

# 农村地区冷气循环控制系统设计\*

张探骊, 王立地

(沈阳农业大学信息与电气工程学院, 沈阳市, 110866)

摘要: 我国农村地区人口不够密集, 冬冷夏热是困扰农村居民的长久问题, 且农村用户很少会采用空调降温, 本文立足于农村地区地下冷源能源丰富, 能量可观, 研究以低碳节能为目标的农村地区冷气循环控制系统设计, 通过地下冷源供电系统带动半导体制冷设备, 结合利用地源热泵原理设计出农村地区冷气循环系统。从地下冷源来源及环境选择、低能耗简易制冷设备研发、系统模拟仿真等多个角度反复设计, 实验得出, 在夏季温度高于 18℃ 的情况下, 可使室内温度降低 2℃~4℃, 在节能、环保、低碳等多方面都有显著效果, 具有可观的经济利用价值。

关键词: 冷气循环; 地源热泵; 半导体制冷

中图分类号: TM41 文献标识码: A 文章编号: 2095-5553(2016) 04-0237-05

张探骊, 王立地. 农村地区冷气循环控制系统设计[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(4): 237~240, 259

Zhang Tanli, Wang Lidi. Design on cooling cycle system in rural areas [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(4): 237~240, 259

## 0 引言

我国是农业大国, 农村人口占 80% 左右, 人口众多, 随着国家建设社会主义新农村的不断发展, 农村的居住环境越来越受到人们的关注。辽宁省处于东北地区, 气候冬夏温差较大, 相比城镇冬季集中供暖, 夏季小户型家庭及办公室空调散热, 农村地区显得正好相反——冬冷夏热。农村地区人口由于各种因素制约, 夏季很少会采用空调降温, 夏日气候炎热, 屋内和田中密闭的大棚更加闷热。然而, 农村地区可再生能源和地下冷源相当丰富, 如果能够充分利用, 农村地区也会建设出节能型绿色环保建筑<sup>[1]</sup>。众所周知, 地源热泵近年来应用在生活领域比较广泛, 热泵是一种利用高位能使热量从低位热源流向高位热源的装置<sup>[2]</sup>。为此, 世界各国在研究和开发地源热泵方面做了大量的研究。一方面结合地源热泵技术, 利用可再生能源, 可以减少温室气体排放, 另一方面, 建设低碳社区, 着眼于绿色发展刻不容缓<sup>[3]</sup>。低碳经济的核心在于通过技术创新和制度创新最大限度的减少温室气体的排放, 充分利用可再生能源来实现可持续发展, 二者息息相关。

目前, 我国半导体制冷已在军事、航空、医学等多方领域得到广泛应用, 是当之无愧的 21 世纪冷源<sup>[4]</sup>。

借助半导体制冷技术的发展, 结合半导体优质的制冷材料, 依据半导体制冷的公式推算出最大的制冷量和制冷系数, 空冷式换热器<sup>[5]</sup>是以空气环境作为介质, 是风冷制冷系统的关键, 采用风冷式换热器结合自然冷源可大大减少一次能源的消耗, 通过实验来验证农村住宅制冷系统的研发是否可以使室内温度下降 2~4℃, 结合热电制冷系统节能的应用与开发。本文集地源热泵技术与可再生能源结合, 利用半导体制冷技术来达到农村住宅制冷效果。

本文设计借鉴地源热泵理论中“土—气型地源热泵<sup>[6]</sup>”的设计理念研制室内冷气循环控制系统, 以可再生能源带动制冷设备, 利用地下冷气实现室内的冷气循环降温。主要从低能耗简易制冷设备的研发着手, 研制适用于农村住宅的简易制冷设备, 通过研究电子制冷技术、地下换热器的选择与换热量计算, 配备相应结构、材质和功率的制冷设备的来满足用户需求。

