

文章编号: 1007-2284(2018) 01-0120-04

# 季节性冻土区保温井房研发及保温效果评价

白 静<sup>1</sup>, 谢崇宝<sup>1</sup>, 陈石磊<sup>2</sup>

(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)

**摘 要:** 井房是以地下水为水源的灌溉工程建设中一个重要的部分, 井房内通常安装水泵、配电柜、闸阀、变频器等设备。由于传统的砖混式井房不具备保温功能, 极端气温对井房内的设备产生不利影响, 甚至会造成设备损坏, 缩短设备使用寿命。研发了一种新型的一体式保温井房, 以太阳能为能源, 利用碳热纤维对井房进行加热, 井房外壁夹层中填充保温材料, 安装基础采用泡沫板进行保温。大田试验表明, 井房内外日均温差基本呈现抛物线分布, 当井房外气温较高时, 井房内升温值较小, 当井房外气温较低时, 井房内升温值较大。在冬季一体式保温井房内外日均升温幅度可达 9℃左右。一体式保温井房使井房内在冬季升温明显, 可以有效减少我国季节性冻土区井房内设备冻害发生。

**关键词:** 保温井房; 太阳能; 季节性冻土区; 防冻

**中图分类号:** TV93

**文献标识码:** A

## Research on an Integrated Well House and Insulation Evaluation in a Seasonally Frozen District

BAI Jing<sup>1</sup>, XIE Chong-bao<sup>1</sup>, Chen Shi-lei<sup>2</sup>

(1. China Irrigation and Drainage Development Center, Beijing 100054, China;

2. China Green Water International Consulting Co., Ltd, Beijing 100054, China)

**Abstract:** Well houses are an important part of the construction of irrigation projects relying on groundwater. Pumps, power distribution cabinets, valves, frequency converters and other types of equipment are installed in the houses. Extreme low temperature will bring adverse effects and even cause damage to equipment, thus shortening equipment service life. A new insulation well house is developed in this paper, and insulation materials have filled in the gap of its wall. The well house is heated through carbon fiber and solar energy and its foundation is insulated by foam boards. The field test results show that the profile of daily-averaged temperature difference between inside and outside of the well house is basically parabolic. The temperature difference is greater when outside temperature drops. The average daily temperature rise is up to 9℃ or so in winter. Results show the integrated well house will obviously and effectively reduce frost damage to equipment in seasonal frozen districts.

**Key words:** an insulated well house; solar energy; seasonally frozen districts; anti-freezing

## 0 引言

根据冻土区冻土持续时间长短可以分为短时冻土区、季节

收稿日期: 2017-07-11

基金项目: 国家科技计划课题“节水增粮高效灌溉关键技术与装备”(2014BAD12B05)。

作者简介: 白 静(1986-), 女, 博士, 高级工程师, 主要从事农田水利和河流动力学方面的研究。E-mail: 625540202@qq.com。

通讯作者: 谢崇宝(1965-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事农田水利与饮水安全方面的研究。E-mail: xchb@263.net。

冻土区和多年冻土区。我国的高寒地区如黑龙江(大兴安岭除外)、吉林、辽宁和内蒙古东北部都属于典型的冻土区, 冬季局部气温可以达到-30℃以下。季节性冻土对水工建筑物危害的预防和相应的低温保护措施<sup>[1-4]</sup>, 是水利研究领域中的一个重要的研究方向。农业灌溉井井房内一般安装水泵、配电柜、闸阀等, 如果采用滴灌等高效节水灌溉方式和智能计量监测系统, 井房里还需要安装变频器、水表、控制终端和通信模块等。关于保温井房的研究成果并不多见, 传统上一般建设砖混式井房或半地下式井房。一般情况下, 普通的砖混式井房并不具备良好的保温效果, 极端低温对井房内的设备产生不利影响。一方面低温会增加设备的故障率, 如: 低温造成空气的相对湿度增大, 产生凝露或者结晶现象; 材料的收缩系数不同会引起活

