



清洁能源供暖新技术

——中深层地热井内换热技术

上海中金能源投资有限公司

2017. 9. 25 天津

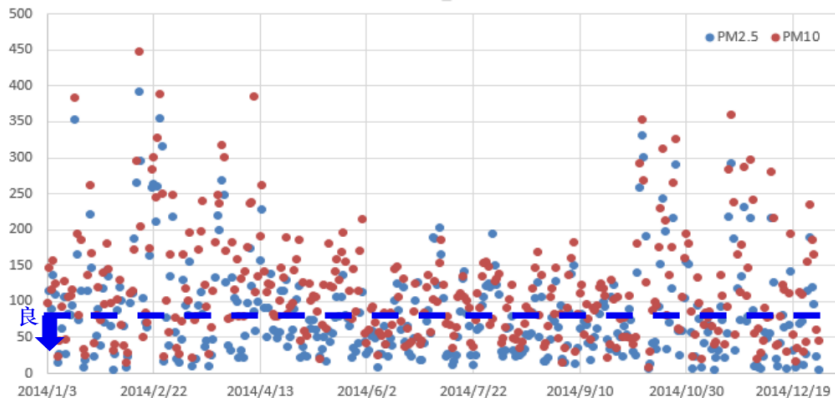
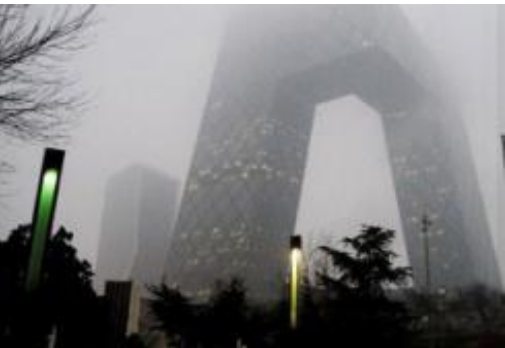


- 一、地热供暖的机遇和挑战
- 二、中深层地热井内换热的技术机理
- 三、示范项目和专家论证会
- 四、适宜性和经济性分析

1.1 地热供暖的机遇

➤ 环保压力显著提升

- 中国是目前世界上温室气体排放量最大的国家
- **雾霾**：燃煤供暖产生的颗粒物是雾霾的主要来源之一



2014北京市大气PM10与PM2.5逐日分布情况



1.1 地热供暖的机遇

➤ 刚性需求不断增加

□ 2009年经济危机过后，整体经济环境逐渐好转，城镇化发展速度加快。

□ 人民生活水平日益提高，使得北方冬季供暖的需求和质量要求日益增加，城市热力生产和供应业也得到了快速发展。



1.1 地热供暖的机遇

政策推动力度加大

2016年12月，《能源发展“十三五”规划》

- 清洁低碳，绿色发展。把发展**清洁低碳能源**作为调整能源结构的主攻方向。

2016年12月，《可再生能源发展“十三五”规划》

- 在主要任务中重点提出要加快地热能开发利用，**加强地热能开发利用规划与城市整体规划的衔接**，将地热供暖纳入城镇基础设施建设，在用地、用电、财税、价格等方面给予地热能开发利用政策扶持。

2016年12月，中央财经领导小组第十四次会议召开

- 习近平强调，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。推进北方地区冬季清洁取暖，关系北方地区广大群众温暖过冬，关系雾霾天能不能减少，是能源生产和消费革命、农村生活方式革命的重要内容。要按照企业为主、政府推动、居民可承受的方针，宜气则气，宜电则电，尽可能利用清洁能源，加快提高清洁供暖比重。

2017年1月，《地热能开发利用“十三五”规划》

- 开展**井下换热技术**深度研发。在“**取热不取水**”的指导原则下，进行传统供暖区域的清洁能源供暖替代。
- 采用“**采灌均衡、间接换热**”的工艺技术，实现地热资源的可持续开发。
- 在“十三五”时期，新增地热能供暖面积**11亿平方米**。

2017年5月，关于开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作的通知

- 中央财政支持**试点城市推进清洁方式取暖替代散煤燃烧取暖**，并同步开展既有建筑节能改造，实现试点地区散烧煤供暖全部“销号”和清洁替代，形成示范带动效应。
- 试点示范期为三年，中央财政奖补资金标准根据城市规模分档确定，直辖市每年安排10亿元，省会城市每年安排7亿元，地级城市每年安排5亿元。

