

何华兴, 陈向镇, 林军, 等. 风力提水机的结构及其在山地茶园的应用分析 [J]. 福建农业学报, 2014, 29 (10): 1033-1036.  
HE H-X, CHEN X-Z, LIN J, et al. Application of Water Pumping System with Wind Power in Upland Tea Garden [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2014, 29 (10): 1033-1036.

## 风力提水机的结构及其在山地茶园的应用分析

何华兴<sup>1</sup>, 陈向镇<sup>2</sup>, 林军<sup>3</sup>, 柯玉琴<sup>3</sup>, 何华勤<sup>3\*</sup>

(1. 莆田市技师学院, 福建 莆田 351100; 2. 福建省水利建设中心, 福建 福州 350000;  
3. 福建农林大学生命科学学院, 福建 福州 350002)

**摘要:** 应用 Profili、AutoCAD 等软件, 采用风力空气压缩机与气压提水机分体的形式, 探讨适用于沿海山地风力提水机的结构。并分析风力提水机在山地茶园的应用效益, 研究结果表明在平均风速为  $4.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的条件下, 风叶半径为 2.1 m 的风力提水机的理论扬水量为  $1.90 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$  (30 m 扬程), 现场实际观测值可达理论值的 50%, 3 台 3 级风力提水机可满足近  $6.67 \text{ hm}^2$  铁观音茶园的充分灌溉需求, 节省 111 kWh 的电力, 节能效益明显。

**关键词:** 风力, 提水机, 应用效率, 山地茶园

中图分类号: S 571

文献标识码: A

### Application of Water Pumping System with Wind Power in Upland Tea Garden

HE Hua-xing<sup>1</sup>, CHEN Xiang-zhen<sup>2</sup>, LIN Jun<sup>3</sup>, KE Yu-qin<sup>3</sup>, HE Hua-qin<sup>3</sup>

(1. Putian Technician College, Putian, Fujian 351100, China; 2. Center of Fujian Irrigation Work, Fuzhou, Fujian 350000, China; 3. College of Life Sciences, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

**Abstract:** Wind and solar energy should be utilized in farming system to save the energy. This study applied Profili and AutoCAD to design a wind-powered water pumping system for the upland tea garden. The system, which consisted an air compressor and an atmospheric pressure pump, was evaluated. The result showed that with  $4.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  wind a 2.1-m-diameter wind-powered water pumping system could pump water 30-m-high at a rate of  $1.90 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$ . The power generated from 3 wind-powered water pump system was calculated to be 111 kWh, which could adequately supply the irrigation need of a 100-mu tea plantation.

**Key words:** wind energy; water pumping system; efficiency; tea plantation

我国内陆风能资源较好的区域, 如内蒙古北部、甘肃和青海等地的年平均风速达  $4 \sim 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ <sup>[1]</sup>。东南沿海地区年平均风速也在  $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  之上。福建省地处欧亚大陆的东南边缘, 濒临东海和台湾海峡, 海岸线长达 3 752 km, 受季风和台湾海峡“狭管效应”的共同影响, 福建沿海 70 m 高度平均风功率密度大于  $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  的技术开发量为 13 410 MW, 可开发面积为  $3.780 \text{ km}^2$ 。

但福建又是一个多山地区, 全省海拔超过 200 m 的山地丘陵面积占全省土地总面积的 87.53%, 以山地丘陵为主的 12.0 万  $\text{km}^2$  山地是福建省的“绿色宝库”。丘陵生态系统具有脆弱性的特征, 其

一表现为水资源的严重不足。丘陵山地往往远离村庄, 丘陵山地农林作物的灌溉水源要从山脚的小山塘抽提到山上。要么使用燃烧柴油的柴油机, 要么架设长距离的输电线路而使用抽水泵抽水, 耗油耗能, 生产安全性低, 生产成本高。

农业节能是我国节能减排战略部署的重要组成部分, 在农业生产中开发利用风能与太阳能资源, 以减少农业生产成本, 提高农业生产效率。但前期投入费用高的弊病严重阻碍了可再生能源在农业生产上的应用。在风能的直接利用上, 我国的风能利用技术与发达国家相比尚有较大差距。如美国研制的“Ironman” 风力抽水机, 具有性能稳定、能量

收稿日期: 2014-07-10 初稿; 2014-09-10 修改稿

作者简介: 作者简介: 何华兴 (1965—), 男, 高级讲师, 主要从事电工与机械技术研究与开发

\* 通讯作者: 何华勤 (1969—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事作物生理与分子生物学研究

