

文章编号: 1007-2284(2018) 11-0192-03

# 北方牧区新能源供水泵站技术研究

王世锋,侯诗文,曹亮

(水利部牧区水利科学研究所,呼和浩特 010020)

**摘要:**我国北方牧区常规能源较为短缺,电网覆盖有限,很多地方还没有通电,但在我国广大偏远北方牧区有丰富的风能和太阳能资源,将风能太阳能能源动力系统与供水系统相集成,在牧区水源、水质相对较好地区采用新能源分散供水即一家一户的供水模式;在水资源匮乏的地区解决牧区利用深层地下水,采用集中供水的供水模式。并将现代控制技术与供水系统相集成,实现全天候、高保证率、自动供水技术。从能源容量计算、泵站供水模式、典型实例、经济性分析等方面进行北方牧区泵站技术探讨。

**关键词:**风能;太阳能;牧区;供水泵站

**中图分类号:** TV93      **文献标识码:** A

## Research on the Technology of New Energy Supply Pump Station in Northern Pastoral Areas

WANG Shi-feng, HOU Shi-wen, CAO Liang

(Research Institute of Water Science in Pastoral Areas, Ministry of Water Resources, Hohhot 010020, China)

**Abstract:** The northern pastoral areas of China is short of conventional energy, the grid coverage is limited and no electricity is available in many places. But there are abundant wind and solar energy resources in the remote northern pastoral areas of China. The energy system of wind energy and solar energy is integrated with the water supply system, and water and water quality are used in the better areas to disperse the water supply in better areas. In the areas where water resources are scarce, we should solve the problem of using deep groundwater in pasturing areas and adopt centralized water supply mode. And integrate modern control technology and water supply system to achieve all-weather, high guarantee rate, automatic water supply technology. This paper discusses the technology of pumping stations in northern pastoral areas from the aspects of energy capacity calculation, pumping station water supply mode, typical examples and economic analysis.

**Key words:** wind energy; solar energy; pastoral areas; water supply pumping station

## 0 引言

牧区人居分散,电网建设因线损高、效益低,目前绝大多数地区处于无电网现状。这些地区非常适合建设风能、太阳能动力的供水泵站。根据不同典型牧区的特点,将风能太阳能系统与供水系统相集成,在牧区水源、水质相对较好地区采用新能源分散供水即高位水箱重力供水或压力罐供水一家一户的

供水模式;在水资源匮乏的地区解决牧区利用深层地下水,采用集中供水的供水模式。并将现代控制技术与供水系统相集成,实现全天候、高保证率、自动供水技术。

在我国牧区、欠发达农村、山区及边防哨所等地区,由于多数地处高寒、人居分散,饮水水源埋深深,由于这些地区环境特殊和微小的供水量,至今人畜安全饮水问题未得到解决,其原因是缺乏适用的、经济的成套技术方案。本文的提出我国新能源微小供水模式,解决偏远地区的饮水困难问题,实现人畜自来水化供水。为这些地区提供因地制宜的供水技术方案意义重大。牧区人畜供水工程是我国水利建设的一项重要内容,牧区供水事业的发展,直接关系到该地区的经济发展和人民生活水平的提高,也是为农村牧区水利现代化建设及我国全面部署实施乡村振兴战略提供技术支撑。

收稿日期: 2018-04-24

基金项目: 中国水科院科基本科研业务费专项项目(MK2017J03);  
中国水科院院所专项(MK2016J02);青海省科技成果转化专项(2016-NK-432)。

作者简介: 王世锋(1979-),男,硕士,主要从事风能太阳能研究工作。E-mail: wsfxy2050@163.com。

# 1 供水泵站风能太阳能容量确定

## 1.1 太阳能设备容量的计算

太阳能供水泵站装机容量为:

$$N = \frac{1}{3600} \rho g Q_{max} H k_5 / k_1 k_2 k_3 k_4 \quad (1)$$

式中:  $N$  为光伏系统容量,  $W$ ;  $\rho$  为水密度,  $kg/m^3$ ;  $g$  为主力加速度,  $m/s^2$ ;  $Q_{max}$  为水泵峰值流量,  $m^3/h$ ;  $H$  为扬程,  $m$ ;  $k_1$  为流量修正系数;  $k_2$  为水泵型式修正系数;  $k_3$  为电力传动修正系数;  $k_4$  为太阳能资源修正系数;  $k_5$  为光伏阵列跟踪修正系数。

