体设计思路

利用光伏发电与风力发电提供系统所需电能,风力机亦可用于驱动空气收集装置,将空气收集装置收集到的湿空气进行冷凝,并将冷凝水存入储水罐中。土壤湿度传感器收集周围的土壤湿度数据,将数据传送给单片机,由单片机判断土壤是否需要灌溉。当单片机检测到土壤过于干旱时,控制水泵从储水罐中抽水对干旱区域进行灌溉。

总体设计框图如图1所示。

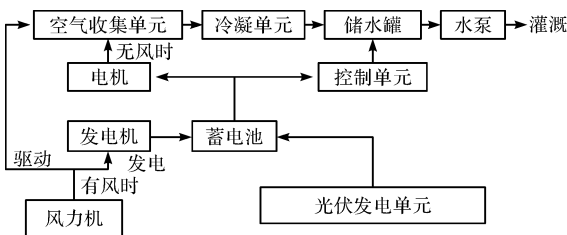


图1 总体设计框图

图1中,驱动单元包括垂直轴风力机和直流电机,有风时风机直接给空气收集装置提供动力,无风时由电机带动空气收集装置工作;传动单元包括传动齿轮、加速齿轮和齿轮换位装置;空气收集单元使用轴流式与贯流式的组合叶片;冷凝单元包括冷凝管和储水罐;光伏发电和控制单元包括光伏电池板、蓄电池、湿度传感器、转速传感器、液位传感器和单片机系统。

2.2 单元设计

(1)驱动单元。驱动单元用来驱动空气收集单元收集湿空气,采用风力机进行驱动。考虑到农田风向多变,并且要求风力机高效率工作,本文采用垂直轴风力机。为进一步提高风机效率,降低启动风速,垂直轴风机叶片采用S型+H型^[5]。S型风机叶片启动风速低,H型风机叶片效率较高,将两种风机叶片结合起来可提高风机的风能利用效率并可以相应地降低启动风速。在有风无风两种情况下,空气收集装置的齿轮部分需要在风机与电机之间切换。

在有风的情况下由风机驱动空气收集装置工作,在无风情况下需要由电机驱动空气收集装置,保证系统持续工作。风力机外侧为H型风机结构,内侧为S型结构。

(2)传动单元。传动单元是连接驱动单元和空气收集单元的桥梁,该单元需要对驱动单元所提供的机械能利用变速器进行加速处理,以达到设备能够高效率工作的目的。在有风或者无风状态下可切换工作状态,保证系统能够长时间工作。

在系统高负荷工作时传动单元还需要对系统进行保护,进入停机状态或将传动单元与其他单元进行脱离。

(3)空气收集单元。空气收集单元的主要作用是,利用风机叶片对湿空气进行收集,并将收集来的湿空气送入冷凝单元。目前的主要采用各种风力机进行收集,包括离心式风机、轴流式风机、贯流式风机^[6]。

由于设计采用风光互补的能量来源,其稳定性并不理想,并且系统所运载的流体为空气,并不需要很高的扬程。从设计结构上来看,轴流式风机叶片能够满足本次设计要求,为增加空气收集效率,需要添加贯流式风机辅助运行。通过风机在有风时同轴带动或无风时电机带动空气收集单元将周围空气收集起来传送至冷凝装置中。

由于市场上贯流式风机都是以单向送风为主,后侧进风前侧出风,流体需要横穿两层叶片,系统并不需要贯流式风机的单向送风能力,而是需要贯流式风机收集周围空气,所以需要对传统贯流式风机进行改造为将周围空气向中心汇聚的形式。

空气收集装置由贯流式风机与轴流式风机组成,先由贯流式风机将周围的湿空气收集至中心处,再由轴流式风机将贯流式中心汇聚的湿空气送入冷凝设备中。贯流式风机收集周围的空气会在风机内部相互抵消,所以需要添加光滑的导流平面,将周围的空气引向轴流式风机,再将轴流式风机为湿空气增加动能将湿

空气送入冷凝装置。而轴流式与贯流式旋转方向一致,会在空气收集装置中形成涡流,则需要在冷凝装置管口处添加一个旋转方向相反的一个轴流式风机。

两个轴流式风机在空气收集装置中属于串联运行,而在管路系统中一般流量较小并且阻力过大时才能使用风机串联,与此同时采用串联的两个轴流式风力机时需要注意尽量采用性能线性曲线相同的两个风机。

