



ISSN:2309845 7

2017 年 12 月

第 21 期

季刊

中國地能

CHINA GROUND SOURCE ENERGY



中国地热资源分布
与开发利用前景

P06

7000 万吨标准煤
仅是地热能年利用量的“小目标” P16

北方农村地区
电替煤工作概况 P55

恒有源科技发展 集团有限公司

EVER SOURCE SCIENCE & TECHNOLOGY
DEVELOPMENT GROUP CO.,LTD

2000
年创建

香港上市号 8128.HK



浅层地能热恒有

Perpetual Heat from Shallow Ground Energy

循环利用暖无忧

Unfailing Warmth with Cyclic Utilization



恒有源科技发展集团有限公司 EVER SOURCE SCIENCE & TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP CO., LTD.

恒有源科技发展集团有限公司（简称恒有源集团），是中国节能环保集团公司旗下的中国地能产业集团有限公司（香港上市号 8128.HK，简称中国地能）在北京的科技实业发展总部。

Ever Source Science and Technology Development Group Co. Ltd. (HYY Group) is the Beijing Head Office for science and technology development owned by the China Ground Source Energy Industry Group Ltd. (HKEx: 08128, China Ground Energy) which is subordinate to the China Energy Conservation and Environment Protection Group.

在京港两地一体化管理框架下，恒有源集团专注于开发利用浅层地能（热）作为建筑物供暖替代能源的科研与推广；致力于原创技术的产业化发展；实现传统燃烧供热行业全面升级换代成利用浅层地能为建筑物无燃烧供暖（冷）的地能热冷一体化的新兴产业；利用生态文明建设成果，促进传统产业升级换代；走出中国治理雾霾的新路子。

With integrated administrative framework of Beijing and Hong Kong offices, the HYY Group is fully engaged in the R&D and market promotion of using shallow ground source (heat) energy as the substitute energy source of heating for buildings; in industrialized development of its original technology; to the upgrading of traditional heating industry into a new industry of integrated combustion-free heating and cooling with ground source energy; and in pioneering ways to improve ecological construction and curb haze in China.

● 员工行为准则：

Code of Conduct :

安全第一，标准当家

With safety first, standard speaks

扎扎实实打基础，反反复复抓落实

To form a solid foundation, to make all strategies practicable

负责任做每件事，愉快工作每一天

All develop sense of responsibility, and achieve pleasure at work

● 我们的宗旨：求实、创新

Our Mission: Pragmatism and Innovation

● 我们的追求：人与自然的和谐共生

Our Pursue: Harmonious Coexistence of Human and Nature

● 我们的奉献：让百姓享受高品质的生活

Our Dedication: Improve comfort level of the people's livelihood

● 我们的愿景：原创地能采集技术实现产业化发展——让浅层地能作为建筑物供暖的替代能源；进一步完善能源按品位分级科学利用；在新时期，致力推广利用浅层地能无燃烧为建筑物智慧供暖（冷）；大力发展地能热冷一体化的新兴产业。

Our Vision: Work for greater industrialized development of the original technology for ground source energy collection, while promoting the use of shallow ground energy as the substitute energy of heating for buildings; furthering scientific utilization of energies by grades; propelling combustion-free intelligent heating (cooling) for buildings with ground source energy; and forcefully boosting the new industry of integrated heating and cooling with ground source energy.

中国地能

CHINA GROUND SOURCE ENERGY

《中国地能》编委会

China Ground Source Energy Editorial Committee

主任

王秉忱

副主任

柴晓钟 吴德绳 孙 骥

委员

沈梦培 程 韧 李继江 庞忠和 郑克棧
徐 伟 武 强 张 军 黄学勤 李宁波
许文发 朱家玲 马最良

Director

WANG Bingchen

Deputy Director

CHAI Xiaozhong, WU Desheng, SUN Ji

Committee Member

SHEN MengPei, CHENG Ren, LI Jijiang, PANG Zhonghe, ZHENG Keyan

XU Wei, WU Qiang, ZHANG Jun, HUANG Xueqin, LI Ningbo

XU Wenfa, ZHU Jialing, MA Zuiliang

《中国地能》杂志社

China Ground Source Energy Magazine

社长

徐生恒

总法律顾问

邢文鑫

总 编

孙 伟

出版顾问

王进友

编 辑

李 雪

特约记者

李 晶

设计制作

北科视觉设计中心

President

XU Shengheng

General Counsel

XING Wenxin

Editor-in-Chief

SUN Wei

Publish Consultant

WANG Jinyou

Editor

Tiffany Lee

Special Correspondent

Li Jing

Art Editor

SCIENCE TECHNOLOGY LIFE

主 办

中国地能出版社有限公司

地址

香港中环皇后大道中 99 号中环中心 37 楼 3709-10 室

协 办

北京节能环保促进会浅层地（热）能开发利用专业委员会

国际标准刊号 :23098457

承印人

泰业印刷有限公司

地址

香港新界大埔工业邨大贵街 11-13 号

发行部

黄礼玉

广告部

李 雪

地址、联系电话

北京市海淀区杏石口路 102 号 +8610-62592988

Sponsor

China Ground Source Energy Press Limited

Address

Units 3709-10,37/F,The Center,99 Queen's Road Central, Central, Hong Kong

Co Sponsor

Special Committee on Shallow Ground Source (Thermal) Energy Development and Utilization under Beijing Association to Promote Energy Conservation and Environmental

ISSN:23098457

Printed by

Apex Print Limited

Address

11-13 Dai Kwai Street, Tai Po Industrial Estate, Tai Po, Hong Kong

Publishing Department

Coniah Wong

Advertising Department

Tiffany Lee

Address, Telephone

Address: No.102, Xingshikou Road, Haidian District, Beijing +8610-62592988

目录

CONTENTS



本期焦点

CURRENT FOCUS

中国地热资源分布与开发利用 前景

P06

地热资源作为一种极具竞争力的清洁和可再生能源，可替代化石燃料，用于室内供暖与发电等，促进区域经济发展。规模开发利用是应对全球气候变化和节能减排的需求，且其巨大的资源储量决定了地热能必然成为人类未来的重要替代新能源之一

Distribution of Geothermal Resources of China and Development and Utilization Prospect **P10**

P16

SPECIAL REPORT

特别报导

7000 万吨标准煤 **P16**
仅是地热能年利用量的“小目标”

70,000,000t Standard Coal Only the “Small Goal” of Annual Utilization Volume of Geothermal Energy **P20**

P26

POLICY ADVICES

建言献策

- | | |
|---------------------------|-----|
| 污水源热泵技术与生活余热能的利用 | P26 |
| 道德用能智慧供暖是治理雾霾的有效途径之一 | P32 |
| 雄县模式——浅析地热能供暖在绿色建筑节能领域的应用 | P34 |

P37

DEVELOPMENT FORUM

发展论坛

- | | |
|---------------------|-----|
| 北京市地热能资源开发利用前景广阔 | P37 |
| 浅层地能热泵采集系统关键科技问题与对策 | P40 |



P46

POLICY PROGRAMME

政策方针

京津冀浅层地热能等地热资源开发利用位居全国前列	P46
十部委：“2+26”城区五年内全部实现清洁取暖	P47
京津冀清洁能源获政策推动	P48

P49

HOTSPOT INFO

热点资讯

雄安新区中深层和浅层地热资源丰富 或成全球样板	P49
地热“十三五”：仍以浅层地热能应用为主	P50
中国碳市场的近况	P52
辽宁省高速公路沿线全部用上地源热泵供暖	P54

P55

PROJECT SHOWCASE

实用案例

北方农村地区电替煤工作概况	P55
---------------	-----

P59

Overview of Work of Efficient Replacement of Coal by Electricity in Rural Areas in the North of China

P65

KNOWLEDGE SHARING

能源科普

深层高温地热开发基础研究国际合作探索与实践	P65
-----------------------	-----

封面 / 目录图片 摄影：孙伟

中国地热资源分布与开发利用前景

DISTRIBUTION OF GEOTHERMAL RESOURCES OF CHINA AND DEVELOPMENT AND UTILIZATION PROSPECT

作者：汪集暘 庞忠和 孔彦龙（中国科学院地质与地球物理研究所）

1 引言

地热资源作为一种极具竞争力的清洁和可再生能源，可替代化石燃料，用于室内供暖与发电等，促进区域经济发展。规模开发利用是应对全球气候变化和节能减排的需求，且其巨大的资源储量决定了地热能必然成为人类未来的重要替代新能源之一（汪集暘等，2012）。地热资源按深度划分可分为浅层，中深层和超深层地热资源。浅层地热能通过钻孔热交换器（Borehole Heat Exchangers - BHE）及热泵得以开发利用，其深度范围一般为200m以浅，包括土壤层及浅层含水层。中深层地热资源一般介于200 m 和3000 m 之间，按照开采系统还可细分为水热系统中的对流换热系统（在含水层中布置开采井和回灌井）和传导换热系统（深井换热系统-BHE）。超深层地热资源埋深通常超过3000m，可为干热岩或水热系统。

在我国，地热资源的开发始于上世纪70年代，

尤以水热型开采为主，用于供暖和洗浴。受石油危机驱动，大量的地热田得以开发，并由此而带来了全国地热资源的评价。通过几十年的工作，我国大陆的热背景及地热资源分布逐渐明朗（汪集暘等，2012）。

伴随着我国地热资源的大规模开发，地热学包括地热资源的理论与应用研究均在我国取得了巨大的进步，如地球动力学研究的地热学证据（He, 2015）、大型岩溶热储成因与评价研究（庞忠和等，2012）、热储工程中的采灌井距经济性评价（Kong et al., 2017）与深井换热效率评估（孔彦龙等，2017）等。庞忠和等（2014）总结了近些年来的地热学的理论进展，指出过去20年来，我国地热研究经历了由浅入深、从今到古的发展历程，为国家能源与安全建设作出了巨大贡献。汪集暘等（2015）出版了《地热学及其应用》一书，全面总结了近些年来地热学的理论与应用工作。

近年来，国家颁布多项政策支持地热发展。

如 2013 年 1 月 10 日颁布国能新能[2013]48 号文《国家能源局、财政部、国土资源部、住房和城乡建设部关于促进地热能开发利用的指导意见》；2014 年 6 月 25 日颁布能综新能[2014]497 号《国家新能源综司，国土资源部办公厅关于组织编制地热能开发利用规划的通知》；2017 年 1 月 23 日印发了《地热能开发利用“十三五”规划》，规划指出，在“十三五”时期，新增地热能供暖（制冷）面积 11 亿平方米，其中：新增浅层地热能供暖（制冷）面积 7 亿平方米；新增水热型地热供暖面积 4 亿平方米。新增地热发电装机容量 500MW。到 2020 年，地热供暖（制冷）面积累计达到 16 亿平方米，地热发电装机容量约 530MW。2020 年地热能年利用量 7000 万吨标准煤，地热能供暖年利用量 4000 万吨标准煤。京津冀地区地热能年利用量达到约 2000 万吨标准煤。

然而，随着国内地热能开发热潮的高涨，一系列的问题随之出现，尤其是开发思路不清，譬如应当注重地热供暖还是地热发电？应当是开发水热系统还是开发干热岩？本文将在评述中国地热资源分布特征的基础之上，重点讨论中国地热资源的开发思路，供管理部门与地热产业界等参考。

2 地热能的优势

地热能优势显著（表 1），主要有：

（1）资源量巨大。据国土资源部的评价结果，水热型地热资源每年可开采量折合标准煤 18.65 亿吨，相当于我国 2015 年煤炭消耗的 50 %；336 个地级以上城市浅层地热能资源每年可开采量折合标准煤 7 亿吨，相当于我国 2015 年煤炭消耗的 19 %（王贵玲等，2017）。汪集暘等

（2012）对我国大陆干热岩计算的结果显示资源总量为 2.09×10^{25} J，折合标煤 7.15×10^6 亿吨。若按 2 % 的可开采资源量计算，相当于中国 2010 年能源消耗总量的 4400 倍。

（2）能源利用效率高。在新能源和可再生能源大家族中，地热能发电的能源利用效率最高（平均 73 %），在一些国家或地区可达 90 % 以上，地热发电平均利用效率达 73 %，为太阳光伏发电的 5.2 倍，风力发电的 3.5 倍且可靠性强，既可作为基本载荷，亦可作为调峰载荷。

（3）成本具有竞争性。与太阳能、风能与生物质能等其他可再生能源相比，地热发电成本较低（Goldemberg and Johansson，2004）。

（4）CO₂ 减排优势明显。与传统的锅炉供暖相比，利用热泵供暖其 CO₂ 排量至少可减少 50 %；若热泵所需电力来自可再生能源（如水力发电或其它），则 CO₂ 减排量可达 100 %。

表 1 不同可再生能源的优势对比

	利用系数	发电成本	资源量	基础载荷
地热能	76%	2-10 美分 / 度	大	稳定
太阳能（光伏）	4%	25-160 美分 / 度	巨大	不稳定
风能	1%	4-8 美分 / 度	巨大	不稳定
生物质能	2%	3-12 美分 / 度	大	准稳定

3 我国地热资源分布特征

我国处于两个全球性地热带上，西南地区的喜马拉雅地热带是地中海 - 喜马拉雅地热带的一段，而东部的台湾地热带则属于环太平洋地热带的一部分。在这样的大地构造背景和区域地热背景下，西南形成了喜马拉雅地热带上的高温对流型地热系统，东部形成了台湾高温

地热带上高温对流型地热系统。这两个地热带属于板块边缘地热带。除此之外，全国其它地区，形成了大量的广泛分布的中低温地热系统，其中包括：大型沉积盆地中的中低温传导型地热系统，隆起山区的中低温对流型地热系统。这些属于板块内部地热带（图 1）。

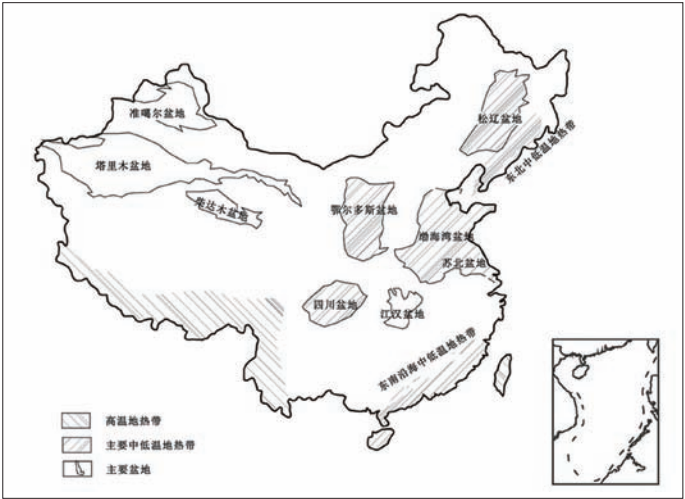


图 1 我国主要地热系统分布（庞忠和等，2015）

我国大型沉积盆地中蕴含丰富的中低温地热资源。从成因类型上看，它们以中低温传导型地热系统为主，在局部地带，由于受到断裂活动的影响，形成传导 - 对流的亚类。我国主要沉积盆地的地热状态由东至西，依次为热盆、温盆和冷盆分布。东部的松辽盆地、渤海湾盆地、苏北盆地等属于热盆，地热资源丰富。

在沉积盆地地热系统中，主要热储类型有砂岩孔隙型热储和基岩裂隙 - 岩溶型热储。其中，裂隙 - 岩溶型地热储的开发利用条件更加优越。图 2 将我国的碳酸盐岩分布叠加在大地热流图（用以反映热背景）上，表明，我国碳酸盐岩的分布总面积占陆地面积的三分之一，裸露面积约为 90 万平方公里，隐伏面积达 250 万平方公里以上。基于岩溶发育程度的差异，我们采用类比法，以雄县地热系统和苏北地热系统为参照，估算了全国岩溶热储地热资源潜力，结果为 5000 亿吨左右标准煤。可见潜力巨大。

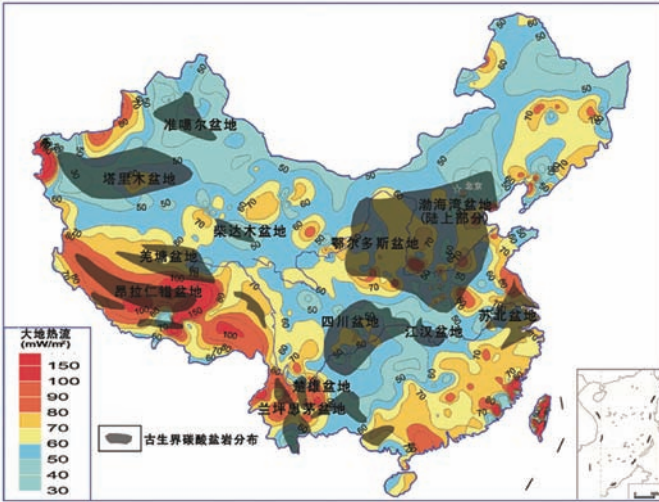


图 2 我国大陆岩溶热储分布示意图（庞忠和等，2012）

从图 2 中可以看出，雄安新区和北京市均在岩溶型热储覆盖的渤海湾盆地内。图 2 中的热流背景也显示出了雄安新区较好的热背景。未来，在雄安新区和北京市副中心，地热能均将大有作为（庞忠和等，2017）。

4 开发利用思路

针对我国地热资源分布特征，立足于国家需求，我们提出以下地热资源开发思路：

（1）“热”、“电”并举，以“热”为主。即基于我国地热资源分布特征以及我国用热需求，地热供暖（及其他用热形式）与地热发电要同时开展，但应以供热为主。

（2）“深”、“浅”结合，由“浅”及“深”。即中深层地热能与浅层地热能互相结合，因地制宜，充分利用地热资源。利用中深层地热能的优点是占地面积小，但其缺点是资源分布不均；而浅层地热能的优点是受地域限制小，但占地面积大，且有可能产生冷 / 热堆积等问题。将二者有机集合，

有利于充分利用地热资源。

(3)“东”、“西”兼顾,“西”电“东”热。即我国东部、西部均可利用地热能,西部,尤其是西藏地区要将地热发电放在首位,而东部地区则侧重于热的利用。如前所述,我们国家大陆西部高温地热丰富,地热发电成本较之东部地区更为合适,且能够为地方用电需求做出重大贡献;而东部地区,从我国北方一直到南岭以南都有清洁供暖需求,该区域中低温地热资源丰富,恰可用于供暖。

(4)“干”、“湿”有度,先“湿”后“干”。即干热岩和水热型地热资源应有所侧重,要先尽

量利用水热型地热资源,而后再进行干热岩的开发。一方面,我国水热型地热资源丰富,开发利用程度不高,仍有大幅利用空间;另一方面,干热岩开发成本较高,现阶段进行商业化开发还不现实,应首先进行科学研究,在技术具备后,再进行商业化开发。

(5)“天”、“地”合一,“动”、“静”结合。即地热与其他可再生能源互补综合利用,实现较高的能源使用效率,称为地热“+”。“天”(太阳能)“地”(地热能)合一,“动”(风能)“静”(地热能)结合,加速我国新能源和可再生能源发展。

参考文献

Goldemberg J., Johansson T. (2004). World Energy Assessment: Overview 2014 update. United Nations Development Programme, United Nations Department of Economic and Social Affairs, World Energy Council.

He, L. (2015). Thermal regime of the North China Craton: Implications for craton destruction. *Earth-Science Reviews*, 2015, 140: 14–26.

Kong, Y., Pang, Z., Shao, H. and Kolditz, O., (2017) Optimization of well-doublet placement in geothermal reservoirs using numerical simulation and economic analysis, *Environ Earth Sci*, 76:118.

孔彦龙, 陈超凡, 邵亥冰, 庞忠和, 熊亮萍, 汪集暘. (2017) 深井换热技术原理及其换热量评估, *地球物理学报*, 60(12), 4741–4752.

庞忠和, 胡圣标, 汪集暘. (2012) 中国地热能发展路线图, *科技导报*, 32: 18–24.

庞忠和, 胡圣标, 王社教, 徐佩芬, 王光杰, 杨峰田 (2015) 地热资源. 汪集暘(主编), *地热学及其应用*, 科学出版社.

庞忠和, 黄少鹏, 胡圣标, 赵平, 何丽娟, 2014. 中国地热研究的进展与展望 (1995 ~ 2014), *地质科学*, 49, 719–727.

庞忠和, 孔彦龙, 庞菊梅, 胡圣标, 汪集暘. (2017) 雄安新区地热资源与开发利用研究, *中国科学院刊*, 32, 11: 1224–1230.

汪集暘, 胡圣标, 庞忠和, 何丽娟, 赵平, 朱传庆, 饶松, 唐晓音, 孔彦龙, 罗璐, 李卫卫, (2012). 中国大陆干热岩地热资源潜力评估, *科技导报*, 2012, 30(32), 25–31.

汪集暘., (2015). *地热学及其应用*, 北京: 科学出版社北京.

王贵玲, 张薇, 梁继运, 蔺文静, 刘志明, 王婉丽. (2017) 中国地热资源潜力评价 [J]. *地球学报*, 38(4):449–459.