公式中修正系数见《光伏提水工程技术规程》中 4.7。

## 1.2 风能设备容量确定

风力发电供水机容量按下列公式确定。

$$P = \left( \frac{Q_z}{3600 t} H \rho g \right) / (\eta_1 \eta_2) \quad (2)$$

式中:  $Q_z$  为日供水量,  $m^3$ ;  $t$  为风力机满负荷工作小时数 (4~6 h);  $P$  为风力机功率,  $W$ ;  $\eta_1$  为水泵效率, %;  $\eta_2$  为发电机效率, %。

# 2 风能太阳能供水模式

## 2.1 分散供水模式

牧区分散供水模式适用于居住分散地下水量相对充沛、埋深较浅的地区。采用一家一户的分散供水形式。牧区分散式供水水源多为管井、大口井、辐射井、渗渠、截伏流、泉室、水窖等取水构筑物,取水水源主要是浅层地下水和局部地表水。

## 2.2 集中供水模式

牧区集中供水模式适用于牧区人畜饮水以地下水为主,这些区域的地下水一般埋深较深,水源井深约 80~150 m,水质好,水量相对充沛,涌水量 2~10  $m^3/d$  的地区。

## 2.3 风能供水泵站模式研究

适合年平均风速大于等于 2.5  $m/s$ , 年平均有效风能密度大于等于 300  $W/m^2$ , 年平均有效风速小时数大于 3000 h 的干旱、大风的牧区。北方牧场 80% 的地区可使用风能作为动力的牧场供水模式。

牧场风能供水系统由以下部分组成(图 1):取水建筑物、风力机(或风力发电机)、控制系统、提水装置(泵)、输水管道、用户、蓄水池。

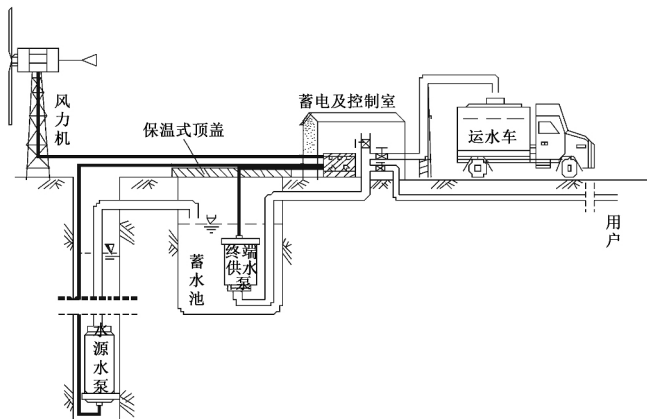
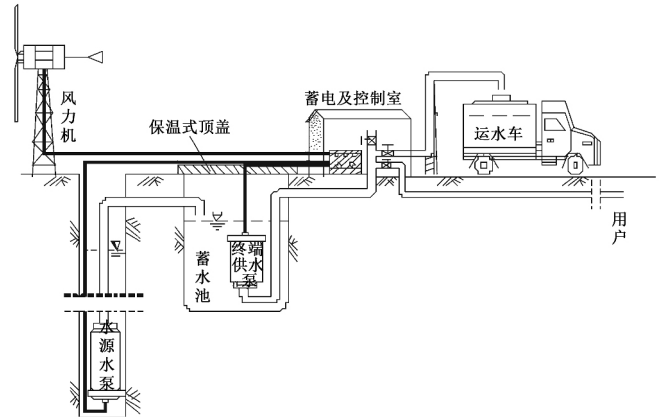


图 1 风能供水泵站示意图

## 2.4 太阳能供水泵站模式

适用于山区、风速小、海拔高、严寒的牧区。太阳能资源:年平均日照小时数不小于 2200 h;年平均总辐射量不小于 1400  $kWh/(m^2 \cdot a)$ 。极限最低温度  $-40^\circ C$ , 极限最高温度  $+60^\circ C$ 。50 年一遇的最大风速不大于 50  $m/s$ 。

太阳能供水泵站由以下部分组成(图 2):太阳能电池板、支架、基础、蓄电池组(如有)、控制系统、水泵、取水建筑物、输水管道、蓄水池(如有)、用水终端、安全防护网等。