基金项目: 水利部科技推广计划项目 (TG1404); 福建省高校产学合作科技重点项目 (2014N51010133); 农业“五新工程”项目

利用率高的特点。我国的风力提水设备，如中国水利水电科学研究院牧区水利研究所开发的风车、新泰市风龙王和内蒙古呼和浩特草原山河新能源公司研制的风车，存在容量低、噪声大、效率低、可靠性差等问题<sup>[2-3]</sup>。尤其在沿海地区，台风频繁，对风力提水机的性能要求更高。

为此，本研究探讨适用于沿海山地的风力提水设备，并分析风力提水机在山地茶园的应用效果，为在山地农业生产中开发利用可再生能源的实践提供指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 风力提水机的结构设计

按照风力空气压缩机与气压提水机分体的设计思路，利用 Profili、AutoCAD 等设计软件分析叶片、主轴、增速齿轮、凸轮、活塞等特性，提高设备的动平衡能力。利用 Pro/E 建模软件和 ADAMS 动力学仿真软件建立风力空气压缩机和气压提水机的虚拟样机，通过虚拟样机的运动学仿真，得到风力空气压缩机和气压提水机的行程变化规律曲线及机构中主要部件的运动规律曲线。根据动力学仿真结果，调整风力空气压缩机的输出扭矩和气压提水机的空压比。

### 1.2 风力提水机在山地茶园的应用

在安溪县某茶园逐级安装 3 台风叶为 2.1 m 的风力提水机，配套建设 3 个蓄水池，一、二级蓄水池的容积均为 300 m<sup>3</sup>，最高处蓄水池容积为 500 m<sup>3</sup>，每级蓄水池间的高度差约为 30 m。

## 2 结果与分析

### 2.1 风力提水机的设计

采用分体式的机械结构形式，一台风力提水机由空气压缩机与气压提水机组成，两者之间用气管连接，气压提水机连接有输水管用于扬水。

**2.1.1 风能空气压缩机的设计** 采用压缩空气作为储能介质，将风能转换为压缩空气的内能，用于高扬程扬水。而在台风发生时，通过偏航系统、刹车制动装置的动作，使其自动停机并使风轮处于背风位置，保护风轮免受破坏。其原理示意图见图 1。

在风能的作用下，风轮带动主轴转动，通过一级齿轮增速箱为曲轴旋转提供了必需的转速和转矩，通过连杆的传动，活塞做往复运动，由气缸内壁、气缸盖和活塞顶面所构成的工作容积则会发生周期性变化。曲轴旋转 1 周，活塞往复 1 次，气缸内发生进气-压缩-排气的循环过程，即 1 个周期，达到压缩空气的目的。

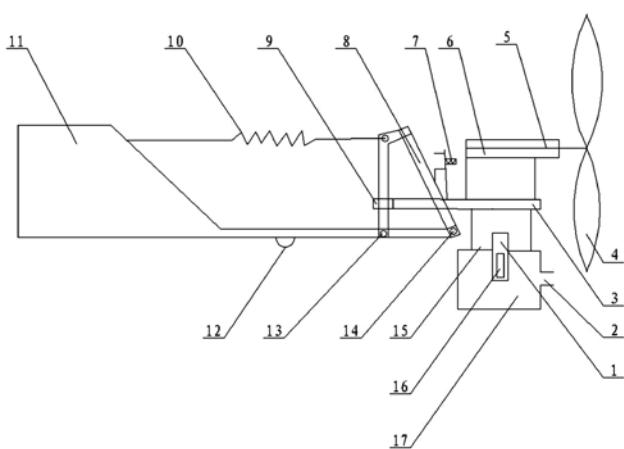


图 1 风力空气压缩机结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of wind-powered air compressor

注：1 为出气管，2 为气导管，3 为偏航底座，4 为风轮，5 为主轴，6 为增速齿轮箱，7 为销销，8 为尾翼连接架，9 为偏航系统，10 为减震弹簧，11 为尾翼，12 为手动制动拉环，13 为减震铰点，14 为尾翼调节杆，15 为活塞式压缩机，16 为止回阀，17 为储气室。

