



ISSN:2309845 7

2017年09月

第20期

季刊

# 中國地能

CHINA GROUND SOURCE ENERGY



地源热泵应在农村清洁  
取暖中占更大比例

P06

地热能的春天

——开发利用亟待“国家探路、企业跟进”

P24

恒有源清洁供暖  
工程案例介绍

P62

# 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或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

地源热泵应在农村清洁取暖中  
占更大比例

**P06**

采用清洁取暖有利于减少雾霾,也改进了农村生活方式。由于我国的条件,热泵成为当前北方农村清洁取暖的主要设备。

Ground source heat pumps shall account for a  
greater proportion in the clean heating in rural  
areas **P12**

**P24**

SPECIAL REPORT

特别报导

地热能的春天  
——开发利用亟待“国家探路、企业跟进” P24

**P28**

POLICY ADVICES

建言献策

浅层地热能适宜性分区结构的分形原理 P28

我国城镇建筑供暖:能源和供暖方式的抉择 P32

**P36**

DEVELOPMENT FORUM

发展论坛

开发浅层地能是一大治霾利器  
——访著名水文地质专家、国务院资深参事王秉忱 P36

欧美日地源热泵的发展与借鉴 P41

中国地热资源潜力评价 P45



## P51

POLICY PROGRAMME

### 政策方针

我国首部地热能五年规划发布

P51

## P55

HOTSPOT INFO

### 热点资讯

地热能利用 能否再现“羊八井式”黄金时代

P55

雄安新区地质调查第一阶段结束 将打造地热资源全球样板

P57

四部委推进北方冬季清洁取暖试点工作

P59

## P60

PROJECT SHOWCASE

### 实用案例

孔大爷家为什么选择了自费加装地能热宝系统

P60

恒有源清洁供暖工程案例介绍

P62

## P67

Introduction to Clean Heating Engineering Cases of Ever Source  
Science & Technology Development Group Co., Ltd.

## P74

KNOWLEDGE SHARING

### 能源科普

页岩气开发关键新型技术应用现状及挑战

P74

封面 / 目录图片 摄影：孙伟 封面文见本刊 P62

中國地能  
CHINA GROUND SOURCE ENERGY

2017年9月  
第20期  
季刊

# 地源热泵应在农村清洁取暖中占更大比例

——以北京郊区农村为例

**GROUND SOURCE HEAT PUMPS  
SHALL ACCOUNT FOR A GREATER  
PROPORTION IN THE CLEAN  
HEATING IN RURAL AREAS**

**——Taking Rural Areas in Beijing Suburbs  
for Example**

作者：苏棣棠、诸葛绪光（北京市农村建设办公室）  
马俊哲、鄢毅平（北京农业职业学院教授）

**摘 要：**采用清洁取暖有利于减少雾霾，也改进了农村生活方式。由于我国的条件，热泵成为当前北方农村清洁取暖的主要设备。目前用于取暖的热泵主要是地源热泵和空气源热泵，其中空气源热泵占有较大比例。从理论分析和实地农村调查看，地源热泵在我国农村有更好的安装条件，能够在我国电力相对不足的条件下实现更大面积的清洁取暖，用户运行费用更低，供暖保障程度更高，在农村的环境效益更加突出，节能效果更好。综合比较起来，地源热泵在我国北方农村有较好的效果，应该提高其应用的比例。

**关键词：**地源热泵、清洁取暖、北京郊区、综合比较



针对进入 21 世纪后我国频发的严重雾霾，2016 年习近平总书记强调，“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。”

北方地区冬季取暖按地域可分为城市和农村，目前城市中主要是集中供暖，清洁取暖相对容易实现。而农村由于居住分散，很少有集中供暖，绝大多数农民冬季采暖主要是家庭用燃煤的自采暖，而自采暖的燃烧散煤对空气质量的影响特别明显。同时家庭烧煤采暖不安全，不环保，不干净，还不省事，也不经济，农民普遍希望采用新型的清洁采暖方式。进入 21 世纪以来，有关部门和农民已经进行

了大量的尝试，归纳调查结果可见，到 2017 年，我国北方农村新型清洁采暖方式主要有，直接电采暖、蓄能电采暖、空气源热泵采暖，地源热泵采暖、天然气锅炉供暖等。从进一步的调查可见，利用天然气和电采暖是当前我国农村的主要清洁采暖方式。由于我国天然气储量少，近几年来新增采暖用的天然气主要依靠进口，加上天然气进入农村基础设施建设投资大，施工不易，同时燃料价格相对较高，故近几年来，在我国农村，电采暖成为清洁能源供热的主要部分。有关专家 2016 年初步估算，大约占到已有清洁采暖的 90% 左右。目前电采暖的形式主要有电直接采暖，蓄能电采暖和热泵采暖。通过几年的实验，热泵采暖得到了多数农民和有关专家的认可，成为各地农村推广的主体。当前采暖应用的热泵主要是空气源热泵和地源热泵，空气源热泵占主体，地源热泵所占比例相对较小。通过大量的调查和理论分析，我们认为，在北方农村的煤改电采暖中，地源热泵应该占有更大的比例，主要原因是：

## 一、农村更适合安装地源热泵

地源热泵是利用地下浅层地热资源既能供热又能制冷的高效节能环保型设备系统。通常地源热泵消耗 1kWh 的电量，用户可以得到 4kWh 左右的热量或冷量。从地源热泵问世至今已经有百年的历史，当前已经批量应用于世界上几十个国家，是非常成熟的技术，可成功利用地下水、江河湖水、水库水、海水、城市中水、工业尾水、坑道水等各类水资源以及土壤源作为地源热泵的冷、热源。

单井循环换热地能采集技术是一项我国原创的先进的适用于多种地质条件的浅层地能采集技术。它以循环水为介质采集浅层地下的温度低于 25℃ 的热能，可以实现地下水就地同层全部回灌。不消耗也不污染地下水，对地下水是安全的。单井循环换热地能采集井技术自 2000 年推出以来，在我国各省市自治区和直辖市已推广应用浅层地能为建筑物供暖超过 800 万平方米，每年可实现用浅层地能替代传统供暖能源约 7.2 万吨标煤。现在这种技术已走出国门，在美国等国外的示范工程已投入使用。

在现有用电采暖的各种方式中，地源热泵是节能效果优，



能源效率高的采暖方式，在大量使用的条件下，有良好的节能减排效益。由于效率高，运行费用低，也受到广大消费者的欢迎。然而，这一采暖方式目前应用还不普遍，主要原因是，其需要有特定的安装条件，在建筑物周边要有较大的空间，还要有一定的电力设施。从世界各国应用的情况看，农村和城市都适合使用地源热泵，其中农村由于建筑物相对分散，无论是利用单井循环换热地能采集技术还是采用地埋管技术，空间条件较城市更优。从大量的农村调查看，相比于城市，位于农村的平房和楼房都有更好的安装地源热泵的空间条件。

我国北方农民住宅多数是带院落的独立住宅，房屋相隔大，施工时地埋管可以打在院内或房屋的临街处，住宅可就近从地埋管中取热，方便高效。同时，农村中新建的楼房也适合安地源热泵。最近几年，我国不少农民从分散的住宅迁入新建的多层单元楼，建在农村的这些楼房间隔及绿化面积多数大于城市，建筑用地的容积率低，有选用取单井抽灌井位的优越条件。从设备安装的角度看，农村明显优于城市。

## 二、更好适应我国电力系统的现状

我国是发展中国家，电力系统发展的时间不长，而且开始主要在城市。上世纪 80 年代后，电力才逐步在农村普及，然而，由于电力发展的基础差，直到进入 21 世纪初，我国的电力供应还十分紧张，甚至不少特大型城市在冬夏两季还经常停电，中小城市和农村停电则更为普遍。另外，直到 2016 年，我国大部分农村供电还不够充足，使用空调等大功率电器还有一定的困难。如，北京郊区农村多数农户（含近郊区农村）2016 年时家中电表只有 2 安培，根本不可能用其为房屋采暖。周边的天津市、河北省等地农村电力不但普遍功率低，保障程度也差，供电不足成为影响热泵供暖进入农村的主要障碍之一，发展清洁的

电采暖首先需要解决电力供应的问题。

虽说近 10 年来，我国电力供应总体情况已经有了根本性改变，基本解决了大城市停电等问题，2016 年全国电力供应能力总体富余、部分地区过剩。但是在冬季取暖期和夏季的制冷高峰期，多地的电力供应仍然偏紧。在华北，区域电力供需总体平衡，部分地区偏紧。总体来看，我国未来电力消费增长呈现由高耗能产业向新兴产业、服务业和居民生活用电转换，电力供需形势将由偏紧转为宽松，但在未来的较长时间内，电力并不宽裕，在这种条件下，需要尽可能选择节电效果好的电采暖设备。

具体到华北地区，虽然近几年北京增加了特高压输电线路，但据电力部门 2015 年的预测，到 2020 年北京全市最大负荷将达到 2750 万 KW，“十三五”期间年均增长率为 8%。根据电力平衡分析，预计 2018 年、2020 年，本市电力缺口将分别达到 100 万 KW、500 万 KW，北京电力供需矛盾将十分突出。如果北京农村的电采暖也参考城市电采暖的方式普及蓄能电采暖，即使仅增加 20 万农户的蓄能电供热，电力负荷至少增加 200 万 KW，在冬季的采暖期，对北京的电力需求是很大的压力。

在我国电力一时相对有限的条件下扩大电取暖的比重，使用地源热泵是解决的方法之一。地源热泵可以在同等电力供应的条件下，保障住房面积较大农户的供热，如以北京市农户每户 9KW 的电负荷，直接电采暖供热面积约 90 平方米，蓄能电采暖供热面积在 80 平方米左右，空气源热泵在 180 平方米左右，而利用浅层地能可在 270 平方米左右。简单算账为，同样 1 千 KW 供电能力，在使用电暖气时能为 1 万平方米的农户供热，使用空气源热泵能够为 2 万平方米的农户供热，而使用地源热泵能够为 3 万平方米的农户供热。故使用地源热泵能够保证在我国现有供电条件下煤改清洁能源更大面积的推广。

当前我国农村一方面电力不足,另一方面,电力增容也不容易。除了输电线路的大量投入外,变压器的安装工作量和难度也不小。从我们的实地调查看,我国北方农村由于各方面的原因农户宅基地面积小,但因人口多,居住集中,村庄占地面积大,在采用电采暖时需要增加不少变电设施。部分农村由于空地少,新增变压器的安装难度不小,我们调查中发现,个别农村新装的变压器下甚至堆积了收集的废品,产生安全隐患,有的农村因安装变压器协调工作量大,在一定程度上影响了供热改造的进度,也增加了政府和电力部门的投入。相对其他供热方式,地源热泵需要新增的变压器数量较少,电力系统改造的工作量也少一些。

### 三、有利于创造更好的农村环境

从近三年我们的农村清洁取暖调查看,清洁供热系统的改造创造了更好的农村环境,成为农民欢迎的设施。主要表现在三个方面:

一是减少了污染,净化了大气环境。如,统计数据显示,20世纪90年代,华北大部分地区煤炭在能源消费结构中占比曾近90%,当时也是大气污染比较严重的时期。为消除空气污染,进入21世纪后,北京市下大力量不断压减燃煤,推广清洁能源。到2016年,农村“减煤换煤”工作已经完成90%,基本覆盖京郊农村。由于燃煤量的减少和推广优质煤替代。北京空气中的二氧化硫明显减少。来自市环保监测中心的监测结果显示,2000年本市二氧化硫年均浓度约为70微克/立方米,之后随压减煤炭取得成效整体呈下降趋势。尤其是2007年起下降趋势更为明显,2008年的年均浓度首次小于40微克/立方米。2015年,北京的二氧化硫年均浓度再创新低:为13.5微克/立方米,较2014年又下降了38.1%,二氧化硫浓度水平与南方沿海无采暖城市相当。与此同时,

2015年全市平均PM2.5浓度为80.6微克/立方米,同比下降了6.2%。2016年,北京大气污染的主要污染物浓度总体继续呈下降趋势。与2015年相比,各项污染物同比均有改善,SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM10、PM2.5年平均浓度分别同比下降28.6%、4.0%、9.8%、9.9%。因清洁取暖推广力度的增大,2017年春节,北京市空气质量为近三年来最佳。

由于北京煤改清洁能源力度明显大于其余城市,根据环保部通报的京津冀大气污染传输通道“2+26城市”2017年3月份和第一季度的空气质量情况。在环境空气质量综合指数排位中,北京市排名第一。

二是改善了农村环境,提高了宜居程度。燃煤带来的高污染不仅仅污染大气,受影响的首先是使用污染能源的地区。我国北方冬季常常有静稳天气,几天时间内气压低,天阴,无风,空气流动性很低,在这种气候条件下,低空排放的烟气会在一定时间内聚在烟囱周边,此时,每家每户都烧小煤炉、小锅炉的社区空气质量极差,严重时,人们甚至不能呆在室外,在升炉火的家中,甚至无处可待。走在村里,会闻到刺鼻的烧煤味。

笔者21世纪初在北方农村调查时看到,住宅采暖用小煤炉、小锅炉密集的地区,在使用烟煤的情况下区内污染十分严重,无风天有时甚至到早晨9点时都看不到太阳。走出住宅区可以看到,一人高的位置上是一层烟,人们在这种条件下都要咳嗽,呼吸道疾病十分普遍。从住宅区更远处可以看到,无风时,住宅区周边及上空都是烟,以至看不清村貌,虽然这种无风天不很多,但对住宅区空气和人的生活质量以及人们的健康影响极大。2013年后,我国北方大部分农村基本实现了炊事用气,用电,取暖推广了清洁煤,无烟煤,空气质量有一定的改善,但没有根本性改变,特别是傍晚,由于农民家中家家都要给取暖小锅炉添煤封火,虽然已经是优质煤,但村中的空气仍然明显弥漫着烟气。

采用清洁能源，特别是取消燃煤采暖，使农村居住环境发生了根本性改变，人们有了健康、清洁的生活环境，基本上消除了村内的烟尘，由于不用存煤存柴，农村卫生环境面貌也有所改观，居室环境变得洁净，呼吸道疾病也相应减少，还减少的垃圾的数量。

三是改变了农村生活方式，提高了农民生活水平。使用煤炭时村内的环境不好，室内的环境也差。家中烧小锅炉的居室环境虽然比烧小煤炉好一些，但冬季也需要运煤，倒煤，笼火、掏炉灰、倒炉灰，没一样不暴土扬尘，为此，不少家庭中备有添煤除灰用的工作服，因一天几次需要换衣服添煤，很难穿整洁的衣服。由于又脏又麻烦，家中谁也不愿意干烧煤的事。用小煤炉室内取暖环境更差，除了要预防煤气中毒外，还要经常打扫室内的灰尘，对于有呼吸道疾病的老年人来说，冬天的日子可不好过。另外，一个冬天，家庭用煤一般在2到5吨，整理、运输这些煤对青壮年问题不大，但对于70岁以上的老年人还是个繁重的工作。由于当前青壮年多数在城市中工作，留在农村的主要是老年人和妇女，烧煤的工作量对农村多数家庭是个不小的问题。

农村家庭总结了烧煤取暖的五大问题。一是煤火取暖存在严重的安全隐患，可能导致煤气中毒事件发生；二是老年人生火取暖存在困难。采用煤火取暖夜间必须要封火，导致室内温度较低，达不到御寒需求；三是烧煤取暖制造大量的炉灰垃圾，常会造成垃圾乱堆乱放，加之村内街道狭窄，这样就给垃圾清运带来很大困难，有时还会引燃垃圾，加重空气污染。四是烧煤使村中烟雾大，特别是无风天特别明显，容易引发呼吸道疾病。另外，烧煤升火取暖则需要上山砍柴，对山上植被和林木造成严重破坏。

从我们的调查看，绝大多数农民欢迎煤改清洁能源工作，认为这是改变生活条件的重要措施之一，不少被调查者反映，使用清洁能源供热，即使家庭

供热年运行费用比烧煤高1千多元，由于省事省心，还是愿意改的，也有一些家庭几年前已经开始改变取暖方式。

虽然煤改电采暖都能使农村环境得到根本性改变，但相比其他方式，地源热泵对农村环境的影响更小一些，直接电采暖因能耗大，需要在村内增设更多的变压器，有一些隐患，取暖面积相对不足。空气源热泵可以在一定程度上减少变压器的安装，但众多的室外机夏天吹热风，冬天吹冷风，加上部分企业将室外机直接安装在农村的街道两侧，使农民外出感到不便，我们的调查中农民也反映了这一问题。而地源热泵对环境温度的影响在地下，人们基本感觉不到，同时新增变压器的数量较少，对农村环境的影响相对其他方式更小一些。

#### 四、更利于降低取暖的费用

改革开放以来，特别是社会主义新农村建设开展以来，我国农民收入持续增长，生活水平不断提高，然而，我国毕竟是发展中国家，人均收入水平远低于发达国家，在必需品的支出上也明显高于发达国家。即使在北京郊区这样的农民人均收入较高的地区，取暖费用的比例也比较高。从资料看，目前发达国家的取暖支出占其收入的比例一般小于2%，如2010年，美国中等收入家庭冬季取暖费占家庭收入的比例大致为：使用天然气供暖：1.3%、使用电力供暖：1.7%。而根据我们的调查，北京郊区农民家庭冬季取暖支出占年收入的比例约在3—6%，低收入家庭占比还要高一些，取暖费对农民的压力还不小。另从调查看，当前阻碍农民采用清洁能源采暖的最大障碍是使用费用问题，而在精心设计，精心施工的条件下，在农村推广地源热泵可不增加农民的经济负担。

从设备的安装费用来看，改革开放以来，京郊农民住房的设备安装费有不断提高的趋势，主要是，

随着北京郊区农民收入和生活水平的提高,农民住房多数都有了供暖,制冷和提供生活热水的功能。2014年,每百户农民家庭购买的空调超过127台,热水器超过97台。未来北京郊区农民的住房将和城市住房一样,除暖气外,还要全部安装空调和热水器。地源热泵的设备投入相当于一般建筑物传统供暖、制冷和生活热水三项投入的总和,如果是新建筑,总体上并不增加农户在建筑物上的投入。

由于地源热泵系统在供暖运行时,耗能的60%以上是可再生能源,如果按照国家发改委的规定,电价按民用电价计,与燃煤相比,地源热泵供暖的运行费用相当于小锅炉使用650元/吨的煤炭,如按北京市现行的天然气2元2角8分1立方米计算,使用地源热泵比烧天然气供暖运行费用低50%左右,是直接电采暖运行费的33%,比空气源热泵运行费用低30%以上。地源热泵不但供暖运行费用低,而且因制冷时采用了浅层地能,制冷的运行费用比空调低20%左右。提供生活热水的费用是直热式电热水器的35%。农民使用地源热泵可以在一定程度上减少生活的能源支出。

除使用费用更低外,地源热泵供热的保障度也更高。主要原因是,空气源热泵利用的环境空气温度变化很大,设备效率会随着温度的降低而相应下降,在阴天时,部分空气能热泵还需要频繁化霜,从而在严寒期供热能力下降。如一款普通3HP(匹)空气源热泵在室外环境-7℃和-20℃下制热量分别衰减21.7%和47.0%,而地源热泵则无此问题。对农民的调查也反映出这一问题。如,2015年北京冬季由于寒潮带来数天的极端低温,我们调查的几个村个别农户反映,这几天空气源热泵能耗很高,且供暖效果不好,室内温度有所下降。地源热泵由于热源来自浅层地下,比较稳定,无论是严寒还是酷暑天,热泵源头的温度没有大的变化,不但供暖效率相对稳定,室内温度相对恒定,而且制冷更为节能。从设备自身的特点看,地源热泵更适合需要

稳定供暖的用户。

## 五、更有利于减少温室气体的排放

温室气体指的是大气中能吸收地面反射的太阳辐射,并重新发射辐射的一些气体,如水蒸气、二氧化碳、大部分制冷剂等。它们的作用是使地球表面变得更暖,类似于温室截留太阳辐射,并加热温室内空气的作用。这种温室气体使地球变得更温暖的影响称为“温室效应”。水汽( $H_2O$ )、二氧化碳( $CO_2$ )、氧化亚氮( $N_2O$ )、氟利昂、甲烷( $CH_4$ )等是地球大气中主要的温室气体。

近20年来,由于大量使用矿物燃料,温室气体的增加,地球温度不断提升,气象灾害大幅度增加,受到世界各国的重视。我国政府高度重视并积极应对气候变化。2007年,中国政府发布了《中国应对气候变化国家方案》,这是发展中国家第一个应对气候变化的国家级方案。2015年,习近平在巴黎气候大会上强调,中国一直是全球应对气候变化事业的积极参与者。北京市作为中国的首都,在中国温室气体的减排方面应该起到榜样的作用,要为中国乃至世界的温室气体减排、减轻全球气候的变化做出贡献,北京郊区农村也应为此努力。

推广地源热泵在减少温室气体排放上有明显的作用。通过计算可知,农户的燃煤锅炉对煤炭热量的利用率约为60%,一个采暖季100平方米的住房大约用燃煤3吨,同样的供热量,用空气源热泵需要5320kWh的电(以COP值2计算),发出这些电需要近2吨煤(以每kWh电力360g标准煤计算),而地源热泵仅需要3488kWh电力(COP值以3计算),发电需要1.4吨煤。换言之,在冬季室温同等的条件下,使用地源热泵排放的温室气体仅有燃煤锅炉的50%,比空气源热泵也可减少约30%的温室气体排放。据美国环境保护署(EPA)评估,每安装90KW地源热泵空调相当于减少12

辆汽车的温室气体排放和种植 6000 平米的树木。北京的农户 100 平方米住房安装地源热泵的功率约在 10kw，相当于减少 1.5 辆汽车的温室气体排放和种植 1 亩地的树木。如果有 10 万农户安装地源热泵，减排温室气体的效果十分可观。

目前，北京郊区农村的煤改清洁能源正在进行中，其中包括了部分地源热泵，北京市政府对推广地源热泵给予了优惠政策，通过了单井抽灌技术的北京地方标准。相信通过大量整村使用的实践，通过扩大宣传，通过样板户的体验，会有越来越多的村庄和农户认识地源热泵的优势，认可并安装地源热泵，在节能减排，减少取暖支出的同时使农村的面貌得以改观，农民的生活水平得到提升，并减少排放的温室气体，改善我国整体的环境质量。

## 有关浅层地能的几个相关名称辨析

本世纪初，我国以地下土壤或地下水为热源的热泵采暖行业实现了较快发展。出现了较大面积的以土壤为热源或以地下水为热源的热泵供暖系统。2000 年底，由我国自主研发的单井循环换热地能采集技术问世，引起了该专业领域的重视。单井循环换热地能采集技术除了具有高效和安全的优势之外，它的能源也已经突破了当时流行的“土壤源”和“地下水源”两种，实现了这两种能源的兼得并用。业内专家遂提出“浅层地能(热)”的概念，“浅层地能(热)”泛指蕴藏在地下几十米至几百米深度内的土壤、砂石和地下水中的热能。稍后出现的“浅层地能”就是“浅层地能(热)”的简称，虽然去掉了一个“热”字，但其所指，仍然是对地下的热能而言。因此也有人索性称“浅层地能(热)”为“浅层地热能”。

一般地说，浅层地能所蕴藏的深度正是地质学界称为“地下恒温区”的区域。以北京为例，这个区域的温度一年四季都是 15℃ 左右，几乎没有变化。而通常我们说的“地热”是指地下温度较高的热源。为区别于此，也有人使用“浅层地温能”来代替“浅层地热能”，为的是强调它是一种温度较低(低于 25℃)的热能。

## Ground Source Heat Pumps Shall Account for a Greater Proportion in the Clean Heating in Rural Areas *-Taking Rural Areas in Beijing Suburbs for Example*

Author:

Su Ditang, Zhuge Xuguang (Beijing Rural Construction Office)

Ma Junzhe, Yan Yiping (Professors of Beijing Vocational College of Agriculture)

**Abstract:** Adopting clean heating is in favor of reduction of haze and improves the lifestyle in rural areas. Due to conditions of China, the heat pump has become main equipment for clean heating in rural areas in the north at present. The current heat pump for heating mainly refers to ground source heat pump and air source heat pump;



in which, the air source heat pump accounts for a relatively large proportion. From theoretical analysis and field investigation in rural areas, it can be known that the ground source heat pump can be installed in rural areas of China more conveniently, and is able to realize clean heating of a larger area on the premise that the electric power in China is relatively insufficient. In addition, the ground source heat pump is characterized by lower user running cost, higher heating guarantee degree, more outstanding in environmental

benefit in rural areas and better energy saving effect. After comprehensive comparison, the result shows that the ground source heat pump has relatively good effect in rural areas in the north of China, and it is required to increase its application proportion.