## 1 冷气循环控制系统

### 1.1 地下冷源环境选择与工作原理

地球表面小于 400m 深的地表浅层蕴藏着丰富的可再生冷源, 其能源比人类每年利用的 500 倍能量还多。选地表浅层资源作为地下冷源来源最合适。

收稿日期: 2015 年 11 月 17 日 修回日期: 2015 年 12 月 17 日

\* 基金项目: 国家科技支撑计划子课题(2012BAJ26B01-03); 辽宁省本科教学研究项目(UPRP20140645); 沈阳农业大学教学研究立项(2014-91)  
第一作者: 张探骊, 女, 1990 年生, 辽宁沈阳人, 硕士研究生; 研究方向为农村可再生能源利用与智能微电网技术。E-mail: 18804062277@139.com  
通讯作者: 王立地, 男, 1974 年生, 山东高唐人, 副教授, 硕士生导师; 研究方向为智能微电网与分布式电源。E-mail: wanglidi@163.com

随着科学技术的发展,在越来越重视温室效应、环境保护的今天,地源热泵技术逐步被人们熟知与认可,热泵是一种利用高位能使热量从低位热源流向高位热源的装置,其原理是利用水源热泵的一种形式,利用水与地能(地下水、土壤或地表水)进行冷热交换来作为水源热泵的冷热源,冬季把地能中的热量“取”出来,供给室内采暖,此时地能为“热源”;夏季把室内热量取出来,释放到地下水、土壤或地表水中,此时地能为“冷源”。目前国内地源热泵技术也在多个城市被不断探索应用中(如山东省滨州市地源热泵示范工程<sup>[7]</sup>)。

其中“水—水型地源热泵”应用能源有局限性,只能应用地下水,而“土—气型地源热泵技术”则地能与地下水所含的能量都能应用,因此“土—气型地源热泵技术”尤其适合本文农村封闭室内冷气循环控制系统的设计。

通过地下埋管<sup>[8]</sup>,常温空气交换对室内进行冷气循环降温;其原理是在房子背太阳的一侧1~1.2m地下深处埋入冷热交换管道,让冷气通过埋管与土壤换热,使其成为吸收室内热量的冷源,埋管深度一般1000mm左右,管与管间距在5mm左右(如图1)。

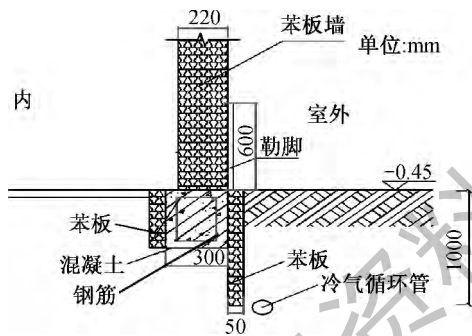


图1 冷热交换管道结构图

Fig. 1 Heat exchange pipeline structure

土—气型地源热泵技术(如图2)通过土壤埋管,从浅层土壤或地下水中取热或向其排热,通过分散布置于各个房间的地源热泵机组直接转换成热风或冷风为房间供暖或制冷。

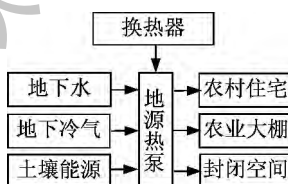


图2 土—气型地源热泵技术原理图

Fig. 2 Soil—air source heat pump technology

## 1.2 低能耗简易制冷设备

考虑到农村住宅制冷功率要求不高,在尽量减少成本的前提下,研制适用于农村住宅的简易制冷设备。利

用电子制冷设备、压缩机达到通风制冷的目的。电子制冷设备的压缩机功率要低,要节能,还要达到制冷效果。

### 1.2.1 制冷工质选取

制冷剂又称制冷工质,是制冷循环的工作介质,利用制冷剂的相变来传递热量,即制冷剂在蒸发器中汽化吸热。目前市场上的空调大多采用 HCFC<sup>[9]</sup> 中的 R123 和 R132a 为材料制冷。而空调制冷剂应用在农村地区受取材不便,价格昂贵,不够经济。因此,利用农村地区的地理优势,将制冷设备就地取材,以地下冷源为原料,低碳环保,就地取材方便实用。