Distribution of Geothermal Resources of China and Development and Utilization Prospect

Author:

Wang Jiyang Pang Zhonghe Kong Yanlong(Institute of Geology and geophysics, Chinese Academy of Science)

1 Introduction

As a kind of extremely competitive clean and renewable energy source, the geothermal resource can substitute fossil fuel and be used for indoor heating and power generation, thus promoting regional economic development. The large-scale exploitation and utilization is to deal with global climate change and the demand of energy saving and emission reduction, and the huge resource reserve decides that the geothermal energy will become one of important substitute new

energy sources of human beings in the future (Wang Jiyang, et al., 2012). The geothermal resource can be divided into shallow layer, medium-deep layer and ultra-deep layer geothermal resources based on depth. The shallow geothermal energy can be exploited and utilized via borehole heat exchangers (BHE), with the depth scope of 200m or shallower generally, including soil layer and shallow aquifer. The medium-deep geothermal resource is within 200m-3,000m generally, and it also can be further divided into convection heat exchange system (distributing exploration well and injection well in aquifer) according to exploitation system and conduction heat exchange system (borehole heat exchangers - BHE). The ultra-deep geothermal resource exceeds 3,000m in buried depth generally, and it can be hot dry rock or hydro-thermal system.

In China, the exploitation of geothermal resource started from the 1970s, mainly referring to hydro-thermal type exploitation; and the geothermal resource was used for heating and bathing. Driven by petroleum crisis, a large number of geothermal fields were exploited, and geothermal resources all over the country were also evaluated. Through several decades of years, the thermal background and geothermal resource distribution in mainland of China also become clear (Wang Jiyang, et al., 2012).

With the large-scale exploitation of geothermal resources in China, the research on geothermics, including theory and application of geothermal resource, has huge

progress in China, such as geothermics evidence of research on geodynamics (He, 2015), research on genesis and evaluation of large-sized karst geothermal reservoir (Pang Zhonghe, et al., 2012), evaluation of economy of mining and filling well distance in geothermal reservoir engineering (Kong et al., 2017) and evaluation of heat exchange efficiency of deep well (Kong Yanlong, et al., 2017). Pang Zhonghe, et al., (2014) summarized the theoretical progress of geothermics in recent years, and pointed out that in the past 20 years, the geothermal research in China experienced the development course from the shallower to the deeper and from the present to ancient times, making great contribution to the national energy and security construction. Wang Jiyang, et al., (2015) published the book named Geothermics and Its Applications, and the book comprehensively summarized theories and applications of geothermics of recent years.

In recent years, multiple national policies have been issued to support geothermal development. For example, on January 10, 2013, the G.N.X.N. [2013] No. 48 Guidance on the Promotion of Geothermal Energy Development and Utilization by the Ministry of National Energy Bureau, Finance, Land Resources, Housing and Urban and Rural Construction was issued; on June 25, 2014, the N.Z.X.N. [2014] No. 497 Notification on Organizing Preparation of Plan of Geothermal Energy Development

and Utilization of Comprehensive Division of National New Energy and Office Hall of Ministry of Land and Resources was issued; on January 23, 2017, "Thirteenth Five-Tear Plan" of Geothermal Energy Development and Utilization was printed and issued, and the plan pointed out that during the "Thirteenth Five-Year Plan" period, the newly added heating (cooling) area of geothermal energy was 1.1 billion m^2 ; in which, the newly added heating (cooling) area of shallow geothermal energy was 700 million m^2 ; and the newly added heating area of hydro-thermal type geothermal energy was 400 million m^2 . The newly added installed capacity of geothermal energy power generation was 500MW. Till 2020, the accumulated heating (cooling) area of geothermal energy will reach 1.6 billion m^2 , and the installed capacity of geothermal energy power generation will be about 530MW. In 2020, the annual utilization amount of geothermal energy will be equivalent to 70 million tons of standard coal, and the annual utilization amount of geothermal energy for heating will be equivalent to 40 million tons of standard coal. The annual utilization amount of geothermal energy in Beijing, Tianjin and Hebei will be equivalent to about 20 million tons of standard coal.

However, with the booming of geothermal energy exploitation in China, a series of problems also occur, especially that the exploitation thought is not clear. For example, we don't know we should pay attention to geothermal heating or geothermal power

generation, we should exploit hydro-thermal system or exploit hot dry rock. In this article, we will mainly discuss the exploitation thought of geothermal resources in China based on stating distribution characteristics of geothermal resources in China, and the discussion result can be used as reference of management department and geothermal industry.

2 Advantages of Geothermal Energy

The geothermal energy has obvious advantages (Table 1), mainly including:

(1)The resource amount is huge. According to evaluation result of Ministry of Land and Resources, the exploitable amount of hydro-thermal type geothermal resources each year is equivalent to 1.865 billion tons of standard coal, i.e. 50% of coal consumption in 2015 in China; the exploitable amount of shallow geothermal resources of 336 cities above prefecture level each

year is equivalent to 700 millions of standard coal, i.e. 19% of coal consumption in 2015 in China (Wang Guiling, et al., 2017). Wang Jiyang, et al. (2012) pointed out that the total resource amount obtained from calculation of hot dry rock in mainland of China was 2.09×10^{25} J, equivalent to 7.15×10^5 billion tons of standard coal. In case of calculating as per 2% exploitable resource amount, it was equivalent to 4,400 times as much as total energy consumption amount in 2010 in China.

(2)The energy utilization efficiency is high. In the family of new energy sources and renewable energy sources, the energy utilization efficiency of geothermal energy power generation is the highest (73% averagely), and may reach 90% above in some countries or districts. The average utilization efficiency of geothermal power generation reaches 73%, which is 5.2 times as high as that of photovoltaic power generation and 3.5 times as high as that of wind power generation. In addition, the reliability is high, and it can be used as basic load and peak regulation load.

(3)The cost is competitive. Compared with solar energy, wind energy, biomass energy and other renewable energy sources, the cost of geothermal power generation is relatively low (GoldembergandJohansson, 2004).

Table 1 Comparison of Advantages among Different Renewable Energy Sources

	Utilization Coefficient	Power Generation Cost	Resource Amount	Basic Load
Geothermal energy	76%	2-10 cents/kwh	Large	Stable
Solar energy (photovoltaic)	4%	25-160 cents/kwh	Huge	Unstable
=Wind energy	1%	4-8 cents/kwh	Huge	Unstable
Biomass energy	2%	3-12 cents/kwh	Large	Quasi-stable

(4) The CO_2 emission reduction is obvious. Compared with traditional boiler heating, in case of adopting heat pump for heating, the emission amount of CO_2 will be reduced by 50% at least. If the power required by heat pump comes from renewable energy sources (such as hydroelectric generation), the emission amount of CO_2 may be reduced by 100%.

3 Distribution Characteristics of Geothermal Resources in China

China is located in two global geothermal belts. The Himalaya geothermal belt in southwestern region is a section of Mediterranean - Himalaya geothermal belt, while the Taiwan geothermal belt in eastern region belongs to a part of circum-Pacific geothermal belt. Under the tectonic structure background and regional geothermal background, a high-temperature convection type geothermal system on the Himalaya geothermal belt forms in southwestern region,

and a high-temperature convection type geothermal system on Taiwan high-temperature geothermal belt forms in eastern region. These two geothermal belts belong to plate margin geothermal belts. In addition, a great number of medium and low-temperature geothermal systems are widely distributed in other regions all over the country, including medium and low-temperature conduction type geothermal system in large-sized sedimentary basin and medium and low-temperature convection type geothermal system in uplift mountainous region. These belong to geothermal belts inside the plate (Figure 1).

In large-sized sedimentary basins in China, there are

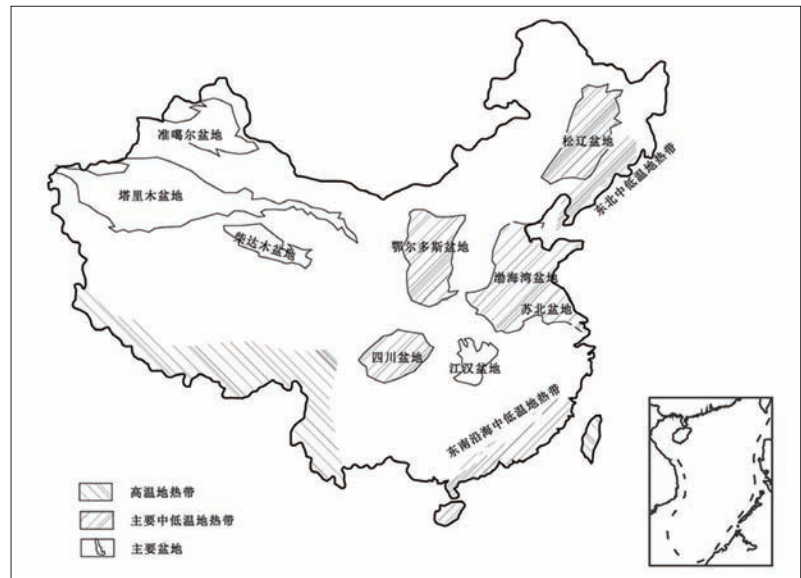


Figure 1 Distribution of Main Geothermal Systems in China (Pang Zhonghe, et al., 2015)

abundant medium and low-temperature geothermal resources. From the genesis type perspective, they mainly refer to medium and low-temperature conduction type geothermal system; in local belts, the conduction-convection subclass forms due to influence of fracture activity. From east to west, the geothermal states of main sedimentary basins in China refer to hot basin, warm basin and cold basin successively. Songliao Basin, Bohai Bay Basin and Northern

Jiangsu Basin in eastern region belong to hot basins, with abundant geothermal resources.

In the geothermal system of sedimentary basin, main thermal reservoir types include sandstone porosity type thermal reservoir and bedrock fissure – karst type thermal reservoir; in which, the exploitation and utilization conditions of fissure – karst type geothermal reservoir are more excellent. In Figure 2, carbonate rocks in China are overlapped on the terrestrial heat flow diagram (to reflect thermal background), which shows that the total distribution area of carbonate rocks in China occupies 1/3 of the terrestrial, with exposed area of about 900,000km² and concealed area reaching 2500,000km². Based on difference in karst exploitation degree, we adopt analogy method, take geothermal system of Xiongqian County and geothermal system of Northern Jiangsu for reference, and estimate the potential of geothermal resources of karst geothermal reservoir of the whole country, and the result is about 500 billion tons of standard coal. According to this, it can be known that the geothermal potential is huge.

From Figure 2, it can be known that both Xiongan New Area and

Beijing City are within the Bobai Bay Basin covered by karst type geothermal reservoir. The heat flow background in Figure 2 also shows relatively good thermal background of Xiongan New Area. In the future, in both Xiongan New Area and Beijing Sub-center, the potential of geothermal energy will be huge (Pang Zhonghe, et al., 2017).

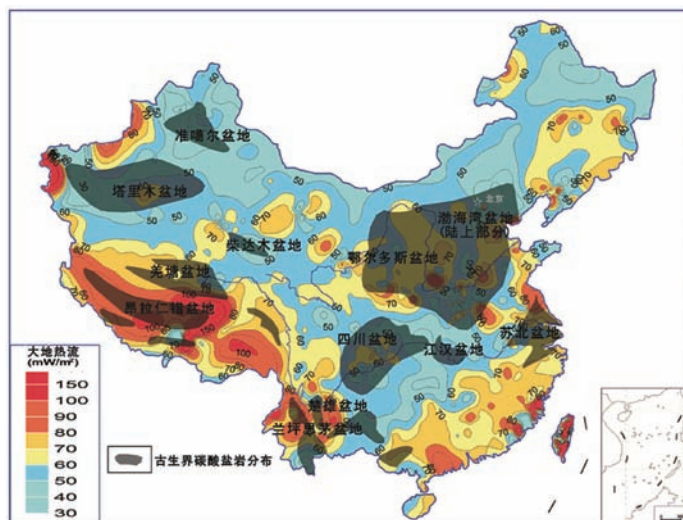


Figure 2 Schematic Diagram of Distribution of Karst Geothermal Reservoir in Mainland of China (Pang Zhonghe, et al., 2012)

4 Exploitation and Utilization Thought

Targeting distribution characteristics of geothermal resources in China, and based on national demand, we propose the following thoughts of geothermal resource exploitation:

(1) Pay attention to “heat” and “electricity”, and take “heat” as the principal thing, i.e. based on distribution characteristics of geothermal resources and heat using demand in China, both geothermal heating (and other heat using types) and geothermal power generation shall be implemented at the same time, but it is necessary to take heat supply as the

principal thing.

(2) Combine deep layer with shallow layer, and conduct exploitation from shallow layer to deep layer, i.e. combine medium and deep-layer geothermal energy and shallow geothermal energy, adjust measures to local conditions, and make full use of geothermal resources. The advantage of medium and deep-layer geothermal energy is small land coverage area, while the disadvantage is that the resource distribution is uneven. However, the advantage of shallow geothermal energy is that it is just slightly restricted by region, but the covered land area is large, and there may be problems such as cold/heat accumulation. Combining both of them organically is in favor of full use of geothermal resources.

(3) Take both eastern region and western region into consideration, and adopt electricity in western region while adopt heat in eastern region, i.e. both eastern region and western region can utilize geothermal energy; while the western region, especially the Tibet region, it is necessary to put the geothermal energy power generation in the first place, while in eastern region, it is required to pay more attention to heat utilization. As mentioned above, in the western region in mainland of China, there is abundant high-temperature geothermal energy, and the cost of geothermal energy power generation is more suitable compared with that in eastern region, and the geothermal energy may make great contribution to local power using demand.

In eastern region, from Northern China to the south of Nanling Mountains, there is the demand of clean heating, and in this region, there are abundant medium and low-temperature geothermal resources, and the resources can be used for heating.

(4) Both dry degree and wet degree are suitable, and the hydro-thermal resource shall be exploited firstly and then the hot dry rock, i.e. pay suitable attention to hot dry rock and hydro-thermal geothermal resource. Utilize hydro-thermal geothermal resource firstly and then exploit the hot dry rock. On one hand, the hydro-thermal type geothermal resources in China are abundant, while they are not exploited and utilized fully, and there is still a very large utilization space. On the other hand, the exploitation cost of hot dry rock is relatively high, while the commercial exploitation at current stage is not realistic; it is necessary to conduct scientific research firstly, and then conduct commercial exploitation after the technology is mature.

(5) Combine solar energy and geothermal energy, and combine wind energy and geothermal energy well, i.e. utilize geothermal energy and other renewable energy sources in a comprehensive complementation way, thus realizing relatively high energy using efficiency, which is called geothermal "+". Combine solar energy and geothermal energy as well as wind energy and geothermal energy, thus accelerating the development of new energy and renewable energy in China.

7000 万吨标准煤 仅是地热能年利用量的“小目标”

70,000,000T STANDARD COAL ONLY THE "SMALL GOAL" OF ANNUAL UTILIZATION VOLUME OF GEOTHERMAL ENERGY

作者：特邀记者 / 李晶

2017 年 1 月，国家发改委、国土资源部及国家能源局联合发布了《地热能开发利用“十三五”规划》。这部地热能领域首个国家层面的规划，不仅确立了地热产业发展的里程碑，也明确了地热能“十三五”发展的目标，尤其引人关注的是，到 2020 年地热能年利用量相当于 7000 万吨标准煤。

数据显示，截至“十二五”末，我国刚刚实现了地热能利用年替代 2000 万吨标准煤，其中，全国浅层地热能供暖、制冷面积达到 3.92 亿平方米，中深层地热供暖面积达到 1.02 亿平方米。五年时间，也就是截至“十三五”末，地热能年利用量的目标将直接从 2000 万吨标准煤跨越式的发展为 7000 万吨标准煤，这个目标能够实现吗？又将如何实现呢？

7000 万吨标准煤仍是“小目标”

从我国现已探明的地热能年可利用量分析，7000 万吨标准煤的年利用量的目标，只能算是“小目标”。根据国家能源局新能源司副司长梁志鹏在

《能源发展“十三五”规划》及《可再生能源发展“十三五”规划》新闻发布会上的介绍，我国地热资源丰富，浅层地热能每年可开采资源量折合 7 亿吨标准煤，中深层地热可开采资源量折合 19 亿吨标准煤。如此计算，7000 万吨标准煤，仅为我国地热能年可利用量的约 1/38。“十三五”期间，我国地热能的勘探工作将进一步深入，从 3000 米下探至 5000 米。这意味着，地热资源的年可利用量将进一步的增加。

众所周知，在统计能源消费总量时，我国普遍使用“标准煤”作为常用的量化单位，一定程度上体现着煤炭的重要性。实际上，在我国的能源消费结构中，煤炭消费一直稳居首位，迄今仍占比 6 成以上。

据国家统计局发布《2016 年国民经济和社会发展统计公报》显示，我国 2016 年全年能源消费总量 43.6 亿吨标准煤，其中，煤炭消费量比 2015 年下降 2 个百分点，已经连续三年下降，但仍占能源消费总量的 62%；水电、风电、核电、天然气等清洁能源消费量上升 1.7 个百分点，占

能源消费总量的 19.7%。未被列出的地热能,其消费量则相对微小。

参考相关规划可知,“十三五”末地热能年利用量 7000 万吨标准煤的目标,将发生在供暖(制冷)、发电、种植、养殖、洗浴等多个方向。实际上,目前我国地热能的两个主要的应用方向仍然是,地热发电,和地热直接利用(如供暖/制冷等)。因发电效率及经济效益等因素,目前仅有广东丰顺和西藏羊八井开发利用地热能进行发电。地热能是直接利用方面,尤其是在供暖领域,近些年发展增速相对较快,自 2014 年底,浅层地热供暖(地源热泵方式)占 58%,中深层地热供暖(地热水井取热)占 19%,首次超过温泉洗浴的 18%。我国地热资源直接利用呈现积极的变化态势。

地热供暖已现市场趋势

近年来,政策环境的改善,以及环境保护方面呈现的压力,为地热能供暖的开发利用铺就了一定的基础。尤其是,习近平主席在 2016 年中央财经领导小组第十四次会议上强调,推进北方地区冬季清洁取暖关系广大人民群众生活,是重大的民生工程、民心工程。并指出,推进北方地区冬季清洁取暖,关系北方地区广大群众温暖过冬,关系雾霾天能不能减少,是能源生产和消费革命、农村生活方式革命的重要内容。要按照企业为主、政府推动、居民可承受的方针,宜气则气,宜电则电,尽可能利用清洁能源,加快提高清洁供暖比重。

随着“煤改电”“煤改气”工作的进一步推进,清洁能源供暖成为走绿色发展道路的必要途径。然而,2017 年冬天突如其来的一波“气荒”,对“煤改气”的前景提出了现实的问题。国家能源局原副局长张玉清曾对《上海证券报》表示,今年冬天中国产生“气荒”的原因首先在于天然气储

气调峰应急能力建设滞后。其次,今年煤改气力度之大也远远超出业内外预期。

事实上,“煤改气”并不是清洁能源供暖的唯一方式,而且从我国天然气的储量和消费量、以及其能源品位等方面综合考虑,用天然气解决冬季供暖的问题似乎成本趋高。这一现状,为地热能供暖留下了更大的发展空间。根据《地热能开发利用“十三五”规划》,“十三五”时期,我国新增地热能供暖(制冷)面积 11 亿平方米。

技术储备、市场条件,甚至是投资环境的影响,是地热能供暖发展不可或缺的几个要素。值得注意的是,地热能供暖在我国已有可推广模式,即河北省雄县地区已经建成的以地热供暖替代燃煤锅炉的“无烟城”,也被誉为“雄县模式”。在中国科学院院士汪集旸看来,在北方有类似资源条件的地区和省市,要大力推广“雄县模式”,利用地热解决供暖问题。

“雄安新区部署较早,其示范效应已经显现,雄安新区现已成为国内,乃至国际地热能利用走在前头的模式”,中国科学院地质与地球物理研究所地热资源研究中心主任庞忠和表示,“就像样板间一样,能够看到就会有人跟着做,更没有理由做不好。”

除了供暖,地热能也能解决制冷的问题。据中国地质调查局 2014 年公布的资料,全国 31 个省会城市浅层地热能冬季可供暖面积为 1.13×10^{10} 平方米,夏季可制冷面积为 9.09×10^9 平方米。

对于广大的长三角地区,冬季供暖和夏季制冷是始终困扰能源界的一大难题。因未出台相关政策法规,这些地区的居民往往自行想办法解决供暖/制冷问题,造成了空气污染,也浪费能源。实际上,这一地区丰富的地热资源或许可以成为解决问题的突破口。2013 年和 2014 年,江苏地质调查院曾分别在南通如东县小洋口地区和扬州

宝应地区打出水温 92℃ 和 93℃ 的地下热水，若用于建立小型、分散的独立能源系统，将有望解决部分长三角地区的供暖 / 制冷问题。

尽管目前地热能供暖 / 制冷已经初步具备大面积推广的条件，但一些制约因素也不容忽视。如地方政府的认识不足，对利用地热能供暖（/ 制冷）不够放心；再如，部分地方对地热开发企业的政策支持和引导的力度有限；而且，缺少统一的行业技术标准，并不利于地热供暖的大范围推广和应用等。

不过，庞忠和认为，任何行业的发展都有一个从零起步、逐步发展的过程。目前，地热能供暖的政策环境逐步趋好，发展前景应该是乐观的。

地热能发电亟待积极推进

与地热供暖不同的是，我国的地热能发电在过去几十年并未取得更大的发展。全球的地热能相关排名也从侧面证实了这一现状。目前，中国的地热能供暖排在全球第一位，但在全球 24 个使用地热发电的国家中，我国仅排名第 18 位。截至 2014 年底，我国地热发电总装机容量为 27.28 兆瓦，远落后于地热发电装机容量超过 3000 兆瓦的美国，以及接近 2000 兆瓦的菲律宾等。

根据《地热能开发利用十三五规划》，到 2020 年我国地热发电装机容量约 530 兆瓦。从 20 多兆瓦到 530 兆瓦仍然需要“跨越”来形容。而对此，庞忠和直言，“十三五”地热能发电的目标确实更加艰巨。