**Key words:**

**Ground source heat pump;  
Clean heating; Beijing suburbs;  
Comprehensive comparison**

With regard to severe haze which frequently occurs in China after entering the 21st century, the General Secretary of the Communist Party of China Central Committee Xi Jinping emphasized in 2016 that “The promotion of clean heating in winter in the north is related to warm winter of broad masses in the north, and is related to whether the hazy days can be reduced, and it is an important content of revolution of production and consumption of energy source and revolution of rural lifestyle” and “It is required to use gas or electricity as appropriate based on the policies of enterprise first, governmental

promotion and resident affordability, and utilize clean energy source to the greatest extent, thus accelerating the increasing of proportion of clean heating”.

The heating in winter in the north can be divided into urban heating and rural heating based on region. At present, most cities mainly refer to central heating, and the clean heating can be realized relatively easily. However, it is rare to adopt central heating in rural areas for people there are relatively scattered, and most farmers adopt self-heating with residential coal in winter, while the scattered coal burnt for self-heating will greatly impact the air quality. Meanwhile, the heating via combustion of residential coal is not safe, clean or environment-friendly, and is troublesome but not economic. Most farmers hope that they can adopt new clean heating mode. In the 21st century, relevant departments and farmers have conducted a large number of attempts, and it can be known from the summarized investigation result that up to 2017, new clean heating modes in rural areas in the north of China mainly included direct electric heating, energy storage electric heating, air source heat pump heating, ground source heat pump heating and natural gas boiler heating. From further investigation, it can be known that current main clean heating modes in rural areas in China are natural gas heating and electric heating. Due to little reserve of natural gas in China, newly added natural gas for heating in recent years is mainly imported. In addition, the investment for infrastructure construction is huge in case of introducing

natural gas into rural areas, the construction is difficult and the fuel price is relatively high. Therefore, electric heating has become a main part of clean energy heat supply in rural areas in China in recent years. According to preliminary estimation of relevant experts in 2016, the electric heating had accounted for about 90% of existing clean heating. At present, electric heating mainly includes direct electric heating, energy storage electric heating and heat pump heating. Through experiments over years, the heat pump heating has obtained recognition of most farmers and relevant experts and become the main mode promoted in rural areas in the north. Heat pumps applied in current heating mainly refer to air source heat pump and ground source heat pump, and the air source heat pump is dominant, while the ground source heat pump accounts for a relatively small proportion. Through a great deal of investigation and theoretical analysis, we believe that the ground source heat pump shall account for a greater proportion in the switching from coal heating to electric heating in rural areas in the north, and main reasons are shown as below:

### I. More Suitable Installation in Rural Areas

Ground source heat pump is a kind of efficient, energy saving and environment friendly equipment system which utilizes shallow geothermal resources under the ground and can conduct both heating and cooling. Generally, the user can obtain the heat or cool of about 4kWh if the ground source heat pump consumes electric

quantity of 1kWh. The ground source heat pump appeared a century ago. It is adopted in dozens of countries all over the world in batch at present, a very mature technology. It can utilize various water resources such as underground water, river and lake water, sea water, urban reclaimed water, industrial tail water and pit water as well as soil source as its cool and heat source.

The geothermal collection technology of single well circulating heat exchange is a kind of original and advanced shallow geothermal energy collection technology applicable to multiple geological conditions in China. It collects the shallow underground heat energy with temperature lower than 25°C with circulating water as medium, and can realize full recharging of local same layer of underground water. It will not consume or pollute underground water, and is safe for underground water. Since the geothermal energy collection technology of single well circulating heat exchange was launched in 2000, it has been promoted and applied in all autonomous regions and municipalities directly under the central government in China, which has conducted heating for buildings for more than 8,000,000m<sup>2</sup>. In addition, the technology can take the place of traditional standard coal of about 72,000t with shallow geothermal energy each year. Now, the technology has been put into operation in demonstration projects in foreign countries such as America.

Among existing various electric heating modes, the ground source heat pump is a kind of heating mode with the best energy

saving effect and the highest energy source efficiency. It can bring good energy saving and emission reduction benefits in case of being used in a large scale. Due to high efficiency and low running cost, it is popular in extensive consumers. However, this heating mode has not been very applied widely at present, with main reasons as below: it needs specific installation conditions, there shall be a relatively large space around the building, and there shall be some electric power facilities. From the application situation in various countries all over the world, it can be known that the ground source heat pump is applicable to both urban and rural areas. However, the rural areas have more advantages in spatial conditions than urban areas no matter whether the geothermal energy collection technology of single well circulating heat exchange or the buried pipe technology is adopted for buildings in rural areas are relatively scattered. From a great deal of investigation on rural areas, it can be known that compared with urban areas, bungalows and storied houses in rural areas have better spatial conditions in installation of ground source heat pump.

Rural residential houses in the north of China mainly refer to independent houses with courtyard, with long distance to each other. During the construction, the buried pipe can be embedded in the courtyard or the place facing the street, and then residential houses can take heat from the buried pipe locally, which is convenient and efficient. Meanwhile, buildings newly but in rural areas also can be installed

with ground source heat pump. In recent years, many residents in China have moved into newly built multi-storey unit building from scattered houses; the distance among buildings and the greening area in rural areas are larger than urban areas, with low floor-area ratio of building land and favorable conditions of using single well pumping-recharging well position.

## II. More Adaptation Current Situation of Power System in China

China is a developing country, and its power system has not been developed for a long time, and is mainly used in cities at the beginning. After the 1980s, the electric power was gradually popularized in rural areas. However, due to poor foundation of electric power development, the power supply in China was still very tension at the beginning of the 21st century, and even most super-large cities might be power off frequently in winter and summer, and the power failure was more frequent in medium and small-sized cities and rural areas. In addition, up to 2016, the power supply in most rural areas in China was still insufficient, and it was still difficult in using electric appliances with high power such as air conditioner. For example, the electricity meters were only 2A in most farmer households in Beijing suburbs (including rural areas close to suburbs) respectively, which was just impossible to heat houses. The electric power in rural areas in surrounding Tianjin City and Hebei Province was not only low in power, but was poor in guarantee degree. The insufficient

power supply has become one of main barriers of introducing heat pump heating into rural areas, and the first step for development of clean electric heating is to solve the power supply problem.

Although in recent 10 years, the overall situation of power supply in China has been changed fundamentally and the power failure in large-sized cities has been solved basically, the overall situation of power supply capacity was surplus all over the country and excessive in part of regions in 2016, the power supply in many regions is still relatively tight in peak periods of heating in winter and cooling in summer. In North China, the regional power supply and demand is balanced but relatively tight in part of regions. As a whole, the increasing of power consumption in the future in China shows the transfer from high energy consumption industries to emerging industries, services and power consumption for living of residents, and the power supply and demand trend will become relatively loose from original relatively tight situation. However, in a relatively long period, the power will not be very sufficient, and in this case, it is required to select electric heating equipment with good effect of electricity saving.

With regard to the North China, Beijing has added ultra-high voltage power transmission lines in recent years, but according to the prediction of Power Department in 2015, the maximum load of the whole Beijing will reach 27,500,000KW in 2020, with the average annual growth rate of 8% during the "13thFive-Year Plan" period. According to power balance

analysis, it is predicated that the power shortage of the city will reach 1,000,000KW and 5,000,000KW in 2018 and 2020 respectively, and the conflict of power supply and demand at that time in Beijing will be very acute. If the electric heating in rural areas of Beijing also refers to urban electric heating mode and the energy storage electricity heating is popularized, the power load will be increased by 2,000,000KW at least even if only additional 200,000 households adopt energy storage electricity heating mode, which is a very high pressure for power demand in Beijing in the heating period in winter.

Expanding the proportion of electric heating when the power capacity in China is relatively limited and using ground source heat pump is one of solutions. The ground source heat pump can guarantee the heating of farmer household with relatively large area of house area under the same power supply conditions. For example, if the power load of each farmer household in Beijing is 9KW, the heating area with direct electric heating is about 90m<sup>2</sup>, that with energy storage electricity is about 80m<sup>2</sup>, and that with air source heat pump is about 180m<sup>2</sup>; however, the heating area can be about 270m<sup>2</sup> in case of adopting shallow geothermal energy. After simple calculation, it can be known that for 1,000KW power supply capacity, 10,000m<sup>2</sup> farmer households can be heated in case of adopting electric heating, 20,000m<sup>2</sup> in case of adopting air source heat pump, while 30,000m<sup>2</sup> in case of adopting ground source heat pump. Therefore, using ground source

heat pump can promote the switching from coal to clean energy in a wider range under existing power supply conditions in China.

At present, the power capacity in rural areas in China is insufficient; and the power capacity increasing is not very easy. Besides a great deal of input in power transmission lines, the installation quantity and difficulty of transformers are also high. From our field investigation, it can be known that the homestead area of each farmer household in rural areas in China is small due to reasons in various aspects, but the population is large with centralized residence, and each village covers a large land area. Therefore, it is necessary to increase many power transmission facilities in case of adopting electric heating. In part of rural areas, due to little open space, it is highly difficult to install newly added transformers. In our investigation, we have found that there are even collected waste objects below the newly installed transformers in rural areas, which will bring safety hazards. In some rural areas, the work quantity of coordination for transformer installation is heavy, which also impacts the progress of heat supply reconstruction to some extent and increases input of governmental and power departments. Compared with other heating modes, the quantity of transformers to be newly added for ground source heat pump is less, and the work quantity of power system reconstruction is less, too.

### III. In Favor of Creating Better Rural Environment

From our clean heating investigation in rural areas in recent three years, the clean heat supply system creates better rural environment, it also becomes a facility popular among farmers, mainly reflected in the following three aspects:

The first one is that pollution is reduced, and the atmospheric environment is purified. For example, as shown in statistical data, in the 1990s, the coal accounted for nearly 90% in the energy consumption structure in most regions in North China, and that time was also a period when the atmospheric pollution was relatively serious. To eliminate air pollution, Beijing has made great efforts to reduce combustion of coal constantly and to promote clean energy since the beginning of the 21st century. Up to 2016, the work of "coal reduction and replacement" in rural areas had been conducted for 90%, covering most rural areas in Beijing suburbs. Due to reduction of coal amount and promotion of excellent coal, the sulfur dioxide content in air in Beijing was reduced obviously, and the monitoring result from Beijing Municipal Environmental Monitoring Center showed that the average annual concentration of sulfur dioxide in the City in 2000 was about  $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ , and then the concentration was declined with the achievement of coal reduction. Especially since 2007, the decline was more obvious, and the average annual concentration in 2008 was smaller than  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  for the first time. In 2015, the average annual concentration of sulfur dioxide in Beijing broke through a new low record:  $13.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ , reduced by 38.1% than 2014, and the concentration of sulfur dioxide

was equivalent to coastal cities in the south where there was no heating. Meanwhile, the average PM<sub>2.5</sub> concentration in the whole city in 2015 was  $80.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ , reduced by 6.2% year on year. In 2016, the concentration of main pollutants in the atmosphere of Beijing showed overall decline trend. Compared with 2015, various pollutants were reduced year on year, and the average annual concentrations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> were reduced by 28.6%, 4.0%, 9.8% and 9.9% respectively year on year. Due to increasing of promotion force of clean heating, in the Spring Festival in 2017, the air quality in Beijing was the best in recent three years.

For the force of switching coal to clean energy in Beijing was obviously larger than that in other cities, according to air quality situations of transfer channel of atmospheric pollution "2+26 cities" in Beijing-Tianjin-Hebei region in March and the first quarter of 2017 announced by the Ministry of Environmental Protection, the environmental air quality of Beijing was No. 1 in the comprehensive index ranking.

Second, the rural environment is improved, and the livable degree is enhanced. The coal combustion will pollute the atmosphere, and the region where the polluting energy is to be impacted firstly. There will be stable weather in winter in the north of China frequently; the atmospheric pressure will be low in several days, cloudy, no wind, with very low air flowing. Under this kind of climatic conditions, the flue gas of low-altitude emission will gather around the chimney, and at this time, the air in the

community where each household is burning coal stove and small boiler will be very poor. In case of severity, people cannot stay outside, and cannot even stay at home where the coal is burning. Walking in the village, one will smell the pungent burning coal.

During the investigation in rural areas in the north at the beginning of the 21st century, the author saw that in regions where residential houses adopted coal stove and small boiler in a dense way, the pollution was very severe if they adopted bituminous coal. People there could not see the sun even at 9:00 A.M. if there was no wind. Walking out of the residential houses, it was found that there was a layer of flue gas in the position at the height of a person, and people would cough under this kind of conditions usually, and the respiratory disease was very frequently seen there. From the place farther away from the residential houses, it was found there was so much flue gas around and above residential houses that the village appearance could not be seen clearly. Although there were not many still days, the air quality as well as quality of life and physical health of people in the residential area were greatly impacted. After 2013, most rural areas in the north of China basically adopted gas and electricity for cooking, promoted clean coal and anthracite for heating, and then the air quality was improved to some extent, but was not changed fundamentally. Especially at dusk, each farmer household needed adding coal into small heating boiler to bank up fire, the air in the village was still full of flue gas obviously

though the coal was top grade.

Adopting clean energy, especially canceling coal-fired heating, makes the residential environment in rural areas change fundamentally. People have a healthy and clean living environment, and smoke in the village is also eliminated basically. For it is not necessary to store coal or firewood, the hygienic conditions in rural areas are also improved to some extent. The environment in the house becomes clean, and the respiratory disease patients are reduced accordingly. In addition, the waste quantity is reduced.

Third, the rural life style is changed, and the quality of life of farmers is improved. The environment in the village and in the room was poor when coal was adopted. The household in which the boiler was adopted was better, but it was necessary to transport coal, pour coal, make a fire, clear away stove ash and pour stove ash in winter, all of which would generate flying dust. Therefore, many families prepared working clothes for coal adding and ash removal, for they needed changing clothes to add coal for several times each day, and it was difficult for them to wear clean and tidy clothes. For it was dirty and troublesome, anyone in the family would not like to conduct coal combustion. The environment would be worse when the coal stove was adopted for heating. Besides preventing carbon monoxide poisoning, it was necessary to clear away dust in the room frequently. For the aged suffering from respiratory disease, it was hard in winter. In addition, in a winter, the coal consumption

of one family was 2-5t generally, and it was not difficult for young adults to sort and transport the coal, but for the aged above 70 years old, it was a heavy job. At present, most young adults are working in the city, and the people left in rural areas mainly refer to the aged and women, so the work quantity of coal combustion is a serious matter for most families in rural areas.

Rural families summarize five problems of heating via coal combustion. The first one is that there is severe safety hazard in heating with coal, and there may be occurrence of gas poisoning; the second is that it is difficult for the aged to make a fire for heating. In case of heating with coal, it is required to bank up fire at night, and then the room temperature will be relatively low and cannot meet the demand of defending against the cold; the third is that heating via coal combustion will generate a great deal of stove ash and rubbish, thus causing disorder stacking and placing of rubbish; in addition, streets in villages are narrow, so it will be very difficult to clear away the rubbish; sometimes, the rubbish may be ignited, thus aggravating the air pollution. The fourth is that the coal combustion causes much smoke in village, which is obvious in still days, thus causing respiratory disease easily. Moreover, the heating via coal combustion and making a fire needs going up the mountains to cut firewood, thus causing severe damage to vegetation and forest on the mountains.

From our investigation, it can be known that most farmers welcomed the work of switching coal to clean energy, and they believed that

this is one of important measures to improve their quality of life. Many investigated people reflected that they would like to use clean energy for heating even if the annual running cost of household heating is higher than that of coal combustion by more than RMB 1,000 due to less worry, and some families had changed their heating modes several years ago.

Although the heating of switching coal to electricity can make the rural environment change fundamentally, compared with other modes, the ground source heat pump has smaller impact on rural environment. With regard to the direct electric heating, it is necessary to add more transformers due to its high energy consumption; in addition, there are some hazards, and the heating area is relatively insufficient. The air source heat pump can reduce the installation of transformer to some extent, but numerous outdoor units release hot air in summer and cold air in winter, and some enterprises directly install their outdoor units on both sides of rural streets, thus making farmers feel inconvenient. In our investigation, some farmers also reflected the problem. However, the impact of ground source heat pump on environmental temperature is under the ground, and people will not feel it basically; meanwhile, the quantity of newly added transformers is less, so its impact on rural environment is smaller compared with other modes.

#### IV. More in Favor of Reduction of Heating Cost

Since the reform and opening up, especially

the implementation of construction of new socialist countryside, the income of farmers in China has been growing increasingly, with their quality of life enhanced constantly. However, China is a developing country, and the level of income per capita is much lower than that of developed countries, and the expenditure on necessities is also obviously higher than that of developed countries. Even if in regions in Beijing suburbs where the income per capita of farmers is relatively high, the proportion of heating cost is relatively high. From the data, it can be known that the heating expenditure in developed countries accounts for less than 2% to their income generally at present. For example, in 2010, the proportion of heating cost in winter of middle-income families in America to their family incomes was as below: 1.3% in case of adopting natural gas for heating and 1.7% in case of adopting electric power for heating. However, according to our investigation, the proportion of heating expenditure in winter of a farmer family in Beijing suburbs to the annual income was about 3-6%, and the proportion was higher in low-income families. Therefore, the heating cost is a high pressure for farmers. In addition, from the investigation, we also can know that the largest barrier for farmers to adopt clean energy for heating is the using cost. However, it is possible to not to increase economic burden to farmers in case of promoting ground source heat pump in rural areas as long as both design and construction are meticulous.

From the perspective of installation cost of

equipment, since the reform and opening up, the equipment installation cost for residential houses of farmers in Beijing suburbs shows a constant increasing trend. The main reason is that most farmer residential houses have been provided with functions of heating, cooling and supply of domestic hot water with the enhancement of income and quality of life of farmers in Beijing suburbs. In 2014, the quantity of air conditioners purchased every 100 farmer families exceeded 127; with regard to water heater, the quantity exceeded 97. In the future, the residential houses of farmers in Beijing suburbs will be the same as those in urban regions, and each of them will be provided with air conditioner and water heater besides heating appliance. The equipment input of ground source heat pump is equivalent to the sum of three items of input of general buildings, i.e. traditional heating, cooling and domestic hot water. For new buildings, the input of farmer households for buildings will not be increased as a whole.

More than 60% of consumed energy refers to renewable energy source when the ground source heat pump is heating. In case of calculating the electricity price as per the price for civil use as ruled by National Development and Reform Commission, compared with coal combustion, the running cost of heating with ground source heat pump will be equivalent to the small boiler using the coal of RMB 650/t. In case of calculating as per RMB 2.28/m<sup>3</sup>, the existing natural gas price in Beijing, the running cost of adopting ground source heat pump for heating will be lower by about 50% than that

of natural gas combustion; it will be 33% of running cost of directly electric heating and will be lower than 30% above than that of adopting air source heat pump. The ground source heat pump is low in heating cost; its cooling cost is also about 20% lower by that of air conditioner for it adopts shallow geothermal energy for cooling. The cost of supply of domestic hot water is 35% of direct heating type electric water heater. Farmers can reduce energy expenditure for their life to some extent in case of using ground source heat pump.

Besides lower using cost, the guarantee degree of heating with ground source heat pump is higher. The main reason is that the environmental air temperature during the utilization of air source heat pump is changed greatly, and the equipment efficiency will decline with the reduction of temperature. In cloudy days, par to air source heat pumps need frequent defrosting, thus reducing the heat supply capacity in the freezing period. For example, the heating capacity of a general 3HP air source heat pump may be reduced by 21.7% and 47.0% respectively at the outdoor temperatures of  $-7^{\circ}\text{C}$  and  $-20^{\circ}\text{C}$ , while this problem does not exist in case of using ground source heat pump. Some farmers also ever reflected the problem. For example, in 2015, several days in winter in Beijing were at extremely low temperature due to cold wave, and individual farmer households among several villages investigated by us reflected that the energy consumption of air source heat pump in those days were very

high, the heating effect was poor and indoor temperature was reduced. For heat source of ground source heat pump comes from shallow underground and is very stable, there will be not great change in temperature of heat pump source no matter in cold winter or hot summer. The ground source heat pump is relatively stable in heating efficiency, and then the indoor temperature; in addition, its cooling is more energy saving<sup>1</sup>. From the perspective of characteristics of equipment itself, the ground source heat pump is more suitable for users who need stable heating.

## V. More in Favor of Emission Reduction of Greenhouse Gases

Greenhouse gases refer to some gases in the atmosphere which may absorb the solar radiation reflected by the ground and re-emit radiation, such as water vapor, carbon dioxide and most refrigerants. Their function is to make the earth surface warmer, similar to greenhouse intercepting solar radiation to heat air in the greenhouse. The influence of the greenhouse gases making the earth warmer is called "greenhouse effect". The water vapor ( $\text{H}_2\text{O}$ ), carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), Nitrous Oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Freon and methane are main greenhouse gases in the atmosphere on the earth.

In recent 20 years, due to the using of a great deal of mineral fuel and increasing of greenhouse gases, the temperature on the earth is rising constantly and meteorological disasters are also increased greatly, thus being emphasized by all countries all over the world. Chinese Government

has paid much attention to this and adopted measures to deal with the climate change. In 2007, Chinese Government issued the National Program on Coping with Climate Change, the first national level program for coping with climate change. In 2015, Xi Jinping emphasized at the Climate Conference in Paris that China was always an active participant of the cause of coping with global climate change. As the Capital of China, Beijing should take the lead to reduce emission of greenhouse gases in China, and should contribute to reduction of greenhouse gases and relieving global climate change in China and all over the world, and rural areas in Beijing suburbs also should make every effort to realize the goal.

Promoting ground source heat pump can obviously reduce emission of greenhouse gases. Through calculation, it can be known that the coal-fired boiler may utilize about 60% of coal heat. A house of 100m<sup>2</sup> needs using 3t coal in a heating season. However, for the same heat supply amount, the air source heat pump needs electricity of 5,320kWh (calculated as per COP value of 2), and it is required to burn nearly 2t coal to generate the electricity (calculated as per 360g standard coal per kwh). The ground source heat pump only needs 3,488kWh electric power (calculated as per COP value of 3), and it is required to burn 1.4t coal to generate the electricity. In other words, under the same room temperature in winter, greenhouse gases emitted by ground source heat pump is only 50% of that emitted by coal-fired boiler; compared with air source

heat pump, it also can reduce about 30% of emission of greenhouse gases. According to United States Environmental Protection Agency (EPA), it is estimated that installing a set of 90KW air conditioner of ground source heat pump is equivalent to reducing emission of greenhouse gases of 12 vehicles and planting 6,000m<sup>2</sup> trees. The power of ground source heat pump installed in a farmer household of 100m<sup>2</sup> in Beijing is about 10kw, equivalent to reducing emission of greenhouse gases of 1.5 vehicles and planting trees of 1mu. If 100,000 farmer households install ground source heat pump, the effect of emission of greenhouse gases will be considerable.

At present, the rural areas in Beijing suburbs are under the switching from coal to clean energy, including part of ground source heat pumps. Beijing Municipal Government gives preferential policies to promotion of ground source heat pump, and has passed Beijing local standard of single well pumping and recharging technology. We believe that through a great deal of practice of using in a whole village, expanding propaganda and experience of model households, more and more villages and farmer households will realize advantages of ground source heat pump, recognize and install ground source heat pump, thus changing the appearance of rural areas during the energy saving, emission reduction and heating expenditure reduction, making quality of life of farmers enhanced, reducing emission of greenhouse gases, and improving the overall environmental quality of China.