### 1.2.2 制冷设备材质选取

采取电子制冷(如图3所示)的方式来实现低能耗简易制冷设备的研发。半导体制冷技术的理论和实验研究已经有很高的实践领域,因此采用半导体制冷技术领域的优质材质作为农村室内冷气循环控制系统的首选。P型、N型是最常见的半导体材料<sup>[10]</sup>,其中,P型半导体材料化学式子是  $Ag_{(1-x)}Cu_xTiTe$ ,  $x$  在 0.3 左右时,材料的热电性能最好。N型半导体是 Bi—Sb 合金材料,无掺杂的 Bi—Sb 合金是目前 20K 到 220K 温度内半导体材料的最优值系数。

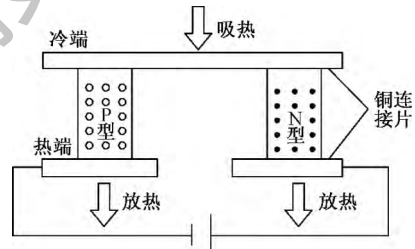


图3 电子制冷原理图

Fig. 3 Electronic refrigeration diagram

### 1.2.3 电子制冷设备相关计算

半导体制冷的基本公式

制冷量

$$Q = \alpha IT_c - \frac{1}{2} I^2 R - k \Delta T \quad (1)$$

功耗

$$W = I^2 R + \alpha I \Delta T \quad (2)$$

输入电压

$$U = W/I = \alpha \Delta T + IR \quad (3)$$

制冷系数

$$\epsilon = \frac{Q}{W} = \frac{\alpha IT_c - \frac{1}{2} I^2 R - k \Delta T}{\alpha I \Delta T + I^2 R} \quad (4)$$

式中:  $I$ ——工作电流;

$\alpha$ ——温差电动势;

$T_c$ ——冷接点温度;

$k$ ——热电元件的热导率;

$\Delta T$ ——冷热端温差。

变式求最大制冷量和制冷系数：

1) 最大制冷量：对式 1 电流进行求导，并令  $dQ/dI=0$  得最佳电流

$$I_1 = \alpha T_c / R \quad (5)$$

最大制冷量

$$Q_{\max} = (\alpha T_c)^2 / 2R - k\Delta T \quad (6)$$

此时功耗

$$W_1 = \frac{\alpha^2 T_c}{R} (T_h - T_c) + \frac{(\alpha T_c)^2}{R^2} R = \frac{\alpha^2 T_c T_h}{R} \quad (7)$$

式中： $T_h$ ——热接点温度。

2) 制冷系数

$$\epsilon_1 = \frac{Q_{\max}}{W_1} = \frac{1}{2T_h} \left( T_c - \frac{2\Delta T}{ZT_c} \right) \quad (8)$$

3) 最大制冷系数

为使  $\epsilon_1$  有最大值，令式  $4d\epsilon_1/dI=0$  可得制冷系数最大值时的最佳电流

$$I_{op} = \frac{\alpha\Delta T}{(\sqrt{1+0.5(T_h+T_c)Z}-1)R} \quad (9)$$

式中： $Z$ ——热电偶的优值系数； $Z=k/\alpha^2 T_c$ 。

最大制冷系数  $\epsilon_{\max}$

$$\epsilon_{\max} = \frac{T_c \left( M - \frac{T_h}{T_c} \right)}{\Delta T (M + 1)} \quad (10)$$

式中： $M = \sqrt{1+0.5Z(T_h+T_c)}$  (11)

此工况下的制冷量

$$Q_c = \frac{\alpha^2 M}{R} \frac{(MT_c - T_h)\Delta T}{(M+1)(M-1)^2} \quad (12)$$

例：半导体制冷片型号为 TEC1-12706，其性能参数为：温差电动势  $\alpha=0.0523$  3V/K；热电堆电阻  $R=2.25\Omega$ ；材料的优值系数  $Z=2.8 \times 10^{-3}$  K；任取半导体热电堆冷热端温差  $\Delta T=20$ K，热端温度为 479K，冷端温度  $T_c=-287$ K 将上述性能带入式 9 可得出最优工况下电流  $I_{op}=3.68$ A。

### 1.3 地下换热器

由于采用土—气型地源热泵技术地下冷气作为冷能对循环空气制冷，因此采用空冷式换热器<sup>[11]</sup>。

#### 1.3.1 空冷式换热器

空冷式换热器是以空气为冷却剂的换热器，是以环境为冷却介质，使管内高温工艺流体得到冷却或冷凝的设备，简称“空冷器”，也称“空气冷却式换热器”。空冷器按结构有三种类型：鼓风式水平空冷器、引风式水平空冷器和斜顶式空冷器。