动部件卡死;设备的元器件电参数发生变化,设备性能不稳定等。另一方面低温会造成设备破坏,降低材料的弹性,增加材料的脆性,产生裂纹甚至造成设备结构或部件损坏,缩短设备使用寿命。在环境温度低于 $-30^{\circ}\text{C}$ 时,设备中的器件性能不稳定,当环境温度低于 $-40^{\circ}\text{C}$ 时,设备可能无法启动。半地下式井房中设备安装、使用和检修不便,同时井房内湿度大。过高的湿度一方面直接降低空气的绝缘性能,一方面产生凝露降低电气设备的绝缘电阻,引发安全事故。同时潮湿空气将锈蚀设备中导电或者导磁金属部件和设备金属外壳,将降低设备的性能甚至造成设备故障或者报废。

在本文中,研发了一种适用于我国季节性冻土区的一体式小型保温井房,并将其安装在黑龙江哈尔滨郊区大田中检验其保温效果,通过温度传感器、数据采集装置和通讯模块获取井房内外的温度,并通过对比分析评价其保温性能。

## 1 保温井房的研发

与华北地区相比,我国东北地区的冬季相对漫长,如哈尔滨冬天持续150 d左右。由于时间很长,不能单纯依靠保温措施来维持井房内的温度。需要采用保温和加热的双重措施来满足提高井房内温度的要求。因此在一体化保温井房的设计中,在保证井房的严密性前提下,采用导热系数低的材料对井房进行保温处理,并采用加热措施对井房内部进行加热。

### 1.1 井房主体结构

为了保证井房的稳定性以减轻野外强风对设备造成的损坏,井房主体采用圆柱形结构。在本文中井房内只考虑安装小型简易设备,其尺寸为内径1 m,总高1.85 m。井房顶采用 $30^{\circ}$ 的边坡,满足排水的需要。考虑到井房加工和材料获取的难易程度,主体材质采用钢板。为了满足井房保温的要求,井房顶部和侧壁设置夹层,厚50 mm,填充隔热质优价廉的聚氯乙烯保温材料,见图1(a)。井房内安装设备支架,用于固定控制终端、电表等设备。井房侧壁设有设备检修窗口,尺寸为高450 mm、宽550 mm,便于进行设备的安装、操作和维护等工作,检修窗口上安装防盗锁,保护设备不受意外破坏,见图1(b)。

### 1.2 井房加热装置

考虑到东北地区现有的电力条件和井房持续加热的需要,一体化保温井房采用太阳能板为加热能源,井房的加热装置由加热能源、加热材料、蓄电池和控制器构成。经过估算,太阳能板采用30W单晶硅电池板,镶嵌于井房顶部,见图2。

由于井房不间断的保温要求,增设蓄电池和充电控制器,蓄电池采用胶体蓄电池(型号12V12AH 20H),胶体蓄电池与普通铅酸电池相比,内部没有游离液体存在,可靠性高,使用寿命长<sup>[5]</sup>。蓄电池和充电控制器固定在井房内部的支架上,为加热材料提供电能[图1(b)]。加热材料采用碳纤维加热材料,黏贴在井房内壁用于加热井房。