➤ 地热供暖的可持续性

- 目前，传统地热供暖（水热型）面临的最大问题就是回灌。100%回灌是水热型地热利用可持续发展的先决条件，然而，在某些地层上，要实现100%回灌还是个世界难题。
- 事实上，埋藏深度在1.5~3km，岩层温度60~120°C的地下热源尚未被充分利用，这些热源不适宜发电，但是却非常事宜北方地区冬季清洁供暖，因此，探索一种“只取热不去水”的中深层地热供暖技术将成为地热利用可持续发展的重要途径。



1.2 地热供暖的挑战

➤ 中深层地热井内换热技术的资源评估



● 重点区域

☀ 适宜片区

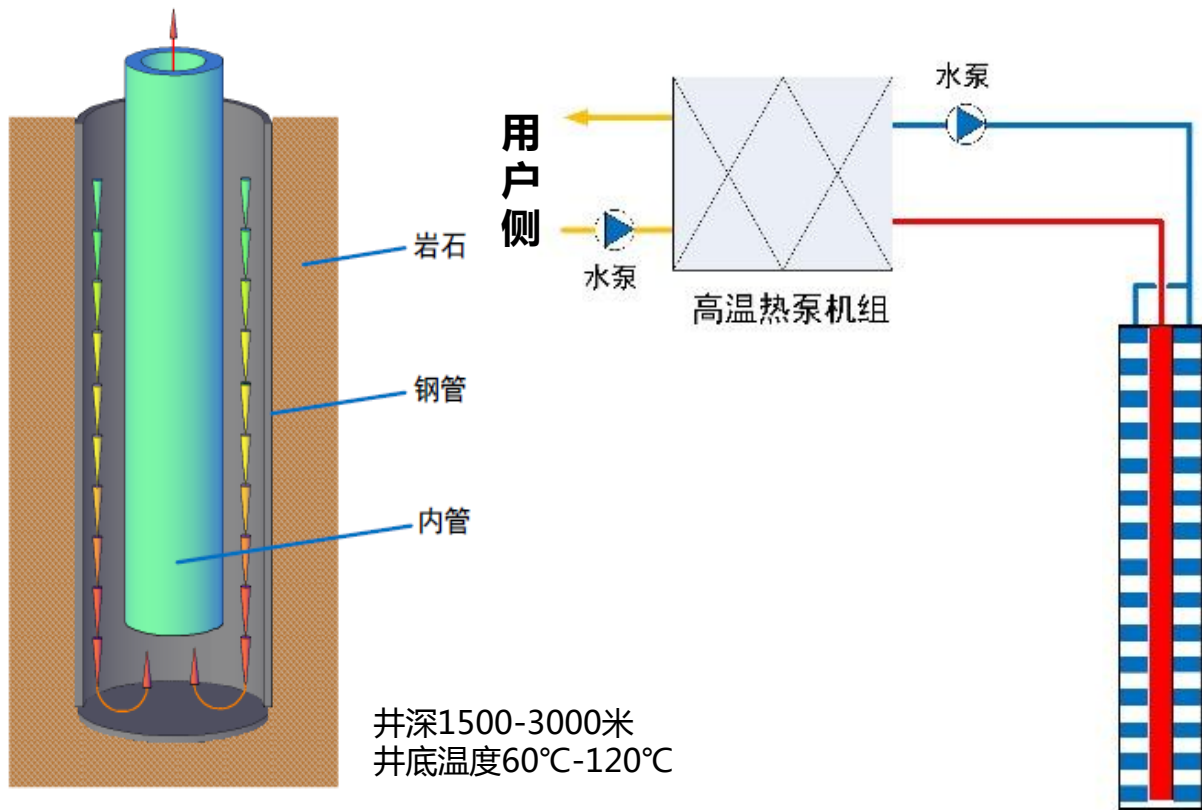
京津冀地区，华北平原的河北省大部分，渭河盆地的陕西西安，咸阳以及一些地温资源较好区域适宜采用中深层地热井内换热技术。