回顾我国地热能发电的历史可以显见，长达 30 多年的发展过程中，“拿得出手”的地热能发电项目仍只有西藏羊八井。公开资料显示，羊八井地热田是我国兴建的第一座地热电站，自 1977 年 9 月建成试验发电以来，装机容量已达 25.15 兆瓦。

羊八井的效益明显，为何没有带动地热能发

电的整体发展？部分原因在于地热能发电对温度要求高，一般要求水温在 150℃ 以上，而我国的地热资源主要为中低温；同时，以我国现有技术水平实现热效率还相对较低。不同的地热类型需要采用不同的汽轮机，但热效率一般在 6.4~18.6%。

事实上，我国地热能发电遇到的基础性技术问题可能很多。热源探查技术、钻探技术、成井工艺等基础性的技术方面还有待进一步的发展，地热能发电的成本也要进一步的降低。目前羊八井地热电厂发电的度电成本约为每千瓦时 1 元，美国地热能发电度电成本仅为每千瓦时 2.4 美分（约合 0.15 元人民币），且自动化程度高。

为实现“十三五”末 530 兆瓦的地热能发电目标，目前相关政策已经开始引导和推动。尤其是，国土资源“三深一土”战略中，提出了深地探测战略的目标：2020 年形成至 2000 米矿产资源开采、3000 米矿产资源勘探成套技术能力，储备一批 5000 米以深资源勘查前沿技术，争取 2030 年成为世界“领跑者”。

“地热能的特点是越走的深，温度越高，只要勘探的程度增加，地热的资源量就会增加，并带动地热能发电的增长”，庞忠和还预计，“地热能的勘探从 3000 米走向 5000 米，将增加一个新的空间，一个新的开发方向”。

地热能或延续梯级利用格局

地热能的开发利用，已经在“十三五”规划中写明了具体的目标。在政策环境的进一步推进和引导下，地热能消费在我国能源消费的比例有望逐渐的走出一条稳步上升的曲线。

中国工程院院士、国家地热能中心指导委员会主任、中国石化原副总经理曹耀峰曾表示，按照 2020 年能源消费总量 48 亿吨标煤测算，届时地热占比将达到 1.5%，比目前的 0.5% 提高一个百分点，也就是说，非化石能源今后五年的三个百分

点增幅中地热“三分天下有其一”。

那么，在地热能的开发利用方面，谁将走在前列呢？在这个上升的过程中，地热能供暖很可能是走的更快的方向。但不容忽视的是，地热能开发利用有其独特性，它并非一次性的能源，其用途也并不是一次性的。不同温度的地热资源，可以对应不同的使用方向，因而采用梯级利用，将会发挥地热能更大的优势。

在庞忠和看来，未来地热能开发利用的前景

是乐观的。“往深部走以后，地热能的品味进一步提高，温度也升高了。高品位的这一段可以先由地热能发电利用，而后随着水温的下降，还可以继续用于供暖、洗浴、农业养殖等，仍然呈现一种梯级式的利用格局”。

不过，他也表示，在这个格局中，哪一个方向发展的更快，还取决于政策、技术、市场、投资等多方面的因素。而从近期来说，地热能供暖仍将是一个主战场。

1 吨煤燃烧能产生多少二氧化碳

1 吨煤燃烧能产生多少二氧化碳？假如我们说能产生两吨多的二氧化碳就常有人质疑，真的有那么多吗？

让我们先来看一个比较简单的例子。1 吨碳完全燃烧能产生多少二氧化碳？

碳燃烧的化学反应方程式是：



其中碳的分子量是 12，二氧化碳的分子量是 44。由此我们可以知道 12 吨碳完全燃烧产生 44 吨的二氧化碳。1 吨碳完全燃烧产生约 3.67 吨二氧化碳。

煤的燃烧要比这复杂。首先，我们要弄清楚的是，煤的含碳量是多少？其次，煤在实际燃烧过程中，可能不是完全燃烧，还有“残碳”，就是还没有燃烧的碳。我们要估算残碳的量。

煤的含碳量和煤的产地有关，不同产地煤的含碳量可能差别很大。计算煤的“平均”含碳量不但过于复杂而且意义不大。我们可以借助“标准煤”的概念来简化这个问题。“标准煤”就是一种理想的煤，它的热值是 7000 千卡。我们假定煤燃烧放出的热量全部是煤中所含碳的贡献，由碳燃烧热化学反应方程式可以知道这相当于煤的含碳量约为 90%。



但是煤中还含有硫、磷和许多有机物。它们燃烧所放出的热量也计入了煤的热值，这是很难准确计算的。残碳量更是因锅炉和燃烧条件而异。估且将两者之和按 20% 计算，1 吨煤燃烧所产生的二氧化碳的量就是：

$$3.67 \times 0.9 \times 0.8 = 2.64 \text{ 吨}$$

以上只是粗略的估算，用于正规计算的要查相关专业数据。我们想说明的只是，煤燃烧产生了比它原来的质量还多 2 倍多的二氧化碳是确实的，燃烧不是“一烧了之”。

70,000,000t Standard Coal Only the “Small Goal” of Annual Utilization Volume of Geothermal Energy

Author:

Specially Invited Reporter /Li Jing

In January 2017, the National Development and Reform Commission, the Ministry of Land and Resources and the National Energy Administration jointly published the “Thirteenth Five-year Plan” for Development and Utilization of Geothermal Energy. The Plan at the state level in the geothermal energy field for the first time not only establishes the milestone of geothermal industrial development, but also specifies the development goal of geothermal energy during the “Thirteenth Five-year Plan”. Particularly, the annual utilization volume of geothermal energy by 2020 will be 70,000,000t standard coal.

According to the data, as of the end of the “Twelfth Five-year Plan”, China just realized the annual substitution of 20,000,000t standard coal in the geothermal energy utilization. The national shallow geothermal energy heating and cooling area is 392,000,000m²,

and the mid-deep geothermal heating area is 102,000,000m². In five years, namely, as of the end of the “Thirteenth Five-year Plan”, the goal of annual utilization volume of geothermal energy will directly achieve the leapfrog development from 20,000,000t standard coal to 70,000,000t standard coal, can this goal be realized? How to realize this goal?

70,000,000t standard coal is still the “small goal”.

According to the analysis of annual utilizable volume of currently proven geothermal energy of China, the goal of annual utilization volume of 70,000,000t standard coal is only the “small goal”. Based on the introduction by Liang Zhipeng, Head of New Energy Department of National Energy Administration, in the press conference of the “Thirteenth Five-year Plan” for Energy Development and the “Thirteenth Five-year Plan” for Renewable Energy Development, China possesses abundant geothermal energy resources. The annual exploitable resources of shallow geothermal energy are converted into 700,000,000t standard coal, and the exploitable resources of mid-deep geothermal energy are converted into 1,900,000,000t standard coal. On that basis, 70,000,000t standard coal is only about 1/38 of annual utilizable volume of geothermal energy of China. During the “Thirteenth Five-year Plan”, the exploration of geothermal energy of China will be further deepened, and it will be explored from 3,000m to 5,000m. This means that the annual utilizable volume of geothermal energy resources will further increase.

As we know, in the statistics of total volume of energy consumption, China universally uses "standard coal" as the common quantization unit, which shows the importance of coal to some extent. In reality, in the energy consumption structure of China, the coal consumption is in the first place steadily all the time. So far, the coal consumption still accounts for more than 60%.

According to the Statistical Communiqué of National Economic and Social Development of 2016 released by the National Bureau of Statistics of the People's Republic of China, the total volume of energy consumption of 2016 of China was 4,360,000,000t standard coal. The coal consumption decreased by 2 percentage points compared with that of 2015, and it decreased for three years consecutively, but it still accounted for 62% of total volume of energy consumption. The consumption of hydropower, wind power, nuclear power, natural gas and other clean energy rose by 1.7 percentage points and it accounted for 19.7% of total volume of energy consumption. The consumption of unlisted geothermal energy was relatively small.

Subject to relevant plan, the goal of annual utilization volume of 70,000,000t standard coal of geothermal energy at the end of the "Thirteenth Five-year Plan" will occur in many directions, such as heating (/cooling), power generation, plantation, cultivation and bathing. Actually, two main application directions of geothermal energy of China presently are still the geothermal energy power generation and

direct utilization of geothermal energy (like heating/cooling). Due to the power generation efficiency, economic benefit and other factors, only Guangdong Fengshun and Tibet Yangbajing develop and utilize the geothermal energy for power generation currently. As to the direct utilization of geothermal energy, especially in the heating field, the development growth is relatively quick in recent years. Since the end of 2014, the shallow geothermal heating (ground source heat pump) accounts for 58%, and the mid-deep geothermal heating (direct heating) accounts for 19%, exceeding 18% of hot spring bathing for the first time. The direct utilization of geothermal resource of China presents the positive change situation.

The market trend has occurred in the geothermal energy heating.

In recent years, due to the policy environment improvement and environmental protection pressure, a foundation is laid for the development and utilization of geothermal energy heating to some extent. In particular, at the fourteenth meeting of the Central Leading Group on Financial and Economic Affairs in 2016, President Xi Jinping stressed that six issues, including advancing the clean heating in winter in the north of China, were big matters, and they had a bearing on the life of the masses and they were the important people's livelihood projects and projects of common aspiration of the people. Besides, he pointed out that advancing the clean heating in winter in the north of China had a bearing

on the warm winter of the masses in the north of China, and on whether the hazy days can be reduced, and was the important content of energy production and consumption revolution and revolution of rural lifestyle. Based on the policy of “the enterprise is in the dominant position, the government promotes the project, and the resident can bear the project”, the gas should be used if the gas is appropriate and the electricity should be used if the electricity is appropriate, and the clean energy should be made use of as far as possible, so as to raise the proportion of clean heating.

As the “coal into electricity” and “coal into gas” are further carried forward, the clean energy heating becomes the necessary approach to take the green development road. However, due to the unexpected “gas shortage” in winter of 2017, the realistic question has been raised about the prospect of “coal into gas”. Zhang Yuqing, Former Deputy Head of National Energy Administration, said to Shanghai Securities News that the cause for the “gas shortage” of China in winter this year was the backward emergency capacity building of natural gas storage and peak regulation at first. In the second place, the “coal into gas” this year was far beyond the expectation inside and outside the industry

As a matter of fact, the “coal into gas” is not the only way to the clean energy heating. Moreover, according to the comprehensive consideration of natural gas reserve and consumption, energy grade and other aspects of China, it seems that the costs of solving the

problem of heating in winter by natural gas are too high. This current situation leaves a greater development space for the geothermal energy heating. Pursuant to the “Thirteenth Five-year Plan” for Development and Utilization of Geothermal Energy, during the “Thirteenth Five-year Plan”, the newly increased geothermal energy heating (cooling) area of China will be 1,100,000,000m².

The technical reserve, market condition and even investment environmental impact are several indispensable elements of geothermal energy heating development. Particularly, the geothermal energy heating has the promotion model in China, namely, the “smoke-free city” of geothermal heating in place of coal-fired boiler completed in Xiongxian County, Hebei Province, and it is also praised as the “Xiongxian County Model”. According to Wang Jiyang, Academician of the Chinese Academy of Science, in the region and province and municipality with similar resource conditions in the north of China, “Xiongxian County Model” should be robustly promoted and the heating problem should be solved by the geothermal energy.

“The deployment of Xiongan New Area is relatively early, the demonstration effect has appeared, and Xiongan New Area has become the model of taking a lead in the domestic and international geothermal energy utilization”. According to Pang Zhonghe, Director of Geothermal Resource Research Center of Geological and Geophysical Research Institute of the Chinese Academy of Sciences, “like the model unit, if it can be seen, someone will

follow it, and it will be certainly better”.

In addition to the heating, the geothermal energy can also solve the cooling problem. According to the data published by China Geological Survey in 2014, the available heating area in winter of shallow geothermal energy of 31 provincial capitals nationwide is $1.13 \times 10^{10} \text{m}^2$ and the available cooling area in summer is $9.09 \times 10^9 \text{m}^2$.

For the vast areas in the Yangtze River Delta, the heating in winter and cooling in summer are a big problem which nags the energy circle all the time. Since no relevant policies or laws or regulations are launched, the residents in these areas often independently solve the heating/cooling problem, leading to the air pollution and the waste of relevant energy. In fact, the abundant geothermal resources in this region may become the breakthrough point to solve the problem. In 2013 and 2014, Jiangsu Geological Survey exploited 92°C and 93°C geothermal water in Xiaoyangkou, Rudong County, Nantong and Baoying, Yangzhou. If such resource is used for the establishment of small and decentralized independent energy system, the heating/cooling problem in the Yangtze River Delta is expected to be solved.

Even if the current geothermal energy heating/cooling has/have been provided with the large-area promotion condition initially, some restrictive factors should not be neglected. For example, the local government has insufficient understanding and is not at ease enough for the geothermal energy heating (/cooling). Moreover, some places

have limited policy support and guidance for the geothermal development enterprise. Meanwhile, there is a lack of uniform industrial technical standards. All these are unfavorable for the large-scope promotion and application of geothermal energy heating.

However, according to Pang Zhonghe, the development of any industry has a process of start from zero and gradual development. At present, the policy environment of geothermal energy heating tends to be good gradually and the development prospect should be optimistic.

It is urgent to actively carry forward the geothermal energy power generation.

Different from the geothermal energy heating, the geothermal energy power generation of China has not achieved great development in the past several decades. Relevant ranking of geothermal energy in the world also verifies this current situation. Currently, the geothermal energy heating of China is No. 1 in the world. However, among 24 countries which generate the power by geothermal energy in the world, China only ranks No. 18. As of the end of 2014, the total installed capacity of geothermal power generation of China was 27.28MW, which was far behind the USA whose installed capacity of geothermal power generation exceeded 3,000MW, and the Philippines whose installed capacity was close to 2,000MW.

Subject to the Thirteenth Five-year Plan for Development and Utilization of Geothermal Energy, by 2020, the installed capacity of geothermal power generation of China will

be about 530MW. The increase from about 20MW to 530MW should still be described as “leapfrog”. For this, Pang Zhonghe says that the goal of geothermal energy power generation during the Thirteenth Five-year Plan is indeed tougher.

Reviewing the history of geothermal energy power generation of China, during the development process of more than 30 years, we find that only Tibet Yangbajing is the geothermal energy power generation project which may be “brought to the table”. According to the open data, Yangbajing Geothermal Field is the first geothermal power station constructed by China. Since the completion, test and power generation in September 1977, the installed capacity has reached 25.15MW, accounting for 41.5% of total installed capacity of power grid of Lhasa. In the dry season in winter, the geothermal power generation capacity accounts for 60.0% of power grid of Lhasa, becoming one of its main power grids.

The benefits of Yangbajing are obvious, but why is the overall development of geothermal energy power generation not driven? Partially, the geothermal energy power generation has a high temperature requirement. Generally, the water temperature should be more than 150°C. However, the geothermal resources of China are low and medium temperature primarily. Meanwhile, the thermal efficiency realized by the current technical level of China is still relatively low. Different steam turbines should be adopted for different geothermal types, but the thermal efficiency is 6.4-18.6% generally.

As a matter of fact, there may be many basic technical problems in the geothermal energy power generation of China. The heat source exploration technology, drilling and exploration technology, well completion technology and other basic technologies are to be further developed, and the costs of geothermal energy power generation should be further reduced as well. At present, the cost per kilowatt hour of power generation of Yangbajing Geothermal Power Plant is about RMB 1. The cost per kilowatt hour of geothermal energy power generation of the USA is only 2.4 cents (about RMB 0.15 after conversion), and the degree of automation is high.

To achieve the goal of 530MW of geothermal energy power generation at the end of the “Thirteenth Five-year Plan”, relevant policies have started accelerating guidance and promotion presently. In particular, in the “deep earth exploration, deep sea exploration, deep air-to-ground observation and land technical innovation” strategy of land resources, the goal of deep earth exploration strategy is raised: by 2020, 2,000m mineral resource exploitation and 3,000m mineral resource exploration complete technical capacity will be formed, and a batch of more than 5,000m resource prospection cutting-edge technologies will be reserved, and great efforts will be exerted to make China the “frontrunner” in the world by 2030.

The features of geothermal energy are “the deeper the depth, the higher the temperature” and “the geothermal resources will increase as the exploration degree increases and the

growth of geothermal energy power generation will be driven". Besides, Pang Zhonghe predicts that "when the exploration of geothermal energy increases from 3,000m to 5,000m, a second space and a new development direction will be increased".

The geothermal energy may continue the cascade utilization pattern.

For the development and utilization of geothermal energy, the concrete goal has been specified in the "Thirteenth Five-year Plan". Further promoted and guided by the policy environment, the geothermal energy consumption is expected to gradually form a steady rise curve for its proportion in the energy consumption of China.

According to Cao Yaofeng, Academician of the Chinese Academy of Engineering, Director of Steering Committee of National Geothermal Energy Center, and Former Deputy General Manager of Sinopec, after the estimation per total volume of energy consumption of 4,800,000,000t standard coal of 2020, the geothermal proportion will reach 1.5% at the scheduled time, up by a percentage point compared with 0.5% currently. In other words, in the growth of three percentage points of non-fossil energy in the next five years, the geothermal energy will occupy a large share.

In the development and utilization of geothermal energy, who will be in the front rank? During this rise process, the geothermal energy heating is likely to be the direction of faster development. The development and

utilization of geothermal energy have the uniqueness. The geothermal energy is not the one-off energy and its purpose is not one-off either. The geothermal resources of different temperatures may be fit for different utilization directions. Therefore, the cascade utilization will bring the greater advantages of geothermal energy into play.

According to Pang Zhonghe, the prospect of development and utilization of geothermal energy in the future will be optimistic. "After going deeper, the grade of geothermal energy will be further increased, and the temperature also rises. The high grade geothermal energy may be used for the geothermal energy power generation at first. As the water temperature decreases, it may also be used for the heating, bathing and agricultural cultivation and the like. It still presents a kind of cascade-like utilization pattern".

However, in this pattern, Pang Zhonghe says that the faster development in a direction also depends on the policy, technology, market, investment and other factors. Generally speaking, the geothermal energy heating will still be a main battlefield.



污水源热泵技术与生活余热能的利用

SEWAGE SOURCE HEAT PUMP TECHNOLOGY AND DOMESTIC WASTE HEAT ENERGY UTILIZATION

作者：张军（北京中科华誉能源技术发展有限责任公司）

传统的地源热泵技术以浅层地热能作为低品位能源，一般需要凿地下水井或在土壤中埋管，工程比较复杂，且受到项目所在地水文地质条件的严重制约，并有可能对水文地质造成不良影响。城市污水则是更为理想的低品位能量来源，它分布广泛，资源丰富，获取方便。由于城市污水以生活废水为主，所以我们通常把城市污水中的低品位热能称为“生活余热能”。

在各种生活余热中，由于原生污水未经任何处理，含有大量污染物和污垢，利用起来非常困难，这里重点介绍城市原生污水中余热的回收和利用。

一、污水源热泵技术介绍

污水源热泵就是以城市原生污水作为热泵的低位热源，冬季通过热泵把污水中的低温热能转变为更高品位的热能给用户供热；夏季通过热泵制取低温冷水以满足用户制冷空调的需求。“污水源热泵装置”既可用于供热采暖，又可用于制冷降温，从而实现一机两用。

1、污水源热泵的优越性：尽管污水源热泵技术应用时间不长，但已经充分显示了它的优越性，主要表现为：

（1）与空气源热泵相比，避免了冬季结霜和除霜问题，而且由于污水水温比较稳定，使得热泵工作性能也比较稳定。污水源热泵的平均制热制冷能效系数比传统的空气源热泵高出 40% 左右。

（2）与地下水源热泵相比，污水源热泵无需从地下抽取地下水，也不用将水回灌地下，可以避免由于回灌不当而引发的地下水资源流失等问题。

（3）城市污水冬暖夏凉，受气候影响小，水温变化幅度小。与地表水水温和空气温度相比，城市污水水温冬季较高，夏季较低，可以利用的换热温差更大。北方地区大气温度的年温差可能达到 40℃，而城市污水的年温差只有 20℃ 左右，是比较理想的热泵热源和空调冷源。

（4）与电锅炉相比，污水源热泵可节省 2/3 以上的电能；比燃料锅炉节省 1/2 的能源，且还能避免使用传统锅炉造成的大气污染，具有良好

的环保效果。

(5) 污水水量充足，可利用区域广阔。城市污水量为城市供水量的 85% 以上，数量巨大，相关部门统计，2010 年我国年污水排放量达 720 亿 m^3 ，若将全部污水热能再生利用，按 5°C 温降计算，污水源热泵系统可为 10 亿 m^2 以上的建筑供暖。如北京高碑店污水处理厂的污水排放量为 100 万 m^3/d ，可解决 500 万 m^2 建筑的供暖制冷问题。很多大中型城市污水量巨大，均可建立污水热能回收与利用系统。

(6) 环境效益明显：污水属可再生能源，符合国家可持续发展战略。系统运行过程中没有燃烧，没有废弃物，不用远距离输送热量，只提取污水中的热量，不改变其化学、物理性质。不存在地下水的回灌和地表水的污染问题，不污染环境。污水源热泵系统可以将大量建筑内的废热排放到污水中，而不是通过冷却水塔或空调室外机组排放到室外环境，使城市热岛效应得到缓解。