## 2 保温井房的安装

在运输过程中保温井房部件分拆包装,在安装前对井房各组件进行现场组装。一体式保温井房的安装工作包括:基础开挖、布设保温层、基础土体回填、井房安装固定和封闭空隙。基

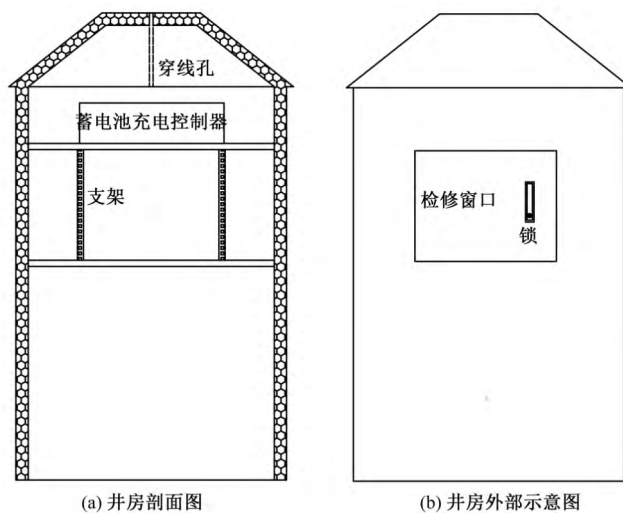


图1 井房示意图

Fig.1 A schematic diagram of an integrated well house

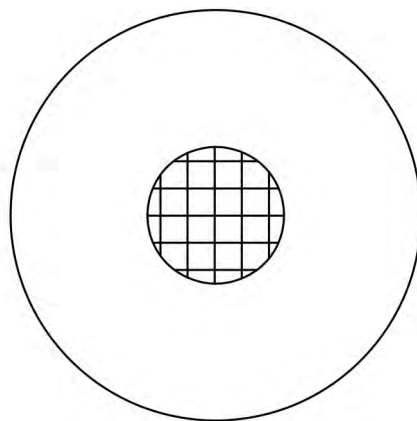


图2 一体化保温井房俯视图

Fig.2 A plan view of an integrated well house

础尺寸为 $1.2\text{ m}\times 1.2\text{ m}\times 1.4\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高),基础开挖面布置聚氯乙烯保温层,并采用黏结剂对保温层进行黏结,确保保温层的整体性。基础土体回填深度为1 m,预留40 cm安装保温井房(图3),基础整平后对井房进行安装,在井房与保温板的空隙处填充、黏结保温材料,保证保温效果。

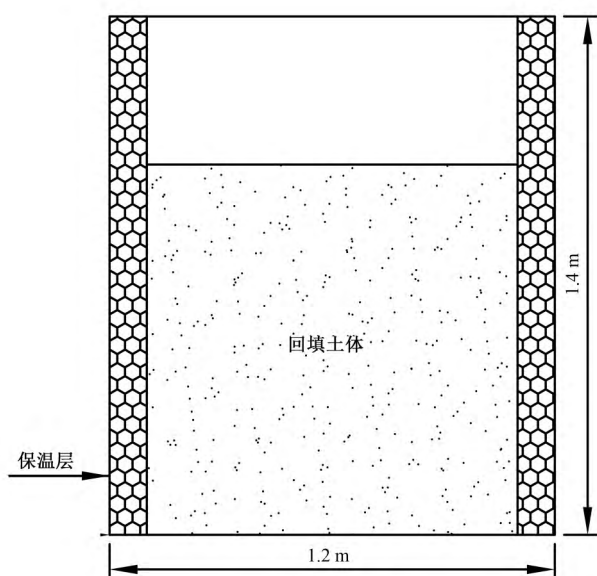
## 3 一体式保温井房的保温效果评价

在保温井房安装完成后,选用现有的地下式玻璃钢井房和一体式保温井房进行对比分析。地下式玻璃钢井房为长方体结构,长宽高分别为4.1、3.6和3.4 m(图4)。玻璃钢井房内外的温度采用人工手工采集,频次为1天2次,分别在每天6:00和14:00进行。一体式保温井房内外温度数据采用温度传感器(图5)和数据采集装置进行采集,频次为1小时1次,通过GPRS模块自动传输到指定的电脑上。

2016年10月28日至次年4月15日,一体式保温井房内外温差日均随时间的变化情况见图6(a)。从图中趋势线可以看出,井房内外日均温差整体上的趋势为随着时间呈现抛物线分布特征。井房内升温值与气温呈现反比例关系。5日滑动平均的井房内外温差的分布特征更加明显,见图6(b)。一体式保温井房最大日均温差出现在2016年12月27日,为18.21



