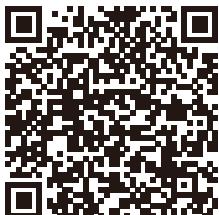


Doi: 10.3969/j.issn.1674-8530.18.0108



## 新型户外变频控制器保温柜

李亮,侯诗文\*,王星天,刘文兵,王世锋

(中国水利水电科学研究院牧区水利科学研究所,内蒙古呼和浩特 010020)



李亮

**摘要:**针对风能、太阳能提水设备变频控制器冬季供水易冻损的情况,通过保温柜原理、技术、结构的分析,完成了户外变频控制器保温柜的设计,开发新型户外变频控制器保温柜。利用模型模拟及试验验证的方法,分析保温柜的保温效果,并进行试验分析研究。研究显示,自限温伴热带长度与环境温度的线性模型为 $L = -0.062T_{\infty} + 0.65$ ,标准差为0.804,精度较高,确定保温柜理想加热模式是自限温伴热带长度为2.2 m,加热时间为25 min。分析显示,保温柜利用自限温伴热带可有效提高柜内温度,保障控制器的正常启闭,具有较好的实际应用效果,对提高风能、太阳能提水设备在高、寒、荒偏远地区冬季的供水保证率具有重要意义。

**关键词:**自限温伴热带;风能、太阳能提水;变频控制器;保温柜;冬季防冻

**中图分类号:**S214.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-8530(2019)04-0363-06

李亮,侯诗文,王星天,等.新型户外变频控制器保温柜[J].排灌机械工程学报,2019,37(4):363-368.

LI Liang, HOU Shiwen, WANG Xingtian, et al. A new type thermal insulation cabinet of outdoor frequency conversion controller[J].

Journal of drainage and irrigation machinery engineering (JDIME), 2019, 37(4):363-368. (in Chinese)

## A new type thermal insulation cabinet of outdoor frequency conversion controller

LI Liang, HOU Shiwen\*, WANG Xingtian, LIU Wenbin, WANG Shifeng

(Institute of Water Resources for Pastoral Area, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Huhhot, Inner Mongolia 010020, China)

**Abstract:** Through the analysis of the principle, technology and structure of the insulation cabinet, the design of the insulation cabinet of the outdoor frequency conversion controller was completed, which solved the problem that the frequency conversion controller of the wind and solar water pumping equipment was easy to freeze in winter. In the development of a new type outdoor frequency conversion controller insulation cabinet, its thermal insulation effect was analyzed by means of model simulation and test verification, and the experimental analysis was made. The results show that the linear model of the length of self-limiting temperature tracing tropical zone the ambient temperature is  $L = -0.062T_{\infty} + 0.65$ , the standard deviation is 0.804, and the precision is high. The ideal heating mode of the insulation cabinet is determined to be the length of the self-limiting temperature tracing tropical zone of 2.2 m and the heating time of 25 minutes. The analysis shows that the self-limiting temperature tracing tropical zone used in the insulation cabinet can effectively improve the temperature inside the cabinet and ensure the normal opening and closing of the controller, which has better practical application effect. As a result, it is of great significance to improve the water-supply guarantee rate of wind energy

收稿时间:2018-05-22;修回日期:2018-06-19;网络发表时间:2019-04-04

网络发表地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20190404.1054.010.html>

基金项目:中国水科院基本科研业务费专项(MK2017J03,MK2016J21,MK2016J02);青海省科技成果转化专项(2016-NK-132)

第一作者简介:李亮(1980—),男,内蒙古巴彦淖尔市人,博士(mkslliang@163.com),主要从事牧区供水及节水灌溉研究。

通信作者简介:侯诗文(1989—),男,湖南娄底人,硕士(hswwss@126.com),主要从事牧区供水及节水灌溉研究。

and solar energy water-supply equipment in winter in high, cold and remote areas.