# 地热能の春天

## ——开发利用亟待“国家探路、企业跟进”

### THE SPRING OF GROUND SOURCE ENERGY

#### ——Development and Utilization of "National Exploration Road, Enterprise Follow-Up"

作者：特邀记者 / 李晶

我们迎来了地热能开发利用的春天，这是科学网整理的一篇多吉院士谈及地热能的文章。这个“春天”，对从事地热能事业的人来说，等了很多年，终于到来了。

#### 出台首个地热能国家发展规划

2017年2月，第一个地热能的国家发展规划——《地热能开发利用‘十三五’规划》正式出台。根据规划，“十三五”期间地热能供暖（制冷）面积将新增11亿立方米，地热发电装机容量将新增500兆瓦。这也意味着，到了2020年，也就是“十三五”期末时，地热供暖（制冷）面积将累计达到16亿平方米，地热发电装机容量约达到530兆瓦。按照标准煤单位计算，2020年地热能年利

用量将达到7000万吨标准煤，其中京津冀约为2000万吨标准煤。仅初步估算，“十三五”期间地热能开发就将拉动2600亿元的投资。

所有的数字都在为地热能行业指引着一个逐渐向暖的方向，也明确显示出地热能在能源发展中的地位。

我国资源禀赋的特点是“富煤缺油少气”，因而，煤炭在能源结构中的比例一直居高不下。2015年的数据显示，煤炭占比为64.4%，石油、天然气和水电共占32.1%，核电、风电和太阳能等新型能源加起来仅有3.5%，而地热等其他能源占比仅能概述为“微小”。

2014年国务院颁布《能源发展战略行动计划2014-2020》，我国优化能源结构路径得以明确：

2020年,煤炭消费比重控制在62%以内,非化石能源占一次性能源消费比重将达到15%。地热能属于后者,是新兴的能源资源之一,正在蓄势待发。

地热能“十三五”规划后将怎么发展?发展态势如何?纵观从方兴未艾到走上高速发展之路的其他能源,其发展经历似乎已经为地热能的表现做出了预示。以风能为例,《可再生能源“十一五”发展规划》提出,“十一五”时期,全国新增风电装机容量约900万千瓦,到2010年,风电总装机容量达到1000万千瓦。在此后的相关政策的扶持和影响下,国内风能进入高速发展时期。中国风能协会数据显示,我国风电累计装机容量从2005年开始连续5年翻倍增长,截至2010年已经达到4473万千瓦,居世界第一;截至2015年底,我国风电装机容量累计已经达到14536万千瓦。同样发展迅猛的还有太阳能。

正是“十一五”和“十二五”期间的高速发展,使得风能和太阳能在我国开发利用规模,在十年间,分别上涨了103倍和635倍。从这一发展速度不难看出,地热产业发展在未来十年中的可能性。换言之,风能和太阳能等被纳入规划后的表现,也预示着地热能的发展速度极有可能呈现突飞猛进的态势。

### 摸底中国地热能储量

在能源结构调整、气候变化、大气污染治理中,地热等可再生清洁能源发挥的作用将越来越大。而对地热资源的摸底,则将其发展奠定坚实的基础。

2011年开始部署的“全国地热资源调查评价”工作,基本上摸清了我国地热资源的家底。包括浅层地温能、水热型地热、干热岩等三种地球内部的可再生热能,在我国均有分布,且蕴藏丰富。

其中浅层地温能,埋藏深度较浅、温度一般

低于25摄氏度,我国336个主要城市可利用量总和,折合可达每年7亿吨标准煤。水热型地热资源,已探明地热流体可采热量折合每年1.17亿吨标准煤;干热岩资源潜力评估可折合860万吨标准煤。

实际上,我国地热能的发展从起步阶段至今已经走过很长一段路,但始终没有进入“快车道”。据了解,我国的地热普查、勘探和利用最早开始于20世纪70年代。我国卓越的地质学家李四光曾对地热开发利用提出许多著名论断,并对北京、天津等城市的地热工作给予了重要的指导性意见。他将地热开发利用视为“人类历史上开辟的一个新能源”,并表示“一定要打开(地球)这个庞大无比的热库,让它为人民所利用。”同一时代,我国建设了广东丰顺等7个中低温地热能电站,并于1977年,在西藏羊八井建设了24兆瓦中高温地热发电站。

20世纪80年代,我国地热能勘察和评价的地热田近50处,为地热能开发和利用提供了大批后备基地。20世纪90年代,国家对局部地区地热勘察项目投入了经费,这也意味着,我国城市地热开发的发展道路要沿着产业化、市场化方向继续前行,地热利用的功能更加多样化,尤其在拥有丰富盆地型地热资源的平原地区,人们利用地热采暖、热供水、沐浴、医疗、康复、旅游、温室种植、水产养殖等效益显著。2008年奥运会期间,“绿色奥运”的办赛理念也推动地热能资源的利用上了新的台阶。比赛过程中温泉沐浴、矿泉理疗等方式确保了运动员恢复、保持旺盛体力。

发电和直接利用,是我国针对地热资源的开发利用主要两个方面。截至2015年底,我国地热发电总装机容量为27.28兆瓦,排名世界第18位。而在直接利用方面,还有很大的可开发利用空间,尤其是针对25摄氏度以下的浅层地热能,关系人们生活最近的应用就包括利用地源热泵进行供暖和制冷。

### 浅层地热能独特优势

迄今为止，人们生活中的供暖资源仍主要来自于煤炭的直接燃烧。在冬季，北京地区的供暖期为4个月左右，东北地区则近6个月。这不仅使得雾霾问题日趋严峻，也造成能源的极大浪费。因而，新时期的供暖应运而生了几种重要的替代措施：如电能直接转化热能、电能转化机械能搬运空气能、电能转化机械能搬运浅层地能为建筑物供暖。

人类居住的环境温度只要达到18至22摄氏度，就可以进行正常的生活、生产活动。煤炭燃烧可以达到的温度，在工业上可以满足炼钢等高品质需求，因而被视为高品质的能源。显而易见的是，高品质能源能够实现的热效果，远远超过对居住供暖的需求。

在北京建筑设计研究院顾问总工程师吴德绳看来，高品质能源进行建筑供暖是浪费了能源的品位。而适合的替代能源就包括温度一般在15摄氏度的浅层地能。利用相关技术，浅层地能资源将能够无污染的智慧供暖。

浅层地能主要来源于太阳辐射，是一种取之不尽、用之不完，且再生速度快的能源。但浅层地能也有难于收集的缺点。因而，近三十年，国际上利用地源热泵技术开发浅层地能，被称为节能和减排效率最高的单项技术。

地源热泵技术通过输入少量的高品质能源，即电能，可实现能量从低温热源向高温环境的转移。形象的说，冬季，地源热泵从土壤中“取”热量，为室内采暖；夏季，地源热泵从室内“取”热量释放到土壤中。这一取一释放，即可保证人们常年的采暖（制冷）需求。

北京市海淀区外国语学校在教学楼、科技楼、宿舍楼等8栋大型建筑中，最早尝试了相关技术，一个来自北京恒有源科技发展有限公司的“中央液态冷热源环境系统”。该系统核心是“单井循环换

热核心技术”，能利用浅层地能为建筑物提供三联供（供暖、供热水、制冷），整个过程“零”污染，节约供暖用能，使建筑物能耗50%以上来自可再生的浅层地能。

采用该系统后，学校总面积6万多平方米的室内冬季采暖平均温度可达20.1摄氏度时，并可根据需要随时调节。2002年供暖期间的实际耗电费用为19.14元/平方米，与北京市燃煤采暖费用水平相当。如遇到“气荒”“电荒”，采用该系统取暖基本不受影响。

经过多年发展，恒有源又陆续推出包括自采暖系统的地能热宝、集中供暖的地能热泵环境系统、城镇热力的50~900MW分布式地能冷热源站等，以单井循环换热地能采集技术为核心的产品。截至目前，已经实现地能无燃烧为1500多万平方米建筑物智慧供暖，每年可节约41.12万吨标煤。

据专家测算，北京地下400米内土壤、砂岩中浅层地能每年可提供40亿吨标准煤的热量，相当于2003年北京供暖能耗的364倍。

#### 浅层地热发展的挑战与机遇

清洁、高效、可持续发展，应该是理想能源的基本要求，浅层地能应该算是其中之一。欧美发达国家使用浅层地能供暖比例超过30%，在我国还不足1%。

当前阶段，地热能开发利用已经进入了新的阶段。其中，浅层地能的开发利用，对构建资源节约型和环境友好型社会、保障国家能源安全、改善现有能源结构、促进节能减排等目标均具有现实意义。

近期举行的2017第九届中国地源热泵行业高层论坛上，地热能领域的专家对浅层地能的发展给予了新的思路。中国地质调查局浅层地温能研究推广中心常务副主任李宁波表示，如何提高浅层地温能采用效率，在资源可恢复的强度范围

内开发利用，保障资源的科学、可持续利用将是行业发展的关键问题。

针对雄安新区的能源布局，中国地质科学院水文地质环境地质研究所地热研究室主任王贵玲给予建议。他认为，雄安新区内公用建筑，建议使用浅层地温能；居民区建筑物供暖，应以开发深部岩溶地下热水资源为主；乡村应积极推广应用浅层地温能供暖。

事实上，我国更大范围的浅层地能开发利用仍需要进一步的研究和思考。尤其是目前浅层地能在内的地热能源的开发利用仍然是新兴产业，急需人才、技术、装备，更需要政策的支持和积极引导。

“地热能的开发利用现状和国家的目标还有差距，根据当前的地热能发展情况，除了技术支撑和国家政策支持，最需要的就是培养和引进专业技术人才”，正如多吉院士在科学网的文章所言，“在看不到路的情况下，谁都不敢走，必须要国家探路，开辟一个比较安全的路子，企业才能跟进。”

纵观现阶段的发展情况，并展望未来的发展前景：科技指导、多学科融合发展将是地热能行业发展的趋势；科学规划、安全合理的应用地热能则是技术保障的前提；打破壁垒、吸引人才是地热能厚积薄发的基础；政策扶持、资本汇聚则将为地热能可持续发展提供根本的保障。

# 浅层地热能适宜性分区结构的分形原理

## FRACTAL THEORY OF SUITABILITY ZONING STRUCTURE OF SHALLOW GEOTHERMAL ENERGY

作者：周阳（陕西省地质调查中心） 邓念东（西安科技大学地质与环境学院）

**摘要：**可再生的新型环保能源浅层地热能开发利用前景广阔。由于区域地质条件复杂，借用分形原理可将原来研究中所采用的还原论方法即线性问题处理方法转换为更符合地质条件本质特征的非线性处理方法。探讨了浅层地热能赋存条件适宜性分区结构的分形维数及标度与分形维数的关系；简析了面状地形地貌信息几何属性对分维值的影响。研究表明，浅层地热能适宜性分区结构存在明显的分形特征，其分形维数较好地反映了适宜性分区轮廓的曲折程度，分形数越大，则轮廓线越不规则。旨在为浅层地热能调查评价工作提供全新的非线性化的处理方法，对分形理论的实际应用和浅层地热能的开发工作都有较强的理论和实际意义。

### 引言：

在能源短缺和环境污染的双重压力下，浅层地热能作为一种清洁可再生新能源以其强大的生命力和竞争力日益受到国家和地方政府的重视。影响浅层地热能赋存资源量的因素包括地层岩性、厚度、含水层结构、富水性、水位埋深以及补给径流条件等诸多子系统，这类子系统数量多，地质条件复杂，地貌类型多样，而且系统相互间的功能和行为不是各子系统功能和行为的简单叠加或复合，可以称得上是“极其复杂的巨系统”。以往研究人员常使用还原论方法线性处理适宜性分区评价指标的问题，在评价过程中，人为的定义评价矩阵中不同地质条件的权重，无法定量适宜性分区图。考虑到传统的定量方法对描述自然界中连绵的地层、地表及河流等自然构型方面的无力，引入一种解决这些难题的思路和方法，即分形理论。通过该理论，不再将复杂的非线性问题转化为简单的线性

问题来处理,用符合浅层地热能地质地貌条件本身性质、特征的眼光来观察地质现象本身,逐步真实、全面地刻画浅层地热能信息的性质、特征和规律。对科学评价浅层地热能赋存条件、储量估算以及分形理论的发展和延伸有较强的理论和实践意义。

本文利用回归分析法验证了浅层地热能赋存条件适宜性分区结构的分形维数,并探讨了标度与分形维数的关系,即证明适宜性结构分区在上述一定变化标度内具有分形结构;通过面积-周长法和盒维数法的计算结果,简析了面状地形地貌信息几何属性对分维值的影响。

## 1 分形学简介

分形原意是指不规则的物体或图形,通过混乱现象和不规则运动揭示隐藏在它们背后的局部与整体的本质联系和运动规律。欧式几何学的研究对象为规整的几何图像,这类图像的长度、面积和体积的纲量分别是长度单位的1、2和3次方,恰好与这些图形所在空间的欧式几何维数相等,且均为整数。该维数与决定几何形状的自由度数是一致的,因此定义自由度数作为经验维数,但Peano曲线的出现使人们对经验维数产生了质疑,Peano曲线可定义为图中折线的极限,一条Peano曲线可以把平面完全覆盖。该曲线处处不能微分,被称为非规整几何图形。现阶段往往把取非整数值的维数统称为分形维数,如盒子维数、面积-周长维数等,可视为广义上的维数。由于测定维数对象不同,就某一个分形维数的定义而言,有些对象可能适用,另一些则不完全适用,因此在使用过程中往往要进行多次尝试,找到一个对任何对象都适用的定义。

## 2 浅层地热能适宜性分区结构的分形

浅层地热能资源蕴藏在地下岩土体内,其储

藏、运移以及开采利用都受到区域地质、水文地质及工程地质条件等多种因素的影响,在不同区域蕴藏于地下岩土体内的浅层地热资源规模和利用方式存在较大差异。地层岩性、厚度、含水层结构、富水性、水位埋深以及补给径流条件等是制约浅层地热能赋存分布及可利用性的主要因素。只有在浅层地热能资源开发利用方式适宜性区划的基础上,才能进一步进行资源量计算和资源潜力评价。

分形理论产生后,成为研究面状结构的新方法,分维值也逐渐成为常用指标之一。目前关于浅层地热能适宜性分区结构的分形研究鲜有报道,本文以渭南市地下水热泵适宜性分区的分形维数计算过程为例,对该方面研究做初步探讨。

渭南市地处渭河盆地东部,属暖温带半湿润大陆性季风气候,四季分明。区内地势南高北低呈阶梯状降落,为黄土台塬和渭河冲积平原,南侧黄土台塬下为秦岭基岩山地。区内主要河流为渭河,自西向东纵贯全区,南岸有多条支流,大都呈SN向平行分布。区内潜水水文地质条件良好(图1),河漫滩、冲洪积扇含水层厚,岩性较粗,渗透较快,富水性较好,渗透系数介于13.8~98.1 m/d,涌水量介于860~1500 m<sup>3</sup>/d;渭河阶地渗透系数3.7~8.48 m/d,涌水量仅792~968 m<sup>3</sup>/d。承压水位受地形地势影响较

小(图2),河漫滩、冲洪积扇处单位涌水量介于 $5\sim 15\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$ ,渗透系数介于 $20\sim 50\text{m}/\text{d}$ ;在渭河南部一级阶地后缘处,单位涌水量一般 $<5\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$ 。

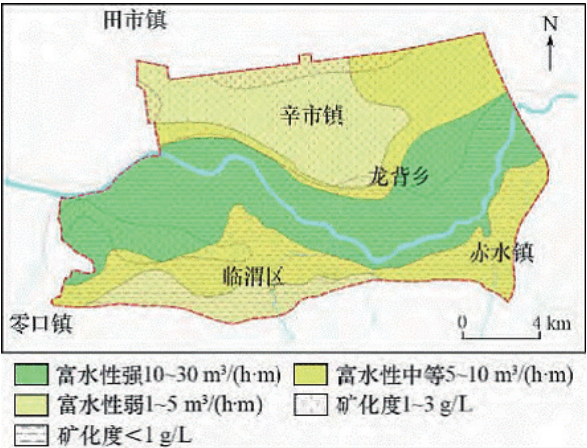


图1 潜水水文地质图

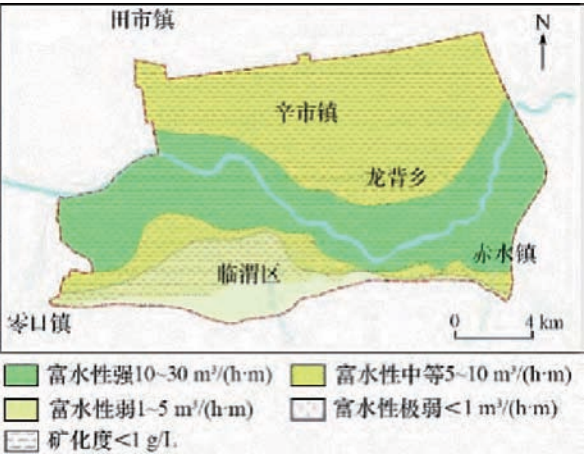


图2 承压水文地质图

本次浅层地热能适宜性分区评价采用综合指数法,考虑地下水源热泵,主要考虑含水层岩性、分布、埋深、厚度、富水性、渗透性,地下水温、水位动态变化、水源地保护、地质灾害等指标。根据上述分区体系,应用MapGIS6.7软件,结合城区地形地貌条件、水文地质条件以及试验数据等

资料,划分出适宜性分区界限,采用编辑子系统拓补查错和拓补重建、图面整饰等工作,从而得到地下水地源热泵系统适宜性分区评价图。适宜性评价分区图中根据评价指标可以分为4个区域:浅层地热能地下水源热泵系统应用适宜区(简称适宜区)、浅层地热能地下水源热泵系统应用较适宜区(简称较适宜区)、浅层地热能地下水源热泵系统应用不适宜区(简称不适宜区)、水源地规划保护区(简称水源地)。依据规范,水源地保护区内不允许修建地下水源热泵系统。

3 面状信息几何属性对适宜性分区分维值的影响

3.1 适宜性分区形状缀块指数

将标度定义为盒子的边长 $r$ ,采用盒子法统计平面集 $F$ 的覆盖面积占一半以上的正方形,这种方法并未将图斑的周长考虑在内。下面,首先引入常用的景观指数——缀块形状指数来全面地考虑图斑的周长和面积这两种因素对图斑分维数的共同影响。其次,由于适宜性分区结构图是不规则的封闭图形,采用周长-面积法求取其分维值,然后与盒子计数法对比,探讨面积和周长等属性对分维值的影响。

3.2 面状信息几何属性对不同分形维数的影响

整理上述3种分形维数计算方法(表1),发现在考虑分区结构图形几何属性情况下的缀块指数和分形维数与之前的盒维数并不对应,主要指较适宜性分区的缀块指数或分维值低于其他3项。

这是由于较适宜性分区主要分布在河流南北岸的一级阶地和部分二级阶地。地层岩性上部主要为浅黄、棕黄色砂质黏土,孔隙发育,疏松可塑;下部岩性主要是中粗砂和砂砾石夹砂质黏土层。该地段地下水的抽灌条件相对较好,为采用地下水地源热泵系统的较适宜区。因此,整个较适宜性分区呈

表 1 面状几何信息参数

| 性质       | 适宜性   | 较适宜性  | 不适宜性  | 水源地   |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| 盒维数      | 2. 07 | 2. 13 | 2. 22 | 2. 48 |
| 缀块指数     | 3. 79 | 2. 76 | 3. 38 | 3. 02 |
| 面积 - 周长法 | 3. 40 | 2. 63 | 2. 87 | 2. 71 |

大片区状，边界不复杂，贯通性好。适宜区主要分布在河流漫滩和部分一级阶地上，为地质条件简单强富水带地区，地层岩性上部为粉质砂土，疏松，孔隙发育，具微层理，偶见瓦砾碎片；下部为含砾中粗砂。地层导水性好且地下水埋深适中，单井回灌水量与单位涌水量比值大于80%，适宜地下水抽灌，多年平均水位下降量小，为采用地下水地源热泵系统的适宜区。但考虑到本区中包含数个水源地，参照浅层地热能调查规范，在地下水适宜性评价过程中，水源地规划区直接列入不适宜区，导致适宜区整体结构破碎，边界复杂化。

地下水地源热泵不适宜区一部分分布于调查区南部河流二级阶地及黄土塬区，富水性较差，而且本区二级阶地顶部为一层砂质黏土，连续性好，层位稳定，透水性弱；另一部分为河流一级阶地和漫滩处的数个水源(图3)。

盒子维数的思想与实现都较简便，但在实际计算过程中由于一个小盒内只要包含了分形图形的一个临界点或者图形面积占小盒面积的一半以上，该小盒将被视为非空小盒，因此对计算结果的精准度影响较大，不能精准地反映分形图形的内部不均匀性。面积 - 周长法或缀块指数充分考虑了图形边界的曲折程度，较符合面状信息的实际几何属性。



图 3 渭南市浅层地热能地下水适宜性分区

4 结论

浅层地热能开发利用适宜性分区是资源调查评价工作的主要内容，根据城区工程地质、水文地质等分区条件，利用指标法确定浅层地热能适宜性分区，评价结果科学准确，能客观反映评价区开发利用适宜性特征。借用分形原理将已有研究中所采用的还原论方法即线性问题处理方法转换为更符合地质条件本质特征的非线性处理方法，通过对比不同分形维数计算方法下的浅层地热能适宜性分区结构，量化了不规则的适宜性分区图形，探讨了面状地形地貌信息几何属性对分维值的影响，对分形理论的实际应用和浅层地热能的开发工作都有较强的理论和实际意义。

节选自《中国地质调查》

# 我国城镇建筑供暖： 能源和供暖方式的抉择

## URBAN BUILDING HEATING IN OUR COUNTRY SELECTION OF ENERGY SOURCE AND HEATING MODE

作者：程韧（原国防科工委节能中心副主任、哈尔滨工业大学热能工程实验室主任）

前言：

我国城镇建筑供暖能源已占能源消费量的 1/3 以上，一般达 40%。能完成建筑供暖任务的能源有多种，有燃烧供热、核供热、地热能和用电供暖。城镇供暖能源取舍应遵循一定的原则，既要考虑现实又要着眼于发展。城镇供暖能源的首选是天然气和电采暖，供暖方式首选是燃气热电联产集中供热和热泵区域分散式供暖。加大城镇电采暖发展力度，特别是浅层地能供暖是电采暖方式中经济节电的最佳选择。

### 一、我国城镇建筑供暖能源现状

21世纪，世界各国政府都在为改善全球生态环境推广清洁能源，进一步开发可再生能源。习主席代表中国政府在国际环境会议上郑重宣布：中国到2030年之前CO<sub>2</sub>排放量达极值。中国开展能源结构性的革命，十三五计划实施全国性的能源消费总量控制，全力压缩煤炭消费，开展钢铁、煤炭去产能，全国加大清洁能源和可再生能源的推广力度。

我国地域辽阔（有新疆、西藏、东北的严寒

的地区；有河北、山东、山西、宁夏、青海、内蒙等地的寒冷地区；有江苏、湖南、湖北、江西、四川北部等夏热冬冷地区；有广东、广西、福建、海南等夏热冬暖地区；有云南、四川东部等温和地区），北纬33度秦岭淮河以北的严寒、寒冷地区，所谓三北地区在70年代被国家规定为集中供暖区。秦淮线以南的长江沿岸14省市是夏热冬寒地区，随着人们生活水平的提高，冬季引进了采暖。集中供暖政策是计划经济的安排，也是学习苏联经济的结果。

天然气和电是人们生活的必需品，家庭炊事用气、设备电气化是民生福祉的体现，管道输气、高压配电是国家对城镇能源基础设施投资的重要内容。

目前，全国建筑面积超过600亿 $m^2$ ，建筑能源消耗已突破我国一次性能源消费比例的1/3以上、达40%左右，必须明确我国城镇建筑供热能源的取舍。当前从现实出发或城镇建筑供暖能源选择的选择是：

- 1.建筑周边的生态环境、能源的清洁化；
- 2.确保最冷天气的室内温度需求；
- 3.用能设备的安全、节能、方便；
- 4.供暖费用的可接受程度；
- 5.城镇能源供应的保证。

建筑供暖的能源是多元化的，考虑到城镇集中供暖、联合区域供暖以及分散独立供暖的现实情况，天然气和电采暖是我国城镇供暖能源的首选。

### 1. 燃烧供暖

煤油气生物质燃烧供暖，这是国内外传统的燃

烧供暖能源，这是国内外传统的燃烧供暖能源，城镇热电联产集中供暖也是国内外日益普遍采用的方式，只不过我国热电联产供热多为燃煤，国外发达国家热电联产多半燃用相对清洁材料和气体燃料。