(a) 现场施工图



(b) 剖面示意图

图3 一体式保温井房基础

Fig.3 A foundation of an integrated well house



图4 地下式井房

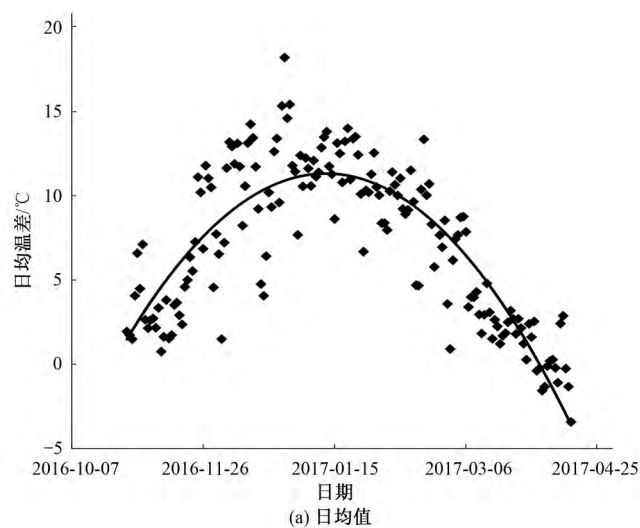
Fig.4 A well house below ground level

℃ 2017年4月2号开始出现负温差,最小温差出现在2017年4月15日,为-3.43℃。2016年11月1日-2017年2月28日期间,平均气温为-12.91℃,一体式保温井房内平均温度为

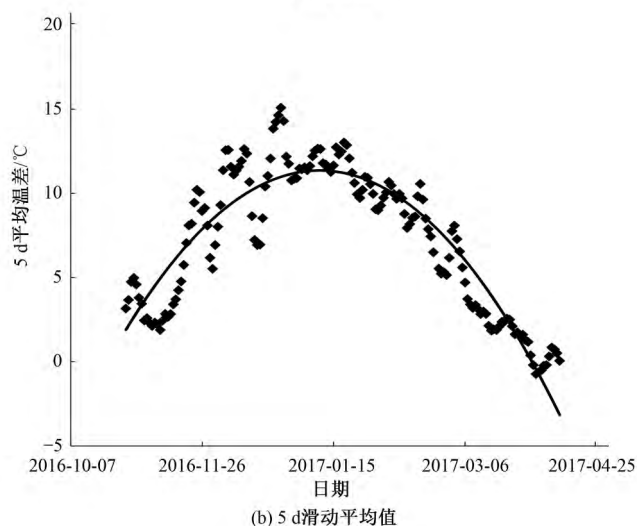


图5 一体式保温井房内的温度传感器

Fig.5 A temperature sensor inside the integrated well house  
-3.88℃,井房内平均升温幅度为9.03℃。期间气温低于-15℃共计48天,平均气温为-18.17℃,一体式保温井房内平均温度为-6.15℃,井房平均升温幅度为12.02℃。



(a) 日均值



(b) 5 d 滑动平均值

图6 一体式保温井房内外温差随时间变化图

Fig.6 A profile of temperature difference between inside and outside of an integrated well house

一体式井房内外日均温差和气温的相关关系如图7所示。从图7中可以看出,井房内外日均温差与日均气温之间的相关系数为0.84。由于一体式保温井房具有保温隔热作用,气温越低,井房的保温效果越显著,井房内外日均温差越大。除此之外,井房内的气温还与当日蓄电池内存储的电量有关,由于近期的天气情况影响蓄电池内存储电量,因此在一定的程度上,近期的天气情况也影响了井房内外日均温差。当日均气温较高时,日均温差较小。当气温高于井房内的温度时,井房的保温层阻止外部热量向井房内传递。根据观测的数据,当日均气温超过7℃时,井房内外温差为负数,即一体化保温井房内的温度低于气温。