**Key words:** self-regulating heating cable; wind energy and solar energy water-supply; frequency conversion controller; thermal insulation cabinet; winter freeze protection

风能、太阳能提水设备广泛应用在无常规能源的高、寒、荒等偏远地区<sup>[1]</sup>,且多置于野外。在冬季,设备常常会出现严重冻损现象,尤其是作为提水设备唯一电器部分的变频器,成为主要冻损部件。当气温达到-10℃以下时<sup>[2]</sup>,变频器不能正常启动,同时存在内部元器件损坏的情况。目前,对变频器采取的防冻措施主要是加装棉套或其他材料实行包裹,保温方式落后,保温效果较差。

风能、太阳能提水设备主要应用在牧场供水中,目前提水设备在偏远地区的利用已得到示范推广,同时针对风能、太阳能提水系统的研究已有很多成果<sup>[3]</sup>,但对新能源提水设备变频控制器防冻的研究仍不多见。文中针对风能、太阳能提水设备变频控制器的防冻问题进行分析研究,开发新型防冻设备,分析设备防冻效果,为风能、太阳能提水机具大范围、全天候供水提供依据,对改善风能、太阳能提水机具的可靠性具有重要作用,对提高无常规能源偏远地区的供水方便程度具有重要意义。

文中主要开发一种新型户外变频控制器保温柜,同时分析研究保温效果,目的在于提供一种有效防冻保温且可自动散热的户外变频器保温柜。

## 1 工作原理及功能

新型户外变频控制器保温柜是一种能保证风能、太阳能提水变频控制器在低温条件下正常供水,同时在高温或正常温度条件下可散热的光伏提水变频控制器防冻系统。

### 1.1 总体结构

新型户外变频器保温柜如图1所示,包括柜体和风能、太阳能发电装置;在柜体上设有柜门,柜体内壁布置有保温层,在柜体侧壁上设有散热窗,在散热窗上设有电动闭风装置,在柜体内设有温度控制开关和变频器,在柜体内壁上设有电加热器;风光互补发电装置包括有风力发电机、太阳能光伏组件、控制器,风力发电机和太阳能光伏组件的输出端与控制器输入端电连接。

控制器输出端与电加热器和温度控制开关串联组成闭合回路,如图2所示。

电动闭风装置为电动百叶窗,电动百叶窗的输

入端与变频器的输出端电连接,如图3所示。

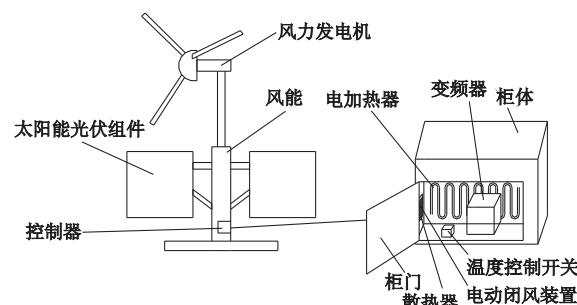


图1 整体结构示意图

Fig.1 Diagram of overall structure

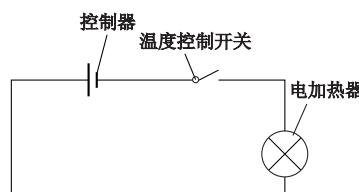


图2 电路闭合示意图

Fig.2 Diagram of circuit closing

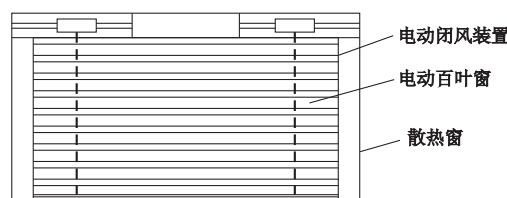


图3 电动百叶窗安装示意图

Fig.3 Installation diagram of electric shutter

电动闭风装置如图4所示,包括滑道、闸板和电磁铁;在散热窗两侧对称竖直设有两条滑道,在滑道内上下滑动设有闸板;在闸板上方的柜体内壁上设有电磁铁,电磁铁与变频器的输出端电连接;闸板采用非金属材质制成,在电磁铁下方对应的闸板顶部固定设有金属片。

