



ISSN:2309845 7

2017 年 06 月

第 19 期

季刊

中國地能

CHINA GROUND SOURCE ENERGY



雄安新区地热资源及
开发利用简析

P06

打通京津冀大气污染传输通道，
“煤改清洁能源”惠及 28 城市

P31

恒有源几个电高效替
煤工程运行数据分析

P83

承印人：泰業印刷有限公司 地址：香港新界大埔工業邨大貴街 11-13 號 售價：人民幣 10 元 港幣 20 元

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

雄安新区地热资源及开发利用 简析

P06

雄安新区地热资源丰富，开发利用总体水平较高，“雄安新区模式”已成为北方地区冬季供暖方式的重要选择。

Brief Analysis on Geothermal Resources with Their Development and Utilization in Xiongan New Area **P14**

P31

SPECIAL REPORT

特别报导

打通京津冀大气污染传输通道
煤改清洁能源惠及 28 城市

P31

P34

POLICY ADVICES

建言献策

浅层地热能开发的多能并举模式

P34

天津市浅层地热能存在的热堆积问题
及解决方法探讨

P41

P47

DEVELOPMENT FORUM

发展论坛

孔隙型热储循环开采试验获重要成果
——河北平原黄骅、安国地热尾水回灌试验基
本情况

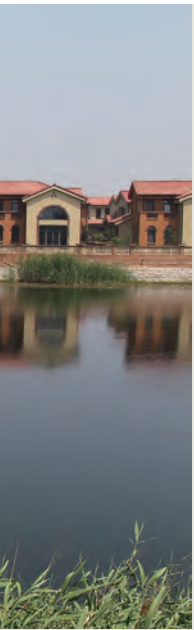
P47

热泵机理及建筑供暖采用浅层地能的优势

P58

岩土热物性测试发展综述与问题探讨

P60



P70

POLICY PROGRAMME

政策方针

环保部：2017 年 28 城市重点实施煤改清洁能源 P70

住建部印发建筑节能与绿色建筑发展“十三五”规划 P73

P75

HOTSPOT INFO

热点资讯

雄县推进地热循环利用 行业高增长可期 P75

合理开发地热能是节能减排的有效手段 P76

地热规划拉开资源能源化利用大幕 P79

地热开发“雄县模式”可望大行其道 P81

多部门编制北方冬季清洁取暖规划 P82

P83

PROJECT SHOWCASE

实用案例

恒有源几个电高效替煤工程运行数据分析 P83

P87

Analysis on Running Data of Several Projects about Replacing Coal with Efficient Electricity in Ever Source Science & Technology Development Group Co.,Ltd

P94

KNOWLEDGE SHARING

能源科普

“可燃冰”离大规模开采还有多远 P94

封面 / 目录图片：文见本刊 P06 摄影：孙伟 宋旭

中國地能
CHINA GROUND SOURCE ENERGY

2017 年 6 月
第 19 期
季刊

雄安新区 地热资源及开发利用简析

BRIEF ANALYSIS ON GEOTHERMAL RESOURCES WITH THEIR DEVELOPMENT AND UTILIZATION IN XIONGAN NEW AREA

作者：李红英（保定市国土资源局）

摘要：雄安新区地热资源丰富，开发利用总体水平较高，“雄县模式”已成为北方地区冬季供暖方式的重要选择。保定市已完成全市及包括雄县、安新县、容城县在内的13个县（市、区）地热资源调查评价，各级政府发布地热资源勘查与开发利用规划。雄安新区应依托地热资源优势，因地制宜，统筹布局，加强外围区域监管，高起点高标准开发建设，确保地热资源的可持续开发和利用。

一、简介

雄安新区规划范围涉及河北省雄县、容城、安新3县及周边部分区域，地处北京、天津、保定腹地，区位优势明显，交通便捷通畅，生态环境优良，资源环境承载能力较强，现有开发程度较低，发展空间充裕，具备高起点高标准开发建设的基本条件。雄安新区规划建设以特定区域为起步区先行开发，起步区面积约100平方公里，中期发展区面积约200平方公里，远期控制区面积约2000平方公里。

关键词：雄安新区 地热资源 浅层地热能资源 “雄县模式” 规划 可持续利用

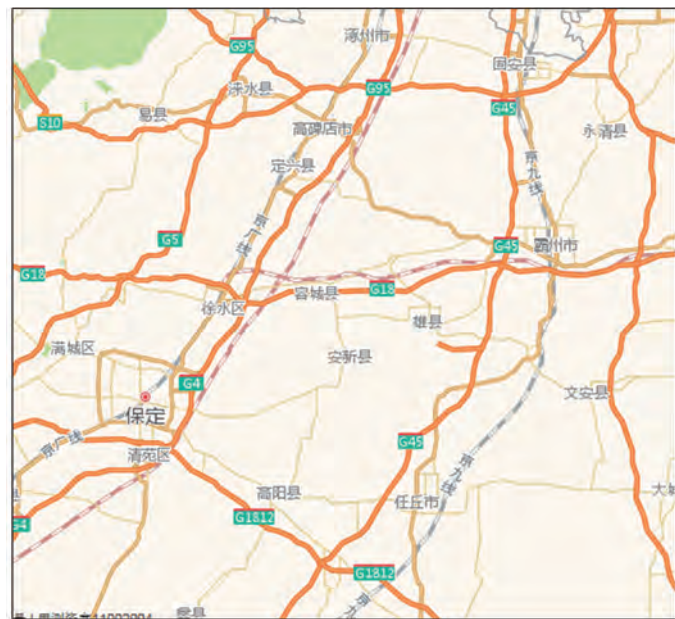


图1 雄安新区交通位置图

保定市于 2012 年进行全市地热资源调查评价, 发布《保定市地热资源勘查与开发利用规划(2012-2020 年)》; 2015 年组织全市包括雄县、安新县、容城县在内的 13 个有地热资源的县(市、区) 开展了地热资源调查评价, 对各地城区规划区浅层地热能资源进行了初步评价, 批准了各县(市、区) 地热资源勘查与开发利用规划, 由当地政府发布实施。根据调查评价结果, 雄安新区地热资源丰富, 三个县地热资源地质条件与分布特征各有不同, 开发利用规模和总体水平不一, “雄县模式” 已成为北方地区冬季供暖方式的重要选择。

二、雄安新区三县地热资源及其开发利用情况分述

(一) 雄县

雄县位于冀中平原, 地理位置在东经 116° 01'03"—116° 20'08", 北纬 38° 54'59"—39° 10'36", 面积 524km²。北距北京 108km, 东距天津 100km, 西南至保定 70km, 辖 6 镇 3 乡 223 个村, 总人口 38.3 万。

1、地热地质条件

雄县地热资源位于牛驼镇地热田内, 热储面积 524 平方公里, 占牛驼镇地热田总面积的 60% 以上, 为一大型地热田。含三个热储层: 新近系明化镇组热储、新近系馆陶组热储和蓟县系基岩热储层, 具有面积广、贮量大、埋藏浅、温度高、水质优的特点。

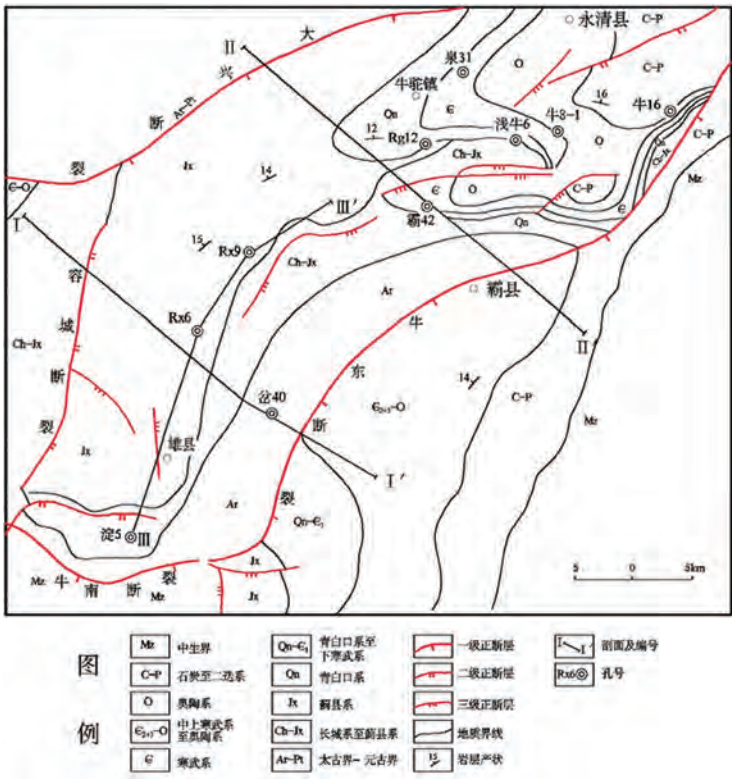


图 2 牛驼镇地热田区域基岩地质图

(1) 新近系明化镇组热储层广泛分布于全区, 热储顶板埋深 300-420m, 凸起区底板埋深一般 700-1000m; 凹陷区底板埋深为 1000-1600m。热储岩性为细砂岩、中砂岩和含砾砂岩。平均热储厚度为 225m, 热储层平均砂厚比为 36.4%。热储中部温度在凸起区轴部较高, 一般大于 50℃, 凸起区两侧及凹陷区域内热储温度较低一般为 35-50℃。热储平均空隙度 33.4%。单井涌水量为 20-75m³/h, 单位涌水量一般为 1.66-3.86m³/h, 井口出水温度最高可达 58℃, 矿化度 0.5-1.5g/L, 水化学类型为 HCO₃-Na 和 HCO₃·CL-Na 型水, PH 值 7.2-8.4。控制的可开采水量为 8.140 × 10⁶m³/a, 热能为 32.422MW, 年开采累计可利用的热能量为 17.041 × 10⁸MJ, 相当于标准煤 5.814 × 10⁴ 吨。

(2) 新近系馆陶组热储层仅分布于雄县东部, 新近系馆陶组热储层分布面积为 323.9km², 平均热储厚度较薄, 富水性水较差。热储层一般厚度在 200-400m。热储岩性为细砂岩、中砂岩及含砾砂岩, 平均砂厚比为 30.9%。热储中部

温度 45–65℃，平均热储温度为 53℃。热储平均空隙度为 25.5%，平均渗透率为 $381.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。单井涌水量为 40–85 m^3/h ，单位涌水量一般为 0.86–2.42 m^3/h ，矿化度 1.9–2.4 g/L ，水化学类型为 CL–Na 型水，PH 值 7.7–8.4。预计新增地热资源可开采量为 $1.154 \times 10^6 \text{m}^3/\text{a}$ ，热能为 5.819MW，年开采累计可利用的热能量为 $3.059 \times 10^8 \text{MJ}$ ，相当于标准煤 1.044×10^4 吨。

(3) 蓟县系雾迷山组岩溶裂隙热储为区域性热储，热储岩性为灰白、灰褐色白云岩、燧石条带白云岩，性硬脆，岩溶裂隙发育，富水性好，平均储厚比约为 29.4%。主要分布在雄县米家务镇–昝岗镇–崔村–十里铺村一线以西区域内，埋藏深度 490–4500m，热储裂隙率 2.6–5.2%，热储中部温度为 78–130℃。已有地热井井口水温 63–78℃，最高达 83℃，单井涌水量为 60–150 m^3/h ，单位涌水量一般为 1.772–49.148 m^3/h ，矿化度 2.5–3.1 g/L ，水化学类型为 CL–Na 型或 $\text{CL} \cdot \text{HCO}_3\text{--Na}$ 水，PH 值 7.0–8.1。2000m 以浅蓟县系热储已探明可开采量为 $4.848 \times 10^6 \text{m}^3/\text{a}$ ，热能为 42.480MW，年开采累计可利用的热能量为 $22.237 \times 10^8 \text{MJ}$ ，相当于标准煤 7.617×10^4 吨；2000–3000m 蓟县系溶裂隙热储预计新增探明可开采量为 $3.786 \times 10^6 \text{m}^3/\text{a}$ ，热能为 39.706MW，年开采累计可利用的热能量为 $20.869 \times 10^8 \text{MJ}$ ，相当于标准煤 7.121×10^4 吨。

(4) 浅层地热资源在全境内均为地埋管换热系统适宜区，面积为 128 km^2 。换热功率夏季为 $2377.92 \times 10^4 \text{W}$ ，冬季为 $1715.52 \times 10^6 \text{W}$ ；建筑物实际可利用浅层地热能面积 $2972.40 \times 10^4 \text{m}^2$ ；一年将减少排放 $\text{CO}_2 272.39 \times 10^4 \text{t}$ 、 $\text{SO}_2 272.39 \times 10^4 \text{t}$ 、 $\text{NO}_2 69 \times 10^4 \text{t}$ 、粉尘 $0.91 \times 10^4 \text{t}$ 。

2、开发利用情况

截止 2016 年末，雄县有地热井 78 眼，其中

生产井 64 眼，回灌井 22 眼。生产井包括 51 眼蓟县系雾迷山组地热井、9 眼新近系馆陶组地热井、4 眼新近系明化镇组地热井；回灌井均为蓟县系雾迷山组地热井。全部用于供暖，部分用于供暖和洗浴。城区范围内由中石化河北绿源地热能开发有限公司独家经营城区地热集中供暖系统工程，取得采矿权 4 个，矿区范围 19 平方公里。100% 无压回灌，除生活用水外供热尾水全部回灌，创造了闻名国内外的“雄县模式”，建设能力可满足供暖面积 485 万平方米，目前供暖面积占城区建筑总面积 90% 以上。

3、雄县地热资源勘查与开发利用规划

2015 年雄县完成雄县地热资源调查评价工作，县政府发布《雄县地热资源勘查与开发利用规划（2015–2020 年）》。

已完成设置探矿 22 个。规划期内拟开展可投放探矿权预可行性勘查评价，完成中心城区及周围地区地热资源可行性勘查，面积 128 平方公里。

根据社会需求与可持续发展的需求，控制明化镇组、馆陶组热储的开采量，积极推进基岩热储开发，全面推进回灌技术，重点支持热泵技术应用，开展浅层地热能利用。划定出限制开采区、控制开采区和鼓励开采区。县域西北部为鼓励开采区，中部为新近系热储控制开采区及基岩热储限制开采区，东南部为新近系控制开采区。建设地热农业温室种植科技示范、地热农业温室观光旅游、温泉旅游、地热矿泉水生产等重大项目。

规划期内建立功能完善的地热动态监测系统，全面实施基岩热储尾水回灌工程，提高梯级开发和综合利用水平，促进地热资源的可持续利用。

(二) 安新县

安新县位于冀中平原，地理位置在东经 $113^\circ 40' - 116^\circ 20'$ ，北纬 $38^\circ 40' - 40^\circ 00'$ ，面积 738.6 km^2 。北距北京 162 km ，西

南距石家庄市 187km, 西至保定 45km, 辖 9 镇 3 乡 207 个村, 总人口 39.3 万。白洋淀是大清河水系重要的水利枢纽, 白洋淀上承九河 (猪龙河、大清河、孝义河、唐河、府河、漕河、瀑河、萍河、白沟引河), 连接较大水库 5 座 (王快水库、西大洋水库、安格庄水库、龙门水库、瀑河水库), 下注渤海, 流域面积 3.12 万平方公里, 是海河流域重要的蓄滞洪区。白洋淀多年平均水资源总量为 4124 万立方米。经“引黄济淀”跨流域补水之后, 白洋淀水位为 7.5 米 (大沽高程), 水量为 1.54 亿立方米, 水域面积为 148.4 平方公里。

1、地热地质条件

安新县境内地热资源分属牛驼镇地热田、容城地热田和高阳地热田部分热储, 其中在牛驼镇断凸区地温梯度 $2.5\sim6.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 在容城断凸区地温梯度 $2.5\sim5.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 在高阳断凸区地温梯度 $2.5\sim4.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (图 3 安新县地质构造单元分区图)。按照资源总量属于大型规模。新近系明化镇组热储、新近系馆陶组热储、长城-蓟县系和寒武-奥陶系基岩热储层均有分布。地热总储量 $5415.88\times10^{16}\text{J}$, 可采地热总储量 $1065.72\times10^{16}\text{J}$; 储存地热流体总量 $83189.91\times10^6\text{m}^3$, 地热流体可开采总量 $4159.50\times10^8\text{m}^3$, 地热流体可利用的热能总量 $59.34\times10^{16}\text{J}$, 地热流体总产能 188.17MW。

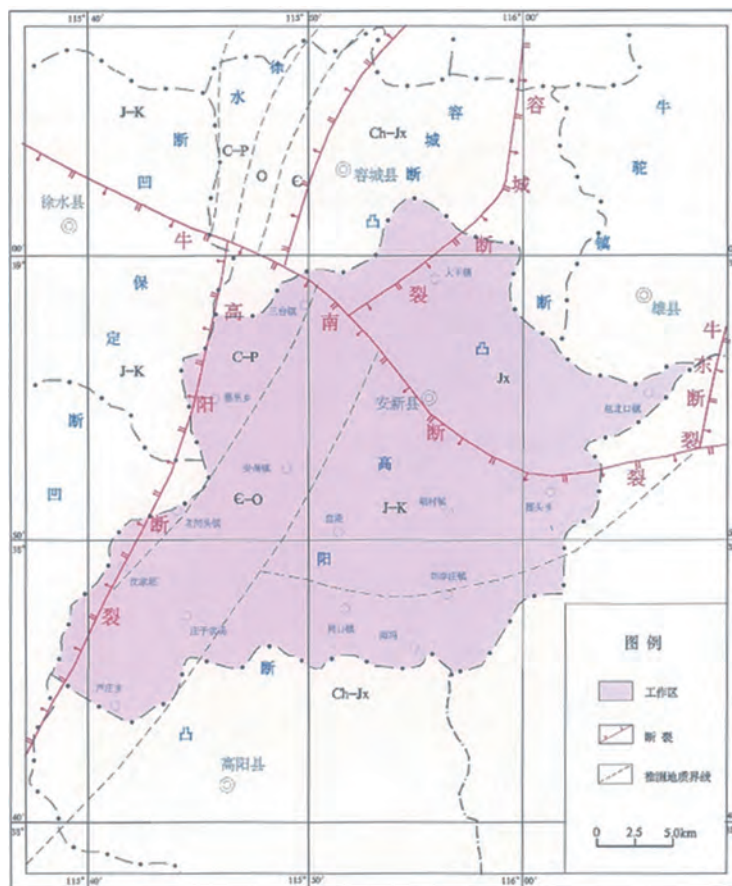


图 3 安新县地质构造单元分区图

(1) 新近系明化镇组热储层广泛分布于全区, 热储岩性为细中砂岩和含砾砂岩。热储厚度为 100~300m, 砂厚比为 12.93~56.9%, 热储空隙度 25~40%, 水温一般为 $30\sim50^{\circ}\text{C}$, 矿化度 $0.7\sim2.2\text{g/L}$, 水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 或 CL-Na 型水, PH 值 6.0~8.0。

(2) 新近系馆陶组热储层大部分区域均有发育, 仅北部断凸区小王镇一带缺失。热储岩性为细砂岩、中砂岩及含砾砂岩, 底部为杂色砂砾岩, 热储层一般厚度在 100~400m, 空隙度为 25~40%, 具有良好的富水性和渗透性。水温一般 $40\sim60^{\circ}\text{C}$, 单井涌水量为 $60\sim100\text{m}^3/\text{h}$, 单位涌水量一般为 $0.95\sim2.6\text{m}^3/\text{h}$, 矿化度 $1.0\sim2.5\text{g/L}$, 水化学类型为 CL-Na 型或 $\text{CL}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}$ 水, PH 值 7.5~8.5。

(3) 蓟县系雾迷山组岩溶裂隙热储主要分布在安新县北部及南部同口镇 - 刘李庄镇一带。热储岩性为白云岩、燧石条带白云岩、泥质白云岩等, 岩溶裂隙发育, 连通性好, 储厚比为 19.5-35%, 空隙度一般为 3.3-6.5%。水温 70-100℃, 涌水量为 80-120m³/h, 单位涌水量一般为 2.5-3.8m³/h, 矿化度 2.8-3.5g/L, 水化学类型为 CL-Na 型, PH 值 7.0-7.5。

(4) 寒武 - 奥陶系岩溶裂隙热储主要分布在安新县西南部安州镇 - 老河头镇一带。热储岩性为灰岩、白云质灰岩、鲕状灰岩等, 岩溶裂隙发育, 储厚比为 16.5-32%, 空隙度一般为 3.3-6.0%。水温 60-80℃, 涌水量为 60-80m³/h, 单位涌水量一般为 0.75-2.5m³/h, 矿化度 2.0-4.0g/L, 水化学类型为 CL-Na 型, PH 值 7.35-8.0。

(5) 浅层地热资源在全境内均为地埋管换热系统适宜区, 重点考虑县城区至北六村区域面积为 40.76km²。换热功率夏季为 468.5 × 10⁴W, 冬季为 271.04 × 10⁶W; 建筑物实际可利用浅层地热能面积 585.63 × 10⁴m²; 折合标准煤 18.20 × 10⁴ 相当于每年将减少排放 CO₂43.42 × 10⁴t、SO₂0.31 × 10⁴t、NO_{0.11} × 10⁴t、粉尘 0.15 × 10⁴t。

2、开发利用情况

截止 2016 年末, 安新县有地热井 17 眼, 全部为生产井。3 个蓟县系雾迷山组地热井, 井深 2306-3070 米; 14 个新近系馆陶组地热井, 井深 1300-1850 米。开发利用以供暖为主, 少数用于洗浴。由 14 个企业开发, 已取得采矿权 5 个, 地热供暖面积为 74 万平方米。

3、安新县地热资源勘查与开发利用规划

2015 年安新县完成安新县地热资源调查评价工作, 县政府发布《安新县地热资源勘查与开发利用规划 (2015-2020 年)》。

依据地热地质条件和资源潜力, 以勘查程度

和分布密度为基础, 结合城市规划和相关产业政策, 划定出 65.15 平方公里禁止勘查区、40.76 平方公里控制勘查区和两者之外区域的鼓励勘查区。有序开展公益性地热资源勘查、商业性地热资源勘查及浅层地热能资源勘查等工作。共拟设采矿权 9 个、探矿权 9 个和 15 个规划期新增勘查区块。

以地热资源条件和开发利用强度为基础, 依据地热开采强度、热储水位降幅、地热井分布密度、尾水回灌难度系数和热储水位埋深等因素, 划分出 40.76 平方公里控制开采区、基岩裂隙岩溶热储鼓励开采区和控制开采区以外的新近系孔隙型热储鼓励开采区及县域浅层地热能鼓励开采区。构建“一核三区”地热资源综合开发利用格局: “一核”指新能源综合利用示范区, “三区”指白洋淀温泉湖泊休闲旅游区、新农村地热供暖综合利用示范区和中低温地热工业利用示范区。已完成 5 个采矿权设立登记。

计划开展“安新县地热资源预可行性勘查”、“安新县浅层地热能资源调查评价”和“安新县地热井动态监测系统”等三个公益性资源评价工作, “白洋淀健康医疗、休闲养老、旅游度假大型综合性项目”、“安新县城区地热集中供暖工程”和“白洋淀温泉影视度假村”等三个商业性地热开发项目。

(三) 容城县

容城县位于冀中平原, 地理位置在东经 115° 45'26"—116° 04'02", 北纬 38° 57'04"—39° 08'32", 面积 314.50km²。北距首都北京 110 公里, 东距经济中心天津 100 公里。辖五镇三乡, 127 个行政村, 总人口 26 万。

1、地热地质条件

容城县地热资源丰富, 全县境内均处于容城地热田。容城地热田属中型地热田, 含二个热储层: 新近系明化镇组热储和蓟县系基岩热储层。地热田地热资源量为 1350.87 × 10¹⁶J, 相当于标准

煤 460.93×10^6 吨, 折合热能 4283.59MW; 地热田可采地热资源量为 337.72×10^{16} J, 相当于标准煤 115.25×10^6 吨, 折合热能 410.05MW; 总热流体可开采量为 $12.28 \times 10^8 \text{m}^3$, 其热资源量为 18.60×10^{16} J, 相当于标准煤 634×10^4 吨, 折合热能 58.99MW。

(1) 新近系明化镇组热储层广泛分布于全区, 热储顶板埋深 300–420m, 凸起区底板埋深一般 700–1000m; 凹陷区底板埋深为 1000–1600m。热储岩性为细砂岩、中砂岩和含砾砂岩。平均热储厚度为 225m, 热储层平均砂厚比为 36.4%。热储中部温度在凸起区轴部较高, 一般大于 50°C , 凸起区两侧及凹陷区域内热储温度较低一般为 $35\text{--}50^\circ\text{C}$ 。热储平均空隙度 33.4%。单井涌水量为 20–75 m^3/h , 单位涌水量一般为 1.66–3.86 m^3/h , 井口出水温度最高可达 58°C , 矿化度 0.5–1.5g/L, 水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{--Na}$ 和 $\text{HCO}_3 \cdot \text{CL--Na}$ 型水, PH 值 7.2–8.4。控制的可开采水量为 $8.140 \times 10^6 \text{m}^3/\text{a}$, 热能为 32.422MW, 年开采累计可利用的热能量为 $17.041 \times 10^8 \text{MJ}$, 相当于标准煤 5.814×10^4 吨。

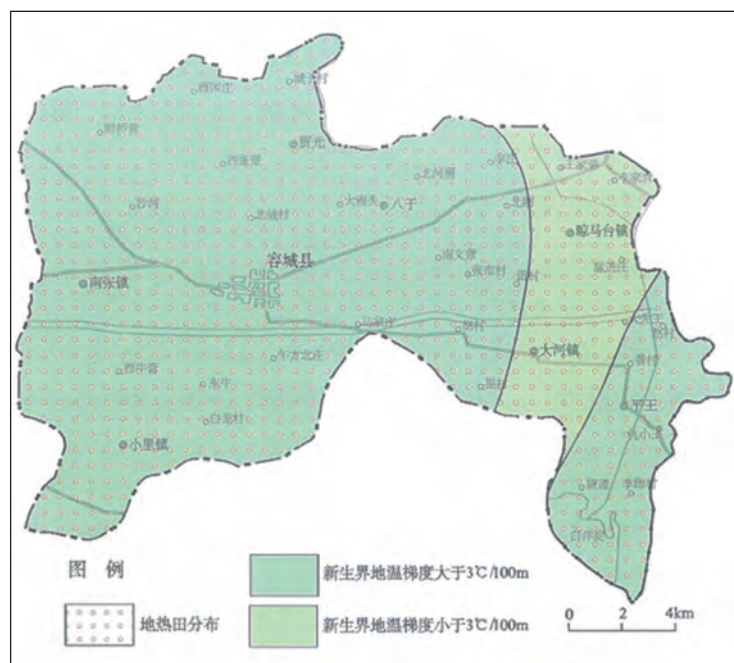


图 4 容城县地热田分布图

(2) 蓟县系雾迷山组岩溶裂隙热储为区域性热储, 热储

岩性为灰白、灰褐色白云岩、燧石条带白云岩, 性硬脆, 岩溶裂隙发育, 富水性好, 平均储厚比约为 29.4%。主要分布在容城县米家务镇–咎岗镇–崔村–十里铺村一线以西区域内, 埋藏深度 490–4500m, 热储裂隙率 2.6–5.2%, 热储中部温度为 $78\text{--}130^\circ\text{C}$ 。已有地热井井口水温 $63\text{--}78^\circ\text{C}$, 最高达 83°C , 单井涌水量为 60–150 m^3/h , 单位涌水量一般为 1.772–49.148 m^3/h , 矿化度 2.5–3.1g/L, 水化学类型为 CL–Na 型或 $\text{CL} \cdot \text{HCO}_3\text{--Na}$ 水, PH 值 7.0–8.1。2000m 以浅蓟县系热储已探明可开采量为 $4.848 \times 10^6 \text{m}^3/\text{a}$, 热能为 42.480MW, 年开采累计可利用的热能量为 $22.237 \times 10^8 \text{MJ}$, 相当于标准煤 7.617×10^4 吨; 2000–3000m 蓟县系溶裂隙热储预计新增探明可开采量为 $3.786 \times 10^6 \text{m}^3/\text{a}$, 热能为 39.706MW, 年开采累计可利用的热能量为 $20.869 \times 10^8 \text{MJ}$, 相当于标准煤 7.121×10^4 吨。

(3) 浅层地热资源在全境内均为地埋管换热系统适宜区, 规划城区 34.8 km^2 , 地埋管换热系统可利用面积为 2.61 km^2 。换热功率夏季为 $646.49 \times 10^4 \text{W}$, 冬季为 $466.41 \times 10^6 \text{W}$; 建筑物实际可利用浅层地热能面积 $7.18 \times 10^4 \text{m}^2$; 相当于标准煤 33.35 万吨/年, 每年将减少排放 CO_2 、 SO_2 、NO 和粉尘 80.61 万吨。规划城区之外的区域同样适宜地埋管换热系统的开发利用。

2、开发利用情况

截止 2016 年末，容城县有地热井 49 眼，其中生产井 34 眼，回灌井 15 眼。均为蓟县系雾迷山组地热井，井深 1110-2800 米，全部用于供暖。城区范围为中石化河北绿源地热能开发有限公司采用“雄县模式”独家经营城区地热集中供暖系统工程，100% 无压回灌，除生活用水外供热尾水全部回灌，供暖面积 120 万平方米。已取得采矿权 6 个，其中绿源公司 5 个，矿区面积 23.38 平方公里。

3、容城县地热资源勘查与开发利用规划

2015 年容城县完成容城县地热资源调查评价工作，县政府发布《容城县完成容城县地热资源勘查与开发利用规划（2015-2020 年）》。

已完成设置探矿权 4 个，拟增设 5 个。规划期内拟开展 5 个探矿权预可行性勘查评价，容城县地热资源预可行性勘查，规划城区基岩热储地热资源可行性勘查，浅层地热能调查评价。

容城县地热资源开发利用产业布局三类开发区：养殖种植区、城镇及新民居供热区和地热旅游区。划定出限制开采区和鼓励开采区。城区地热井分布密集区及其外围 1.0 公里内为限制开采区，面积 17.95 平方公里；其外围为鼓励开采区。全区明化镇组热储均为鼓励开采区，仅可作为洗浴理用水。全区均为地埋管式浅层地热能利用系统鼓励开采区。

规划期内建立功能完善的地热动态监测系统，加强基岩热储尾水回灌工程实施研究与示范，提高梯级开发和综合利用水平，促进地热资源的可持续利用。

三、雄安新区三县地热资源及其开发利用特征概括

1、雄安新区三县分别处于不同地热田范围。

雄县位于牛驼镇地热田南部，此地热田北部涵盖

廊坊市固安县、霸州市和永清县的部分区域；容城县位于容城地热田，较为完整；安新县位于高阳地热田北端、牛驼镇地热田西南端和容城地热田南端。

2、雄县因“中国温泉之乡”评定要求进行过地热资源评价，容城县因绿源公司统一开发，依钻探成果进行了地热资源评价，两县地热资源评价程度较高；安新县未开展系统评价工作，且地热地质条件复杂，底数不清，有待进一步工作进行全面评价。

3、雄县与容城县均由中石化绿源地热能有限公司河北公司统一开发统一管理，所取得合法采矿权按“块”设置，适于规模开发、集中开采，全面实行“合理开发、采灌结合、取热不取水”的可持续开发利用“雄县模式”，有效保护了地热资源，与雄安新区科技创新理念契合；安新县地热采矿权按“井”设置，较为分散，未开展回灌，开发利用水平有待提高。

4、雄县与廊坊市霸州市和固安县、原白沟新城温泉城属于同一地热田，其开发利用对热储互有影响。霸州、固安与温泉城均未回灌，基岩热储地热流场有所变化。

5、三县城区集中供暖均以地热供暖为主，雄县、容城县接近饱和，安新县城区仅有部分建筑采取地热供暖。地热供暖已辐射至周边乡镇多层及高层建筑供暖，农村地区几乎未利用地热供暖。

6、容城县和雄县部分区域位于京昆高速以东、荣乌高速以北禁煤区，农村替代煤供暖缺口较大，两县浅层地热能资源丰富，可作为地埋管式地源热泵系统夏季制冷冬季供暖需求的重要来源。

7、地热开发动态监测工作较为滞后，亟需建设。

四、存在问题

保定市对三县进行了全面的地热资源调查评

价，同时开展了城区浅层地热能初步评价工作，依据评价结果制定并发布县级地热资源勘查与开发利用规划，对政府管理和今后该区地热开发利用方向具有指导意义。此举在河北省乃至全国均属首创，前瞻性强，为雄安新区确定地热供暖方针奠定了基础。但是，在实践中，地热资源开发利用与政府管理存在着不容忽视的问题。

雄安新区是我省同类型地热资源开发条件最好的地区。在大气污染防治的高压形势下，冬季地热供暖需求广泛，是优质的燃煤替代品。保守估算可满足1亿平米建筑面积使用，目前仅利用700万平米，地热供暖潜力巨大。但目前仍是“因楼用热”，未挖掘出地热清洁环保能源优势，引导“以热定楼”趋向。

“雄县模式”已是我国地热资源开发利用的亮点，但也仅仅是“一枝独秀”，离“春满园”的境界仍有一定差距。除采灌结合存在难度外，地面建筑、管网系统整合困难，经济利益、地方保护等多种社会因素干扰，使得“雄县模式”推广困难。政府管理方面也存在着原有政策与当前形势不相适应、多部门协同配合机制不甚健全等问题。有的甚至成为发展地热的“拦路虎”，如国土方面：矿业权审批政策中适用于只采不灌的落后技术却不支持回灌等新技术应用，而且程序复杂、限制过多，企业办证积极性差，违法开采严重，但因满足冬季供暖需求，政府无奈于这种违法行为的存在，很难强制改变现状，这对合法企业也是极大的不公平；水利方面：重“地热水”轻“地热能”，因地下水高压管理政策严重制约地热能利用，水资源税政策亦不利于地热尾水回灌技术推广；发改方面：重能源工业利用，轻地热能的基础民生利用，没有相关优惠政策，甚至受项目规模限制难以作为完整项目独立立项；环保方面：污水排放标准中无地热尾水温度和地热水中矿物质含量限制标准，无法制约企业排放地热尾水，大气污染防治专项经费未考

虑补贴地热供暖领域；住建方面：仅对地面以上建筑物墙体有节能标准，不考虑热源部分，对地热供暖没有补贴激励政策；公用事业方面：未将地热管网纳入公用事业范畴；工信方面：地源热泵技术与装备没有规范与标准，导致市场混乱，良莠难辨。

新能源新技术推广激励措施匮乏，社会投入积极性差。绿源公司创造了先进的“雄县模式”，却未得到有效补贴和补偿，而传统落后技术粗放式利用也无法有效制止。北京市、天津市地热利用与管理水平先于河北30年，大量的改革措施和技术经验可以借鉴。在京津冀协同发展的大背景下，我省应认真学习研究并制定相关配套措施，鼓励社会高水平投入开发，限制低水平开发利用。

五、建议

雄安新区是党中央作出的一项重大的历史性战略选择，是千年大计、国家大事。对于集中疏解北京非首都功能，探索人口经济密集地区优化开发新模式，调整优化京津冀城市布局 and 空间结构，培育创新驱动发展新引擎，具有重大现实意义和深远历史意义。

雄安新区地热资源开发利用应按照中央政策要求规划布局建设。建议从以下几个方面通盘考虑，统筹协调，稳步推进，确保实效。

- 1、规划设计，政策先行；
- 2、全面勘查，摸清底数；
- 3、重点布局，供暖为主；
- 4、远程输送，确保核心；
- 5、协调外围，整体提高；
- 6、区分主次，多案互补；
- 7、考虑现实，有序整合；
- 8、永临划线，逐步到位。

总之，雄安新区将是贯彻新发展理念的创新展示示范区，要坚持世界眼光、国际标准、中国特

色、高点定位。雄安新区地热资源开发利用前途光明，影响深远，必将引领世界，创新未来。

参考文献

《保定市地热资源勘查与开发利用规划（2012-2020年）》，保定市人民政府，2012年

《河北省保定市地热资源评价报告》，中国地质调查局水文地质环境地质调查中心，2012年

《河北省保定市雄县地热资源勘查与开发利用规划（2015-2020年）》，雄县人民政府，2015年

《河北省保定市雄县地热资源调查评价报告》，河北省地矿局第三水文工程地质大队，2015年

《容城县地热资源勘查与开发利用规划（2015-2020年）》，容城县人民政府，2015年

《河北省容城县地热资源调查评价报告》，河北省地矿局第三水文工程地质大队，2015年

《河北省安新县地热资源勘查与开发利用规划（2015-2020年）》，安新县人民政府，2015年

《河北省安新县地热资源调查评价报告》，河北省地矿局第四水文工程地质大队，2015年

保定市委关于我市地热资源利用保护情况的调研与思考，2016年

作者简介：

李红英，国际地热协会观察员、会员工作委员会委员，中国能源研究会地热专业委员会副秘书长，中国矿业联合会地热专业委员会副秘书长，河北省地热产业协会副秘书长，保定市地热协会秘书长。

保定市“中国温泉之城”、雄县“中国温泉之乡”申报工作负责人，“雄县模式”的提出者与守护者。

Brief Analysis on Geothermal Resources with Development and Utilization in Xiongan New Area

Author: Li Hongying(Baoding Municipal Bureau of Land Resources)

Abstract: Xiongan New Area owns abundant geothermal resources, with relatively high overall level of development and utilization. “Xiongxian County Mode” has become an important option for heating in winter in northern region. Baoding City has completed investigation and assessment on geothermal resources of the whole city and 13 counties (cities and districts) including Xiongxian County, Anxin County, Rongcheng County, and governments at all levels have issued the planning of investigation, development and utilization of geothermal resources. Xiongan New Area shall strengthen supervision on peripheral regions relying on the advantage of geothermal resources, adjusting measures to local conditions and planning as a whole, and then conduct development and construction at a high starting point and according to high standards, so as to guarantee the

sustainable development and utilization of geothermal resources.