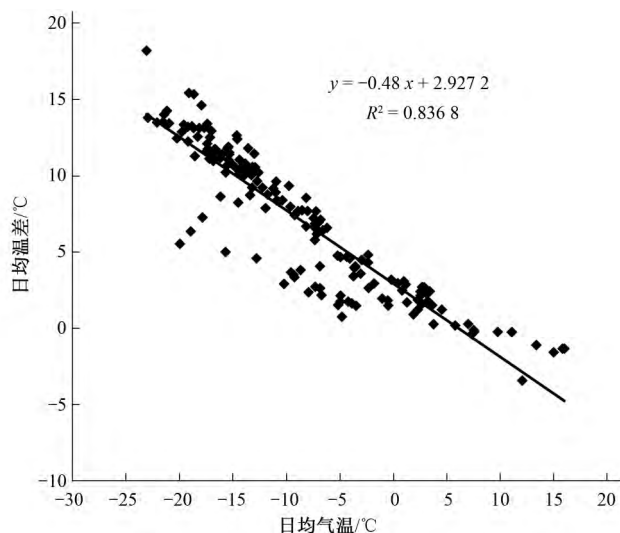
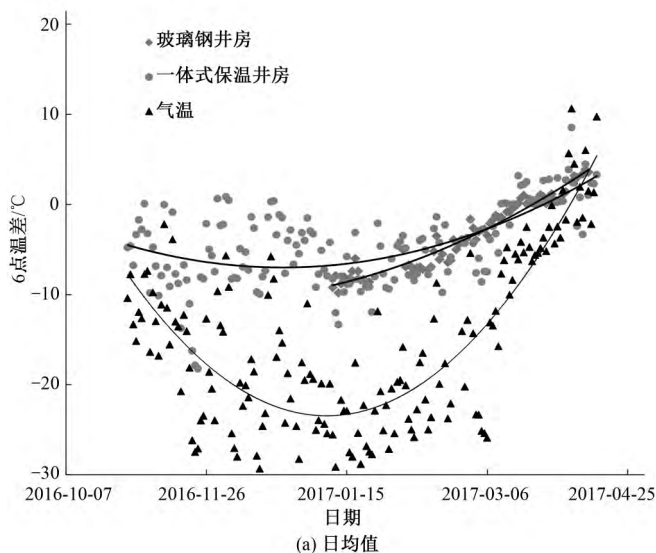


图7 井房内外日均温差随着气温的变化

Fig.7 The changes of daily-averaged temperature difference between inside and outside of an integrated well house with daily-averaged temperature

为了比较玻璃钢井房和一体式保温井房的保温效果,提取一体式保温井房每日6点和14点的数据,分别与玻璃钢井房进行对比分析。每天6点两种井房温差对比情况见图8。从图8中可以看出,一体式保温井房的保温效果与玻璃钢井房相当,五日平均的结果更加明显[图8(b)]。每日6点一体化保



(a) 日均值

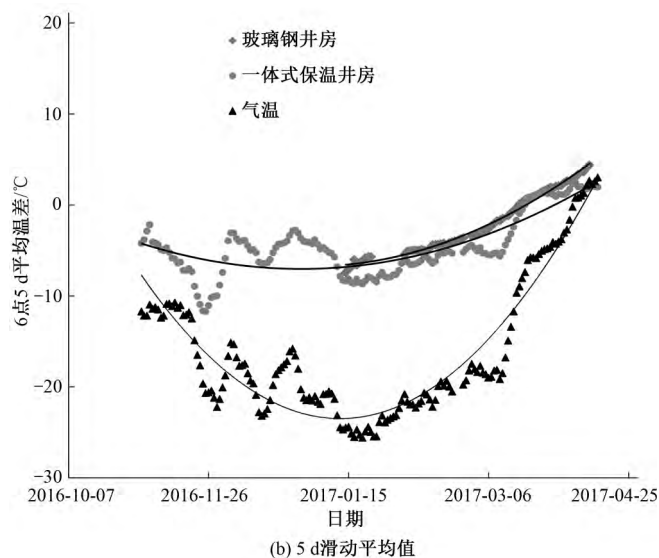
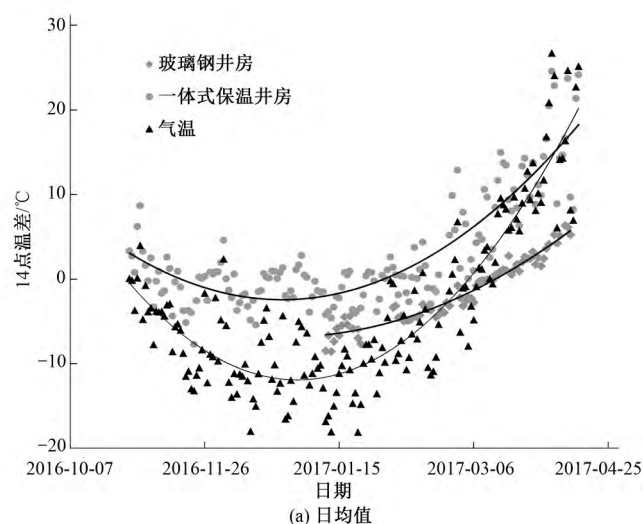