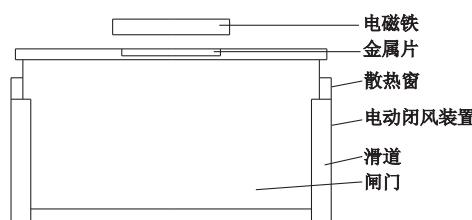


图4 滑道、闸板、电磁铁安装示意图

Fig.4 Installation diagram of slide, gate, electromagnet

## 1.2 工作原理

当柜体内的温度低于温度控制开关设定值下限时,温度控制开关闭合,由风能、太阳能发电装置产生的电能直接供给电加热器,为柜体内部加热,进而对装设于柜体内的变频器起到防冻保温作用;当柜体内的温度高于温度控制开关设定值上限时,温度控制开关断开,电加热器停止加热,温度控制开关的设定值为-10~10℃。当保温柜内的变频器通电开始工作时,与变频器的输出端电连接的电动闭风装置启动,散热窗打开,实现保温柜自动散热的功能;当变频器停止工作时,电动闭风装置随之断电停止工作,自动关闭散热窗,进而达到在冬季为变频器防冻保温的目的。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验设备

主要试验设备包括:

1) 风冷式冷冻箱。冷冻箱型号为TF-LK40-4000LA,电源采用380V工频电源,并应有可靠的接地安全措施。

2) 纽扣式温度记录系统。由纽扣式温度记录仪、读卡器、PC软件3个部分组成,为完整芯片级温度记录系统。

3) 电加热器采用DXW-12J型自限温伴热带,简称SHD,是新一代唯一带状恒温电加热器<sup>[4]</sup>。其发热原件的电阻率具有很高的正温度系数且相互并联,工作电压为220V,交直流两用,低电压产品,不得在高电压条件下应用。

4) 变频控制器、风光提水设备及温度控制开关均为市场通用设备。

### 2.2 试验设计

试验于2017年3—12月进行,主要以室内试验为主,试验对象为户外变频控制器保温柜,保温柜内放置温度记录仪,将保温柜放置于冷冻箱内,保温柜通过电缆及冷冻箱预留孔与外部电源连接;利用冷冻箱模拟低温条件,分为-10,-20,-30,-40℃4个水平进行试验。试验过程中,保温柜放置于冷冻箱内,当冷冻箱温度达到试验水平时,SHD通电开始加温保温柜,分析保温柜内部温度变化及变频控制器的启闭情况。

### 2.3 传热模型建立与求解

文中主要研究保温柜在特定外部环境温度下的保温效果,其传热过程可简化为一维稳态传热。根

据能量守恒定律有

$$\Phi_j = \Phi_f + \Phi_r, \quad (1)$$

式中: $\Phi_j$  为保温柜加热热流量,W; $\Phi_f$  为对流传热热流量,W; $\Phi_r$  为辐射热流量,W.

#### 2.3.1 导热过程分析

1) 导热模型建立。根据能量守恒定律和傅里叶定律建立物体温度场变化关系式的导热微分方程,同时确定导热系数为常数,即

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \bar{\Phi}, \quad (2)$$

式中: $x, y, z$  为坐标轴方向的分热流量,J;t 为温度,℃; $\rho$  为密度,kg/m<sup>3</sup>;c 为比定压热容,J/(kg·K); $\tau$  为时间,s; $\bar{\Phi}$  为内热源生产热量,W/m<sup>3</sup>;a 为热扩散系数,m<sup>2</sup>/s,其中, $a=\lambda/(\rho c)$ .

对式(2)进行常物性、降维简化,时间 $\tau$ 取定值为50 min,可简化为一维稳态导热过程,即

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \bar{\Phi}, \\ x=0, t=t_1; x=\delta_1+\delta_2, t=t_3, \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\delta_1, \delta_2$  分别为保温层、外壁厚度,m; $t_1, t_3$  为保温柜内、外壁温度,℃.