1-水源;2-提水主泵;3-光伏系统;4-转换开关;5-上游水管;6-蓄水池;7-装车辅泵;8-下游水管;9-运水车

图 2 太阳能供水系统示意图

## 2.5 风光互补供水泵站模式

太阳能资源 II 类及以上可利用地区,年平均风速大于 3  $m/s$  以上牧区地区,均可适用风光互补牧区供水泵站模式。

北方牧区,太阳能夏季大,冬季小,而风能夏季小,冬季大,所以可利用风能太阳能两者的变化趋势基本相反地自然特性,扬长避短,相互配合,发挥出可再生资源的最大效应。同时单一电源因资源在时、空、量、序上的随机性,引起出力不均,其互补发电不但比单一发电更高效、可靠、经济,更重要的是互补后出力稳定。

风能太阳能互补供水模式由水源(机井)、风力提水机组、太阳能动力系统、控制器、输配水管网、水泵、蓄水池组成(图 3)。

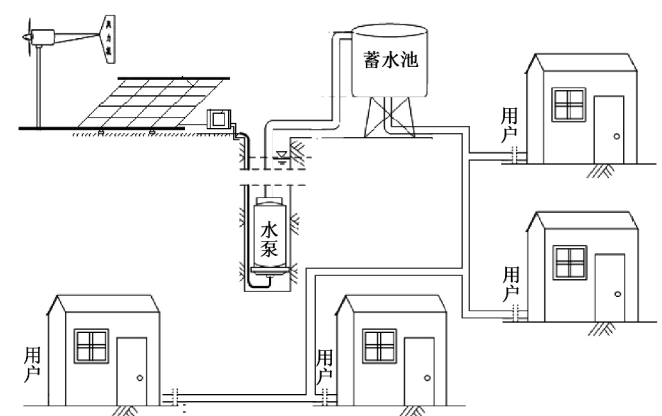


图 3 风能太阳能供水泵站组成示意图

# 3 实例分析

以内蒙古某地建设的一个太阳能动力供水泵站模式为

例,其每天的需水量为  $32 \text{ m}^3$ ,要求水泵扬程为  $100 \text{ m}$ ,额定流量为  $6 \text{ m}^3/\text{h}$ (太阳能提水泵站只有在额定功率点运行时才能达到最大流量,绝大部分时间流量都在额定流量以下,一天工作  $8 \text{ h}$ ,折合满负荷运行时间  $5\sim 6 \text{ h}$ )。

### 3.1 代表日光资源分析

太阳能光伏提水系统,一般当水平面辐射量达到或大于

表 1 代表日水平面太阳能总辐射量日变化表

时刻	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
总辐射	0.05	0.15	0.29	0.43	0.54	0.62	0.62	0.59	0.49	0.38	0.25	0.12	0.05	0

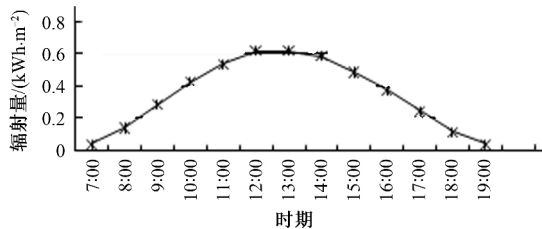


图 4 代表日水平面太阳能总辐射量日变化

### 3.2 太阳能泵站装机容量的确定

太阳能泵站的装机容量主要取决于提水扬程、流量和太阳

表 2 代表日各时段提水量

时间	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00
提水量	3.1	3.9	4.1	4.6	4.6	4.2	4.0	3.5

合计理论总提水量为  $32 \text{ m}^3$ ,可满足  $3\ 000$  只羊,  $10$  户牧民的饮水问题。

如果建设风能供水泵站,根据用户的日用水量,结合当地的风能资源(不同风能资源满负荷小时数  $t$  取值不同),通过公式(2)即可得到风力发电机的装机容量;如果建设风光互补供水泵站,单一能源提水存在连续无风或者连续的阴雨天气,根据《风力提水工程技术规程》的规定,蓄水工程的设计容量不应小于最大日用水量的  $3$  倍。而风能太阳能互补后按照《村镇供水工程技术规范》的规定,能源有可靠电源和可靠供水系统的工程,单独设立的高位水池可按最高日用水量的  $20\%\sim 40\%$  设计,相比之下大大降低供水工程的造价。通过建设地资源情况以及泵站整体经济性分析,合理分配太阳能提水、风力提水的日提水量,确定了两种能源分别需要满足的日提水量后,通过公式(1)和公式(2)可计算出太阳能电池、风力提水机的装机容量。