Key words:

Xiongan New Area, geothermal resources, “Xiongxian County Mode” planning of shallow geothermal resources, sustainable utilization

I. Brief Introduction:

The planning scope of Xiongan New Area involves Xiongxian County, Rongcheng County and Anxin County of Hebei Province and part of regions around. It is located in the hinterland of Beijing, Tianjin and Baoding, with obvious regional advantages, convenient and smooth traffic, excellent ecological environment, relatively strong capability of resource environment bearing, relatively low degree of existing development, ample development space, and possessing basic conditions for development and construction at a high starting point and according to high standard. With regard to the planning and construction of Xiongan New Area, a specific region is taken as the pilot region and developed firstly, with area of

about 100km²; the area of development region at the middle stage is about 200km², and the area of control region in the long future is about 2,000km².

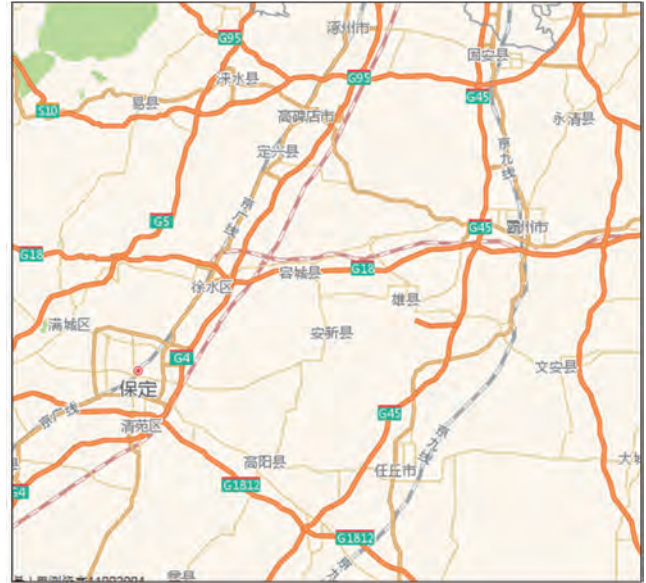


Figure 1 Diagram of Traffic Position of Xiongan New Area

In 2012, Baoding City conducted investigation and assessment on geothermal resources of the whole city, and issued the Planning of Investigation, Development and Utilization of Geothermal Resources in Baoding City (2012-2020); in 2015, Baoding City organized the whole city and including counties (cities and districts) such as Xiongxian County, Anxin County and Rongcheng County where there are geothermal resources to implement investigation and assessment on geothermal resources, and conducted preliminary assessment on shallow geothermal resources in each urban planning area, approved the planning of investigation, development and utilization of geothermal resources of each county (city and district), and

the local governments were responsible for issue and implementation. According to investigation and assessment results, Xiongan New Area owns abundant geothermal resources, and the three counties are different in geological conditions and distribution characteristics of geothermal resources, with different development and utilization scales and overall levels, and “Xiongxian County Mode” has become an important option for heating in winter in northern region.

II. Separate description of geothermal resources and their development and utilization of three counties of Xiongan New Area

(I) Xiongxian County

Xiongxian County is located in the central plain of Hebei Province, with its geographical location at east longitude 116°01'03"-116°20'08" and northern latitude 38°54'59"-39°10'36", with area of 524km². It

is 108km away from Beijing at north, 100km away from Tianjin at east, and 70km away from Baoding at southwest. It governs 6 towns, 3 townships and 223 villages, with total population of 383,000.

1. Geothermal Geological Conditions

Geothermal resources of Xiongxian County are in the geothermal field of Niutuo Town, with geothermal reservoir area of 524km², occupying more than 60% of total area of geothermal field of Niutuo Town, and it refers to a large geothermal field, including three geothermal reservoir strata: geothermal reservoir of Minghuazhen Formation of Neogene, geothermal reservoir of Guantao Formation of Neogene and geothermal reservoir of bed rock of Jixian System, and it is characterized by wide area, large storage amount, shallow burying, high temperature and high water quality.

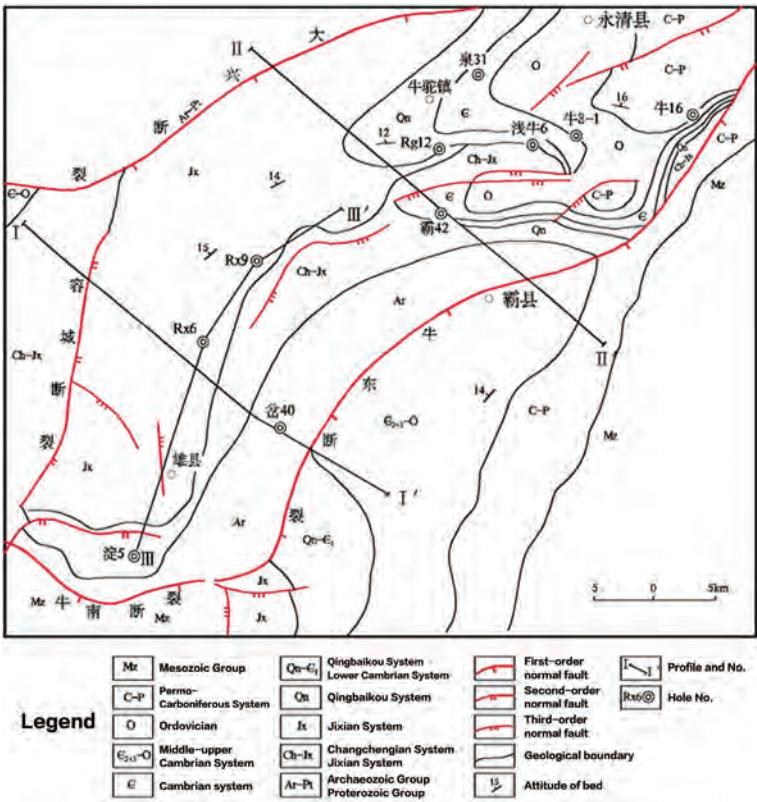


Figure 2 Geological Map of Bed Rocks in Geothermal Field Region of Niutuo Town

(1) The geothermal reservoir strata of Minghuazhen Formation of Neogene are widely distributed in the whole region; the buried depth of geothermal reservoir roof is 300-420m, and the buried depth of raised area bottom is 700-1,000m generally; the buried depth of sunk area bottom is 1,000-1,600m. The lithology of geothermal reservoir refers to fine sandstone, medium sandstone and pebbly sandstone. The average thickness of geothermal reservoir strata is 225m, and the average sand thickness ratio of geothermal reservoir is 36.4%. The temperature in the middle of geothermal reservoir is relatively high in the shaft part of raised area, higher than 50°C generally; and the temperature of geothermal reservoirs on both sides and in the sunken area is relatively low, 35-50°C generally. The average porosity of geothermal reservoir is 33.4%. The water inflow amount of single well is 20-75m³/h, and the unit water inflow amount is 1.66-3.86m³/h generally; the water outlet temperature at the well head can reach 58°C at most, the degree of mineralization is 0.5-1.5g/L, and the water chemistry types refer to HCO₃-Na type water and HCO₃•CL-Na type water, with PH value of 7.2-8.4. The controlled minable water amount is 8.140×10⁶m³/a, with thermal energy of 32.422MW, and the accumulated annually minable thermal energy which can be utilized is 17.041×10⁸MJ, equivalent to 5.814×10⁴t standard coal.

(2) The geothermal reservoir strata of Guantao Formation of Neogene are distributed

in the east of Xiongxian County; and the strata distribution area is 323.9km², the average thickness of geothermal reservoir is relatively thin and the water abundance is relatively poor. The geothermal reservoir is 200-400m in thickness generally. The lithology of geothermal reservoir refers to fine sandstone, medium sandstone and pebbly sandstone, with the average sand thickness ratio of 30.9%. The temperature in the middle of geothermal reservoir is 45-65°C, with average temperature of geothermal reservoir strata of 53°C. The average porosity of geothermal reservoir is 25.5%, and the average permeability is 381.8×10⁻³μm². The water inflow amount of single well is 40-85 m³/h and the unit water inflow amount is 0.86-2.42m³/h generally; the degree of mineralization is 1.9-2.4g/L, and the water chemistry types refer to CL-Na type water, with PH value of 7.7-8.4. It is predicated that the newly added minable amount of geothermal resources is 1.154×10⁶m³/a, with thermal energy of 5.819MW; and the accumulated annually minable thermal energy which can be utilized is 3.059×10⁸MJ, equivalent to 1.044×10⁴t standard coal.

(3) The karst fissure geothermal reservoir of Wumishan Formation of Jixian System refers to regional geothermal reservoir, with the lithology of gray and taupe dolomite, firestone zebra dolomite, hard and crisp, developed with karst fissure, with good water abundance, with average reservoir thickness ratio of about 29.4%. The strata are mainly distributed in the

region to the west of the route: Mijiawu Town – Zangang Town – Cuicun Village – Shilipu Village of Xiongqian County, with buried depth of 490-4,500m, geothermal reservoir fissure ratio of 2.6-5.2%, and the temperature in the middle of geothermal reservoir of 78-130°C. The water temperature at the well head of existing geothermal well is 63-78°C, 83°C at most, with water inflow amount of single well of 60-150 m³/h, and unit water inflow amount of 1.772-49.148m³/h generally; the degree of mineralization is 2.5-3.1g/L, and the water chemistry refers to CL-Na type or CL•HCO₃-Na type, with PH value of 7.0-8.1. The explored minable amount of geothermal reservoir of the Shallow Jixian System with depth of not deeper than 2,000m is 4.848×10⁶m³/a, with thermal energy of 42.480MW; and the accumulated annually minable thermal energy which can be utilized is 22.237×10⁸MJ, equivalent to 7.617×10⁴t standard coal; the predicated newly added explored minable amount of karst fissure geothermal reservoir of Jixian System with depth of 2,000-3,000m is 3.786×10⁶m³/a, with thermal energy of 39.706MW, and the accumulated annually minable thermal energy which can be utilized is 20.869×10⁸MJ, equivalent to 7.121×10⁴t standard coal.

(4) Shallow geothermal resources are distributed in suitable region of buried pipe heat exchange system in the whole territory, with area of 128km². The heat exchange power is 2377.92×10⁴W in summer and 1715.52×10⁶W in winter; the actually available

shallow geothermal area for buildings is 2972.40×10⁴m²; and there will be reduction of emission of 272.39×10⁴t CO₂, 272.39×10⁴t SO₂, 0.69×10⁴t NO and 0.91×10⁴t dust each year.

2. Development and utilization

By the end of 2016, Xingqian County has owned 78 geothermal wells; 64 of which are production wells, 22 of which are injection wells. Production wells include 51 geothermal wells of Wumishan Formation of Jixian System, 9 geothermal wells of Guantao Formation of Neogene and 4 geothermal wells of Minghuazhen Formation of Neogene; injection wells all refer to geothermal wells of Wuminshan Formation of Jixian System. All the geothermal wells are used for heating, and part of them are for heating and showering. Within the urban scope, Sinopec Green Energy Geothermal Development Co., Ltd. (Hebei Branch) exclusively operates the centralized heating system engineering, and it has obtained 4 mining rights, with the mining area scope of 19km². Injection wells refer to 100% no-pressure injection, and all heating tail water is adopted for injection except domestic water, thus creating the “Xiongqian County” Mode well known at home and abroad, with the construction capacity able to meet heating of 4,850,000m². At present, the heating area occupies above 90% of the total area of urban buildings.

3. Planning of investigation, development and utilization of geothermal resources in Xiongqian County

In 2015, Xiongxian County completed the investigation and assessment on geothermal resources, and the County Government issued the Planning of Investigation, Development and Utilization of Geothermal Resources in Xiongxian County (2015-2020).

Xiongxian County had set 22 exploration rights. Within the planning period, the investigation and assessment on pre-feasibility of exploration rights which can be put into operation will be implemented, and the investigation on feasibility of geothermal resources in the central urban region and surrounding regions, with area of 128km².

According to the demand of the society and the demand of sustainable development, it is necessary to control the mining amounts of geothermal reservoir strata of Minghuazhen Formation and Guantao Formation, promote the development of geothermal reservoir of bed rocks actively, promote the injection technology in an all-round way, support the technical application of heat pump and implement utilization of shallow geothermal energy. In addition, it is required to delimit the limited mining area, controllable mining area and encouraged mining area. The northwestern part of the county refers to encouraged mining area, the middle refers to geothermal reservoir controlled mining area of Neogene and geothermal reservoir limited mining area of bed rocks; and the southeastern part refers to the controlled mining area of Neogene. In this County, major projects such as sci-tech demonstration of geothermal agricultural

greenhouse planting, sightseeing tourism of geothermal agricultural greenhouse, hot spring tourism and geothermal mineral water production.

Within the planning period, Xiongxian County will establish a geothermal dynamic monitoring system with complete functions, so as to implement the injection engineering of geothermal reservoir tail water of bed rocks in an all-round way, enhance the cascade development and comprehensive utilization level and promote the sustainable utilization of geothermal resources.

(II) Anxin County

Anxin County is located in the central plain of Hebei Province, with its geographical location at east longitude 113°40'-116°20' and northern latitude 38°40'--40°00', with area of 738.6km². It is 162km away from Beijing at north, 187km away from Shijiazhuang at southwest, and 45km away from Baoding at west. It governs 9 towns, 3 townships and 207 villages, with total population of 393,000. Baiyangdian is an important hydro-junction of Daqing River water system. Baiyangdian receives water from nine rivers (Zhulong River, Daqing River, Xiaoyi River, Tanghe River, Fuhe River, Caohe River, Puhe River, Pinghe River and Baigouyin River), and connected 5 sets of relatively large water reservoirs (Yukuai reservoir, Xidayang Reservoir, Angezhuang Reservoir, Longmen Reservoir and Puhe Reservoir), and flows into Bohai Sea, with drainage area of 31,200km², and is an important floodwater detention area

of Haihe Basin. The average total amount of water resources in Baiyangdian over years is 4,124m³. After the trans-basin water supplementation under the project of “diverting Yellow River water to Baiyangdian”, the water level of Baiyangdian is 7.5m (Dagu elevation), the water volume is 0.154 billion m³, and the water area is 148.4km².

1. Geothermal Geological Conditions

Geothermal resources within the territory of Anxin County are in the geothermal field of Niutuo Town, Rongcheng geothermal field and Gaoyang geothermal field; the geothermal gradient in the broken convex area of Niutuo Town is 2.5-6.0°C/100m, and that of Rongcheng is 2.5-5.0°C/100m, and that of Gaoyang is 2.5-4.0°C/100m (Figure 3: Zoning Map of Geological Structure Units of Anxin County). The resources refer to large scale according to total volume. In Anxin County, there are geothermal reservoir strata of Minghuazhen Formation of Neogene, Guantao Formation of Neogene, as well as bed rocks of Changchengian - Jixian System and Cambrian – Ordovician

System. The total reserve amount of geothermal resources is 5415.88×10¹⁶J, the total reserve amount of minable geothermal resources is 1065.72×10¹⁶J; the total amount of stored geothermal fluids is 83189.91×10⁶m³; the total amount of minable geothermal fluids is 4159.50×10⁸m³; the total amount of available heat energy of geothermal fluids is 59.34×10¹⁶J, and the total capacity of geothermal fluids is 188.17MW.

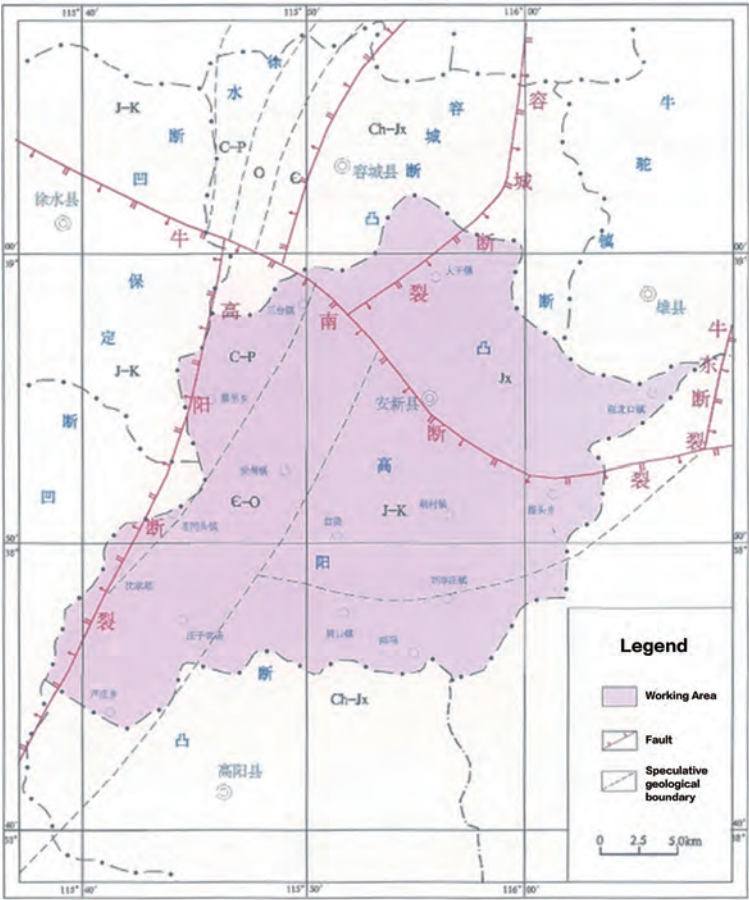


Figure 3 Zoning Map of Geological Structure Units of Anxin County

(1) The geothermal reservoir strata of Minghuazhen Formation of Neogene are widely distributed in the whole region; the lithology of geothermal reservoir refers to middle-fine sandstone and pebbly sandstone. The

thickness of geothermal reservoir is 100-300m, and the sand thickness ratio is 12.93-56.9%; the porosity of geothermal reservoir is 25-40%; the water temperature is 30-50°C generally; the degree of mineralization is 0.7-2.2g/L, and the water chemistry types refer to $\text{HCO}_3\text{-Na}$ type water and Cl-Na type water, with PH value of 6.0-8.0.

(2) Geothermal reservoir strata of Guantao Formation of Neogene develop in most of areas, and only the Xiaowangzhen belt of northern broken convex area has no geothermal reservoir. The lithology of geothermal reservoir refers to fine sandstone, medium sandstone and pebbly sandstone. The bottom refers to versicolor sandy conglomerate; the general thickness of geothermal reservoir is 100-400m, the porosity is 25-40%, with good water abundance and permeability. The water temperature is 40-60°C generally, the water inflow amount of single well is 60-100m³/h, and the unit water inflow amount is 0.95-2.6m³/h generally; the degree of mineralization is 1.0-2.5g/L, the water chemistry type refers to Cl-Na type or $\text{Cl HCO}_3\text{-Na}$ type water, with PH value of 7.5-8.5.

(3) The karst fissure geothermal reservoir of Wumishan Formation of Jixian System is mainly distributed in Tongkou Town – Liulizhuang Town belt in the northern and southern parts of Anxin County. The lithology of geothermal reservoir mainly refers to dolomite, firestone zebra dolomite and argillaceous dolomite, developed with karst fissure, with good connectivity; the reservoir thickness ratio

is 19.5-35%, and the porosity is 3.3-6.5%. The water temperature is 70-100°C; the water inflow amount is 80-120m³/h, the unit water inflow amount is 2.5-3.8m³/h generally; the degree of mineralization is 2.8-3.5g/L, and the water chemistry type is Cl-Na type, with PH value of 7.0-7.5.

(4) The karst fissure geothermal reservoir of Cambrian – Ordovician System is mainly distributed in Anzhou Town – Laohetou Town belt in the southwestern part of Anxin County. The lithology of geothermal reservoir mainly refers to limestone, dolomite limestone and oolite limestone, developed with karst fissure; the reservoir thickness ratio is 16.5-32%, and the porosity is 3.3-6.0% generally. The water temperature is 60-80°C; the water inflow amount is 60-80m³/h, the unit water inflow amount is 0.75-2.5m³/h generally; the degree of mineralization is 2.0-4.0g/L, and the water chemistry type is Cl-Na type, with PH value of 7.35-8.0.

(5) Shallow geothermal resources are distributed in suitable region of buried pipe heat exchange system in the whole territory, and the area from urban area to Beiliu Village is 40.76km². The heat exchange power is 468.5×10⁴W in summer and 271.04×10⁶W in winter; the actually available shallow geothermal area for buildings is 585.63×10⁴m², which is 18.20×10⁴ after being converted into standard coal, and there will be reduction of emission of 43.42×10⁴t CO₂, 0.31×10⁴t SO₂, 0.11×10⁴t NO and 0.15×10⁴t dust each year.

2. Development and Utilization

By the end of 2016, Anxin County has owned 17 geothermal wells, which are all production wells; in addition, there are 3 geothermal wells of Wumishan Formation of Jixian System, with well depth of 2,306-3,070m; as well as 14 geothermal wells of Guantao Formation of Neogene, with well depth of 1,300-1,850m. The development and utilization mainly refers to heating, and few of them are for showering. The region is to be developed by 14 enterprises, and 5 mining rights have been obtained. The geothermal heating area is 740,000m².

3. Planning of investigation, development and utilization of geothermal resources in Anxin County

In 2015, Anxin County completed the investigation and assessment on geothermal resources, and the County Government issued the Planning of Investigation, Development and Utilization of Geothermal Resources in Anxin County (2015-2020).

According to geothermal geological conditions and resource potential, based on investigation degree and distribution density and combining city planning and relevant industrial policies, an investigation prohibition area of 65.15km², a controlled investigation area of 40.76km² and an encouraged investigation area out of both of them are delimited; and then, the geothermal resource investigation for public welfare, commercial geothermal resource investigation and shallow geothermal resource investigation will be

implemented in order. It is planned to set 9 mining rights, 9 exploration rights and 15 newly added investigation blocks within the planning period.

Based on the geothermal resource conditions as well as development and utilization strength, according to geothermal mining strength, decreasing amplitude of geothermal reservoir water level, distribution density of geothermal wells, difficulty coefficient of tail water injection and buried depth of geothermal reservoir water level, a controlled mining area of 40.76km², an encouraged mining area of karst fissure geothermal reservoir of bed rocks, an encouraged mining area of porous type geothermal reservoir of Neogene out of the controlled mining area, and an encouraged mining area of shallow geothermal resource in the county region are delimited. The comprehensive development and utilization pattern of “one core and three regions” geothermal resources is to be built: “one core” refers to the demonstration area of comprehensive utilization of new energy, and “three regions” refer to the leisure tourism area of Baiyangdian thermal spring lake, demonstration area of comprehensive utilization of geothermal heating of new countryside and demonstration area of industrial utilization of medium and low temperature geothermal resources. At present, 5 mining rights have been registered.

It is planned to implement three items of public welfare resource assessment, i.e. “investigation on pre-feasibility of geothermal

resources of Anxin County”, “investigation and assessment on shallow geothermal resources of Anxin County” and “dynamic monitoring system of geothermal wells of Anxin County”; as well as three commercial geothermal resource development projects, i.e. “Baiyangdian large-scale comprehensive project on health and medical treatment, leisure provision for the old and holiday tourism”, “centralized heating project with geothermal resources in the county region of Anxin County” and “Baiyangdian thermal spring and cinema resort”.

(III) Rongcheng County

Rongcheng County is located in the central plain of Hebei Province, with its geographical location at east longitude $115^{\circ}45'26''$ — $116^{\circ}04'02''$ and northern latitude $38^{\circ}57'04''$ — $39^{\circ}08'32''$, with area of 314.50km^2 . It is 110km away from Beijing at north and is 100km away from Tianjin (the economic center) at east. It governs 5 towns, 3 townships and 127 administrative villages, with total population of 260,000.

1. Geothermal geological conditions

Rongcheng County owns

abundant geothermal resources, and the whole county is within the Rongcheng geothermal field. Rongcheng geothermal field belongs to medium geothermal field, and it includes two geothermal reservoir strata: geothermal reservoir of Minghuazhen Formation of Neogene and geothermal reservoir of bed rocks of Jixian System. The geothermal resource amount of geothermal field is $1350.87 \times 10^{16}\text{J}$, equivalent to $460.93 \times 10^6\text{t}$ standard coal, converted into thermal energy of 4283.59MW; the minable geothermal resource amount of geothermal field is $337.72 \times 10^{16}\text{J}$, equivalent to $115.25 \times 10^6\text{t}$ standard coal, converted into thermal energy of 410.05MW; the total minable amount of thermal fluid is $12.28 \times 10^8\text{m}^3$, whose thermal resource amount is $18.60 \times 10^{16}\text{J}$, equivalent to $634 \times 10^4\text{t}$ standard coal, and converted into thermal energy of 58.99MW.

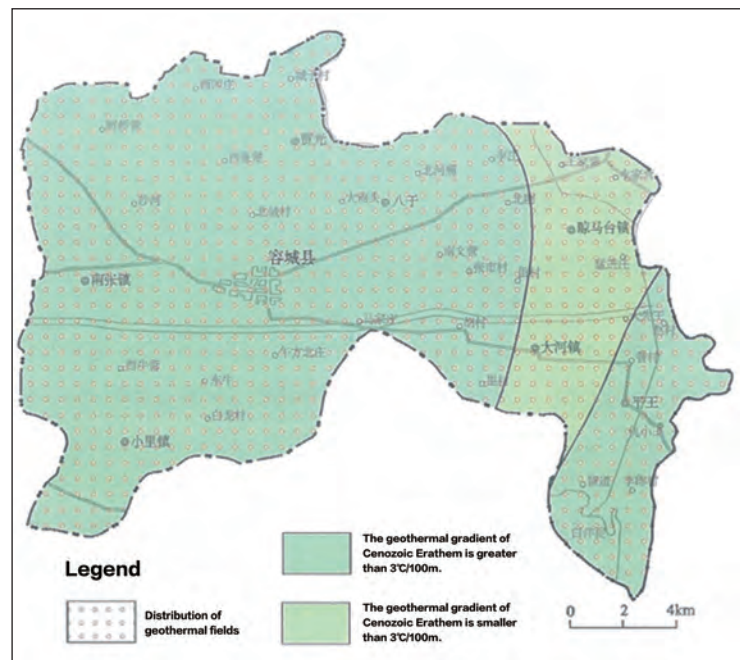


Figure 4 Distribution Map of Geothermal Fields of Rongcheng County

(1) The geothermal reservoir strata of Minghuazhen Formation of Neogene are widely distributed in the whole

region; the buried depth of geothermal reservoir roof is 300-420m, and the buried depth of raised area bottom is 700-1,000m generally; the buried depth of sunk area bottom is 1,000-1,600m. The lithology of geothermal reservoir refers to fine sandstone, medium sandstone and pebbly sandstone. The average thickness of geothermal reservoir strata is 225m, and the average sand thickness ratio of geothermal reservoir is 36.4%. The temperature in the middle of geothermal reservoir is relatively high in the shaft part of raised area, higher than 50°C generally; and the temperature of geothermal reservoirs on both sides and in the sunken area is relatively low, 35-50°C generally. The average porosity of geothermal reservoir is 33.4%. The water inflow amount of single well is 20-75m³/h, and the unit water inflow amount is 1.66-3.86m³/h generally; the water outlet temperature at the well head can reach 58°C at most, the degree of mineralization is 0.5-1.5g/L, and the water chemistry types refer to HCO₃-Na type water and HCO₃•CL-Na type water, with PH value of 7.2-8.4. The controlled minable water amount is 8.140×10⁶m³/a, with thermal energy of 32.422MW, and the accumulated annually minable thermal energy which can be utilized is 17.041×10⁸MJ, equivalent to 5.814×10⁴t standard coal.

(2) The karst fissure geothermal reservoir of Wumishan Formation of Jixian System refers to regional geothermal reservoir, with the lithology of gray and taupe dolomite, firestone zebra dolomite, hard and crisp, developed

with karst fissure, with good water abundance, with average reservoir thickness ratio of about 29.4%. The strata are mainly distributed in the region to the west of the route: Mijiawu Town – Zangang Town – Cuicun Village – Shilipu Village of Xiongxin County, with buried depth of 490-4,500m, geothermal reservoir fissure ratio of 2.6-5.2%, and the temperature in the middle of geothermal reservoir of 78-130°C. The water temperature at the well head of existing geothermal well is 63-78°C, 83°C at most, with water inflow amount of single well of 60-150 m³/h, and unit water inflow amount of 1.772-49.148m³/h generally; the degree of mineralization is 2.5-3.1g/L, and the water chemistry refers to CL-Na type or CL•HCO₃-Na type, with PH value of 7.0-8.1. The explored minable amount of geothermal reservoir of the Shallow Jixian System with depth of not deeper than 2,000m is 4.848×10⁶m³/a, with thermal energy of 42.480MW; and the accumulated annually minable thermal energy which can be utilized is 22.237×10⁸MJ, equivalent to 7.617×10⁴t standard coal; the predicated newly added explored minable amount of karst fissure geothermal reservoir of Jixian System with depth of 2,000-3,000m is 3.786×10⁶m³/a, with thermal energy of 39.706MW, and the accumulated annually minable thermal energy which can be utilized is 20.869×10⁸MJ, equivalent to 7.121×10⁴t standard coal.

(3) Shallow geothermal resources are distributed in suitable region of buried pipe heat exchange system in the whole territory, with planned urban region of 34.8 km² and the

available area of buried pipe heat exchange system of 2.61km^2 . The heat exchange power is $646.49 \times 10^4\text{W}$ in summer and $466.41 \times 10^6\text{W}$ in winter; the actually available shallow geothermal area for buildings is $7.18 \times 10^4\text{m}^2$; equivalent to 333,500t/a of standard coal; and there will be reduction of emission of 806100t CO_2 , SO_2 , NO and dust. The region out of the planned urban region is also suitable for the development and utilization of buried pipe heat exchange system.