2、污水源热泵的局限性：

(1) 污水源热泵系统的使用区域有很大限制，一般只适用于有大量污水排放的区域，例如城市污水处理厂附近、城市排水干渠沿线区域以及大型工业企业周边区域等。

(2) 污水源热泵对污水的排放流量要求很高，如果污水排放的流量不稳定，就会严重影响到热泵机组的输出性能。

(3) 污水源热泵机组对污水的水质也有一定要求，如果污水水质有强腐蚀性，或含有大量不容易去除的固体、胶体杂质，会大大增加系统的造价。

(4) 污水源热泵系统的初投资也很高，如果热用户离污水干渠或污水处理站的距离太远，则铺设污水引水退水管线就会产生很高的费用。

(5) 污水的防堵换热设施还有待进一步改进

和提高：目前污水防堵机的工作性能还不够稳定，污水换热器的换热系数较低，占地面积很大，限制了污水源热泵的发展与应用。

二、污水源热泵应用的关键问题与技术

尽管污水、江河水、湖水、地下水、海水等都是理想的低品位冷热源，但由于这些水源水质极不稳定，不能满足换热设备运行的要求，因此取水换热过程是利用这些水源的关键问题。这些水源以城市污水水质最差，污水源热泵系统在实际工程中遇到的问题最为突出。城市污水含有各种大尺度污染物及小尺度悬浮固体及溶解性化合物，前者表现在对管路与设备的阻塞，后者表现为对流动换热参数的影响以及导致换热管内结垢现象，形成相当高的热阻，严重影响了热泵系统的正常运行。以下以污水为例针对系统设计、问题及对策进行详细分析。

1、污染物问题

(1) 污染物介绍：污水含有大量大尺度污染物及小尺度悬浮固体，前者会对污水源热泵系统的管路及设备造成堵塞，后者会增大换热设备的热阻并影响流体的流动。对原生污水进行处理后再利用其热能是不可行的，因为污水处理的最低费用也要高于从污水中提取热量或冷量的价值。对污水进行过滤也不是好办法，最主要的问题是无法及时清除过滤网上的污物，很容易造成过滤网的堵塞。由于城市污水水质很差，过滤格栅上污染物的清除量大，频率高，必须采用机械格栅，但其造价高，占地大，而且还有污染物的处理和设备间空气洁净的保持问题。另外，从城市污水干渠到过滤格栅之间的引水段管路也存在污染物的淤积与清理问题。因此，最好的办法是将污染物阻隔在污水干渠中，不让大尺度杂物进入系统。

(2) 防堵塞技术：实现无堵塞连续换热是城市原生污水作为热泵冷、热源的技术关键。

A. 防堵机：采集污水将污水中指定粒径以上的固体、悬浮物截留，允许该粒径以下固体悬浮物进入污水换热器或热泵机组实现无堵塞换热，换热后的污水回到污水防堵机另一通道，与被截留污染物一起退回到污水干渠。

防堵机工作原理为滤面自身旋转，在任意时刻都有部分滤面位于过滤的工作区，另一部分滤面位于水力反冲区。在旋转一周的时间内，每一个滤孔都有部分时间在过滤的工作区行使过滤功能，另一部分在反冲洗区被反洗，以恢复过滤功能。污水经过滤后去换热设备无堵塞换热，换热后的污水回到防堵机的反冲洗区对过滤面实施反冲，并将反冲掉的污染物全部带走并排回污水干渠。如图1所示，用污水泵1抽吸污水干渠中的污水进入筒外供水区A，经旋转的圆筒形格栅滤网2过滤后进入筒内供水区B，此时污水中已不再含有会引起污水换热器或机组堵塞的大粒径污染物，利用污水泵3将筒内供水区B中的污水引至污

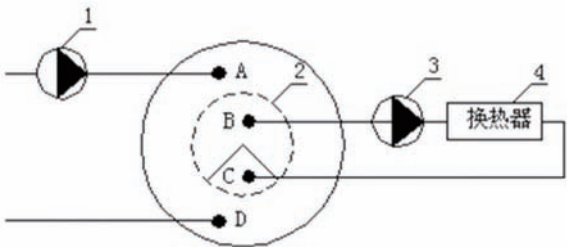


图1 污水防堵机原理图

水换热器4中，换热后污水回到筒内回水区C，在压力下经过圆筒形格栅滤网2时，对在圆筒格栅外表面上已经淤积的污染物进行反冲洗，反冲洗后的污水进入筒外回水区D，并被重新排回污水干渠中。

B. 宽流道换热器：实现无堵塞连续换热的另一

种方式就是采用宽流道式污水换热器。这类换热器的特点就是污水侧流道比较宽，可以直接通过大尺度的污染物，不会堵塞。这类换热器的体积较大，主要需要解决承压的问题、换热效率的问题。这类换热器已在实践中得到较好的应用。

2、污垢问题

污染物会堵塞系统设备及管道，而污垢则会附着在系统设备及管道的内表面，增大热阻，影响换热。污垢沉积是一个复杂的物理、化学过程，它是动量、能量及质量传递综合作用的结果，其理论基础除传热学外，还涉及到化学动力学、流体力学、胶体化学、热力学与统计物理、微生物学、非线性科学以及界面科学等相关知识，是一个典型的多学科交叉的问题，因而形成机制的清晰理解和准确把握是一项十分重要的任务。本节将对污水取水换热过程中的污垢成分进行分析，探讨污水取水换热过程中的污垢形成机理。

污垢成分分析:当水质较差时换热器中水流速应大于1m/s。即使如此，在污水源热泵系统的实际工程中仍然出现污垢的沉积，导致系统换热性能显著下降。研究人员通过实验方法测定了不锈钢、铜两种材质的螺旋管换热器在不同污水温度下的结垢热阻随时间的变化规律，采用质量分析法和X射线衍射分析，得出污垢以微生物垢为主。南方某地铁冷站采用江水经三道物理过滤直接进入制冷机组的壳管式冷凝器中进行冷却，清洗时发现换热管内有约1~2mm厚的软垢，从污垢成分来看，有机物的含量将近20%，其中主要以微生物垢为主，并夹杂非常细小的泥沙。大量实践与实验表明，低位冷热源利用中堵塞换热器的污垢主要由软性物质组成，污水源热泵系统取水换热过程中出现的污垢以生物污垢为主，并夹杂少量的颗粒污垢，形成“生物膜”。

表 1 一些物质的导热系数

物质种类	导热系数 (w/m.k)
铜	302.4-395.4
黄铜	87.2-116.3
混合污垢	0.8-2.33
生物黏膜	0.52-0.71
含油水垢	0.116-0.174
碳酸盐水垢	0.58-5.8

3. 污垢对系统性能的影响

(1) 换热性能下降：污水源热泵技术应用主要障碍之一就是污垢引起的换热性能下降的问题。换热管与污垢物质的导热系数见表 1，可以看出由于污垢的导热性能较差，即使较薄的一层污垢也将导致换热设备性能急剧下降。

(2) 阻力增大：换热管流通截面积随垢层增厚而减小，在流量恒定的情况下，这必然导致平均流动速度的增加，从而引起整个换热设备流动阻力的增大，进而增大水泵的耗电功率。由泵与管道的性能曲线可知，水泵流量将减小，这将导致污垢的增长，进一步降低机组效率。

4. 去除污垢的方法

(1) 防污措施：当采用未经处理的城市污水作为水源时，污水中的悬浮物可能堵塞热交换器。对此除了用格栅、防阻机拦截粗大漂浮物，在热交换器前设置自动筛滤器，截留污水中的毛发、纸片等纤维类悬浮物外，还应做到以下两方面：

A. 合理选择设备：合理选择换热器的形式和管材；为便于拆卸和清洗，换热器应留有清洗开口或拆装端头；换热器形式设计简单，设备越复杂越难清洗。采用淋激式换热器蛇形布管，形式简单，结构开放，不易结垢还易于清洗，且适于处理腐蚀

性流体，结垢方面的问题相对较小，喷淋液膜薄，换热系数较高。因此，比常规的壳管式、浸没式换热器更适合于污水环境。

B. 改变污水酸碱度：可投放杀生剂、缓蚀剂、阻垢剂并控制污水的 PH 值，研究表明，污垢组分的溶解能力随 PH 值的减小而增大，因此，向污水中加酸的方法使 PH 值维持在 6.5 ~ 7.5，对抑制污垢有利。

(2) 去除污垢的方法：污水源热泵的除污，可以采用物理清洗而不宜采用化学清洗。物理清洗是靠流体的流动或机械力的作用，提供一种大于污垢粘附力的力而使之从设备表面上剥落的清洗方法。根据清洗时间间隔的长短，物理清洗又分为在线清洗和定期清洗，由于定期清洗浪费大量人力物力，且难以保证系统高效运行，所以下面不探讨定期清洗的除污方法。

A. 胶球在线清洗法：该法清洗机理是将湿态密度与水相近的海绵胶球送入循环水入口，使湿态直径比管内径大 1 ~ 2mm 的胶球在循环水的带动下，挤压变形后进入管内，借助海绵体的弹力对管壁施加摩擦力达到除垢目的；当胶球流出管时在自弹力的作用下，恢复原状，继而随循环水流入回水管，汇集于收球网底部，然后在胶球泵作用下被送进装球室重复上述运动。采用胶球清洗系统，能

及时除去聚集在换热管表面的杂物，保持管表面的清洁，提高机组运行经济性。

B. 小水量强力轮替冲洗部分换热管工艺法：

除污法原理：在管壳换热器封头内设置在电动机带动下可以自动旋转的主轴（兼做进水管），主轴两侧通过轴承分别与管板和封头连接。高压冲污水泵吸入的非清洁水通过主轴上的接头进入主轴内腔中，在经主轴出水口进入随主轴一同旋转的冲污注水头，强力注入换热管束内进行冲污，冲污注水头随着主轴的旋转紧贴各个换热管的入口转动，从而完成轮替冲洗的过程，完成冲污后的非清洁水通过污水出口单独排出或由污水进口和污水出口共同排出。

5、腐蚀问题

（1）腐蚀性产生原因：污水成分复杂，杂质含量高，直接进入热泵机组或换热器需要解决腐蚀问题，否则热泵系统将无法正常运行。经过防堵机初步处理后，污水中大尺寸杂质以及密度较大颗粒物已经消除，但依然含有小颗粒物理杂质、氨根、氯离子等化学成分，以及微生物、藻类及胶体等杂质。因此对于污水直供的污水源热泵机组的要求非常高，尤其是机组换热器的设计和选型。

（2）解决方法

A. 换热器：

污水换热器污垢主要形式有：①污泥，由污水中物理杂质在换热器内形成体积较大的片状物。②腐蚀产物，由化学成分与换热管发生化学反应形成。③生物沉积物，由细菌、藻类以及排泄物长期积累形成。

应该为换热器选择合适的换热管材料：①铜管具有换热系数高的特点，但在存在 Cl^- 、 NH_3 存在时，极易腐蚀。②钛管对硫化物、氯、以及氨都有很好的耐腐蚀性，可以应用于海水以及高污染污水，但价格昂贵。③镍铜管可以应用于海

水及污水环境中，根据水质对镍铜比例进行调整，价格适中。

同时，改善管内水流方式，降低污垢形成速率；优化换热器布管；选择合适的污垢热阻；设置换热器清洗预警系统。由于污水来源的不稳定性，因此可能出现实际运行时不到一个供暖（制冷）季就出现污垢热阻超过临界值的情况，影响机组运行效率，因此机组内应集成换热器清洗预警系统。

B. 专用机组：由于污水水质不良，制冷和供暖时采用水路切换的方式对末端不利，因此由北京华誉能源技术股份有限公司开发出氟路切换污水源热泵机组（获得国家发明专利授权），有效解决了上述问题。

三、影响污水源热泵性能的因素

1、污水温度对系统性能的影响

通过实验研究了污水温度对污水源热泵系统性能的影响，对污水源热泵系统的节能设计可以起到一定的借鉴作用。

（1）污水进口温度的影响

在冬季工况下，污水通过污水-中介水换热器加热中介水后，中介水进入蒸发器，作为低温热源。而冷凝器侧作为用户侧，热水进口温度 $45^{\circ}C$ ，出口温度 $50^{\circ}C$ 。在冬季工况的实验中，以 $10^{\circ}C$ 、 $13^{\circ}C$ 、 $16^{\circ}C$ 三个温度作为典型的污水进口温度，并对在该温度下的系统性能进行分析比较，得出如下结论：

随着污水进水温度的提高，中介水系统侧蒸发器进水温度随之提高，系统的蒸发压力、温度提高，改善了系统的工作性能，这就使得机组的蒸发负荷升高，制热量增大，压缩机耗功增加，系统COP增大。以 $10^{\circ}C$ 的温度为基准，当污水温度由 $10^{\circ}C$ 增大到 $13^{\circ}C$ 时，中介水系统侧蒸发器进

水温度提高31.5%，蒸发压力升高15.1%，蒸发温度升高8.9%，制热量升高11.5%，压缩机功率升高5.2%，系统COP升高6.3%；当污水温度由10℃增大到16℃时，中介水系统侧蒸发器进水温度提高58.6%，蒸发压力升高24.5%，蒸发温度升高17.8%，制热量升高16.9%，压缩机功率升高8.1%，系统COP升高8.3%。

（2）污水进出口温差的影响

在冬季工况下，污水通过污水-中介水换热器加热中介水后，中介水进入蒸发器，作为低温热源。而冷凝器侧作为用户侧，热水进口温度45℃，出口温度50℃。在冬季工况的实验中，选择在污水进口温度稳定在13℃的情况下，分别选用3℃、5℃、8℃的温差对系统性能进行分析比较，得出如下结论：

在污水温度为13℃时，以3℃进出口温差为比较基准，当进出口温差增加到5℃时，中介水系统的进出口温差下降17.2%，蒸发器蒸发温度降低10.3%，冷凝压力增加15.1%，压缩机耗功增加14.1%，制热量减少4%，系统COP下降12.1%；当进出口温差增加到8℃时，中介水系统的进出口

温差下降44.8%，蒸发器蒸发温度降低47%，冷凝压力增加34.2%，压缩机耗功增加26.6%，制热量减少9.1%，系统COP下降25.8%；

由此，在污水进水温度一定的情况下，随着进出口温差的增大，污水的平均温度降低，由于中介水流量不变，故中介水的温差呈下降趋势，蒸发温度亦有下降趋势并随着温差的加大下降趋势更为明显。由于冷凝器侧参数保持不变，而压缩机的压力比增大，加大了节流损失，所以压缩机耗功增大，系统的制热量下降，机组的COP降低。

2、污垢热阻对系统性能的影响

大量研究表明，当清洁换热面与易结垢的流体接触时，污垢热阻不是固定数值；在使用污水源热泵系统过程中，换热器的污垢热阻是不断变化的。开始使用时换热器表面为清洁状态时，污垢热阻为0，随着使用时间加长，换热器表面污垢逐渐积累，污垢热阻不断增大，当换热器表面污垢热阻达到一定数值时，换热器可能达不到换热要求或者换热性能极差，需要进行清洗，清洗后换热器表面又成为洁净表面，如此循环。



道德用能智慧供暖 是治理雾霾的有效途径之一

**SMART HEATING OF GEOTHERMAL
ENERGY IS ONE OF EFFECTIVE
APPROACHES TO CONTROL HAZE**

作者：滕玲



能源是有品位之区别的。燃油、燃气和煤都是高品位能源，燃烧时产生近100℃的高温，可用于炼钢、发电。传统地热能也是高品位的热能，是国家矿产资源；浅层地能是可再生的低品位热

能（25° C以下），与热泵结合可以成为供暖的替代能源，按品位选取最适宜的能源，避免能源在品位上的浪费是我国专家大力提倡的道德用能。浅层地能管理的重点为不能出现水的流失、

水的污染和不能有潜在地质灾害，归口水利部门管理。

1 电网支持热网，电高效替煤

靠近能源产地发电，环境治理成本最低，依靠电线将电送至使用地，是成熟、简单、高效的运输方式。使用地利用1份最清洁的电能搬运3份以上可再生的浅层地能，可以得到相当于3份以上电能直接转化的热能，实现电高效利用。

2 因地制宜的合理用能方式

地能供暖、燃气做饭，是城镇居民目前能源按品位分级利用的合理方式，可以规模化实现电高效替煤和最短时间的燃烧排放。利用能源中的低品位能源，比如浅层地能，解决房间18-26℃的温度，且区域没有燃烧和排放。使建筑物供暖中60%以上是可再生能源，就是道德用能的特征。同时也达到减少环境污染，减少雾霾产生的效果，实现可再生的无燃烧的浅层地能作为建筑物供暖的替代能源。

3 供暖能源的3次变革

第1次变革形成以化石能源为主、其他能源为辅的供暖模式；第2次变革形成以电能为主、其他能源为辅的供暖模式，第3次变革将以可再生的浅层地能无燃烧的供暖为主。

4 中国原创技术走出国门

北京市发改委规划[2015] (2665号)文件中，提出了“推广单井循环采集浅层地能无燃烧为建筑物智慧供暖技术，大力发展地能热冷一体化新兴产业，有效提高可再生能源比例，解决燃烧供暖带来的污染问题，提高城乡居民生活质量”的智慧供暖任务。

截至目前，智慧供暖项目在中国推广应用已由北京辐射至除海南及港澳台以外的所有地区，实现地能无燃烧，为1500多万m³建筑物智慧供暖。

我们通过能源生产和消费的革命，利用可再生的浅层地能作为建筑物供暖的替代能源，建立区域无燃烧、零排放的可再生浅层地能热网，以成熟电网支撑替代能源热网的同时，进一步建设和完善农村自采暖的基础设施，电高效替煤，实现新时期区域无燃烧、零排放的可再生能源为建筑物供暖的能源革命，可提高城乡居民生活品质、有效治理雾霾。 选自《中国节能》



雄县模式

——浅析地热能供暖 在绿色建筑节能领域的应用

XIONGXIAN COUNTY MODEL ——Analysis of Application of Geothermal Energy Heating in Green Building Energy- saving Field

作者：袁志超（河北绿源地热能开发有限公司）

摘要：河北省雄县具有足够的地热资源可供开发。对地热资源进行充分利用，并在地热能供暖系统设计中做到绿色环保，极大地提高能源利用率、提升居民生活品质，并达到节能减排、保护环境的目的。为了更好的利用地热资源，建议政府在政策扶持及行业法律制定等方面予以支持，来保障地热供暖项目的顺利实施。

关键词：地热供暖 绿色建筑 节能减排

21 世纪以来，我国致力于在全国范围内推进生态文明建设，全面治理大气污染、并降低化石能源消费，因此已密切关注清洁能源的开发和利用。地热能是

一种优质清洁能源，在其主要优点为能源储量大、在全球范围内的分布面积较大，在能源持续利用的稳定性方面较好、并且能够循环利用，与太阳能和风能等可持续能源相比较，外界因素（如季节、气候、昼夜变化等）对其干扰很小，因此，考

虑到现实及竞争力方面的原因，在我国地热能被列为新型基础能源之一被重点开发。

1 雄县地热资源条件

雄县地热分布区属于牛驼镇地热田，雄县地热田的覆盖面积约320km²，占县域面积的60%。雄县地热分布区地质结构为第三系热储和蓟县系雾迷山组热储直接接触，是地热资源条件最好的地区。按储量级别，牛驼镇凸起

2000m 以浅的地热资源的储量评价为 B+C 级，其中储存热量为 $46.19 \times 10^{18} \text{J}$ ，储存热水量为 $273.06 \times 10^8 \text{m}^3$ ；牛驼镇凸起2000~3000m 深度和其它计算范围的地热资源的储量评价为 D 级，其中储存热量为 $148.04 \times 10^{18} \text{J}$ ，储存热水量为 $548.72 \times 10^8 \text{m}^3$ 。全县范围内地热水储量为 $821.78 \times 10^8 \text{m}^3$ 。地热供应潜力大，地热水可开采量为 $816.48 \times 10^4 \text{m}^3 / \text{a}$ ，完全可以满足将来社会经济发展对地热资源的需求。

2 雄县地热能供暖系统设计

目前在雄县采取“取热不取水”的方式开发利用地热资源，真正做到取热之后100% 回灌地下水。通过先进技术，可以实现地热能开发利用的取热不取水，地热开采过程也不存在二次污染的问题。地热资源勘探、钻井成井、梯级利用、尾水回灌，雄县在地热供暖上已经形成了一套完善的技术体系。在这一技术体系中，地热供暖的全过程都达到了绿色环保的要求。

3 雄县地热供暖项目施工的重点

3.1 工程进度计划与工期保证措施

由于必须要保证11月15日正常供暖，地热供暖项目施工必须在工期内完成。进度控制在整个施工过程中，对保证工期具有关键作用。因此应规范地对项目施工进度进行控制，确保合理配置项目施工资源，达到施工过程各阶段性目标，并在达到高标准的前提下按计划工期完成施工的目的。在项目施工过程中，进度动态以实际进度统计为依据，从确定进度偏差开始，到制定纠正偏差措施，进行纠正偏差活动，到下一次进度检测为结束，形成一个固定的周期性的循环过程。要保证施工按照计划在工期内完成，需要采取以下措施来保证施工进度：（1）施工组织上做好土建基础和设备的交接验收；组织各个项目之间的

交叉施工与同步施工。制订周密合理的作业进度计划，并严格按照计划要求安排施工人员和机具进场，以满足施工进度的需要。（2）明确施工控制节点，施工计划根据施工条件随时调整纠偏，确保主线按计划实施。按主要控制点组织施工，合理安排劳动力，保证计划完成。（3）将采用“卧浆放置垫铁法”进行设备安装，以提高安装速度，做到到场一台设备安装一台设备，以减少设备占用场地，提高综合施工的效果。

3.2 保证民生工程质量

项目建设在施工过程中需使用大量的车辆及施工机械，产生噪声、扬尘等污染，对周围环境造成破坏，影响居民生活。因此在施工期间采取一定的措施来保证居民生活质量是非常必要的。

（1）噪声的防治措施

施工期间产生的噪音污染主要是施工机械设备和运输车辆等，受到影响最大是周边的居住区。需要尽可能的去降低施工噪音污染，就需要合理的安排施工的场地以及施工时间等措施。高噪声设备施工时间安排在昼间，并需要对施工场地的一些动力设备进行定期保养。

（2）扬尘的防治措施

运输车的运行中产生的扬尘是项目施工中对大气影响最大的因素之一。需要尽量减少扬尘污染，施工场地需要每天定时对施工场地进行清理、洒水等措施；多尘物料采用帆布覆盖，避免露天堆放。

4 地热能供暖建设待解决的问题

（1）国家扶持政策

地热能供暖的推行需要国家在四个方面的政策支持：由政府制定地热勘探、运行维护、开发、暖费收取等方面的优惠措施；建设地热管理部门，统一管理地热能的综合利用；对地热的开发进行策划，并把规划纳入经济发展以及城市建设的

建言献策 POLICY ADVICES

总体规划中；需要政府主导，成立专门的管理部门，实现资源科学高效开发。

（2）行业法律规范

随着地热能利用规模的扩大，也发生了比如浪费资源、利用的效率低下、不科学的管理模式等问题。地热的开发的管理要有法可依，并需要有相关的激励政策，需要有一个完善的法律法规。

5 结论

地热技术的利用能在满足供暖需求的基础上极大地提升能源利用效率，并具有清洁、环保、运行成本低等优点，加之雄县在深层地热方面的资源优势，地热在雄县的建筑节能领域有着广阔的发展前景。雄县的地热能供暖系统也秉承绿色环保的原则来设计。

参考文献

[1] 从中石化“雄县模式”看中国“地热”[N]. 中国企业报，2016，11.