## 4 供水泵站经济性分析

### 4.1 项目的投资

风力供水、太阳能供水、传统柴油机供水单位千瓦造价(一次性投入)见表 3。

### 4.2 总成本费用

①年运行费见表 4。②折旧费见表 5。③年运行满负荷小时数见表 6。④单位千瓦时投资及千瓦时费用见表 7。

通过上述风能供水、太阳能供水、内燃机供水工程的经济性分析可知,  $1 \text{ kWh}$  运行费用内燃机  $>$  风力提水  $>$  太阳能提水。

$200 \text{ Wh}/\text{m}^2$  时,系统便可提水工作。而太阳能辐射量在一天中的变化规律是:由零到极值再由极值到零而变化的,不同地区只是变化数值不同而已。内蒙古某地代表日水平面太阳能总辐射量日变化见表 1 和图 4。

能资源,同时也与水泵型式、传动方式等因素有关。装机容量的确定采用公式(1)进行计算。

当扬程  $100 \text{ m}$ ,流量为  $6 \text{ m}^3$  时,需太阳能电池系统装机容量为  $3.37 \text{ kW}_p$ 。

### 3.3 代表日提水量

为保证供水的可靠性和工程的匹配性,采用日提水量计算确定装机容量时,将理论值  $3.37 \text{ kW}_p$  修正为  $3.5 \text{ kW}_p$ (以下分析计算均采用该修正值),依据该地区的太阳能资源计算得到日各时段的实际提水量如表 2。

表 3 供水设备单位千瓦造价

	风力提水	光伏提水 (固定式)	内燃机提水
风力机	6 500	0	0
太阳能电池	0	4 500	0
内燃机	0	0	450
太阳能电池支架	0	1 000	0
提水泵	550	550	550
高位水塔	10 000	10 000	550
控制器	830	760	0
辅助材料	300	300	0
土建工程	400	450	100
安装调试	560	560	50
其他	300	300	50
合计	19 440	18 420	1 750

表 4 年运行费用

	风力提水	光伏提水 (固定式)	内燃机提水	备注
管理费	2 000	10 00	30 元/dx 300 dx= 9 000	内燃有人看守风能、太阳能无人看守
修理费	500	50	500	
材料及 其他费用	500	50	500	
燃料	0	0	5 840	油耗按 $250 \text{ g}/\text{kWh}$ , 燃油 $8 \text{ 元}/\text{kg}$ , 年运行小时数 $2\ 920 \text{ h}$ (每天 $8 \text{ h}$ )
合计	3 000	1 100	15 340	

(下转第 198 页)

和 02 号导叶则可以满足客户要求。

而由以上分析可知,关死点扬程都满足客户要求,额定点扬程也满足要求,额定点效率 01 号导叶不达标,而最大轴功率 03 号导叶超标,02 号导叶虽然最大流量比客户要求的较高,但最大轴功率并没有引起原动机过载,故能够满足客户需求。

### 4 结 语

(1) 流量扬程曲线的陡降程度随导叶喉部面积的增大而减小,即导叶喉部面积越小,关死点扬程越小,最大流量也越小。最高效率点随导叶喉部面积的增大而向小流量点偏移,且最高效率随导叶喉部面积的增大而增大。最大轴功率随导叶喉部面积的增大而增大。在叶轮保持不变的前提下,导叶喉部面积的合理取值是影响水泵性能指标的重要因素。

(2) 低比转速离心泵径向导叶运用面积比原理设计的技术并不成熟,本文仅仅选取了三个不同喉部面积的参数进行了试验验证,而根据面积比原理,叶轮与导叶喉部面积的比值存在一个最佳值,需要后续的试验进行研究验证。

(3) 新设计的 02 号导叶能够满足客户要求,说明导叶喉部面积对多级离心泵性能影响显著,可以作为泵设计和预测性能最有效的方法之一。 □

#### 参考文献:

[1] 汪家琼,孔繁余.多级离心泵叶轮与导叶水力性能优化研究[J].华中科技大学学报:自然科学版,2013,(3):92-96.