空气收集装置如图 2 所示。

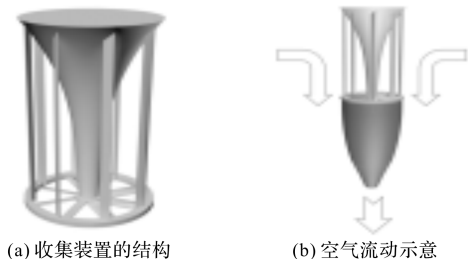


图 2 空气收集装置

(4) 冷凝单元。冷凝单元的主要作用是将空气收集单元送来的湿空气进行降温,通过降温冷凝的方法将湿空气中的水分提取出来并进行储存。目前主要的制冷方式有空气压缩式制冷、蒸汽压缩制冷、氨-水吸收式制冷、制冷剂制冷等方式^[7]。空气压缩制冷、蒸汽压缩制冷还是吸收式制冷功耗都比较高,而制冷剂制冷对环境又有污染,以上几种制冷方法均不适合该设计。

由于农田灌溉频率非常高土壤一直处于湿润状态,并且农田里农作物生长茂盛阳光不能直射到地面上,地表部分水分蒸发会吸收地下温度,农田地下温度较低,本文选择利用地下的温度进行降温换热,地下制冷的装置参照换热器来设计。由空气收集装置收集的空气经汇流送入冷凝器入口,湿空气在冷凝管中经过多个弯道循环 1 周后从另一端出口排除,中间冷凝出的水分从每个弯道下方的管道流入储水罐中,管道与储水罐形成连通器,当储水罐中的水快满时水会堵住冷凝管使其无法继续冷凝水分。储水罐上方与冷凝管出风口连接,水泵的抽水管从冷凝管出风口伸入储水罐中取水。

冷凝单元如图 3 所示。



图 3 冷凝单元

由于实验地点在乌鲁木齐,当地湿空气的露点温度为 17 ℃ 左右,只要将冷凝单元埋入地下达到露点温度即可。农田当中土壤深度越深温度越低,根据乌鲁木齐大气和土壤月平均土壤温度变化规律,4 月~9 月,地下 70 cm~90 cm 是最理想的安装点。笔者通过土壤温度传感器在 7 月测得当土壤深度为 60 cm,温度为 17 ℃。考虑不同季节、不同地点温度不同,将冷凝单元安装在地下 80 cm 较合适。

冷凝单元每小时生产 0.77 L 水,若工作 10 h,每天可收集 7.7 L 水。假设农田 4 天灌溉一次,那么需要 30.8 L 的储水罐,为留有一定裕量,制成标准单元 35 L 的储水罐。这样容量的储水罐埋在地下不会占用太多土地,对农业种植影响不大。

(5) 控制单元。控制单元完成系统的整体控制。风机齿轮上加装转速传感器,当风机转速达到工作要求时单片机控制步进电机对传动单元进行换位。液位传感器采集储水罐中的水位数据,当储水罐水位过高时单片机对限制步进电机对传动单元进行换位,不再制水。湿度传感器采集湿度数据发送给单片机,单片机对数据进行判断,决定是否需要对农田进行灌溉,当农田湿度达到一定值时单片机控制水泵开始灌溉,当农田土壤湿度达到标准值时关闭水泵。

光伏发电控制系统图如图 4 所示。

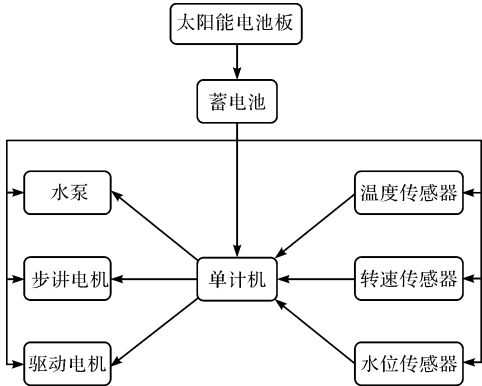


图 4 光伏发电控制系统图

整体结构如图 5 所示。



图 5 整体结构图

3 软件设计

灌溉系统主要用于在土壤湿度过低时控制水泵对农田进行灌溉,通过对单片机设定湿度上限和湿度下限与土壤湿度进行对比,根据对比出的最终结果判断是否需要农作物进行灌溉。除此之外,单片机还需要通过液位传感器对水位进行确认,在储水罐有水的情况下,才允许水泵进行灌溉。