使用引风式水平空冷器，有利于对自然冷源和换热器的充分接触。

#### 1.3.2 换热面积的相关计算

换热器的传热计算，一般主要从以下两方面考虑：

换热器的传热面积，由传热面积确定换热器的结构；不同的构造尺寸，不同尺寸的构造也会影响传热计算。换热器换热过程同时应满足两个基本关系式，通过预设温度计算传热面积，热平衡<sup>[12]</sup>和传热方程

热平衡方程

$$Q_1 = C_1 (t_1 - t_2) \quad (13)$$

$$C_1 = G_1 C_{t1} \quad (14)$$

式中： $Q_1$ ——换热器供给能量；

$C_1$ ——流体的比热容量；

$t_1$ ——冷源进口温度；

$t_2$ ——冷源出口温度；

$G_1$ ——热流体质量流量；

$C_{t1}$ ——热流体比热容量。

传热方程

$$Q_2 = AUF_t \cdot \Delta T_{lm} \quad (15)$$

式中： $Q_2$ ——传热量，KJ/s；

$A$ ——传热面积(以管外面积为准)， $m^2$ ；

$\Delta T_{lm}$ ——对数平均温差， $^{\circ}C$ ；

$U$ ——总传热系数(以管外面积为基准)， $kJ/m^2 s^{\circ}C$ ；

$F_t$ ——温差修正系数。

计算流程如图 4。

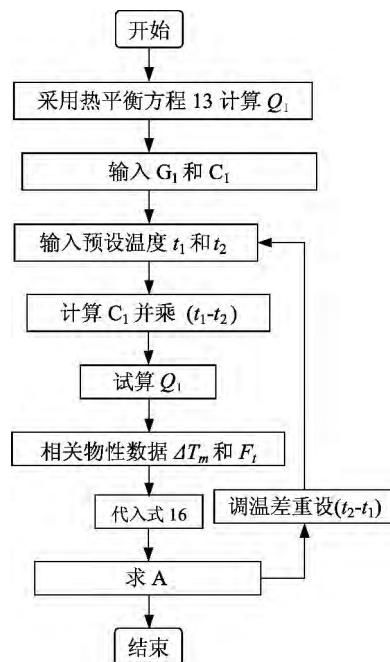


图 4 换热器热量计算流程图

Fig. 4 Flow chart of calculation of heat exchange

## 2 实验结果及分析

### 2.1 实验条件

此项实验利用沈阳农业大学后山的一处房屋作为本实验的实验基地，就地取材进行冷气循环实验。

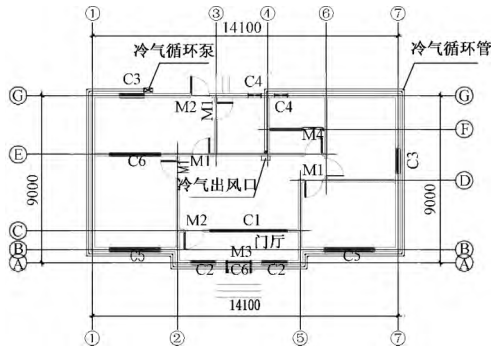


图5 冷气循环设计图  
Fig. 5 Design of air cooling cycle

采用如图5的冷气循环设计图,设定冷气循环管长度为50m,循环后山一处建筑面积为30m<sup>2</sup>的实验屋,利用冷气循环泵进行气体抽取,循环制冷。系统采用电源为用户光伏电源<sup>[13]</sup>和公网交流电源相结合的形式。

### 2.2 模拟仿真

使用 Matlab 仿真软件模拟实验环境,得出最适宜封闭空间(如大棚、农村室内)运行的实验模组。(如图6)温控<sup>[15]</sup>仿真模型,设置时间  $T=30\text{ min}$ ,每隔30 min记录结果,反复多次实践,得出图6结论。