2. Development and Utilization

By the end of 2016, Rongcheng County has owned 49 geothermal wells; 34 of which are production wells, 15 of which are injection wells. They all refer to geothermal wells of Wumishan Formation of Jixian System, with well depth of 1,110-2,800m, and are all used for heating. Within the urban scope, Sinopec Green Energy Geothermal Development Co., Ltd. (Hebei Branch) exclusively operates the centralized heating system engineering with geothermal resources in the urban region by adopting "Xiongxian County Mode". The injection refers to 100% no-pressure injection, and all heating tail water is adopted for injection except domestic water, thus heating for $1,200,000\text{m}^2$. At present, 6 mining rights have been obtained, Sinopec Green Energy Geothermal Development Co., Ltd. holds 5 rights of them, with mining area of 23.38km^2 .

3. Planning of investigation, development and utilization of geothermal resources in Rongcheng County

In 2015, Rongcheng County completed the

investigation and assessment on geothermal resources, and the County Government issued the Planning of Investigation, Development and Utilization of Geothermal Resources in Rongcheng County (2015-2020).

4 exploration rights have been set, and another 5 rights are to be added. Within the planning period, it is planned to conduct investigation and assessment on pre-feasibility of 5 exploration rights, investigation on pre-feasibility of geothermal resources of Rongcheng County, planning of investigation on feasibility of geothermal resources of bed rocks in urban area as well as investigation and assessment on shallow geothermal resources.

Three kinds of development areas are distributed for industrial layout of development and utilization of geothermal resources in Rongcheng County: breeding and planting area, urban and new dwellings heating area and geothermal tourism area. In Rongcheng County, there are limited mining area and encouraged mining area. The limited mining area refers to the area where urban geothermal wells are distributed densely and its periphery of within 1.0km, with area of 17.95km^2 ; the periphery refers to encouraged mining area. All geothermal reservoir strata of Minghuazhen Formation in the whole region are encouraged mining area, and the water can only be used for showering and physiotherapy. The whole region refers to encouraged mining area of buried pipe type shallow geothermal utilization system.

Within the planning period, Rongcheng

County will establish a geothermal dynamic monitoring system with complete functions, so as to strengthen the research and demonstration of injection engineering of geothermal reservoir tail water of bed rocks, enhance the cascade development and comprehensive utilization level and promote the sustainable utilization of geothermal resources.

III. Summary of geothermal resources and their development and utilization characteristics in three Counties of Xiongan New Area

1. The three counties of Xiongan New area are within different geothermal fields.

Xiongxian County is located in the south of geothermal field of Niutuo Town, and the northern part of this geothermal field covers Gu'an County of Langfang City, Bazhou City and part of region of Yongqing County; Rongcheng County is located in Rongcheng geothermal field, which is relatively complete; Anxin County is located at the north end of Gaoyang geothermal field, southwest end of Niutuo Town geothermal field and at the south end of Rongcheng geothermal field.

2. Xiongxian County ever underwent assessment on geothermal resources during the assessment of "China's thermal spring hometown". Rongcheng County ever underwent assessment on geothermal resources based on drilling and exploration achievements due to uniform development

of Sinopec Green Energy Geothermal Development Co., Ltd.; the geothermal resources of these two counties were highly assessed; Anxin County hasn't undergone systematic assessment, and it is necessary to further assess it in an all-round way for the geothermal geological conditions are complicated and the background is not clear.

3. Both Xiongxian County and Rongcheng County are under uniform development and management of Sinopec Green Energy Geothermal Development Co., Ltd. (Hebei Branch), and the obtained legal mining rights are set as per "block", applicable to scale development and centralized mining. The "Xiongxian County Mode" which is of sustainable development and utilization of "reasonable development, combination of mining and injection and taking heat but not water" will be implemented in an all-round way, thus protecting geothermal resources effectively, and agreeing with the sci-tech innovation idea of Xiongan New Area. Geothermal mining rights of Anxin County are set as per "well", which is relatively dispersed; no injection is implemented, and the development and utilization level is to be enhanced.

4. Xiongxian County, Bazhou City and Gu'an County of Langfang City, and thermal spring city of original Baigou New City belong to the same geothermal field, and their development and utilization will influence geothermal reservoir, and the geothermal reservoir will also influence the development and utilization.

Bazhou City, Gu'an County and Thermal Spring City all haven't undergone injection, and the geothermal flow field of bed rocks has been changed slightly.

5. The centralized heating of urban regions of three counties all mainly refers to geothermal heating. Xiongxian County and Rongcheng County have been almost saturated in geothermal heating, and only part of buildings in urban region of Anxin County adopt geothermal heating. The geothermal heating has been applied into heating of multi-storey and high-rise buildings of surrounding townships, and the rural area almost does not utilize geothermal heating.

6. Part of regions of Rongcheng County and Xiongxian County are located in the coal forbidding area where is east to Beijing-Kunming expressway and north to Rongcheng – Wuhai expressway. The heating with energy replacing coal is in a large shortage, and both Counties are abundant in shallow geothermal resources, which can be used as important sources for refrigeration in summer and cooling in winter of buried pipe type ground-source heat pump system.

7. The dynamic monitoring for geothermal development is relatively lagged, and is to be constructed as soon as possible.

IV. Existing Problems

Baoding City has conducted investigation and assessment on geothermal resources to three counties in an all-round way. Meanwhile,

it has implemented the preliminary assessment on shall geothermal energy in urban regions, and has formulated and issued county-level planning of investigation, development and utilization of geothermal resources according to assessment results, which may guide the governmental management as well as development and utilization direction of geothermal resources in this area in the future. This action is initiative in Hebei Province and even all over the country, with excellent foresight, thus laying a foundation for Xiongan New Area determining geothermal heating guidelines. However, some problems about development and utilization of geothermal resources and governmental management shall not be ignored during the practice.

Xiongan New Area is an area with the best geothermal resource development conditions among similar areas in our Province. Under the strict management of atmospheric pollution prevention and control, the geothermal heating is widely demanded in winter, and geothermal resource is a top-grade coal substitute. It is conservatively estimated that the geothermal resources can meet heating of 0.1 billion m², and only 7 million m² is utilized at present, so the geothermal heating is of huge potential. However, the heating is demanded by buildings at present, and the advantages of clean and environmental protection energy sources of geothermal resources haven't been found out, and it is necessary to guide the idea of "determining building location according to location of geothermal energy".

“Xiongxi County Mode” has become a bright spot of development and utilization of geothermal resources in our country, but it hasn’t been applied widely, and it is still necessary to make efforts to apply it all over the country. Besides the difficulty in combination of mining and injection, the difficult integration of ground buildings and pipeline network systems and the interference of multiple social factors such as economic benefit and local protection also make the promotion of “Xiongxi County Mode” difficult. In the aspect of governmental management, original policies do not adapt to current trend, and the mechanism of coordination and cooperation among multiple departments is not complete. Some factors even become the barrier of geothermal development. For example, in the aspect of land, the review and approval policies about mining rights are applicable to outdated technology of only mining but no injection, but not support the application of new technologies such as injection; moreover, the procedures are complicated and there is too much limit; the enterprises are not active in handling certificates, and their mining is of severe violation of rules. However, to meet the heating demand in winter, the government cannot prohibit this kind of behavior, and it is very difficult to change the current status in a compulsory way, and this is greatly unfair for legal enterprises; in the aspect of water conservancy, the “geothermal water” is preferred while the “geothermal energy” is

despised, for the strict management policies for underground water severely restricts the utilization of geothermal energy, and water resource taxation policies also go against the promotion of injection technology of geothermal tail water; in the aspect of development and reform: the industrial utilization of energy is preferred, while the direct basic civilian utilization of geothermal energy is despised; there is no relevant preferential policy, and even being limited by the project scale, it is difficult to establish an independent and complete project; in the aspect of environmental protection: there is neither standard about temperature of geothermal tail water nor standard for mineral content limit in geothermal water in the sewage drainage standard, so the drainage of geothermal tail water of enterprises cannot be restricted, and the special fund for prevention and control of atmospheric pollution doesn’t take the geothermal heating subsidy into consideration; in the aspect of housing, only wall bodies of buildings above the ground have energy saving standard, the thermal source is not taken into consideration, and there is neither subsidy nor incentive policy for geothermal heating; in the aspect of public utility: the geothermal pipeline network is not incorporated into the scope of public utility; in the aspect of industry and information, there is neither code nor standard for ground-source heat pump technology and equipment, thus causing market confusion and it is difficult to distinguish between the good and the bad code or standard.

Promotion and incentive measures are

not sufficient for new energy sources and new technologies, and the social investment enthusiasm is poor. Sinopec Green Energy Geothermal Development Co., Ltd. has created the advanced “Xongxian County Mode”, but fails to obtain effective subsidy or compensation, while the extensive utilization of traditional outdated technologies hasn’t been inhibited effectively. The geothermal utilization and management level of Beijing and Tianjin is 30 years earlier than Hebei Province, and a great number of reform measures and technical experience can be taken for reference. Under the overall background of coordinated development of Beijing, Tianjin and Hebei, our Province shall study, research and formulate relevant matching measures meticulously, encourage high level social input and development and limit low level development and utilization.

V. Suggestions

Xiongan New Area is a major historical strategic selection made by the CPC, and it is a thousand-year plan and a great State affair. It owns significant realistic meaning and profound historical meaning in relieving non-capital functions of Beijing in a centralized way, exploring a new mode of optimized development in regions with dense population and economy, adjusting and optimizing the urban layout and spatial structure of Beijing, Tianjin and Hebei, and cultivating new engine for innovation-driven development.

The development and utilization of geothermal resources in Xiongan New Area shall be subject to central-government policies. It is suggested that the construction should be considered from the following perspectives, and should be planned as a whole and promoted stably, thus guaranteeing substantial results.

- 1. The planning and design shall be subject to policies;**
- 2. Conduct investigation in an all-round way, and make clear the background;**
- 3. Focus on heating;**
- 4. The distant conveying shall guarantee the core problem;**
- 5. Coordinate the periphery and enhance the overall level;**
- 6. Distinguish between primary and secondary affairs, and adopt multiple schemes for mutual supplementation;**
- 7. Consider the reality and conduct integration in order;**
- 8. Delimit permanent and temporary construction areas, and implement all jobs step by step.**

In a word, Xiongan New Area will be a demonstration area of innovative development carrying out new development concept, and it shall insist on the world view, international standard, Chinese characteristics and positioning at a high level. The development and utilization prospect of geothermal resources of Xiongan New Area will be bright, with profound influence, and will lead the world and create a new future.

References

Planning of Investigation, Development and Utilization of Geothermal Resources in Baoding City (2012-2020), The People's Government of Baoding City, 2012

Report on Geothermal Resources Assessment of Baoding City in Hebei Province, Hydrogeological Survey Center of China Geological Survey Bureau, 2012

Planning of Investigation, Development and Utilization of Geothermal Resources in Xiongxian County, Baoding City, Hebei Province (2015-2020), The People's Government of Xiongxian County, 2015

Report on Geothermal Resources Investigation and Assessment in Xiongxian County, Baoding City, Hebei Province, The Third Geological Brigade of Hydrological Engineering of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, 2015

Planning of Investigation, Development and Utilization of Geothermal Resources in Rongcheng County (2015-2020), The People's Government of Rongcheng County, 2015

Report on Geothermal Resources Investigation and Assessment in Rongcheng County, Hebei Province, The Third Geological Brigade of Hydrological Engineering of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, 2015

Planning of Investigation, Development and Utilization of Geothermal Resources in Anxin County, Hebei Province (2015-2020), The People's Government of Anxin County, 2015

Report on Geothermal Resources Investigation and Assessment in Anxin County, Hebei Province, The Fourth Geological Brigade of Hydrological Engineering of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, 2015

Investigation, Survey and Thinking about Utilization and Protection of Geothermal Resources in Our City of Baoding Municipal Committee of the CPC, 2016

About the Author:

Li Hongying, she is an observer of International Geothermal Association, a member of Membership Working Committee, the Deputy Secretary General of Geothermal Specialty Committee of China Energy Research Society, the Deputy Secretary General of Geothermal Specialty Committee of China Mining Association, the Deputy Secretary General of Geothermal Industry Association of Hebei Province, and the Secretary General of Geothermal Association of Baoding City.

Important responsible person of application for "China's Thermal Spring City" of Baoding City and "China's Thermal Spring Hometown" of Xiongxian County, of "Xiongxian County Mode".

打通京津冀大气污染传输通道 煤改清洁能源惠及 28 城市

GETTING TROUGH TRANSMISSION CHANNEL OF ATMOSPHERIC POLLUTION OF BEIJING TIANJIN AND HEBEI REPLACING COAL WITH CLEAN ENERGY BENEFITING 28 CITIES

作者：特邀记者 李晶

随着“煤改清洁能源”进程的加快，2017年北京将有700个平原村庄实现“煤改电”或“煤改气”。而与北京紧邻的更多城市也将加入“煤改清洁能源”的队伍，打通一条京津冀大气污染传输通道，改善更大区域的环境空气质量。

“煤改电”彻底改变了取暖的面貌

2016年冬天，老李所在的梁家园村家家户户实现了“煤改电”，院墙外树立起的大支架上放着空气源取暖设备。这个“大块头”，让老李一家过冬天再没有灰头土脸的买煤、运煤、烧煤、运煤灰了。“煤改电”前，顾虑这个，顾虑那个，现在的老李说起“煤改电”后的冬季取暖，脸上总难掩笑容，“还是改了好”。

时间退回到2016年，刚听说村里要实行“煤改电”了，老李和邻居们各个都在担心，最关心的是费用问题，“怎么改造，自己要掏多少钱”，“改了以后，一冬天得用多少电”，“说有补贴，补贴能有多少”，村民心里都在打鼓。

改造的队伍搬来了各种型号的暖气管、暖气片，拆墙打洞之后，又给基本恢复了原状。赶在2016年冬季供暖前，各项改造基本完成。改也改了，煤也没地方买了，采暖季硬着头皮也得用这个电家伙了。

整个采暖季下来，新能源供暖方式确实比烧煤的时候花费高了。但老李没想到的是，补贴之后，两种采暖方式的花费差距远没有自己想的大。比起每天加煤、掏炉灰……老李说，还是现在这样好。

既给北京天更蓝贡献了自己的薄力，也改善了自己家的生活环境。

煤改清洁能源的效果显现

与此同时，一组数据也部分展现了“煤改清洁能源”的效果。据北京市环保局通报 2016 年北京空气质量状况显示，2016 年北京 PM2.5 年均浓度 73 微克 / 立方米，较 2015 年下降 9.9%，近三年来降幅最大，但仍超过国家标准（35 微克 / 立方米）109%。

然而，2016 年，北京市环境空气中二氧化硫年均浓度为 10 微克 / 立方米，远优于国家标准（60 微克 / 立方米），较 2015 年下降了 28.6%。据北京市环保监测中心主任张大伟介绍，二氧化硫主要来自于燃煤一次排放。二氧化硫的大幅下降，主要得益于北京及周边地区大力推进“煤改清洁能源”。

“人努力”“天帮忙”是空气污染治理中同时出现频率最高的两句话。所谓“天帮忙”，是因为雾霾天与气象学上的“静稳天气”关系比较密切。人们常说“一刮风，雾霾就散了”，也就是“天帮忙”了。而“人努力”则指的是减少空气中污染物的排放，比如机动车限号政策、煤改清洁能源政策等都是“人努力”的方向。实际上，前者治标，后者才是治本的方式。

2016 年北京采暖季的二氧化硫平均浓度为 17 微克 / 立方米，非采暖季则为 7 微克 / 立方米。采暖季燃煤仍是北京二氧化硫的主要来源。因而，2017 年，人们又有了努力的新目标。

2017 年，像老李家一样实现“煤改电”的村民将继续增加。据了解，2017 年是北京市落实国家“大气十条”和北京市 2013-2017 年清洁空气行动计划的收官之年。为促进空气质量进一步改善，北京市制定实施了《北京市 2013-2017 年清洁空气行动计划重点任务分解 2017 年工作措施》，提出 700 个村“无煤化”等年度工作任务。也就

是说，2017 年将有 700 个村的村民，会像老李一样真切的体会到“煤改电”对自身生活的影响。

政策先行，惠及京津冀 28 座城市

2017 年，实施“煤改电”等清洁能源改造的城市将越来越多。

习近平总书记在主持中央财经领导小组第十四次会议时曾强调，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。并提出，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。

实际上，“煤改电”为主的清洁能源供暖的典型措施，已经写入北京市十三五规划，而“煤改气”政策，也在京津冀出台了量化的目标的相关政策。如，《北京市 2013-2017 年加快压减燃煤和清洁能源建设工作方案》、“津八条”、《关于印发河北省燃煤锅炉治理实施方案通知》等。

中国人民大学经济学院副院长、能源经济系主任郑新业接受第一财经记者采访时，曾指出，从“京津冀一盘棋”角度考虑，京津冀一体化、绿色城镇化应该结合，空气是流动的，治理北京空气，北京应帮助河北推进煤改气，至少让河北小管道铺设到乡镇一级，管道铺设不到的地方推进液化石油气，财税上可以有相应补贴。

不久前，环保部印发《京津冀及周边地区 2017 年大气污染防治工作方案》中明确，2017 年“2+26”城市实施冬季清洁取暖重点工程。

所谓“2+26”城市，指的是“两直辖市”，即北京市，天津市，还有“26 个城市”，即河北省石家庄、唐山、廊坊、保定、沧州、衡水、邢台、邯郸市，山西省太原、阳泉、长治、晋城市，山东省济南、淄博、济宁、德州、聊城、滨州、菏泽市，河南省郑州、开封、安阳、鹤壁、新乡、

焦作、濮阳市。

这些城市建立起的京津冀大气污染传输通道，将承担改善区域环境空气质量为核心，以减少重污染天气为重点的任务，通过多种举措全面降低京津冀区域污染排放的负荷。

2017 年的冬天，28 个城市将全面推进清洁能源取暖。其中，北京、天津、廊坊、保定市将在 10 月底前完成“禁煤区”建设任务，传输通道其他城市则要求在 10 月底前，各完成 5 万~10 万户的以气代煤或以电代煤工程。

发电也进入了清洁能源时代

“茶炉大灶”的改造如火如荼，另一些用煤大户则开启了告别的大幕。

2017 年 3 月 18 日，北京最后一座大型燃煤电厂，华能北京热电厂所有燃煤机组正式停机备用，至此北京市进入清洁能源发电时代，也成为全国首个全部实施清洁能源发电的城市。华能热电厂的停备，也帮助北京市实现了全年压减燃煤 176 万吨。

此前，北京市供电长期以大唐高井热电厂、京能石景山热电厂、国华热电厂、华能热电厂等 4 个燃煤热电厂为主。2014 年大唐高井热电厂关停，京能石景山热电厂和国华热电厂于 2015 年关停，如今华能热电厂也落下大幕。4 个燃煤热电厂共实现压煤减煤超过 800 万吨。同时也大量减少了粉尘、二氧化硫、氮氧化物等空气中污染物的排放。

实际上，煤炭开采、运输及使用过程中，造成的环境污染及对生态系统的破坏，且未被受益企业承担的那部分经济损失，也就是煤炭的“环境外部成本”相当高。2010 年的一组数据显示，2010 年我国煤炭环境外部总成本为 5555.4 亿元，相当于当年全国公共财政环保支出的 2.3 倍。

国家城市环境污染控制技术研究中心研究员彭应登则表示，天然气发电的成本是燃煤发电的两倍，但是燃煤发电的环境成本则是天然气的 5 倍。

正因如此，国家发改委可持续能源研究所研究员姜克隽曾指出：“煤是一定要被取代的，不要再犹豫了。”



浅层地热能开发的多能并举模式

MULTIRESOURCE SIMULTANEOUS DEVELOPMENT MODE OF SHALLOW GEOTHERMAL ENERGY

作者：李宁波 李翔（北京市地质矿产勘查开发局 中国地调局浅层地热能研究与推广中心）

引言：

浅层地热能的开发利用主要依托热泵技术得以实现。近年来大型建筑体（群）量不断增长产生的供能需求和我国能源结构的调整以及政策法规的支持，地源热泵技术（土壤源和水源）的应用得到了迅猛发展，浅层地热能的开发利用受到越来越多的重视，并首次写入国家“十三五”专项规划。按照《地热能开发利用“十三五”规划》，至2020年我国浅层地温能的建筑物应用面积将比“十二五”末期增加7.26亿平方米，达到11.2亿平方米。^[1]我国浅层地温能的开发利用将迎来发展黄金时代。

表 1 我国浅层地热能开发利用状况

	建筑物应用面积 （亿平方米）	标煤替代量 （万吨）	占全国能源 消费总量比	节约标煤量 （万吨）	二氧化碳减排量 （万吨）	二氧化硫减排量 （万吨）
2015 年	3.92	1372	0.422%	735	1634	11.63
2020 年（规划）	11.2	3915	0.816%	2097	4661	33.19

在看到浅层地温能发展前景广阔的同时，我们也应对其有正确的认识和定位。如何能更好地利用浅层地温能，最大限度地做到资源的节约利用，是我们当前需要解决的重点问题，即从前期的粗犷式发展，逐渐转变为精细化的科学研究与管理。而在物质、经济条件允许的情况下，浅层地温能开发利用的科学、合理性主要体现在其满足性和节约性两方面：满足性即所开采的浅层地温能对建筑供能需求的满足程度，这取决于区域资源条件和开发技术水平；节约性则是在满足建筑需求的前提下，对能源、土地、物质、经济等资源消耗程度的判别，并间接表达其环保属性。在当前社会经济和技术发展状况下，满足建筑的供冷/热需求已不再是难题，浅层地温能的高效开发利用将重点体现在“节约性”上。因此，在未来推进浅层地温能利用的发展过程中，我们应当开拓思路，因地制宜、多能并举，开创一条切实有效地可持续发展道路。

1 浅层地温能的属性及特征

1.1 浅层地温能的属性

浅层地温能是指蕴藏在地表以下一定深度（一般小于200米）范围内岩土体、地下水和地表水中具有开发利用价值的热能，其具有就近利用、储量大、无环境污染、使用方便、基本不受地域限制等优点，是理想的“绿色环保的可再生能源”。从浅层地温能成因角度来看，其具有自身独特的三种属性：

（1）地热能属性

地球内部蕴含着巨大的地热能，通过火山爆发、温泉、喷泉及岩石的热传导等方式源源不断地向地表传达。其中，通过岩石的热传导作用散热是地球内部热能向地表散失的主要方式，通常用大地热流和地温梯度来描述该过程。在特定的

地质构造及水文地质条件下，地球内热在地壳浅部富集和储存起来，形成了具有开发利用价值的地热能。浅层地温能便在此基础上形成。

在地表以下15~20米的范围内，由于受太阳辐射影响，其温度有着伴随时间的周期性变化，越接近地表，温度与环境气温越接近，称为“变温带”；在达到一定深度时，这种影响基本消失，此时太阳辐射和地球内热之间的影响达到一定的平衡状态，温度的年变化幅度接近于零，称之为“恒温带”，恒温带很薄，其厚度一般为10~20米，且与当地年平均气温接近。在恒温带以下，地温场则完全由地球内热所控制，地温随深度增加而增高，称为“增温带”。因此，浅层地温能包含太阳能的属性。

（2）蓄能属性

利用热泵技术向地下岩土层中提取或释放热量，在一定的地质条件和气候环境共同作用下，存在一定程度上的蓄冷或蓄热现象，可通过改变热泵系统运行状态将储蓄的冷、热量进行提取，但随时间推移，可提取的能量逐渐减少，直至地温场恢复初始状态。恢复时间与不同地质构造及气象条件有关。浅层地温能也具备蓄存能量的属性。

由此可见，浅层地温能赋存在地壳浅部空间的岩土体中，向下接受地球内热的不断供给，向上既接受太阳、大气循环蓄热的补给，又向大气中释放过剩的热量。因此，从宏观地质角度上讲，地球天然温度场分布、水圈、大气圈、太阳等对它都有影响，表现在地温的高低与板块构造的活动性、纬度、水循环、大气循环等密切相关，这些现象可以称为“浅层地温能的呼吸”。^[2]

1.2 不同气候带浅层地温能的特征

我国幅员辽阔，从南到北有热带、亚热带、温带、寒温带几种不同的气候带，南北方纬度差异较大，年平均气温（及地下恒温带温度）随着

纬度的增加而降低，如从海口的24℃变化到哈尔滨的4.5℃；冬、夏季温差也从南向北增加，从海口的11℃到武汉的25℃，再到哈尔滨的42.6℃。

说明南方全年气温高，且冬、夏温差小；北方平均气温低而且冬、夏温差大。不同纬度地区气候温度呈现较大差异。

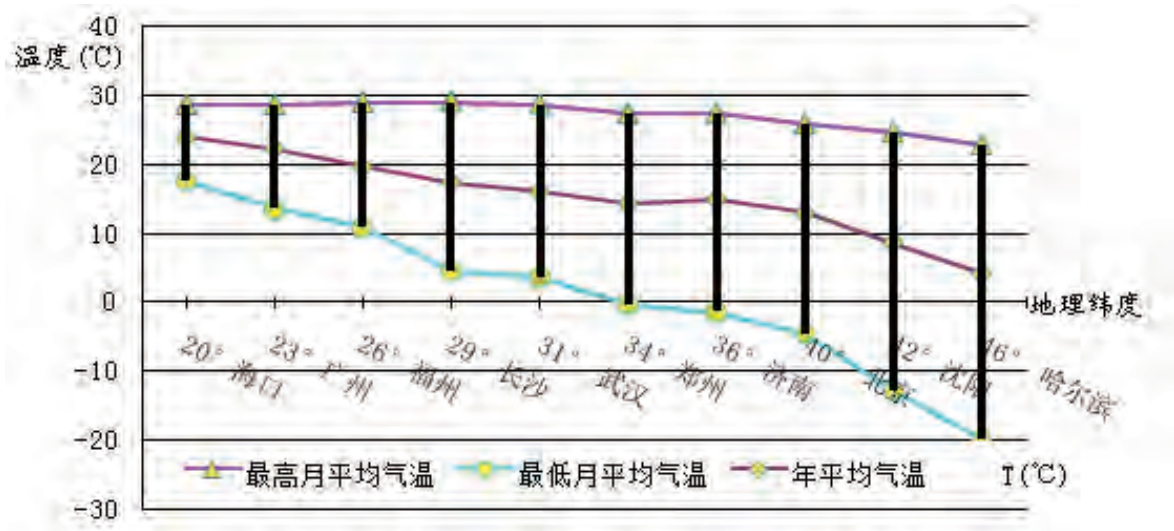


图 1 不同纬度地区年平均气温曲线图

根据图1数据结合我国居民供暖、制冷需求（一月份平均气温低于5℃有供暖需求，七月份平均气温高于24℃有制冷需求）可以分析出，我国中部地区城市（北纬30°~42°）冬冷夏热需要暖/冷双供，并且地表以下200米范围内岩土体温度适中，是浅层地温能资源能够发挥最大作用的地区；南方地区（北纬18°~30°）以夏天制冷需求为主，冬季供暖需求很小；北方地区（北纬42°~50°）则以冬天供暖需求为主，夏季制冷量不大。^[3]又由于浅层地温常年稳定在当地年平均气温之上，并接近，因此，不同地区浅层地温能赋存条件不同，且冬、夏用能情况差异大，尤其是我国北方寒冷地区受太阳辐射少，变温带深度大，约深至30米；地表下200米以浅恒温层温度低，冬季暖需求量大且时间长，夏季制冷需求量很小，多采取单向（只取热或冷）利用方式；所以，在此类地区浅层地温能开采过程中，地下热

平衡问题便成为首要考虑因素。

2 浅层地温能未来发展方向

采用热泵技术实现浅层地温能的开发利用，由于其节能、环保、运行安全可靠等诸多优点，在全世界范围内得到了广泛的应用。但是往往单一的地源热泵系统承担所有的空调负荷，可能会造成其从地下岩土体中的取/排热量的不平衡，尤其是北方严寒和南方湿热地区，系统周期运行后岩土体温度出现下降或者上升的现象，长期运行系统效率降低，节能性降低。除此之外，地源热泵较常规空调还存在初投资较高，占地面积较大等问题。

如果既能利用地源热泵本身的优势又能克服其缺陷，那将对推动浅层地温能的发展是非常有利的。因此，在总结以往经验的基础上，我们

要因地制宜、创新思路,提出以浅层地温能为基础,采用多种能源相结合的供能形式,即复合式热泵系统,优势互补,以更好体现其“节约性”。复合式地源热泵系统利用辅助供热或辅助供冷装置来满足高峰负荷,在维持地下岩土体热平衡的同时降低了系统的初投资,也提高了系统的经济性和运行的可靠性。这样的结合方式具体归纳为四个方面:

2.1 深浅结合

目前,供暖上应用较多的地热能种类有浅层地温能、干热型地热资源和深层水热型地热资源。其中,地表以下由浅及深分别为:浅层地温能,赋存于地表以下200米以浅范围内岩土体和水中;干热型地热资源,赋存于更深层的中低温岩土体中,并且伴随地层深度加大,温度高于同地区浅层地温;水热型地热资源,赋存于深层大于25℃的地下水中。

浅层地温能由于人为定义了其地表以下的深度范围,并且因各地区地质条件以及气候环境不同,表现出可开采资源量的不同,南北地区在用途上也有较大差异。以北方严寒地区为例,地表下浅层岩土平均温度较低,利用当前热泵技术,单位体积岩土体可开采热量相对较少,而建筑供暖需求度高,单一地源热泵系统往往难以满足供能需求,因此,可以考虑当地的地质条件,适当结合深层地热资源的开采,弥补浅地层能量不足的情况。

(1) 浅层地温能与干热型地热资源的结合

以哈尔滨地区为例,年平均气温约5.3℃,一月平均温度为-18.3℃,建筑全年供暖达6个月,而该地区浅层(地表下200米以浅)地温平均温度仅为7.7℃,若只采用浅层地温能供暖,效果可能不佳;但哈尔滨地处松辽盆地王府凹陷,地表下200以深地温梯度较高,可达4~4.5℃/100米,

将深度延伸至地表下400~500米,地层温度可达20~30℃,可开采地热资源量也颇为可观。^[4]因此,以浅层地温能为主,中层干热型地热资源为辅的开采供暖模式,对于该地区来讲,既节能环保,又经济实惠。

(2) 浅层地温能与深层水热型地热资源的结合

根据温度的不同,通常将水热型地热资源划分为高温、中温和低温三类。深层地热资源的开采也主要是水热型地热资源,开发用途有发电、建筑物采暖、农业温室采暖、温水育种、灌溉等多方面。与浅层地温能不同,水热型地热资源蕴藏于特殊的地质构造中,我们称之为“地热田”。可利用的水热型地热资源必须满足一定的地质构造、有流体、储量大并且便于开采等条件,并且开采时还要考虑成本、回灌等问题,使其开发利用存在一定的限制。但如果当地该资源赋存条件较好,妥善加以利用,也实为良策。

目前,浅层地温能加水热型地热资源的供暖模式也有不少成功案例,如北京市北苑家园供暖项目,该项目是集住宅、商业、办公于一体的综合性建筑群,供暖面积40.6万平方米。实现了地热水的梯级利用,同时结合水源热泵系统,满足了小区内的冬季供暖和夏季供冷需求,这也是北京地区最大的地热——热泵项目。

2.2 天地结合

气候资源包括太阳辐射、热量、水分、空气,风能等,它既是一种宝贵的自然资源,也是一种可利用的可再生资源。气候资源存在区域特点,不同地区资源禀赋条件有差异,如:西藏地区太阳能资源丰富,最高达2333千瓦时/平方米(日辐射量6.4千瓦时/平方米),居世界第二位;内蒙古、东南沿海及岛屿风能资源丰富,年风功率密度在200瓦/平方米以上,甚至达500瓦/平方米。在类似这样的地区合理使用气候资源,

将对经济、社会和环境效益产生显著增益。

近二十年，我国出台不少节能及可再生能源方面相关的重大政策：1998年，《中华人民共和国节能法》提出，因地制宜、多能互补、综合利用、讲求效益的能源发展原则。2006年，我国颁布并实施《中华人民共和国可再生能源法》，将可再生能源的开发利用列为能源发展的优先领域。同年，我国“十一五”规划提出，加强风能、太阳能的开发利用。十年期间，风能开发增长了一百倍，而太阳能开发更是增长了六百倍，增长数量十分可观。

然而，数量上的增长并不代表效益上的跟进，近几年，由于风力发电装机大规模集中式增长过多，导致风电在当地消纳不及和跨区域输送能力不足等问题，“弃风限电”现象严重，三北地区风电更是重灾区。如何给出相应解决措施，还应当从管理及技术两方面着手。因此，我们提出因地制宜，以浅层地温能为主，结合风能、太阳能的技术手段可以使可再生能源发挥更大作用。例如，辽宁阜新市研发出一种全新高效的太阳能-地源热泵系统，将太阳能集热能量储存在地下，冬季供暖时，将储存的热量进行提取，达到很好的节能效果；或太阳能与热泵直接结合，北京相关高校也在研究太阳能与地源热泵结合为一体的模式；而浅层地温能与风能的结合，将会在规模化利用上有更大的发挥空间。

另外，值得指出的是，浅层地温能与这些新能源的结合，必须要有政府的区域规划来支撑。浅层地温能资源分布跟地理区域有关，如果没有相应地方规划、政策以及规模发展，发挥的作用就十分有限。

2.3 调蓄结合

调蓄结合指的是，多源复合系统方式综合应用，以浅层地温能为主，深层地热作为补充，其他能源（燃气、油）做调峰，加上蓄能系统，既

降低初投资，又保障了系统的稳定运行。如在加拿大亚伯达省，2006年首次安装了一种土壤钻孔热能存储系统，为当地52处住宅提供冬季供暖，根据近年来的监测数据统计，该系统的热量采收率约为25%。这说明蓄能系统是有作用的，但不是说地下完全就是一个封闭的蓄能系统，同时还具有地热能和太阳能的属性。

在热泵系统中，冬季正常供暖，而夏季将空调末端与地下换热系统直接对接，热泵机组不工作，这样的调节方式，在寒区也是十分有效的，补充热量更直接，能对热平衡起到调节作用。长春理工大学光电信息学院浅层地温能开发利用工程，2015竣工投入使用，面积15万平方米，以往每年供暖运行成本573万元，而现在采用的地源热泵系统冬季运行成本约175万元。该项目在多项技术上取得突破，夏季制冷不启动热泵机组，直接将末端换的热经过地下换热系统排入地下，很好地解决了冷热平衡问题，对严寒地区浅层地温能的开发应用起到了示范作用。