城镇建筑冬季供暖，室内温度一般要求在20℃左右，主要依靠燃烧供暖，不仅污染严重，而且能源利用率不高、不合理，特别是燃烧煤炭，不仅是PM2.5的元凶，还把灰量占20%-30%的煤运送到城镇。天然气相对煤炭来说，是属于清洁能源国家基础设施投资已将天然气和液化石油气输送至城镇家庭中供炊事用。城镇热电联产集中供热网加大天然气使用力度，使用清洁能源不仅环保，而且能源效率可提高至85%左右，供热的价格由各地政府统一管理、费用较低、群众可接受。因此，城镇集中供暖、热电联产热网由燃煤改成燃用天然气是我国热电厂发展的方向。生物质能（秸秆、沼气等）是可再生能源，也是农村能源，它需要社会、政府组织资源的开采、储存、运输，虽然资源量较大，



但尚不适合作为城镇供暖能源。

## 2. 核供热

当今，全世界经济约有16%的电能量是由441座核反应堆生产。核电是清洁能源，不存在温室气体和有毒气体排放问题，更加干净、无污染、近于零排放，但因为存在安全隐患问题，所以作为城镇建筑供暖能源要慎之又慎，原因：

- 1.城镇人口集聚，不能有丝毫安全隐患；
- 2.我国城镇普遍缺水，低温核供热耗水大；
- 3.核供热厂规模受限。

我国核电发展很快，到2020年将达7000万KW水平，发电占比将达到8%，在建机组居世界首位。虽然核电发展很快，但作为城镇低温核供暖机组推广要谨慎。

## 3. 地热供暖

深层地热通常埋藏在地下2000米以上，出水温度可达60-160℃，可直接供热洗浴，这种能源可再生的速度很慢。据估算，全球5000米深度以内的地热相当于5000万亿吨标煤，是全球全部化石能源资源量的数百倍，我国到2020年能源消费总量约为48亿吨标煤，届时地热占比将达到1.5%（目前约为0.5%），即非化石能源在一次能源消费中占比由12%提到15%，地热占1/3。在应对气候变化方面，在“十三五”规划中我国地热能实现替代标煤7210万吨，排放CO<sub>2</sub>为1.77亿吨。我国在地热直接利用中，浅层地热供暖占58%，中深层地热供暖占19%，温泉洗浴占18%。京津冀中深层地热资源丰富，河北雄县95%以上实现地热集中供暖。我国人口聚集的城镇是有局限性的，深层地热并不是到处存在，它的形成时间很长（数百数千年），且需具备三个条件（地芯热、地下水和防流失的地质结构），因此，深层地热暂不成为我国城镇供暖能源的重点。

## 4. 电供暖

电是二次能源，也是清洁能源，它的产生可以

由火电、核电、风电、水电等组成，它便于输送到城镇，影响城镇民生很多方面。国家基础设施把电输配到城镇，经过变压输送至家庭用户，除生活用电外，冬季采暖、空调都用它作为能源，清洁无排放、用能效率高、控制方便。电采暖除政府控制费用外，用好蓄能用电、峰谷平用电、低温热源电动热泵等能源合同管理手段，电采暖的运行费用可以被广大民众接受、多种形式的电采暖（发热电缆、电热联、空气源热泵、浅层地能热泵、电暖气、电锅炉等）是城镇建筑供暖最清洁、舒适可控的替煤能源，是我国城镇供暖能源发展方向。

## 5. 太阳能辅助供暖

我国在太阳能的利用方面居世界首位，无论规模、数量、市场化核心技术、民族品牌方面都处于世界领先水平。全国光伏电池及组装厂已有10多家，制造能力达10万KW以上，光热产业技术领先于世界，自主知识产权率高达95%以上，2008年全国太阳能热水器使用量有9000万台，占世界的76%，供热面积1.35亿m<sup>2</sup>，年制造能力超过200万m<sup>2</sup>，使用量和年产量占世界总量的50%以上。

太阳能主要用于发电和洗浴，由于气候的周期性，可作为辅助供暖能源。

## 二、我国城镇建筑供暖方式首推是，热电联产城市热网集中供热和电动热泵区域分散式供暖

根据我国南北地区的实际情况和借鉴国外建筑供暖的经验，供暖方式普遍有三种：

- 1.城市热网集中供暖；
- 2.区域锅炉房联产供暖；
- 3.建筑独立分散供暖。

城镇建筑有大有小，有集中有分散，功能有多种，电厂的热电联产集中供暖可以节约能源，与凝

汽式发电厂比较,能源效率可由35%提高到85%,但是供热半径不易过大,规模要合理,严防事后扩大供暖面积,造成水力不平衡。我国过去是以煤燃烧为主的,热电联产锅炉70%以上是燃烧煤炭,缺乏SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、粉末排放综合治理,应逐步去煤改气。当前在城镇供气不足的情况下,可考虑用热泵实现集中供暖。

城镇区域锅炉房联片供暖,基本上应杜绝燃煤,应改为燃气锅炉房。区域锅炉联片供暖的规模不大,大多受城市建筑环境和管理的限制,环境排放污染的治理有不足之处,外加供气的限制,所以应统一用热泵供暖来取代,热泵供暖目前单机可供10余万m<sup>2</sup>,用适当规模的低品位可再生能源和热泵站联片供暖完全可取代燃气区域锅炉房联片供暖。

单独建筑的分散独立供暖使用电采暖是最佳的选择,在条件允许的情况下,家庭炊事洗涤用气的同时结合燃气炉地板采暖也是可以的,但是以上靠分散的燃烧供暖,伴随有分散的排放污染,并且用变温燃烧来解决低温环境也是不合理的。我们应倡导无燃烧供暖,用电能来实现分散独立的供暖,不仅家庭的环境干净、舒适,操作也变得简单方便。电采暖有多种形式(如:电暖气、电炉房、发热电缆、电热联、地板采暖、空气热源、等)。

为降低使用费用,设备要考虑不直接用电供暖,要考虑蓄能用电、峰谷平用电、气候用电、热泵用电等节电供暖方式。有的地区冬季适合空气源热泵,但是对于冬季严寒地区,用浅层地能热泵技术是最合理的供暖方式,它的使用运行费用是各种采暖方式中最低的,也是最易被大众接受的,其单独计量、方便管理、是最佳的选择。

### 三、我国城镇浅层地能供暖是最经济最现实最佳的选择

城镇电能的获得手段是多样化的,有化石燃料

燃烧的火电、光伏发电、风力发电、水力发电以及核能发电等。“十三五”国家投入2万亿,高压输配容量达21亿千伏安,线路长达101万公里,户均配变容量不低于2千伏安。

电采暖的种类繁多(碳纤维发热电缆、电热联、纳米碳发热地砖、电暖气等)。2013年我国的发电量达5.35万亿kWh,全国装机容量12.5亿kW且超过美国,位居世界第一。2014年全国发电量增至5.5万亿kWh,装机容量增加至13.6亿kW,人均装机容量历史性突破1kw。但我国人均用电量仅为4038kWh,日本、法国超过7000kWh,而美国人均用电量是12941kWh。2014年我国发电结构为火电占75.2%,水电站19.2%、风电站2.59%、核电站2.25%,其它占0.76%。

国家电力供应逐步加大,电力基础设施投入不断增加。电采暖不仅提高民生福祉、改善城镇生活环境、降低PM2.5的污染,而且其作为城镇建筑供暖能源,是实现城镇无燃烧供热的最佳选择。我们提倡城镇建筑供暖无燃烧供热,在各种采暖方式中,极力推广节能型的采暖方式,即不采用专用电直接加热的方式。空气源热泵和地源热泵供暖是节能型的采暖方式,空气和浅层地能可再生的低温能源作为电能的补充,可使整个供暖系统节电20%—30%。空气源热泵吸入的低温热源是空气,冬季供暖时,容易受气候影响。一般北方气温低,使空气源热泵连年效率下降,设备运行时易结霜结冰,影响设备的安全性,为保证供暖的需求,需提供一部分热融化冰霜,空气源热泵不太适用于气温低于零下15℃的气温条件或湿度过大(>60%—70%)的冬季供暖地区。浅层地能热泵的低温热源是来自浅层地下,它的温度相对稳定,冬季北方最冷的温度也在4—5℃,北京地区一般低温热源温度在10—15℃之间,因此热泵的COP最低也在3—4以上,运行安全可靠,所以浅层地源热泵是最节电型的采暖方式。

# 开发浅层地能是一大治霾利器

——访著名水文地质专家、国务院资深参事  
王秉忱

## DEVELOPMENT OF SHALLOW GROUND SOURCE ENERGY IS A GOOD METHOD FOR HAZE CONTROL

——Visiting Wang Bingchen, a Famous  
Hydro-geological Expert and Senior  
Counselor of the State Council

作者：滕玲



“大气污染防治前瞻论坛”近日在中国国际展览中心隆重召开，大会以“实施环境第三方治理，推动环保产业发展”为主题。出席论坛的国务院资深参事、中国工程勘察大师王秉忱教授在接受《地球》记者采访时表示，国内外的实践证明，开发利用地热资源作为代替传统化石能源的绿色能源，是节能减排的重要手段，对治理雾霾起到了重要作用。

国内浅层地能开发利用市场巨大

王秉忱表示，党的十八大把生态文

明建设放在突出地位，生态环境建设任务极其繁重。在习近平总书记提出的五大发展理念“创新、协调、绿色、开放、共享”当中，绿色发展成为主题，因而大力开发利用绿色能源、可再生能源，以满足资源节约与环境友好型社会建设的需要，成为当务之急。尤其是近年来，我国大部分地区雾霾天气污染形势严峻，直接威胁人民身体健康，已引起国家领导人和各界人士及广大人民群众的高度关注。

“我们几位国务院参事从2005年开始，连续跟踪调研我国地热资源的合理开发利用问题，特别是从国务院层面上推动浅层地（温、热）能的开发利用，已取得了明显效果。”

王秉忱表示，尽管这项工作在我国起步较晚，但发展速度很快，开发利用规模很大，已居世界前列。目前，国内浅层地热能开发利用市场巨大，我国“十三五”能源规划将大幅度提高可再生能源比重，政府部门将重点推进地热能开发利用，我国地热能产业将迎来快速发展时期。

地热能具有储量丰富、分布广、用途多、稳定性好且可循环利用的特点，不受气候、季节及昼夜变化等外界因素的干扰，是解决能源紧缺、制约经济发展及生态建设与能源污染问题的重要手段，将在国家能源结构调整和节能减排工作中发挥重要的作用。“十二五”期间，国土资源部已投入六亿元资金开展全国地热资源勘查、评价项目，取得重要进展。其中，包括全国31个省会城市浅层地能开发利用总能量折合标准煤4.67亿吨。

今年1月3～5日，于河北省石家庄市成功召开了“2017中国地热产业与地源热泵技术交流会”，到会的领导、专家和企业达400人之多，如果不是所有航班被取消，将有近500人到会，可见会议规模之大和大家对地热开发利用事

业的关心。王秉忱介绍说：“这次在全国雾霾最严重的城市开会，让大家深刻体会到我国雾霾问题的严重及其治理的重要性和迫切性，我们地热工作者肩负的治理雾霾任务极其艰巨。我们期望通过这个高峰论坛进行一些探讨，以利解决我国的严重大气污染问题。”

### 雾霾的成因

王秉忱告诉《地球》记者，我国的雾霾日益严重，不仅在京津冀等北方地区，几乎全国到处都有，就连上海、三亚等滨海地区也被雾霾笼罩，而且出现雾霾的天数不断增多，对居民身体健康的危害也越来越重。

“石家庄是雾霾最严重的典型地区，真是天昏地暗，能见度仅有50米，空气刺鼻呛人，难以忍受。过去北京还到不了这种程度，但北京严重雾霾期间，我也明显感到刺鼻的气味。今年春季以来，以京津冀为首的20多个城市大范围地连续多次发布雾霾红色预警，已令广大人民群众吃尽了苦头。人们不禁要问，各地政府部门已采取了工厂停工，建筑工地停止作业，国Ⅰ、国Ⅱ低标车禁行和汽车单双号行驶以减少尾气排放等多项措施，为什么雾霾还如此严重？老百姓讽刺说，什么都不管用，还得靠风过日子，过去人们怕刮大风，现在就盼望刮风，风越大越好。”

他表示，关于雾霾的成因，国务院资深参事沈梦培在石家庄会议上的发言中谈到：燃烧方式的供暖和烟气低空直排是产生雾霾的重要原因。中国工程院院士、北京大学环境科学系教授唐孝炎指出，由于燃烧煤、天然气、庄稼秸秆及石油制品产生大量二氧化硫、氮氧化物和挥发性有机物等污染物，形成硫酸和硫酸盐、硝酸和硝酸盐等物质，当大气湿度低于80%，这些污染物就



逐渐形成霾的颗粒，这种颗粒的光效应使能见度下降到10 公里以内甚至更低，对光传播造成视觉障碍，这就是霾；如果湿度高于90% 就变成轻雾，水汽更大时就成为雾，雾容易散去，而霾就难了，霾所在空间一般是3 公里以下，如果上空存在逆温层，而水平方向无风或风很小，空气上下对流或水平流动不畅通时，霾就无法散去。

“由于我国的雾霾成为影响国计民生的重要因素，各级政府都在想方设法解决这个问题，当然对环境保护部门的工作是重要考验。前任环保部长陈吉宁在回答记者问时谈到，经过近几年的治理，我国的PM2.5 数值总体上平均下降了30%，说明治理还是有成效的。还谈到雾霾的祸根是烧煤和烧天然气，他指出京津冀

及周围地区占全国国土面积的7.2%，但所消耗的煤炭总量却达到33%。另外，汽车尾气也是产生雾霾的元凶之一，我国机动车保有量为3亿辆，其中汽车的保有量为1.9 亿辆，而且还在有增无减。也还提到非绿色生活方式，等等。”

王秉忱介绍说，陈吉宁提出要采取六项应对治理措施，而减少燃煤量成为首要措施，要加大对燃煤锅炉的取缔力度。在这方面北京的行动很快，北京市已提出“无煤化”工作方案，到今年年底，北京城六区要实现“无煤化”，其中的东城区、西城区和海淀区在去年就已实现了“无煤化”。不烧煤也不靠烧天然气，因为天然气的质量也不干净。不烧煤、不烧油，那么，靠什么供暖呢？国内外的实践证明，利用地源热泵技术开发浅层地能是非常有效的节能减排手段。

#### 地源热泵技术研究新进展

王秉忱表示，近几年，由建设综合勘察研究设计院有限公司（住建部建设环境工程技术中心的挂靠单位）为课题负责单位，根据产、学、研结合的原则，带领其他四个单位承担了国家“十二五”科技支撑计划课题，在2015 年\_\_完成了在北京地区实施的项目，取得重要成果，

并以重要学术论文形式全文刊载在由科技部主管的《科学文摘报》上；摘要的内容刊载在《地下水》杂志2016年第2期上。

这个课题的研究进展包括：

一，研发的新型岩土热物性测试仪可以测得厚度大于0.25m的岩土层的导热系数及不同岩土层的初始温度，而传统稳定热流热响应法只能得到岩土层初始平均温度。由于常规使用的岩土热响应测试采用线热源模型，并且将地埋管当做一个整体进行计算。与新型岩土热物性测试仪的柱热源相比，在模型选择上存在误差，因此，分层热响应法计算所得地下岩土热物性参数更准确。通过分层热响应测试可获得地下岩土导热系数曲线，据此可以判断不同岩土层的渗流情况和一个区域的地下水流状况，从而为地埋管换热器选址、更大限度的利用浅层地热能提供科学依据。

二，通过室内试验及现场示范研究，将单井循环换热地能采集井技术主要技术要点进行总结、集成与定型，基本解决了地下水源热泵的回灌问题，在此基础上编制了北京市地方标准《单井循环换热地能采集井工程技术规范》（DB11/T935-2012），为将该技术大面积推广奠定了基础。

三，与单井循环换热地能采集井技术研究相结合，建立了单井循环换热地能采集井技术的理论与数值计算模型，并与示范工程实际数据进行对比分析，解决了单井循环换热地能采集井技术的理论问题，对推广单井循环换热地能采集井技术具有重要意义。

四，研发的High Efficient智能能源管理系统既可对地源热泵各运行参数及地质环境参数进行监测、监管，也可根据建筑供暖、制冷实际需求，调控地源热泵系统运行状态，实现能源管理的智能化。

## 地热资源可以持续开发

王秉忱表示，由中国地质调查局会同京津冀三省（市）国土资源部门编制的《支撑服务京津冀协同发展地质调查报告》指出：地热资源可以持续开发。

调查评价表明，京津冀规划区13个地级以上城市浅层地能每年可开采热量折合标准煤9200万吨。若采用热泵系统开发利用浅层地能，可实现建筑物夏季制冷35亿平方米，冬季供暖29亿平方米。目前，京津冀地区采用浅层地能供暖制冷面积8500万平方米，占全国利用浅层地能供暖制冷总面积的20%，是我国浅层地能开发程度最高、用于建筑物供暖制冷规模最大的地区之一。

京津冀地区水热型地热资源每年可开采地流体热量，\_\_\_折合标准煤2.5亿吨，目前年开采量仅占可采量的0.4%，主要用于供暖、旅游疗养、种植养殖等，其中直接采用地下热水进行供暖的建筑面积7100万平方米。浅层地温（热）层和水热型地热资源是区内可持续开发的重要清洁能源，每年可利用热量折合标准煤3.43亿吨，占京津冀2014年燃煤消耗总量的87%，每年可减排二氧化碳8.18亿吨，在治理大气污染行动中可发挥重要作用。

另外，北京延庆地热资源可以满足2022年冬奥会场馆规划区建筑物的冬季供暖需求，为绿色办奥运提供支撑。王秉忱建议，进一步加大地热资源公益性勘查资金投入以降低商业勘探风险，出台价格补贴、税收优惠等鼓励政策，加快地热资源勘查和可持续开发利用。浅层地热能开发利用将有重大举措

“近年来，鉴于雾霾问题得不到根本解决，浅层地温能的大力开发利用日益被提上政府部门的重要工作日程，大力促进了浅层地能开发有利

## 建言献策 POLICY ADVICES

形势的快速发展。”

王秉忱介绍说，比如：2014 年为进一步推广地源热泵技术的应用，财政部与住建部联合发文，要求对地源热泵应用工程提供资金补贴，国家近期也出台了《可再生能源发展专项资金管理暂行办法》和《节能减排补助资金管理暂行办法》等政策性文件，鼓励采取节能减排措施，促进行业发展。2015 年10 月7 日，原国防科工委主任、中国工程院院士丁衡高给国务院总理李克强写信，提出“关于推荐浅层地能供暖的建议”。建议首选恒有源公司多年来钻研取得显著成效的井循环技术，并推行合理的电价。

王秉忱表示，2016 年，地热能开发首次被列入全国经济社会发展总体规划，根据已编制完成的《中国“十三五”地热产业发展规划》，到2020

年，我国地热供暖/ 制冷面积将累计达到16 亿平方米，加上发电、种植、养殖、洗浴等，共可替代标准煤7210 万吨。为了强化和推动规范地热产业的发展，同时在“一带一路”战略指导下，国家能源局和国家标准化技术委员会于2016 年5 月正式组建了能源行业地热能专业标准化技术委员会，目前正着手提出地热领域的国家标准和发展规划、地区标准，将大大推进中国地热产业发展的科学化和规范化。

另外，王秉忱是设立在中石化集团的国家地热中心的领导成员，在今年召开的有关地热产业发展和雄安新区地热资源评价的会议上，他强调指出，应该浅、中、深层地热能开发并举，充分发挥浅层地热能防治大气污染工作\_\_中的重要作用。

选自（《地球》杂志2017年第08期）



# 欧美日地源热泵的发展与借鉴

## DEVELOPMENT AND REFERENCE OF GROUND SOURCE HEAT PUMPS IN EUROPE, AMERICA AND JAPAN

作者：许惠渊（中国农大经济管理学院教授、博士生导师、原院长）

热泵理论最初源于法国科学家萨迪·卡诺(Sadi karnot)1824年提出的“卡诺循环”理论,30年后,英国科学家开尔文(L.Kelvin)于1850年指出冷冻装置可以用于加热,与此同时,许多科学家对热泵进行了大量研究,1852年,W.Thomson教授进一步指出制冷机可用于供热,并第一个提出了热量倍增器(Heat Multiplier)概念,初步阐述了热泵原理。1912年瑞士苏黎世成功安装一套以河水作为低位热源的热泵设备用于供暖,这是早期的水源热泵系统,也是世界上第一套热泵系统。随后一些科学家论述了通过简单的切换制冷循环实现住宅冬季供热,夏季制冷,并在实践中进行试验和应用。20世纪30年代至50年代,热泵技术得到迅速发展,家用热泵和工业建筑用的热泵开始进入市场,热泵进入了早期发展阶段。1938年苏黎世市政厅安装了供热热泵,1939年在大型建筑物内安装了热泵的空调系统,采用透平式压缩机,以泉水作为低温热源。

21世纪,地源热泵技术在欧洲获得广泛推广

应用,2013年“欧洲地热大会”(EGEC)将地源热泵作为地热利用的一个独立分类进行统计。欧洲地热利用方式划分为地热发电、直接利用和地源热泵三类,欧盟委员会联合研究中心(JRC)报告显示,全球地热装机总容量2015年大约为82GW(吉瓦),地源热泵总装机容量约为50GW,它对地热能利用的比例最高,达到61%。其中欧洲装机容量达到19GW,在全球占比最高,达到38%左右,占据世界最大的地源热泵市场。EGEC数据显示,目前瑞典、德国、法国、瑞士和挪威成为欧洲地源热泵领域的领头羊,5个国家地源热泵装机容量之和占欧洲的69%。欧洲的地源热泵市场已经从过去由许多小型本地公司发展成为主要由大型供暖和空调制造商所控制,这些大的制造商主要来自于地源热泵发展较为迅速的德国和瑞典。欧洲各国一直重视地源热泵技术研发。技术研发的主要方向是提高地源热泵系统的效率和减少运作成本,包括降低维修和养护成本,改进控制系统,使用更有效的液体工质,提高辅助设备(如泵和风扇)的工作效率,通

过优化设计提高热泵的 COP 值。

美国从 20 世纪 40 年代起对热泵有了进一步的认识,家用热泵和工业建筑用热泵大批投放市场。到 20 世纪 50 年代,美国市场上出现以地下水或者河湖水作为热源的地源热泵系统,并利用它来实现采暖。在此期间,一些制冷设备制造商已经认识到热泵作为家用空调与供暖设备的市场潜力和重要性,并开始工厂化装配热泵空调机组,最早的工厂化装配机组起源于盖尔森 (Galson),它提出的全年运行空调机组的方法至今仍用于美国。土壤耦合热泵在美国于 1950 年左右问世,一些家庭用热泵开始采用地埋管作热源,并开展了土壤耦合热泵的研究工作,但是,由于这个时期能源价格低、土壤源热泵系统的投资较高,而且由于计算复杂以及土壤对金属地下埋管的腐蚀等原因,土壤源热泵系统的早期研究高潮持续到 20 世纪 50 年代中期。20 世纪 50~60 年代,由于家用空气源热泵可以把制冷与采暖合用一套装置,在电力充足且电能价格便宜的地区使用时,其运行费用低。因此,家用空气源热泵在美国市场上取得了相当大的成功。20 世纪 60 年代和 70 年代初期,由于热泵设备费用较高,而且电价持续下降,电加热器以其可靠性和优惠的电费吸引着人们,电加热器与热泵成为竞争对手。20 世纪 70 年代至 80 年代初西方出现能源危机,热泵以其回收低温废热、节约能源特点,受到人们的关注。通过改进,水源热泵机组扩大了进水温度范围,加之欧洲板式换热器的引进,闭式地下水源热泵逐渐得到广泛应用。与此同时,人们关注土壤源热泵系统,在美国能源部 (DOE) 的支持下,美国橡树山 (Oak Ridge National Laboratory, ORNL) 和布鲁克海文 (Brookhaven National Laboratory, BNL) 等国家实验室以及俄克拉荷马州立大学 (Oklahoma State University, OSU) 等研究机构对地下换热器的传热特性、土壤的热物性、不同形式埋管换热器性能等进行大量比较研究,