传动系统主要用于动力切换和脱离驱动单元,在无风状态下传动单元将动力切换为驱动电机,由驱动电机带动装置进行工作;在有风状态下传动单元将动力切换为风机^[8-9],由风机带动装置进行工作;在风速极高的情况下传动单元将驱动单元和其他单元断开连接并且触发刹车制动停止工作。

传动系统控制流程图如图6所示。

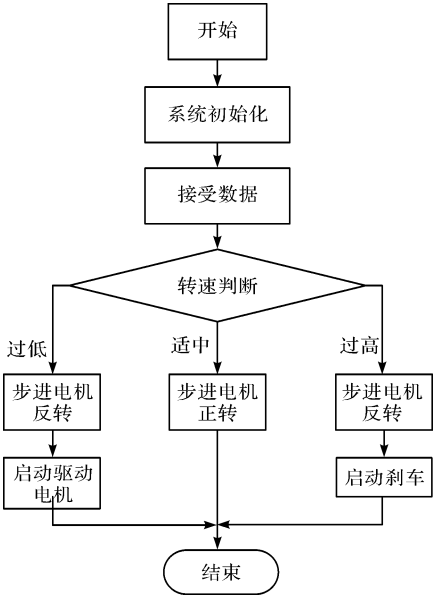


图6 传动系统控制流程图

4 理论设计计算

本文设计地点选在新疆省乌鲁木齐市,经过监测乌鲁木齐市空气湿度在4月份时保持在53%,而农田的湿度应比乌鲁木齐城市湿度更高。假设农田湿度为60%,本设计将30℃的温度降低至10℃,可得每立方米空气集水量^[10]。

根据温度压力露点水分含量关系图可得:

$$18\text{ g/m}^3 - 4\text{ g/m}^3 = 14\text{ g/m}^3 \tag{1}$$

假设冷凝管半径为0.035 m,管内湿空气流速为4 m/s,1 h内流入冷凝管内的总湿空气体积如下:

$$V = \pi r^2 s T = \pi \times 0.035^2 \times 4\text{ m/s} \times 3\,600\text{ s} = 55.4\text{ m}^3 \tag{2}$$

式中: V —管内空气体积; T —时间; r —管内半径; s —空气流速。

空气集水装置每小时集水量为:

$$14\text{ g/m}^3 \times V = 775.6\text{ g} = 0.77\text{ L} \tag{3}$$

所以该装置在理想情况下每小时收集0.77 L的空气水。

这种集水量情况下工作,假设该装置的集水效率为65%,则该装置每小时集水量为0.5 L。乌鲁木齐水费为3.8元/ m^3 ,那么每台集水装置每天可节约水费0.456元。若每8 m^3 安装1个集水灌溉装置,每亩地1个月可节省113.55元的水费,现在阶段每个农户都有10亩以上的农田,那么平均每个农户每个月可节省1 000元以上的水费。

5 实验结果与分析

为分析本文系统实际的集水量,笔者做了多次实验。实验地点选在某处绿植地,如图7所示。



图7 系统实验装置图

实验过程中,考虑每个时刻的温度、湿度等参数。本文以实验中某一天的数据为例进行分析^[11],实验数据表如表1所示。

表1 实验数据测量					
时间	温度/ (℃)	湿度/ (%)	理论集 水量/L	实际集 水量/L	每小时制 水量/L
8:00	25.6	47.4	0.5	0.32	0.32
9:00	25.7	47.5	1	0.63	0.31
10:00	25.9	45.1	1.5	0.93	0.3
11:00	25.6	44.6	2	1.23	0.3
12:00	25.5	44.1	2.5	1.51	0.28
13:00	25.4	42.1	3	1.8	0.29
14:00	25.4	41.4	3.5	2.09	0.29
15:00	25.1	40.2	4	2.37	0.28
16:00	25.3	38.4	4.5	2.65	0.28
17:00	25.3	35.6	5	2.92	0.27
18:00	25.5	33.7	5.5	3.18	0.26
19:00	25.1	32.5	6	3.43	0.25