这里还可列举一个大型复合热泵系统，优化运行管理，提高能源效率的案例——北京用友软件园土壤源热泵+冰蓄冷+水蓄能复合热泵系统。该项目总建筑面积约47.3万平米。利用热泵、冰蓄冷和变频等技术有机结合的复合式热泵系统解决软件园区内建筑的冷暖和生活热水负荷。节约运行费用约400万元/年。较常规供暖方式节能30%左右，节约1400吨/年标准煤。该项目的亮点在于蓄能系统，夜间是用电谷期，电价便宜，利用谷电价进行制冷/热，并进行储存，白天峰电时提取储存能量，极大地节约了运行成本。系统运行超过十年，十分稳定。该项目还获国家能源局科技进步奖。

2.4 表里结合

水源热泵系统可分为地下水和地表水源，其中地表水源热泵即指江、河、湖、海及污水源热

泵。在我国很多地区，地表水资源丰富，其中蕴含的可利用的能量巨大。地表水既容易获取，又免去回灌问题，使用起来十分方便。因此，以浅层地温能为“里”，地表水为“表”，“表里结合”的复合热泵系统，其适用地区更加广阔，系统运行稳定性也更好。如今在北京、上海、南京等地也有很多应用案例。

以上海世博轴复合热泵系统为例。世博轴在国内首次最大规模的应用地源热泵以及江水源热泵技术的空调冷热源集成技术，也是世博园区内唯一全部使用该技术的项目。运用地源+江水源热泵技术设计的世博轴“绿色空调系统”，实现了100%的再生能源运用。不仅获得了广泛的社会效益，更获得了可观的经济效益，节能达到30%以上。这个自主设计、自主开发、自主施工的项目，创造了中国建筑史上的一个新纪录，并获得“亚洲国际地产投资与开发博览会”（Cityscape Asia）的重要奖项——最佳城市综合体奖。

另外，人工干预地下流场的方式也可以提高浅层地温能的利用效率。如在地埋管埋设周边的临近区域，通过人工抽取地下水的方式，人为影响了地埋管埋设区地下水流速，可以显著改善地埋管换热效果，这一点也在实际应用中得到了证实。因此，在地埋管地源热泵项目前期勘察时，除了收集水文、气象、地质、包括地热相关资料，尤其要注意相关的地下水环境，应充分调查周边临近地区地下水抽灌情况，并在系统设计充分予以考虑。

3 结论及建议

3.1 政府重视

随着“十三五”的到来，国家及各省市纷纷出台规划政策，地热、浅层地温能无疑成为未来五年

内发展的一大新亮点。政府部门将继续通过科学合理决策，制订推动行业发展的顶层设计。

（1）统筹规划。以“一带一路”建设以及京津冀协同发展为契机，明确以政府为主导，在重点功能区、新城镇、重大工程建设等方面，以刚性的计划、指标，从规划环节予以明确。重视热点区域、重点项目的地热、浅层地温能开发潜能。如在北京地区的冬奥会、新机场、世园会等重点项目、优先采用地热供暖，充分发挥地热、浅层地温能作为清洁能源为区域能源规划建设的积极的作用。

（2）加大政府投入。做好基础勘查评价工作，加大技术研发和推广力度，为释放市场需求提供支持。系统的资源普查和资源潜力评价是资源优势得以充分发挥的基本条件。在现有地热、浅层地温能规划分区的基础上进一步提高工作精度和广度，开展系统的区域调查评价工作，进一步查明地热、浅层地温能资源赋存条件，尤其在资源潜力区和空白区，制定可持续的开发利用方案。

（3）制订优惠政策。通过制订地热、浅层地温能供暖的优惠政策，加大补贴力度。如北京市已有的相关补贴政策，采用切实有效的方法，给予资金支持。选取一定比例的示范城市、示范区进行试点，按一定比例给予资金补贴。对地热开发企业给予一定资助，对地热、浅层地温能供暖企业给予统一优惠电价。对利用地热、浅层地温能为建筑物供暖的新建及改建项目统一执行居民电价标准或给予相应差价补贴，进一步提升地热、浅层地温能等清洁能源在支撑能源安全国家战略中的作用，实现资源的可持续利用。

3.2 规模化利用

当前，我国大气环境污染问题突出。国家及各地方政府都在出台相关政策以期解决该问题。多地通过“煤改”等方式，减少燃煤使用量，降

低碳、氮氧化物及硫等排放，实现供暖清洁化。浅层地热能作为一种清洁化的能源，必将在当前形势下发挥更加重要的作用。

然而，在推动煤改清洁能源过程中，在一些农村地区推广浅层地热能利用并不顺利。除去地质条件等先天因素，另一个重要原因就是经济性问题。农村地区逐门逐户的单一户型使用浅层地热能供暖方式会因为建筑面积过小，开发单价成本会过高，而产生不利的推广影响，这也是不经济的。因此，针对这样的问题，必须采取浅层地热能规模化应用的模式，以区域（村或成片建筑）建立供暖组团，来降低开发和运营成本，达到最佳节能性和经济性。

另外，在新建区域推广浅层地热能，尤其是秦岭-淮河一线以南有冬季供暖需求的地区，应当优先发展热泵系统，引导新建建筑优先使用热泵系统，鼓励既有供热系统热泵改造，支持热泵系统配套建设储能设施。

3.3 创新机制

今年以来，各地方“十三五”规划相继出台，在可再生能源发展方面，各地也在继续推

进相关鼓励政策的实施或研究制订新政策，并且也在研究新的投资建设模式；在继续推行合同能源管理模式的同时，也大力倡导ppp发展模式，以政府较少的投入，吸引更多社会资本参与到可再生能源基础设施建设中。如给予建设方特许经营，增加资金回流途径；设立初装费，有初投资方面的收益。企业建设方和用户也因新的政策和投资模式，降低了投资成本，提高了建设积极性。

3.4 共同发展

浅层地热能的利用主要通过地源热泵技术得以实现，涉及到地质、暖通、自控等多个专业。目前，行业发展已经形成一条较为完整的产业链，其中也包括不同行业及产业上、下游的各个环节，如技术研发、设备制造、安装、设计、施工、售后服务等。各环节的高度契合是产业链牢固发展所必不可少的。因此，要做到以“我”为主，兼收并蓄，各展所长，相互扶持，即从业人员在自身的专业领域发挥所长，相互借鉴，综合考虑，才能使地源热泵技术在实际应用中更加成功，进而共同推动着浅层地热能事业的发展。

关于浅层地能的概念说明

“浅层地能”是指蕴藏在地下几十米至几百米浅层地下土壤、砂石和水中的热能。一般地说，浅层地能所在区域与地下“恒温区”大体相同，这个区域的温度随日夜季节变化很小，在北京地区的为15℃。从能源的品味来看，它与室内温度（20℃）最接近，与热泵技术相结合，很适合作为冬季供暖的热源。在夏季，它的温度低于空气温度（30℃以上），又可以做为冷源来使用。

“浅层地能”也常被称为“浅层地热能”和“浅层地热能”。值得注意的是在夏季制冷时，浅层地下为我们提供的不是热量而是冷量。

天津市浅层地热能存在的热堆积问题及解决方法探讨

DISCUSSION ON HOT BUILDUP PROBLEM EXISTING IN SHALLOW GEOTHERMAL ENERGY OF TIANJIN CITY AND SOLUTIONS

作者：岳丽燕 赵苏民 卢宝 黄贤龙（天津地热勘查开发设计院）
孟令军（中水北方勘测设计研究有限责任公司）

通过对天津市浅层地热能地质环境动态监测系统获得的地埋管换热器周围温度场动态变化数据的归纳分析，得出以下结论：大部分地源热泵工程能满足建筑供暖制冷需求，地埋管换热器周围土壤在运行一个制冷供暖周期后能恢复到原始地温，不会对地质环境产生影响；一小部分地源热泵不能满足建筑制冷供暖需求，地埋管出水温度不能达到设计要求，换热器周围土壤温度出现持续的升高，在下一个制冷供暖周期不能恢复到原始地温，存在热堆积问题。在分析存在问题的基础上，提出以下可行解决方法：增加换热孔间距、调整换热孔群布置方式、地埋管与抽水井耦合开发利用、复合式供暖制冷系统以及深浅间隔布置的换热孔设计方式。

目前天津市的浅层地热能开发利用已具有一定的规模和数量，但是关于浅层地热能开发利用中的地质环境问题研究甚少，项目组通过地源热泵工程运行状况跟踪调查和浅层地热能动态监

测数据分析发现，某些工程有明显的上部建筑供暖、制冷“出力不足”，下部地埋管换热器周围土壤温度不能恢复到原始地温的现象，通过查阅文献以及向暖通专业研究人员咨询，得出目前针对这种现象的研究工作主要集中在上部建筑^[1]，很少涉及到地下地埋管换热器这个地源热泵系统中最重要的一部分。本次研究工作主要是针对地下的地埋管换热器存在问题。笔者以天津市某地源热泵工程为例，通过分析该工程历经4年的地质环境动态监测数据，分析该工程出现的问题，结合工程实际应用和理论研究找到出现问题的根本原因，并提出系统的解决方法，为新建和待维修地源热泵工程提供技术指导。

1 地埋管地源热泵基本原理

浅层地热能是指地表以下一定深度范围蕴藏在岩土体、地下水中具有开发利用价值的热能。其本质是利用一定深度内年平均地温与季节气温

之差（图1）和岩土体与地下水具有蓄热、导热的特性，通过热泵技术进行开发利用。热泵技术原理是将浅层地热能分别在冬季作为热泵供暖的热源和夏季作为热泵制冷的冷源，通过输入少量的高品位能源（如电能），在冬季把浅层地热能中的热量“取出”来，提高温度后，供给室内采暖，在夏季把室内的热量集中后，释放到地层

中，使室内的温度降低。
地埋管地源热泵系统是利用地埋管地下换热系统，采用埋设垂直管、水平管或向地表水抛设管路等多种方式，通过管内循环水源介质与管外土壤进行热交换，直接从浅层土壤取热或向其排热，减少了地热转换热水和冷水过程中的热损失，同时不受地下水开采的限制，推广范围更广、更灵活。

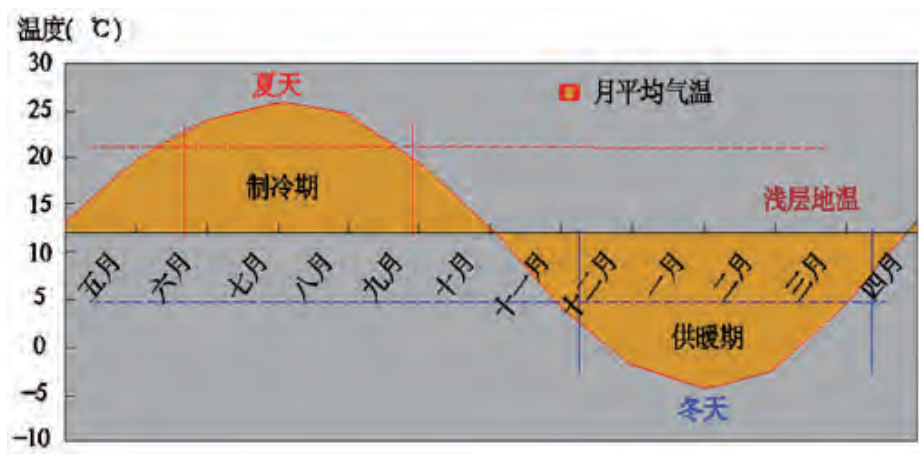


图1 浅层岩土体平均温度与季节温度关系示意图

2 地埋管地源热泵工程现状

目前，全国31个省、市、自治区均有浅层地热能开发利用工程，每年浅层地热能供暖制冷的建筑面积呈阶梯式增长，北京奥运村、国家大剧院和上海世博会等一些国家标志性建筑物都使用了地源热泵系统。项目比较集中的地区有北京、河北、河南、山东、辽宁、天津，80%的项目集中在华北和东北南部地区^[2]。

从2016年2月26日召开的京津冀协同发展地质工作研讨会上获悉，地质调查评价表明，京津冀规划区13个地级以上城市浅层地热能每年可开采量折合标准煤9200万吨。若采用热泵系统开发利用浅层地热能，可实现建筑物夏季制冷35亿m²，冬季供暖29亿m²。目前京津冀地区采用浅层地热能供暖制冷面积8500万m²，占全国利用浅层

地热能供暖制冷总面积的20%，是我国浅层地热能开发程度最高、用于建筑物供暖制冷规模最大的地区之一。

据调查统计，近几年来天津市地埋管地源热泵系统工程数量和利用面积呈快速增长趋势，截止2015年12月已建设224个系统工程，利用面积626万m²（图2），大多采用双U型埋管方式，换热孔深度为100~120m，埋管间距4~5m。各系统工程的开发应用规模差异较大，有的小型工程如天津地热院浅层地热能开发利用试验基地只钻凿21眼换热孔，大型工程钻凿换热孔数量甚至达到3000~4000眼，通过分析地质环境监测数据可知，大型工程整体系统运行效果不如中小型，个别出现系统COP（热泵的能效循环系数）降低的趋势。

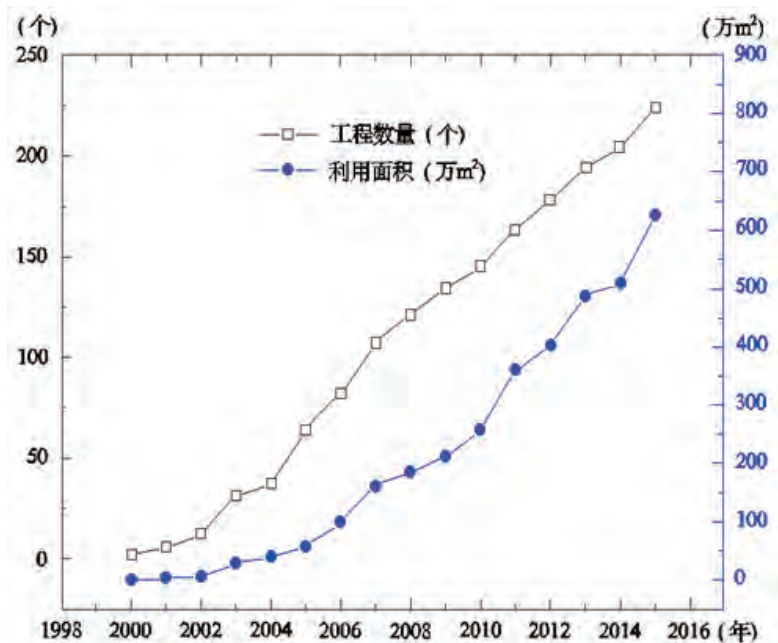


图2 天津市地理管地源热泵系统工程数量和利用面积动态统计图

3 存在的主要问题分析

3.1 主要问题

根据近几年已有的地埋管地源热泵系统地温监测数据分析，某些工程运行中出现了长期热不平衡和换热孔周围热堆积问题，主要表现为系统在运行几年或更长长时间后，出现地埋管区域地下岩土体年平均温度持续升高，夏季可用换热温差逐渐降低，使整个换热系统从地下换取的热量越来越少，为满足室内制冷负荷的要求，不得不增加热泵机组耗电量，整个系统COP降低的现象。

天津某大型地埋管地源热泵工程于2011年冬季开始供暖运行，建筑供暖制冷面积40.24万m²，钻凿3786眼120m双U换热孔，孔距4.8m，换热孔在一个区域内集中分布，共布设5眼地温监测孔，包括1眼换热监测孔1#，位于换热孔群中心位置；3眼影响半径监测孔，位于1#孔周围，距1#孔的距离分别为1m、2m、2.4m；1眼地温背景值监测孔，位于换热孔群南部边界外5m处，各

监测孔垂向每10m布置一个测温点[3]，可监测换热孔和换热孔间以及换热孔群外围地温变化情况，为度量换热孔群内地温变化提供数据支持。

从历年地温背景值监测数据可得出，该工程所在地恒温层位于25~45m深，工程运行期间地温背景值监测孔地层温度没有受到换热孔群换热的影响，本论文选取换热监测孔位于恒温层40m深处地温监测数据进行分析（图3），可得出2011年11月至2015年11月运行4个制冷供暖周期后，该深度地层温度呈逐年增长的趋势。从该工程换热孔间影响半径监测孔40m深历年地温变化趋势图（图4）可以看出，换热孔间1m、2m、2.4m地层温度随着地源热泵系统的运行也出现周期性的升降，说明换热孔换热影响半径已达到2.4m，该工程设计换热孔间距不能满足实际负荷需求。在制冷季随着热量向远处的衰减，正常情况应该是距换热孔2.4m处的地温变化应小于2m处的地温变化，但实际监测数据正好相反，说

明制冷季相邻的两换热孔在中间2.4m处出现了热量叠加，即换热孔间出现了热突破。供暖季没出现这种情况，说明建筑物供暖期热负荷小于制冷期冷负荷，按照供暖期热负荷设计地埋管换热孔间距偏小，随着地源热泵系统的运行，会逐渐出现夏季制冷效果不佳，整个系统COP逐渐降低。

同样随着地下平均温度的不断升高，该工程在相同运行周期内地埋管出口温度也呈现上升趋势，说明地下平均温度的持续变化确实对地埋管的换热产生了影响，为获得相同的制冷量，在制冷季节需要提高地埋管入口温度，而这将显著降低机组的性能系统，增加系统能耗。

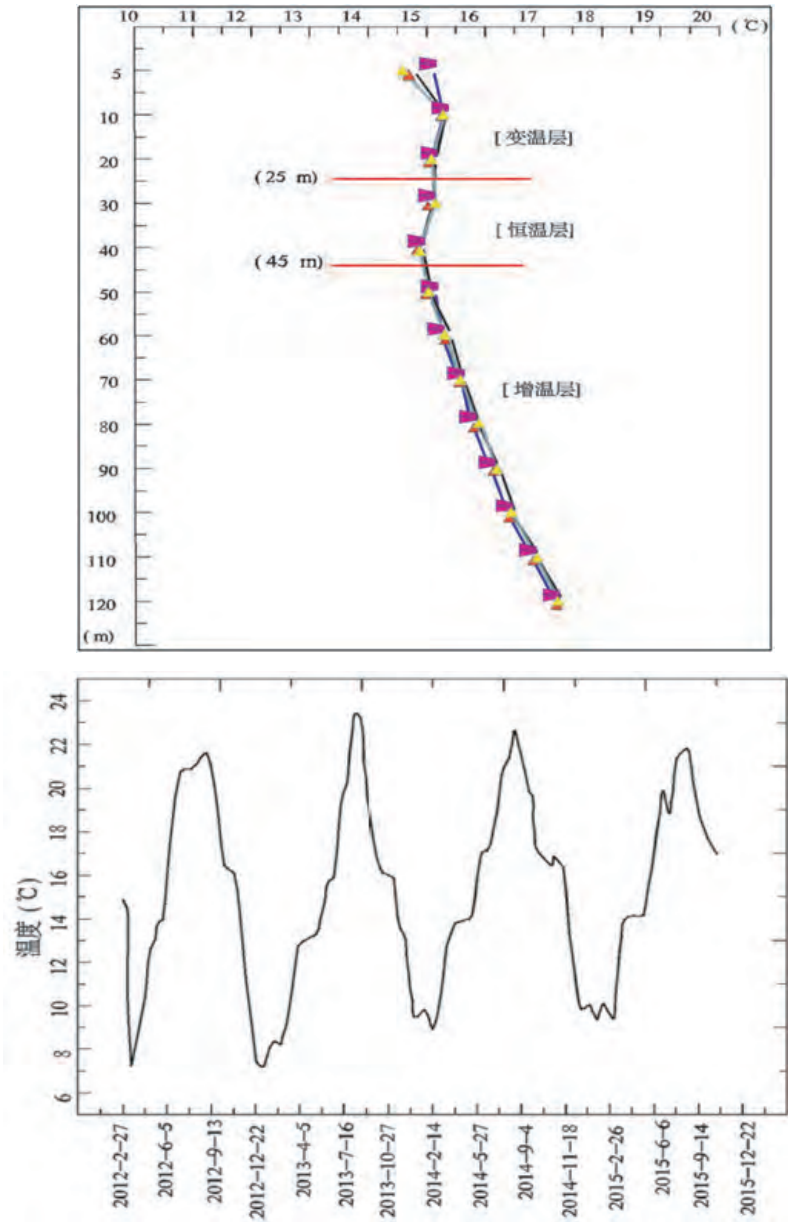


图3 某工程地温背景值监测孔和换热监测孔 1#40m 深历年地温变化趋势图

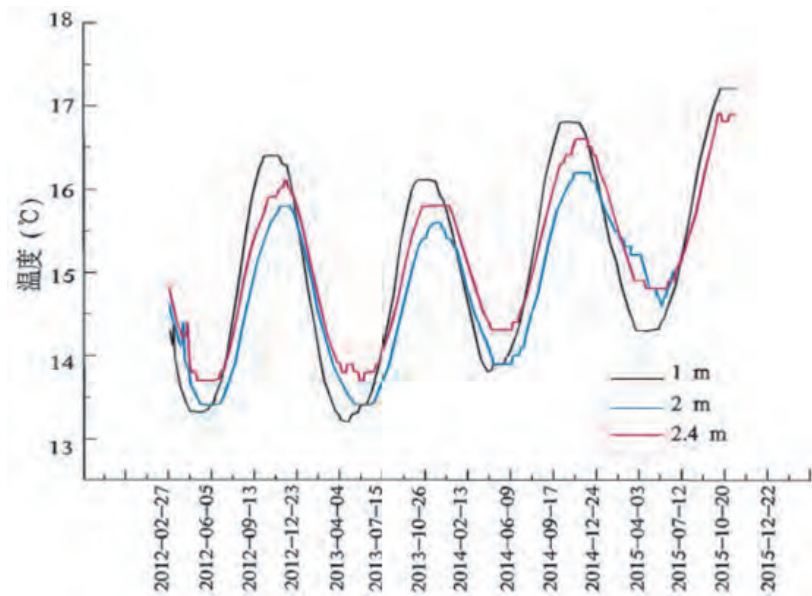


图4 影响半径监测孔40 m深历年地温变化趋势图

3.2 原因分析

当地埋管地源热泵系统夏季向地下注入的热量和冬季从地下提取的热量不平衡严重到一定程度时,由于浅层岩土体导热系数低,热量传输能力有限,积累的热量在运行一个供暖制冷周期后难以散失,堆积在换热孔周围,造成换热孔周围岩土体温度持续升高。这主要是由于地埋管换热器的实际传热过程是一个复杂的非稳态传热过程,它以岩土体导热为主,但同时还包括了土壤多孔介质中的空气、地下水的对流以及迁移传热,因此岩土体的热物性、含水层厚度、土壤初始温度、埋管材料、管径和流体流速等都对地埋管换热器的传热过程产生影响^[4]。另外,长期运行空调逐时负荷的变动等诸多微观因素也影响换热器的传热过程,很难搭建符合实际情况的模拟软件模型,如此长模拟时间对于实际情况的偏差也难以控制^[5]。为获得地埋管地源热泵工程地埋管换热孔群实际的地温变化情况,选取天津市典型工程,按照相关技术规程建立地埋管换热孔地质环

境监测系统^[3]。

经过对地下换热孔群地温和地上热泵机组运行情况的长期监测以及大量调查研究工作,得知出现这种热量不平衡除上面提到的不可控因素外,更多的是工程建设和运行中的可控因素造成的,主要有以下几种情况:

(1) 地埋管地源热泵系统工程前期勘查不到位,没有做现场热响应试验,没有准确的场地浅层岩土体热物性参数和换热孔单孔换热能力数据,只是单纯的估算一个换热孔每延米换热量,用于设计整个工程地埋管数量,以至于出现地埋管数量和实际建筑物冷热负荷不符。

(2) 建设方为节省工程初投资,地埋管数量布置过少,不能满足上部建筑物供暖制冷负荷,使得长期运行后地下换热器出力不足,整体运行特性变差。

(3) 工程建设场地较小,不能满足地埋管换热器

合理间距的布置,从而减小了地埋管换热器

间距,使得单个地埋管换热器的传热半径减小,使持久运行特性降低。

(4) 热泵机组与地埋管换热器组群设计不匹配,造成局部土壤温升过高。

(5) 地源热泵系统运行管理人员缺乏相关专业知 识,不能按照上部建筑物实际逐时负荷变化及时调整地源热泵系统运行模式。

3.3 解决方法

地埋管地源热泵的冷热不均衡问题并不是技术上的难题,完全可以通过系统的合理设计和规范化的运行管理进行规避。对于制冷供暖负荷较大的工程,有以下解决方法:

(1) 增加地埋管换热器的孔间距,孔群外5m处地温背景值温度稳定,设计换热孔间距大于5m,扩大热传导半径,从而减小地埋管换热器单位深度承担的设计负荷。

(2) 调整换热孔群布置方式,可将一个大的换热孔群拆分成几个小的换热孔群。

(3) 同时,有研究者提出在有地下水渗流存在的砂土中,渗流对整个温度场的影响很大。相同热负荷条件下,渗流的存在能大大增强地下埋管换热器的换热能力,在工程设计和施工中,充分考虑到地下水渗流的影响,将会降低热泵工程的初投资,提高其经济性^[6]。而天津平原地区浅部地层岩性主要为黏土和粉砂互层,地下水渗流条件差,地下水自然对流和迁移能够带走的热量很少,工程建设中可采用地埋管与抽水井耦合使用,抽水时的水位差可形成一种人工地下水流场,当这种人工地下水流场达到一定程度即可带走地埋管换热器周围堆积的冷热量,可解决地埋管周围冷热堆积不平衡问题。湖北某办公楼地源热泵系统项目室外换热器采用垂直钻孔U型地埋管与新型单井高效换热技术,避免了地下土壤能量不平衡,从而保证地源热泵系统长时间连续运行的稳定性和可靠性^[7]。

(4) 针对建筑供暖制冷负荷相差较大的工程,应减小冷热负荷不平衡率,可采取通过设置系统调峰、采用热泵机组热回收技术等复合式制冷供暖系统。另外,针对夏季负荷较大的工程,若工程场地足够大,可根据岩土体垂向温度变化规律,可设计深浅间隔分布的换热孔,夏季换热孔全部使用,冬季只使用深换热孔,浅换热孔由于岩土体平均温度较低,加之夏季雨水多,地下水位上升快,浅层岩土体导热能力增强,可使整个换热孔群的换热效率提高,解决换热孔附近冷热堆积问题。

4 结论

(1) 天津市地埋管地源热泵运行时间不长,尚未暴露出严重的冷热不均衡问题。1年的地温累计温升可能只有1℃的量级,对热泵机组和系统换热效率影响不大,但是如果不及时解决问题,5年或10年的持续温升会造成系统运行效果不佳,严重的甚至使整个系统瘫痪,无法达到制冷供暖的目的。

(2) 影响土壤冷热不均衡的因素很多,主要是工程建筑物冷热负荷差异和地埋管换热器的布置间距。因此,解决地埋管换热器热不均衡的主要方法是优化设计减小空调系统冬夏累计负荷差,同时适当增加地埋管换热器的间距,在换热孔群中增加新型单井换热系统,改变传统的埋管布置方式。

(3) 采用复合式供暖制冷系统是解决地埋管换热器周围冷热不均衡问题较理想的方法,针对不同地埋管地源热泵系统工程冷热负荷特点,制定运行周期内取放热平衡方案,同时按照相关技术规范,布置有效的地质环境监测系统和相应的调节控制措施。

(4) 加强地埋管地源热泵系统的运行管理,根据建筑物实时负荷特点,相应的调节热泵运行模拟,以达到最优能源配置效果。

孔隙型热储循环开采试验 获重要成果

——河北平原黄骅、安国地热尾水回灌试验
基本情况

CIRCULATING MINING TEST OF POROUSTYPE GEOTHERMAL RESERVOIR BASIC SITUATION OF GEOTHERMAL TAIL WATER INJECTION TEST IN HUANGHUA CITY AND ANGUO CITY OF HEBEI PLAIN

作者：陈国富 陈红艳（华北油田）

一、孔隙型热储循环开采， 两个采暖期开采量破百万吨的理论与实践

华北平原的地底下，蕴藏着丰富的孔隙型地热能。只有将地热尾水回灌到地下，补充消耗的地层压力，才能实现大量开采。孔隙型热储层回灌，被称为“世界性难题”。近年国内权威性说法：“馆陶组回灌量欠佳”、“ $20\text{m}^3/\text{h}$ 回灌量也保不住”。这就是国内孔隙型地热水的回灌现状。尽快解决回灌难题，是国家当前治霾的迫切需要。

1985 年，国内第一座地热水低压注水试验场建成了。历时 5 年累计注水 1885 小时、注水量 55836m^3 ，完成了地热水回灌的基础性试验。1990 年补充试验，总结出孔隙型地热水回灌的核心技术。

黄骅试验虽然是供热工程的副产品，却终结了探索“世界回灌难题”几十年的徘徊，实现了灌采水量比 ≈ 1 的循环开采。取得了两个采暖期循环开采 107万 m^3 的罕见成果。黄骅试验实现地热水循环开采，地热资源的采收率，由 15% 向着

≈ 100% 迈出了坚实的一步。

1. 华北油田低压注水试验场和低压注水试验

1.1 试验的地质背景

1980 年春天，华北油田驻地打成了华北平原新近系馆陶组第一眼地热地质勘探井，抽水量 1560m³/h、水温 78℃。关井瞬间 0.4 级标准压力计显示 0.3MPa，随后井口压力缓缓下降，24 小时后，降至 0.14MPa。

1981 年华北石油会战总部决定，建立开发试验区。当时开采设备最大扬程 81m。整个华北平原区，只有华北油田驻地等少量地热井，以供暖试验为目的间断开采。开采后期已经减产。次年入冬前静水位埋深仍恢复到地表附近，用空压机气举诱喷后还能自流。开采试验证明，不将地热尾水回灌到地下，就不能实现大量开采。

1.2 试验场地热地质条件的研究程度

(1) 通过专门进行的井下压力梯度与水文地质观测数据对比试验，找到了水文地质观测数据与《地下水力学》各项参数转换关系，解决了地下渗流的研究方法。

(2) 1982 年开始建设试验区，在非采暖期专门进行了长达 5 个月单井和双井长期抽水试验。试验区含专门钻凿的回灌井，共 5 眼地热井，均按石油生产井要求作综合电测井。还作了井壁取心、井下分层流量测试、地温专门测量、井下静压、流压梯度与水文地质观测数据对比试验、采暖期

供暖试验。

试验区馆陶组热储层深度 1750~1905m。回灌试验井 3# 井储层深度 1777~1886m，利用 8 段储层，总厚度 57m。地层系数(渗透率 × 储层厚度) 20.3μm².m，平均渗透率 0.36μm²。最大抽水量 1810m³/d，井口水温 75℃，储层平均 77℃。

1.3 建造注水试验场

仿效油田注水站，注入水经过滤，机械杂质含量 ≤ 2mg/L、4B91 型加压泵，扬程 91m、流量 90m³/h。7# 井是专门新钻一眼地热回灌井，与 3# 井对井距离 1000m。

1.4 低压注水试验大事记

1983 年试验课题立项，历时 8 年完成基础性试验研究。实际注水时间 1885h，注水量 55836m³、取得 7720 个试验数据。总共作了 17 次洗井试验，完成了恢复回灌井吸水能力探索。数据汇总见表 1-1。

(1) 建造注水站前的试验性注水，是在经历一个冬季，抽出 8 万 m³ 水后的 3# 地热井上进行的。

(2) 试验开始受到重挫

1986 年 2 月专门设计钻凿的 7# 回灌井刚刚完井，试验场配套工程竣工。7# 回灌井抽水正常，抽水量 65m³/h。试验开始后 1.5h 内，井口压力降到 0.93MPa，注水量由 80m³/h 降到 0m³/h，总累计注水 34m³。

(3) 将 3# 抽水井临时改成回灌井，作基础性试验

表 1-1 数据汇总表

试验目的	试验时段	试验井号	注水概况				最高压力, MPa	试验数据
			次数	时间, h	水温, °C	水量 m ³		
可行探索	83.04	3 井	2 次	57	30	2436	0.32	150
注水试验	86.03	7 井	1 次	1.5	30	34	0.93	22
	86.04-06	3 井	5 次	664	29-35	12551	0.93	3057
	87.03-05	3 井	8 次	777	30-35	25810	0.90	2391
	90.04-05	3 井	1 次	385.5	30-35	15005	0.6	2100
合计	17 次	1885	/	55836	0.93	7720	0.93	7720

1986 和 1987 年历时 1441 小时，分 14 次注入总量 38361m³。

(4) 填补“七五”攻关项目，补充进行的注水试验。历时 385.5 小时，以 0.6MPa 井口压力，一次灌入 30-35℃水 15005m³。这项试验记录迄今未被刷新。

1.5 试验资料分析

1.5.1 热储层属性对回灌的影响

(1) 热储层中的泥质与砂岩颗粒骨架是同期沉积形成的。

试验区地热条件和钻井的成井工艺，没有重大变化。专门设计钻凿的 7# 回灌井，成井后能正常抽水；只注进了 34m³。3# 井在试注前已经抽了一个冬天。它证明了储层中的泥质，在井底压差的作用下，向井汇流中带出了一部份，对储层有疏通作用。1990 年进行的补充注水试验，一次洗井后连续注入了 15005m³，证明了回灌井不是越注越堵塞；而是越来越通畅。