为了解决土壤中化学物质腐蚀问题,地埋管也由金属管变成了聚乙烯等塑料管,开展多种形式的地下埋管换热器的安装和测试工作。20 世纪 80 年代,美国和欧洲一些国家进入了热泵发展的新时期。热泵设计在理论和技术等方面日益成熟,热泵的可靠性大大提高,而且用户对热泵的了解与认识不断加深,各国政府及公用事业部门采取措施以推动热泵的发展。欧洲一些国家致力于集中供热或区域供热等大型热泵装置的研究,在此期间,瑞典建立了一批以湖/海水、地下水为热源的大型热泵站,1982 年丹麦建造了最早的海水源热泵区域供热。20 世纪 80 年代,世界各国对土壤耦合热泵的研究工作和学术交流十分活跃,截至 1985 年,美国已有一万多台地源热泵,瑞典有 6 千多套大地耦合热泵。

日本热泵制造技术处于领先地位,一些市政建设项目和公益性建筑都利用地源热泵进行供暖、制冷及热水供应等综合性服务,主要采用地源换热器埋管系统技术。据不完全统计,日本每年生产的热泵空调,商用大约是 60~80 万台,住宅用大约为 600~800 万台。热泵的普及不仅提高了能源效率 (可以使每户节能 30%),还改善了室内的空气质量。进入 21 世纪,尤其是热泵热水器大量进入日本家庭,政府对消费者给予一定的补助,这种热水器很受用户欢迎。到 2010 年大约有 520 万个日本家庭使用这种热水器。

综上所述,欧美日等经济发达国家,地源热泵技术的研究与推广已有百年历史,20 世纪 80 年代后进入快速发展时期,各国政府和民间组织对地源热泵技术一直予以极大的关注,为推广此项技术的研究与应用,政府都不同程度给予补助。事实说明,地源热泵技术是当今人类供暖制冷可靠的技术,它具有能量恒定,分布范围广,采集相对容易,既节能又无污染等优点。

我国地源热泵的研究始于 20 世纪 80 年代,上海闵行经济开发区办公楼是我国第一个采用土壤

源热泵系统工程的建设,1985年广州能源研究所建造并应用了一套地下水源热泵系统。上世纪7-80年代,由于我国煤的价格很低,煤电比约为200:1,因此制约了热泵的发展,直到20世纪90年代,煤的价格迅速增长,从1990年至2006年,短短十几年,1吨煤从90元上涨至500多元,而电价只翻了一倍,煤电比约为1000:1,热泵技术实现了真正的经济节能,得以广泛推广。

可再生能源是自然界中可以不断利用、循环再生的各种能源组合,主要是太阳能、风能、水能、生物质能、海洋能、潮汐能、空气能、地热能等。其中太阳能、风能、水能、生物质能、海洋能、潮汐能和空气能的利用受自然因素的制约比较大,而地热能相对较小,它在采集时虽然也受地质和地下水条件的影响,但只要加强探测工作,就能取得较好效果,不像太阳能只能靠太阳光照获得能源,风能有风才有能源,水能有水才能产生能源。

我国地热资源相当丰富,全国336个地级以上城市浅层地热能年可开采资源量折合7亿吨标准煤;全国水热型地热资源量折合1.25亿吨标准煤。到2015年底,全国浅层地热能供暖(制冷)面积达到3.92亿平方米,水热型地热能供暖面积达到1.02亿平方米。根据有关数据统计,我国利用浅层地热能进行生活、工作的建筑面积已经超过了1.4亿平方米,如果转化成二氧化碳的排放量进行计算,每年可以降低2200万吨的排放量,显然,我国的浅层地热能资源是一个发展潜力非常巨大的能源资源。在2006年,北京市、沈阳市与相关部门已经出台了《关于发展热泵系统的指导意见》,2007年的7月,沈阳市出台了利用浅层地热能建立地源热泵系统的管理办法,将所有处于供热或是制冷项目划入到规划要求中。2016年以来,我国清洁取暖受到党和国家及各级政府的高度重视,给地热能开发利用产业创造了大发展的机遇。2016年12月,习近平总书记在主持中央财经领导小组第十四次会

议时强调,推进北方地区冬季清洁取暖等6个问题,都是大事,关系广大人民群众生活,是重大的民生工程、民心工程。2017年3月,李克强总理在政府工作报告中表示,要加快解决燃煤污染问题,全面实施散煤综合治理,推进北方地区冬季清洁取暖。2017年,财政部、住建部、环保部、国家能源局印发了《关于开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作的通知》,提出开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作,重点支持京津冀及周边地区大气污染传输通道“2+26”城市,试点示范期为三年,中央财政奖补资金标准根据城市规模分档确定,三年共计219亿。通知表明了国家将大力推进清洁能源取暖,在多个地区开展试点工作。为此,各部门纷纷推出有利于清洁能源发展的政策,电力部门积极配合,取消了民用阶梯电价,取暖实行民用电价和谷电电价,在一定程度上减少了浅层地能供暖运行费用,加上电力供应能力的大发展,为浅层地能供暖的加快发展提供了前提条件。

国家发改委和国家能源局正式发布《能源发展“十三五”规划》和《可再生能源发展“十三五”规划》中特别编制了地热能发展规划。初步估算,“十三五”期间,浅层地热能供暖(制冷)可拉动投资约1400亿元,水热型地热能供暖可拉动投资约800亿元,地热发电可拉动投资约400亿元,合计约为2600亿元。此外,地热能开发利用还可带动地热资源勘查评价、钻井、热泵、换热等一系列关键技术和设备制造产业的发展。根据中央关于治理雾霾的要求,各地政府制定了煤改清洁能源的时间表。北京市政府将全市(含全部农村)停止燃煤供暖的时间初步确定为2019年,比原定计划提前了三年。天津市、河北省则确定了禁止用煤地区的时间和相关措施,北方其他各省市也加快了煤改清洁能源的步伐,山东、河南等省明确提出,省内城市禁止使用10吨以上燃煤锅炉供暖。有关人员初步测算,仅仅北方2+26个城市的煤改清洁能源

在几年时间内就为清洁供暖提供了 1000 亿元的市场。上述说明，我国地源热泵资源丰富，市场需求巨大。

诚然，作为一个新兴产业，目前我国在开发利用浅层地能不可避免地还存在一些问题，如进行系统设计时，缺乏相关技术标准，与实际需求不匹配，影响工程质量；不能对地质及水环境等进行科学勘察评价，基本上是摸着石头过河；各开发公司没有一个统一的标准，操作方法五花八门；工程在实施结束后，没有评估论证程序，等等。因此，要推动我国浅层地热能热冷一体化产业快速发展，必须认真抓好以下工作。

1、政府有关部门组织对全国浅层地热能资源进行勘查与评估。

由于浅层地能在我国的分布非常之广，各地地质水文情况各异，目前，只有供军事应用的内部地

质概况图，没有细化。开发利用浅层地热能要达到因地制宜地实施不同的开发方式，必须尽可能地了解清楚当地的地质水文情况，这就要靠政府支持勘查与评估工作。

2、对于浅层地能开发利用的环保要求，主管部门应制定一个明确的指标。不能由各地水务部门随意制定“政策”。政府应该建立完善的地热能开发利用管理体系和政策体系。鼓励优先采用先进技术和工艺，引导地热能开发企业健康发展。

3、针对目前浅层地热能开发利用的乱象，开发企业应有统一的资质要求，否则，既造成无序竞争，又严重影响开发利用浅层地热能的质量、安全以及浪费资源。政府有关部门要树立浅层地热能开发利用的典型项目，表彰先进企业，完善浅层地热能开发利用市场机制，探索建立地热能开发的特许经营权招标制度和政府和社会资本合作模式。



# 中国地热资源潜力评价

## THE ASSESSMENT OF GEOTHERMAL RESOURCES POTENTIAL OF CHINA

作者：王贵玲，张薇，梁继运（中国地质科学院水文地质环境地质研究所）

**摘要：**中国地热资源分布广泛，资源种类繁多，分布具有明显的规律性和地带性。针对中国不同类型的地热资源，采用不同的评价方法分别对浅层地热能、水热型地热资源和干热岩资源进行了潜力评估，并对地热资源的开发利用现状及地热资源开发利用的经济环境效益进行了分析。我国地热资源量相对较为丰富，出露温泉 2334 处，地热开采井 5818 眼。水热型地热资源量折合标准煤 12500 亿吨，每年可开采量折合标准煤 18.65 亿吨；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；干热岩远景资源量折合标准煤 856 万吨。目前我国地热资源每年利用量折合标准煤 0.21 亿吨，其中水热型地热资源开采率仅为 0.2%，浅层地热能开采率仅为 2.3%，地热资源开发利用潜力巨大。在现有技术条件下科学开发利用地热资源，每年可节煤 10 亿吨，其中 336 个地级以上城市浅层地热能资源高效利用每年可节煤 2.5 亿吨；地下水热资源高效利用每年可节煤 7.5 亿吨，地热资源节能减排效果显著，能有效缓解雾霾。

随着经济社会的发展，以气候变化为核心的全球环境变化，正在广泛而深刻地影响着人类社会的方方面面。气候变化所导致的气温增高、海平面上升、极端天气与气候频发等，对自然生态系统和人类生存环境产生了严重影响。石油、煤炭和天然气等化石燃料燃烧是温室气体产生的主要来源。扩大能源来源、改善目前我国严重依赖煤炭和石油的能源结构，是减少温室气体排放量、解决全球气候变化问题的根本途径。而作为新型能源之一的地热资源的开发利用，越来越受到人们关注。它以低成本、可持续利用和环保而具有其他能源不可比拟的独特优点。大力推进地热资源开发利用，改善能源结构，对于解决日趋严重的全球环境问题具有重要的意义。

### 1 地热资源分布规律

地热资源是指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，目前可利用的地热资源主要包括：天然出露的温泉、通过热泵技术开采利用的浅层地热能、通过人工钻井直接开采利用的地热流体以及干热岩体中的地热资源。

我国地热资源种类繁多，考虑地质构造特征、热流体传输方式、温度范围以及开发利用方式等因素，我国地热资源可分为浅层地热能资源、水热型地热资源和干热岩资源三种类型。

我国水热型地热能资源分布具有明显的规律性和地带性，但受构造、岩浆活动、地层岩性、

水文地质条件等因素的控制总体分布不均匀。我国有高温地热资源,但以中低温地热资源为主。其中,高温地热资源主要分布在藏南、滇西、川西和台湾地区,已发现高温地热系统200多处(廖志杰和赵平,1999);中低温地热资源主要分布于大型沉积盆地和山地的断裂带上。分布在山地的断裂带上的地热一般规模较小,分布在盆地特别是大型沉积盆地的地热资源储集条件好、储层多、厚度大、分布广,热储温度随深度增加,地热资源储量大,是地热资源开发潜力最大的地区。其中,沉积盆地型地热资源主要分布于我国的东部地区、琼雷盆地、松辽盆地和环鄂尔多斯断陷盆地等地区,均为中低温地热资源。隆起山地型地热资源主要分布于我国的东南沿海、台湾、藏南、川西、滇西和胶辽半岛等地区(陈墨香等,1994;陈墨香和汪集旸,1994)。

浅层地热能资源的分布遍及全球,世界大陆的浅部地下都分布着浅层地热能资源。虽然,基岩(除灰岩外)的导热系数要比第四系松散岩层的高,其比热容要比第四系松散岩层的低,但由于其难以钻进,回灌也相对困难,其浅层地热能资源较第四系松散岩层的要难以开发利用。第四系松散岩层是开发浅层地热能资源的理想场所。第四系松散岩层的地层松软,易于钻进,有利于竖直地埋管热泵的应用,又因第四系松散岩层的富水性一般较基岩(除灰岩外)强,也有利于地下水源热泵的应用。基岩中的灰岩,由于其岩溶裂隙发育,富含岩溶水,水量大,虽然钻进困难,但由于地下水源热泵所需的井孔数量较少,易于回灌,因此也可作为地下水源热泵的应用场所。

干热岩的分布几乎遍及全球,世界各大陆地下都有干热岩资源。不过,干热岩开发利用潜力最大的地方,还是那些新的火山活动区,或地壳较薄的地区,这些地区主要位于全球板块或构造地体的边缘。我国西部的滇西地区及东部台湾中央

山脉两侧,分别处于印度板块与欧亚板块、欧亚板块与菲律宾板块的边界及其相邻地区,都是当今世界上构造活动最强烈的地区之一,具有产生强烈水热活动和孕育温水热系统必要的地质构造条件和热背景。我国西南部的地热活动呈南强北弱、西强东弱;东部区的地热活动呈东强西弱之势,明显地反映了这一特点。根据我国区域地质背景,高热流区均处于板块构造带或构造活动带,在藏南、滇西、琼北、长白山等地区分布有范围较大的火山岩体,说明我国具备干热岩地热资源形成的区域构造条件。

## 2 中国地热资源潜力

### 2.1 地热资源潜力评价方法

水热型地热资源量采用热储法。沉积盆地型地热资源,热储面积由4000m以浅热储层温度大于25℃、单井出水量大于20m<sup>3</sup>/h且盖层平均地温梯度大于2.5℃/100m圈闭的范围,将各地热田及地热异常区分界线、热储温度等值线和热储厚度等值线计算机数字化,计算各分区的面积,热储厚度根据砂厚比计算。隆起山地型地热资源,山西、内蒙古、山东、江苏、浙江、重庆及贵州勘察程度较高地区均分热储层计算,其他省份按每个温泉、地热井单点评价地热资源量。热储体积如可由控热断裂构造圈闭,则由地质构造来圈定,如热储范围界线模糊,则考虑地热异常点1km<sup>3</sup>范围作为储量计算范围。水热型地热资源可开采量采用回灌条件下地热流体可开采热量(蔺文静等,2012,2013)。中低温地热资源中,沉积盆地型地热资源按回灌条件下开采100a,消耗15%的地热储量,根据热量平衡计算,隆起山地型地热资源按泉(井)流量法计算地热流体可开采热量的2倍进行计算。高温地热资源也是按已探明地热流体可开采热量的2倍进行计算。

浅层地热能资源在适宜性分区的基础上分别进行浅层地热能容量和浅层地热能换热功率计算。地源热泵系统总换热功率的计算是在浅层地热能资源开发利用适宜性区划的基础上,综合地埋管地源热泵换热功率计算和地下水地源热泵换热功率计算的成果得出的。其中,对于地埋管地源热泵系统适宜或较适宜而地下水地源热泵不适宜的区域,按地埋管地源热泵换热功率计算总换热功率;对于地埋管地源热泵系统不适宜而地下水地源热泵系统适宜或较适宜的区域,按照地下水地源热泵换热功率计算总换热功率;而对于地埋管地源热泵系统和地下水地源热泵系统均适宜或较适宜的区域,则按照地埋管地源热泵换热功率的2/3和地下水地源热泵换热功率的1/3进行折算。根据计算的浅层地热能换热功率,结合当地的土地利用规划以及供暖、制冷削峰负荷,计算当地的可供暖和制冷面积,进行浅层地热能资源潜力评价。

干热岩资源储量采取体积法进行估算,根据干热岩开发利用的温度要求及目前的钻探技术,估算范围定为地下3—10km范围内。开展干热岩资源量估算的参数包括:大地热流值,岩石热导率,岩石生热率,放射性元素集中层的厚度,地表温度,深部地温等,若分别计算深部温度形成的沉积贡献及基底贡献,还需要大陆壳幔热流比例等数据(蔺文静等, 2012, 2013)。

## 2.2 中国地热资源潜力

中国地热资源丰富,其中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%;干热岩远景资源量折合标准煤856 亿吨,潜力巨大,属国家战略能源。

### 2.2.1 水热型地热资源

我国水热型地热资源非常丰富,出露温泉2334处,地热开采井5818眼。水热型地热资源量折合标准煤12500亿吨,每年地热资源可开采折合标准煤18.65亿吨,有高温地热资源( $\geq 150^{\circ}\text{C}$ ),但以中温地热资源( $90\sim 150^{\circ}\text{C}$ )和低温地热资源( $< 90^{\circ}\text{C}$ )为主。其中,水热型中低温地热资源量折合标准煤12300亿吨,每年地热资源可开采折合标准煤18.5亿吨,发电潜力150万千瓦;水热型高温地热资源量折合标准煤141亿吨,每年地热资源可开采折合标准煤0.18亿吨,发电潜力为846万千瓦。水热型中低温地热资源主要分布于华北平原、江淮平原、苏北平原、松辽盆地、下辽河平原、汾渭盆地等15个大中型沉积盆地和山地的断裂带上,分布在山地的断裂带上的地热一般规模较小,分布在盆地特别是大型沉积盆地的地热资源储集条件好、储层多、厚度大、分布广,热储温度随深度增加,地热资源储量大,是地热资源开发潜力最大的地区。15个大中型沉积盆地地热资源量折合标准煤10600亿吨,每年可开采量折合标准煤17.0亿吨。其中地热资源可开采量最多的为四川盆地,折合标准煤5.44亿吨。其次为华北平原,折合标准煤4.22 亿吨,与山东省、河北省中低温沉积盆地型地热资源量丰富相一致(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 2015a, b)。高温地热资源主要分布在藏南—川西—滇西水热活动密集带,其高温地热资源发电潜力为712万千瓦,占全国的84.1%,热储温度高于 $150^{\circ}\text{C}$ 的共139处,其中藏南34处、川西56处、滇西49处;东南沿海地区高温地热资源发电潜力为70万千瓦,占全国的8.27%,热储温度高于 $150^{\circ}\text{C}$ 的共14处。关中盆地、新疆塔什库尔干地区及吉林长白山地区也有高温地热系统分布。充分开发利用高温地热资源,积极推进西南地区高温地热发电,因地制宜建立多能互

补的发电格局,符合我国当前能源革命需求,也是可再生能源重要组成部分。

### 2.2.2 浅层地热能

全国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,可替代标准煤11.7亿吨/年,节煤量4.1亿吨/年。从浅层地热能开发利用方式来看,地埋管热泵系统适宜区占总评价面积的29%;较适宜区占53%;地下水源地热泵系统适宜区占总评价面积的11%,较适宜区占27%。比较适合应用地下水地源热泵系统的地区主要分布在我国的东部平原盆地及富水性较好的地区。不适宜建立地下水地源热泵系统的地区主要位于我国西部的缺水区域以及部分炎热、寒冷的区域。地埋管地源热泵系统在具有较好的适宜性,不适宜区主要是从地埋管的施工难度和建设成本上考虑。综合考虑,浅层地热能开发利用的影响因素,我国适宜开发浅层地热能的地区主要分布在中东部省份,包括北京、天津、河北、山东、河南、辽宁、上海、湖北、湖南、江苏、浙江、江西、安徽等13个省(市)。

浅层地热能换热功率为在浅层岩土体、地下水中单位时间内的热交换量。我国336个地级以上城市地下水地源热泵系统夏季换热功率为 $7.49 \times 10^8 \text{ kW}$ ,冬季换热功率为 $3.68 \times 10^8 \text{ kW}$ ;地埋管地源热泵系统夏季换热功率为 $2.69 \times 10^9 \text{ kW}$ ,冬季换热功率为 $1.91 \times 10^9 \text{ kW}$ 。地源热泵系统总的换热功率夏季为 $3.14 \times 10^9 \text{ kW}$ ,冬季为 $2.10 \times 10^9 \text{ kW}$ 。336个地级以上城市浅层地热能资源热容量为 $1.11 \times 10^{17} \text{ kJ/}^\circ\text{C}$ ,每年可开采量折合标准煤7亿吨。

目前,浅层地热能资源主要用于建筑物供暖和制冷,采用单位面积可利用量的供暖和制冷面积表示浅层地热能资源潜力。336个地级以上城市80%的土地面积适宜利用浅层地热能,可实现建筑物夏季制冷面积 $3.26 \times 10^{10} \text{ m}^2$ ,冬季供暖

面积 $3.23 \times 10^{10} \text{ m}^2$ 。其中,地下水地源热泵系统夏季可制冷面积为 $5.59 \times 10^9 \text{ m}^2$ ,冬季可供暖面积为 $3.61 \times 10^9 \text{ m}^2$ ;地埋管地源热泵系统夏季可制冷面积为 $3.56 \times 10^{10} \text{ m}^2$ ,冬季可供暖面积为 $3.75 \times 10^{10} \text{ m}^2$ 。

### 2.2.3 干热岩资源

我国干热岩资源潜力巨大,开发前景广阔,高于美国干热岩资源的估算结果(570万亿吨标准煤)。经初步测算,地下3—10km范围内干热岩资源折合标准煤860万亿吨,利用其中2%,即相当于全国能源总消耗量的4040倍。尤其是位于3.5—7.5km深度的干热岩资源温度介于150~250 $^\circ\text{C}$ 之间,资源量巨大,折合标准煤215万亿吨。干热岩资源是最具有潜力的战略接替能源,但是开发难度较大。

目前我国地热资源每年利用量折合标准煤0.21亿吨,其中水热型地热资源利用量折合标准煤415万吨,开采率为0.2%,浅层地热能利用量折合标准煤1600万吨,开采率为2.3%,地热资源开发利用潜力巨大。水热型地热资源利用方式中,地热发电占0.5%,供热采暖占32.70%,医疗洗浴与娱乐健身占32.32%,养殖占2.55%,种植占17.93%,工业利用占0.44%,其他占13.56%。浅层地热能资源开发利用方式主要为供暖制冷。

## 3 中国地热资源开发利用

### 3.1 地热发电

我国适于发电的地热资源主要分布在西南和东南沿海地区,总发电潜力996万千瓦。高温地热资源发电潜力为846万千瓦,中低温地热资源发电潜力为150万千瓦。目前,每年发电量可达800亿度,相当于我国2015年电力消耗的1.5%。20世纪70年代以来,我国先后在西藏羊八井、朗久、那曲建设商业性地热发电站,总

装机容量28.18MW。其中羊八井地热热电站装机容量25.18MW, 利用每年 $1.095 \times 10^7 \text{m}^3$ 流量、温度130~170℃的水汽, 其2005年、2006年、2007年和2008年的发电量分别为1.154、1.261、1.158和1.436亿kWh, 屡创历史最高记录, 羊八井电厂到2014年累计发电量31.1亿kWh, 并为拉萨市提供大量电力资源, 曾占拉萨电网全年供电量的40%, 冬季超过60%。1970年广东丰顺建成第一座地热试验电站, 机组功率0.01万kW, 随后在河北后郝窑、广东邓屋、湖南灰汤、江西遂川、广西象州、山东招远等地建立了地热试验电站, 单机容量50~300kW, 总装机容量1.55MW。而70年代后期, 我国的中低温地热发电厂中有5个陆续关停, 虽然技术上并未出现较大障碍, 但经济效益不佳是导致关停的主要原因; 邓屋电厂和灰汤电厂直到2008年, 才因机组老化而停止运行。现仅剩广东丰顺300kW的一个地热试验电站仍在运行。

### 3.2 地热直接利用

我国是一个以中低温地热资源为主的国家, 近10年来地热直接利用均以每年10%速率增长, 目前以直接利用设备装机容量的产量居世界之首, 多用于供暖制冷、工业、种植养殖、旅游疗养等方面。

建筑物供暖是地热资源利用的主要方式。目前, 利用水热型地热资源供暖面积8875万 $\text{m}^2$ , 利用浅层地热能供暖面积4.3亿 $\text{m}^2$ 。浅层地热能资源主要用于供暖制冷。我国浅层地热能资源开发利用起步较晚, 热泵技术的研究始于20世纪80年代。90年代中期在北京、宁波等地实施了第一批地源热泵工程应用项目。进入21世纪后, 地源热泵技术形成了产、学、研结合利用浅层地温的研究方法。2000年, 我国地源热泵的工程应用面积达10万 $\text{m}^2$ , 2004年应用面积达767万 $\text{m}^2$ , 至