- 一、地热供暖的机遇和挑战
- 二、中深层地热井内换热的技术机理
- 三、示范项目和专家论证会
- 四、适宜性和经济性分析

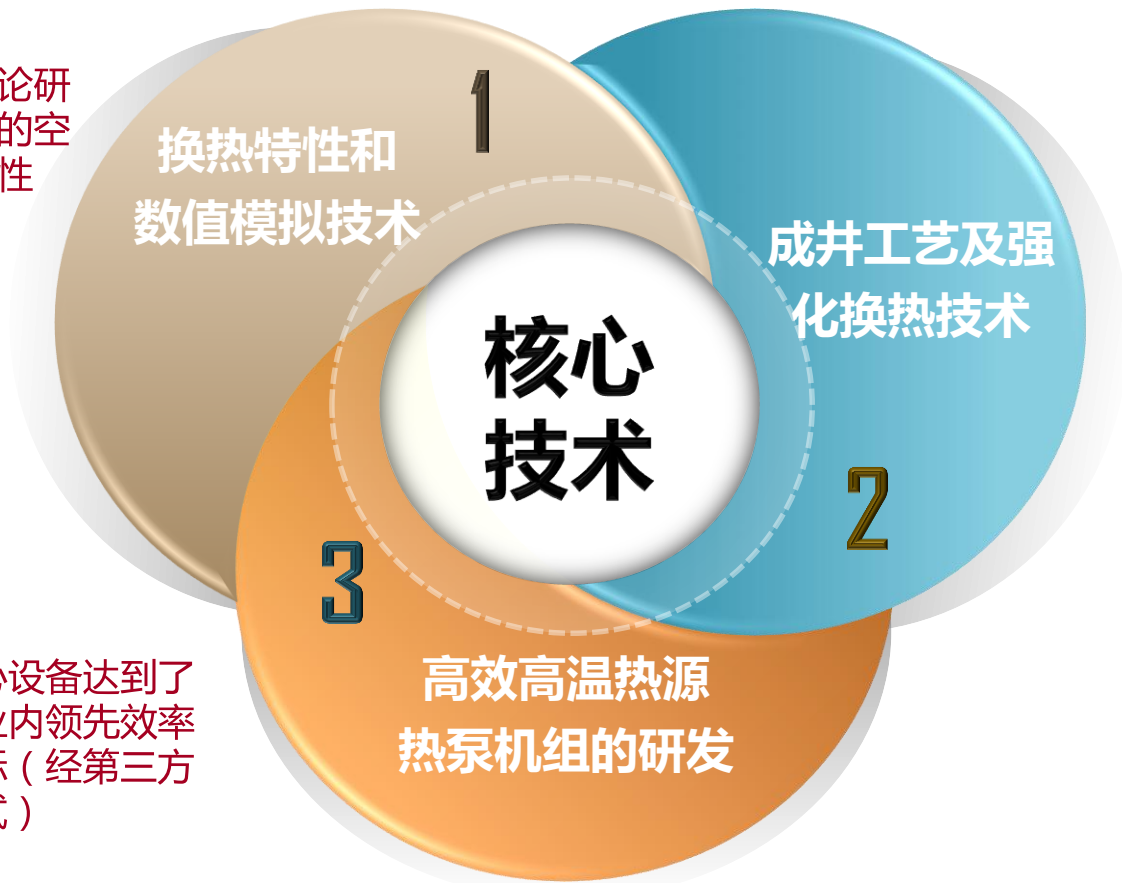
2.1 中深层地热井内换热的技术原理

技术原理：中深层地热井内换热供热技术是指通过钻机向地下一定深处（约1500-3000米）高温岩层钻孔，在钻孔中安装**密闭的金属换热器**，通过换热器内工质的循环将地下深处的热能导出，并通过**专用高温热泵系统**向地面建筑物供热的一种**清洁能源**新技术。