(2) 热储层的渗透率，是决定回灌量的关键。3# 井在 1982 年夏天专门作过自流量的分层测试。

如表 1-2 所示，录取的 8 段储层中，有 2 段低渗透层不出水。回灌后所有的储层透水性都降低了。抽水时不出水的储层，更灌不进去。

1.5.2 热储层中水的属性

如图 1-2 所示，大致分 3 段：第 1 段，20-

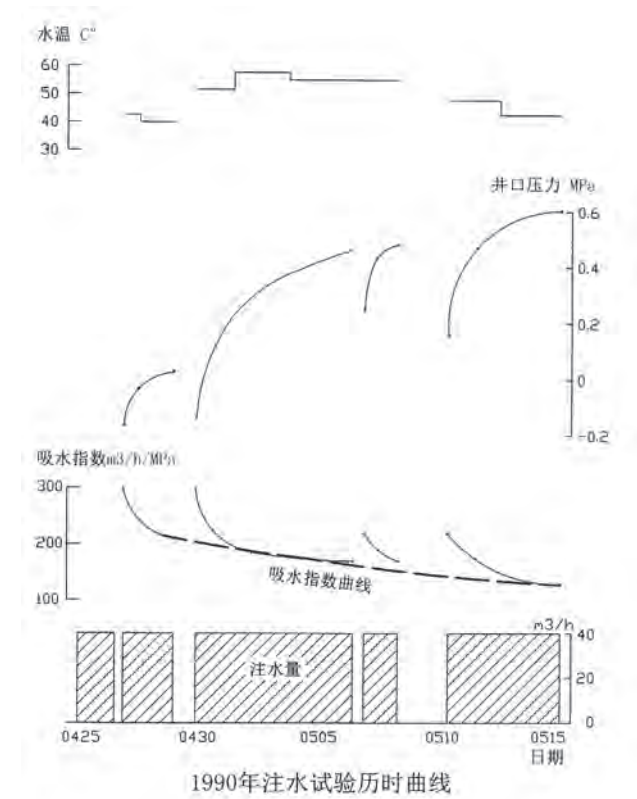


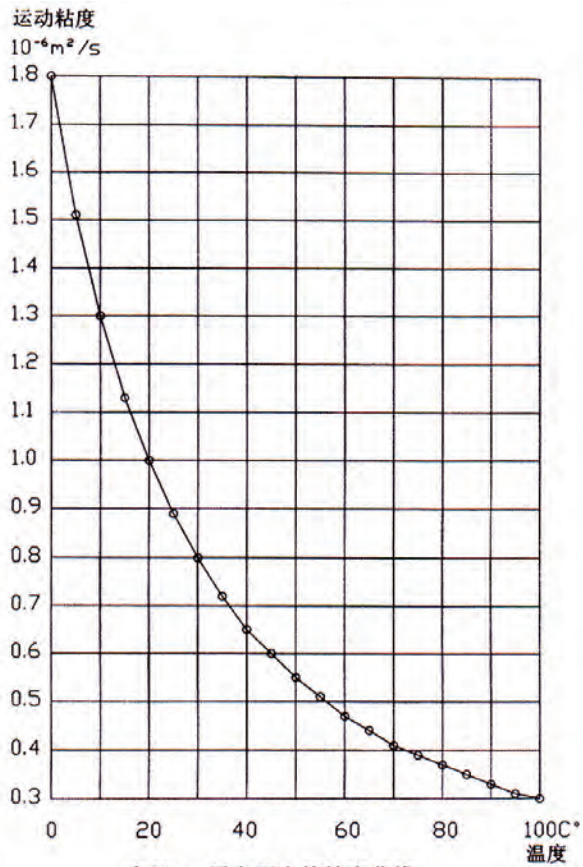
图 1-1 曲线图

0℃，粘度与温度曲线，急于直线，急剧增加段，由 1.0 增加到 1.8×10⁻⁶m²/s；第 2 段，70-20℃，粘度平滑增加段，由 0.4 增加到 1.0×10⁻⁶m²/s；第 3 段，100-70℃，粘度与温度急于直线关系，由 0.3 增加到 0.4×10⁻⁶m²/s。

1.5.3 不同渗透率地层透水性的温度属性

表 1-2 3# 回灌井电测井与分层测试结果

综合电测井结果					分层流量测试	
储层号	储层厚度 m	渗透率 μm ²	孔隙度 %	含泥量 %	流量 m ³ /h	单位流量 m ³ /(h.m)
1	7	0.9	27.3	0	26	3.7
2	6	/	17	47	/	/
3	4	/	17	53	/	/
4	6	0.24	20	50	6	1.0
5	6	0.2	23.3	30	5	0.9
6	6	0.44	24.6	13	11	1.9
7	9	0.35	23	16	13	1.5
8	13	0.56	26	16	23	1.8



在50bar压力下水的粘度曲线
图 1-2 水的运动粘度与温度关系曲线

图 1-3 表示, 不同渗透率的热储层, 随着水温降低, 渗透系数 $K(\text{m/d})$ 急剧下降, 向 $< 1\text{m/d}$ 方向缩紧。渗透率越高, 下降的坡度越大。

1.6 影响回灌的主要矛盾

(1) 地层渗透率 and 水的粘度、密度, 是自然界固有的属性。地热尾水温度降低, 水的粘度增加, 水在储层中流动的阻力增加, 消耗更多的机械能, 又有其固有的规律。开采井能够源源不断的抽出水来, 是通过抽水设备输入机械能, 产生了井底压差。地热水向井汇流中, 克服地层阻力, 消耗机械能, 形成压降漏斗。如果水的粘度不随着温度变化, 回灌井井底压差的增量与抽水井的压差相同, 方向相反, 构成反漏斗, 保持边缘处静压不变化。我们说

自流回灌井的能量是由抽水井“借来”的。释放热量后的地热尾水, 重新回灌到储层中, 由于粘度增加, 要消耗更多的机械能, 这是不情愿的。水温降低, 重率增加能抵消一部份井底压差。若想实现自流回灌, 或低压回灌, 必须适度缩短尾水在储层中的路径, 降低井底压差。这是我们提出对缩小小井距的技术依据、是回灌成功的第一项核心技术。忽略温度对地下渗流的影响, 没有从能量平衡的角度研究地下渗流, 是 40 年来回灌攻关久攻不下, 徘徊的根源、是“世界级难题”的根源。“难”是可能征服的。自然界固有的因素, 人们改变不了。

(2) 与人类活动有关的外在因素

- ① 储层中的泥质与砂粒骨架是在地质历史期间同时形成的。总结 30 年前专门钻凿的回灌井失败的教训, 回灌前需要一段抽水过程。
- ② 钻井过程中, 泥浆工的职责之一, 是保护井壁不坍塌。成井过程泥浆浸泡时间长, 或导致工程报废, 至少要影响回灌量。
- ③ 随着尾水带入井中的机械杂质, 不能进入储层中, 被截留沉淀在井底。石油注水井水质

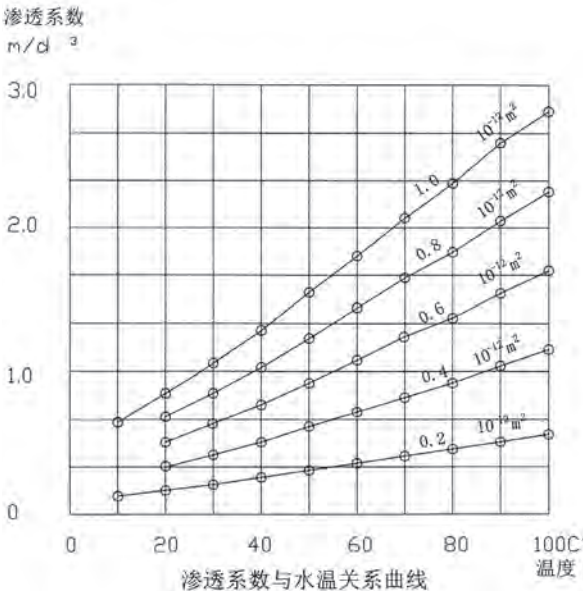


图 1-3 渗透系数与水温关系曲线

标准, 机杂含量 $\leq 2\text{mg/L}$, ($\leq 2\text{g/m}^3$)。按回灌量 $2 \times 105\text{m}^3$, 随着尾水带入井内的机械杂质 $\leq 400\text{kg}$ 。大致折算成 0.2m^3 。在直径 178mm 井管中, 堵塞高度约 10m 。这是长期回灌中, 流量减少或压力增加的原因。提高水质净化程度有利延长洗井周期。

④单井水力学和大口径砂岩岩心流体力学试验都证明了, 射孔成井无助增加回灌井的吸水量。按 127 聚能弹, 孔密 15 孔/ m , 射开 100m 厚储层, 产生 0.14m^3 孔管体积。若回灌量 20 万 m^3 , 不到一个采暖期, 孔管就被填满了。目前射孔成井的回灌井, 还没有找到孔管堵塞后的解堵办法。2010 年仓促推出的射孔成井作回灌井, 不及滤水管成井。

⑤在 30 年前经过 5 年试验总结出的大压差洗井技术, 在黄骅又经过 2 年验证, 地热回灌井由单纯小流量回灌, 跃升为灌采水量比 ≈ 1 的循环开采, 形成了第 2 项核心技术。

二、黄骅市孔隙砂岩热储层回灌试验

1. 黄骅经济开发区回灌试验场

试验场地理位置在黄骅市区南面, 与开发区吻合。2015 年黄骅市政府划为地热水供热区。整合总供热面积超过 100 万 m^2 。(如图 2-1)

2. 地热地质概况

2.1 区域地质构造 (如图 2-2)

试验区所处的黄骅拗陷, 属于华北断坳区的一个 III 级构造单元。有扣村断层和黄骅断层通过。馆陶组断距 $140\text{--}160\text{m}$, 对馆陶组热储层有明显控制作用。开发区处在黄骅断层的下降盘、构造平缓。新近系馆陶组, 底深 1950m 左右。分 3 段: 上段白色细粉砂夹棕红色泥岩; 中段以泥岩为主的砂泥岩互层。下段白色粉细砂岩, 含砾中粗砂岩夹棕红色泥岩, 底部杂色砾岩。与下伏古近系不整合接触。

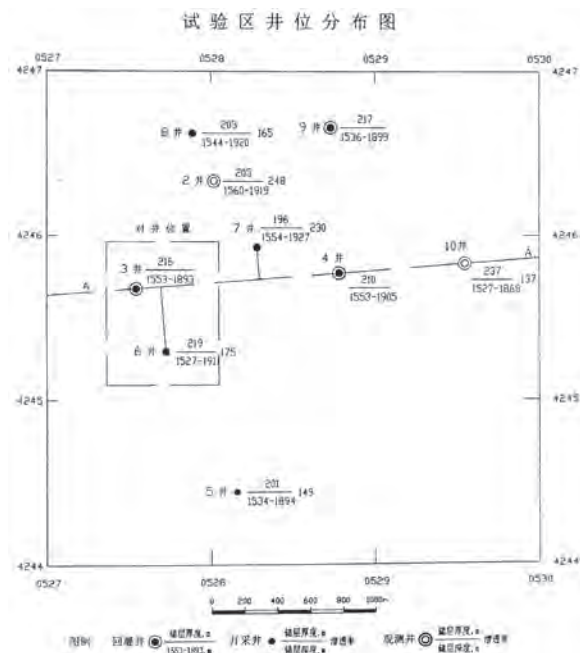


图 2-1 试验场地理位置

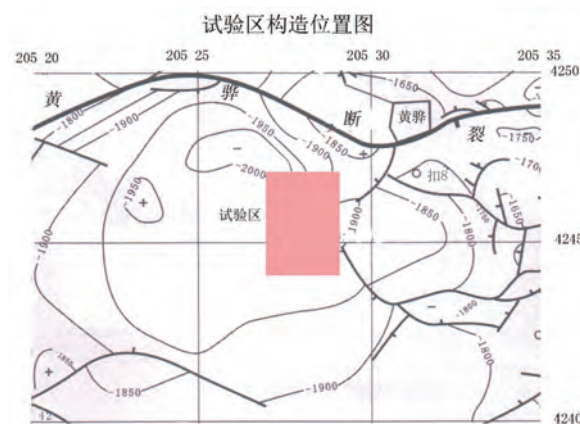


图 2-2 区域地质构造

2.2 试验区地热地质条件 (图 2-3)

试验区内馆陶组三段热储层, 连续分布。设计 $3\#$ 与 $6\#$ 地热井为一组对井。 $6\#$ 井热储层总厚度 219.8m 、地层系数总合 $174.5 \mu\text{m}^2\cdot\text{m}$ 、平均孔隙度 27.7% 、泥质含量 12% 。

3. 回灌试验场标准配置

水质净化设施—处理量 $200\text{m}^3/\text{h}$, 直径 3.0m

石英砂过滤罐，保障滤后水中机杂含量 $\leq 2\text{mg/L}$ 。低压回灌—反冲洗变频加压系统，2台100-160型立式泵。显示瞬时、累计回灌量、水温、井口压力的自动记录仪。回灌井内预置油管，接高压空压机即可洗井。

4. 结合供热的 2015-2016 年回灌试验

4.1 对井供热负荷

6# 开采井开采量 $180\text{m}^3/\text{h}$ 水温 68°C ，先为 4万 m^2 厂区间接供热。 $180\text{m}^3/\text{h}$ 55°C 地热水，对总面积 16万 m^2 楼区间接供热，释放 5000kW 热量后， 32°C 尾水带着约 0.1MPa 剩余压力输往 3# 井。

4.2 对井试验的压力场背景（图 2-4）

11 月 14 日实测 3# 井静水面 47.9m ，作为试验区起始静水位。上图显示 3 条曲线：自流回灌，压力记录为 0。灌入水温度 $31\text{--}32^\circ\text{C}$ 。回灌量分 3 阶段。1 月上旬前回灌量 $180\pm 5\text{m}^3/\text{h}$ 。春节前 $165\pm 5\text{m}^3/\text{h}$ 。春节后天气转暖，回灌量逐渐下降至 $120\text{m}^3/\text{h}$ 。

4.3 地热水从回灌跃升到循环开采阶段

4.3.1 回灌效果和回灌量达到同类地层世界回

灌水平的巅峰

(1) 在 121 天采暖期内，采出 70°C 地热水 50.5万 m^3 、自流回灌 31°C 尾水 48.5万 m^3 。只洗过一次回灌井。洗井中断回灌 5 小时，吐出回灌水量 $< 1000\text{m}^3$ ，含反冲洗过滤罐总排放水量 $< 10000\text{m}^3$ 。灌采水量比 $\geq 98\%$ 。

(2) 迄今，国内对回灌井，通常采用“回灌回扬”模式。长期回灌量，由短期回灌量 $\leq 30\text{--}40\text{m}^3/\text{h}$ 的基数下降。没有见到长期回灌信息。

(3) 权威专家这么说

2012 年天津地热勘查开发设计院孙宝成院长在“天津地热回灌研究现状及面临的主要问题”中对回灌现状做出了客观评价，他说：从 2001 年开始，在东丽和武清区生产性回灌。回灌量很小， $20\text{m}^3/\text{h}$ 还在下降。2014 年马忠平副院长在“天津地热回灌井钻井和射孔工艺讨论”一文中说：馆陶组回灌量欠佳。

4.3.2 成熟的回灌井解堵技术

我们的试验结果：2015-2016 年采暖期，累计自流灌入 51.3万 m^3 ，只做 1 次洗井。瞬时和累计回灌量不是越来越减少；而是增加了。它证明了回灌技术的成熟程度。

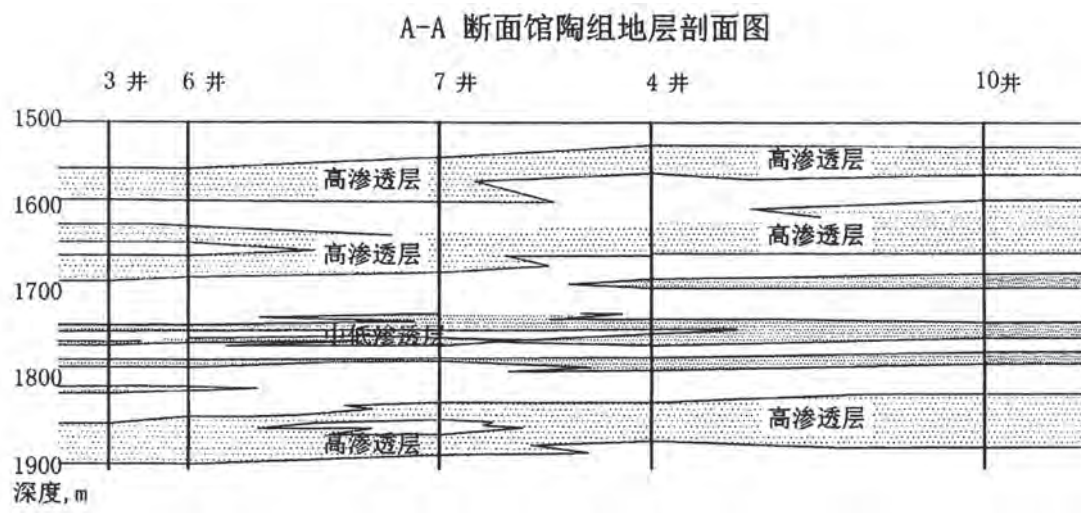


图 2-3 剖面图



图 2-4 自动记录数据回灌试验历时曲线图

通过黄骅试验总结出的《孔隙砂岩热储层对井单元体大流量循环开采配套技术》已通过了中华人民共和国国家知识产权局的初审。专利号: 201610300673.8。小井距布井方案和洗井技术均列入权利要求书。

4.3.3 遏制了水位下降

地热井起始水位 47.9m 深。采暖期末开采井动液面 110m, 降深 62.1m。扣除邻井和区域性开采干扰, 开采井水位降深约 47m。对井循环开采遏制了水位下降。

4.3.4 首次成为不产生环境污染的清洁能源

一组对井, 年开采 $5 \times 10^6 \text{m}^3$ 70°C 地热水, 回灌水温度 31°C , 释放热量产生的社会价值。

5.2016-2017 年度继续生产性循环开采试验

图 2-6 记录了几个关键时刻的瞬时和累计回灌量。2016 年 12 月 14 日洗井后, 自流回灌量达到最大值。2017 年 3 月 9 日累计回灌量加上底数 3.9 万 m^3 , 已经达到 104.2 万 m^3 。3 月 15 日总累计开采量 107 万 m^3 。

(1) 2016.01.04 照片代表了第一次洗井前后, 瞬时流量无变化。

(2) 2016.12.14 照片提供了重要信息, 采用我们的洗井技术, 彻底恢复了热储层的吸水能力。证明在长期回灌过程中, 瞬时回灌量与总累计回灌量无关。应该是越灌越好。

(3) 2016 年寒冬, 石英砂过滤罐的滤料出了问题, 阻力增加, 几天未查到原因。为了不影响供热, 在前级经过粗滤的尾水直接与回灌井短接了。水中的机杂含量或 $> 2\text{mg/L}$ 。井口压力在缓缓上升, 回灌量没有明显下降。

6. 结束语

解决回灌课题, 是地热能实现大量开采的需要、更是当前治霾的迫切需要。地热水回灌是“七五”

表 2-1

尾水温度	放热量	相当锅炉效率	相当标准煤	减少排盐
31°C	$8.4 \times 10^7 \text{ MJ}$	$1.4 \times 10^3 \text{ MJ}$	2328 吨	2.8×10^4 吨

表 2-2 减少向大气层 排放气体物质

尾水温度	标准煤	排放 CO_2	排放 SO_2	排放 NO_2
31°C	排放物比值	2.62/1	$8.5 \times 10^{-3}/1$	$7.4 \times 10^{-3}/1$
	2328 吨	6100 吨	20 吨	17.2 吨

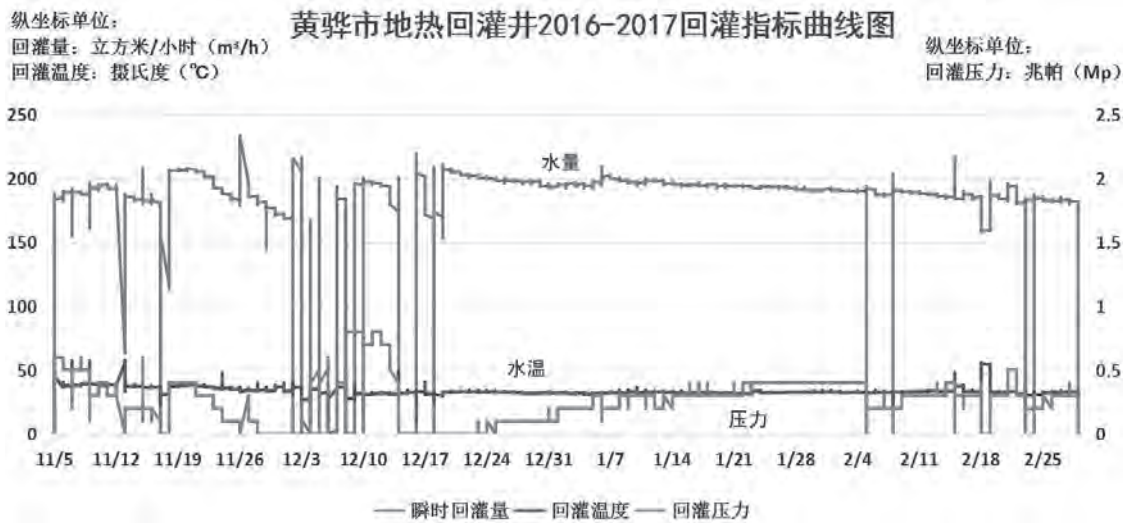


图 2-5 自动采集数据回放试验历时曲线



图 2-6 照片拼接图

期间国家重点攻关课题。至 2000 年，国家层面的回灌攻关未果，近年仍处在初级探索阶段。单井回灌量，以 < 40m³/h 为基数，逐渐下降。

2015-2016 年度，黄骅试验，揭开了地热能大量开采的序幕。2016-2017 年度，3# 回灌井第二次洗井后的几天内，自流回灌量 210-220m³/h，证明我们能恢复储层吸水能力。越洗越通畅。

2016 年冬，水质过滤罐的滤料出了问题，说明前面还有很多路要走。需要后来人继续走下去。黄骅成功的特定条件是储层渗透率 (0.79 μm²) 高，水位浅。冀中平原的集中开采区，虽然储层的渗透率不及黄骅；但静水位深，有利自流回灌。黄骅试验凝聚着许多人的拼搏。回灌突破性进展，终结几十年徘徊，为国家提供了技术依据。

三、安国市景苑回灌试验场回灌试验

1. 地理位置和试验目的 (图 3-1)

试验场处在安国市西郊，处在开采试验目的层一新近系馆陶组热储层缺失边界以东约 10 km 处。热储层的厚度和渗透性，或属于华北平原区最差的。对于揭开冀中地区地热水回灌可行性，具有重大意义。

1.2 试验目的

本次试验属于生产性试验，是供热过程的副产品。但回灌井具备了最完善的试验数据采集和记录设备。试验达到的唯一成果，是验证黄骅的试验成果，在冀中地区回灌的可行性。



图 3-1 馆陶组热储层区域分布图截图

2. 回灌试验场的标准配置：

- (1) 石英砂过滤罐，滤后水中机械杂质含量 $\leq 2\text{mg/L}$ 。
- (2) 加压和反冲洗系统。
- (3) 自动记录系统。记录回灌水的水量、水温、压力。记录洗井、反冲洗过程水温、水量、压力和排出的机械杂质质量。
- (4) 即用即接的回灌井口装置。

3. 试验场井位和热储层 (图 3-2)

3.2 储层剖面和小层数据

相距 360m 景苑 1 井在 1379-1817m, 取了 133m 储层, 平均渗透率 $0.233 \mu\text{m}^2$ 。相距 580m 的候 2 井, 射孔成井, 取水段与回灌井对应。

4. 回灌试验

回灌的尾水取自回水管道。回灌前实测静液面 160m 深。回灌量 90-95m³/h。春节后自流回灌量 100m³/h。至 2 月底天气转暖, 改为间断供热间断回灌。截止到 3 月 11 日, 累计灌入 9.3 万 m³, 水温 40℃。

5. 热储层回灌水平

孔隙型热储的回灌通常采用“回灌回扬”模式延长回灌井寿命。灌采井数比 3/1。当前国内外孔隙型热储回灌,处在回灌量越灌越少阶段。2012 年天津地热勘查开发设计院孙宝成院长说,天津地热院从 2001 年开始生产性回灌试验,正在探索中。回灌量 $20\text{ m}^3/\text{h}$,也保持不住下降的趋势。2014 年,马忠平副院长在论文中说,在馆陶组地层中回灌效果不佳。安国景苑试验场热储层的渗透率,在冀中地区或属于最低的。它证明了黄骅的试验结果,同样适用冀中平原。安国市区地热井热储层的平均渗透率 $0.45\text{ }\mu\text{ m}^2$,灌采井数比 1:1 更有把握。

6. 安国景苑试验为冀中地区提供的经验

- (1) 回灌井的输水管加粗了, 水的流速 $< 1\text{m/s}$ 。井底的沉砂经过了彻底清除。投入回灌前专门抽水 20 天, 有利疏通和部份排出井周附近储层中的泥质物。
- (2) 与回灌井配对的开采井, 去年已经利用了, 只对准了一部份热储层。另一眼开采井距离远。钻井时取错了储层, 后来射孔改造的。试验区处在安国市集中开采区的边缘, 静水位已经很深了, 具有

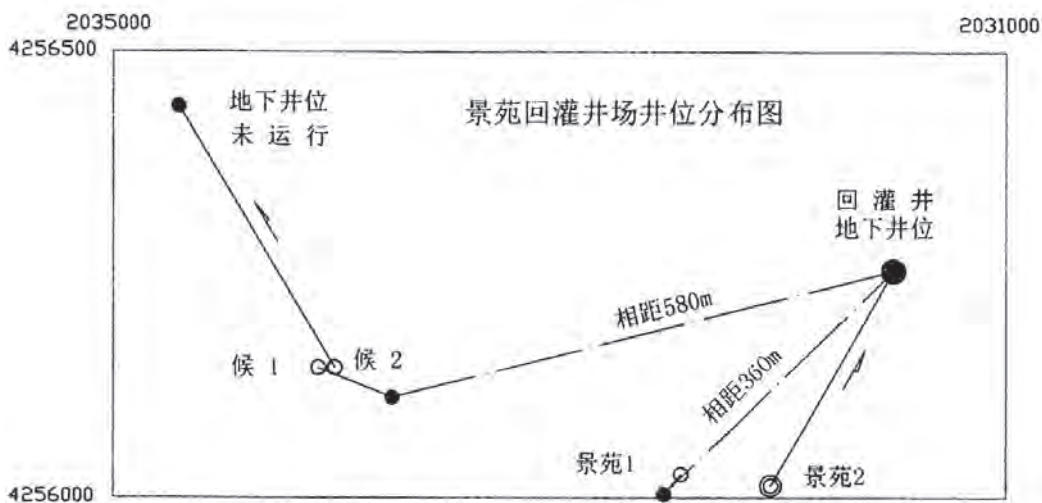


图 3-2 井位分布

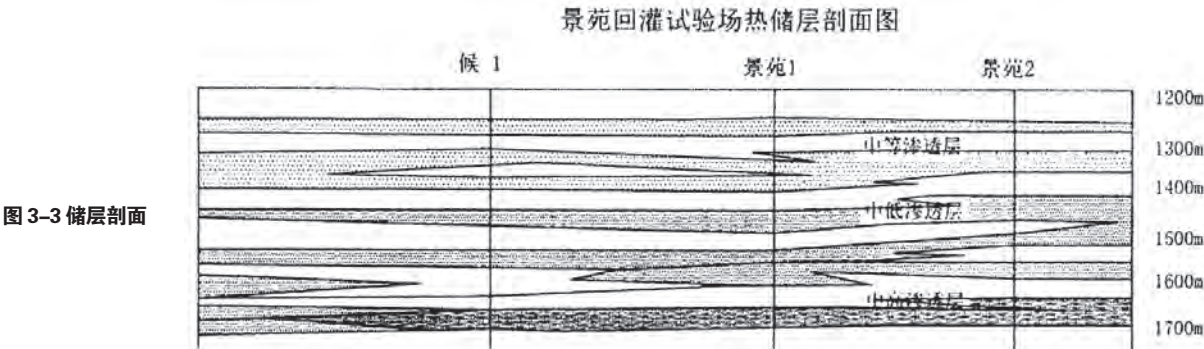


图 3-3 储层剖面

自流回灌的基本条件。对井效果只是其一，其二是补充了邻井产生的压降，产生了区域效益。这是相当重要的经验。在扩大回灌试验中，许多回灌井已开采多年，层位也很难对得上。但对附近的其它井补给了，同样能达到遏制水位下降和减排的效果。

（3）通过黄骅试验总结出的《小井距对井…方案》的核心技术之一，是回灌井“借用”了开采井消耗的机械能，实现自流回灌。目前多数集中开采区地热井的压力面都很深了。它是许多井干扰开采的结果、是其它井消耗机械能的结果，我们同样可以“借用”。在集中开采区，井位难寻，布井可以更灵活些。300-500m 的小井距仍然有效。它涉及到冷峰面推进和井的寿命。在广大农村，地热井的压力面可能高，应尽量按 300-500m 距离布井。

（4）热储层的平均渗透率，是实现自流 - 低压回灌的基础。由定州至黄骅馆陶组热储层分布图可见，渗透率由安国城区的 $400-450 \times 10^{-3} \mu m^2$ 、冀中地区的 $400-600 \times 10^{-3} \mu m^2$ 、黄骅的 $800 \times 10^{-3} \mu m^2$ ，开采井和回灌井的流量能达到 $100-200 m^3/h$ 。有些地方可能加点低压。

（5）恢复热储层吸水能力的洗井工艺措施是成熟的，冀中地区储层的渗透率低，开采量和回灌量 $100-125 m^3/h$ ，一个采暖期总回灌量 20-25 万 m^3 。灌采水量比 > 90%。

四、结语

1. 地热尾水回灌是我国地热产业发展中迫切需

表 3-1 回灌井小层数据

序号	层 段, m	储层厚度, m	渗透率 $10^{-3} \mu\text{m}^2$	地层系数 $\mu\text{m}^2\cdot\text{m}$	孔隙度 %	含泥量 %
12	1273.8-1289.7	6.6	308	2.0	23.6	14.8
13	1296.6-1311.1	14.5	212	3.1	21.1	20.5
14	1373.7-1381.8	8.1	493	4.0	27.4	6.4
15	1402.8-1423.6	20.8	340	7.1	25.1	9.8
16	1432.9-1444.6	11.7	220	2.6	21.8	14.9
17	1480-1528.9	48.9	246.8	12.2	22.8	16.9
18	1531.4-1539.3	7.9	399.9	3.2	26.2	5.6
19	1591.8-1592.7	5.9	93.5	0.6	20.5	19.4
20	1624.9-1629.1	4.2	191	0.8	20.5	19.4
21	1650-1659.2	9.2	195.5	1.8	21.7	12.3
22	1664.9-1677	12.1	400	4.8	25.9	8.3
23	1685-1689.7	4.7	396	1.9	25.5	11.0
24	1692.6-1697.5	4.9	749	3.7	30.5	4
25	1700.4-1709	8.6	428.5	3.7	26	6.3
26	1711.5-1724.8	13.3	213.3	2,9	21.3	39
	Σ	181.4	平均 300	54.4		

要解决的问题，因而河北平原进行的地热尾水回灌试验取得成功具有重要的现实指导意义。

2. 黄骅试验实现了地热水循环开采，揭开了华北平原大规模开发中深层地热能的序幕。安国市景苑回灌场的试验证明了黄骅试验的结论可适用于河

北平原其他地区。

3. 冀中平原区热储层的渗透率 $0.4-0.6 \mu\text{m}^2$ ，单井回灌量能达到 $100\text{m}^3/\text{h}$ 。确信在政府的统一组织、监管和推动下，华北平原地区地热能的大规模有效开发利用即将得以实现！

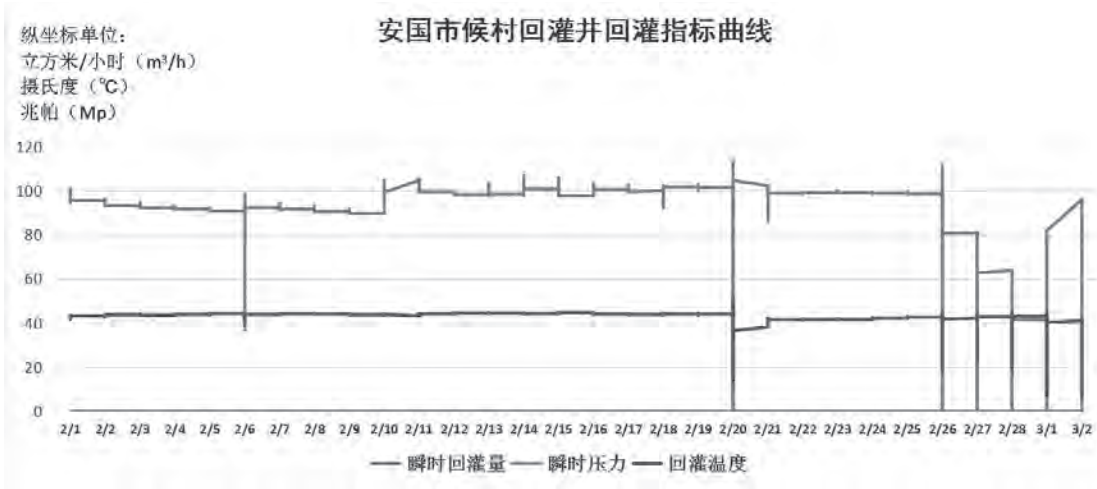


图 3-4 回灌回灌试验历时曲线

热泵机理及建筑供暖采用浅层地能的优势

HEAT PUMP MECHANISM AND THE ADVANTAGES OF ADOPTING SHALLOW GROUND SOURCE ENERGY TO SUPPLY HEATING

作者：吴德绳（北京市建筑设计研究院有限公司顾问总工程师）

水向低处流，是自然界的客观规律，人们无法改变，只能巧妙的利用。因为水只能从压力高处向压力低处流。我们制造了水泵，它有进水口、出水口、叶轮，并用电机带动叶轮转动。叶片的正面增加了水压，把水送到水泵出口。叶片的背面减低了水压，把水从进水口引入，水泵就成了一个人为改变水压的设备。在扬水系统中使用它，就能从低处引水到水泵进口，水泵的出口就有压力能把水送到高处。总体看是人们制造了水泵。投入了电动机的动能，就形成了“水往高处流”的效果，其实还是符合自然规律的，只是科技巧妙的利用了这规律。为了总体达到宏观效果，我们必需投入水泵电机的能耗，用电能搬动了水流。