图8 每日6点井房内外温差随着时间的变化情况

Fig.8 The profile of temperature differences at 6:00 between inside and outside the integrated well house

温井房内的温度介于-18.22~8.55℃之间,2016年10月28日至次年4月15日期间,一体化保温井房的14点平均升温幅度为-4.44℃。与玻璃钢井房相比,一体式保温井房内外温差略有波动,这种波动情况可能与井房的安装高度有关。一体化保温井房6点井房内外日均温差最大出现在12月27日,井房外气温-28.76℃,井房内气温为-6.62℃,升温幅度为22.14℃。玻璃钢井房6点井房内外温差最大出现在2017年1月20日,井房外气温-20.9℃,井房内气温为-8.4℃,升温幅度为12.5℃,此时一体化保温井房的升温幅度为17.16℃,比玻璃钢井房高4.66℃。

每天14点井房温差对比情况见图9。从图9中可以看出,整体上一体式保温井房的保温效果较好,这种趋势在图9(b)体现得更加明显。每日14点一体化保温井房内的温度介于-7.74~24.52℃之间,2016年10月28日至次年4月15日期间,一体化保温井房的14点平均升温幅度为4.80℃。与玻璃钢井房相比,一体式保温井房内外温差稍有波动,这种波动情



(a) 日均值

(下转第127页)

方由于存在大量的涡流体<sup>[11]</sup>,所以在相当长的范围内,雷诺数对其尾部流速和紊动能的纵向扩展都有一定的影响。如图3和图4所示,当植被群 $h/H$ 小于0.7时,结合局部涡流团体,尾部流速存在明显突降,而紊动能变化始终处于不连续状态,但对其纵向分布趋势没有影响。

### 3 结 论

(1) 受阻流作用,不同淹没度下植被群正后方流速先减小,极小值对应紊动能极大值,后逐步达到峰值,变化比较平缓,且对应紊动能极小值;

(2) 对于不同时期的植被群,其尾部均能产生卡门涡流,涡流的存在使得植被群尾部紊动能产生两个峰值,峰值中间区则属于紊动强烈区;

(3) 植被群处于生长中后期时,尾部出流作用逐步大于卡门涡流,造成第一个峰值逐步超过第二个峰值,且尾部紊动能变化幅度逐步增大,阻碍了尾部营养物和泥沙的沉积,因而植被群不再沿水流方向生长。□

参考文献:

- [1] Yang K, Cao S, Knight D W. Flow patterns in compound channels with vegetated floodplains [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 133(2): 148–159.
- [2] Sand-Jensen K, Pedersen M L. Streamlining of plant patches in streams [J]. *Freshwater Biology*, 2008, 53(4): 714–726.
- [3] Tanaka N, Yagisawa J. Flow structures and sedimentation characteristics around clump-type vegetation [J]. *Journal of Hydro-environment Research*, 2010, 4(1): 15–25.
- [4] Vandenbruwaene W, Temmerman S, Bouma T J, et al. Flow interac-

tion with dynamic vegetation patches: implications for biogeomorphic evolution of a tidal landscape [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2011, 116(F1): 155–170.