**2.1.2 气压提水机的设计** 本设计采用累积气压、提高气压比的方法，研制适用于山地的高扬程气压提水机，其原理示意图见图 2。

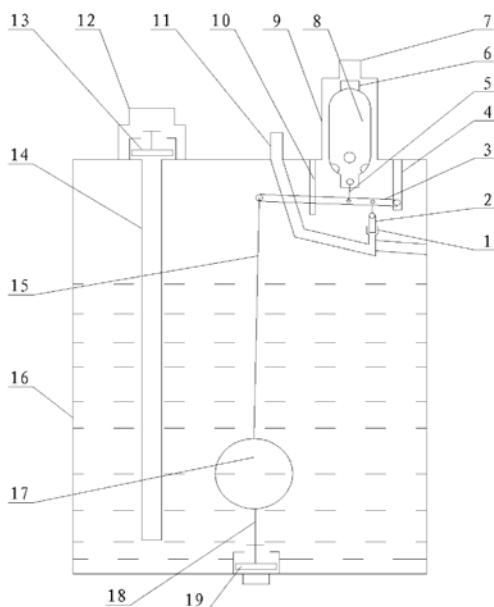


图 2 气压扬水机构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of atmospheric pressure water pump

注：1 为进气阀座，2 为进气阀塞，3 为控制杆，4 为支架，5 为连杆，6 为排气阀塞，7 为排气口，8 为漂浮器，9 为上盖板，10 为行程限位架，11 为进气口，12 为出水口，13 为出水阀，14 为出水管，15 为软绳，16 为罐体，17 为浮球，18 为连杆，19 为进水阀。

压缩空气通过导气管道由进气阀进入气压扬水机，使气压扬水机罐体内部气压不断增大，当气压增大到一定程度，进水口逆止阀关闭，出水口逆止阀打开，水从出水口进入扬水管路。随着罐体内部水量的减少，配置球不断下降。此时气阀自控装置开始工作，浮球下降带动控制杆下摆，进气阀塞与出气阀塞联动，使进气阀关闭、出气阀打开，罐体内部压力与大气持平，罐体底部的逆止阀在水压的作用下打开，水源中的水再次进入扬水机内，罐中水面会不断上升，浮球漂起。自控装置开始动作，浮球带动控制杆上摆，进气阀塞与出气阀塞联动，使得进气阀打开、出气阀关闭。经过进气—增压—扬水—出气—减压—进水的循环，水不断进入扬水管路，达到扬水的目的。

## 2.2 风力提水机在山地茶园的应用与效能分析

**2.2.1 风力提水机在山地茶园的应用** 丘陵山地的扬水需将山脚蓄水塘的水扬提到山顶蓄水池，为果茶林的自压灌溉提供灌溉水源和水压。山脚有水源但风能有限，而山顶风力大、水源不足。因此，通过开发风力提水机，利用山顶风能扬提山脚的水，并推广应用在山地茶园的灌溉上，其应用示意见图 3。

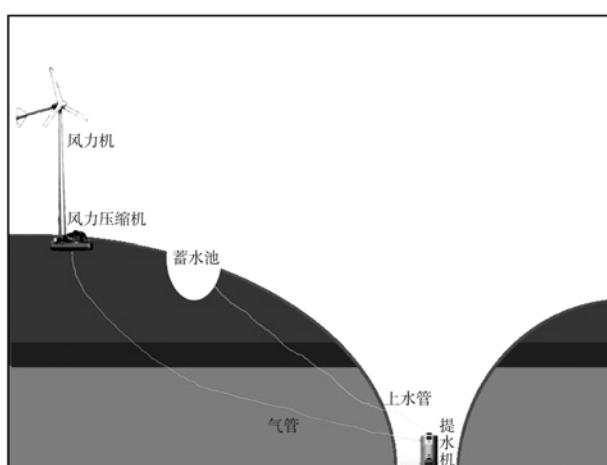


图 3 风力提水机在山地茶园的应用示意图

Fig. 3 Schematic diagram of wind-powered water pumping system for tea garden on upland

由图 3 可见，风力提水机由风力机、空气压缩机、气压扬水机及气管、水管组成。风力机安装在开阔、风力充足的地方，风叶在风能作用下压缩空气，通过气管传输高压气到气压扬水机，将山脚水扬提到高处的蓄水池中，作为山地茶园自压灌溉的水源。

### 2.2.2 风力提水机的扬水效率分析

若风力提水机的风叶半径为 2.1 m，以福建沿海平均风速 4  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  为例，可以计算风力提水机所获得的风能大小（胡光和张俊，2010）。

$$W = 1/2 \times m \times v^2 \quad (1)$$

其中： $m$  为每秒钟通过风叶的空气质量； $v$  为风速，取平均值  $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