2009年沈阳市供暖面积达5462万 $\text{m}^2$ , 北京2100万 $\text{m}^2$ , 全国总利用面积1.007亿 $\text{m}^2$ , 相当于热功率5210MWt, 中国在世界43个应用国家中跃居第二。2015年底, 全国地源热泵总利用面积达4.3亿 $\text{m}^2$ , 其利用浅层地热能的装机容量已超过12.85GWt, 2010年以来的平均年累进增长率约28%, 远高于世界增长速度。我国地源热泵所利用的浅层地热资源量已超过常规地热, 成为地热直接利用的最大部分(58%), 在我国“十二五”和四部委《指导意见》所指定的5亿 $\text{m}^2$ 地热供暖面积中, 地源热泵的贡献将超过80%。

利用地热进行旅游疗养几乎遍及全国各省(区、市)。在已经开发利用的地热田中, 全部或部分用于洗浴的估计占热田总数的60%以上。全国现有公共温泉浴池和温泉游泳池1600处。利用地热进行水产养殖, 北京、天津、福建、广东等地起步较早, 现已遍及20多个省(区、市)的47个地热田, 建有养殖场约300处, 鱼池面积550万 $\text{m}^2$ 。将地热能用于水产养殖的方式在西北地区最多, 占33%, 华南占26%, 华东占19%, 华中占17%, 西南占3%, 华北占2%。

## 4 地热资源开发利用的经济环境效益分析

地热资源是清洁稳定安全高效的能源, 节能效果明显。在现有技术条件下, 每年可节煤10亿吨, 其中336个地级以上城市浅层地热能资源高效利用每年可节煤2.5亿吨; 地下热水资源高效利用每年可节煤7.5亿吨。地热资源减排效果显著, 可在减少温室气体排放中发挥重要作用。每年可减少 $\text{CO}_2$ 排放24亿吨, 其中浅层地热能利用每年可减少 $\text{CO}_2$ 排放6亿吨, 地下热水资源利用每年可减少 $\text{CO}_2$ 排放18亿吨, 约占2014年我国 $\text{CO}_2$ 排放总量的30%。目前, 我国每年已开发地热资源量折合标准煤0.21亿吨, 每年减少二氧化碳排放0.5亿吨。

如河北雄县利用地热供暖满足了县城90%以上的供热需求,年替代标准煤9万吨,减排CO<sub>2</sub>22.5万吨,创建了地热利用的“雄县模式”。

## 5 结论

(1)我国地热资源分布广泛,资源种类繁多,分布具有明显的规律性和地带性,但受构造、岩浆活动、地层岩性、水文地质条件等因素的控制总体分布不均匀。我国有高温地热资源( $\geq 150^{\circ}\text{C}$ ),但以中温地热资源( $90\sim 150^{\circ}\text{C}$ )和低温地热资源( $<90^{\circ}\text{C}$ )为主。其中,高温地热资源主要分布在藏南、滇西、川西和台湾地区;中低温地热资源主要分布于大型沉积盆地和山地的断裂带上,分布在山地的断裂带上的地热一般规模较小,分布在盆地特别是大型沉积盆地的地热资源储集条件好、储层多、厚度大、分布广,热储温度随深度增加,地热资源储量大,是地热资源开发潜力最大的地区。

(2)我国地热资源量相对较为丰富,出露温泉2334处,地热开采井5818眼。水热型地热资源量折合标准煤12500亿吨,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%,西南地区高温地热资源发电潜力为712万千瓦,占全国高温地热资源发电潜力的84.1%,充分利用高温地热资源优势,推进西南地区高温地热发电;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%;干热岩远景资源量折合标准煤856万亿吨,潜力巨大,开发前景广阔。

(3)我国开发利用地热与温泉已有5000多年的悠久历史,是世界上利用地热资源较早的国家之一。目前我国地热资源每年利用量折合标准煤0.21亿吨,其中水热型地热资源利用量折合标准煤415万吨,开采率仅为0.2%,浅层地热能利用量折合标准煤1600万吨,开采率仅为2.3%,地热资源开发利用潜力巨大。

(4)地热资源是清洁稳定安全高效的能源,节能效果明显。在现有技术条件下,每年可节煤10亿吨,其中336个地级以上城市浅层地热能资源高效利用每年可节煤2.5亿吨;地下热水资源高效利用每年可节煤7.5亿吨。地热资源减排效果显著,可在减少温室气体排放中发挥重要作用。

节选自《地球学报》



# 我国首部地热能五年规划发布

## ISSUE OF THE FIRST FIVE-YEAR PLAN ABOUT GEOTHERMAL ENERGY IN OUR COUNTRY

“十三五”时期我国将迎来地热能发展好时机。国家发改委、国家能源局和国土资源部共同印发的《地热能开发利用“十三五”规划》(以下简称《规划》)正式公布。作为我国首份地热开发利用顶层设计,《规划》明确了“十三五”时期我国地热能发展的路径和重点任务,对地热能规模推广应用描绘了发展蓝图。

根据《规划》,“十三五”时期,我国将新增地热能供暖(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 500 兆瓦。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 530 兆瓦。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。

### 抓机遇：地热发展正逢时

《地热能开发利用“十三五”规划》作为我

国首次出台地热能领域的全国性规划,国家能源局副局长李仰哲表示,“首次编制地热能发展规划,充分体现了中国能源转型的大趋势以及政府践行清洁低碳能源发展路线的坚定信心。”

优化能源结构、实现清洁低碳发展,是推动能源革命的本质要求。国家主席习近平 2016 年 12 月 21 日主持召开中央财经领导小组第十四次会议时强调,清洁能源采暖是重大民生工程。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。

地热能是一种绿色低碳、可循环利用的可再生能源,与风能、太阳能、水能相比,地热能不受气候、季节、昼夜变化及因素干扰,相对稳定可靠,加上储量大、分布广,是一种现实可行且具有竞争力的清洁能源。

目前,浅层地热能供暖(制冷)技术已基本成熟。浅层地热能应用主要使用热泵技术,2004 年后年增长率超过 30%,应用范围扩展至全国,其中 80% 集中在华北和东北南部,包括

北京、天津、河北、辽宁、河南、山东等地区。

据国土资源部中国地质调查局 2015 年调查评价结果，全国 336 个地级以上城市浅层地热能年可开采资源量折合 7 亿吨标准煤；全国水热型地热资源量折合 1.25 万亿吨标准煤，年可开采资源量折合 19 亿吨标准煤。2015 年底全国浅层地热能供暖（制冷）面积达到 3.92 亿平方米，全国水热型地热能供暖面积达到 1.02 亿平方米。

中国地源热泵产业联盟名誉理事长、国家地热中心指导委员会主任、中国工程院院士曹耀峰强调，“地热能可在加快调整能源结构、强化雾霾治理、积极应对气候变化挑战大格局中将发挥非常重要的作用。”曹耀峰介绍，按照 2020 年能源消费总量 48 亿吨标准煤测算，届时地热占比将达到 1.5%，比目前的 0.5%，提高 1 个百分点。“也就是说，在非化石能源今后五年的 3 个百分点增幅中，地热‘三分天下有其一’。”

国家发改委日前对外发布的《可再生能源发展“十三五”规划》对可再生能源供热和燃料利用指标进行量化。该规划提出，到 2020 年，各类可再生能源供热和民用燃料总计约替代化石能源 1.5 亿吨标准煤。其中地热供暖利用总量达到 4200 万吨标准煤，分解到每年，即地热能热利用规模年均增长约合 710 万吨标准煤。

此外，国家出台的《能源发展“十三五”规划》、《“十三五”全民节能行动计划》、《“十三五”节能减排综合工作方案》、《“十三五”国家科技创新规划》等一系列文件，对构建绿色低碳能源体系，加快发展非化石能源，实现绿色清洁低碳发展，提出了明确的方向和行动指南，这也为我国地热能开发应用增添了新的发展活力。

### 定目标：各省指标细分解

2016 年底全国浅层地热能应用面积约 5 亿平方米，年增长率达 16%。而按照《规划》，

到 2020 年，地热供暖（制冷）面积累计达到 16 亿平方米，也就是说需要净增 11 亿平方米。

《规划》公布的我国地热能开发目标显示，京、津、冀、鲁、豫，成为“十三五”地热能开发重点城市群之一。其中，河北省地热能开发目标位居全国第一，“十三五”期间，河北省新增浅层地热能供暖/制冷面积为 7000 万平方米，新增水热型地热能供暖面积 11000 万平方米。北京市、天津市新增浅层地热能供暖/制冷面积各 4000 万平方米；新增水热型地热能供暖面积各 2500 万平方米。

根据《规划》，京津冀地区地热能年利用量达到约 2000 万吨标准煤，将成为地热能开发利用的“主战场”。国家能源局副局长李仰哲表示，要在地热资源丰富的京津冀地区，大力推广地热替代燃煤供暖，促进京津冀地区压减煤炭消费，改善区域的大气环境。

山东省“十三五”时期，在浅层地热能供暖/制冷面积和水热型地热能供暖面积方面各新增 5000 万平方米。河南省则新增浅层地热能供暖/制冷面积 5700 万平方米，新增水热型地热能供暖面积 2500 万平方米。

针对我国中部大省，《规划》对湖北省、湖南省也制定了地热能开发目标任务。“十三五”期间，湖北省新增浅层地热能供暖/制冷面积 6200 万平方米，位居全国第二。湖南省新增浅层地热能供暖/制冷面积 4000 万平方米。值得一提的是，去年 11 月初，湖南省发改委公布了《湖南省“十三五”地热能开发利用规划》，明确“十三五”规划期内，湖南 14 市州开展 42 个地热能开发利用项目。

长江三角洲作为我国经济较发达的地区之一，其地热发展也备受业界关注。根据规划，江苏省“十三五”期间在新增浅层地热能供暖/制冷面积方面位居全国第三，6000 万平方米。上海市新增浅层地热能供暖/制冷面积 2700 万平方米；浙江省新增浅层地热能供暖/制冷面积 3000 万平方米。

在我国西南地区，重庆、四川、贵州、云南四省市，“十三五”期间新增浅层地热能供暖/制冷面积分别为：3700 万平方米、3000 万平方米、2000 万平方米和 100 万平方米。远在东北的“黑吉辽”三省，“十三五”新增浅层地热能供暖/制冷面积均为 1000 万平方米，其中黑龙江省“十三五”新增水热型地热能供暖面积 1600 万平方米。

西北地区，陕西、甘肃、宁夏、新疆，“十三五”新增浅层地热能供暖/制冷面积各为 500 万平方米，其中陕西省“十三五”新增水热型地热能供暖面积 4500 万平方米。在华南地区，广东省新增浅层地热能供暖/制冷面积 2000 万平方米；广西省新增浅层地热能供暖/制冷面积 1400 万平方米。

近年来，地热发电逐步进入公众视野。根据《规划》，“十三五”时期，新增地热发电装机容量 500 兆瓦。“十三五”期间天津、河北、山东、陕西、青海、新疆、四川、江苏、广东、福建、海南、云南、西藏分别新增发电装机容量 10 兆瓦、10 兆瓦、10 兆瓦、30 兆瓦、5 兆瓦、15 兆瓦、20 兆瓦、10 兆瓦、10 兆瓦、10 兆瓦、10 兆瓦、350 兆瓦。到 2020 年，我国地热发电装机容量约 530 兆瓦。

### 谋布局：因地制宜重利用

“十三五”时期，因地制宜开展浅层地热能、水热型地热能的开发利用，开展干热岩开发利用试验。结合各地区地热资源特性及各类地热能利用技术特点，有序开展地热能发电、供暖以及多种形式的综合利用。

《规划》要求，选择在京津冀、山西、陕西、山东、黑龙江、河南开展水热型地热供暖重大项目布局。其中河北省重点推进保定、石家庄、廊坊、衡水、沧州、张家口地区；陕西省重点开发西安、咸阳、宝鸡、渭南、铜川等市（区）；山西省重点开发太原市高新区、太原经济开发区、太原科技

创新城等地区；山东省重点开发东营市、菏泽市地热资源，东营市利用水热型地热资源和胜利油田污水余热；黑龙江省重点开发大庆市林甸、泰康、东风新村、让西等地区地热能供暖、洗浴疗养、矿泉水生产和种植养殖等；河南省重点在濮阳市清丰县地热资源。

针对长江经济带地区城镇居民供暖的迫切需求，加快推广以热泵技术应用为主的地热能利用。其中以重庆、上海、苏南地区城市群、武汉及周边城市群、贵阳、银川、梧州、佛山等地为重点，整体推进浅层地热能供暖（制冷）项目建设。

具体而言，重庆市以重庆两江新区等为建设重点，“十三五”期间新增浅层地热能供暖（制冷）面积 3700 万平方米；上海市“十三五”期间新增浅层地热能供暖（制冷）面积 2700 万平方米；苏南地区城市群积极发展南京、扬州、泰州、南通、苏州、无锡、镇江、常州及南京等城市供暖市场；武汉及周边城市群以武汉市和周边黄冈市、鄂州市、黄石市、咸宁市、孝感市、天门市、仙桃市、潜江市等 8 个行政市区为主；贵阳、梧州、佛山，“十三五”期间，各新增浅层地热能供暖（制冷）面积 500 万平方米。

地热发电工程布局方面，在西藏、川西等高温地热资源区建设高温地热发电工程；在河北、天津、江苏、福建、广东、江西等地区建设若干中低温地热发电工程。同时积极开展干热岩发电试验，在藏南、川西、滇西、福建、华北平原、长白山等资源丰富地区建立干热岩勘查开发示范基地。

### 求发展：加大投入强管理

近年来随着压减燃煤消费、大气污染防治、提高可再生能源消费比例等方面的要求，给地热能发展提供了难得的发展机遇。但《规划》也指出我国地热发展仍存在诸多制约，主要包括资源

## 政策方针

### POLICY PROGRAMME

勘查程度低，管理体制不完善，缺乏统一的技术规范和标准等方面。

针对这些问题，《规划》在实施保障措施内容中提出了相应的对策，包括研究制定地热能供暖投资支持政策和地热发电上网电价政策，完善地热能开发利用市场机制，加强地热能开发利用规划和项目管理，完善地热能开发利用行业管理，加大关键设备和技术的研发投入，加强地热能规划落实情况监管。

《规划》还明确，我国将探索建立地热能开发的特许经营权招标制度和政府和社会资本合作（PPP 模式），放开城镇供热市场准入限制，引导地热能开发企业进入城镇供热市场。这充分体现了国家鼓励社会投资者进入地热领域的发展思路。

值得注意的是，《规划》在提高地热能行业准

入门槛方面进一步得到加强。《规划》要求，建立健全各项管理制度和技术标准，依法行政、规范管理，维护良好的地热能开发利用市场秩序。建立和完善地热行业标准规范，推行资格认证、规划审查和许可制度。建立地热能利用的市场和环境监测体系。

“十三五”时期，《规划》要求进一步加强地热资源勘察评价的同时，也要求加强关键技术研发，加强信息监测统计体系建设和产业服务体系建设。其中在加大关键设备和技术研发投入方面，《规划》明确指出，提升地热资源勘查与资源评价、地热尾水经济回灌技术水平。加强中低温地热发电技术的研发。扶持地热设备制造企业的发展，提高热泵和换热器等关键设备的技术水平。

选自《清洁能源网》



# 地热能利用 能否再现“羊八井式”黄金时代

## WHETHER THE UTILIZATION OF GEOTHERMAL ENERGY CAN REPRODUCE GOLDEN AGE OF “YANGBAJING”

近日，有媒体报道，在新疆帕米尔高原发现了两处总面积达 15 平方公里的地热资源，将满足当地冬季供暖以及温泉旅游、温室大棚等开发，助力经济发展和民生改善。消息一出，地热从业人员再次感到振奋人心。

“中国地热利用迎来了发展的‘第二个春天’。”日前，记者跟随中国科协优秀科技人物采访团来到西藏，采访中，这是中国工程院院士多吉说的最多的一句话。

1977 年，我国大陆第一台兆瓦级地热发电机组在羊八井成功发电。“但是，在长达三十多年的时间里，中国地热界中唯一能‘拿出手’的项目也只有羊八井。”曾在羊八井工作 30 多年的多吉说。

今年初，《地热能开发利用“十三五”规划》发布，中国地热正迎来千载难逢的历史机遇。然而，与此同时，地热行业发展面临的挑战也不容小觑。如何抢抓机遇，让地热在清洁能源发展中大有可为？

### 大力发展地热 可有效缓解雾霾

从 2013 年至今，每年冬天，雾霾锁城已成为中国中东部地区常见的“景观”。破除雾霾，减少

锅炉、煤化石能源消耗是唯一途径。

由此，长期不被人重视的地热能，其作为蕴涵着巨大能量的一种可再生清洁能源，在中国亟须驱散雾霾之际，终于走向台前。

此前，有专家也表示，虽然全球化石能源供应并不紧张，但以化石能源为主的结构终将难以为继，当前全球正处于化石能源向新能源的过渡期。

“地热能有着太阳能等无法替代的优势和特点，因此发展前景十分广阔。”多吉说。

的确，《地热能开发利用“十三五”规划》显示，“十三五”时期，我国将新增地热能供暖（制冷）面积 11 亿平方米。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 530 兆瓦。2020 年地热能年利用量 7000 万吨标准煤，其中京津冀地区达到约 2000 万吨标准煤。

“目前，京津冀地区地热能利用量约 7000 吨标准煤，到 2030 年，地热利用将占能源消耗的 10%。”多吉说，再加上其他清洁能源的配合，彼时由锅炉、煤等化石能源形成的雾霾现象将大大缓解。

其实，不只是京津冀地区，多吉透露，正在规

划的雄安新区都在论证用地热资源供暖，以减少对煤气等化石能源的使用。

## 地热利用应得到重视

同样是清洁能源，长久以来，人们总是将地热能与风能、太阳能相提并论，也为其未得到同等的重视而叹息。

中国工程院院士、中石化副总经理曹耀峰曾表示，国家“十一五”规划中列入了风能、太阳能规划目标，十年来，风能装机容量从2005年的126万千瓦增长到2015年的12934万千瓦，增长了103倍；太阳能光伏发电装机容量从2005年的7万千瓦增长到2015年的4418万千瓦，增长了635倍。

“今年国家专门编制了《中国“十三五”地热产业发展规划》，从风能和太阳能10年来的发展速度不难看出，地热产业的发展前景将不可限量。”曹耀峰说。

然而，面对当前严重的弃风、弃水问题，不少人内心也很忧虑，地热能会不会也面临同样的境遇？

“地热利用不会出现这个问题，弃风、弃水的原因在于其不稳定，相对于风能、太阳能等可再生能源，地热是唯一不受天气、季节变化影响的可再生能源。一年四季8000多个小时除机器检修外都可以运行，能够连续发电达到80%，但是风能、太阳能等会受到季节、昼夜、小时变化的影响，利用起来有很多技术瓶颈。”多吉说。

多吉表示，地热能具有储量大、分布广、安全稳定等特点。据国土资源部中国地质调查局2015年调查评价结果显示，全国336个地级以上城市浅层地热能，年可开采资源量折合7亿吨标准煤；全国水热型地热年可开采资源量折合19亿吨标准煤；干热岩资源量折合856亿吨标准煤。安全方面，核电存在核泄漏风险，水电存在引发地震的争论和

不可避免的环境问题，而地热则不存在这些问题。

“再就是随着技术的进步，地热能利用时，可采用热管技术，可以做到只取热，不取水，也就是说先打井，把地下的热通过如水、油、超导等介质传出来，这就不存在水位下降、地下水源污染等问题。”多吉强调。

## 真正发展尚需国家“撑腰”

“尽管如此，地热能要真正发展还需要国家加大关键技术的研发投入，人才的培养等。”多吉说，虽然我国供暖地热能利用全球第一，但很多核心技术，如物探、化探、地质勘探设备以及发电技术与国外相比差距较大，基础研究也是相对滞后，这都需要国家强有力的支持。

多吉介绍，在这方面，美国发展地热有环境保护、前期风险投入等，而我国，以羊八井为例，其发电系统设定年限是30年，但由于没有资金投入，到现在系统都没有更新。再就是维护成本，现在运行维护人员是一百多人，如果技术跟进，自动化程度提高，只用7—8个人就可以了。

“发展地热前期需要国家投入，引导市场拉动市场像走路一样，国家财政需要探路，发现比较稳定的路之后，企业再跟进。核心的、公益性的投入需要国家去做。”多吉说。

的确，在中国能源研究会地热专业委员会主任郑克桢看来，由于受地质条件复杂性的影响，我国地热资源勘察具有一定风险，民营企业确实难以承受全部风险。如果国土资源部等政府部门能设立风险基金，为某些先驱项目“撑腰”，则能极大地推动中国地热能的发展。

再就是技术人才，郑克桢指出，我国应当注重培养地热专业技术人才。“从近年来地热能行业的发展态势来看，地热专业技术人才相当缺乏——尤其是地热资源勘探方面，这已成为业内普遍面临的难题。”

节选自《中国地热能网》

# 雄安新区地质调查第一阶段结束 将打造地热资源全球样板

## THE FIRST STAGE OF GEOLOGICAL SURVEY IN XIONGAN NEW AREA HAS BEEN COMPLETED, AND A GLOBAL TEMPLATE OF GEOTHERMAL RESOURCES IS TO BE BUILT

8月23日,中国地质调查局、河北雄安新区、省国土资源厅、省地矿局在雄安新区召开雄安新区地质调查第一阶段成果移交汇报暨四方联席会议。国土资源部党组成员,中国地质调查局党组书记、局长钟自然出席会议并讲话;省委常委、副省长,雄安新区党工委书记、管委会主任陈刚主持会议并讲话。会上,中国地质调查局汇报了雄安新区地质调查工作进展情况及下一步工作安排,并向雄安新区移交了地质调查第一阶段成果。

千年大计,雄安新区地质情况如何?地质调查第一阶段成果出炉,一起来看!