对保温柜内部温度维持为 $t_1$ 时伴热带所需加热功率进行分析。以保温柜作为1个热源,其与外界环境传热方式为大空间自然对流传热与辐射传热。

2) 导热过程求解。保温柜柜体传热方式以导热为主,其导热热阻为

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \quad (4)$$

式中: $R$  为导热热阻,m<sup>2</sup>·K/W; $\lambda_1, \lambda_2$  分别为保温层、外壁导热系数,W/(m·K).

导热热流量为

$$\Phi_d = \frac{A(t_1 - t_3)}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}}, \quad (5)$$

式中: $\Phi_d$  为导热热流量,W.

#### 2.3.2 对流传热过程分析

1) 对流传热模型建立。保温柜各面与外界环境传热方式为大空间自然对流传热,其传热控制方程为

$$\begin{cases} u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g a_v \theta + v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \\ u \frac{\partial t}{\partial x} + v \frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right), \end{cases} \quad (6)$$

式中: $u$  为流体运动黏度,kg·(m·s); $v$  为流体动

动黏度,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;  $g$  为重力加速度,  $\text{m}/\text{s}^2$ ;  $a_v$  为体积膨胀系数  $\alpha_v = 1/T, \text{K}^{-1}$ ;  $\theta = T - T_\infty$ ;  $c_p$  为比定压热容,  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .

应用相似原理及量纲分析法, 引入量纲一的  $Nu, G_r, P_r$ , 则式(6)简化为对流传热准则方程式, 即

$$Nu = f(G_r, P_r), \quad (7)$$

式中: 努塞尔数  $Nu = hl/\lambda$ , 表征对流换热强度; 格拉晓夫数  $G_r = g\alpha_v \Delta t l^3 / \nu^2$ , 为浮升力与黏性力之比的一种度量; 普朗特数  $P_r = \frac{\mu c_p}{\lambda} = \frac{v}{a}$ , 为动能扩散能力与热能扩散能力的一种度量.

2) 对流传热过程求解. 保温柜四周壁面与环境换热形式属于均匀壁温边界条件的大空间自然对流, 符合式(8)的试验关联式<sup>[5]</sup>

$$Nu_m = C(G_r P_r)_m^n, \quad (8)$$

式中: 下角标 m 表示定性温度采用边界层的算术平均温度  $t_m = (t_3 + t_\infty)/2$ . 量纲一的  $G_r$  数中的  $\Delta t$  为  $t_3$  与环境温度  $t_\infty$  之差, 系数 C 与指数 n 根据表 1 选取.

表 1 参数 C, n 取值  
Tab.1 Parameter C, n values

流态	C	n	$G_r$ 适用范围
层流	0.590 0	1/4	$1.43 \times 10^4 \sim 3.00 \times 10^9$
过渡	0.029 2	0.39	$3.00 \times 10^9 \sim 2.00 \times 10^{10}$
湍流	0.110 0	1/3	$> 2.00 \times 10^{10}$

保温柜上表面壁面与环境换热形式符合式(9)关联式<sup>[6]</sup>, 即

$$\begin{aligned} Nu &= 0.54(G_r P_r)^{1/4}, 10^4 \leq G_r P_r \leq 10^7, \\ Nu &= 0.15(G_r P_r)^{1/4}, 10^7 \leq G_r P_r \leq 10^{11}. \end{aligned} \quad (9)$$

保温柜下表面壁面与环境换热形式符合式(10)关联式<sup>[5]</sup>, 即

$$Nu = 0.27(G_r P_r)^{1/4}, 10^5 \leq G_r P_r \leq 10^{10}. \quad (10)$$

式(9)、式(10)的定性温度为  $(t_3 + t_\infty)/2$ , 特征长度为

$$L = A_p/P, \quad (11)$$

式中:  $L$  为特征长度,  $\text{m}$ ;  $A_p$  为平板的换热面积,  $\text{m}^2$ ;  $P$  为平板的周界长度,  $\text{m}$ .