2.2 中深层地热井内换热的核心技术

- 填补了国内理论研究、数值模拟的空白，具有独创性



- 建立了中金独有的闭式成井全套工艺和材料技术

- 核心设备达到了行业内领先效率指标（经第三方测试）

2.2 中深层地热井内换热的核心技术

◆ 核心技术点一：中深层地热井换热特性数值模拟研究

❖ 研究重点

1. 中深层地热井数值模型及算法的开发

建立超大管长管径比结构的数值模型、计算方法。

2. 中深层地埋换热器换热性能的预测

不同地质参数、地热梯度的建立；给定成井结构和运行工况下，地热井连续或间断运行120天的换热性能预测。

3. 地热井的影响半径及恢复特性研究

指导地热井钻井间距、评估地热井持续供热性能。

4. 工程计算机软件的开发

编制工程计算机软件，具备参数输入，快速模拟计算、实时结果图形呈现的功能。

联合研发单位



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY



University of
HUDDERSFIELD
英国哈德斯菲尔德大学

金立文（西安交通大学，教授，博导）



（博士，毕业于新加坡南洋理工大学）

研究方向

- ▶ 建筑可持续技术
- ▶ 地埋换热器特性研究
- ▶ 多孔介质传热及流体动力学
- ▶ 建筑环境测试技术、建筑能耗分析

John C. Chai（英国哈德斯菲尔德大学，教授，博导）



（博士，毕业于美国明尼苏达大学）

研究方向

- ▶ 深井石油套管内压力及流动特性研究
- ▶ 超长输油管道数值模拟方法
- ▶ 多孔介质传热及流体动力学
- ▶ 微、纳米尺度流动与传热

2.2 中深层地热井内换热的核心技术

◆ 核心技术点二：中深层地热井成井工艺及强化换热技术

➤ 在传统石油钻探工艺基础上，形成闭式成井技术

- 钻井平台：ZJ20、ZJ30、ZJ40、ZJ50，可钻井深度2000~5000米；
- 外管材：石油套管J55,N80,P110;
- **井身及井底全井段水泥固井**，可永久性保证地下各含水层、油气层等不发生串通。

➤ 先进内管材料及下管工艺

- 低导热系数： **$< 0.18W/(m \cdot ^\circ C)$** ，内管涂层处理；
- 高耐温：**维卡软化温度 $> 130^\circ C$** ；
- 高强度：**拉伸屈服强度 $> 90MPa$** ；
- 先进下管工艺：**内管限位措施、强化连接技术、避免卡管措施、抗伸缩设计。**

➤ 强化换热技术

- 井底内外管**强化扰动结构设计**，强化井底换热效果；
- 固井水泥添加特殊**强化换热材料**，提升全井导热性能及固井强度。



2.2 中深层地热井内换热的核心技术

◆ 核心技术点三：高温热源热泵机组的定制研发

热泵机组技术特点：

- 极低压缩比：联合厂家定制开发压缩机
- 直接利用高温热源：热源进水温度可达15-40 °C
- 超高供热能效比，额定能效比 > 7.5

中金定制研发热泵机组 VS 常规热泵机组参数

参数	常规热泵机组	中金定制研发 高温热源热泵机组
热源侧进水温度范围	20-8°C	40-15°C
末端侧供水温度范围	40-55°C	35-55°C
蒸发侧额定进出水温度	10/5°C	29/22°C
冷凝侧额定进出水温度	40/45°C	40/45°C
额定供热效率	4.5-5.0	7.5-8.0



高温热源热泵机组-国家级实验台测试



2016 / 12 / 5 / 18 : 32 运行界面

系统运行		制热 本地控制	
蒸发器进水温度:	29.2 °C	冷凝器进水温度:	35.1 °C
蒸发器出水温度:	22.9 °C	冷凝器出水温度:	39.5 °C
1#压缩机状态	运行	2#压缩机状态	运行
1#压缩机容量	100 %	2#压缩机容量	100 %

高蒸发温度、低压缩比运行

节能环保

- 只取热、不取水，保护了地下水资源
- 无废气、废液、废渣等任何污染排放
- 超高供热能效比

应用灵活

- 应用范围更广
- 热源井占地面积小
- 灵活施工

稳定可靠

- 深层地热资源巨大、稳定、可再生
- 地热井寿命与建筑寿命相当
- 地热井无需维护工作



- 一、地热供暖的机遇和挑战
- 二、中深层地热井内换热的技术机理
- 三、示范项目和专家论证会
- 四、适宜性和经济性分析

3.1 示范项目



项目名称：天津卓朗科技园能源站

项目商务模式：BOT（建设-运营-移交）

供能面积：33160平方米

钻井数量：2口

项目建设期：2016年5月~11月



3.2 权威机构检测

2017年3月2日~3月4日，权威机构清华大学建筑环境检测中心进行了第三方现场测试评估



Form No: BE-4-1004 Rev-D0

报告编号: H17-011
Series Number

检测报告

TEST REPORT

检测项目: 天津卓朗科技园干式深层地热供热
Test Item

委托单位: 上海中金能源投资有限公司
Entrusting Unit

检测类别: 通风与空调系统
Test Type

清华大学建筑环境检测中心
Center for Building Environment Test, Tsinghua University
2017年4月7日

地址: 北京市海淀区清华大学建筑环境检测中心(旧土木馆204) 邮政编码: 100084
电话/传真: 010-62783909 E-Mail: center09@mail.tsinghua.edu.cn