选自《建筑知识》



北京市地热能资源 开发利用前景广阔

BROAD PROSPECT OF DEVELOPMENT AND UTILIZATION OF GEOTHERMAL ENERGY RESOURCES OF BEIJING

作者：黄学勤（北京市地热研究院）

摘要：为了积极应对全球气候变化与资源环境约束的新挑战，建设低碳城市成为首都未来发展的战略方向。北京市地热能资源开发利用潜力十分巨大，开发利用技术成熟，推进地热两能资源的高效、规模化应用，对于构建绿色低碳、安全高效的能源体系将起到重要的促进作用。

关键词：深层地热能；浅层地温能；地源热泵；开发利用

1 北京市地热能资源特点

根据《地热资源地质勘查规范》定义,地热能资源是能够经济地被人类所利用的地球内部的地热能、地热流体及其有用组分。广义上可分为深层地热能 and 浅层地温能。深层地热能通常是指埋藏于地表以下、含有一定温度的自然资源(温度大于 25°C),其包含蒸汽型、干热岩型、热水型等多种形态。浅层地温能是指蕴藏在地表以下一定深度(一般小于200米)范围内岩土体、地下水和地表水中具有开发利用价值的一般低于 25°C 的热能。

北京地区蕴藏有丰富的深层地热能资源,在北京市平原区地热普查工作中圈定了8个地热田。21世纪初期,《北京市地热资源可持续利用规划(2006-2020年)》中在原有8个地热田基础上,又新增了2个地热田,使北京市地热田的数量达到了10个。规划中将深度3500米内、热储温度大于 50°C 的区域,划分为相对独立又有一定联系的10个地热田及外围潜力区,它们多是以区域性构造断裂为边界,包括延庆、小汤山、后沙峪、京西北、天竺、李遂、东南城区、双桥、良乡、凤河营热田。目前深层地热能资源被广泛地应用于洗浴、娱乐、采暖、种植、养殖及医疗保健等,在发展国民经济中已显示出越来越重要的作用^[1]。

与深层地热能相比,浅层地温能分布广泛、储量巨大、再生迅速、采集方便,开发利用价值更大。地下浅部地层是一个庞大的恒温系统,冬、夏两季地下地层与外界空气存在反差,是一种取之不尽,用之不竭的自然资源,可供人类长期使用^[2]。

2 资源开发利用现状

2.1 浅层地温能资源开发利用现状

浅层地温能资源开发利用的主要形式是地源热泵系统,北京市浅层地温能开发利用具备了以下三个特点:一是开发利用方式以地下水地源热泵以及地埋管地源热泵系统为主,在浅层地温能开发利用初期,地下水地源热泵项目较多,近年来,地埋管地源热泵系统以其对浅层地温能资源更强的适宜性而迅速发展,应用规模、应用领域均不断扩大。二是开发利用项目以公共建筑为主,建筑类型包括办公楼、商业建筑、工业厂房、教学楼、居民建筑、旅馆酒店、卫生建筑以及文化与体育建筑等。三是地源热泵项目分布不均,规模大小不一,其中地下水地源热泵项目主要分布在海淀、朝阳、丰台、顺义四区,地埋管地源热泵项目主要分布在顺义、海淀、昌平、大兴四区。据统计,截至2015年底,北京市应用浅层地温能供暖制冷的建筑面积已经超过4000万平方米,其节能减排效果显著。

2.2 深层地热能开发利用现状

北京市深层地热资源属于热水型中低温地热资源,主要分布于平原地区,自20世纪90年代末,深层地热能利用发展迅速,地热井数量以20-30眼/年的速度增长。近年来,为了减少空气污染,政府大力推广清洁能源应用,进一步推进了深层地热开发利用。从已有开发利用情况来看,北京市已有地热井开采主要集中在小汤山,京西北,天竺,东南城区,良乡这几个地热田,地热资源开发程度相对较高。截至2013年底,北京市已实施地热钻井496眼,最大单井深度已超过4000米,最高出水温度 117°C 。深层地热资源开发主要用于地热采暖、洗浴、医疗保健、农业温室种植养殖等方面。据统计,到2015年北京市地热供暖面积达到了500万平方米。

3 资源潜力分析

3.1 浅层地温能资源潜力

北京市目前已开展了两轮浅层地温能资源勘查评价工作，北京市平原区地下水地源热泵系统适宜区和较适宜区主要位于永定河冲洪积扇、潮白河冲洪积扇和拒马河冲洪积扇的中上部，地埋管地源热泵系统地质条件适宜区和较适宜区位于各冲洪积扇中下部^[3]。结合北京市建筑负荷需求情况和浅层地温能资源赋存条件，北京市平原区（含延庆县平原区）浅层地温能热容量为 1.95×10^{15} 千焦，折合标准煤 6670 万吨，可利用量能满足 7.21 亿平方米的建筑供暖^[4]。考虑到北京市土地资源的有限性以及水资源的稀缺，在既适宜地下水地源热泵系统又适宜地埋管地源热泵系统的区域，宜优先采用地埋管地源热泵系统。

3.2 深层地热能资源潜力

北京市地热资源主要分布于北京市平原地区，属盆地传导型中低温地热田，主要热储层为蓟县系雾迷山组硅质白云岩，全区均有分布；其次为寒武—奥陶系灰岩，见于立水桥、小汤山东南及凤河营等局部地区。地热资源属热水型，温度范围为 25–117℃，地热水多为矿化度在 500–700mg/L 之间的重碳酸—硫酸钠型水，氟、偏硅酸含量较高，多数为氟、偏硅酸医疗热矿水，另外，还含有一定量的其他微量元素，因此北京市地热水开发除作为能源利用热能外，还有一定的医疗、保健、养生作用，但不宜直接饮用。已有研究成果采用对井功率法对北京市十个地热田的可再生资源量重新进行了估算，在 2759.87 平方公里范围内，采用对井抽灌方式且地热水 100% 回灌条件下，地热能可提供的供暖面积为 3.01 亿平方米^[5]。

4 北京市地热能开发利用前景

随着北京市社会和经济的发展，能源和环境安全的形势十分严峻，开发利用新型的可再生清洁能源，实现优质环保能源的本地化已经成为北京市经济发展和节能减排的重要途径之一。北京市地热能资源潜力巨大，开发利用地热能对我市建立市场化的优质能源体系，完成节能减排指标，实现社会经济可持续发展，建设节能型城市，具有重要意义。2017 年 2 月，国家发改委、国家能源局和国土资源部联合下发《地热能开发利用“十三五”规划》，规划中提出“十三五”期间北京市浅层地温能新增供暖制冷面积 4000 万平方米，深层地热能资源新增供暖面积 2500 万平方米的目标，即到 2020 年，实现浅层地温能供暖制冷面积 8000 万平方米，深层地热能供暖面积 3000 万平方米。从节能减排情况来看，到 2020 年，浅层地温能每年可替代标准煤 101.08 万吨，减少向大气中排放二氧化碳、碳粉尘、二氧化硫、氮氧化物等污染物 328.76 万吨；深层地热能每年可替代标煤 53.07 万吨，减少污染物排放 172.60 万吨。同时，北京市地热能资源的开发利用，逐步形成地热产业将会带动首都地勘业、旅游业、服务业和房地产业的发展。

5 结语

北京市地热能资源丰富，开发利用技术相对成熟，已成功实施了北苑家园地热供暖项目、用友软件园地源热泵项目等多个工程项目，经济环境效益显著，开发利用前景广阔。大力推动北京市地热能资源的开发利用，对于北京市构建绿色低碳、安全高效的能源体系，实现节能减排目标，将起到重要的促进作用。

浅层地能热泵采集系统 关键科技问题与对策

CRITICAL SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF HEAT PUMP COLLECTION SYSTEM OF SHALLOW GEOTHERMAL ENERGY AND COUNTER MEASURES

作者：徐生恒（恒有源科技发展集团有限公司）

周涛 孙海洲（河北省保定维民建筑设计院有限责任公司）

曾一凡 刘守强 王小龙 武强（中国矿业大学（北京）国家煤矿水害防治工程技术研究中心）

摘要：本文阐述了浅层地能的概念、利用原理及其研究目的和意义，重点分析了地能热泵采集系统现存的关键科技问题，包括地能热泵采集系统回灌问题、埋地管与机组耦合作用机制、主要参数对热泵换热效果的影响等。针对地能热泵采集系统的特点和关键问题提出了一些有价值的解决对策与合理建议，对提高浅层地能热泵行业的科技水平、促进浅层地能热泵行业健康发展具有一定意义。

关键词：浅层地能热泵采集系统；科技问题；解决对策

能源、信息与材料是现代人类文明的三大基石^[1]。随着煤炭等化石能源的减少及其使用过程中带来的环境污染、温室效应等一系列问题，使得进一步开发无污染可再生新能源已作为国家战略提上日程。随着能源需求量增加和煤炭、油气传统化石能源储量减少，以及全球变暖和环境问题的凸显使得开发新能源尤其是可再生能源势在必行。由于燃气污染比煤炭较小，其利用量在

北京等大城市中占比超过煤炭。随着温室气体减排行动力度的加大，地能、风能、太阳能为代表的新能源发展方兴未艾。浅层地能的来源比风能、太阳能稳定，比空气源热泵的成本低 1/3 以上，这些优势使得浅层地能热泵采集系统成为很有前途的一种新能源利用装置。

我国在地源热泵技术基础研究方面起步较早，目前总的规模已位居世界前列。但目前，由

于各种原因开采区水位下降、回灌困难、地面开裂甚至下沉和水质污染等问题在实际中不同程度地存在。这些问题极大制约了地源热泵在我国的发展势头，许多学者从不同角度、不同专业背景、不同工况、不同形式进行了一系列卓有成效的研究和开发工作，但仍有许多困扰实际的问题亟待解决^[2-5]。本文以地源热泵系统为核心对浅层地能的概念、原理、研发目的及意义、存在问题及解决对策进行探讨，为浅层地能事业更快更好发展献计献策。

浅层地能(热)是赋存于地表数百米内恒温带的岩土和地下水中的低温地热能。由于浅层地表岩土及地下水的温度受地表及空气的影响很小，因而处于稳定状态。我国浅层岩土温度在10℃~20℃之间，温度随着深度增加而上升。浅层地能通常被看作可再生资源，故也可将它看

作储能设施。浅层地能作为一种绿色可再生能源具有良好的应用和发展前景，其利用方式主要是地源热泵系统。地源热泵通过使用少量高品位能源驱动含水层或埋地管中的水循环流动，使含水层的中低焓热能转化为可资利用能源，具有能源利用效率高、对环境负面影响小的优势。正是由于其自身优势，使得地源热泵成为可再生能源及节能行业发展最快的产业之一。地源热泵系统的组成如图1所示。图1中地下换热是以单井换热系统为例绘制的。

1 浅层地能的概念、原理、目的和意义

1.1 浅层地能及地源热泵系统的概念

根据采集系统中地热能交换形式的不同，浅层地能热泵可分为埋地管热泵系统、水源热泵系统、单井换热系统三种类型。地

能热泵系统涉及水文地质、工程热力学、物理、计算机、计算数学等众多学科，属于跨学科综合性的工程技术科学。从系统工程角度看，整个地能热泵采集系统可分为地下能源采集子系统(水地源井)、地面换能子系统(空调机组)、建筑物室内末端子系统(散能装置)，每个子系统都存在不同性质的多个问题需要解决。土壤含水层中的水通过地面机房的热交换器释放或吸收热量后回灌地下，吸收或释放的热量在通过空调系统的循环制冷或制热后送至另一个换热器，最后经过管道送至建筑物内末端装置供用户使用。其中，制冷剂在空调系统的循环过程包括蒸发、压

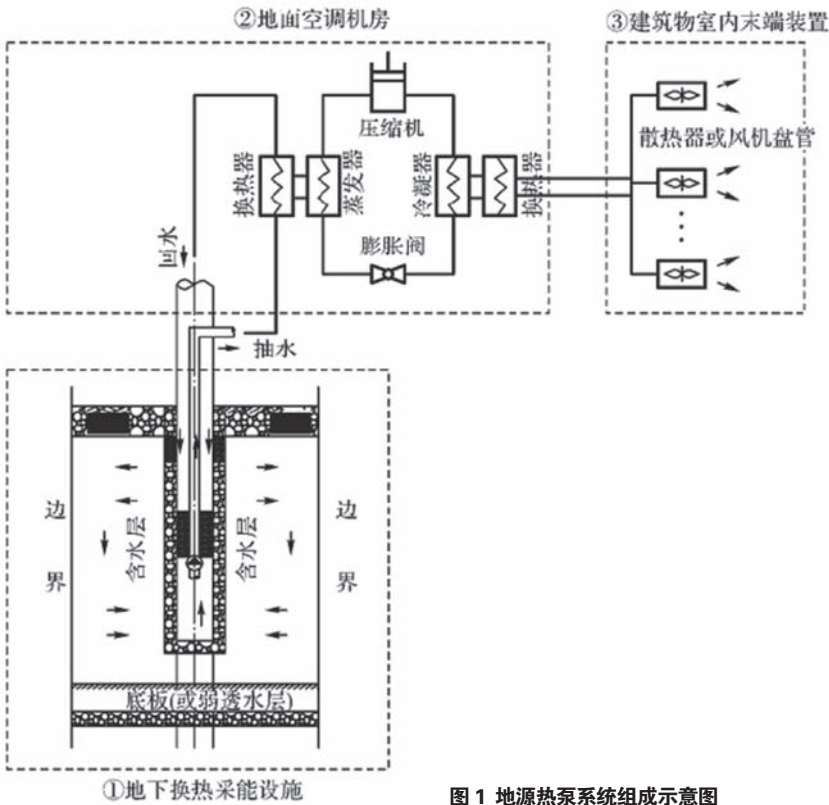


图1 地源热泵系统组成示意图

缩、冷凝等步骤。

地能热泵的地下能源采集系统是整个热泵系统的能量储存及交换设施。地面换热机房主要是热泵机组通过制冷剂在闭合回路中的循环把热量从温度较低处转移到温度较高处。具体方法是夏季把用于制冷剂吸热的蒸发器与通向室内的换热器接驳,把用于制冷剂放热的冷凝器与地下换热器接驳;冬季则方向相反。地下采能设施在地源热泵系统中处于中心地位,设置合理与否决定了整个系统采暖制冷的效果,对地下土壤及含水层的研究成为地源热泵的研究重点。

通过换热机组把建筑物室内热量转移到地下换热井,冬季热量流动方向则相反。建筑物内用户末端装置则是把室内所需要的热量或冷量传到室内。

埋地管热泵系统换热井在换热过程中,管内水流与管外土壤间通过管壁与土壤进行热量交换,水流仅在埋地管内部流动而没有水流传质交换。水源热泵系统换热井在换热过程中,通过含水层不同位置的抽水井和回灌井交换热量,水流质交换和热交换同时存在。单井换热系统地下抽灌水处理过程在地下同一口井中进行,占用场地很小。

1.2 浅层地能利用原理

浅层地能利用的主要方式是地能热泵采集系统。该系统主要利用热力学中的逆卡诺循环原理将地下含水层和建筑物室内两者间的热量进行交换,热量流动的方向是从温度低处流向温度高处。以下分三个子系统说明浅层地能利用的原理。

(1) 地下能源采集系统,能量利用原理是通过抽取水和回灌水间的温度差值采集地下的热量或冷量。

对于水源热泵和单井抽灌热泵而言,回灌水在地下多孔介质含水层中通过渗流和传热耦合作

用使得含水层水温发生变化,进而抽水温度亦不断变化。地下水渗流过程遵循达西定律,传热过程包括热传导、对流和热弥散过程。渗流和传热通过水的流动速度参数耦合起来。对于埋地管热泵而言,埋地管道和管外土壤介质间只有传热过程而没有水流进出管壁,即无传质现象。

(2) 地面机房中的换热机组遵循的是逆卡诺循环原理,可用两个等熵过程和两个等温过程表示。

(3) 建筑物内末端装置,主要是通过热传导和热对流方式把热泵机组提取的能量传递给室内,末端循环水系统与室内空气之间只有传热过程无传质过程。

1.3 研究开发浅层地能的目的与意义

为了促进浅层地能更加科学有效地利用以造福人类,必须大力研究并开发浅层地能资源。这对促进绿色能源有效利用,改善环境质量,节能减排和加强生态文明建设,实现可持续发展战略,都具有十分重要的意义。在科研和生产实际中还存在许多问题亟待解决,在浅层地能方面进行深入研究显得尤为必要。我国在“十三五”规划中制定了一系列浅层地能开发及“去煤化”目标,目前我国的浅层地能科研和生产能力距顺利实现该目标还有较大差距。本研究旨在通过研究地能热泵系统中现存的一些关键技术问题,提供有价值提高运行效率、降低生产成本的理论成果,以利于地源热泵的良性发展。

2 国内外浅层地能热泵研究进展和应用现状

2.1 浅层地能热泵研究进展

埋地管热泵的研究可以追溯到1912年瑞士的一项专利技术,到20世纪40年代开始了理论及数值模拟研究。目前,埋地管热泵在北美、西欧、北欧等发达地区已经成为一项很成熟的技术并得到广泛应用。地下含水层储能应用最早可

追溯到 20 世纪 60 年代,上海市当时为解决地面沉降进行了回灌实验,开创了地下含水层储能应用的先河。随后,国外开始进行地下水运动及热量运移的研究。水源热泵机组最早在美国加州得到应用。当前,水源热泵及相关成套机组设备已在美国为主的发达国家得到大规模应用。Bose、Braud、Orio 等人对单井循环热泵进行了研究。国内恒有源科技集团最早将单井抽灌热泵用于实际工程。

李铎、武强采用有限差分法模拟分析了南定地热田的形成原因及地热主要传导方式,对于分析中浅层地热资源具有一定参考价值^[4]。武强、孙海洲等采用有限体积法对单井循环热泵的不同流态进行了模拟计算,对浅层地热能尤其是井筒及其附近的水动力场及传热进行精细分析,提供了一种新思路^[5-6]。Li Min 等学者对单井回灌承压含水层的渗流进行了研究,其研究成果对于深入研究单井回灌热泵具有一定参考价值^[7]。Orio C D 等对同井抽灌热泵数值模拟及商业用途进行了一定研究^[8]。Minea V 对单井抽灌热泵工程井壁无渗流状况的换热做了研究^[9]。Park B H 等研究了水源热泵热扩散参数的重要性,对同类工程具有一定参考价值,但仍有待深化^[10]。张远东研究了单井和多井的抽灌对地层浅部温度场的影响^[11]。骆祖江等建立了浅层地热交换系统数值模拟模型,计算并预测了地下渗流场与温度场的运移趋势,据此选择了避免热贯通与合理控制抽灌导致的地层变形量的长期高效运行方案^[12]。

埋地管热泵方面国内外做了大量研究工作,在国内外的应用较广泛。由于其所占场地面积较大,初期投资远高于水源热泵,换热效果也要比水源热泵低一些,因此使其发展受到一定限制。刁乃仁、曾昭田等分别用解析方法和数值模拟方法研究了地下水渗流对埋地管换热器传热的影响

作用^[13-14]。方亮、王帅、于明志等对埋地管热响应进行了研究,其结果对类似研究有一定参考价值,但未对埋地管周围岩土分层,故其研究可看成是岩土热响应的集总模型^[15-17]。邓军涛等对不同形式和管径的埋地管换热器换热性能分析,对于实际工程中埋管形式及管径的优化选择提供了一定借鉴^[18]。张智铭等研究了土壤源热泵的运行效果,为同类工程的高效运行提供了参考^[19]。崔萍、曾和义等采用理论推导了 U 形埋地管的换热模型^[20-21]。

2.2 国内外浅层地能热泵的应用现状

20 世纪 70 年代末至 80 年代初的能源危机,促使水源热泵和埋地管热泵在北美、西欧、北欧等发达国家和地区得到了快速发展。美国装机容量居于全世界首位。美国不仅地热资源多,而且利用充分,是世界上开发利用地热能最多的国家。在美国,水源热泵和埋地管热泵用量都较大;在北欧国家,埋地管热泵的用量更多些。单井循环热泵主要以北美地区应用较多。