[2] 袁寿其,胡博,陆伟刚,等.中比转数离心泵多工况设计[J].排灌机械工程学报,2012,30(5):497-502.

[3] 王凯.离心泵多工况水力设计和优化及其应用[D].南京:江苏大学,2011.

[4] 王幼民,唐铃凤,秦小建.中低比转速离心泵叶轮多目标优化设计[J].机械传动,2003,27(2):27-29.

[5] 张德胜,施卫东,陆伟刚,等.高效区宽离心泵的研制与试验研究[J].中国农村水利水电,2008,(7):95-97.

[6] 刘剑军.无过载设计方法在低比转速多级离心泵上的应用[J].水泵技术,2008,(5):27-29.

[7] 宋志光.多级离心泵导叶流动性能及优化设计的研究[D].广州:华南理工大学,2014.

[8] 刘厚林,周孝华,王凯,等.多级离心泵径向导叶内压力的脉动特性[J].中南大学学报:自然科学版,2014,45(9):3295-3300.

[9] 武斌,冀春俊.采用叶轮出口斜切及导叶喉部优化改善一台节段式多级泵外特性的数值分析与试验研究[J].水泵技术,2014,(6):15-19.

[10] 周邵萍,胡良波,张浩.多级离心泵级间导叶性能优化[J].农业机械学报,2015,(4):7.

[11] 薛睿,李家文,唐飞.多级泵级间导叶的优化与数值仿真[J].火箭推进,2011,37(5):24-29.

[12] 黄思,周先华.节段式多级离心泵全三维湍流场的数值模拟[J].西华大学学报:自然科学版,2005,24(6):37-42.

[13] 张学静,杨军虎.多级泵内部流场的三维数值模拟及性能预测[J].流体机械,2011,39(8):24-28.

[14] 朱相源,江伟,李国君,等.导叶式离心泵内部流动特性数值模拟[J].农业机械学报,2016,47(6):34-41.

[15] 谢蓉,祁恒,单玉姣,等.AP1000核主泵模型泵导叶水力设计与数值优化[J].排灌机械工程学报,2014,32(12):1029-1034.

[16] 曹卫东,刘光辉,刘冰.两级离心泵径向导叶水力优化[J].排灌机械工程学报,2014,32(8):663-668.

(上接第 194 页)

表 5 单位千瓦折旧费用

名称	风力提水	光伏提水 (固定式)	内燃机提水
折旧年限/a	15	20	15
年折旧额/元	1296	921	116.67

表 6 运行满负荷小时数

名称	风力提水	光伏提水 (固定式)	内燃机提水
满负荷小时数/h	3000	1500	2920

表 7 单位千瓦时投资及千瓦时费用

名称	风力提水	光伏提水 (固定式)	内燃机提水
满负荷小时数/h	3000	1500	2920
度电投资/元	6.48	12.28	0.60
度电费用/元	1.43	1.35	5.29

每立方提水成本内燃机>风力提水>太阳能提水。

### 5 结 语

发展牧区风能太阳能供水泵站模式是解决牧区安全供水的一个有效途径。采用风能太阳能作为供水的能源动力可解决北方牧区电网未及问题。

通过对风能太阳能转化电能的计算、供水泵站模式的合理选择,科学的匹配供水泵站中的各个部件,不仅能够节约供水泵站成本,还可以增加泵站的运行寿命、提高供水保证率。通过对案例的具体计算,体现了风能太阳能供水泵站中具有很好的技术、经济效益。也可为今后我国无电牧区建设风能太阳能以及多能互补供水泵站提供参与与借鉴。 □

#### 参考文献:

[1] 刘琴,郑新伟,耿娟.加拿大牧区牲畜饮水系统简介及其对我区畜牧业发展的借鉴[J].新疆畜牧业,2013,(3).

[2] 吴永忠.风力提水工程技术规程[M].北京:水利水电出版社,2006.

[3] 潘智刚,李风云.牧区人畜饮水安全及困难问题快速解决优化方案[J].中国农村水利水电,2010,(2).

[4] 查咏,刘惠敏.光伏提水系统设计[J].灌溉排水学报,2009,3(B):170-171.

[5] 查咏,吴永忠,刘惠敏.光伏提水灌溉的技术和经济性初步分析[J].灌溉排水学报,2007,11(S1):146-147.