表 1 中反映了空气湿度与集水量的关系。数据有意避开较高的湿度和较低的湿度,选取的是较为适中的湿度。从数据上来看,系统实际每小时的集水量偏低,总的实际集水量和理论集水量有较大差距,仅为理论集水量的 0.57%,这和当时实验过程中空气的温度、湿度均有关系,理论值是在 60% 的标准湿度、温度 30℃ 下计算的,有偏差较正常,实际过程中空气湿度大的时候集水量也会相应增加。

理论值和实际值不一致,主要有以下几点原因:

(1) 空气的收集效率低。理论计算中以湿空气在冷凝单元中的流速达到 4 m/s 为准,但实际测试时测得的空气流速仅达到 2.7 m/s,导致冷凝装置中的湿空气总量不够。风力机和空气收集单元均自己设计制作,系统所用材料自身重量均较重,转动起来自身摩擦阻力较大,当风力较小时,有时风力机不能启动,即使启动转速也较慢。若能够找到更坚韧更轻的材料制作,空气收集效率会大大提高。

(2) 冷凝效果差。冷凝单元采用地下降温换热冷凝,虽然储水罐安装在地下 80 cm,但由于冷凝管比储水罐高,冷凝管平均分布在地下 55 cm – 70 cm,温度刚刚达到露点。且埋入地下需要采用防腐材料,保证一定硬度,避免鼠虫咬坏,冷凝管较厚,和土壤的热交换效果没有理想中好。

另外,理论计算过程中假设的条件均在理想情况下,但实际运行时,机械部件的摩擦力、风速大小、空气湿度、地表气温、地下温度等因素均会影响集水量。

6 结束语

本研究提出了利用风光互补作为能量来源进行空气集水灌溉,不需外接电源,很好地利用了新疆丰富的可再生能源;经实验验证,系统可应用于农田,亦可用于干旱缺水地区、无人区、军事禁区等地区的用水。

研究结果表明:根据现在新疆的情况,理论上每亩地 1 个月可节省 113.55 元的水费。虽然实际情况不会有这么多,但随着系统的完善,集水量越大节约越多,因而该系统具有非常广阔的应用前景。

参考文献 (References):

- [1] 付 军,丁志宏,冯 平. 新疆降水量与参考作物腾发量的年际变化特性[J]. 水利水电科技进展,2016,36(6): 44-50.
- [2] TAPETADO P, USAOLA J. Capacity credits of wind and solar generation: the Spanish case[J]. **Renewable Energy**, 2019,5(2):109.
- [3] 王兴鹏,文卿琳,张维江. 毛乌素沙地南缘赖草水分生理特性及其影响因子的初步研究[J]. 塔里木大学学报, 2006,18(1):38-42.
- [4] 孙 楠,邢德山,杜海玲. 风光互补发电系统的发展与应用[J]. 山西电力,2010(4):54-56.
- [5] 寇 薇,苑 宾,李 琦. 一种组合型垂直轴风力发电机的结构设计[J]. 电力科学与工程,2011,27(5):25-28.
- [6] 褚双磊,俞国胜,秦瑞鸿. 轴流式风力灭火机的高速轴流风机气动设计与试验研究[J]. 空气动力学学报,2010, 28(5):65-70.
- [7] 方 敏. 制冷方式的不同对经济效益的影响[J]. 城市建设与商业网点,2009(17):67-69.
- [8] 卢 彬,李小宁. 一种小型窗式净风机的设计与研究[J]. 流体机械,2018,46(7):39-44.
- [9] 刘华永. 动叶可调地铁风机研究[J]. 流体机械,2018,46(5):25-30.
- [10] 李光林,李晓东,曾庆欣. 基于太阳能的柑桔园自动灌溉与土壤含水率监测系统研制[J]. 农业工程学报,2012, 28(12):146-152.
- [11] 岳学军,刘永鑫,洪添胜,等. 基于土壤墒情的自动灌溉控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2013,44(S2):241-246,250.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

竞静静,王玉巍,曾德千. 风光互补空气集水系统设计[J]. 机电工程,2020,37(3):332 – 336.

JING Jing-jing, WANG Yu-wei, ZENG De-qian. Design of air water collection system with complementary scenery[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2020,37(3):332 – 336.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>