- [5] Liu C, Luo X, Liu X, et al. Modeling depth-averaged velocity and bed shear stress in compound channels with emergent and submerged vegetation [J]. *Advances in Water Resources*, 2013, 60: 148–159.
- [6] Shan Y, Liu C, Luo M. Simple analytical model for depth-averaged velocity in meandering compound channels [J]. *Applied Mathematics and Mechanics (English Edition)*, 2015, 36(6): 1–12.
- [7] Liu C, Wright N, Liu X, et al. An analytical model for lateral depth-averaged velocity distributions along a meander in curved compound channels [J]. *Advances in Water Resources*, 2014, 74: 26–43.
- [8] Liu C, Shan Y, Liu X, et al. The effect of floodplain grass on the flow characteristics of meandering compound channels [J]. *Journal of Hydrology*, 2016, 542: 1–17.
- [9] Liu C, Nepf H. Sediment deposition within and around a finite patch of model vegetation over a range of channel velocity [J]. *Water Resources Research*, 2016, 52(1): 600–612.
- [10] Ortiz A C, Ashton A, Nepf H. Mean and turbulent velocity fields near rigid and flexible plants and the implications for deposition [J]. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2013, 118(4): 2 585–2 599.
- [11] Chen Z, Ortiz A, Zong L, et al. The wake structure behind a porous obstruction and its implications for deposition near a finite patch of emergent vegetation [J]. *Water Resources Research*, 2012, 48(9): 2 997–3 002.
- [12] Folkard A M. Hydrodynamics of model *Posidonia oceanica* patches in shallow water [J]. *Limnology and Oceanography*, 2005, 50(5): 1 592–1 600.

(上接第123页)

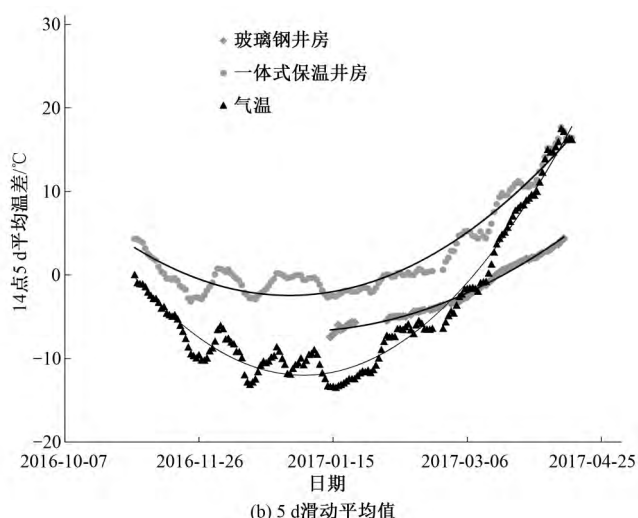


图9 每日14点井房内外温差随着时间的变化情况

Fig.9 The profile of temperature differences at 14:00 between inside and outside the integrated well house

况可能来自于加热措施或者井房安装高度的影响。一体化保温井房14点内外温差最大值出现在2016年12月26日,此时井房外气温-14.57℃,井房内气温-1.99℃,升温幅度为12.58℃。在2017年1月10日后,一体化保温井房内14点升

温幅度最大为8.98℃,发生在2017年1月19日,而此时玻璃钢井房的升温幅度为3.89℃,比一体化保温井房低5.09℃。

### 4 结 语

在东北地区冬季比较漫长,极端低温对井房内的设备危害较大。本文研发了一种新型的一体式保温井房,在井房中采取了一系列加热措施和保温措施保证其保温性能。为了验证其保温性能的优劣,研究中进行了连续的大田现场试验,通过安装温度传感器、数据采集装置和通讯模块获取井房内外的温度。试验表明,一体化保温井房内冬季的平均温度提高9℃,在一定程度上降低了极端气温对井房内设备产生的不利影响,保护设备不受低温损坏,可以在我国季节性冻土区推广应用。□

参考文献:

- [1] 那文杰,袁安丽. 高寒地区渠道防治冻害技术措施 [J]. *岩土工程技术*, 2007, 21(4): 204–206.
- [2] 郭德发. 新疆地区水工建筑物冻害防治概述 [J]. *冰川冻土*, 1996, 18(1): 88–92.
- [3] 郭德发. 新疆地区水工建筑物冻害防治的措施 [J]. *中国农村水利水电*, 1996, 4(3): 26–28.
- [4] 谢荫琦,王建国. 高寒地区水工建筑物防治冻害技术措施 [J]. *水利水电技术*, 1992, 4(3): 23–30.
- [5] 毛贤仙,陈忆申. 阀控式胶体蓄电池技术的发展概述 [J]. *蓄电池*, 2010, 47(5): 208–213.