清华大学建筑环境检测中心
Center for Building Environment Test, Tsinghua University
通风与空调系统检测报告
Ventilation and Air-conditioning System Test Report

报告编号: H17-011 第1页共4页

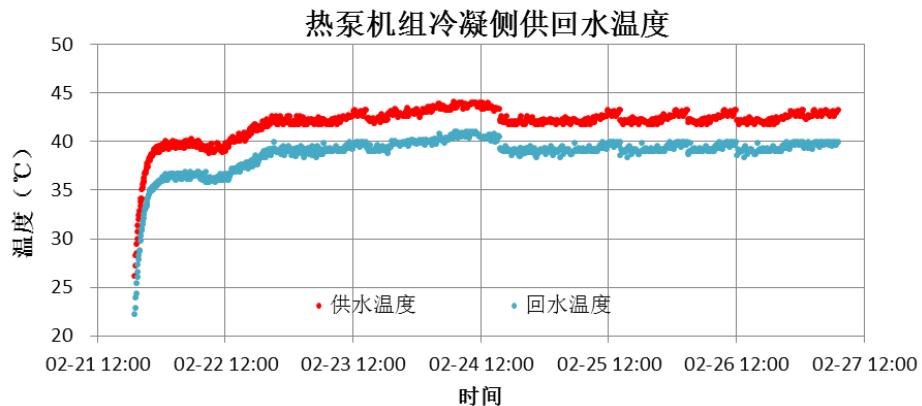
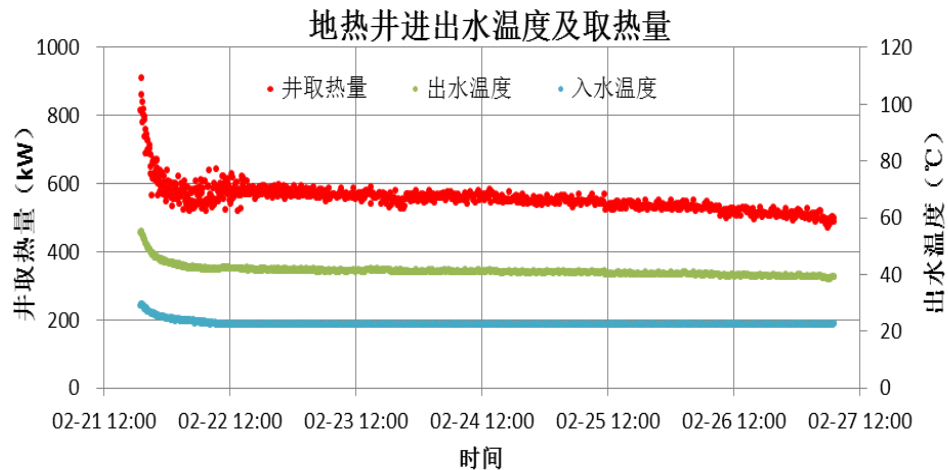
委托单位	上海中金能源投资有限公司	检测类别	通风与空调系统
检测地点	天津市红桥区湘潭道1号	检测日期	2017/3/2-2017/3/3
产品名称	天津卓朗科技园干式深层地热供热系统	产品型号	
生产单位	上海中金能源投资有限公司	注册商标	
检测项目	天津卓朗科技园供暖建筑面积33160m ² ，建筑功能为办公建筑。该项目采用热源形式为干式深层地热供热系统，末端形式为风机盘管系统。本次检测对象为天津卓朗科技园干式深层地热供热系统。		
检测依据	1. GB 50243—2002 《通风与空调工程施工质量验收规范》 2. GB 50411-2007 《建筑节能工程施工质量验收规范》 3. GB/T 50801—2013 《可再生能源建筑应用工程评价标准》 4. 其他：设计图纸、产品说明书和设备铭牌参数等。		
检测仪器	1. 温度记录仪 2. 超声波流量计 3. 超声波流量计 4. 三相四线电力分析仪		