同理，热向低温传，是自然界的客观规律。一杯热水放在室内水会慢慢变凉，就是因

它的热传向室内，自己变凉。直到它与室温相同，就不再互相传热而达稳定，这是自然规律的体现。人们发明了压缩制冷设备，其实也就是热泵。比如家用电冰箱就是热泵的一种。它巧妙的改变了“热向冷处传”的自然规律，比如：夏季，室内是25℃，从户外买回一块鲜肉，大约32℃，放在室内，它逐渐冷到25℃就稳定了。如把它放在冰箱冷冻室内，它可慢慢降至8℃，它的温度已比室温25℃还低，它的热哪去了？就是电冰箱把这热传给室内空气，电冰箱耗了电能，把肉含的热从25℃逐渐传到室内，使自己从25℃逐渐变成8℃，这就是我们用这个电冰箱的热泵效应，把热量从低温传向了高温，这也是人们可以用电能把热从低温搬向高温的科技效果。电冰箱大家都知它是制冷设备，其实科学的说，冷不是制出的，而是因耗了电，把热搬走而

降温形成的。

热泵的形式多种多样，电冰箱是一种，分体式空调室内、外机也是，大型空调机房中，5至6米长、2至3米高的大设备也有。都是人们不同需求而制造的各种类型的设备。

热泵和水泵在外观，是很不同的。水泵配上了电机就是一台设备，水泵大小类型虽不同，但总体是一个“机器”。热泵则不同，它是一套系统，加上压缩机、电机等，才构成一个热泵。有的甚至跨接到几十米远，有的连带冷却塔都会算在一个热泵内。要开扩眼界，从本质中看热泵的外观，这不能用水泵外观来比拟了。

热泵的伟大就是用少量的电能，可以把低温处的热量搬向高温处，也就是低温资源利用热泵的原理，积累成高温的热源，以供我们的需要，并可以实现节能环保绿色的用能改革。

在寒冷的地区，冬季人们生活必需供暖，这是人类上万年繁衍的客观历史。就本质而言，人类生活的室内温度只要在冬季基本达到20℃左右就可称为满意。建筑技术发展至今，供暖的能耗已降低了很多，并且为了把室内温度维持在20℃左右，供暖热源的载体（比如供给散热器的循环热水）只要达到60-70℃就可以。从浅层地热中取热，就是利用热泵技术使热转换到载热体中，替代几十年来采用燃煤、燃油、燃气的方式来供暖。

现在了解到，用可以炼钢的高温热资源来为建筑供暖实在是大才小用，不仅浪费了资源的品位，还随之产生碳排放、PM2.5和雾霾等环境危害。所以，利用浅层地能、空气热能等资源，配合热泵技术来为建筑供暖是时代的要求，是科技的进步，是把高品位资源留给工业、交通业等必须者使用，是现代必走的供暖道德用能的技术路线。

浅层地能，是指地面之下200米以内的地层

中存有的能量，因为地层体积巨大，在日夜的循环中，冬夏的交替中，它的温度变化甚小，相当稳定。

从这浅层的土壤、砂石、水流中取出一些热，利用热泵技术调整至合用的温度为建筑供暖是十分合理的供暖技术方案，也是近年来浅层地能得到大发展的科学根据。从供暖需求侧看，利用浅层地能供暖只在冬季，而夏季不需要，就为地下热恢复争取了时间。若还兼用夏季空调，取用浅层冷源更有利于热恢复。这种就地取热的累集热量只占当地浅层储热量很少的比例，设计合理的前提下，采用浅层地能是最不受日夜影响，最耐受寒流冲击的能源。同时，可以更好的利用峰谷电价，做到为用户节约费用的目的。利用浅层地能为建筑供暖的合理技术主要有地埋管类型、单井回灌类型等。

地埋管类型最适合地层有丰富含水量、自然水位较高的地区。单井回灌类型最适合水流充沛地区，砂砾石的地质层最为合理。单井回灌可节省取热设施的占地面积，是中国自创的专利技术，在适合的地质条件下最有优势。

在浅地层含水量不丰富，地表水渗入也较少的区域，采用浅层地能就往往不如采用空气源合理。

在采用浅层地能为建筑供暖时，也需利用少量的高品位能源——电能，但电能只是搬运热能的动力，只占搬运的热量中的25%至30%。电能的来源可以远处输入，在当地不会影响环境。如电能是风电或水电的情况下，更可全面无环境污染的为建筑供暖。

合理的采用、正确的设计、科学的运行、智能的管理，是建筑采用浅层地能供暖的努力方向。

中央的指导、科技的发展、行业的努力、市场化的成熟，使我们进入了供暖新型能源科技发展的最好时代！

岩土热物性测试发展综述 与问题探讨

A REVIEW OF DEVELOPMENT ON SOIL THERMAL PHYSICAL PROPERTY TEST AND CRITICAL ANALYSIS

作者：马凌 赵军（中低温热能高效利用教育部重点实验室 天津大学）

摘要：对岩土热物性测试方法进行了归纳与探讨。回顾国内外测试技术及其发展，重点阐述热响应测试概念及相关理论，对比了解析模型与数值模型的差异性与适用性，分析多种关键参数对岩土热物性辨识精度的影响，最后探讨了热响应测试目前存在的问题与今后发展方向。

关键词：热响应测试；地埋管换热器；传热模型；土壤热物性参数；辨识精度

地下岩土热物性是地源热泵地埋管换热器设计所需要的重要参数，其大小对钻孔的数量及深度具有显著的影响，进而影响了系统的初投资。由于地质情况的复杂性和差异性，必须通过现场热响应测试得到岩土综合热物性参数，供地埋管设计计算使用。热响应测试是获取岩土热物性参数的主要途径，已成为当前地埋管换热器数量和长度设计的基础，在试验得到岩土热物性的基础上，结合地埋管换热孔回填材料、钻孔直径、钻孔深度、埋管形式、埋管间距、运行工况下埋管流体设计温度及运行时间等条件，可建立地热利用数据库，为浅层地热资源调查提供数据依据。

《地源热泵系统工程技术规范（2009版）》^[1]

规定（以下简称《规定》）：地源热泵系统应用面积在 3000m² 以上时，应至少设置 1 个测试孔进行岩土热响应测试。研究表明，若岩土导热系数测试结果存在 10% 的偏差，将使地埋管换热器设计尺寸偏差达 4.5~5.8%^[2]；若地埋管实际长度超过需要的 10%~33%，足以使地源热泵丧失经济优势^[3]。因此，如何准确获得土壤热物性参数是急需突破的关键问题。

本文对现有岩土热物性参数测试方法进行归纳分析，介绍了地埋管换热器常见的传热解析模型和数值模型，并对热响应测试关键参数进行辨识精度影响分析，所得结论对地源热泵系统设计方法具有参考价值。

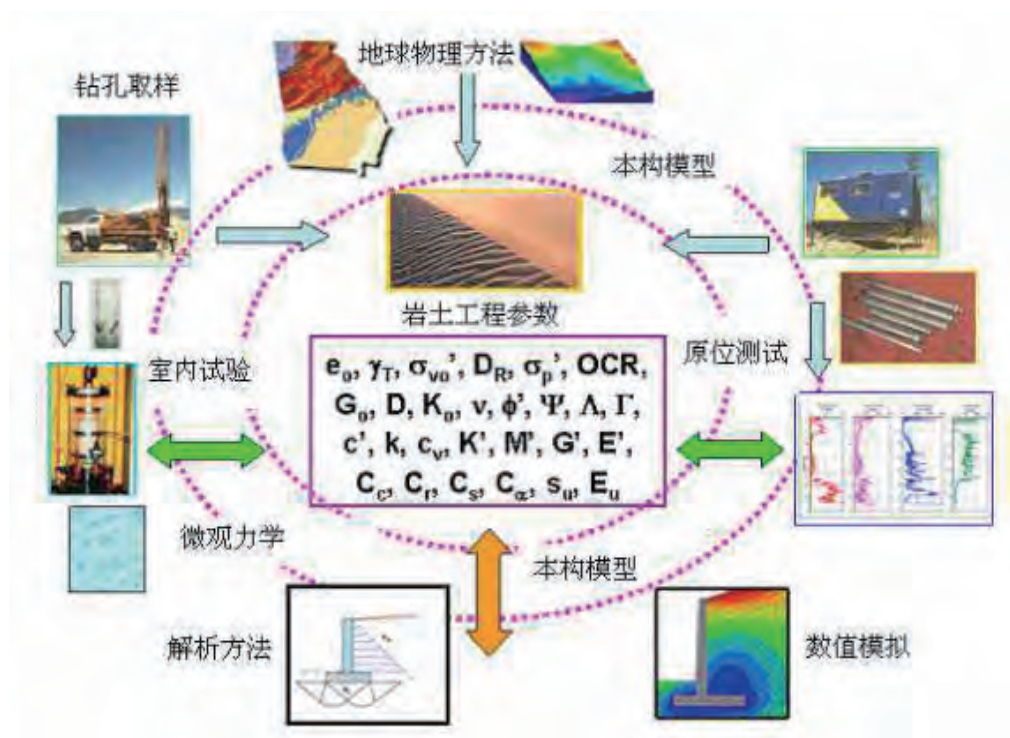


图1 常用岩土工程参数与测试方法 [4]

1 岩土热物性测试方法概述

1.1 岩土物性测试方法

岩土热物性测试是土工测试的一个重要内容 [4]，属于土壤特殊性质测试技术范畴，图1为目前土壤工程参数测试常用技术。目前，用于确定岩土热物性的方法主要有四种：查询土壤地质手册（查表法）^[5]、取样测试法（稳态热流法）^[6]、现场探针法（非稳态热流法）^[7]和现场热响应测试法。

1.1.1 查表法

查表法一般也称为经验估计法。主要是根据施工现场取样钻孔，通过采集的样品确定土壤类型，然后从岩土热物性参数表中查取相对应的导热系数，例如美国电力局（EPRI, 1989）编写的《土壤源热泵设计岩土物性参考手册》和国际地源热

泵协会（IGSHPA）编写的岩土物性手册^[8]。这种方法对设计者的知识水平和经验有较高的要求，却忽略了地层构造和含水率的影响，使得计算得到的埋管长度偏离实际需求数倍，进而使系统运行产生相当大的偏差。该方法只能用于小型地源热泵系统的设计，如小型的别墅或其他面积较小的单体建筑^[9]。

1.1.2 取样测试法

取样测试法为经典的实验方法，该方法通过埋管附近现场采集的土壤样品在实验室内加入不同比例的水分后加热测试器热导率，利用傅里叶导热定律，通过测定热流密度及测试样品中的温度梯度，进而计算出岩土导热系数。该方法原理简单，但未考虑样品径向热流损失，假设热量全部沿样品表面法向方向传递，主要包括平板法、圆球法、热流计法等。图2为稳态平板法测试原

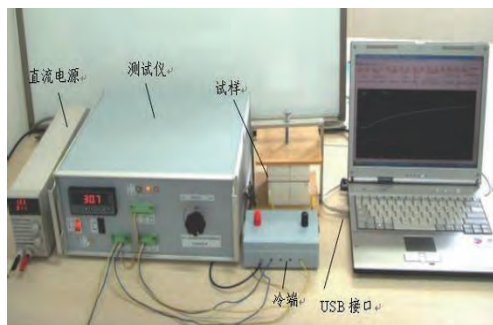


图2 平板法测试原理图

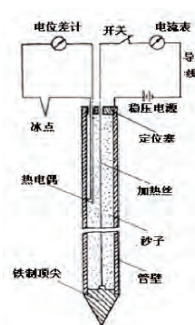


图3 探针法测试原理图

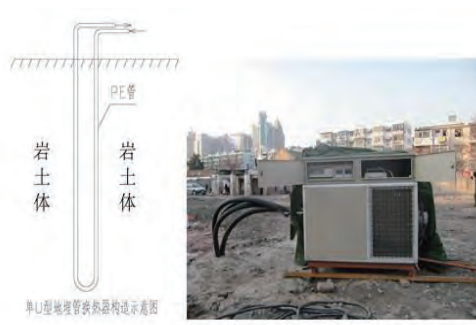


图4 原位热响应测试仪器外观图

理图。

1.1.3 现场探针法如图3所示,该方法主要是在待测介质中引入一个具有一定几何形状的热源,通过测量热源附近介质和热源表面温度随时间变化关系来计算岩土导热系数。该方法测试时间短且测试精度与稳态法相当^[10],具有制造成本低、仪器简单、测定时间短(一般不超过20分钟)等优点。此外,该方法一次测试可以同时获得三个物性参数:导热系数、导温系数和比热容。1992年,美国材料与试验协会利用探针法测定了土壤和软岩石导热系数的测试标准^[11];同济大学的张旭^[12]等人利用探针法研究了不同含水率、不同密度条件下的土壤及不同比例土沙混合物的导热系数的实验关联式。除此之外,吉林大学^[13]、中国矿业大学^[14]、西安交通大学^[15]、天津大学^[16]等高校均利用探针法进行了土壤导热系数等物性的测定。该方法的缺点是:探针长度仅有0.1~0.4 m,只能进行小范围土壤热物性测试。由此可见,无论是稳态热流法还是非稳态探针法,都存在着测试范围有限、无法衡量地下水流动的问题,其测试结果无法正确地反应实际地层的换热性能。

1.1.4 现场热响应测试法

该方法也称为实地热响应测试法,即要在埋设地埋管换热器的现场钻孔打井,其深度与实际井深一致。测试时,地埋管换热器和测试系统内

部的循环管道相连形成封闭环路,利用加热器或热泵向管路中的流体输入热量或冷量,当流体流经地下换热器时与地下岩土进行热交换,同时各种数据传感器测得流体入口、出口温度和流体流量等数据,最后利用传热模型可计算岩土的热物性参数。图4和图5分别为现场热响应测试仪器外观与系统原理图。

热响应测试主要分为三个步骤:岩土初始地温测定、热响应测试、数据处理。其中土壤初始温度测定具体又可分为无功循环法、布置传感器法和水温平衡法等。需要注意的是,土壤初温测定必须在钻孔完成72 h以上进行,以排除钻孔施工过程中对土壤初温分布的影响。

1983年,Mogensen P.^[17]首次提出将热响应实验引入到地源热泵设计中,利用常热流边界条件推测出岩土导热系数和钻孔热阻。基于该理论,瑞典吕勒奥理工大学^[18]也开展了地埋管热响应测试研究。同一期间,美国俄克拉荷马州立大学^[19]的建筑与环境热系统研究中心为代表的研究小组对地埋管地源热泵热响应试验进行了系统的研究。我国的山东建筑大学^[20]、华中科技大学、天津大学^[21]、扬州大学^[22]、北京工业大学^[23]、河北工业大学^[24]等相继开发了现场地下岩土热物性测试仪,北京华清集团先后研制了几种土壤热物性测试设备,并于2008年成功研制了一种冷、热响应测试

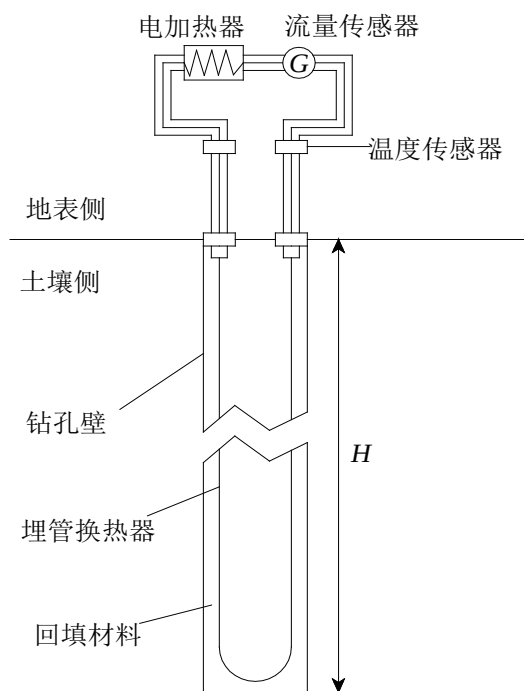


图5 实地热响应测试原理图

仪，为地源热泵的设计提供了更多的指导经验。

目前，通过现场热响应实验测试岩土热物理性质参数的技术已经推广到欧洲、亚洲、北美、南美、拉丁美洲和非洲等 20 多个国家。这些设备根据型号和功能的不同，可进行地热储存和提取时大地热物性参数的相关测试和分析，设备规格从手提箱到旅行车大小不等。从 2000 年开始，地层热物性测试也已经成为国际能源

机构的一个专题研究领域，并将研究重点定为大地原始温度测量、地下水的影响、随钻测量、自动分析软件和特殊能量体（如能量柱）的热响应测试等方面^[9]。

1.2 岩土热响应测试原理

目前常用热响应测试方法主要有恒定进水温度法和恒定热流法两种。由于《规定》推荐恒热流热响应测试方法，再加上国内外有丰富的经验可以

借鉴，因此恒热流法的应用更成熟，而恒定进水温度热响应测试方法因简单易行、工程操作便利等优点，也有一定的应用^[25]。

1.2.1 恒定热流法

该方法^[21]基于恒热流热源理论或圆柱热源理论，测试中保持加热功率恒定，根据测试得到的数据，基于传热反问题，利用线热源模型反演算可得到岩土综合体物性参数，但不直接提供单位埋深换热量，必须通过求得的土壤物性参数结合一定的传热模型模拟地下岩土以及地埋管回路短期、中期（一年）和长期的变化，并相应的采用设计规范推荐的软件计算得到单位埋深换热量。

1.2.2 恒定进水温度法

该方法采用空调机组和电加热器的共同作用通过 PID 控制为地埋管换热器提供恒定温度的热流载体，通过模拟热泵夏季排热工况或冬季取热工况而直接得到相应工况下地埋管换热器的换热量，这种方法的主要目的是确定“准稳态”下每米钻孔换热量，但目前没有确定的反演算法可以获得岩土体的导热系数，有报道指出^[21]：恒进水温度法下，埋管出口温度随时间逐渐增加，其对应的埋管放热率逐渐减小，并趋于一稳定值，但是稳定时间无法确定，这说明恒温法不满足恒热流边界条件，因此不能用线热源模型来处理恒热流实验数据，但这种说法目前有待商榷。

1.2.3 两种方法的比较

诸多学者对两种方法进行了对比研究。天津大学邓娜^[26]等分别利用恒温法和恒热流法进行热响应测试，结果表明：在排热工况和取热工况下，恒温法得到的单位孔深换热性能均高于恒热流法得到的数据且恒温法降低了计算误差，能更真实的反映地埋管换热性能。天津地热勘查设计研究院刘九龙^[27]等人利用恒热流法结合线热源模型和恒温法结合圆柱热源模型近似法进行了对比试验，

结果表明两者确定的导热系数基本一致，且制冷工况和制热工况参数差别不大。河北工业大学王华军^[24]等人开发了一种基于恒热流法的改进热响应试验装置，结果表明：与恒温法相比，恒热流测试法下的岩土导热系数偏低约 14.6%，同时给出了两种方法对比分析表（见表 1）。

表 1 恒温法与恒热流法对比分析^[24]

比较项目	土壤热响应实验装置	
	恒热流法	恒温法
测试工况	排热	排热 + 取热
水温范围	室温 ~40℃	5~40℃
工况调节性	一般	灵活
工况稳定性	一般	较好
稳定时间	较长	较短
测试精度	一般	较好
数据分析模型	线热源或圆柱热源	圆柱热源
对控制系统要求	一般	较高
装置成本	较低	较高

虽然诸多说法不一而足，但基本可以确定：恒定热流法更适用于土壤热物性参数测试，而恒定供水温度法则更适用于地管换热能力的测试。地埋管地源热泵系统实际运行中是热流（负荷）主导，而非循环流体温度，因此普遍认为恒热流法具有更高的适用性，本文后续的内容均基于恒定热流法。

1.3 热响应测试参数估算方法

1.3.1 直线斜率法

该方法主要基于无限长线热源模型^[28]，t 时刻循环介质的平均温度为：

$$T_f = T_0 + \frac{q_l}{4\pi\lambda_s} \ln(t) + q_l \left(\frac{1}{4\pi\lambda_s} \text{Ei} \left(\frac{r_b^2}{4\alpha_s t} \right) + R_b \right) \quad (1)$$

式中，T_f—地埋管供回水温度平均值，°C；T₀—未受扰动的岩土初始温度，K；λ_s—岩土平均导热系数，W/(m·K)；q_l—换热器单位孔深换热量，W/m；r_b—钻孔半径，m；α_s，岩土热扩散系数，m²/s；R_b—钻孔热阻，(K·m)/W；t—时间，s；。其中指数积分

$$\text{Ei}(z) = \int_{-\infty}^z \frac{e^u}{u} du + \gamma + \ln(-z) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z^n}{n!n} \quad (2)$$

欧拉常数 γ ≈ 0.577216。当 z ≥ 5 时，近似有

$$\text{Ei}(z) \approx \ln\left(\frac{1}{z}\right) - \gamma \quad (3)$$

以上近似公式的误差不大于 2%^[29]。

当时间足够长（α_st/r_b² ≥ 5）时，式（6）可写为线性形式，即：

$$T_f = k \ln t + m \quad (4)$$

$$k = \frac{q_l}{4\pi\lambda_s} \quad (5)$$

$$m = T_0 + q_l \left(R_b + \frac{1}{4\pi\lambda_s} \left(\ln \frac{4\alpha_s}{r_b^2} - \gamma \right) \right) \quad (6)$$

在温度 - 时间坐标轴上可利用最小二乘法拟合出式（4），从而可得直线斜率 k，进而得到土壤的平均导热系数、钻孔热阻等参数^[30]。需要注意的是，该方法必须对土壤的体积热容进行假设，且必须保持体积热容在 10⁶ 的量级上。

1.3.2 参数估计法

该方法利用参数估计法及最优化原理，通过不断调整传热模型中土壤的热物性参数值（土壤综合导热系数 λ_s、体积比热容 ρ_sc_s 及钻孔综合热阻 R_b），可基于线热源或柱热源模型解析解，找到由模型计算出的与实测的平均流体温度之间的误差最小值，此时对应的各物性值即为最终的土壤热物性参数优化值，其优化目标函数为：

$$F = \sum_{i=1}^n \left[(T_{f,cal})_i - (T_{f,exp})_i \right]^2 \quad (7)$$

式中, $(T_{f,cal})_i$ 为第 i 时刻由选定的传热模型计算出的埋管流体平均温度, $^{\circ}\text{C}$; $(T_{f,exp})_i$ 为第 i 时刻实际测量得到的埋管流体平均温度; n 为实验测试的数据组数。

该方法可以利用 MATLAB 或者 GenOpt (Generic Optimization Program) 软件实现。MATLAB 因其便捷性和可读性, 已被广泛应用于热响应测试参数估计。华中科技大学孟庆丰^[31]采用双参数估计法及 Nelder-Mead 算法在 Matlab 软件平台上编写了用于反演计算岩土热物性参数的程序, 并生成了独立的地源热泵岩土热物性分析软件 (GTA) 可用于实际工程测试数据处理计算; 贾捷^[32]利用 MATLAB 形成 GUI 图形用户界面, 并成功描述了天津某地的热响应测试过程。GenOpt 软件是由美国国家实验室研发的一款包

含多种优化算法的优化应用软件, 该软件在 Java 平台开发, 能够与基于文本输入输出的模拟仿真程序 (如 TRNSYS、EnergyPlus、Dymola 等) 相耦合, 使得成本等目标函数达到最优, 其可实现的算法有广义模式搜索算法、粒子群法、单纯形法、黄金分割法等, 或者用户在无需重新编译整个优化环境的情况下, 实现自定义算法^[33], 该方法也被 Zhang^[34]等人用于比较不同优化算法的差异。

综上所述, 两种方法均适用于热响应测试数据处理, 在工程上, 在仅需要得到岩土导热系数的场合, 可较多使用直线斜率法。

2 地埋管换热器传热理论与模型

常用的地埋管换热器传热模型有导热模型、热湿耦合模型和冻结相变模型, 如图 6 所示。由

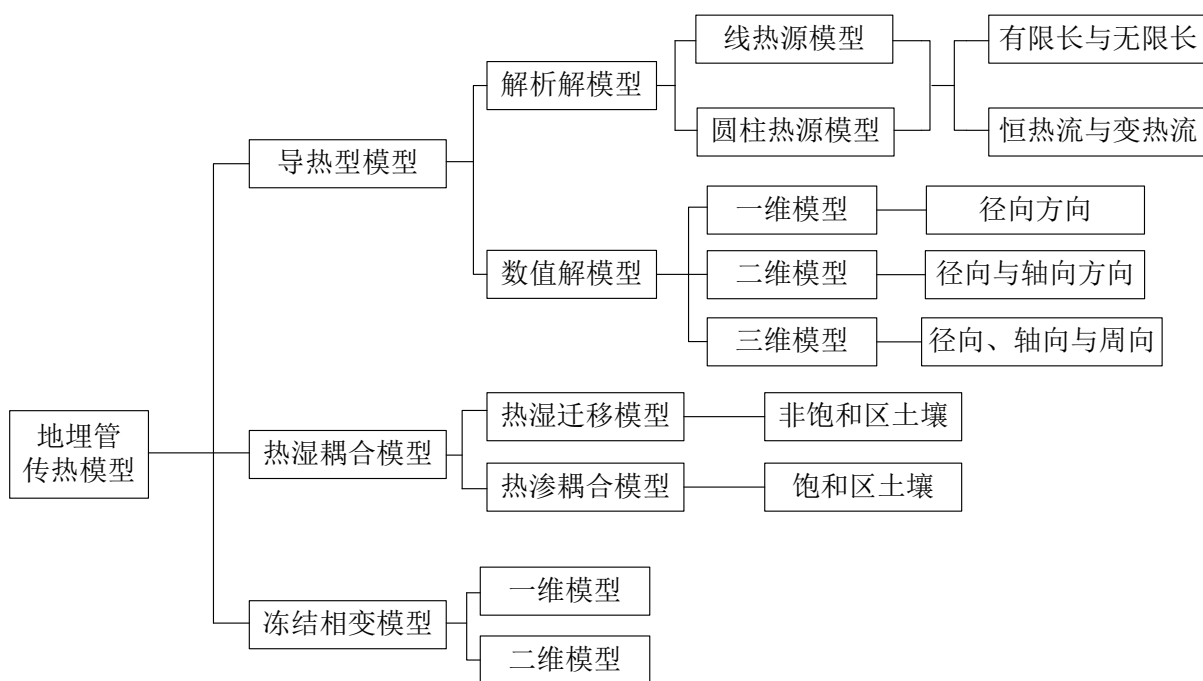


图 6 地埋管换热器传热模型分类图^[18]

于热响应测试假设钻孔内为稳态导热,且工程实践中常选用导热模型,故本文介绍的模型均为钻孔外导热模型。

2.1 解析解模型

现有的地埋管换热器与土壤耦合传热解析解模型以无限长线热源理论^[35]、IGSHPA模型^[36]和圆柱热源理论^[37]为代表,大部分导热模型都有如下假设^[38]:

- (1) 土壤区域为无限大或者半无限大,取决于是否考虑地面影响因素;
- (2) 土壤初始温度分布是均匀的,如果考虑地面条件,则可认为地面为恒定壁温边界条件;
- (3) 钻孔壁面为恒定热流或者恒定壁温边界条件,恒热流边界条件更适用;
- (4) 忽略土壤内部水的渗流影响;
- (5) 尽管土壤在深度方向非均质,但模型所求得的岩土导热系数均为岩土综合导热系数。

2.1.1 无限长线热源模型

该模型主要基于一维 Kelvin 线热源理论,又可分为 Ingersoll 线热源模型, Hart 和 Couvillison 线热源模型,相比于 Ingersoll 模型, Hart 和 Couvillison 提出了远端半径的概念,即将整个土壤区域划分为受影响区域和未受影响区域。所谓远端半径是指在线热源的热作用下钻孔周围土壤温度受影响区域的半径。

2.1.2 IGSHPA 模型

该方法由美国俄克拉荷马州立大学提议,后被国际地源热泵协会(IGSHPA)和美国供热制冷和空调工程师协会(ASHRAE)共同推荐,是国际比较流行的埋管设计计算模型,具体步骤如下:

对 U 形管采用当量直径法将埋管确定钻孔传热热阻、管道热阻,利用 Kusuda^[39] 分析解方程来估算土壤温度,并确定最高与最低土壤温度;

进一步计算热泵的供热与制冷部分运转系数,就可以得到出地埋管换热器的尺寸。

该方法主要是以热阻概念为基础的半经验性的设计计算方法,主要用来根据冷、热负荷估算地埋管换热器所需埋管的长度^[36],仍是基于 Kelvin 线热源理论,以最冷月和最热月的负荷为计算的依据,采用温频法(Bin 法)计算季节性能参数与系统能耗。

2.1.3 圆柱热源模型

Kavanaugh^[40]利用圆柱热源模型求解了地埋管换热器系统地下温度分布。该模型对 U 形管考虑了热流密度不均匀性的修正、埋管两支管间热短路的修正及管内的对流换热热阻,因而比线源模型精确度更高。

对于地埋管换热器传热模型,前人也进行了广泛的研究。Chiasson^[41]给出了地埋管传热模型的研究进展;山东建筑大学的于明志^[28]等提出一种计算深层物性参数的传热分析模型;天津大学的赵军^[42]等结合参数估计法提出了一种简化的圆柱热源模型;Bandos, T.V.^[43]等提出了一种无量纲散热修正方法,可应用于线热源或柱热源模型;重庆大学的黄光勤^[44]等提出瞬态热流岩土热响应测试权重分析法,最优线热源权重值为 0.3;Li^[38]等总结了不同时间和空间尺度下地下埋管换热器传热模型的差别,Zhao^[45]等总结了不同埋管换热器强化传热模型。

线热源与柱热源的主要区别为:①几何模型不同,前者近似为无限长线热源,忽略了钻孔内回填材料的热容,后者近似为无限长柱热源,为解决钻孔内外具有不同材料的传热问题提供了很好的方法;②温度响应不同,对于 $Fo > 10$ 的情况下,两者拟合情况较好,这也是工程测试(一般为 50h)线热源可以满足计算精度需求的原因。

2.2 数值解模型

2.2.1 Eskilson 传热模型

无限长线热源模型由于忽略了地面的边界影响及钻孔的有限深度, 当时间趋于无穷大时, 温度场不会稳定, 且实际温度场会越来越偏离无限长线热源模型。

Eskilson^[46] 等基于有限长线热源的数值解, 利用无量纲温度反映因子 g - 函数来模拟多孔地埋管换热器的温度场。该模型将热阻分为 3 个部分: 两支管之间的热阻, 两个支管到钻孔壁之间的热阻, 3 者之和构成了钻孔总热阻, 模型可以计算钻孔间的影响们也可计算不同的建筑负荷。此模型存在最小时间步长的限值, 若时间过短 (1~2 h), 应考虑钻孔内非稳态效应。

Zeng^[47] 等利用虚拟热源法和格林函数法, 在 Eskilson 基础上得到 “ g - 函数” 的解析表达式, 使得 “ g - 函数” 可以灵活的应用于地源热泵系统的设计模拟中。Lamarche^[48] 提出新的 “ g - 函数” 的解析形式, 并改进了计算精度和速度。在此基础上湖南大学杜次元等^[49] 提出了新的钻孔中点和平均 “ g - 函数” 解析解形式, 显著的提高了计算速度。目前该模型已经被用于地源热泵设计软件 GLHEPRO 及地热之星中。

2.2.2 Hellstrom 传热模型

该模型建立了用于模拟季节性热能储存的地埋管储热模型^[50, 51], 将钻孔区域分为单个钻孔区域和多个钻孔组合区域 (全局区域)。该模型通过三种温差的叠加得到土壤初始温度随时间的变化: ①全局温差, 即孔群与周围大地热传导而形成的温差; ②局部瞬态温差, 即热储存体容积附近的温差; ③稳态温差, 即来自局部稳定通量部分的温差。模型采用解析法和数值法叠加的混合解法, 对全局温差采用了径向与轴向的二维有限差分法, 对局部温差采用了一维径向有限差分法的数值解法, 对空间叠加

则采用了解析解。该模型已经被 Thornton^[52] 等人应用于瞬时模拟软件 TRNSYS 中的地热储能模块。

2.2.3 其他传热模型

除了上述两种主要模型外, 还包括 Mei 和 Emerson^[53] 提出的用于水平埋管传热计算的数值模型, Yavuzturk^[54] 提出的用于短时间步长模拟的二维瞬态传热模型, Lei T K^[55] 采用有限差分法及双柱坐标系提出的二维传热模型, Rottmdyer^[56] 等提出的单根垂直 U 形管在无限大介质中的二维瞬态传热模型等等。此外, 除了上述提到的软件外, 还有基于解析解和数值解的耦合模型建立的 FEFLOW 软件, 该软件中设计钻孔内为准稳态解析模型, 钻孔外为有限单元法建立的数值模型。

3 热响应测试辨识精度影响研究

热响应测试关键参数对实验结果辨识精度有较大的影响, 主要有: 循环流量、加热功率、时间类 (测试持续时间、测试间隔时间、初始舍弃时间)、几何尺寸类 (钻孔直径、管脚间距) 等等, 本文综合现有研究现状, 对不同参数对结果辨识精度的影响进行了分析。

3.1 循环流量

《规定》要求地埋管换热器流速不应低于 0.2 m/s, 对于单 U 形管, 推荐流速为 0.6 m/s; 对于双 U 形管, 推荐流速为 0.4m/s。循环流量增加, 管内湍流强度增加, 可以使得换热器单位井深换热量增加, 但是增加速率会随着流量的增加而减慢, 相应的会使钻孔热阻略微下降, 其整体作用使辨识得到的综合导热系数略有增加或者在小范围内波动, 但进一步增加流量会使得系统阻力增加。综上所述, 流量增加对整体换热强度的