对流传热热流量为

$$\Phi_f = A_f(t_3 - t_\infty) Nu \frac{\lambda}{L}, \quad (12)$$

式中:  $\Phi_f$  为对流传热热流量,  $\text{W}$ ;  $A_f$  为对流传热面积,  $\text{m}^2$ .

### 2.3.3 辐射传热过程分析

保温柜与大空间辐射传热量计算公式为

$$\Phi_r = \varepsilon_1 A_1 \sigma (T_3^4 - T_\infty^4), \quad (13)$$

式中:  $\Phi_r$  为辐射传热量,  $\text{W}$ ;  $\varepsilon_1$  为保温柜外壁发射

率, %;  $A_1$  为外壁面积,  $\text{m}^2$ ;  $\sigma$  为玻尔兹曼常数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , 其值为  $5.67 \times 10^8$ ;  $T_3, T_\infty$  分别为外壁与环境的热力学温度,  $\text{K}$ .

### 2.3.4 迭代求解

柜体长 0.5 m、宽 0.3 m、高 0.4 m; 外壁厚度为 0.001 m 的不锈钢材料; 保温层为硬泡沫塑料, 其导热系数为  $0.45 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , 厚度为 0.02 m; 柜体内部温度  $t_i$  维持在 10 °C.

1) 首先初设保温柜外壁温度  $t_3$ , 确定边界特征温度  $t_m$ , 确定空气在  $t_m$  下热物理性质, 计算出柜体与外界的传热量  $\Phi_f + \Phi_r$ .

2) 然后根据式(5)计算出导热外壁温度  $t'_3$ , 计算  $t_3$  与  $t'_3$  的误差.

3) 若  $t_3$  与  $t'_3$  误差大于 1%, 则重新选取柜外壁温度为  $(t_3 + t'_3)/2$ , 重复第一步与第二步, 直至误差小于 1%, 迭代终止. 不同环境温度下的求解结果如表 2 所示.

表 2 传热量计算表  
Tab.2 Heat transfer amount calculation table

$t_\infty/^\circ\text{C}$	$t_3/^\circ\text{C}$	$t_m/^\circ\text{C}$	$\Phi_d/\text{W}$	$\Phi_f/\text{W}$	$\Phi_r/\text{W}$
-40	-26.6	-33	77.41	38.16	39.37
-30	-20.3	-25	64.08	32.80	31.50
-20	-12.2	-16	46.95	19.00	28.20
-10	-4.9	-7	31.51	11.06	20.36

4) SHD 长度计算公式为

$$L = \Phi_d \Phi_z^{-1}, \quad (14)$$

式中:  $L$  为 SHD 长度,  $\text{m}$ ;  $\Phi_z$  为 SHD 标称功率,  $\text{W}/\text{m}$ . SHD 长度计算结果如表 3 所示.

表 3 SHD 长度计算表  
Tab.3 SHD length calculation table

$t_\infty/^\circ\text{C}$	-40	-30	-20	-10
$L/\text{m}$	3.10	2.56	1.88	1.26

计算显示, 当箱体温度保持在 -10 °C 时, SHD 长度与环境温度呈线性关系. 如图 5 所示, 温度越低, SHD 的长度越长, 线性模型为

$$L = -0.062t_\infty + 0.65. \quad (15)$$

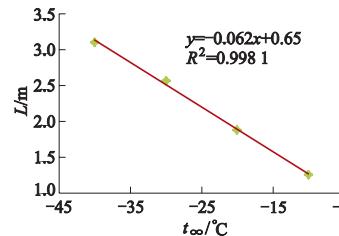


图 5 SHD 长度与环境温度线性关系图  
Fig.5 Linear relationship between SHD length and ambient temperature