我国浅层地热能应用潜力巨大,扣除开发消耗的电能,每年浅层地热能可利用资源量相当于 $2.5 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤,减少二氧化碳排放 $6.1 \times 10^8 \text{ t}$ 。我国地源热泵系统的应用开始于 20 世纪 80 年代。随着建筑用能的扩大,从 20 世纪 90 年代我国各种地源热泵应用开始进入高速增长阶段。至 2015 年,我国地热供暖面积已经达到 $5 \times 10^8 \text{ m}^2$,地热能年利用量达到 20 Mt 标准煤,每年供能规模已居于世界首位,形成了地热资源评价、关键技术设备制造及服务在内较完整的地热能产业体系。按照“十三五”规划,到 2021 年我国地源热泵累计供热面积要达 $16 \times 10^8 \text{ m}^2$,加上地热发电项目,整个地热行业实现节约标煤 70 Mt,迎来了地热开发的春天。但地热项目前期投资规模较大,需要政府财政补贴扶持等政策出台。由于我国幅员辽阔,各

地水文地质条件、能源特点和气候特点不同,推广应用地源热泵需要因地制宜。另外,地源热泵机组的制造水平尚需提高,研制适合不同地域特点、不同运用状况、不同类型地源热泵的地面机组^[22]。同时也亟待改变我国地热行业重应用轻研究的倾向,尽早实现我国由地热利用大国到地热研究利用强国的重大转变。

3 现存的主要科技问题

国内外学者及生产部门对地源热泵在理论和生产实践问题进行了大量研究与试验,取得了大量卓有成效的结果,但仍存在很多问题需要解决。这些问题包括:水源地热泵的基础理论,水文地质结构及热物性参数对地源热泵系统运行效果的影响,含水层热物性参数测试方法,地源热泵高效回灌及其环境影响,热泵系统监测与自动控制,热贯通,等等。本文选择其中几个主要问题从理论角度阐述并寻找现存问题的影响因素。

3.1 地源热泵回灌困难问题

水源热泵抽灌时回灌流量较大或含水层渗透系数较小时,回灌压力较高及不能完全回灌造成地下水水位降低,产生水资源浪费及一系列环境问题。本文以均匀、各项同性介质中承压水为例,研究抽灌水压的影响因素,把承压水完整井公式按幂级数展开法且只保留一项,这样做既简化计算又使得所得结果清晰明了,便于运用到实际中去。

3.2 埋地管热泵系统温度场研究力度不够大

对于埋地管地源热泵系统,国内外大量的研究集中在埋地管热流量为常量时土壤温度场的变化情况,主要是以线源模型和无限长圆柱模型为基础进行的研究。对埋地塑料管中水的流动、传热与土壤介质的相互作用研究尚不够深入。由于埋地管内的水流和地下水之间没有水的对流作

用,使得土壤温度变化对机组换热响应时间滞后,这些是埋地管地源热泵系统换热效率较低的原因。目前的研究大多集中在埋管换热量是定值的简单情况,实际情况要复杂得多,包括变流量、变温度、换热功率时变状况。

3.3 系统主要参数对地能热泵换热效果的影响研究有待深入

研究只有对地能采集热泵系统换热效果的主要影响参数进行深入研究能提高换热效果,降低生产成本,提高供热制冷的经济效益。地能采集热泵系统的主要参数包括:地下含水层参数和换热井参数,地面机房中蒸发器、冷凝器、压缩机、膨胀阀、管路等参数,建筑物末端散热器、风机盘管、空气处理器等参数。这些参数包括水和空气流量,含水层的渗透系数、比热容,换热井的几何结构,蒸发器、冷凝器的制冷剂种类、阻力系数、导热系数、比热容,等等。系统的各组成部件之间是相互作用的。弄清主要参数对地源热泵各组件及整个系统性能的影响,进而为优化体系结构、节能降耗提供科学依据,对于提高地源热泵运行效率具有重要意义。

3.4 对地能热泵在设计使用年限内换热井热量积累问题需深入研究

地能热泵采集系统在使用时地热采集井周围热(冷)量积累,使得热泵输出功率降低,严重时达不到设计供热(冷)负荷。对此问题已有不少学者做了许多研究,仍需对不同情况、不同类型的地能热泵采集系统进一步深入研究,为科研和生产提供决策依据。

4 现存问题的解决对策与思路

水的流动过程中携带热量产生的对流作用是影响水源热泵和单井热泵流场和温度场分布的主要因素,因此热泵场地的水文地质和热物性参数

是热泵运行效率高及成败的关键因素,其中含水层渗透系数、土壤骨架导热系数和比热容起决定性作用。为此,进行岩土热物性参数分层测试并结合计算机数值模拟技术,是未来工作重点之一。换热井场地水流、温度、回灌弃水对土壤骨架产生作用,致使地面产生变形沉降,这逐渐引起有关部门及学者关注,对此采用渗流-温度-应力多场耦合方法才能进行较准确研究。其方法是在水热耦合控制方程基础上增加应力方程、几何方程、本构方程,并考虑水流、温度、应力之间的相互作用,采用数值方法反复迭代求得数值解。由于理论及计算的复杂性,该方法目前应用不多,仍需进一步地研究。水地源热泵系统多数情况下属于大滞后系统,实现准确预测与补偿存在诸多困难。大滞后问题也是工业控制工程中公认的难题,寻求最优可行的调节参数和控制方法仍是热泵自动控制系统中需要进一步解决的问题。国内外在系统集成优化方面做了很多工作并取得了一定成效。如美国麦迪逊大学成功研制了采暖空调系统 TNSYS 软件,能够集成采能部分、换热部分、气象条件、自动控制等为一体并产生用户所需方案。该软件在我国浅层地能研究与应用方面有不少成功案例^[24]。当前,我国在地能行业需要大力推广使用先进计算机技术,研究开发相应的软件,进一步深化现代控制理论与技术在地源热泵系统中的应用,促进浅层地能产业又好又快地健康发展。

5 结论与建议

我国浅层地热能正处在快速发展时期。解决好关键科技问题对改变地热行业面貌、提高技术水平、促进健康发展具有举足轻重的意义。根据以上论述提出以下结论与建议。

(1) 加强浅层地能基础理论研究。浅层地能

是一种很有前途的绿色无污染能源,未来仍需加强基础理论研究工作。如地下含水层的富水性,地源热泵场地上游来水的丰、平、枯状况,钻孔数量等对换热效果的影响;回灌量变化时优化利用问题;探索地下含水层的渗流-温度-应力耦合模拟分析,以期给出渗流场、温度场、地层沉降变化的定量值;进一步研究地热能、太阳能、化石能源等多种能源联合互补供给模式;进一步研究埋地管岩土热物性响应分层测试方法;地源热泵的自动控制及远程监测等。

(2) 当前主要问题的解决建议:对于地源热泵回灌困难的问题,可采取多井回灌,增加供水和回水的温度差以减小循环水量,采用单井循环热泵等;对于埋地管热泵温度场,可采取分层测试岩土热物性参数、室内试验台模拟,对于不同水文地质条件、使用状况、设备型号等分类研究等;对于系统的水文地质及热物性参数、设备参数等对换热效果的影响,应召集不同专业背景人员进行具体研究与集成系统化研究相结合的策略;对于热积累问题,可采用数值模拟与场地实测结合方法深入研究。

(3) 在实际生产中大力推广水地源热泵系统。积极采用水地源热泵、热电联产集中供热等形式取代大量遍布城乡的供热燃煤锅炉,提高能源利用效率。

(4) 加强浅层地能监督管理。加强、规范浅层地能领域的行政管理及监督,提高用户和企业浅层地热能利用的科技水准,制定并及时更新相关的行业标准、规范、条例等,从而实现少回灌或不回灌地下水,避免造成相关地质环境问题。

(5) 提高从业人员技术水平。提高地能行业从业人员技术水平,通过成立行业协会组织业内人员增进交流,通过定期或不定期培训等手段提高技术及管理人员素质、及时更新专业知识。

(参考文献略)

京津冀浅层地热能等地热资源开发利用位居全国前列

DEVELOPMENT AND UTILIZATION OF SHALLOW GEOTHERMAL ENERGY AND OTHER GEOTHERMAL RESOURCES IN BEIJING, TIANJIN AND HEBEI ARE IN THE FRONT RANK NATIONWIDE

日前，从全国地热资源调查评价研讨会上传来消息，京津冀浅层地热能等地热资源开发利用情况位居全国前列，未来将大有可为。

根据国土资源部中国地质调查局地热资源调查评价成果，截至 2015 年底，我国年利用浅层地热能对建筑物供暖制冷面积为 3.92 亿平方米，其中京津冀 8500 万平方米，约占全国的 20%，是我国浅层地热能开发程度最高、用

于建筑物供暖制冷规模最大的地区。

据了解，我国目前的地热资源开发利用还只是开始。据中国地质调查局 2015 年调查评价结果，全国 336 个地级以上城市仅浅层地热能年可开采资源量就折合 7 亿吨标准煤。而 2015 年，我国地热能年利用总量仅为约 2000 万吨标准煤。

选自《中国化工报》

十部委：“2+26”城区 五年内全部实现清洁取暖

TEN MINISTRIES AND COMMISSIONS: “2+26” URBAN AREAS ALL REALIZE CLEAN HEATING WITHIN FIVE YEARS

近日，国家发改委、国家能源局、财政部、环保部等十部委共同印发了《北方地区冬季清洁取暖规划(2017-2021)》(下称《规划》)。这份《规划》的出台意味着包括京津冀“2+26”城在内的整个北方地区实现冬季清洁取暖有了时间任务表的指导。

《规划》对北方地区清洁取暖提出了具体安排和目标要求。它分别对北方地热供暖、生物质供暖、太阳能供暖、天然气供暖、电供暖、工业余热供暖、清洁燃煤集中供暖以及北方重点地区冬季清洁供暖“煤改气”气源保障总体方案做出了安排。

它列出了两个阶段性目标：一是到2019年北方地区清洁取暖率达到50%，其中“2+26”重点城市城区清洁取暖率达到90%以上，县城和城乡结合部达到70%以上，农村地区达到40%以上；二是到2021年，北方地区清洁取暖率达到70%，替代散烧煤1.5亿吨，“2+26”城区全部实现清洁取暖，35蒸吨以下燃煤锅炉全部拆除，县城达80%以上，20蒸吨以下燃煤锅炉全部拆除，农村地区清洁取暖率达到60%以上。

十部委还在《规划》中表示，要力争用五年左右时间，基本实现雾霾严重城市化地区的散煤供暖清洁化，形成公平开放、多元经营、服务水平较高

的清洁供暖市场。

据了解，目前北方地区取暖以燃煤为主，燃煤取暖面积约为总取暖面积的83%，天然气、电、地热能、生物质能、太阳能、工业余热等合计约占17%。取暖用煤年消耗约4亿吨标煤，其中散烧煤约2亿吨标煤，主要分布在农村地区。

国家能源局相关负责人对经济观察网表示，总体来看，北方地区清洁取暖比例低且发展缓慢，存在缺少统筹规划与管理、清洁能源供应存在短板且成本普遍较高、商业模式创新不足、建筑节能水平较低等问题。为解决散烧煤取暖主要集中在农村的问题，《规划》特别对农村地区清洁取暖提出了工作要求和针对性措施。

另外，《规划》提出，2017-2021年“2+26”城累计新增天然气供暖面积18亿立方米，新增用气230亿立方米。“煤改气”壁挂炉用户增加1200万用户，新增用气90亿立方米，天然气分布式能源增加120万千瓦，新增用气9亿立方米。新增清洁取暖“煤改气”需求主要集中在城镇地区，新增146亿立方米，占比63%；农村地区新增需求85亿立方米，占比37%。

选自《经济观察报》

京津冀清洁能源 获政策推动

CLEAN ENERGY WAS DRIVEN BY POLICY IN BEIJING, TIANJIN AND HEBEI AREA

近日，京津冀三地发改委联合制定的《京津冀能源协同发展行动计划（2017—2020年）》印发实施。该计划提出，2020年京津冀煤炭消费力争控制在3亿吨左右，到2020年京津冀风电装机容量达到2260万千瓦，光伏发电装机达到1696万千瓦；另外计划还明确在雄安新区、北京城市副中心、天津滨海新区、冬奥会赛区、北

京新机场等新增用能区域，支持以地热能、风能、太阳能为主的可再生能源开发举措。

对此，分析人士表示，京津冀能源协同发展行动计划的印发，将促进大环保行业重要组成部分之一的清洁能源领域进一步受到市场关注。看好此计划重点提出的地热能、风能、太阳能等三大细分领域相关机会。

雄安新区中深层和浅层地热资源丰富 或成全球样板

XIONGAN NEW AREA HAS ABUNDANT MID-DEEP AND SHALLOW GEOTHERMAL RESOURCES OR MAY BECOME A GLOBAL MODEL

10月30日~31日，中国地质学会地热专业委员会2017年年会暨雄安新区地热勘查开发学术研讨会在雄安新区召开。会上，中国工程院院士卢耀如、曹耀峰，中国科学院院士汪集旸及众多地热领域知名专家认为，雄安新区中深层和浅层地热资源十分丰富，加强资源调查评价、理论与技术创新，有望建成地热能开发利用的全球样板。

目前，雄县城区基本实现了地热集中供热全覆盖，成为我国第一个“无烟城”，成功打造了技术可复制、经验可推广的“雄县模式”。专家认为，主城区采用供热以中深层地热为主，浅层地热、再生水余热、垃圾发电余热为辅，在中心建筑密度高的商业区域考虑燃气等清洁能源为补充的“地热+”多能互补方案，可解决雄安新区的供热制冷需求。

中国地质调查局地热资源调查研究中心副主任王贵玲介绍，雄安新区的地热资源具有埋藏浅、温度高、水质好、易回灌等特点。自南西向北东，地下水源热泵适宜性逐渐变好，雄安新区的核心区均为适宜区和较适宜区；土壤源热泵仅在北部部分区域出现较适宜区，核心区大部分为适宜区。雄安新区水热型地热资源绝大部分用于供暖。雄县为开发

利用程度最好的地区，安新和容城开发利用程度较低，均具有巨大的开采潜力。在农村地区，适合以浅层地温能利用为主，中深层水热型地热开发为辅；在中心城区，适合以规范化的水热型地热集中供暖为主，浅层地温能用于大型公共建筑的供暖和制冷；在城乡接合部，可利用浅部砂岩热储用于种植、养殖等第三产业。

下一步，雄安新区的地热勘查将以“构建绿色透明雄安，打造地热利用样板”为目标，开展雄安新区浅层地温能调查、容城地热田整装勘查、雄县地热田整装勘查、高阳地热田整装勘查、地热资源勘查开发及科学利用示范等项目，大力发展探测技术、评价技术和开发利用技术，促进浅层地温能高效利用产业、地热供暖产业和地热综合利用产业发展，并计划在雄安新区建设浅层地温能开发利用、采灌均衡下地热水资源开发利用、深部第二空间地热资源探测等示范基地。

来自国土资源部、中国地质调查局、河北省国土资源厅、河北省煤田地质局、河北省地矿局、雄安新区管委会等单位以及全国有关地勘单位、高校、科研院所、企业的300多名代表参加会议。

选自《国土资源报》

地热“十三五”： 仍以浅层地热能应用为主

THE “THIRTEENTH FIVE-YEAR PLAN” FOR GEOTHERMAL ENERGY IT IS STILL DOMINATED BY SHALLOW GEOTHERMAL ENERGY APPLICATION

地热能产业或将迎来黄金发展期

“‘十二五’国家能源局重点推动光伏产业发展，‘十三五’期间，政府部门计划重点推进地热能，因此希望地热可以拿出些高指标来。”中国能源研究会地热专业委员会主任郑克棧 9 月 8 日在第七届中国地源热泵行业高层论坛上表示，“我们初步制定的目标是，2020 年完成全国地源热泵应用总面积 7 亿平方米。地热发电略快增长，实现 15 万千瓦。”

地源热泵年利用能量世界第一

相较于发展迅猛的风电、光伏，近年来，我国地热能的发展一直处于默默无闻的状态。国土资源部此前明确的地热能概念为：按照埋藏深度，200 米以浅的称为浅层地温能，200 米至 3000 米的称为常规地热能，3000 米至 10000 米的称为干热岩。常规地热能的高温部分和干热岩资源供地热发电利用，常规地热能的低温部分和浅层地温能用作供暖和其它热利用。

“地热能是与太阳能、风电并重的可再生能源。”中国科学院院士汪集旸在会上表示，“其能源利用效率较高，地源热泵依靠 1kW 的驱动能（电力）

能带出 2.5kW 的浅层地热能。地热发电平均利用效率达 73%，为太阳光伏发电的 5.4 倍，风力发电的 3.6 倍。”

据行业人士介绍，目前以地源热泵为代表的浅层地热能开发走在了发电利用的前面。地源热泵通过输入少量的高品位能源（电能），即可实现能量从低温热源向高温热源的转移，被称为节能和减排效率最高的单项技术。

“目前，中国的地源热泵年利用能量已超过美国，居世界第一。但地源热泵的设备容量中国落在美国后面，居世界第二。”郑克棧表示。

据了解，截至 2014 年底，全国地源热泵总利用面积达 3.6 亿平方米，其利用浅层地热能的装机容量已超过 12.85GWt，年利用能量 109430TJ，2010 年以来的平均年累计增长率约 28%，仍远高于世界增长速度。

浅层地热能应用前景可期

自去年开始，我国浅层地热能应用迎来了一个发展小高潮。2014 年，华北地区首个地热供暖代替燃煤的无烟城——雄县诞生。目前，雄县完成

地热项目投资 3.3 亿元，共有地热井 66 眼，其中回灌井 22 眼，地热集中供暖面积 240 万平方米，占集中供暖面积的 90%。

“继‘雄县模式’之后，我国地热界目前正在打造‘小洋口模式’和‘广东丰顺模式’，以解决长三角和珠三角地区的冬季供暖 / 夏季空调制冷问题。”汪集旸说，在南方有条件地区，可利用浅层地热能、中低温地热资源，打造“分布式地热供暖、制冷系统”以解决南方冬季供暖、夏季制冷（空调）问题。

据汪集旸介绍，我国拥有全球最大的建筑市场（现有建筑面积 >500 亿平方米），若以现有建筑面积的 5%，新增建筑面积的 40% 采用地源热泵供热，则供热面积可达 32.5 亿平方米，潜在市场规模 1 万亿元。

更值得注意的是，我国的“一带一路”战略也为层地热能应用提供了良机。“作为‘新丝绸之路经济带’起点的西安市，目前正在着手建设西咸新区地热能资源技术与示范基地。”汪集旸说，“从‘一带一路’沿线国家来看，包括我国在内的中亚、南亚、中东地区气候干燥，应尽量减少水源热泵的应用，大力发展地源热泵。”

“十三五”目标初定

相较于方兴未艾的地源热泵，地热能发电目前仍处于起步的发展阶段。据行业专家介绍，除了西藏和云南腾冲，中国的浅层地热资源大部分属于中温（90 度至 150 摄氏度）和低温（低于 50 摄氏度）资源。目前中国“地热发电始终上不去，热泵占到了 70%”。“西藏羊八井是我国地热发电的标杆。但是标杆之后再无标杆。”

郑克桢表示，国土资源部现已开始加强高温地热资源勘探任务，积极为“十三五”和今后的地热发电做准备，但这需进行地质调查、地球化学和地球物理勘查，然后在选定的位置钻勘探孔，

钻井完钻后要做产能测试，这些实施过程需要一定时间；科技部“十二五”《中低温地热发电关键技术与示范》项目的成果可供利用，但还达不到产业规模。

汪集旸认为，地热能发电要发展，“需要摸清地下资源量、突破地上技术。尤其是除了规划还要配套相应的政策、体制，否则很多制约地热能开发的部门利益将难以厘清。”

据悉，为推动行业发展，编制“十三五”国家能源发展规划，国家能源局于 2015 年 1 月委托中国能源研究会地热专业委员会进行浅层地热能开发利用产业发展研究。“初步结论是，‘十三五’期间，新增完成地热供暖面积 9.5 亿平方米，其中地源热泵新增 7 亿平方米，常规地热供暖新增 2.5 亿平方米，至 2020 年可实现全国地热供暖面积 14.5 亿平方米。目前看来，‘十三五’规划中，新增 7 亿平方米的指标不会变，但常规地热供暖和发电指标可能提高。”郑克桢说，“如果政策落实，地热开发者能像现在的光伏开发商一样容易拿到补助，那地热发展指标就能够完成。”

选自《中国能源报》



中国碳市场的近况

THE RECENT SITUATION IN CHINA'S CARBON MARKET

第 23 届联合国气候变化会议在德国波恩举行，中国气候变化事务特别代表解振华表示，中国碳市场各项准备工作已经就绪，现已进入审批程序。业内人士预计，中国碳市场将是全球最大的碳市场，它的启动将全面提升我国应对气候变化的能力，也将为全球碳市场提供具有中国特色的样本。

为减缓全球变暖脚步，联合国政府间气候变化专门委员会通过了《京都议定书》，把市场机制作为解决二氧化碳为代表的温室气体减排问题的新路径，即把二氧化碳排放权可以作为一种商品进行交易，简称“碳交易”。碳交易基本原理是，合同的一方通过支付另一方获得温室气体减排额，买方可以将购得的减排额用于减缓温室效应从而实现其减排的目标。