提升是有限的,在实际运行中,应当选择合适的循环流量使得系统性能最佳。乔卫来^[57]、张金荣^[58]、周亚素^[59]等对不同流量下的热响应测试进行实验研究发现,在管内紊流状态下,循环流量增大对岩土导热系数的改变并不明显,与本文结论一致。

3.2 加热功率

在进行实地热响应测试时,《规定》要求必须保持加热器输入功率恒定,但并没有规定功率的大小。美国采暖制冷与空调工程师学会(ASHRAE)推荐的加热功率应为每米钻孔50~80 W。对于加热功率对岩土导热系数辨识精度,业内说法不一而足。蔡颖玲^[60,61]、史旭东^[62]等认为较高的加热功率使得辨识得到的岩土导热系数增加;周亚素^[59]等认为若土壤中存在渗流,那么加热功率增加会增强水分对流换热,使得辨识得到的岩土导热系数增加;王沅浩^[63]等采用三种模型计算了不同加热功率下的岩土导热系数,表明加热功率对岩土导热系数辨识结果没有影响;王勇^[64]提出土壤层换热理论,将土壤由浅至深分为饱和换热层、换热层和未换热层,认为加热功率的增加会使得换热层体积减小,导致土壤热阻增加,换热性能变差,辨识得到的岩土导热系数减小。综上,加热功率对土壤换热性能的影响原因较多,应针对不同地层,考虑土壤构造、地下水渗流等因素综合分析,以确定合适的加热功率。

3.3 时间类

3.3.1 测试持续时间

《规定》要求持续加热时间不低于48 h,美国采暖制冷与空调工程师学会(ASHRAE)推荐的测试时间为36~48 h。Austin^[65]和提出的最小测试时间至少应为50 h的结论。Gehlin^[66]等推荐

测试时间为60h。Witte等出于实验目的测试时间长达250h,而其商业测试时间为50h^[67]。王沅浩^[63]、胡平放^[68]等认为测试持续时间应当保持在70 h以上。虽然诸多学者对该参数推荐值不同,但必须满足的条件是:各参数在该时间范围后应基本保持为直线且波动范围小于 $\pm 0.1\%$,否则应按实际情况调整测试时间。

3.3.2 初始舍弃时间

根据线热源理论的假设:1) $\alpha_{st}/r_{2b} > 5(\alpha_s$ 为岩土热扩散率, r_b 为钻孔半径);2) 钻孔内为稳态导热。期初的测试时间显然不满足该假设,因此必须舍弃,《规定》要求地埋管换热器进出口温度至少在12h内波动小于 1°C 且平均温度大于初始地温 5°C ,才认为是达到热平衡。王沅浩^[63]等建议舍弃前40 h的测试数据;杨卫波^[22]等认为应舍弃测试初期10h的测试数据;刘春雷^[69]提出导热系数值与舍弃时间(1~12 h)成正相关关系且舍弃时间大于12 h,岩土导热系数变化趋于稳定。初始舍弃时间可以根据土工测试结果进行估算,只需满足 $Fo > 20$ 且 α_s 应保持在 10^6 的数量级即可,但对于测试地点土壤分布未知,应增加舍弃时间并更多的延长测试时间。

3.3.3 测试间隔时间

测试间隔时间主要指连续进行两次热响应测试的间隔时间,刘春雷^[69]等提出为减少试验误差,两次热响应试验测试的时间间隔不应少于10 d;顾湘^[70]等给出热响应试验孔成孔后的静置时间建议值和岩土初始平均温度确定方法,为两次不同加热功率热响应试验间隔时间确定提供了依据。

综上所述,时间对热响应测试精度影响较大,在实际测试中,应结合具体情况进行时间优化,确保较短时间内获得准确、有效的土壤热物性参数。

3.4 几何尺寸类

3.4.1 钻孔半径

钻孔半径对热响应测试的影响主要体现于对传热模型的影响, 由于热响应测试普遍采用的线热源理论要求钻孔内为稳态换热, 随着钻孔半径增大, 地埋管换热器会更多的偏离线热源模型且钻孔内达稳态时间会延长。蔡颖玲^[60]等利用线热源研究了不同钻孔半径下辨识得到的岩土导热系数, 分析得随着钻孔半径增加, 在相同回填材料下的岩土导热系数逐渐增大且随着回填材料导热系数的增加, 岩土导热系数增加的更多; 而王泮浩^[63]等得出不同结论: 利用线热源模型辨识得到的岩土导热系数不随钻孔半径改变, 而圆柱热源模型下辨识得到的岩土导热系数随钻孔半径增大而减小, 分析是线源模型假定的热流是施加在 $r=0$ 处, 而柱热源模型假定的热流是施加在 $r=r_b$ 处。除此之外, 刘洋、王海标^[71]等也对钻孔半径的影响进行了分析。

3.4.2 支管间距

支管间距主要影响地埋管换热器两支管间的热短路现象, 在进行现场施工时, 应尽可能保证埋管间距, 以免影响换热器有效换热量。王军刚^[72]通过实验研究发现埋管间距增大使得钻孔总热阻增加, 辨识得到的岩土导热系数在较小反之则增大, 支管间距应当保持在 6-10 cm 之间。

综上所述, 几何尺寸对热响应测试结果也有较大影响, 因此在地埋管设计和施工过程中, 必须保持几何比例对应、支管间距合理, 否则会使得辨识得到的岩土导热系数存在较大偏差, 进而影响地埋管换热器经济高效运行。

3.5 其它关键参数

除了上述几项主要参数外, 其他参数还包括土壤初始温度^[30, 73, 74]、加热器电源质量(电压波动^[44, 75]或断电影响^[73, 76])、物性类(土壤比热容、回填材料^[60]及 U 形管管材)等, 其参数影响

由高至地排序为加热功率、电源质量、时间类、土壤初始温度、几何尺寸类、物性类、循环流量, 除此之外还包括地下水渗流影响, 由于各种参数相互联系共同作用, 因此在实际测试过程中应综合考量, 使得参数匹配更接近计算模型, 此外还应选择精度等级较高的测量装置, 减小系统误差及测量误差, 提高实验的精准度。

结论与展望

对岩土热响应测试相关文献进行了综述; 依托《地源热泵系统工程技术规范(2009 年版)》, 从测试原理、测试方法、传热模型、辨识精度影响几个方面进行了总结; 指出了热响应测试目前存在的问题和研究不足。

相比于其他岩土热物性测试方法, 热响应测试是最为可靠而全面的探知地下土壤物性的手段, 线热源和柱热源模型计算相对简单, 能满足工程需要; 数值模型弥补了两种模型的缺点, 理论计算更为精确, 但是计算复杂, 不适合工程应用。热响应测试辨识精度受到多种因素影响, 目前研究较多的是循环流量、加热功率、时间类及几何尺寸等因素影响, 多种因素交错影响, 业内分析也不一而足, 因此急需综合性的参数确定机制或评价方法来解决此问题。近年来, 关于地源热泵热响应测试出现了一些新的研究思路: 如将水文资源方向的抽水回灌实验研究用于热响应测试, 利用变热流法观测地埋管换热器换热能力等。此外, 孔群热响应测试也是今后的发展方向。在今后的研究中, 应更多考虑地层分布, 地下水渗流等实际条件对热响应测试的干扰, 探索更具普适性的传热模型, 以利更好地利用地埋管换热器, 最终实现高效开发利用浅层地热能的目的。

参考文献略

环保部：2017 年 28 城市重点实施煤改清洁能源

ENVIRONMENTAL PROTECTION: DEPARTMENT 28 CITIES IMPLEMENTING REPLACING COAL WITH CLEAN ENERGY IN 2017

环保部印发了《京津冀及周边地区 2017 年大气污染防治工作方案的通知》，《方案》明确 2017 年在北京市，天津市，河北省石家庄、唐山、廊坊、保定、沧州、衡水、邢台、邯郸，山西省太原、阳泉、长治、晋城，山东省济南、淄博、济宁、德州、聊城、滨州、菏泽，河南省郑州、开封、安阳、鹤壁、新乡、焦作、濮阳 28 城市实施冬季清洁取暖重点工程。

为确保完成《大气污染防治行动计划》确定的 2017 年各项目标任务，切实改善京津冀及周边地区环境空气质量，进一步加大京津冀大气污染传输通道治理力度，制定 2017 年工作方案。

一、实施范围

京津冀大气污染传输通道包括北京市，天津市，河北省石家庄、唐山、

廊坊、保定、沧州、衡水、邢台、邯郸市，山西省太原、阳泉、长治、晋城市，山东省济南、淄博、济宁、德州、聊城、滨州、菏泽市，河南省郑州、开封、安阳、鹤壁、新乡、焦作、濮阳市（以下简称“2+26”城市）。

二、主要任务

以改善区域环境空气质量为核心，以减少重污染天气为重点，多措并举强化冬季大气污染防治，全面降低区域污染排放负荷。

（一）产业结构调整要取得实质性进展。

1. 加大化解过剩产能力度。
2. 10 月底前完成违法“小散乱污”企业取缔工作。（略）

（二）全面推进冬季清洁取暖。

3. 实施冬季清洁取暖重点工程。将“2+26”城市列为北方地区冬季清



洁取暖规划首批实施范围。全面加强城中村、城乡结合部和农村地区散煤治理，北京、天津、廊坊、保定市 10 月底前完成“禁煤区”建设任务，并进一步扩大实施范围，实现冬季清洁取暖。传输通道其他城市于 10 月底前，按照宜气则气、宜电则电的原则，每个城市完成 5 万 -10 万户以气代煤或以电代煤工程。加大工业低品位余热、地热能等利用。

4.10 月底前完成小燃煤锅炉“清零”工作。10 月底前，北京、天津、石家庄、廊坊、保定、济南、郑州行政区域内基本淘汰 10 蒸吨及以下燃煤锅炉，以及茶炉大灶、经营性小煤炉。其他城市建成区及县城全面淘汰 10 蒸吨及以下燃煤锅炉。燃煤窑炉加快电炉、气炉改造进度。

5.“2+26”城市实现煤炭消费总量负增长。新建用煤项目实行煤炭减量替代。以电、天然气等清洁能源替代的散煤量，可纳入新上热电联产项目煤炭减量平衡方案。20 万人口以上县城基本实现集中供热或清洁能源供热全覆盖。新增居民建筑采暖要以电力、天然气、地热能、空气能等采暖方式为主，不得配套建设燃煤锅炉。

（三）加强工业大气污染综合治理。

6. 实施特别排放限值。
7. 全面推进排污许可管理。
8. 实施挥发性有机物 (VOCS) 综合治理。

（四）实施工业企业采暖季错峰生产。

9. 水泥、铸造等行业继续全面实施错峰生产。
10. 重点城市加大钢铁企业限产力度。



11. 实施电解铝、化工类企业生产调控。

(五) 严格控制机动车排放。

12. 天津港不再接收公路运输煤炭。

13. 全面加强机动车排污监控能力。

14. 协同加强柴油车管控。

15. 加强油品质量和车用尿素监督管理。

(六) 提高城市管理水平。

16. 严格控制扬尘排放。

17. 全面落实禁烧限放要求。

(七) 强化重污染天气应对。

18. 提高重污染天气预测预报能力。

19. 加快重污染天气应急预案修订工作。(略)

三、保障措施

(一) 分解落实任务。以北京、天津、河北、山西、山东、河南省(市)政府为责任主体,京津冀及周边地区大气污染防治协作小组协调推进,分解任务,落实责任。各有关部门严格按照职责分工落实任务要求。环境保护部每季度调度各地区和相关单位工作任务落实情况,会同发展改革委、财政部、国家能源局上报国务院,采暖季每月调度。

(二) 完善经济政策。加大中央大气污染防治专项资金支持力度,优化使用方式,向任务量较大的省份和城市倾斜。相关地方各级政府全面加大本级大气污染防治资金支持力度,重点用于燃煤锅炉替代、散煤治理、高排放车淘汰、工业污染治理等领域。各地根据本地区实际,研究对化工及汽车、集装箱、家具制造等工业涂装类VOCs排放征收排污费。

出台有利于清洁取暖的经济政策机制。出台一揽子经济激励政策,支持“2+26”城市冬季清洁取暖工作。将民生供暖电能替代、燃气替代项目列入中央基建投资计划,优先支持清洁能源替代项目使用中央基建投资,给予替代项目部分设

备投资支持。将电供暖电量统一打包通过电力交易平台,向低谷时段发电企业直接招标。居民“煤改气”气价按居民用气定价。发挥政策性和开发性金融机构引导作用,鼓励其加大对京津冀及周边地区产业升级、冬季清洁取暖和大气污染治理等领域的信贷投放,加大对节能环保项目的资金支持力度。

(三) 加大气源、电源保障力度。加大天然气保供力度,中石油于10月底前确保完成陕京四线建设,中石油、中石化、中海油等确保给予区域内城市提供持续稳定气源保障。

国家电网公司与相关城市统筹“煤改电”工程的规划和实施,制定工作方案,相关地方省级、市级政府对配套电网工程给予补贴,承担配套输变电工程的征地拆迁前期工作和费用,统筹协调“煤改气”“煤改电”用地指标。电网公司按照工业企业错峰生产要求,严格落实电力供应。

(四) 建立舆论引导工作协调机制。增强大气环境管理决策的科技支撑,加大科研经费支持力度,加快国家大气污染健康综合监测网络建设与研究,充分利用研究成果及时准确为群众解疑释惑。

(五) 严格考核问责。环境保护部对“2+26”城市空气质量改善情况实施按月排名,按季度考核,北京、天津、廊坊、保定市以区县为单位参与排名,考核和排名结果交由干部主管部门,作为对领导班子和领导干部综合考核评价的重要依据。

环境保护部等有关部门要强化监管,组织开展采暖季大气污染防治专项执法行动,按季度调度各地“小散乱污”企业整治情况,公布一批不能达标的企业名单,依法实施挂牌督办、限期整改,涉及环境犯罪的,依法移送公安机关。

环境保护部发展改革委
财政部能源局

住建部印发建筑节能与绿色建筑发展“十三五”规划

ENVIRONMENTAL PROTECTION DEPARTMENT 28 CITIES IMPLEMENTING REPLACING COAL WITH CLEAN ENERGY IN 2017

为推进建筑节能和绿色建筑持续健康发展，建设节能低碳、绿色生态、集约高效的建筑用能体系，促进节能减排和改善气候变化工作有序进行，住房和城乡建设部日前印发《建筑节能与绿色建筑发展“十三五”规划》（以下简称《规划》），明确到 2020 年，城镇可再生能源替代民用建筑常规能源消耗比重超过 6%。经济发达地区及重点发展区域农村建筑节能取得突破，采用节能措施比例超过 10%。

到 2020 年，城镇新建建筑能效水平比 2015 年提升 20%，城镇新建建筑中绿色建筑面积比重超过 50%，完成既有居住建筑节能改造面积 5 亿平方米以上，公共建筑节能改造 1 亿平方米。建设超低能耗、近零能耗建筑示范项目 1000 万平方米以上。

《规划》回顾了“十二五”时期全国共确定 46 个可再生能源建筑应用示范市、100 个示范县和 8 个太阳能综合利用省级示范，实施 398 个太阳能光电建筑应用示范项目，装机容量 683 兆瓦。截至 2015 年底，全国城镇太阳能光热应用面积超过 30 亿平方米，浅层地能应用面积超过 5 亿平方米，可再生能源替代民用建筑常规能源消耗比重超

过 4%。

在绿色建筑发展方面，全国省会以上城市推广绿色建筑面积超过 10 亿平方米，累计有 4071 个项目获得绿色建筑评价标识，建筑面积超过 4.7 亿平方米。在既有居住建筑节能改造方面，《规划》指出，“十二五”期间北方采暖地区共计完成既有居住建筑供热计量及节能改造面积 9.9 亿平方米，是国务院下达任务目标的 1.4 倍，节能改造惠及超过 1500 万户居民，年可节约 650 万吨标准煤。另外，城镇新建建筑执行节能强制性标准比例基本达到 100%，累计增加节能建筑面积 70 亿平方米，节能建筑占城镇民用建筑面积比重超过 40%。



《规划》要求，十三五期间扩大可再生能源建筑应用规模，引导各地做好可再生能源资源条件勘察和建筑利用条件调查，编制可再生能源建筑应用规划。研究建立新建建筑工程可再生能源应用专项论证制度，并加大太阳能光热系统在城市中低层住宅及酒店、学校等有稳定热水需求的公共建筑中的推广力度。

另外，要有效实施可再生能源清洁供暖工程，利用太阳能、空气热能、地热能等解决建筑供暖需求。在末端用能负荷满足要求的情况下，因地制宜建设区域可再生能源站。鼓励在具备条件的建筑工程中应用太阳能光伏系统。做好“余热暖民”工程。积极拓展可再生能源在建筑领域的应用形式，推广高效空气源热泵技术及产品。

在浅层地热能建筑应用方面，《规划》强调，要

因地制宜推广使用各类热泵系统，满足建筑采暖制冷及生活热水需求。提高浅层地能设计和运营水平，充分考虑应用资源条件和浅层地能应用的冬夏平衡，合理匹配机组。鼓励以能源托管或合同能源管理等方式管理运营能源站，提高运行效率。全国城镇新增浅层地热能建筑应用面积2亿平方米以上。

在空气热能建筑应用方面，在条件适宜地区积极推广空气热能建筑应用。建立空气源热泵系统评价机制，引导空气源热泵企业加强研发，解决设备产品噪音、结霜除霜、低温运行低效等问题。

《规划》规定，十三五期间要逐步修订现行太阳能、地源热泵系统工程相关技术规范；制（修）订《民用建筑太阳能热水系统应用技术规范》《太阳能供热采暖工程技术规范》《民用建筑太阳能光伏系统应用技术规范》。

雄县推进地热循环利用 行业高增长可期

THE XIONGXIAN COUNTY PROMOTES GEOTHERMAL CYCLE UTILIZATION HIGH GROWTH IN THE INDUSTRY CAN BE EXPECTED

6月6日，河北省省长许勤会见美国加州州长杰瑞·布朗，重点就清洁能源利用进行了深入探讨。他说，近年来，河北把开发利用清洁能源作为转方式、调结构、治污染的内在要求，积极开发利用风能、太阳能、地热能等清洁能源，在张家口建设可再生能源示范区，在雄县推进地热资源循环利用，取得阶段性成效。

地热能是一种现实可行且具有竞争力的清洁能源，开发前景广阔。其主要优势包括：资源储量大，分布地域广；清洁环保，是绿色低碳、循环利用的可再生能源。我国地热资源丰富，开发潜力巨大，根据“十三五”规划目标，2020年我国地热能年利用量将达到7000万吨标准煤，其中京津冀地区地热能年利用量达到约2000万吨标准煤。《河北省城镇供热十三五规划》到十三五末全省县城及以上城市集中供热和清洁能源供热基本实现全覆盖，清洁供热率达到95%以上，基本形

成以燃煤、燃气热电联产、工业余热、地热能为基础热源的供热方式；地热能供暖被提升到基础热源地位。

河北雄县位于华北盆地，热储渗透性好，目前已在当地建成换热站33座，基本实现地热集中供暖全覆盖。2017年计划新增清洁能源供暖面积1000万平方米，总投资额预计可达500亿元规模，其中包括勘探、开采、设备投资等。

从全国范围内看，根据地热能开发利用十三五规划初步估算，到2020年我国地热能利用量相比2015年增长2.5倍，将带动投资约2600亿元。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。在《地热开发利用“十三五”规划》的指引下，地热开发有望取得爆发性高增长。

选自《第一财经》

合理开发地热能是节能减排的有效手段

REASONABLE DEVELOPMENT OF GROUND SOURCE ENERGY IS AN EFFECTIVE METHOD FOR ENERGY CONSERVATION AND EMISSIONS REDUCTION

作者：王秉忱（国务院资深参事）

中国地热产业与地源热泵技术交流大会选择在石家庄市举办，是希望各位代表能够更深刻地体会到国家发展京津冀一体化、治理雾霾的必要性与迫切性。国内外实践已经充分证明：利用地源热泵技术，合理开发地热能是有效的节能减排手段。近年来，以京津冀为首的多个城市连续多次发布雾霾红色预警，让广大人民群众深感我们赖以生存的环境正在不断地恶化。人们不禁要问，在当今各级政府加强治理、实行部分工厂停工、建筑工地停止作业、汽车单双号限行等多项措施下，为什么雾霾还如此严重？

这次大会选择在石家庄召开还有另外一个原因，多年前我曾与原河北省宋恩华副省长共同策划在石家庄西山宾馆举办“浅层地热能开发利用技术交流大会”，取得了一定效果。今天出席大会的有不少河北省有关领导，充分说明了河北省政府对此事的关注；其次，雄县距石家庄不远，国家能源局认可、由中石化集团研发与总结的开发地热能雄县模式值得借鉴；第三，任丘油田水电公司陈国富高级工程师近年来与北京创利思源公司张立英总经理等人合作，在河北黄骅等地企业的支持下，进行长时间地热流体回灌试验，并取得了突破性成功。他们在黄骅试验区采用“对井单元体大流量循环开采配套技术”，对孔隙型砂岩热储层做了两个采暖

季的试验，历时 160 天，累计回灌量 66.7 万立方，创造了世界奇迹！黄骅试验的成功，预示我国地热能大规模可持续发展的希望，也引起河北省政府的重视。目前现场仍在继续进行后续工作，已将 2017 年热水回灌试验推广到河北省其他地区，并拟推向全国。

在京津冀一体化背景下，为落实习近平总书记提出的重大战略部署，解决京津冀三地面临的严重空气污染问题，地热产业有了更大的发展机遇。到 2020 年，三地的供暖和制冷面积将累计达到 4.4 亿平米，任务艰巨！

由于严重的雾霾目前仍得不到彻底地解决，人民群众意见很大，国际影响也不好，有关各地政府部门也急需找到解决问题的对策。地热能进一步合理开发利用被提到议事日程，直接推动了地热产业的发展 and 地源热泵技术的推广应用。近年来，深、浅地热能开发利用形势发生了巨大的变化，如：

1、2014 年，为进一步推动地源热泵技术推广，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《节能减排补贴资金管理暂行办法》等政策性文件，鼓励采取节能减排措施，促进行业发展。

2、2015 年 10 月 7 日，原国防科工委主任、

中国工程院院士丁衡高上将，基于对北京恒有源集团研发的“浅层地热单井循环换热地热能采集技术”的长期跟踪和深入了解，给国务院总理李克强同志写信，提出“关于推荐浅层地热能作为供暖替代能源的有关建议”，具体建议内容如下：

政府应首选或强制推行浅层地热能作为供暖替代能源，不仅要从小角度考虑，还要上升到国家能源战略和生态文明高度看待；应以能源安全、原创技术、对国际低碳环保的贡献来审视和综合评价，并且协调制定出强制推广该技术的相关政策；

规范地热能供暖动力电的价格。浅层地热能作为建筑物无燃烧供暖的地源热泵环境系统的动力电价，是供暖成本的核心，规范地热能供暖动力电的价格（不高于居民用电价格）是该技术可持续推广的关键；

进一步加快落实，国家发改委对此项技术进行调研后，在2013年向丁衡高和王岐山同志呈报的《国家发展改革委关于加快推广单井循环换热地热能系统技术的报告》中要求采取的五项措施：①加大定位力度；②推动产业发展；③实施激励改革；④夯实推广基础；⑤鼓励地方推广。

这三点建议的力度非常之大。这项技术的相关内容将在这次会议上由武强院士和徐生恒总裁的学术报告加以介绍。

李克强总理对此建议高度重视，10月10日，他在丁衡高同志的建议上批示：“请肖捷同志（总理办公厅主任，现已调任国家财政部长）阅处”，肖捷主任10月12日批示：“转请发改委会同国土资源部、环境保护部、住房和城乡建设部、能源局研究，提出意见”。

有关各部委立即行动，同时我也以国务院资深参事的身份给国家发改委徐绍史主任、国土资源部姜大明部长和汪民副部长、环保部陈吉宁部长和住建部陈政高部长写信，表示完全赞成丁衡高主任的建议，请几位领导同志予以高度关注并加以落实。

姜大明部长亲自给我写了回信。国家发改委综合各有关部委意见，在组织专家讨论与调研的基础上，于2015年12月31日向李克强总理呈报了《国家发展改革委关于我国浅层地热能开发利用有关情况的报告》，明确提出：“应尽快完善支持改革和规范要求，加快推广地源热泵开发利用浅层地能，为建筑提供节能高效的热冷一体化用能服务，有效减少燃煤消耗”的结论性意见。李克强总理1月6日在此报告上批示：“请将有关情况告衡高同志。”

最近，在2017年2月，由国家发改委环境资源司蒋靖浩处长主持召开会议征求水利部水资源司郭孟卓司长和毕守海处长等领导同志对丁衡高主任的3点建议和国家发改委上述报告的意见和建议，我也被邀请参加了征求意见会。据此，国家发展改革委即将出台有关这个问题的正式文件。

恒有源科技发展集团在2016年1月25日向丁主任呈报了“关于在北京首选和强制推广浅层地热能作为供暖替代能源，走出治雾霾新路子”的报告，丁主任当天即将此报告批转给北京市委书记郭金龙同志请他关注此事，郭金龙书记很重视，很快批示给时任北京市长的王安顺同志落实（我参加了北京市政府组织的专家研讨会）。

3、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，地热能可替代标准煤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、发展规划和地方标准，这将大大推进中国地热产业发展的科学化和规范化。

各位参会同志会收到由恒有源集团在香港编辑出版发行的中英双语刊物《中国地能》杂志最

近三期——15 期和 16 ~ 17 合刊共两本刊物。在 16 ~ 17 期上发表的“中国地热产业‘十二五’期间发展现状研究”和在 15 期上发表的“‘十三五’可再生能源发展展望”这两篇文章，可供大家在讨论我国地热产业发展问题时参考。

4、2016 年 1 月，由我们两个单位主办了在江苏省苏州市召开的“浅层地热能开发和地源热泵技术交流大会”，邀请了不少专家学者和业界朋友参加，中国科学院曹耀峰院士、中国工程院武强院士和中国科学院汪集旸院士等人均在会上做了重要的学术报告。原任中石化集团副总经理的曹耀峰院士，现任国家能源中心主任，两次邀请我参加有关中国地热产业发展的重要会议：一次是在 2016 年 6 月召开的“中国地热产业规划和布局战略研究(中国工程院重点咨询项目)的启动会”，有 20 多位院士参加，武强院士也参加了；另一次是在不久前，2016 年 10 月召开的“中国工程科技论坛暨 2016

中国地热国际论坛”，对中国地热产业的规划、布局、技术、改革等一系列问题进行研讨，我感到获益匪浅！故确定这次石家庄会议的主题：把中国地热产业的发展问题放在首要位置。曹院士在会上作这方面的学术报告，可以起到重要的引领作用。本次会议多吉院士、汪集旸院士因公务繁忙不能前来，会上中国科学院何满潮院士将针对矿井地热开发利用问题作重要学术报告。

由上述可见，在国务院领导同志和国家发改委及其国家能源局、国土资源部、水利部、住建部和环保部及其他有关部门的密切关注下，为尽快解决我国严重的雾霾问题，即将迎来地热资源开发利用和地热产业发展的大好形势，殷切希望参会的各位同志和全国地热界同仁继续努力奋斗，创造地热事业发展的更好业绩！

选自《地热能》——“2017 中国地热产业与地源热泵技术交流大会”上的讲话



地热规划拉开资源能源化利用大幕

GEOHERMAL ENERGY PLANNING STARTING THE ENERGY UTILIZATION OF RESOURCES

作者：罗佐县（中国石化经济技术研究院）

今年年初，发改委、能源局和国土资源部联合发布《地热能开发利用“十三五”规划》（简称《规划》），对我国地热资源基础、发展现状以及“十三五”期间的发展目标及保障措施做了系统阐述。

这是我国有关地热资源开发利用的非常重要的一部高规格规划文件，在我国地热发展史上或将起到非常重要的作用。《规划》的最大特点是突出地热资源开发的能源化利用，处处体现时代特色与发展要求。

发展地热供暖和发电

我国是地热资源利用大国，地热直接利用量居全球之首。据 2014 年数据显示，在目前的地热开发利用构成中，地源热泵技术利用方式大约占到 58%，供暖占到 19%，温泉洗浴占到 18%。2014 年供暖利用方式利用比例首次反超温泉洗浴方式 1 个百分点，标志着我国地热资源能源化利用跨出一大步。

在当前绿色发展潮流势不可挡、能源革命大力推进的形势下，我国顺势推出《规划》，赋予了地热资源新的历史地位。《规划》中对地热能开发利用未来目标的制定，以及发展路径主要围绕地热供暖和发电展开，提出“十三五”期间新增供暖制冷面积 11 亿平方米，新增地热发电装机容量 500 兆瓦，较当前装机容量增长近 20 倍，跨越巨大。

资源利用与环境保护并重

能源与环境问题的出现密切相关。我国的能源利用特点是以煤为主，大量的煤炭利用是造成二氧化碳等温室气体排放以及雾霾等环境问题的重要原因之一。我国可再生能源“十三五”发展规划明确提出，到 2020 年可再生能源利用总量达到 7.3 亿吨标准煤，地热《规划》提出到 2020 年利用量达到 7000 万吨标准煤，占到整个可再生能源家族的 10%。7000 万吨标准煤中有 4000 万吨标准煤用于供暖，其中包括京津冀地区 2000 万吨标准煤。

因地制宜开发利用

《规划》强调了因地制宜的多元化开发思路，制定了翔实的发展目标。《规划》突出了供热和发电的利用导向，并分别从浅层地热能利用和水热型利用两个方面做出规划，指出“十三五”期间浅层地热能供暖利用新增 7.26 亿平方米，水热型供暖利用新增 4 亿平方米，发电新增 500 兆瓦装机容量。

此外，鉴于全国各地均有地热资源分布，以及各地均有开发地热资源的计划，《规划》对全国各地（具体到省）的地热供暖和发电目标也予以披露，整体较为翔实。《规划》特别强调了在南方地区供暖制冷需求强烈的地区开发利用浅层地热能，在西藏、川西建设高温地热发电工程，在华北、江苏、



福建等建立中低温地热发电工程，这都充分体现了因地制宜的资源开发导向。

问题导向制定规划

《规划》客观地提出了当前我国地热开发利用过程中存在的问题，认为今后随着人民生活水平的提高以及对生活质量的追求，地热开发利用面临着很好的市场机遇，比如南方的供暖需求呼声日益强烈实际上就为南方地区因地制宜的地热开发利用提供了机遇。

但是《规划》也指出我国地热开发利用面临的问题同样不容回避。目前存在的主要问题，有资源的勘查程度低、管理体制不完善、缺乏统一的技术标准和规范等。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，包括政策扶持与融资模式创新、加强行业运行管理与科技创新等。

明确任务与重大项目布局

《规划》中用了不少篇幅对“十三五”期间地热资源的开发利用主要任务与重大项目布局进行描述，这一部分应该是规划的核心内容。《规划》中描述的“十三五”期间地热开发利用七项主要任务，

主要是从行业管理角度提出的，包括地热选区评价，勘查数据统一管理平台建设，水热型地热供暖、浅层地热能、地热发电工程规划制定及实施，地热开发利用关键技术研发与产业服务体系建设等。这七项内容是地热事业大发展的重要保障。

目前，在地热开发进程中这些“保障”因素还不同程度存在问题。只有先将这些问题解决了，地热发展才能扫清障碍。《规划》还对“十三五”期间的供暖和发电重大项目布局做出了部署，涉及13个省市自治区。

创建示范工程

从一般角度看，一项产业在发展幼稚期通过示范工程的带动能够取得较好的效果，美国的页岩气产业就是依靠这种模式发展起来的。发展地热产业可以借鉴这一发展规律。《规划》明确了“十三五”期间开展万米以浅地热资源勘查开发工作，在藏南、川西等资源丰富地区选点，建立2至3个干热岩开发示范基地，形成技术序列，孵化相关企业，积累发展经验，在条件成熟后推广的设想。

选自《中国石油报》

地热开发“雄县模式”可望大行其道

XIONGXIAN COUNTY MODE OF GEOTHERMAL DEVELOPMENT CAN BE EXPANDED

作者：陈其珏

早在 2009 年，雄县开发利用地热能源就已形成“雄县模式”，未来也准备大力推广。此前的 2 月 9 日，国家发改委副主任、国家能源局局长努尔·白克力到雄县项目调研，强调要在具备资源条件的地区加快推进地热能勘探，理顺地热能开发利用体制机制，明确相关标准，大力推广“雄县模式”，开发利用好地热能资源。

目前，在雄县以采取“取热不取水”方式开发利用地热资源，真正做到取热之后 100% 回灌地下水。地热资源勘探、评价、钻井成井、尾水回灌、梯级利用，在地热供暖上形成一套完善的技术体系。

过去，雄县与我国大部分冬季燃煤供暖的北方地区一样，每到供暖季，环境污染严重。如今这座“无烟城”，一改传统燃煤方式供暖，依靠地热实现供暖全覆盖，并向自然村延伸，建成了雄县沙辛庄 8 万平方米地热供暖示范工程。

2016 年，中石化在雄县地热供暖能力达 450 万平方米，成功打造了技术可复制、经验可推广的“雄县模式”。目前已滚动发展到容城、博野、辛集、东光、故城等 15 个市（县）区，河北供暖能力达 1500 万平方米，其中雄安新区的雄县、容城两县达 580 万平方米。

“雄县模式”形成几年来，我国相继打造了“南通小洋口模式”和“广东丰顺模式”，即在南方有条件地区利用浅层地热能、中低温地热资源，打造分布式地热供暖、制冷系统，解决南方冬季供暖、夏季制冷（空调）问题。

数据显示，地热等非化石能源利用每提高 1 个百分点，相当于替代标准煤 3750 万吨、减排二氧化碳 9400 万吨、二氧化硫 90 万吨、氮氧化物 26 万吨，对调整我国能源结构、节能减排、环境改善具有重要意义。 节选自《中国矿业报》