### 2.3.5 模型检验

针对建立的传热模型进行验证,试验对-45,-35,-25,-15,-5 °C这5个温度下模型计算的SHD长度进行加热试验,验证保温箱温度保持10 °C时,冷冻柜降温到相应温度,当保温箱不能保持10 °C时的冷冻柜温度即是SHD最低温度。

模拟值与实测值的吻合程度见表4,采用标准差(Standard Deviation, SD)定量表示<sup>[7-10]</sup>为

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}, \quad (16)$$

式中: $Y_i$ 为观测值; $\hat{Y}_i$ 为模拟值; $N$ 为观测样本数; $i$ 为样本号。

表4 实测值与模拟值  
Tab.4 Measured and simulated values

$L/m$	实测值	模拟值
3.44	-44.2	-45
2.82	-34.5	-35
2.20	-23.9	-25
1.58	-14.3	-15
0.96	-4.2	-5

图6为不同SHD长度下,温度和加热时间的关系。由图6实测值与模拟值对比可知,实测值与模拟值拟合较好,计算得 $SD=0.804$ ,精度较高,说明模型模拟结果合理可靠。

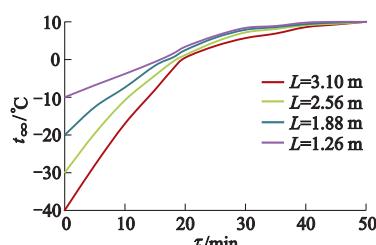


图6 不同SHD长度,温度与加热时间关系图  
Fig.6 Relationship between temperature and heating time at different SHD lengths

## 3 结果与分析

### 3.1 加热过程

根据模型计算温度分别为-40,-30,-20,-10 °C、SHD长度 $L$ 分别为3.10,2.56,1.88,1.26 m时的加热效果。

由图6可知,SHD不同长度加热至0 °C所需时间基本在15~20 min,加热至10 °C所需时间为40~50 min,模型模拟定值时间为50 min,试验加热时间均略小于模拟定值时间,说明模型模拟计算合理。加

热过程中0~10 °C时加热时间较长,0 °C以下加热时间较短;环境温度越低、SHD越长,升温越快,环境温度越高、SHD越短,升温越慢。

### 3.2 防冻效果试验

实际应用中,箱体只能有1个SHD长度,根据野外温度情况设定环境温度为-25 °C,SHD长度为2.2 m。

图7为固定SHD长度下,温度和加热时间的关系。由图7可知,当SHD长度为2.2 m时,环境温度加热至-10,0,10 °C需要时间如表5所示。

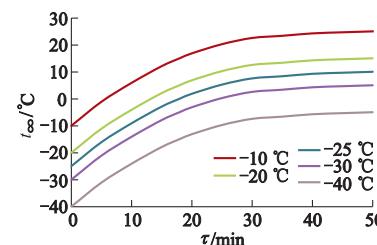


图7 定SHD长度,温度与加热时间关系图  
Fig.7 Relationship between temperature and heating time at the same SHD length

表5  $L=2.2$  m时加热时间表  
Tab.5 Heating schedule when  $L=2.2$  m

$t_\infty/^\circ\text{C}$	$\tau/\text{min}$		
	-10 °C	0 °C	10 °C
-10	-	6	13
-20	7	14	25
-25	9	18	50
-30	13	25	-
-40	24	-	-

设备正常工作温度区间为-10~10 °C,当SHD长度为2.2 m时,加热时间25 min,可满足环境温度在-40~-10 °C时保温柜的温度要求。

## 4 结论

研究针对风能、太阳能提水变频控制器冬季低温条件下易冻损的实际应用问题,研发了户外变频控制器保温柜,得出以下主要结论:

1) 户外变频控制器保温柜,利用风能、太阳能发电装置发出的电能不需要存储到蓄电池组中,直接通过控制器输送到电加热器,为柜体内部加热,进而对装设于柜体内的变频器起到防冻保温作用,保证柜体内的变频器在冬季可以正常工作;加热系统启动温度为-10 °C以下,加热持续温度为10 °C,加热断开温度为20 °C;通过变频器的启停同步控制电动闭风装置的启闭,进而控制散热窗的开闭,实