清华大学建筑环境检测中心
Center for Building Environment Test, Tsinghua University

本报告复印、涂改、增删无效

检测结论：1. 系统运行效果和能耗水平均达到了设计要求
2. 系统效率和设备效率均达到了国内领先水平

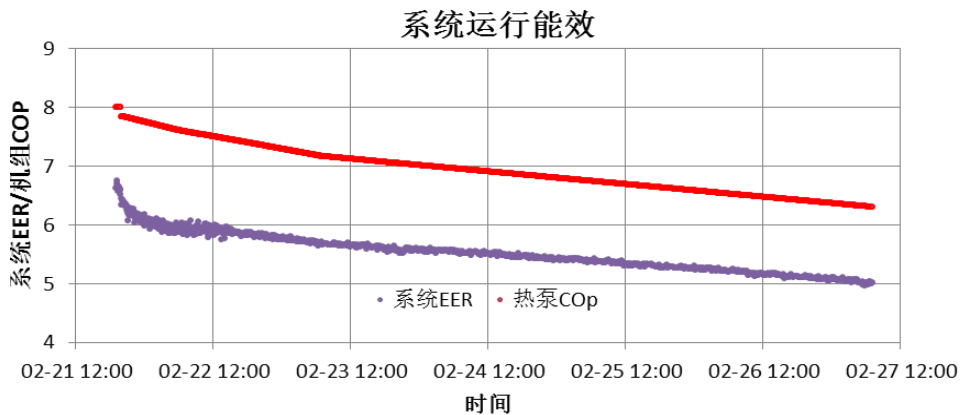
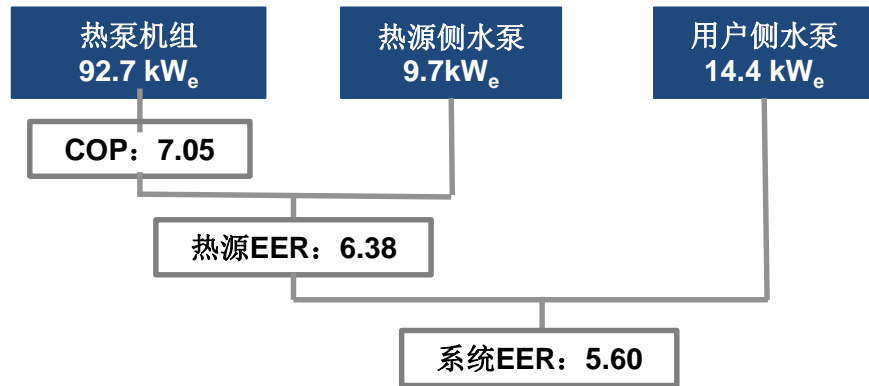
3.3 实际运行数据



2017年2月21日-27日不间断运行

平均制热量
653.6 kW_h

平均取热量
560.9 kW_h



3.4 专家鉴定

2017年4月13日至4月14日，天津市国土资源和房屋管理局组织专家，对上海中金能源投资有限公司研发的“中深层地热井内换热供热技术”召开了专家论证会。

专家组成员：中国工程院院士、国家地热能中心主任曹耀峰（组长），中国工程院院士多吉、国务院资深参事王秉忱、中国地调局地热中心副主任王贵玲、中国矿联地热专委会副主任宾德智、秘书长石小林、天津市地矿局发展处处长孙宝成、天津地热院长林黎、天津大学地热中心主任朱家玲、河北省煤田地质局水文地质队总工程师李学文。



3.4 专家鉴定

1、该项技术采用了深井换热特性数值模拟、中深层岩层孔内强化换热、专用高温热泵系统，“取热不取水”原理及工艺可行，节能环保、可靠、应用灵活，具有创新性，具有很好的示范性。

2、天津卓朗科技园能源站作为华北地区首个成功应用中深层地热井内换热供热技术的项目，经过一个采暖季的实践检验，表明该项技术具有很强的可行性和推广性。运行效果经第三方机构现场实测后得出，中金能源所研发的“中深层地热井内换热供热技术”**相关技术已在国内处于领先地位。**