自6月14日起,在国土资源部的统筹领导下,由中国地质调查局牵头,河北省国土资源厅、省地矿局和雄安新区共同参与,以开展工程地质调查、土地质量调查、地下水与地面沉降调查、浅层地温能调查为主要内容,在新区及周边部分地区1770平方公里范围内,召集全国最高水平的勘探队伍,组织中国地质调查局11家直属单位和河北省地矿

局所属10家单位,开展全国最大规模的地质勘查活动。

### 为新区规划提供地质依据

此次调查活动投入钻机203台、工程技术人员1700多人,完成勘探钻孔516个、总进尺5.5万米、水土样品采集测试4万余件、综合物探测井近1万米,获取了90余万条数据,取得一批重要成果和认识,为雄安新区暨起步区总体规划提供了重要的地质依据。

### 五大重要成果

经过近2个月努力,地质调查第一阶段工作圆满完成,取得了重要成果,得出五点结论。

经地质调查第一阶段的工作发现,雄安新区区内场地稳定性和工程建设适宜性总体较好,稳定场地和基本稳定场地占89.5%,全区适宜工程建设;重点调查区地下空间开发利用条件优越,

适合规模化开发；重点调查区土壤环境清洁，大部分土壤无重金属污染，土壤清洁区面积占 99.3%。

经调查，雄安新区地下水质量总体良好，38% 浅层地下水可作为饮用水源，40% 适当处理后可作为饮用水源；75% 深层地下水可作为饮用水源，20% 适当处理后可作为饮用水源；部分区域分布有富锶优质地下水。且雄安新区浅层地热能开发利用条件适宜，每布设 1 平方米地埋管可满足 2-3 平方米建筑面积的供暖制冷需求。综合利用地源热泵系统供暖制冷，起步区可满足 3000 万平方米建筑面积，全区可满足约 1 亿平方米建筑面积。

## 接下来将完成这些工作

围绕雄安新区规划建设需求和“构建世界一流透明雄安、打造地热资源利用全球样板、建成多要素城市地质调查示范基地、为雄安新区规划建设

运行管理提供全过程地质解决方案”四大愿景目标，分阶段开展下列工作：

开展容城地热田初步勘查、重点地区工程地质详细勘察、深层水文地质勘探试验、深部三维地质结构探测，初步搭建透明雄安数字平台框架，为控制性详细规划编制提供基础资料和决策支持。

开展地面沉降严重区高分辨率 InSAR 调查，构建地面沉降立体监测网，建立地下水模拟与三维地面沉降模型，评估地面沉降风险，为工程规划建设和地面沉降风险防控提供决策依据。

全面实施地热田整装勘查，深入开展多要素城市地质调查，系统建立国土资源与地质环境监测预警网络，全面建成透明雄安数字平台，为雄安新区规划建设、运营管理提供全过程地质解决方案。

选自《中国地热能网》



# 四部委推进北方冬季清洁取暖试点工作

## THE FOUR MINISTRIES HAVE PROMOTED THE PILOT WORK ON CLEAN HEATING IN THE NORTH

9月8日，财政部、住建部、环保部、国家能源局联合召开北方地区冬季清洁取暖试点工作视频会议，部署试点城市清洁取暖工作。根据试点方案，未来三年地方财政将投入约697亿元保障清洁取暖改造顺利实施，计划吸引金融机构、企业投入等社会资本超过2000亿元。

本次会议要求，试点城市是清洁取暖的责任主体和实施主体。记者了解，已经列入中央财政支持的北方地区冬季清洁取暖12个试点城市，包括天津、石家庄、唐山、廊坊、保定、衡水、太原、济南、郑州、开封、鹤壁、新乡市。

在即将到来的2017年采暖之前，环保部联合多个部委出台了《京津冀及周边地区2017-2018年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》。其中散煤污染综合治理是此次工作的重点之一。该《行动方案》指出，要加快散煤污染综合治理，全面完成以电代煤、以气代煤任务。其中明确北京、天津、廊坊、保定市2017年10月底前完成“禁煤区”建设任务，散煤彻底“清零”。

本次会议要求，为做好清洁取暖工作，试点城市要加强组织领导、注重协调配合，做到目标清晰、责任到位、协调一致、推进有力；要细化实施方案、加快分解落实，切实增强经济性、适用性和可操作性；要创新投入机制、发挥资金效益，理顺电价、气价、供暖价格等体制机制，引导社会资本加大投入；要坚决完成清洁取暖改造任务，3年内城区散煤取暖“清零销号”、农村地区完成绝大多数改造。

鼓励各地人民政府利用融资平台筹措资金，支持清洁取暖工作。

早在今年5月，四部委曾联合发布的《关于开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作的通知》明确要求，按照“集中为主，分散为辅”、“宜气则气，宜电则电”原则，推进燃煤供暖设施清洁化改造，推广热泵、燃气锅炉、电锅炉、分散式电（燃气）等取暖，因地制宜推广地热能、空气热能、太阳能、生物质能等可再生能源分布式、多能互补应用的新型取暖模式。

此次会议指出，中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点，以城市带动农村，支持地方加快推进清洁取暖改造工作，着力解决“2+26”城市散煤污染问题。中央财政在支持政策上进行了创新，从“全面撒网”到“重点突破”，以城市为单位给予奖励，进行整体推进；同时，明确目标任务、突出地方责任、强化绩效考核，督促地方创新体制机制、完善政策措施、探索试点经验，引导企业和社会加大资金投入，构建“企业为主、政府推动、居民可承受”的运营模式。

国家能源局正会同财政、环保、住建等相关部门抓紧编制《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021年）》，将提出北方地区冬季清洁取暖的总体目标，从热源、热网、用户三个方面提出推进策略，并配套制定保障措施，为全面推进北方地区清洁取暖提供指导。

节选取《地源热泵网》

# 孔大爷家为什么选择了 自费加装地能热宝系统

## WHY UNCLE KONG SELECTED TO INSTALL THE GEOTHERMAL ENERGY HEAT TREASURE SYSTEM AT HIS OWN EXPENSE

作者：鄢毅平（北京农业职业学院经济管理系教授）

关秀虎（恒有源科技发展集团有限公司）

孔大爷家住北京市大兴区的留民营村（联合国认定的中国生态农业第一村，联合国环境规划署命名的全球环境 500 佳之一）。习主席有关北方供暖的讲话，指明了清洁智慧供暖是治理雾霾的出路，因地制宜的高效电替煤、利用能源品位相当、温度对口的可再生浅层地能作为北方供暖的替代能源，提高百姓生活质量，是热冷一体化产业发展的方向。2016 年村里根据市政府统一安排实行煤改清洁能源，采用了恒有源科技集团提供的地能热宝系统，该系统不仅能供暖还能制冷和提供生活热水。取暖干净省事稳定安全，完全自动化，而且取暖费用明显降低，洗浴不用出家门，生活水平明显提升，村中环境更好了，家里人都很满意。

孔大爷家子女多，孩子们虽然平日不在家中住，但节假日经常回家和老人们团聚。为此，孔大爷家自建的住房共有近 300 平方米。2016 年留民

营村煤改清洁能源安装的是地能热宝，根据政府的政策，一个户口可以补贴 120 平方米的地能热宝设备费用，设备安装很顺利，没让孔大爷费心。设备运行一年后孔大爷发现，虽然新的取暖方式好，但全家人都回来时仅有供暖的 120 平方米略显拥挤，就想自费解决其余 100 多平方米住房的供暖和制冷问题。

通过与专业人员咨询，在当前的条件下村中可选择的清洁供暖办法有四种：一是直接电采暖，二是蓄能电采暖，三是空气源热泵采暖，四是留民营村 2016 年煤改清洁能源安装的地能热宝采暖。详细了解得知，直接电采暖虽然设备费用低，但仅增加 100 平方米的供暖，电力需求就要增加 10 千瓦，虽说 2016 年煤改电时家中电力增加到 9 千瓦，可现有供电条件仍远远不能满足需要，而且取暖费用太高，这一方法不可行。二是蓄能电采暖，但仅增



加的 100 平方米供暖，电力需要高达到 12 千瓦，完全不能给住房面积大的用户供暖，根本不能考虑。三是空气源热泵虽然只需要 5 千瓦电力，勉强能用，一台 5P 的空气源热泵加配套价格在 3 万元左右，但详细咨询其他村使用空气源热泵的用户发现，设备使用不够灵活，不像地能热宝那样，用哪间开哪间，而且设备运行时家里用电会超负荷，使用大功率电炊具可能有问题，且运行费用明显高于地源热泵。四是使用现有的恒有源科技集团提供的地能热宝设备及配套，费用为 4 万元，价格虽略高，但通过自己家中 1 年的使用，发现其电力负荷小，100 平方米只要 3 千瓦左右电力，家里现有的 9 千瓦配电完全够用，不影响日常生活用电，而且设备的灵活度高，需要为哪间房供暖制冷就开哪间房的设备。再仔细核算使用费用，发现自己家 2016 到 2017 年采暖季的运行电费不到每平方米 9 元，

问了村中 3 个邻居，使用地能热宝的每平方米电费最高的也只有 10 元，听恒有源公司的专业人员讲，李家坟村有一户人家，设备控制精心，一个冬季取暖电费每平方米不到 3 元。孔大爷想，自己家增加的 100 多平方米只在节假日用，电费多不了，如果使用精心点儿费用还会更低。孔大爷的儿女们打听来了其他村空气源热泵的年使用费用，据说每平方米在 16 元左右，虽说可以接受，但 100 平方米每年取暖运行费至少多 600 元，可能 6 年后，空气源热泵的总费用就会超过地能热宝，听专业人员讲，地能热宝至少要用上十几年，虽然安装地能热宝费用比空气源热泵高 1 万元左右，但仔细核算下来不仅效果好，而且运行费用低，更适合家中的条件，多年的总费用也低。全家人几次核计，综合比较，简单说一是供暖稳定省钱，二是使用方便省心。最终选择了自费加装恒有源的地能热宝。

# 恒有源清洁供暖工程案例介绍

## INTRODUCTION TO CLEAN HEATING ENGINEERING CASES OF EVER SOURCE SCIENCE&TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP CO., LTD.

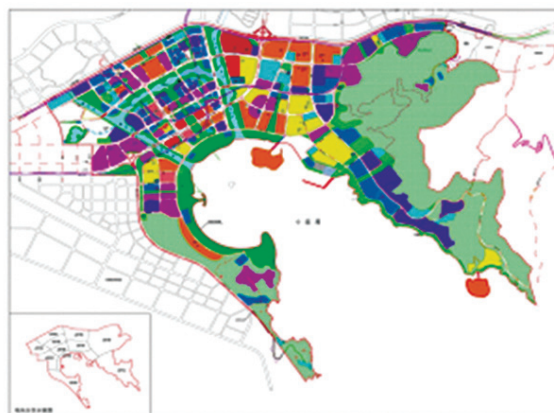
恒有源集团始终坚持以原创的“单井循环换热地能采集技术”为核心的产业化发展，让可再生的浅层地能作为北方为建筑物清洁智慧供暖的替代能源的可设计性更强、适用范围更宽泛，并依据中国建筑气候区划图的不同地区，浅层地能的品位与各类相适宜热泵产品匹配，温度对口的保证最恶劣气候状态下，国家供暖标准规定的温度保证。目前已经形成集区域分布式地能冷热源站、地能热泵环境系统、地能热宝系统、可再生空-地能联合热宝系统等各种与传统能源供暖方式全面对接。实现了建筑物供暖总能耗 60% 以上利用的是可再生能源。

### 一、HYY 分布式地能冷热源站（城镇热力供暖方式）

相当于城镇热力的“HYY50-900MW 分布式地能冷热源站”，其特点是充分体现分布式、生态型的能源按品位分级利用的理念，区域供暖能源规划先行，按规划、随建筑物建设进度，建设相应的地能采集站、热泵站保证无燃烧为建筑物智慧供暖。

大连金普新区小窑湾国际商务区“HYY900MW 分布式地能冷热源站”，由 216 个可再生浅层地能采集换热站，216 个热泵站组成，冷热源站按规划随建筑物建设进度而配套建设，保证为建筑物清洁智慧供暖

### HYY 分布式地能冷热源站工程实例 大连市金州新区小窑湾国际商务区 900MW 分布式地能冷热源站



## 项目概况

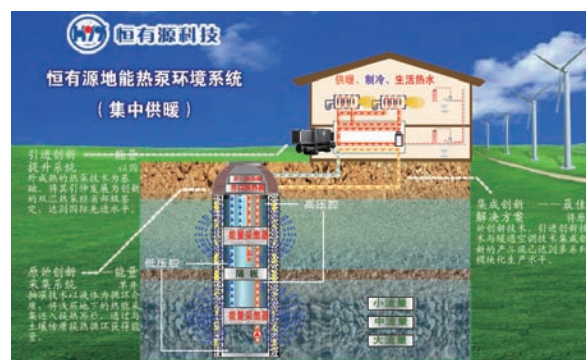
| 序号 | 项 目     | 概 况                           |
|----|---------|-------------------------------|
| 1  | 名 称     | 大连市金州新区小窑湾国际商务区900MW分布式地能冷热源站 |
| 2  | 地 址     | 大连市金州新区小窑湾国际商务区               |
| 3  | 规划面积    | 20.6平方公里                      |
| 4  | 建设用地    | 13平方公里                        |
| 5  | 总建筑面积   | 1500万平方米                      |
| 6  | 居住及就业人口 | 居住人口14.5万，就业人口30万             |
| 7  | 建设周期    | 5至10年全部达产                     |
| 8  | 经营方式    | 地能供热特许经营                      |

## 二、HYY 地能热泵环境系统（集中供暖方式）

相当于“用着省”的传统集中供暖的“HYY地能热泵环境系统”，是利用可再生的浅层地能无燃烧为建筑物清洁智慧供暖的集中供暖系统。浅层地能作为建筑物供暖的替代能源，使用区域无燃烧、零排放，是供暖能源按品位分级、温度对口，是新时期最合理的利用。

集中供暖的特点是建立在系统运行保证和能耗的基础上，通过智能控制，降低使用成本。

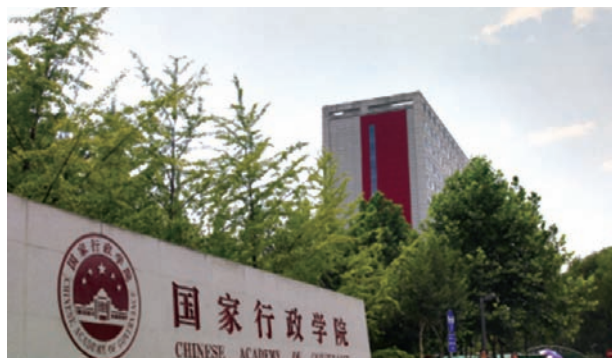
## 系统示意图



## 工程实例



全国工商联办公楼：50000 平方米



国家行政学院港澳中心：43365 平方米



山西农科院建筑面积：143105 平方米



北京海淀外国语实验学校建筑面积：92632 平方米

三、HYY 地能热宝系统（自采暖方式）

“热宝”：暖保障、冷兼有、生活热水可选配的特种地能热泵设备，

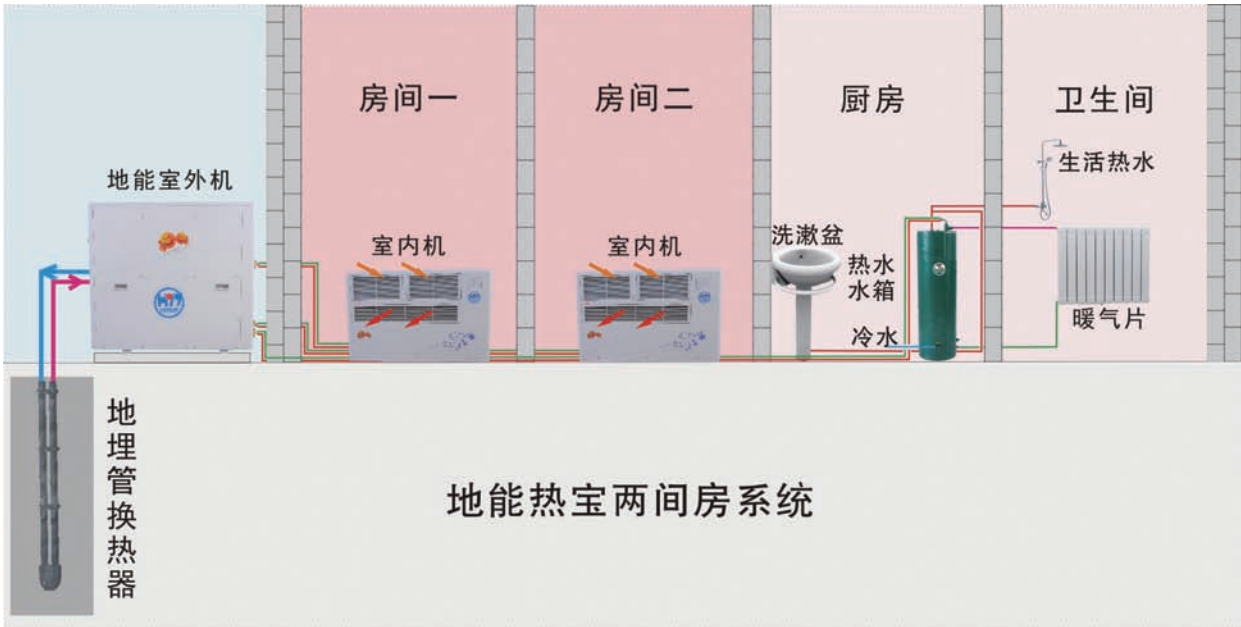
“地能热宝”系统是以浅层地能作为供暖替代能源。系统设计符合和继承了中国“省着用”的节俭传统，分间配热宝设备和分间计量，是高效电替煤自采暖系统。

地能热宝系统特点是：设备小功率、分间配、重点保证、独立计量、不开不冻，谁省归谁。系

统可简单复制，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。

地能热宝系统按采集技术方式分为：地埋管地能热宝系统（分散采集浅层地能）和单井循环换热地能热宝系统（集中、安全、高效、省地采集浅层地能）。有利于根据不同地质条件选择适宜的可再生的浅层地能采集换热采集方式。

1、HYY（地埋管）地能热宝系统示意图



地能热宝两间房（地埋管）系统（冷、暖、生活热水三联供）

## 工程实例

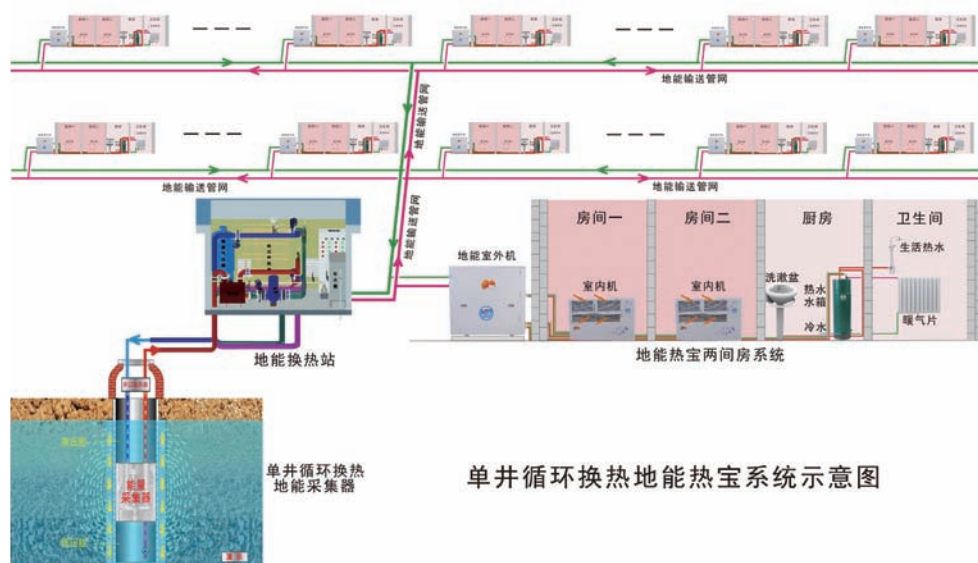


北京上庄镇西闸村：整村高效电替煤改造，分间使用，分户计量



北京上庄镇李家坟村：整村高效电替煤改造，分间使用，分户计量

## 2、单井循环换热地能热宝系统



单井循环换热地能热宝系统示意图

## 工程实例



北京龙泉镇龙泉务村：整村 1476 户改造，分间使用，分户计量

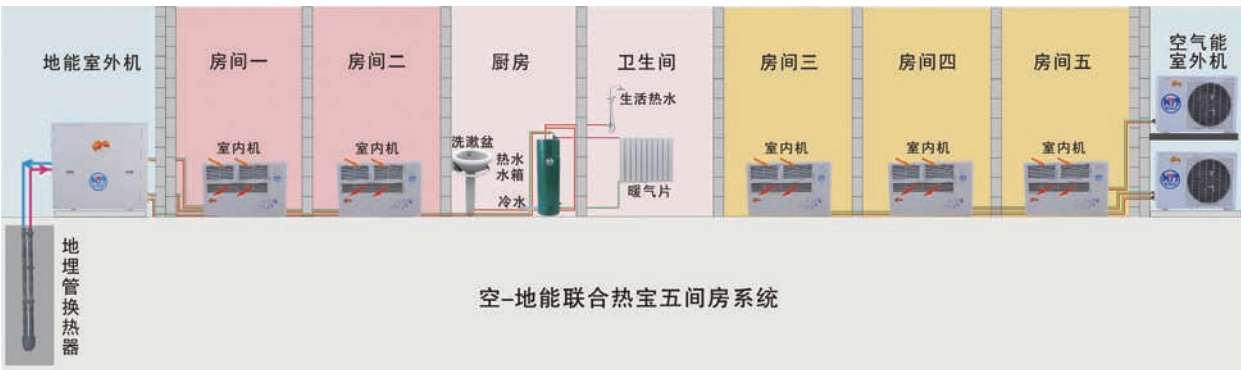


河北省张家口市怀来县存瑞镇义和堡村：  
整村 265 户改造，分间使用，分户计量

3、HYY 可再生空 - 地能联合热宝系统（自采暖方式）

可再生空 - 地能联合热宝系统是以浅层地能作为供暖替代能源为主、以空气能作为供暖能源的补充（可再生空 - 地能热宝系统）适用于山区农户的供暖系统，地能实现重点房间最恶劣气候下，

最基本温度保证，空气能实现空置房间可随时启用。  
系统特点：降低投资和使用成本，保证方便、适用，持续可再生空气能、浅层地能利用能源品位相当、温度对口，高效利用。



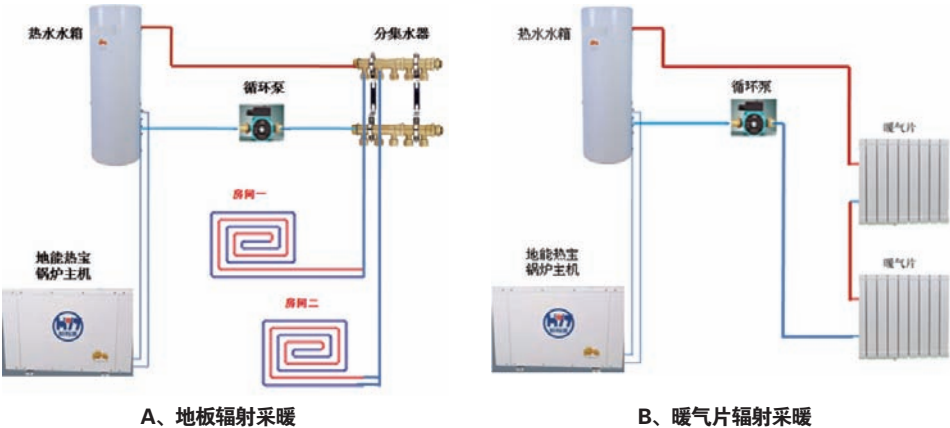
可再生空 - 地能联合热宝五间房系统

4、恒有源地能热宝锅炉系统（对接传统自采暖方式）

地能热宝锅炉，传承热泵核心科技，以消耗小部分电能作为补偿，通过热力循环，从浅层地能中提取能量，通过压缩机将其输送至冷凝器，

释放给末端的地暖或暖气片，不受环境温度限制，在寒冷、严寒气候条件下也能高效供热，是一种新型的高效、节能、环保、舒适的供热产品。

系统示意图



# Introduction to Clean Heating Engineering Cases of Ever Source Science & Technology Development Group Co., Ltd.

Ever Source Science & Technology Development Group Co., Ltd. (here in after referred to as HYY) always adheres to the industrial development with original “single-well heat exchange technology”, makes the design ability and scope of application of using renewable shallow ground source energy as alternative energy source for building heating in a clean and smart way in the north stronger and wider, and matches with various suitable heat pump products according to different regions divided in the climate zoning map of buildings in China and the grade of shallow ground source energy. If the temperature is suitable, the Group will guarantee the temperature ruled in national heating standard under the severest climatic conditions. At present, the new mode integrating dispersed ground source station for cooling/heating, ground energy heat pump environment system, ground source heating devices system and renewable the heating devices system combining air energy and geothermal energy has butted traditional energy heating mode, thus achieving the purpose that buildings with total energy consumption above 60% shall utilize renewable energy.

## **I. HYY dispersed ground source station for cooling/heating (urban thermodynamic heating mode)**

The “HYY50-900MW dispersed ground source station for cooling/heating” equivalent to urban thermodynamics is characterized by fully embodying the concept that distributed and ecological type energy resources are utilized by leveling as per grade. It is necessary to put the regional heating energy plan in the first place, and construct corresponding geothermal energy collection stations and heat pump stations according to plan and the building construction progress, thus supplying heat to buildings without combustion and in a smart way.

The “HYY900MW dispersed ground source station for cooling/heating” at Xiaoyao Bay International Business District in Jinpu New Area of Dalian City consists of 216 collection and heat exchange stations of renewable shallow ground source energy and 216 heat pump stations, and the cooling and heating source stations are constructed matched with the construction progress of buildings as planned, thus guaranteeing clean and smart heating to buildings.