现保温柜自动散热的功能。

2) 建立加热模型并进行求解分析计算,明确SHD长度与环境温度的线性模型为 $L = -0.062 T_{\infty} + 0.65$ ,试验验证显示标准差为0.804,精度较高,说明模型模拟结果合理可靠。

3) 模型模拟和试验验证分析显示,确定SHD长度为2.2 m,加热时间为25 min,是符合保温柜实际应用需求的理想加热模式。

### 参考文献(References)

- [ 1 ] 吴永忠,查咏,李亮.光伏提水系统提取深井水工程模式研究[J].中国农村水利水电,2014 (3):78-80.  
WU Yongzhong, CHA Yong, LI Liang. A study of construction modes for the pump water bay photovoltaic system of deep wells[J]. China rural water and hydropower, 2014 (3):78-80. (in Chinese)
- [ 2 ] 耿胜民,吕雪霞,张勇.高寒地区直接空冷机组空冷凝汽器自动防冻控制[J].吉林电力,2011,39(3):11-13.  
GENG Shengmin, LYU Xuexia, ZHANG Yong. Anti-freezing control of direct air-cooling unit air-condenser in high-latitude and cold area [J]. Jilin electric power, 2011,39(3):11-13. (in Chinese)
- [ 3 ] 李亮,王世锋,侯诗文.牧区新能源供水模式研究[J].人民黄河,2018,40(10):160-166.  
LI Liang, WANG Shifeng, HOU Shiwen. Study on the new energy water-supplying pattern in pastoral areas[J]. Yellow River, 2018,40(10):160-166. (in Chinese)
- [ 4 ] 秦可.伴热电缆及温度自动控制在仪表保温防冻中的应用[J].苏盐科技,2007,19(2):19-22.  
QIN Ke. Application of heat-tracing cable and temperature automatic control in instrument thermal insulation and freeze-proof [J]. Jiangsu salt science & technology, 2007,19(2):19-22. (in Chinese)
- [ 5 ] 杨世铭,陶文铨.传热学[M].北京:高等教育出版社,2006:268-270.
- [ 6 ] INCROPERA F P, DE WITT D P. Fundamentals of heat and mass transfer [M]. 5th ed. John Wiley & Sons, 2002:430,492,546,551.
- [ 7 ] OLIVIER Grunberger, PEGGY Macaigne. Salt crust development in paddy fields owing to soil evaporation and drainage: contribution of chloride and deuterium profile analysis [J]. Journal of hydrology, 2008, 348: 110-123.
- [ 8 ] 徐阳,杜蒙,顾宪威.北方冬季烧结大烟道余热锅炉停机防冻方法及装置的研究[J].冶金能源,2018,37(5):55-57.  
XU Yang, DU Meng, GU Xianwei. Study on an equipment and method aimed to prevent waste-heat boiler of sintering machine flue from freezing in winter in north China [J]. Energy for metallurgical industry, 2018, 37(5):55-57. (in Chinese)
- [ 9 ] 白保卫,黄国兵,陈文娅.极寒地区LNG电伴热施工流程及特点分析研究[J].石油和化工设备,2018,21(9):72-76.  
BAI Baowei, HUANG Guobing, CHEN Wenya. Analysis and research on construction process and characteristics of LNG electric tracing in extremely cold area [J]. Petrochemical equipment, 2018, 21 (9): 72-76. (in Chinese)
- [ 10 ] 周万骏,陈文滨,马卫华.高寒地区HGIS设备冬季低温应对措施[J].电力安全技术,2018,20(11):19-21.  
ZHOU Wangjun, CHEN Wenbin, MA Weihua. Measures to deal with low temperature of HGIS equipment in winter in Alpine Region [J]. Electric safety technology, 2018,20(11):19-21. (in Chinese)

(责任编辑 徐云峰)