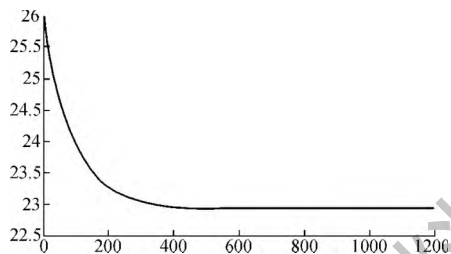


图6 温控仿真输出  
Fig. 6 Temperature control simulation output

### 2.3 减温效果

结合半导体制冷和冷气循环技术,在夏季气候炎热时期,可以使室内温度下降2°C~4°C。

为验证该系统的性能,选择6月份晴朗天气进行减温效果测定,测试均选在每天的13点,分别记录测试前、测试30min、1h及1.5h后室温。对比测试数据发现:测试30min后屋内温度下降0.5°C,测试1h后温度下降1.4°C,测试1.5h后室内温度仍然保持在3.3°C。证明该项实验是可行的(如表1)。

表1 测试结果  
Tab. 1 Test results

日期	测试前 室温	测试30min 室温	测试1h 室温	测试1.5h 室温
6.13	25.6	25.1	24	22.3
6.14	26.1	25.6	24.3	23
6.15	27.4	26.8	25.1	24.1
6.16	28.9	28.2	26.2	25

## 3 结论

实验结果证明,该套系统能够在夏季炎热季节保持地下冷气循环使室内或大棚温度下降2~4°C。与空调降温相对比,采用低功耗制冷设备和冷气循环系统,低碳、环保,具有客观的经济性。适合构建农村地区密闭空间的小气候调节。综合比较目前农村市场夏季制冷措施,此方案具有较大的潜力。

### 参 考 文 献

- [1] 朴在林,李海泉,孙国凯,等. 农村住宅绿色建筑关键技术的集成与应用研究[C]. 中国农业工程学会2009年学术年会(CSAE 2009)论文集, 2009.
- [2] 江辉民,汪洋,赵丽莹,等. 国内外热泵的发展与新技术[J]. 建筑热能通风空调, 2003, (4): 7~9.  
Wang Huimin, Wang Yang, Zhao Liying, et al. Development and new technology of native and foreign heat pump [J]. Building Energy & Environment, 2003, (4): 7~9.
- [3] 曲晓慧,李惠南. 当前中国低碳社区建设的现状及改进路径分析[J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版), 2014, (3): 77~82.  
Qu Xiaohui, Li Huinan. Status and improvement of china's low carbon path analysis of the current community building [J]. Journal of Harbin University of Commerce (Social Science Edition), 2014, 3(3): 77~82.
- [4] 唐春晖. 半导体制冷—21世纪的绿色“冷源”[J]. 半导体技术, 2005, 30(5): 32~34.  
Tang Chunhui. Semiconductor refrigeration: green 'oling resource' in 21th century [J]. Semiconductor Technology, 2005, 30(5): 32~34.
- [5] 周莉. 制冷空调用空冷换热器的研究现状[J]. 山西建筑, 2009, 35(10): 185~186.  
Zhou Li. Progress on air-cooled heat exchanger of air-conditioning [J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(10): 185~186.
- [6] 谢有君. 土—气型地源热泵冷暖空调技术[J]. 新能源与建筑, 2004, (2): 53~54.
- [7] 吕悦,杨立平,周沫,等. 国内地源热泵应用情况调查报告[J]. 工程建设与设计, 2005, (6): 5~10.
- [8] 袁艳平,雷波,余南阳,等. 地源热泵埋地管换热器传热研究(1): 综述[J]. 暖通空调, 2008, 38(4): 25~32.  
Yuan Yanping, Lei Bo, Yu Nanyang, et al. Heat transfer of ground heat exchanger for GSHP (1): a review [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2008, 38(4): 25~32.
- [9] 王宇航,陈友明,伍佳鸿,等. 地源热泵的研究与应用[J]. 建筑热能通风空调, 2004, 23(4): 30~35.  
Wang Yuhang, Chen Youming, Wu jiahong, et al. Review on the research and application of ground source heat pumps [J]. Building Energy & Environment, 2004, 23(4): 30~35.
- [10] 张云凯. 沙漠地区太阳能半导体制冷空气取水装置的实验性研究[D]. 上海:东华大学, 2014.