到 2009 年 3 月，世界上的碳交易所共有四个，分别为欧盟的欧盟排放权交易制、英国的英国排放权交易制、美国的芝加哥气候交易所和澳大利亚的澳大利亚国家信托。

2011 年 10 月，国家发改委印发《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》，批准北京、上海、天津、重庆、湖北、广东和深圳等七省市开展碳排放权交易试点工作。2013 年 6 月 18 日，深圳市碳排放权交易鸣锣；之后，其他试点城市也纷纷启动。

2014 年底发改委出台《碳排放权交易管理暂行办法》，由国务院碳交易主管部门确定国家以及各省、自治区和直辖市的排放配额总量，并允许

重点排放单位及符合交易规则规定的机构和个人开展碳排放权交易，2015 年开始实行。

2016 年 1 月，国家发改委发布了《关于切实做好全国碳排放权交易市场启动重点工作的通知》，明确提出确保 2017 年启动全国碳排放权交易，实施碳排放权交易制度。

截至 2017 年 9 月，碳排放权交易试点省市



已有电力、钢铁等行业近 3000 家重点排放单位纳入交易，累计配额成交量达到 1.97 亿吨二氧化碳当量，成交额约 45 亿元人民币。试点范围内，碳排放总量和强度呈现双降趋势，且碳减排高于全国平均水平。

碳市场是通过市场激励机制，有效减少现有碳排放规模，同时，还能推动产业、能源结构优化，鼓励低碳技术与开发。

目前，全球最大的碳市场是欧盟碳排放交易体系，约覆盖 22 亿吨。其次就是中国的七个碳交易试点区域，共约覆盖 13 亿吨。据机构预测，全国统一的碳排放权交易市场启动后，将重点覆盖石化、化工等八大行业的 7000—8000 家企业，碳排放量占全国的 40%—50%。届时将形成一个覆盖 30—40 亿吨碳配额的市场，中国将成为全

球第一大碳市场。全国碳排放权配额交易市场市值总规模有望达到 1200 亿元人民币，如果考虑到期货等衍生品，交易额规模可达 5000 亿元人民币。

碳交易还催生出碳金融市场。7 个试点市场这些年推出了 20 余个碳金融产品。这些产品中以拓展融资渠道、碳资产管理为目的居多，还有碳债券、碳基金，碳远期、碳掉期等各种场外衍生品交易。根据欧盟碳交易体系的实践显示，碳金融交易活动，是整个碳市场交易活动的最重要组成部分，大概占市场交易规模的九成以上。

此外，碳交易本身还催生了一批新业务，包括碳咨询、培训、交易、核算与核查、资产管理、资讯服务等。

节选自《中国节能》



辽宁省高速公路沿线 全部用上地源热泵供暖

COMPLETE REALIZATION OF GROUND SOURCE HEAT PUMP HEATING ALONG EXPRESSWAYS OF LIAONING PROVINCE

12月11日,据辽宁交投集团称,辽宁省高速公路沿线356处供暖设施已全部实现清洁能源供暖。此前,根据辽宁省委、省政府实施的“蓝天工程”的总体工作部署,省交投集团进行了全面推进清洁能源供暖设施的改造工作。

据了解,截至去年底,辽宁省运营的高速公路中,尚有203处、47.92万平方米的管理用房、收费站和服务区采用燃煤锅炉供暖。辽宁省交投集团拆除了10吨以下的燃煤锅炉。

清洁能源供暖设施的改造被列为辽宁省2017年的重点工程,省交投集团投入2.33亿元专项预算,成立了以董事长为组长的供暖改造项目领导小组,与各相关子公司签订目标责任状,明确质量要求、工期节点、保障措施。改造工程应用技术相对成熟和广泛的固体储热式电锅炉和浅层地能热泵作为清洁能源供暖设备。

2017年11月,辽宁省政府发布的《辽宁省推进全省清洁取暖三年滚动计划(2018—2020年)》指出,到2020年,水源、地源、空气源等热泵供暖面积预计达到5000万平方米。清洁供暖设施的利用在未来还会更加广泛,2020年辽宁省清

洁取暖率将会达到70%以上。

据了解,沈大高速营口管理处营口工区及营口收费站、沧廊(京沪)高速公路运营管理处、京平高速公路北务服务区、首都机场南线T3航站楼服务区等也应用了地源热泵系统供暖/制冷。

未来之用

公路铁路沿线建筑具有数量众多、位置偏僻和分散的特点,通常与市政的集中供热管网无法连接,只能在沿线建设许多自用锅炉房保证冬季供暖,安装空调保证夏季制冷,运行费用高,而且对环境造成一定程度的污染。公路铁路沿线建筑布置分散,一般有足够的地方打孔埋管,非常适合应用地源热泵系统,同时地源热泵系统能效比和自动化程度高,节能、环保效益显著。

地源热泵技术是目前国内外建筑领域正在兴起的一项革命性的新技术。它利用空调机的原理,将积蓄于地下水或土壤中的可再生热量吸收出来,用于供暖和制冷。在未来,公路铁路沿线地源热泵技术的应用将会更加广泛。

选自《地源热泵网》

北方农村地区 电替煤工作概况

OVERVIEW OF WORK OF EFFICIENT REPLACEMENT OF COAL BY ELECTRICITY IN RURAL AREAS IN THE NORTH OF CHINA

作者：寇小虎（北京市广厦建筑事务所）

一、北方农村地区电替煤简介

2013年8月，北京市人民政府发布《北京市2013—2017年加快压减燃煤和清洁能源建设工作方案》。根据《2017年北京市农村地区村庄冬季清洁取暖工作方案》，2017年10月31日前，完成700个农村地区村庄内住户“煤改清洁能源”任务，同步实施1400个村委会和村民公共活动场所、79万平方米种籽农业设施的“煤改清洁能源”工作，朝阳、海淀、丰台、房山、通州、大兴6个区平原地区村庄内住户基本实现“无煤化”。

二、各种电替煤技术介绍

1、蓄热式电暖器技术

蓄热式电暖器（如图1）是利用夜间电网低谷时段的低价电能，完成电、热能量转换并贮存，在电网高峰时段，以辐射、对流的方式将贮存的热量释放出来，实现室内供暖。蓄能式电暖器由于直接利用电采暖，只利用了低谷电的电价，但电量耗用量较大，整体运行费用并未有显著降低。



图1 蓄热式电暖器外观图

2、空气源热泵技术

空气源热泵机组（如图2）是以空气为冷热源，以水为供冷热介质，作为冷热源的一体化中央空调设备。该机组可直接放置在屋顶、裙楼平台或水平地面上。空气源热泵利用低品位的空气能，冬季采暖综合能效系数在2.5左右，但是当室外温度处于极端低时，能效系数减低较多甚至有无法启动的情

况出现，可靠性不高，连续低温天气时，无法保障供暖效果。



图2 空气源热泵外观图

3、浅层地能热泵技术

传统地热能是高品位的热能，是国家矿产资源；浅层地能是可再生的低品位热能（25° C 以下）。地浅层能热泵即为浅层地能与热泵系统的结合。浅层地能可成为供暖的替代能源，实现冬季供暖、夏季制冷及常年提供生活热水。浅层地能作为热泵供暖的热源，即把地源中的热量“取”出来，提高温度后，传递给室内房间。利用 1 份最清洁的电能搬运 3 份以上可再生的浅层地能，可以得到相当于 3 份以上电能直接转化的热能，实现电高效利用。

地能热泵高效电替煤形式主要分集中式、分户式：

（1）集中式（如图 3）采用常规集中式热泵主机系统，针对村内各农舍间没有足够的空间，同时电力系统改造难度大，无法实现每家每户的电力改造的区域。采用地源采集井 + 集中热泵机房 + 暖气片系统的方式进行改造。电力改造至地源热泵机房即可，完成煤改电供暖的同时，减少了电力改造的施工难度及投资。机房采用模块式，管道敷设在地下管廊内，地上部分仅标准化模块集装箱可见。集中供暖通过智能控制，降低使用成本。



图3 集中式主机模块效果图

（2）分户式（如图 4）采用地能热宝通过电能搬运温度相对恒定的浅层地能为建筑物冬季供暖，兼有夏季制冷，可配备生活热水，是地能无燃烧为建筑物智慧供暖的高效电替煤自采暖系统。每房间都是一套独立系统，遥控器操作、系统全自动控制，不开不冻，谁省归谁；用户操作简便，有利于行为节能下的差异化使用，最大限度满足客户特别是广大农村农户的个性化需求。



图4 室内机效果图

三、对比分析与总结

从消耗主要能源、工作原理、效果等方面对上述几种电替煤方式进行分析，对比结果如表 1 所示。

2016 年北京地区煤改电经历了第一个供暖季

表 1 各类供暖方式对比分析

比较项目	地能热泵系统	蓄能式电采暖	空气能热泵	散煤燃烧
消耗的主要能源	可再生低品位浅层地源	高品位电能	低品位的空气能	一次矿物质化石能源煤炭
系统工作原理	1 份花钱的电能可以搬运 3 份以上不花钱的浅层地能，供暖兼有制冷、生活热水	电能直接转换成热能，效率最高是 100%，单供暖	1 份花钱的电能可以搬运 2-3 份的室外空气能	散煤燃烧
目前可实施情况	地能采集温度恒定，不受室外气温影响，保证供暖且效率高	只适用于电力资源丰富的个别地区	空气能采集温度即室外环境温度，同一设备在环境温度 -5℃ 以下时，效率偏低，在环境温度 -10℃ 以下时，供暖出力没有保证	逐步被替代

表 2 地能热泵用户运行数据

区域	村名	编号	房屋面积	末端形式	房间温度	总电量	峰电	谷电	运行天数
海淀区	西闸村	001	250.80	热风	≥ 18℃	9295	4673	4622	123
		002	208.84	热风	≥ 18℃	7086	4131	2955	123
		003	230.58	热风	≥ 18℃	8937	4109	4828	123
		004	222.44	热风	≥ 18℃	6762	3683	3079	123
		005	267.00	热风	≥ 18℃	6738	4340	2398	123
		006	267.00	热风	≥ 18℃	9958	5928	4030	123
		007	248.34	热风	≥ 18℃	6053	3453	2600	123
		008	195.15	热风	≥ 18℃	6659	3290	3369	123
		009	241.76	热风	≥ 18℃	7698	4672	3026	123
		010	267.00	热风	≥ 18℃	7661	3998	3663	123
	李家坟村	011	217.44	暖气片	≥ 18℃	10597	6565	4032	123
		012	239.51	地板采暖	≥ 18℃	9865	6166	3699	123
		013	185.67	热风	≥ 18℃	3600	2811	789	123
		014	267.00	热风	≥ 18℃	2095	1468	627	123
		015	267.00	热风	≥ 18℃	5447	3863	1584	123
大兴区	留民营村	016	150.00	热风	≥ 18℃	4472	2437	2035	123
		017	150.00	热风	≥ 18℃	4085	2513	1572	123
		018	150.00	热风	≥ 18℃	2777	1786	991	123
延庆区	旧县	019	109.00	热风	≥ 18℃	3220	1745	1475	123
		020	80.00	热风	≥ 18℃	4686	2406	2280	123
门头沟区	龙泉务村	021	240.00	热风	≥ 18℃	4442	2372	2070	123
		022	120.00	热风	≥ 18℃	3939	2329	1610	123
		023	90.00	热风	≥ 18℃	2730	1031	1699	123

表 3 空气能用户运行数据

区域	村名	编号	房屋面积	末端形式	房间温度	总电量	峰电	谷电	运行天数
朝阳区	吕家营村	024	99.24	散热片	≥ 18℃	5542	3416	2126	123
昌平区	西新城村	025	125.00	散热片	≥ 18℃	5196	1613	3583	123
平谷区	前台村	026	123.00	散热片	≥ 18℃	5763	3416	2347	123
通州区	大庞村	027	165.00	散热片	≥ 18℃	7928	4757	3171	123
房山区	小十三里村	028	124.00	散热片	≥ 18℃	5537	3329	2208	123
怀柔区	西台上村	029	139.00	散热片	≥ 18℃	6001	3625	2376	123

节的检验，北京市精诚兴信息有限责任公司（下面简称：精诚兴）作为第三方统计机构对部分“煤改电”暖村工程用户中的地能热泵用户（如表 2）、空气源热泵（如表 3）用户进行随机抽样和监测、统计运行数据。

从上述运行数据调查统计、分析整理得知：

（1）在 2016 年供暖季中，空气能产品和地能热泵产品都能保障房间温度达到 18℃ 以上；

（2）地能热泵产品每年采暖户均耗电量为 29.76 度 / 平方米；空气能产品每年采暖户均耗电量为 46.40 度 / 平方米。地能热泵产品在整个供暖季中每平方米电量比空气能产品平均节省 35.86%。

（3）折算标煤后，地能热泵产品每年采暖户均耗煤量为 12.02kg/ 平方米；空气能产品每年采暖户均耗煤量为 18.75kg/ 平方米（按火力发电

0.404 千克标煤 / 度）；燃煤锅炉按每千克标准煤为 29.3076 兆焦耳，建筑负荷 85W/ m² 折算原有燃煤炉耗煤量，每年采暖户均耗煤量约为 30kg/ 平方米。以 100 万平米建筑为例计算如表 4。

推进北方地区冬季清洁取暖，关系北方地区广大群众温暖过冬，关系雾霾天能不能减少，是能源生产和消费革命、农村生活方式革命的重要内容。

电蓄能采暖产品、空气能产品、地能热泵产品虽然都能保障用户的供暖需求，但和地能热泵技术相比，电蓄能技术采暖不能达到节能环保的目的，空气能热泵技术在极端气候时不能保证供暖的稳定可靠性。

以可再生的浅层地能作为北方供暖的替代能源，保证了北方建筑物供暖能源消耗的 60% 以上是可再生的稳定供给的浅层地能。地能热泵技术是效率最高、最节能和安全可靠的技术。

表 4 节能量计算表

序号	供暖方式	耗能量	折合标煤量	节能量
1	燃煤锅炉	3 万吨标煤	3.0 万吨标煤	—
2	空气能热泵	4640 万度	1.88 万吨标煤	1.12 万吨标煤
3	地能热泵	2976 万度	1.2 万吨标煤	1.8 万吨标煤

注：电锅炉耗电量过大，不再计算节能量。

Overview of Work of Efficient Replacement of Coal by Electricity in Rural Areas in the North of China

Author: Kou Xiaohu

I. Brief Introduction to Efficient Coal-to-Electricity in Rural Area of Northern China

In August 2013, the People's Government of Beijing Municipality issued 2013-2017 Working Scheme on Accelerating of Reducing Fire Coal and Clean Energy Construction of Beijing City. According to the 2017 Working Scheme on Clean Heating in Winter in Villages of Rural Area of Beijing City, it is required to complete the task of "coal to clean energy" of 700 households in villages of rural area, implement "coal to clean energy" work of 1,400 public activity sites of village committees and villagers and 790,000m² seed agriculture facilities;

and make sure that there is almost no coal in households of villages in flat areas of 6 districts, i.e. Chaoyang District, Haidian District, Fengtai District, Fangshan District, Tongzhou District and Daxing District.

II. Introduction to Various Technologies of Coal-to-Electricity

1. Heat Accumulation Electric Heater Technology

The heat accumulation electric heater (as shown in Figure 1) utilizes low-price electric energy within the low-ebb time period of power grid at night to complete conversion



Figure 1 Appearance of Heat Accumulation Electric Heater



Figure 2 Appearance of Air-source Heat Pump

and storage of electric and thermal energy, and release the stored heat via radiation and convection within the peak time period of power grid, thus realizing indoor heating. The heat accumulation electric heater directly utilizes electricity for heating at the price of low-ebb electricity. However, the power consumption is relatively high, so there is no obvious reduction in overall running cost.

2. Air-source Heat Pump Technology

The air-source heat pump unit (as shown in Figure 2) is a kind of integrated central air conditioning equipment with air as cold and heat source, with water as cooling and heating medium. The unit can be directly placed on the roof, podium building platform or horizontal ground. The air-source heat pump utilizes low-grade air energy, with comprehensive energy

efficiency coefficient of about 2.5 in case of heating in winter. However, when the outdoor temperature is extremely low, the energy efficiency coefficient will be reduced greatly and even the startup cannot be realized, with low reliability; and the heating effect cannot be guaranteed in case of low-temperature weather for continuous several days.

3. Heat Pump Technology of Shallow Geothermal Energy

Traditional geothermal energy is a kind of high-grade thermal energy, and is the national mineral resource. The shallow geothermal energy is a kind of renewable low-grade thermal energy (below 25°C). The shallow geothermal energy heat pump combines shallow geothermal energy and heat pump system. The shallow geothermal energy can be substitute energy of heating to realize heating in winter, cooling in summer and supply of domestic hot water throughout the year. As the heat source of heating of heat pump, the shallow geothermal energy refers to “taking” out the heat in the ground source, increasing the temperature and then transmitting the heat to rooms. In case of utilizing 1 share of cleanest electric energy to haul more than 3 shares of above renewable shallow geothermal energy, there will be heat energy directly transformed by more than 3 shares of electric energy, thus realizing efficient utilization of electricity.

The geothermal energy heat pump has two types of Efficient Coal-to-Electricity, i.e. centralized type and household type.

(1) The centralized type (as shown in Figure

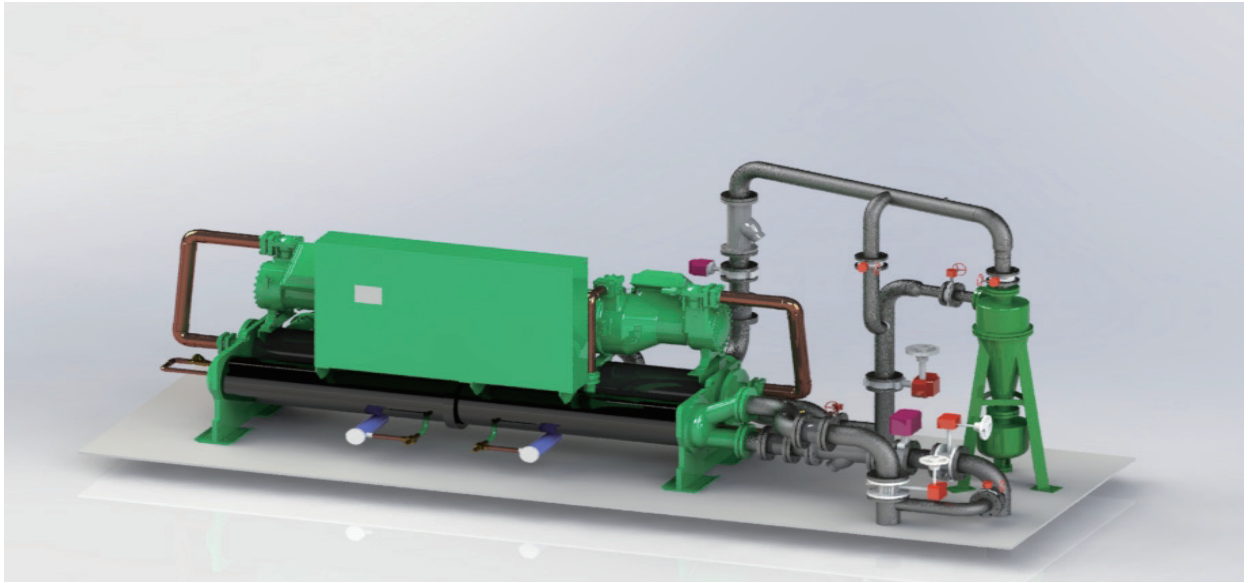


Figure 3 Effect Diagram of Centralized Engine Module

3) adopts routine centralized type heat pump engine system, and it is used in regions where farmhouses in villages have no enough space, the reconstruction of power system is high and the power reconstruction of each household cannot be realized. The reconstruction is to be conducted by adopting ground source collection well + centralized heat pump

room + heating radiator system. The power reconstruction is only required to be conducted to the ground source heat pump room; when the heating of “coal to power” is completed, the construction difficulty and investment of power reconstruction are also reduced. The machine room adopts modular type; the pipeline is paved in underground pipe corridor; on the ground, only the standard module container can be seen. The centralized heating reduces using cost via intelligent control.

(2) The household type (as shown in Figure 4) adopts geothermal energy device to supply heat to buildings in winter via shallow geothermal energy whose hauling temperature of electric energy is relatively constant. It also can conduct cooling in summer, and can provide domestic hot water. It is a kind of self-heating system of Efficient Coal-to-Electricity supplying heat to buildings intelligently via



Figure 4 Effect Diagram of Indoor Unit

Table 1 Contrastive Analysis on Various Heating Modes

Contrastive Item	Geothermal Energy Heat Pump System	Heat Accumulation Electric Heating	Air Energy Heat Pump	Bulk Coal Combustion
Main consumed energy sources	Renewable low-grade shallow ground source	High-grade electric energy	Low-grade air energy	Primary mineral substance fossil energy coal
Working principle of system	1 share of paid electric energy can haul more than 3 shares of free shallow geothermal energy, with functions of heating, cooling and supplying domestic hot water.	The electric energy is directly converted into thermal energy, with the highest efficiency of 100%, only used for heating.	1 share of paid electric energy can haul 2-3 shares of outdoor air energy.	Bulk coal combustion
Current applicable situations	The geothermal energy collection temperature is constant, not influenced by outdoor temperature. It can guarantee heating and is of high efficiency.	It is only applicable to individual regions with abundant power resources.	The air energy collection temperature refers to outdoor environmental temperature. For the same equipment, the efficiency is relatively low in case that the environmental temperature is -10℃ below, with the heating output not guaranteed.	To be substituted gradually

geothermal energy without combustion. Each room refers to a set of independent system, operated with remote control unit; and the system is of fully automatic control. The room will not be cold even if the system is not started up, thus realizing cost saving. The system is of simple operation, and is in favor of differential using in case of behavioral energy saving, thus meeting the demand of customers to the greatest extent, especially individual demand of all households in the vast rural areas.