多部门编制北方冬季清洁取暖规划

MULTIPLE DEPARTMENTS PREPARING CLEAN HEATING PLAN IN WINTER IN NORTHERN CHINA

据国家发改委消息，全国人大代表、国家发展改革委副主任、国家能源局局长努尔·白克力日前接受记者时表示，当前和今后一个时期，要大力加强重点用能领域基础设施建设，积极推广清洁便利的用能方式，重点在三个方面取得实效。

第一，大力推进北方地区冬季清洁取暖。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，大力提高北方地区冬季清洁取暖水平。目前，国家能源局正在会同有关部门抓紧编制《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2020年）》，争取尽快出台实施。

第二，着力抓好农村电网改造升级和城市配电网建设。今年，要重点完成 8.5 万个小城镇中心村电网改造，实现平原地区 150 万口机井通电全覆盖，3.35 万个贫困村基本通动力电。特别是移民搬迁地区的生活用电和动力电要及时跟上，确保搬迁到哪里、电就通到哪里。同时，继续推进光伏扶贫，助力打赢脱贫攻坚战。

第三，做好大气污染防治有关工作。今年，大

气污染防治 12 条重点输电通道将全部建成投入使用，“煤改电”“煤改气”等替代工程也将向前推进。要通过增加重点地区清洁能源供应，压减煤炭散烧规模，进一步改善当地的用能条件，让人民群众放心用能、舒心用能。

我国地热资源丰富，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。根据规划，2020 年地热年利用量 7000 万吨标准煤，其中，京津冀地区地热年利用量达到约 2000 万吨标准煤，规划篇幅占到将近三分之一，有望促进京津冀地区煤炭消费的压减，改善大气环境。

业内人士表示，北方地区冬季清洁取暖已被列入重大的民生工程、民心工程。“十三五”期间清洁取暖三大措施包括“煤改电”、“煤改气”以及发展可再生能源，看好由此带来的节能环保产业发展机遇。

选自《中国地热能网》

恒有源几个电高效 替煤工程运行数据分析

ANALYSIS ON RUNNING DATA OF SEVERAL PROJECTS ABOUT REPLACING COAL WITH EFFICIENT ELECTRICITY IN EVER SOURCE SCIENCE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP CO.,LTD

作者：史永亮 老马

一、北京市“煤改清洁能源”盛况

推进冬季清洁供暖，一头牵着百姓温暖过冬，一头连着蓝天白云。关系广大人民群众生活，是重大的民生工程、民心工程，同时清洁能源供暖有助于解决化石能源污染和温室气体排放，对改善百姓生活、治理雾霾和促进能源结构调整具有重大意义。“即要温暖过冬，又要蓝天白云”，2016年，北方各省纷纷出台清洁能源供暖相关鼓励政策和措施，并积极落实“企业为主、政府推动、居民可承受”的方针，宜电则电、宜气则气，尽可能利用清洁能源，不断加大“煤改电”、“煤改气”力度，加快提高清洁供暖比重。2016年，作为国家“十三五”规划的开局之年，也是北京市大规模实施“煤改清洁能源”工作的第一年。这一年北京市共完成663个村、22.7万户“煤改清洁能源”任务。工作量相当于

过去13年“煤改电”完成总量的三分之二，工程规模、数量均属历史之最。

二、恒有源“煤改电”的显著成绩

2016年，各相关企业积极参与北京市的“煤改清洁能源”工作，百花齐放、百家争鸣。恒有源科技发展集团有限公司（下面简称“恒有源”）作为长期从事清洁能源供暖，倡导“智慧供暖，道德用能”的知名企业，在机遇与挑战并存的2016年，积极备战、攻坚克难。集团公司从9月提出奋战70天，启动电高效替煤暖村工程以来，已经在海淀、大兴、门头沟、延庆、房山、昌平和河北的还来等地推行电高效替煤暖村工程，实现竣工6100户“煤改电”的辉煌成绩（地能3000户，空气能3100户），总面积达76万平方米，获取广大村民和各级领导

的一致好评。

三、恒有源 2016 年供暖季“煤改电”运行数据统计

2016 年的“煤改电”经历了第一个供暖季节的检验，运行结果到底如何呢？供暖是否能够保障？运行费用居民是否能够承受呢：恒有源集团为了更好的做好保障供暖，并获取供暖运行数据的第一手资料，在 2016 年供暖季开始之前就委托北京市精诚兴信息有限责任公司（下面简称：精诚兴）作为第三方统计机构对集团竣工的 6100 户“煤改电”暖村工程用户中的 29 户进行随机抽样和监测、统计运行数据。

精诚兴是一家行业认可的具有独立法人资格的市场调查咨询机构，成立于 1997 年，依托于北京市社情民意调查中心，在掌握北京市各行业丰富、可靠、系统的统计资料方面具有得天独厚

的优势，与全国各省市的政府统计信息机构、调查总队及市场调查公司有着广泛而密切的业务协作关系。每年完成北京市市委、市政府、北京市统计局、北京市其他委办局委托的调查近百项，同时每年自主开发并完成多项调研课题。具体调查统计信息如下：

调查方式：随机抽样，对集团完成的每个暖村工程都进行了随机抽样，样本基本具有普遍性和代表性。

调查时间：2016 年 11 月 13 日 -2017 年 3 月 15 日，共 123 天。

采样的数据：用户房间温度，用户供暖的总用电量、总峰电电量，总谷电电量。

数据采集周期：每天。

四、2016 年供暖季运行统计数据
(见表 1、表 2、表 3、表 4)

表 1 地能“煤改电”运行数据

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

表 2 空气能“煤改电”运行数据

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

备注：

表 1、表 2 中的房屋面积来源为用户一户一方案设计中经过监理单位、农委、用户、施工单位几方共同签字确认的数据。

表 3 地能“煤改电”运行数据（计算）

区域	村名	姓名	家庭地址	日均电量	平米电量	供暖季电费（123天）	日均电费	平米电费
海淀区	西闸村	001	西闸 5#	75.57	37.06	2751.97	22.37	10.97
		002	西闸 8#	57.61	33.93	2319.69	18.86	11.11
		003	西闸 6#	72.66	38.76	2496.21	20.29	10.83
		004	西闸 8#	54.98	30.40	2112.57	17.18	9.50
		005	西闸 20#	54.78	25.24	2366.40	19.24	8.86
		006	西闸 22#	80.96	37.30	3307.72	26.89	12.39
		007	西闸 2#	49.21	24.37	1951.87	15.87	7.86
		008	西闸 91#	54.14	34.12	1949.00	15.85	9.99
		009	西闸 44#	62.59	31.84	2591.88	21.07	10.72
		010	西闸 42#	62.28	28.69	2325.32	18.91	8.71
	李家坟村	011	李家坟 101#	86.15	48.74	3620.05	29.43	16.65
		012	李家坟 40#	80.20	41.19	3391.21	27.57	14.16
		013	李家坟 24#	29.27	19.39	1456.29	11.84	7.84
		014	李家坟 91#	17.03	7.85	782.07	6.36	2.93
		015	李家坟 79-1#	44.28	20.40	2051.27	16.68	7.68
大兴区	留民营村	016	广业 76-7#	36.36	29.81	1397.63	11.36	9.32
		017	广隆 73-5	33.21	27.23	1388.57	11.29	9.26
		018	广开 78-5	22.58	18.51	974.24	7.92	6.49
延庆区	旧县	019	大后街 75#	26.18	29.54	1002.55	8.15	9.20
		020	城南街 94#	38.10	58.58	1406.94	11.44	17.59
门头沟区	龙泉务村	021	西街 107#	36.11	18.51	1369.28	11.13	5.71
		022	后街小楼 177#	32.02	32.83	1302.21	10.59	10.85
		023	兴隆街 40#	22.20	30.33	675.09	5.49	7.50

表 4 空气能“煤改电”运行数据（计算）

区域	村名	姓名	家庭地址	日均电量	平米电量	供暖季电费（123天）	日均电费	平米电费
朝阳区	吕家营村	024	5P	45.06	55.84	1886.37	15.34	19.01
昌平区	西新城村	025	5P	42.24	41.57	1148.67	9.34	9.19
平谷区	前台村	026	5P	46.86	46.86	1908.60	15.52	15.52
通州区	大庞村	027	6p	64.46	48.05	2648.09	21.53	16.05
房山区	小十三里村	028	5P	45.02	44.66	1852.17	15.06	14.94
怀柔区	西台上村	029	6P	48.79	43.17	2013.85	16.37	14.49

备注：

1、计算公式：日均电量 = 总电量 / 运行天数；
平米电量 = 总电量 / 房屋面积；供暖季电费 = 总峰电 * 0.49 + 总谷电 * 0.1；日均电费 = 供暖季电费 / 运行天数；平米电费 = 供暖季电费 / 平米数；

2、计算用数据来源：峰电电价为北京市统一的电价 0.488 元 / 度，按照 0.49 元计算；谷电电价按照北京市统一的居民供暖补贴后的电价 0.10 元 / 度。

五、运行数据的平均值**1、地能煤改电产品平均运行数据：**

23 户房屋面积平均值：202.81 平方米

23 户日均电量平均值：49.06 度 / 天；

23 户平米电量平均值：29.76 度 / 平方米；

23 户供暖季日均电费平均值：15.90 元 / 天；

23 户供暖季平米电费平均值：9.65 元 / 平方米。

2、空气能煤改电产品平均运行数据：

6 户房屋面积平均值：129.21 平方米

6 户日均电量平均值：48.74 度 / 天；

6 户平米电量平均值：46.40 度 / 平方米；

6 户供暖季日均电费平均值：15.53 元 / 天；

6 户供暖季平米电费平均值：14.78 元 / 平方米。

3、空气能和地能煤改电产品平方米电量和电价比较：

地能煤改电产品平方米电量比空气能少：
(46.40 - 29.76) / 46.40 = 35.86%；

地能煤改电产品平方米电费比空气能少：
(14.78 - 9.65) / 14.78 = 34.74%；

六、运行效果总结

1、在 2016 年供暖季中，恒有源的空气能煤改电产品和地能煤改电产品都能保障用户

的供暖需求，房间温度根据的需求都能达到 18℃ 以上。

2、地能煤改电产品在整个供暖季中每平方米电量比空气能煤改电产品平均节省 35.86%；地能煤改电产品在整个供暖季中每平方米电费比空气能煤改电产品平均节省 34.74%。

七、运行数据分析

恒有源的地能煤改电产品在供暖季中的运行数据明显优于空气能煤改电产品，主要原因存在于两个方面：

1、地能煤改电产品采用的是浅层地能作为热源，而空气能煤改电产品采用的空气能作为热源，浅层地能比空气能具有热源稳定供给，需要提升的温度小，所以地能煤改电产品比空气能煤改电产品更能降低室外环境温度下的能量供给衰减，更能实现电高效率替煤，而且越是寒冬，优势越明显。另外，空气能煤改电产品在冬季供暖运行过程中室外换热器要结霜，系统损耗电能进行除霜，而地能煤改电产品不会出现结霜。所以地能煤改电产品比空气能煤改电产品在供暖保障过程中“用着省”。

2、地能煤改电产品采用的小功率、分间配、单独计量，而空气能煤改电产品是大功率，大串联、总计量。相比较而言，地能煤改电产品可以实现每个房间独立开关，用哪开哪，想什么时候开关就什么时候开关，方便用户行为节能。所以地能煤改电产品给用户提供了“省着用”的功能，谁省归谁，给百姓带来巨大实惠。

3、浅层地能是供暖的替代能源。地下一定深度对应一定温度与气象条件。在极端天气，如气温低、空气相对湿度大的条件下，更能突出显示出它的稳定性和可靠性方面的优势。

Analysis on Running Data of Several Projects about Replacing Coal with Efficient Electricity in Ever Source Science & Technology Development Group Co.,Ltd

Author: Shi Yongliang Mr. Ma

I. Spectacular Event of “Replacing Coal with Clean Energy” in Beijing

Promoting the clean heating in winter involves warm winter of common people and environmental protection. It is related to the living of the broad masses, and it is a major livelihood project and popular-support project. Meanwhile, heating with clean energy is in favor of solving pollution of fossil energy and emission of greenhouse gases, which is significant for improving the living standard of common people, preventing and controlling haze and promoting the adjustment of energy structure. “We need not only warm winter, but a good environment”. In 2016, various provinces in Northern China successively issued relevant encouragement policies and measures about heating with clean energy, and actively implemented the guideline of “Enterprise first, promoted by the government and accepted by residents”. If electricity is more applicable, the electricity should be adopted; if gas is more applicable, the gas should be adopted, and it would be better to utilize clean energy, and it is required to constantly strengthen the implementation of

“replacing coal with electricity” and “replacing coal with gas”, thus accelerating the increasing of heating proportion with clean energy. 2016, when the national 13rd five-year plan started, is the first year when Beijing implemented “replacing coal with clean energy” in a large scale. In this year, Beijing completed the task of “replacing coal with clean energy” of 663 villages and 227,000 households. The work quantity is equivalent to 2/3 of total completed amount of “replacing coal with electricity” of the past 13 years; both engineering scale and quantity are the largest in the history.

II. Achievements of “Replacing Coal with Electricity” of Ever Source Science & Technology Development Group Co., Ltd.

In 2016, various relevant enterprises activity participated in the “replacing coal with clean energy” of Beijing, and all of them contributed their thoughts and actions. Ever Source Science & Technology Development Group Co., Ltd. (hereinafter referred to as “Ever Source”), as a well-known enterprises engaged in heating with clean energy for a long time and advocating

“intelligent heating and using energy based on moral”, prepared for meeting the challenge and overcoming difficulties in 2016 when opportunity and challenge coexist. Since the proposal of the action of fighting for 70 days to start up the project of heating villages by replacing coal with efficient electricity in September of last year, the Group has implemented the action in Haidian, Daxing, Mentougou, Yanqing, Fangshan and Changping in Beijing as well as Huailai in Hebei Province, thus realizing the splendid achievements of completion of “replacing coal with electricity” in 6,100 households (3,000 households referred to geothermal energy and 3,100 households refer to air energy); the total area reached 760,000m², and the action was highly appraised by the broad villagers and leaders at all levels.

III. Statistics of Running Data of “Replacing Coal with Electricity” of Ever Source in Heating Season of 2016

The action of “replacing coal with electricity” in 2016 underwent the inspection of the first heating season, and how about the running results? Whether the heating is guaranteed? Whether the residents are able to bear the running cost? To guarantee the heating better and obtain the primary heating running data, Ever Source had entrusted Beijing Jingchengxing Information Co., Ltd. (hereinafter referred to as: Jingchengxing) to work as the third party statistical organization to conduct random sampling as well as monitoring and statistic of running data to 29 households among the 6,100 households in the heating

village project of “replacing coal with electricity” prior to heating season of 2016.

Jingchengxing is a market survey and consulting organization recognized by the industry and it possesses independent corporate capacity. Founded in 1997, relying on Beijing Survey Center of Social Conditions and Public Opinions, it has unique advantages in mastering abundant, reliable and systematic statistical data of various industries in Beijing, and has wide and close business cooperation relationship with governmental information statistic organizations, survey offices and market survey companies in various provinces and cities all over the country. It is able to complete almost 100 survey projects entrusted by Beijing Municipal Party Committee, Municipal Government, Beijing Municipal Government, Beijing Municipal Statistic Bureau, and other committees, offices and bureaus of Beijing each year; meanwhile, it will independently develop and complete multiple investigation and survey subjects each year. See the following for detailed investigation and statistic information:

Survey mode: random sampling. Each heating village project completed by the Group has undergone random sampling, and the samples are universal and typical.

Survey duration: from November 13, 2016 to March 15, 2017, 123 days in total.

Sampling data: user room temperature, total electric quantity consumed by the user for heating, total electric quantity in peak hours, and total electric quantity in valley hours.

Data sampling period: each day.

IV. Running Statistic Data in Heating Season of 2016 (see Table 1, Table 2, Table 3 and Table 4)

Table 1 Running Data of “Replacing Coal with Electricity” of Geothermal Energy

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

Table 2 Running Data of “Replacing Coal with Electricity” of Air Energy

Region	Name of Village	No.	Roof Area	Terminal Pattern	Room Temperature	Total Electric Quantity	Peak Electricity	Valley Electricity	Number of Running Days
Chaoyang District	Lvjiajing Village	024	99.24	Cooling fin	$\geq 18^{\circ}\text{C}$	5542	3416	2126	123
Changping District	Xincheng Village	025	125.00	Cooling fin	$\geq 18^{\circ}\text{C}$	5196	1613	3583	123
Pinggu District	Qiantai Village	026	123.00	Cooling fin	$\geq 18^{\circ}\text{C}$	5763	3416	2347	123
Tongzhou District	Dapang Village	027	165.00	Cooling fin	$\geq 18^{\circ}\text{C}$	7928	4757	3171	123
Fangshan District	Xiaoshisanli Village	028	124.00	Cooling fin	$\geq 18^{\circ}\text{C}$	5537	3329	2208	123
Huairou District	Xitashang Village	029	139.00	Cooling fin	$\geq 18^{\circ}\text{C}$	6001	3625	2376	123

实用案例
PROJECT SHOWCASE

Note:
Sources of room areas in Table 1 and Table 2
are data commonly signed and confirmed by the

Supervision Unit, Municipal Commission of Rural
Affairs, users and Construction Unit in the design
of “one household, one scheme”.

Table 3 Running Data of “Replacing Coal with Electricity” of Geothermal Energy (Calculation)

Region	Name of Village	Name	House Address	Average Daily Electric Quantity	Electric Quantity per Square Meter	Electric Charge in Heating Season (123 Days)	Average Daily Electric Charge	Electric Charge per Square Meter
Haidian District	Xizha Village	001	Xizha 5#	75.57	37.06	2751.97	22.37	10.97
		002	Xizha 8#	57.61	33.93	2319.69	18.86	11.11
		003	Xizha 6#	72.66	38.76	2496.21	20.29	10.83
		004	Xizha 8#	54.98	30.40	2112.57	17.18	9.50
		005	Xizha 20#	54.78	25.24	2366.40	19.24	8.86
		006	Xizha 22#	80.96	37.30	3307.72	26.89	12.39
		007	Xizha 2#	49.21	24.37	1951.87	15.87	7.86
		008	Xizha 91#	54.14	34.12	1949.00	15.85	9.99
		009	Xizha 44#	62.59	31.84	2591.88	21.07	10.72
		010	Xizha 42#	62.28	28.69	2325.32	18.91	8.71
	Lijiafen Village	011	Lijiafen 101#	86.15	48.74	3620.05	29.43	16.65
		012	Lijiafen 40#	80.20	41.19	3391.21	27.57	14.16
		013	Lijiafen 24#	29.27	19.39	1456.29	11.84	7.84
		014	Lijiafen 91#	17.03	7.85	782.07	6.36	2.93
		015	Lijiafen 79-1#	44.28	20.40	2051.27	16.68	7.68
Daxing District	Liuminying Village	016	Guangye 76-7#	36.36	29.81	1397.63	11.36	9.32
		017	Guanglong 73-5	33.21	27.23	1388.57	11.29	9.26
		018	Guangkai 78-5	22.58	18.51	974.24	7.92	6.49
Yanqing District	Jiuxian Village	019	Dahou Street 75#	26.18	29.54	1002.55	8.15	9.20
		020	Southern City Street t94#	38.10	58.58	1406.94	11.44	17.59
Mentougou District	Longquanwu Village	021	West Street 107#	36.11	18.51	1369.28	11.13	5.71
		022	Small building of Houjie Street 177#	32.02	32.83	1302.21	10.59	10.85
		023	Xinglong Street 40#	22.20	30.33	675.09	5.49	7.50

Table 4 Running Data of “Replacing Coal with Electricity” of Air Energy (Calculation)

Region	Name of Village	Name	House Address	Average Daily Electric Quantity	Electric Quantity per Square Meter	Electric Charge in Heating Season (123 Days)	Average Daily Electric Charge	Electric Charge per Square Meter
Chaoyang District	Lvjiaying Village	024	5P	45.06	55.84	1886.37	15.34	19.01
Changping District	Xincheng Village	025	5P	42.24	41.57	1148.67	9.34	9.19
Pinggu District	Qiantai Village	026	5P	46.86	46.86	1908.60	15.52	15.52
Tongzhou District	Dapang Village	027	6p	64.46	48.05	2648.09	21.53	16.05
Fangshan District	Xiaoshisanli Village	028	5P	45.02	44.66	1852.17	15.06	14.94

Notes:

1. Calculation formula: average daily electric quantity = total electric quantity/number of running days; electric quantity of each square meter = total electric quantity/roof area; electric charge in heating season = total electric quantity in peak hours *0.49 + total electric quantity in valley hours *0.1; average daily electric charge in heating season/number of running days; electric charge of each square meter = electric charge in heating season/number of square meters;

2. Source of data for calculation: the electric price in peak hours is RMB 0.488/kilowatt-hour which is uniform electric price of Beijing, calculated as per RMB 0.49; the electric price in valley hours is calculated as per RMB 0.10/kilowatt-hour after uniform residential heating subsidy of Beijing.

V. Average Value of Running Data

1. Average running data of the product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy:

Average value of roof area of 23 households: 202.81m²

Average value of average daily electric quantity of 23 households: 49.06 kilowatt-hour/day;

Average value of electric quantity per square meter of 23 households: 29.76 kilowatt-hour/m²;

Average value of average daily electric charge in heating season of 23 households: RMB 15.90/day;

Average value of electric charge per square meter in heating season of 23 households: RMB 9.65/m².

2. Average running data of the product of “replacing coal with electricity” of air energy:

Average value of roof area of 6 households: 129.21m²

Average value of average daily electric quantity of 6 households: 48.74 kilowatt-hour/day;

Average value of electric quantity per square meter of 6 households: 46.40 kilowatt-hour/day;

Average value of average daily electric

charge in heating season of 6 households:
RMB 15.53/day

Average value of electric charge per square meter in heating season of 6 households: RMB 14.78/day.

3. Comparison of electric quantity and electric price per square meter of the product of “replacing coal with electricity” between air energy and geothermal energy:

The electric quantity per square meter of the product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy is less than that of air energy by $(46.40-29.76) / 46.40=35.86\%$;

The electric price per square meter of the product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy is less than that of air energy by $(14.78-9.65) / 14.78=34.74\%$;

VI. Summary of Running Effect

1. During the heating season of 2016, both the product of “replacing coal with electricity” of air energy and the product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy were able to guarantee the heading demand of users, and the room temperature was able to reach 18℃ above as demanded;

2. The electric quantity per square meter during the whole heating season of the product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy is 35.86% less than that of the product of “replacing coal with electricity” of air energy averagely; and the electric price per square meter during the whole heating season of the product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy is 34.74% less than that of

the product of “replacing coal with electricity” of air energy averagely.

VII. Analysis on Running Data

The running data during the heating season of the product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy from Ever Source is obviously superior to that of the product of “replacing coal with electricity” of air energy, and main reasons are shown in the following two aspects:

1. The product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy adopts shallow geothermal energy as heat source, while the product of “replacing coal with electricity” of air energy adopts air energy as heat source. Compared with air energy, the shallow geothermal energy owns the following features: there is stable supply of heat source, and the required temperature rising amplitude is small; therefore, compared with the product of “replacing coal with electricity” of air energy, the product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy is more able to reduce the energy supply attenuation at the outdoor environmental temperature, and is more able to realize “replacing coal with efficient electricity”. The advantages are more obvious in winter. In addition, during the heating process in winter of the product of “replacing coal with electricity” of air energy, there will be frosting on the outdoor heat exchanger, and the system need consuming electric energy to conduct defrosting, while there will be no frosting on the product of “replacing coal with electricity” of



geothermal energy. Therefore, compared with the product of “replacing coal with electricity” of air energy, the product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy is “saving during the using” in heating guarantee.

2. The product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy adopts small power, distribution based on room and independent metering; while the product of “replacing coal with electricity” of air energy adopts large power, large series connection and total metering. Comparing both of them, the product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy can realize independent turning on and turning off of each room, and

the users can determine room and time where and when the heating is to be turned on or off, thus saving energy. Therefore, the product of “replacing coal with electricity” of geothermal energy provides the function of “consuming as per demand” for users, and who saves energy will benefit from the saving, which brings tangible benefits for common people.

3. Shallow geothermal energy is substitute energy for heating. The underground depth corresponds to a certain temperature and meteorological condition. In extreme weather, for example, the air temperature is low and the air relative humidity is high, the advantages in stability and reliability will be more prominent.

“可燃冰”离大规模开采还有多远

WHEN THE COMBUSTIBLE ICE CAN BE MINED IN A LARGE SCALE

众所周知，天然气水合物的钻采是非常规天然气开发中的世界性难题。为了获取这种清洁能源，世界许多国家都在研究天然“可燃冰”的开采方法。据悉，吉林大学科研团队针对目前重大战略性技术储备需求进行技术攻关，这一关键技术为我国陆域天然气水合物的重大发现和成功试采提供了技术支撑，填补了国内该领域空白，总体达到国际先进水平。

“可燃冰”是冰吗？

“可燃冰”不是冰，它是一种自然存在的冰状笼型化合物。“可燃冰”是天然气水合物的俗称，因其外观象冰一样而且遇火即可燃烧得名，又被称作“固体瓦斯”和“气冰”，被誉为 21 世纪极具商业开发前景的战略性资源。

“可燃冰”是由甲烷和水在高压低温条件下形成的一种冰状白色固体燃料。据介绍，“可燃冰”是一种高效清洁能源。这种天然气水合物使用方便，燃烧值高，“可燃冰”燃烧产生的能量比煤、石油、天然气要多出数十倍。专家称，1 立方米的天然气水合物分解后可生成 164 - 180 立方米的天然气。“可燃冰”燃烧后仅会生成少量的二氧化碳和水，污染比煤、石油、天然气小很多。“可燃冰”是今后替代石油、煤等传统能源首选，被誉为 21 世纪的绿

色能源。

“可燃冰”主要分布于深海沉积物、少量分布于陆地永久冻土带。这是因为，水合物形成的必备条件是低温、高压，如在零度的温度条件下，压力条件增加到 5MPa（相当于 500 米水深所能提供的压力）以上时，水和气体混合在一起可以开始形成水合物，而海底往往容易形成这样的条件。此外，“可燃冰”储量巨大。作为接替能源，“可燃冰”在全球资源储量非常丰富。据悉，地球上大约有 27% 的陆地具备形成“可燃冰”的条件，在世界大洋水域中约有 90% 的面积也属这样的潜在区域。国土资源部地质勘查司副司长车长波说：“天然气水合物量之大，全世界公认的应该有 1000 万亿立方转化成天然气气体，有这么大的量。我们知道常规天然气世界上的量是 430 万亿（立方），页岩气是 187 万亿（立方），煤层气是 260 万亿（立方），它们加起来还没有达到 1000 万亿（立方的）总值。”

总起来看，“可燃冰”所含有机碳资源总量极其丰富，而且燃烧后不产生任何残渣和废气，避免了最让人们头疼的污染问题。对于这种高效清洁能源，科学家们如获至宝，把“可燃冰”称作“属于未来的能源”。“可燃冰”被国际公认为石油、天然气的接替能源，“是一种被称为能满足人类使用 1000 年的新能源”，具有广阔的开发前景。

“可燃冰”与中国

石油作为经济发展的重要能源之一，素有“经济血液”、“经济命脉”之称，在我国经济发展过程中，发挥着不可估量的重要作用。近年来，我国能源供需矛盾日益突出，传统化石燃料已不能满足我国经济发展、环境保护的需要。1993年起，我国成为纯石油进口国。2000年我国进口石油7000万吨，2003年进口石油约9000万吨，2010年石油缺口为1.2亿吨。我国今后对能源的需求将随着经济的快速发展而急剧增加，对国外石油、天然气资源的依赖程度不断加大，预计到2020年将增至2亿吨左右。在这样的经济发展背景下，“可燃冰”的发现，为缓解我国日趋紧张的能源需求，打开了一扇新的窗口。

那么，作为一种高效清洁能源，“可燃冰”在中国境内的储量有多少？作为全球第三大冻土国，中国具备良好的“可燃冰”赋存条件和资源前景。目前，中国的“可燃冰”主要分布在南海海域、东海海域、青藏高原和东北冻土带，并且含量较大。据粗略估算，其资源量分别约为 $64.97 \times 10^{12} \text{m}^3$ 、 $3.38 \times 10^{12} \text{m}^3$ 、 $12.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ 和 $2.8 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。中国地质调查局基础调查部主任张海敞在接受记者采访时表示，中国是（“可燃冰”）资源远景比较好的国家之一。国土资源部在2013年发布的《2013年海域天然气水合物勘探成果》中表明，我国陆域远景资源量至少有350亿吨油当量，南海的“可燃冰”储量大约为680亿吨油当量。我国“可燃冰”主要分布在南海，探测证据表明：仅南海北部的“可燃冰”储量，就已达到我国陆上石油总量的一半左右。

“可燃冰”离实用还有多远

据了解，全球天然气水合物的储量是现有天然气、石油储量的两倍，具有广阔的开发前景。在技术上，“可燃冰”的开采主要使用热激发开采法、减压开采法、化学试剂法和水力压裂法。科学家们认为，一旦开采技术获得突破性进展，那么“可燃冰”

立刻会成为21世纪的主要能源。

天然“可燃冰”呈固态，不会像石油开采那样自喷流出。相关专家指出，如果按照常规采天然气的方式，把水合物分解掉，假设涉及面积很广的话，那么这些气体可能不会按照人为设计的通道分解，它自己就会溜掉。“如果跑到大气层，它可能就会对气候环境造成恶劣的影响；如果把它从海底一块块搬出，在从海底到海面的运送过程中，甲烷就可能挥发殆尽，同时还会给大气造成巨大危害。”人类要开采埋藏于深海或永久冻土里的“可燃冰”，尚面临着许多新问题。

国土资源部表示，我国“可燃冰”开采技术已居世界先进水平，或于2030年实现“可燃冰”商业开发。不过，由这一阶段转换到商业规模的开发生产阶段，还有经济、地质灾害、环境等问题需要考虑。“可燃冰”在给人类带来新的能源前景的同时，对人类生存环境也提出了严峻的挑战。全球海底天然气水合物中的甲烷总量约为地球大气中甲烷总量的3000倍，若有不慎，开采过程中让海底天然气水合物中的甲烷气“逃逸”到大气中去，将会产生无法想象的严重后果。专家指出，“可燃冰”的甲烷，其温室效应为二氧化碳的24倍，温室效应造成的异常气候和海面上升正威胁着人类的生存。

由学者指出，“可燃冰”可能是上帝给人类设置的又一个陷阱——海底滑坡。这种固结在海底沉积物中的水合物，千百年来它们已经适应了自己的“居住”环境，一旦条件变化，甲烷气如果从水合物中释出，就会改变这种沉积物的物理性质——该水合物的存在能够保持沉积层机械的稳定性，它有一个胶接效应，水合物生成以后把沉积物的颗粒粘在一块，它就是一个整体。假设人为把它分解掉了，就会极大地降低海底沉积物的工程力学特性，整体就变成松散的分解体，由此可能造成大规模海底滑坡，毁坏海底工程设施，如：海底输电或通讯电缆和海洋石油钻井平台等。

征稿启事

CONTRIBUTIONS WANTED

《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，双语季度刊。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、使用者、大众提供交流空间；推广浅层地能利用经验，展示应用实例。

当前中国大部分地区空气质量恶劣，雾霾严重，国家及地方政府大力支持节能减排事业及可再生能源事业的发展。在此背景下，期刊以地能开发利用为主题，将刊物内容划分为：**本期焦点、建言献策、发展论坛、人物专访、实用案例、政策方针、热点资讯、智者思语**等栏目。由于期刊内容专业性、学术性较强，所以在稿件方面要求相对严格，为鼓励广大业内外人士多投稿、投好稿，《中国地能》编辑部研究确定了相关的投稿要求及稿费标准，如下：

一、稿件要求：

- 来稿内容需主题明确，论述清楚、数据可靠、联系实际。
- 稿件格式：电子投稿请用 word 文档格式，如若提供手稿，需字体工整、标点清楚。文章首页请标明题目、内容摘要（200—300 字左右）、关键词以及作者基本信息（姓名、职务职称、联系地址、电话、电子邮箱等）。
- 对决定采用的稿件，本刊如需更改格式、润饰文字会及时与作者沟通，如有必要，将请作者根据修改意见进行修改。
- 本刊收到来稿后，将尽快校对处理，稿件采用与否，将在 1 个月内告知作者。
- 来稿须为原创作品，反对抄袭、剽窃等一切学术不端行为。
- 稿件刊出后，即付作者样刊及稿酬。

二、稿酬标准：300—800 元 / 千字

三、联系投稿：

《中国地能》编辑部

李雪 010-62599774

投稿邮箱：journal@cgsenergy.com.hk

投稿地址：北京市海淀区杏石口路 102 号

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

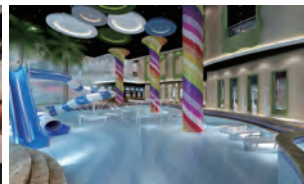
► 酒店系中国节能环保集团公司旗下的中国地能产业集团有限公司(香港上市号 8128, 简称中国地能)的全资子公司—恒润丰置业(大连)有限公司投资建设, 委托国内知名专业化酒店管理公司首旅建国酒店管理有限公司独家经营。以普及宣传水文化知识为主旨, 以商务会议接待、家庭度假旅游为主营。采用产权式酒店方式管理运行。

► 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宝环境系统提供。

► 酒店拥有别墅 33 栋(66 套)、各类客房 237 间/套, 大小会议室 4 个, SPA5 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



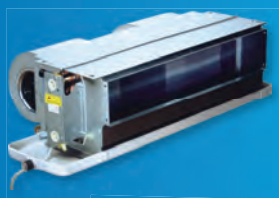
防腐技术：新工艺军工防腐技术，抗氧化腐蚀，经久耐用



军用雷达防电磁干扰技术



1



2



4



3



6



7



9



8

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

3. 地能热（冷）柜机 A
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