Engineering Cases of HYY Dispersed Ground Source Station For Cooling/Heating



900MW Dispersed Ground Source Station For Cooling/Heating  
at Xiaoyao Bay International Business District in Jinzhou New District of Dalian City

Project Overview

| Region | Name of Village                     | Name                                                                                                                                            |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Name                                | 900MW Dispersed Ground Source Station For Cooling/Heating at Xiaoyao Bay International Business District in Jinzhou New District of Dalian City |
| 2      | Address                             | Xiaoyao Bay International Business District, Jinzhou New District, Dalian City                                                                  |
| 3      | Planning area                       | 20.6km <sup>2</sup>                                                                                                                             |
| 4      | Construction land                   | 13km <sup>2</sup>                                                                                                                               |
| 5      | Total building scale                | 15 million m <sup>2</sup>                                                                                                                       |
| 6      | Residential and employed population | Residential population: 145000; employed population: 300,000                                                                                    |
| 7      | Construction cycle                  | Reaching standard output in 5-10 years                                                                                                          |
| 8      | Operation mode                      | Franchising of geothermal energy heating                                                                                                        |

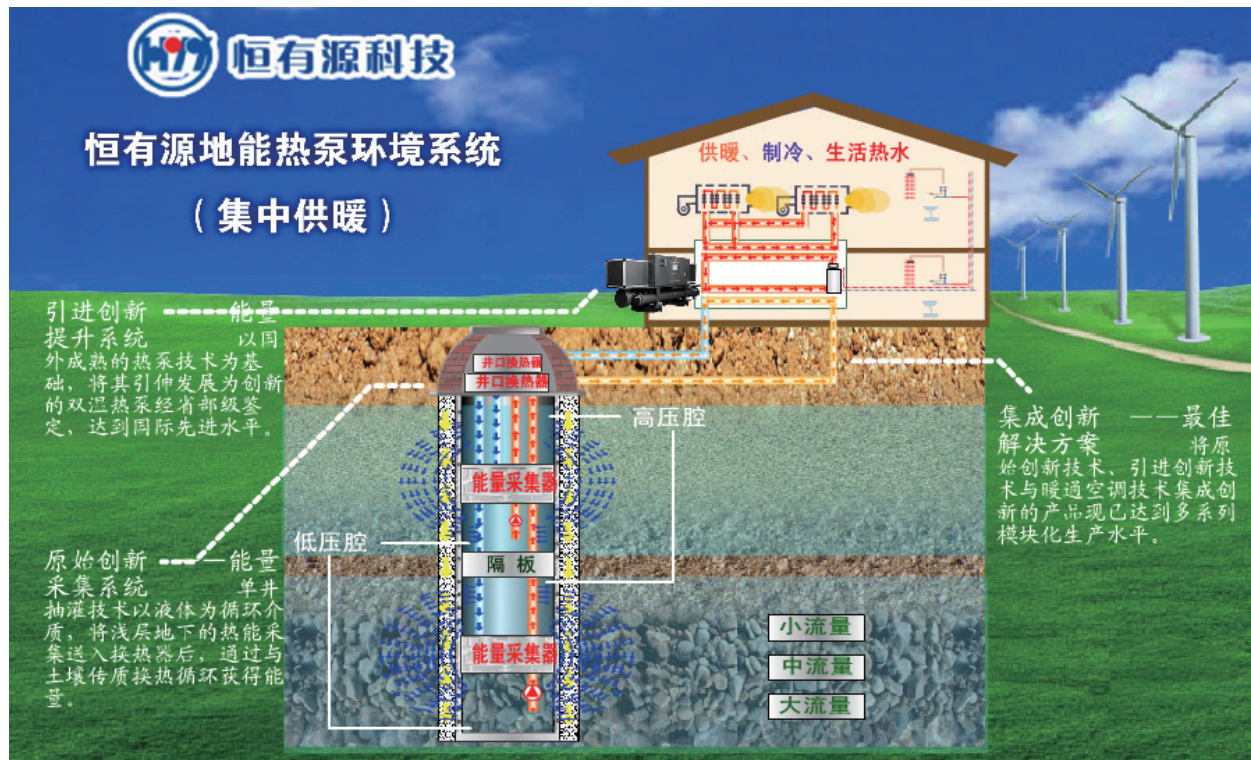
II. HYY ground energy heat pump environment system (central heating mode)

The “HYY ground energy heat pump environment system” equivalent to the traditional central heating saving energy during the using is a kind of central heating system utilizing renewable shallow ground source energy to heat buildings in a clean and smart way without combustion. As the alternative energy source for building heating, the

shallow ground source energy has no combustion or emission in its using region, and then heating energy sources can be used by leveling as per grade and temperature can be matched suitably, the most reasonable utilization in the new era.

The central heating is characterized by reducing using cost via smart control based on the system operation guarantee and energy consumption.

# System Schematic Diagram



## Engineering Cases



Office Building of All China Federation of Industry and Commerce: 50,000m<sup>2</sup>



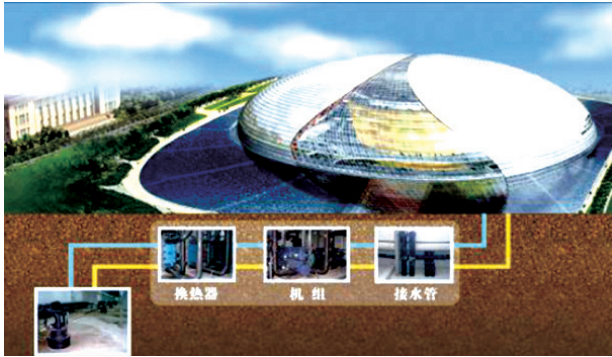
Building area of Shanxi Academy of Agricultural Sciences: 143,105m<sup>2</sup>



Hong Kong & Macau Center of China National School of Administration: 43,365m<sup>2</sup>



Building Area of Beijing Haidian Foreign Language Experiment School: 92,632m<sup>2</sup>



Pool Water Area of National Center for the Performing Arts: 35,000m<sup>2</sup>



Building of College of Environmental Sciences and Engineering

### III. HYY geothermal heat treasure system (self-heating mode)

“Heating devices”: a special kind of ground energy heat pump equipment providing heating and cooling energy with domestic hot water optional.

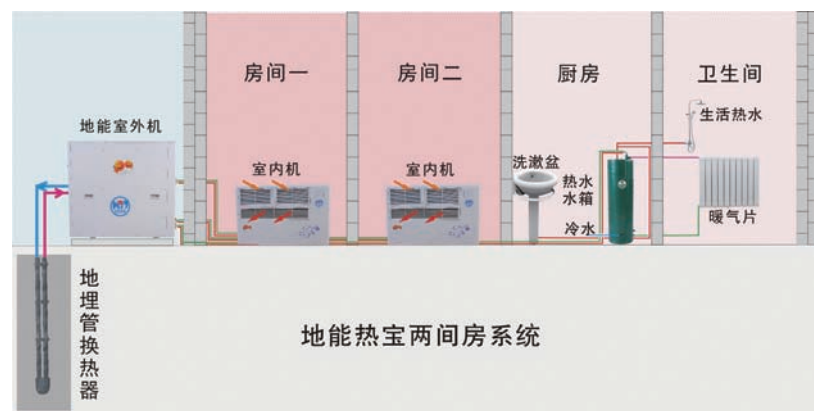
The “ground source heating devices” system takes shallow ground source energy as alternative energy for heating. The system design conforms to and inherits Chinese tradition of frugality i.e. “saving energy during the using”, with each room provided with heat treasure equipment and energy metered respectively. It is a kind of efficient self-heating system by taking electricity to replace coal.

Ground source heating devices system is characterized by small equipment power,

being provided in each room, key guarantee, independent metering, no freezing even if it is not in the working status, and saving energy and money for the user. The system can be copied simply, with convenient operation, in favor of differential using under behavior energy saving, meeting individual demands of customers, especially extensive rural households to the greatest extent.

According to collection technological modes, ground source heating devices system can be divided into: buried pipeline geothermal energy heat treasure system (collecting shallow ground source energy in a distributed way) and ground source heating devices system of single-well heat exchange (collecting shallow ground source energy in a centralized, safe, efficient and saving way).

#### 1. Schematic Diagram of HYY (Buried Pipeline) Ground Source Heating Devices System



Two-room (Buried Pipeline) System of ground source heating devices (Supplying Cold Water, Hot Warm Water and Domestic Hot Water)

## Engineering Cases

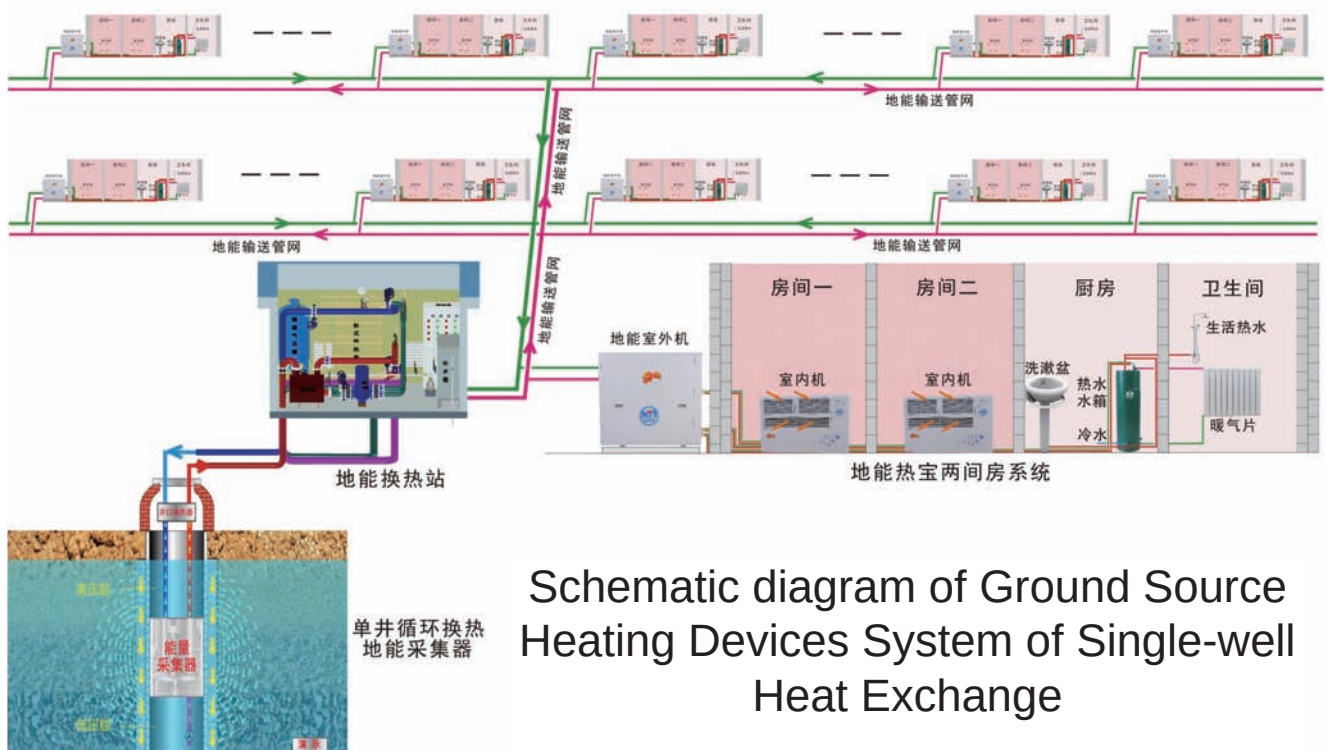


Xizha Village, Shangzhuang Town, Beijing: in the whole village, the efficient electricity was adopted to replace coal, with the heating devices used in each room and metered based on household.



Lijiafen Village, Shangzhuang Town, Beijing: in the whole village, the efficient electricity was adopted to replace coal, with the heating devices used in each room and metered based on household.

## 2. Ground Source Heating Devices System of Single-well Heat Exchange Technology



Schematic diagram of Ground Source Heating Devices System of Single-well Heat Exchange

## Engineering Cases



**Longquanwu Village, Longquan Town, Beijing: 1,476 households of the whole village were reconstructed, with the heating devices used in each room and metered based on household.**

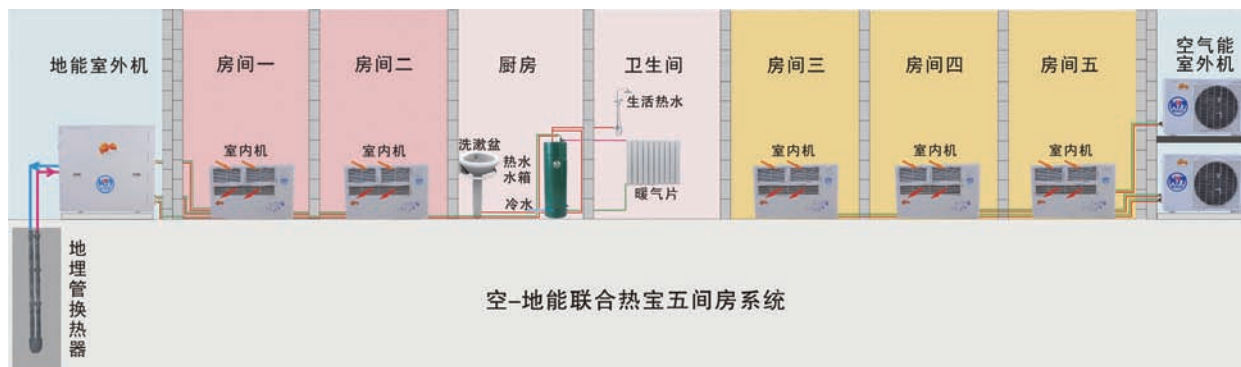


**Yihebao Village, Cunrui Town, Huailai County, Zhangjiakou City, Hebei Province: 265 households of the whole village were reconstructed, with the heating devices used in each room and metered based on household.**

### 3. HYY heating devices system combining renewable air energy and geothermal energy (self-heating mode)

The heating devices system combining renewable air energy and geothermal energy is a kind of heating system applicable to villagers in mountainous area, which mainly takes shallow ground source energy as the alternative energy source for heating and takes air energy as supplementary energy for heating (heating devices system combining renewable air energy and geothermal energy); the geothermal energy may guarantee the basic temperature when key rooms are under the severest climatic conditions, and the air energy will make sure that the vacant room can be used at any time.

The system possesses the following characteristics: reduction of investment and using cost, convenient and applicable using, continuous renewable air energy, equivalent grade and suitable temperature of shall geothermal energy utilization, and efficient utilization.

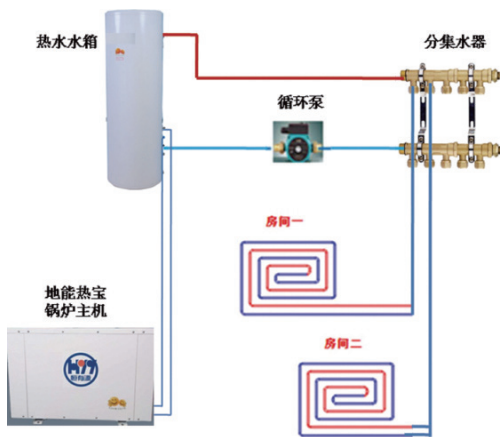


**Five-room System of Heating Devices Combining Renewable Air Energy and Geothermal Energy**

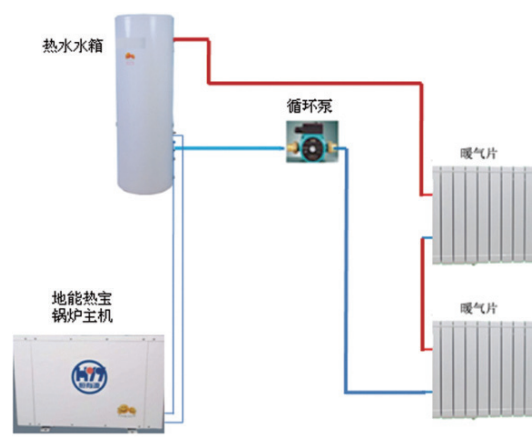
#### 4. HYY system of ground source heating devices boiler (butting traditional self-heating mode)

The ground source heating devices boiler inherits core science and technology of heat pump, taking the consumption of a small part of electric energy as compensation, extracts energy from shallow ground source energy via heat thermodynamic cycle, and transmits the energy to condenser via compressor, releases the energy to the radiant floor heating or heating radiator at the terminal. Not restricted by environmental temperature, and able to supply heat efficiently under cold and chilly climatic conditions, it is a new type of efficient, energy saving, environment-friendly and comfortable heat supply product.

System Schematic Diagram



A. Radiant Floor Heating



B. Radiator Heating



# 页岩气开发关键新型技术应用现状及挑战

## APPLICATION STATUS OF KEY NEW TECHNOLOGIES FOR SHALE GAS DEVELOPMENT AND CHALLENGES

作者：彭彩珍，任玉洁（西南石油大学石油工程学院）

“十三五”期间，我国页岩气的发展目标是到2020年产量突破300亿立方米。为此，加大勘探开发力度并通过技术创新、商业模式创新为页岩气大规模的开发提供了有力支撑，尽快形成节约、清洁、安全的“工厂化”生产方式和发展模式是我国“十三五”期间页岩气发展的重要目标。根据最新预测，我国南方海相页岩气可采资源量约8.8万亿立方米，四川盆地有利区面积为4.0万平方千米、可采资源量为4.5万亿立方米。据调研显示，页岩气资源的不确定性、3500米以深勘探开发关键技术与装备突破、低成本生产、水资源与安全环保是我国页岩气实现规模开采面临的四大挑战。

### 1 页岩气开发关键技术

页岩气开发具有开采寿命长和生产周期长的特点，大部分产气页岩分布范围广、厚度大，且普遍含气，使得页岩气井能够长期地稳定产气。但页岩气储集层渗透率低，开采难度较大，在开采过程中需要实现高效开发且后期需要有效应用压裂等增产措施。在页岩气勘探开发历史和现状研究中许多学者指出，水平井技术和压裂技术是

最关键的两项技术。

#### 1.1 “井工厂”技术

##### 1.1.1 技术介绍

页岩气开发经历了直井、水平井、分支井、丛式井、“井工厂”开发的发展历程。目前，美国致密砂岩气、页岩气开发，加拿大页岩油气开发，墨西哥湾及巴西深水油田开发等均采用“井工厂”技术。美国西南能源公司已将“井工厂”技术普遍用于Fayetteville页岩气开发。据北美地区页岩气开发经验和国内相关研究结果，“井工厂”钻井技术具有减少征地面积、提高钻机使用效率、降低作业成本和提高材料综合利用等诸多优势。“井工厂”钻井完井技术是指在同一地区集中布置大批相似井，使用大量标准化的装备或服务，以生产或装配流水线作业的方式进行钻井、完井的一种高效低成本作业模式。即在充分考虑地环境条件、材料供给、电力供应、人力物力情况下，采用“群式布井、集中施工、流水作业、资源整合、统一管理、远程控制”方式，具有批量化、流程化、标准化、自动化、效益最大化等优点。

##### 1.1.2 应用现状

自2012年以来，中国石油、中国石化“井

工厂”技术的实践与探索取得了一定成绩。在苏里格气田苏53区块及威远-长宁页岩气示范区等进行了“井工厂”钻井技术模式的实际运用。2014年,涪陵地区12个钻井平台应用了“井工厂”钻井技术,其中有2个台(JY30、JY28)完成了全部钻井工作。结合涪陵地区开发设计要求并综合该地区气藏山地地质条件,应用了山地“井工厂”钻井技术之后取得了较好的效果。

### 1.2 压裂技术

页岩气的开发不仅要掌握增产核心技术,提高页岩气单井产量,同时要节约水资源,实现资源环保型开采和利用。进行科技攻关,探索新型压裂技术已是国家战略层面的需求。由于页岩气藏超低渗透率和低孔隙度,页岩气水平井需经过多级大规模水力压裂处理,才能保证页岩气藏经济生产。现有压裂技术以清水压裂、重复压裂、同步压裂和水力喷射压裂为主。这些技术多以清水为压裂基液,混配添加剂和支撑剂,用水量巨大,混配设备和压裂设备需求量大且水资源匮乏交通运输不便。水力压裂是一个系统工程,不同的压裂技术适用性也不一样,单一的压裂技术难以满足开发的需要,在页岩气开发过程中,往往需要几种压裂技术综合使用。

## 2 存在问题及挑战

目前,页岩气开发研究已形成一系列成功经验,明确了页岩气地质特征及主控因素,提出页岩气富集“经济甜点区”优选标准。然而,页岩气规模性开发还存在较多问题。一是我国页岩气的开发正处于大规模开发起步阶段,由于深层页岩气勘探技术限制,页岩气形成与富集机理尚不清楚,造成页岩气资源不确定性较大。二是随着储集层埋深的增加,地质演化程度加深,构造更加复杂,对勘探技术要求更高,成本也随之增加。三是尚未形成成熟的“井工厂”技术开发模式,

也没有HSE管理体系相关的行业标准,将对今后页岩气藏的开发设计和施工等产生一定阻碍。四是在开发过程中广泛应用的水力压裂会造成大量的水资源消耗,压裂后对地层水的污染处理困难,都不符合环保型社会发展。目前,现有压裂增产技术已达到瓶颈,探索更新、更高效的压裂技术以适应越来越多需求的商业性页岩气开发已是国家战略的需要。

## 3 结论及建议

### 3.1 结论

1)“井工厂”技术在涪陵地区页岩气山地开发效果较好。该技术具有占地面积少,可大大缩短施工周期,降低成本等优点,应进行推广试验和应用。

2)通道压裂技术与清水压裂、重复压裂、同步压裂和重复等压裂技术进行对比分析发现,解决了诸多技术问题,同时降低了压裂成本,提高产量效果也十分显著。

3)纤维压裂技术创造稳定裂缝,有效防止地层出砂,显著提高裂缝导流能力,解决我国水资源匮乏、环境污染、大型压裂设备运输困难、压裂液处理技术繁琐等问题。

### 3.2 建议

1)借鉴国内外成功经验,建立页岩气开发的相关标准,研发相关的智能设备与“井工厂”技术配套,并建立相应的技术制度和规范,形成一体化高效组织管理等开发模式,进行试验和开采。

2)“井工厂”技术开发中钻井液体体系的普遍使用给开采区域地层造成大量污染,常规清水压裂水资源消耗以及其压后污染等问题,均表明建立相应的环保评估制度体系已十分必要。

3)国内气藏压裂严重出砂、裂缝不稳定等问题,可进行高速通道压裂、纤维压裂的研究与试验,形成一套新的压裂工艺。节选自《当代石油石化》

# 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。

为进一步增强期刊内容的厚重和权威性，从2017年起，《中国地能》将改为季刊，以全新的面貌继续展现在各位读者面前。我们会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》这本小小的期刊能过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

中国节能建筑·地能供热(冷)示范项目

# 大连嘉乐比 温泉度假酒店

► 酒店系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, 简称中国地能)的全资子公司—恒润丰置业(大连)有限公司投资建设, 委托国内知名专业化酒店管理公司首旅建国酒店管理有限公司独家经营。以普及宣传水文化知识为主旨, 以商务会议接待、家庭度假旅游为主营。采用产权式酒店方式管理运行。

► 酒店规划建设面积为 2.34 万平方米, 开发投资 4 亿元。

由中国建筑科学研究院、中国建筑技术集团有限公司以现代时尚的外观设计风格设计, 以水文化在绿标建筑当中应用为概念, 以地热(温泉)水、海水、淡水三种水的结合应用为展示。酒店的采暖、制冷及生活用水均由原创的恒有源地能热泵环境系统和地能热泵环境系统提供。

► 酒店拥有别墅 33 栋(66 套)、各类客房 237 间/套, 大小会议室 4 个, SPA 5 间, 可以承接会议、团队及宴会; 配有大型儿童娱乐设施, 室内泳池、室外温泉泡池以及康乐设施, 满足客户度假的不同需求。



地址: 大连·瓦房店市仙浴湾镇旅游度假区  
电话: 0411-8512 9000  
传真: 0400-8512 8377-101

club·B 嘉乐比度假酒店



扫描二维码  
获取更多信息

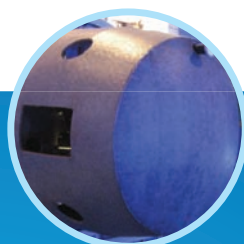
为推广地能热冷一体化新兴产业的发展，恒有源科技发展集团有限公司与四川长虹空调有限公司合资成立了宏源地能热宝技术有限公司。公司以智慧供热市场为导向，专注于地能热冷机各类产品的开发和各种形式的地能热宝系统的产品集成，推广地能无燃烧方式为建筑物智慧供热，满足人们舒适稳定的生活环境需求。



**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



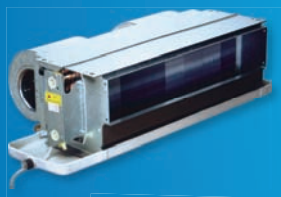
**防腐技术：**新工艺军工防腐技术 抗氧化腐蚀，经久耐用



**军用雷达防电磁干扰技术**



1



2



4



3



5



6



7



9

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