III. Contrastive Analysis and Summary

The analysis on above several types of Coal-to-Electricity is conducted from main consumed energy sources, working principle

and effect, and the contrastive result is as shown in Table 1.

In 2016, the “coal to power” in Beijing experienced inspection of the first heating season. As the third statistical institution, Beijing Jingchengxing Information Co., Ltd. (hereinafter referred to as “JCX”) conducted random sampling, monitoring and running data statistic targeting a part of users of geothermal energy heat pump (as shown in Table 2) and air-source heat pump (as shown in Figure 3) among users of “coal to power” village heating engineering.

From investigation, statistic, analysis and sorting of above running data, it can be known that:

Table 2 Running Data of Geothermal Energy Heat Pump Users

Region	Name of Village	No.	Room Area	Tail Pattern	Room Temperature	Total Electricity	Peak Electricity	Low-ebb Electricity	Number of Running Days
Haidian District	Xizha Village	001	250.80	Hot air	≥ 18℃	9295	4673	4622	123
		002	208.84	Hot air	≥ 18℃	7086	4131	2955	123
		003	230.58	Hot air	≥ 18℃	8937	4109	4828	123
		004	222.44	Hot air	≥ 18℃	6762	3683	3079	123
		005	267.00	Hot air	≥ 18℃	6738	4340	2398	123
		006	267.00	Hot air	≥ 18℃	9958	5928	4030	123
		007	248.34	Hot air	≥ 18℃	6053	3453	2600	123
		008	195.15	Hot air	≥ 18℃	6659	3290	3369	123
		009	241.76	Hot air	≥ 18℃	7698	4672	3026	123
		010	267.00	Hot air	≥ 18℃	7661	3998	3663	123
	Lijiafen Village	011	217.44	Heating radiator	≥ 18℃	10597	6565	4032	123
		012	239.51	Floor heating	≥ 18℃	9865	6166	3699	123
		013	185.67	Hot air	≥ 18℃	3600	2811	789	123
		014	267.00	Hot air	≥ 18℃	2095	1468	627	123
		015	267.00	Hot air	≥ 18℃	5447	3863	1584	123
Daxing District	Liuminying Village	016	150.00	Hot air	≥ 18℃	4472	2437	2035	123
		017	150.00	Hot air	≥ 18℃	4085	2513	1572	123
		018	150.00	Hot air	≥ 18℃	2777	1786	991	123
Yanqing District	Jiuxian County	019	109.00	Hot air	≥ 18℃	3220	1745	1475	123
		020	80.00	Hot air	≥ 18℃	4686	2406	2280	123
Mentougou District	Longquanwu Village	021	240.00	Hot air	≥ 18℃	4442	2372	2070	123
		022	120.00	Hot air	≥ 18℃	3939	2329	1610	123
		023	90.00	Hot air	≥ 18℃	2730	1031	1699	123

Table 3 Running Data of Air Energy Users

Region	Name of Village	No.	Room Area	Tail Pattern	Room Temperature	Total Electricity	Peak Electricity	Low-ebb Electricity	Number of Running Days
Chaoyang District	Lvjiaiyang Village	024	99.24	Cooling fin	≥ 18℃	5542	3416	2126	123
Changping District	Western Xincheng Village	025	125.00	Cooling fin	≥ 18℃	5196	1613	3583	123
Pinggu District	Qiantai Village	026	123.00	Cooling fin	≥ 18℃	5763	3416	2347	123
Tongzhou District	Dapang Village	027	165.00	Cooling fin	≥ 18℃	7928	4757	3171	123
Fangshan District	Xiaoshisanli Village	028	124.00	Cooling fin	≥ 18℃	5537	3329	2208	123
Huairou District	Xitaishang Village	029	139.00	Cooling fin	≥ 18℃	6001	3625	2376	123

实用案例
PROJECT SHOWCASE

(1) In the heating season of 2016, both air energy product and geothermal energy heat pump product can make room temperature reach above 18℃ .

(2) For geothermal energy heat pump product, the average power consumption of heating households each year is 29.76kwh/m²; for air energy product, the average power consumption of heating households each year is 46.40kwh/m². The power consumption of each square meter of geothermal energy heat pump product is averagely 35.86% less that of air energy product in the whole heating season

(3) After being converted into standard coal, the average coal consumption of heating households each year of geothermal energy heat pup product is 12.02kg/m²; and that of air energy product is 18.75kg/m² (0.404kg standard coal/kwh as per thermal power generation); the coal consumption of coal-fired boiler is 29.3076MJ as per each kilogram of standard coal; in case that the building load is 85W/m², after being converted into original coal consumption of coal-fired furnace, the average coal consumption of households each year is about 30kg/m². Take the 1,000,000m² building for example, the calculation is as shown in Table 4.

Promoting clean heating in winter of Northern China relates to warm winter of the broad masses of Northern China, and relates to whether the number of hazy days can be reduced. It is an important content of reform of energy production and consumption and life style of rural area.

Although the electric energy accumulation heating product, air energy product and geothermal energy heat pump product can guarantee heating demand of users, compared with geothermal energy heat pump technology, the heating with electric energy accumulation technology cannot achieve energy saving and environmental protection. The air energy heat pump technology cannot guarantee stability and reliability of heating in case of extreme weather.

In case of taking the renewable shallow geothermal energy as substitute energy for heating in Northern China, it can be guaranteed that more than 60% of energy consumed for heating buildings in Northern China refers to renewable shallow geothermal energy which is supplied stably. The geothermal energy heat pump technology is the most energy saving and the most reliable technology with the highest efficiency.

Table 4 Table of Energy Saving Calculation

S/N.	Heating Mode	Energy Consumption	Converted into Standard Coal	Energy Saving
1	Coal-fired boiler	30,000t standard coal	30,000t standard coal	—
2	Air energy heat pump	46.40 million kwh	18,800t standard coal	11,200t standard coal
3	Geothermal energy heat pump	29.76 million kwh	12,000t standard coal	18,000t standard coal

Note: The power consumption of electric boiler is too high, and the energy saving amount will not be calculated.

深层高温地热开发基础研究 国际合作探索与实践

INTERNATIONAL COOPERATION EXPLORATION AND PRACTICE OF FUNDAMENTAL RESEARCH ON DEEP-LAYER HIGH-TEMPERATURE GEOTHERMAL DEVELOPMENT

作者：黄中伟 李根生（油气资源与工程国家重点实验室）

0 引言

随着经济的持续快速增长，我国能源需求量日益扩大。同时，传统化石能源带来的资源枯竭和环境污染问题日益严重，开发清洁可再生资源逐渐成为共识。地热能是一种绿色低碳、可循环利用的可再生清洁能源，具有储量大、分布广、稳定可靠等特点，大力开发这一能源符合国家重大战略需求。

我国地热资源丰富，据国土资源部 2015 年数据显示，全球 5km 以内地热资源量约 4900 万亿 t 标煤，中国约占 1/6。其中，埋深 200 ~ 4000 m 的中深层地热资源储量约为 13700 亿 t 标煤，埋深 3~10km 的干热岩地热资源储量达 860 万亿 t 标煤，开发利用潜力巨大。“十三五”规划已将大力发展清洁能源作为今后节能减排的重要途径，

2017 年 2 月发布的《地热能开发利用“十三五”规划》也强调，应积极推进地热供暖和地热发电工程。因此，地热工作者应借此机遇，积极探索地热能高效低成本开发利用技术，加快推动我国地热能行业发展。

1 国内外地热开发技术发展现状

深层高温干热岩资源是地热能中潜力最大的资源，被认为是地热能未来发展的重点目标。增强型地热系统（EGS）是开发干热岩体地热资源的有效方法，其利用水力压裂方法在干热岩内造出裂缝系统，通过在注入井、人造热储和生产井之间循环工质开发地热能。目前，干热岩开发利用正处于工程建设到商业化应用过渡阶段，世界上许多国家已开始进行 EGS 工程试验。美国

能源部专门启动了地热能源前沿监测站建设工程 (FORGE), 重点研究干热岩压裂改造技术、高效低成本钻井技术、地质数据监测方法和储层渗流传热机理等, 旨在推动干热岩资源开发利用进程。但目前国内还未开展过具体的EGS工程试验, 只有部分科研机构与高校在干热岩流动换热模拟方面进行了初步探究。通过EGS系统实现高温地热能的有效利用, 钻达地热储层、形成稳定的地面-地下通道(钻井井眼)是首要且必不可少的关键环节。近年来, 国外高温钻井技术已实现较大突破, 其中钻井液在地热钻井应用中最高温度已达 371°C ; 哈里伯顿公司的抗高温固井水泥浆适用温度达到 316°C ; 斯伦贝谢公司研发的CDE钻头已成功应用于美国Geysers地热田钻井, 机械钻速可达 $4.0 \sim 8.0\text{m/h}$, 并且单个钻头进尺有显著提高。

国内高温地热钻井技术以中国石油长城钻探公司较为突出, 其在肯尼亚利用泡沫钻井技术成功完钻温度高达 350°C 的地热井, 初步形成了高温地热开发技术体系。为解决高温地热钻井成本高问题, 学者探索了高效低成本钻完井新技术, 包括可膨胀管技术、套管钻井技术、多分支井眼技术、热力射流钻井技术、SC- CO_2 射流钻井技术和液氮压裂技术等。但这些技术仍处于研发阶段, 尚未进行商业化应用, 若成功开发其中任何一种技术, 势必会引起地热钻完井领域重大变革, 有助于大幅提高钻完井效率、降低地热开发成本。

2 国内地热开发技术革新国际合作

国内在深部地热资源开发方面才刚刚起步, 钻完井技术研究尚处于起步阶段。而国际上在对深部地热资源开发利用上正向第二代过渡, 美、德、英、日等发达

国家都建立了专门研发深部地热资源技术研究的机构, 并投入了大量资金研究深部地热资源

开发过程中的钻井工程地质特征、井身结构设计技术、高效钻井技术、固井技术及储层评价技术。因此, 为改变我国在深部地热资源开发中技术落后的现状, 中国石油大学(北京)申请并获批了教育部和国家外国专家局的“高等学校学科创新引智计划”(“111计划”)项目——深部地热资源开发基础研究, 邀请英、美、德、法4国11个学术团队开展合作研究, 汲取国外先进技术和经验, 探索深部地热资源开发利用新技术。

3 合作内容与目标

钻完井技术是实现高温地热开发利用首要且必不可少的关键环节。与油气钻完井相比, 地热钻完井在井下工况、所钻地层岩性和完井方式等方面有很大不同, 需要克服众多技术瓶颈。特别是高温地热钻井, 其所钻地层温度在 $150 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 之间, 易引起钻具和井下测量工具失效、钻井液稠化和固井水泥强度降低等技术难题, 钻完井安全风险系数较高。高温地热钻井钻遇地层以变质岩为主, 岩石硬度较大、可钻性较差, 因此钻井周期较长、成本较高。在地热钻井过程中, 井壁围岩稳定性较差, 高温井壁与低温钻井液极易产生热破裂和井眼扩大等问题, 引起井壁坍塌和卡钻事故。此外, 高温干热岩储层压裂改造难度较大, 效果有限。

通过引智计划寻求国际合作, 引入国外高温地热资源开发先进技术, 以深部地热资源为主要研究对象, 围绕高温高研磨地层岩体力学特征与响应机制、钻井载荷与井眼围岩作用机理、渗流机理、循环流动与传热机制等关键科学问题, 解决上述高温地热开发面临的钻井周期较长、成本较高、安全风险系数较高、完井压裂难、效果差等难题。通过钻完井工程、流动传热、数学建模、软件开发等多学科交叉协作, 开展如下4项研究: ①基于地层-井筒-地面流动与传热模型, 设定地热井钻井、完

井、开采方案一体化设计方案；②揭示高温下岩石物性及破岩机理，探索高温地热储层破岩新方法，研发破岩新工具；③开展地热储层水力压裂机理研究，探索适用于高温环境的完井压裂改造方法；④研究高温地热钻完井过程中井壁失稳机理与控制方法以及高温条件下的固井方法。

国际合作与研究完成后，可有望形成满足我国深部地质条件下地热资源高效开发的技术体系，提高我国地热钻井与压裂技术的自主创新能力。研究成果可推动我国深部地热资源高效低成本开采进程，促进节能减排和低碳发展，改善生态环境和提高人民生活水平，也能为超深井安全高效钻井基础理论和技术研究提供参考和借鉴。

4 结语

国内深部高温地热资源开发利用起步较晚，钻完井和压裂改造技术仍处于探索实践阶段。目前，国家正积极推动可再生清洁能源发展，并将地热能开发利用作为可再生能源发展“十三五”规划的重点任务，制定了《地热能开发利用“十三五”规划》。在政府号召下，国内地热行业势必迎来发展的大好时机，地热工作者应该借此契机，积极寻求国际合作，引入国外地热资源开发的先进技术与丰富经验，深入探索适用于我国深层地热资源的高效低成本开发利用技术，为促进我国地热能事业快速发展贡献力量。

节选自《科技进步与对策》



敬告读者

TO INFORM THE READER

《中国地能》是由中国地能出版社主办，北京节能环保促进会浅层地（热）能开发利用专业委员会协办的科技期刊，于香港公开发刊，双语双月刊。我们的办刊宗旨是为政府制定能源政策提供参考建议，为地能开发企业提供宣传平台；为设计者、大众提供交流空间；推广浅层地能利用经验，展示应用实例。

2018年，我们始终不忘读者的期待，用心用力办好期刊。毫无疑问，优化空气、节能减排、治理雾霾是当前摆在全体中国人民面前一个重大课题，我们期望《中国地能》这本小小的期刊能够为攻克这一难题贡献微薄之力。

立足长远，着眼当前，在继承中创新，在变革中发展。自创刊以来，期刊一直得到了业内专家学者和广大读者的热情支持，在此致以我们的衷心感谢。大家的关注是我们的追求，大家的支持是我们的动力。让我们携手共进，在新的一年里共同打造《中国地能》的美好明天。

《中国地能》编辑部

投稿及广告联系人：李雪

电话：010-62599774

邮箱：journal@cgsenergy.com.cn

中國地能
CHINA GROUND SOURCE ENERGY



恭贺新春

狗年吉祥，金狗送福~!

The 67th anniversary of the founding of the People's Republic of China

ENERGY SAVING AND EMISSION
REDUCTION OF THE GREEN LIFE

狗年，中国十二生肖年份之一，狗在十二地支中以“戌”为代表，在一年中戌月是九月，是个收藏的季节，此时山野一片凋落寂寞，是个入冬之前的景色。

January 一月

日	一	二	三	四	五	六
		1	2	3	4	5
		十五	十六	十七	十八	小寒
7	8	9	10	11	12	13
廿一	廿二	廿三	廿四	廿五	廿六	廿七
14	15	16	17	18	19	20
廿八	廿九	三十	十二月	初二	初三	大寒
21	22	23	24	25	26	27
初五	初六	初七	初八	初九	初十	十一
28	29	30	31			
十二	十三	十四	十五			

February 二月

日	一	二	三	四	五	六
				1	2	3
				十六	十七	十八
4	5	6	7	8	9	10
立春	二十	廿一	廿二	廿三	廿四	廿五
11	12	13	14	15	16	17
廿六	廿七	廿八	廿九	三十	正月	初二
18	19	20	21	22	23	24
初三	雨水	初五	初六	初七	初八	初九
25	26	27	28			
初十	十一	十二	十三			

March 三月

日	一	二	三	四	五	六
				1	2	3
				十四	十五	十六
4	5	6	7	8	9	10
十七	惊蛰	十九	二十	廿一	廿二	廿三
11	12	13	14	15	16	17
廿四	廿五	廿六	廿七	廿八	廿九	二月
18	19	20	21	22	23	24
初二	初三	春分	初五	初六	初七	初八
25	26	27	28	29	30	31
初九	初十	十一	十二	十三	十四	十五

April 四月

日	一	二	三	四	五	六
1	2	3	4	5	6	7
十六	十七	十八	十九	清明	廿一	廿二
8	9	10	11	12	13	14
廿三	廿四	廿五	廿六	廿七	廿八	廿九
15	16	17	18	19	20	21
三十	三月	初二	初三	初四	谷雨	初六
22	23	24	25	26	27	28
初七	初八	初九	初十	十一	十二	十三
29	30					
十四	十五					

May 五月

日	一	二	三	四	五	六
		1	2	3	4	5
		十六	十七	十八	十九	立夏
6	7	8	9	10	11	12
廿一	廿二	廿三	廿四	廿五	廿六	廿七
13	14	15	16	17	18	19
廿八	廿九	四月	初二	初三	初四	初五
20	21	22	23	24	25	26
初六	初七	初八	初九	初十	十一	十二
27	28	29	30	31		
十三	十四	十五	十六	十七		

June 六月

日	一	二	三	四	五	六
					1	2
					十八	十九
3	4	5	6	7	8	9
二十	廿一	廿二	芒种	廿四	廿五	廿六
10	11	12	13	14	15	16
廿七	廿八	廿九	三十	五月	初二	初三
17	18	19	20	21	22	23
初四	初五	初六	初七	夏至	初九	初十
24	25	26	27	28	29	30
十一	十二	十三	十四	十五	十六	十七

July 七月

日	一	二	三	四	五	六
1	2	3	4	5	6	7
十八	十九	二十	廿一	廿二	廿三	小暑
8	9	10	11	12	13	14
廿五	廿六	廿七	廿八	廿九	六月	初二
15	16	17	18	19	20	21
初三	初四	初五	初六	初七	初八	初九
22	23	24	25	26	27	28
初十	十一	十二	十三	十四	十五	十六
29	30	31				
十七	十八	十九				

August 八月

日	一	二	三	四	五	六
			1	2	3	4
			二十	廿一	廿二	廿三
5	6	7	8	9	10	11
廿四	廿五	立秋	廿七	廿八	廿九	七月
12	13	14	15	16	17	18
初二	初三	初四	初五	初六	初七	初八
19	20	21	22	23	24	25
初九	初十	十一	十二	处暑	十四	十五
26	27	28	29	30	31	
十六	十七	十八	十九	二十	廿一	

September 九月

日	一	二	三	四	五	六
						1
						廿二
2	3	4	5	6	7	8
廿三	廿四	廿五	廿六	廿七	廿八	白露
9	10	11	12	13	14	15
三十	八月	初二	初三	初四	初五	初六
16	17	18	19	20	21	22
初七	初八	初九	初十	十一	十二	十三
23	24	25	26	27	28	29
初四	初五	初六	初七	初八	初九	初十
30						
廿一						

October 十月

日	一	二	三	四	五	六
	1	2	3	4	5	6
	廿二	廿三	廿四	廿五	廿六	廿七
7	8	9	10	11	12	13
廿八	寒露	九月	初二	初三	初四	初五
14	15	16	17	18	19	20
初六	初七	初八	初九	初十	十一	十二
21	22	23	24	25	26	27
十三	十四	霜降	十六	十七	十八	十九
28	29	30	31			
二十	廿一	廿二	廿三			

November 十一月

日	一	二	三	四	五	六
				1	2	3
				廿四	廿五	廿六
4	5	6	7	8	9	10
廿七	廿八	廿九	立冬	初二	初三	初四
11	12	13	14	15	16	17
初五	初六	初七	初八	初九	初十	十一
18	19	20	21	22	23	24
十二	十三	十四	十五	小雪	十七	十八
25	26	27	28	29	30	
十九	二十	廿一	廿二	廿三	廿四	

December 十二月

日	一	二	三	四	五	六
						1
						廿四
2	3	4	5	6	7	8
廿五	廿六	廿七	廿八	廿九	十一月(大寒)	初二
9	10	11	12	13	14	15
初三	初四	初五	初六	初七	初八	初九
16	17	18	19	20	21	22
初十	十一	十二	十三	十四	十五	冬至
23	24	25	26	27	28	29
初七	初八	初九	初十	十一	十二	十三
30	31					
廿四	廿五					

为推广地能热冷一体化新兴产业的发展，恒有源科技发展集团有限公司与四川长虹空调有限公司合资成立了宏源地能热宝技术有限公司。公司以智慧供热市场为导向，专注于地能热冷机各类产品的开发和各种形式的地能热宝系统的产品集成，推广地能无燃烧方式为建筑物智慧供热，满足人们舒适稳定的生活环境需求。



可靠性技术：航空领域先进的数字控制系统，拥有能与战机媲美的可靠性



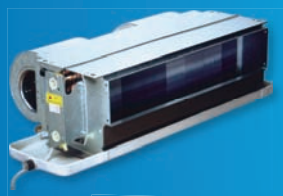
防腐技术：新工艺军工防腐技术抗氧化腐蚀，经久耐用



军用雷达防电磁干扰技术



1



2



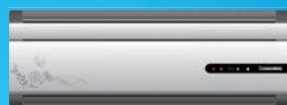
4



3



6



6



9



5

7

8



1. 地能热（冷）吸顶机
2. 地能热（冷）风管机
3. 地能热（冷）柜机 A
4. 地能热（冷）柜机 B
5. 地能热（冷）卧机

6. 地能热（冷）壁挂机
7. 地能热泵热水器（生活热水）
8. 地能热泵锅炉
9. 地能热泵多联机

航天飞机燃料箱真空氮检技术

航天飞机防腐防锈处理技术



宏源地能热宝技术有限公司

地址：四川省绵阳市涪城区金家林下街 29 号
联系电话：010-62592341 400-666-6168
传真：010-62593653
电邮：dnrb@hyy.com.cn



扫描二维码
获取更多地能知识