(下转第259页)

检测与定位中的应用[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 282~286.  
Xu Tongyu, Piao Zailin, Chen Chunling. Application of

lifting wavelet in transient power quality disturbance detection and location [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(5): 282~286.

## Research on detection method of noisy transient power quality disturbance signal

Cheng Haonan<sup>1</sup>, Chen Chunling<sup>1</sup>, Wang Jiandong<sup>1</sup>, Zhang Yao<sup>2</sup>, Su Modan<sup>3</sup>

(1. Shenyang Agricultural University, Liaoning, 110866, China; 2. State Grid Shenyang electric power supply company, Shenyang, 110000, China; 3. State Grid Yingkou electric power supply company, Yingkou, 115000, China)

**Abstract:** In view of the problem of how to accurately detect the transient power quality disturbance of the noise signal, this paper proposes a method combining wavelet transform with EEMD Hilbert transform, based on the traditional Hilbert transform. Firstly, wavelet transform is used to denoise the noise waveform, and then the EEMD Hilbert transform is used to get the accurate disturbance starting and stop time. In the MATLAB platform, using the method of containing the signal to noise voltage swells, voltage sags, instantaneous pulse three disturbance signal analysis and simulation, and the simulation results indicate that, the method is more accurate detection of position disturbance, and less error.

**Keywords:** transient power quality; wavelet transform; Hilbert transform; detection and location

(上接第 240 页)

Zhang Yunkai. Experimental study of semiconductor refrigeration air water abstraction device by using solar energy in desert area [D]. Shanghai: Donghua University, 2014.

[11] 李淑敏. 基于自然冷源的地下冷冻墙制冷系统研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.

Li Shumin. The study of the frozen wall technology refrigeration system based on natural cooling source [D]. Changchun: Jilin University, 2014.

[12] 叶炳权. 热平衡的方法和计算[J]. 化工设计通讯, 1981, (2): 39~72.

[13] 刘健, 林涛, 同向前, 等. 分布式光伏电源对配电网短路电流影响的仿真分析[J]. 电网技术, 2013, 37(8): 2080~2085.  
Liu Jian, Lin Tao, Tong Xiangqian, et al. Simulation analysis on influences of distributed photovoltaic generation

on short-circuit current in distribution network [J]. Power System Technology, 2013, 37(8): 2080~2085.

[14] 吴海涛, 孔娟, 夏东伟. 基于 MATLAB/Simulink 的光伏电池建模与仿真[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2006, 21(4): 74~77.

Wu Haitao, Kong Juan, Xia Dongwei. The model and simulation of PV cell based on MATLAB/Simulink [J]. Journal of Qingdao University (Engineering & Technology Edition), 2006, 21(4): 74~77.

[15] 刘晓华, 谢晓云, 刘拴强, 等. 温湿度独立控制空调系统及其性能分析[J]. 建设科技, 2008, (24): 21~23.

Liu Xiaohua, Xie Xiaoyun, Liu Shuanqiang, et al. Performance analysis on temperature and humidity independent control air-conditioning system [J]. China Construction Heating & Refrigeration, 2008, (24): 21~23.

## Design on cooling cycle system in rural areas

Zhang Tanli, Wang Lidi

(College of Information and Electrical Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang, 110866, China)

**Abstract:** Rural population in our country is not dense, cold winter and hot summer is a long-term problem for rural residents, and they rarely use the air conditioning system for cooling. Based on rich underground sources of cold energy in rural areas, this paper does some research aiming at low carbon emission and energy saving to the design of the cooling cycle control system in rural areas, with underground cold source driving the semiconductor refrigeration equipment power supply system, combined with the use of ground source heat pump principle. After repeatedly experimenting from different perspectives such as the selection of cold underground sources and environment, the research and development of simple low energy consumption refrigeration equipment, to other simulation systems, by trial and error, we have concluded the following conclusion. In the case of summer temperature above 18°C, the cooling cycle control system can reduce indoor temperature by 2~4°C. In terms of energy saving, environmental protection, low carbon and so on, it works strikingly well. Therefore, it has a significant economic utilization value.

**Keywords:** cooling cycle; ground source heat pump; semiconductor refrigeration