先计算每秒钟通过风轮的风质量  $m$ ：

$$m = \rho \times V \quad (2)$$

其中： $\rho$  为空气密度，取  $1.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ； $V$  为每秒钟通过风轮的空气体积。

$$V = L \times S = v \times S \quad (3)$$

其中： $L$  为每秒钟空气通过长度，即为风速  $4.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ； $S$  为风轮圆周面积，风轮半径为 2.1 m。

$$S = \pi \times r^2 = 3.14 \times 2.1^2 = 13.85 \text{ m}^2$$

代入 (3)、(2)、(1) 后，可得每秒钟获得风能大小：

$$W = 1/2 \times m \times v^2 = 1/2 \times 72.0 \times 4^2 = 576.2 \text{ J}$$

若风力提水机所截获的风能全部转化为机械能用于扬水，那么扬水高程为 30.0 m 的水质量为：

$$mg \times h = 572.2$$

$$m = 572.2 \div 10 \div 30 = 1.90 \text{ (kg)}$$

可见，理论上风叶半径为 2.1 m 的风力提水机每秒钟可将 1.90 kg 的水扬提 30 m 高程，即每天将  $164.2 \text{ m}^3$  的水扬提 30 m 高程。

由于风叶会散泄去部分风能，同时空气压缩机和气压扬水机的机械运动也消耗去部分能量。因此在实际运行中，该规格风力提水机 30 m 高程的扬水效率远低于  $1.90 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ 。若风力提水机的效能以 50% 计，平均每天可将  $82.1 \text{ m}^3$  的水扬提 30 m 高程。在山地茶园风力提水机应用现场的多日测算的平均值略低于此值。

## 3 讨 论

风能与太阳能是当今世界最具发展前景的新能源技术，风力提水是风能在农业生产中利用的一种重要形式。而国内外的研究和应用主要集中在传统的机-泵一体式风力提水系统以及机-泵分体式的电动提水系统<sup>[4]</sup>。本研究设计了适用于福建山地的机泵分体式风力提水机，克服了传统风力提水系统经常遭受台风摧毁的缺陷。蔡良锥的研究也发现由于福建夏秋季节台风活动较频繁，传统风力压缩机容易发生损毁<sup>[4]</sup>。

同时，本研究分析了风力提水机在山地茶园的应用效率。根据前期的研究表明，在福建铁观音茶

树的秋茶生长季节, 10 d 灌溉 1 次有利于铁观音茶树的生长和提高茶叶的品质, 而且 4 年龄铁观音茶园每次每  $667 \text{ m}^2$  充分灌溉的需水量为  $12.6 \text{ m}^3$ <sup>[5-7]</sup>。在福建沿海地区(风速平均为  $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )条件下, 利用风叶半径为 2.1 m 的风力提水机每 5 d 可将  $410.5 \text{ m}^3$  的水扬提 30 m 高程。表明利用 3 台风力提水机分 3 级将水扬提到山顶, 可满足近  $6.67 \text{ hm}^2$  铁观音茶园的灌溉需求。相当于同等条件下选用 8SH-13A 型水泵(配套电机 37 kW, 出水量  $270 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )工作 3.0 h, 用电量为 111 kWh, 节能效益明显。因此, 风力提水机可应用于福建山地茶园的生产实践。

#### 参考文献:

- [1] 朱瑞兆. 风能资源的计算 [J]. 四川气象, 1985,(2): 29—35.
- [2] 丁莹, 何占松. 我国风力提水设备应用现状及发展方向 [J]. 农村牧区机械化, 2012, (2): 50—52.
- [3] 刘静, 王连喜, 戴小笠. 宁夏农牧区荒漠化草场风能发电提水模式资源评估 [J]. 中国生态农业学报, 2003, 11 (3): 99—102.
- [4] 蔡良锥. 机泵分离式风力气动提水机的设计与研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- [5] 胡光, 张俊. 风力提水装置的效能计算 [J]. 制造业自动化 2010, 32 (10): 196—199.
- [6] CHEN X, ZHUANG C, HE H, et al. Photosynthesis, Yield, and Chemical Composition of Tieguanyin Tea Plants [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] in Response to Irrigation Treatments [J]. Agriculture Water Management, 2010, 97 (2010): 419—425.
- [7] 柯玉琴, 王丽, 韩国强, 等. 不同灌溉处理对铁观音茶树光合作用的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19 (10): 2132—2136.
- [8] 庄重光. 不同灌溉处理下铁观音茶树的生理生化特性及其分子机理研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2008.

(责任编辑: 柯文辉)