3、该技术在天津地区的创新性应用为北方清洁能源供热市场树立了一个很好的示范，在地热资源及政策条件适宜地区**具备推广价值。**

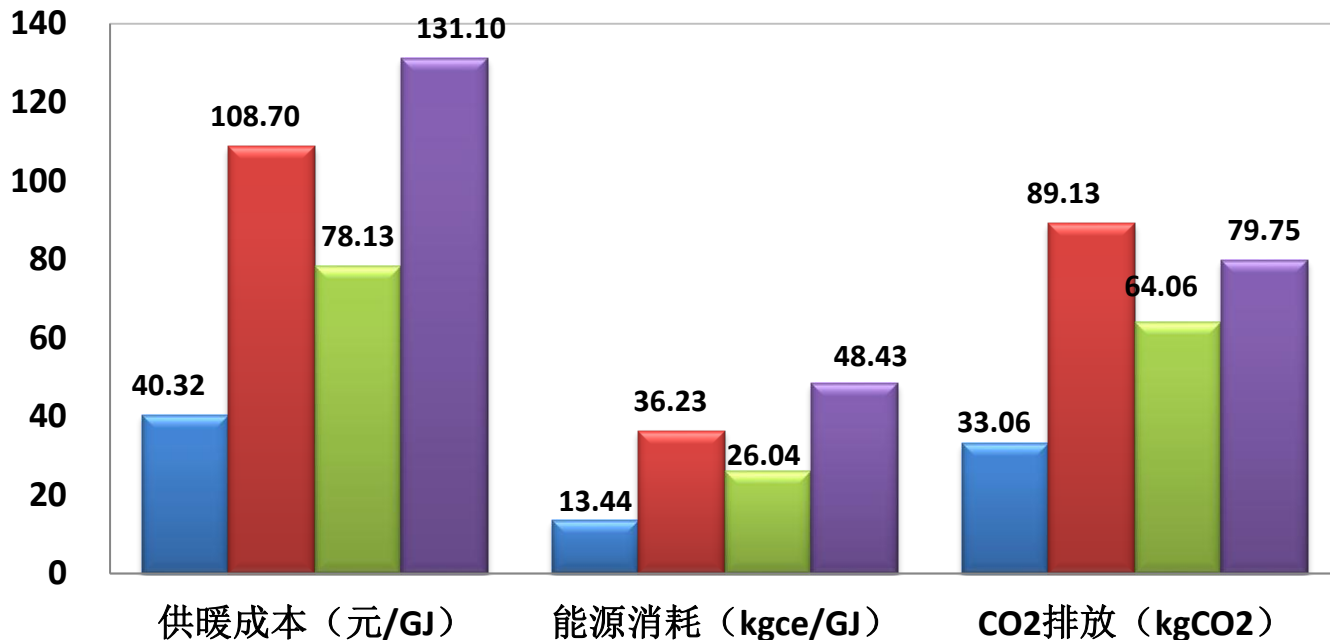




- 一、地热供暖的机遇和挑战
- 二、中深层地热井内换热的技术机理
- 三、示范项目和专家论证会
- 四、适宜性和经济性分析

4.1 中深层地热井内换热供热系统的适宜性

中深层地热技术 VS 传统供热方案的运行能耗比较



■ 中深层地热井内换热系统 ■ 空气源热泵系统 ■ 地源热泵系统 ■ 燃气锅炉系统

备注：

燃气价格：3.6元/kWh

电价：0.9元/kWh

燃气热值：8200kcal/m³

4.2 中深层地热井内换热供热系统的经济性分析

天津地区中深层地热供热技术应用经济性测算表

建筑类型	供热方案	能源单价 (电力)	热力配套标准	供能服务费收费标准			设计负荷指标		耗冷热量指标		单井供热能力		
				采暖	制冷	小计	供热	供冷	耗热量	耗冷量	单井 取热量	单井 供热量 (含热泵)	单井 供热面积
		元/kWh	元/m ³	元/m ³	元/m ³	元/m ³	W/m ²	W/m ²	GJ/m ²	GJ/m ²	kW/口	kW/口	m ²
公建	深层地热	1	160	40	30	70	50	80	0.29	0.25	600	700	14000
住宅	深层地热	0.8	122	25	/	25	35	0	0.22	/	600	700	20000
建筑类型	供热方案	项目投资				单位面积运营成本及收益					经济性指标		
		钻井成本		空调机房成本	总投资小计	采暖	供冷	维保及人工	运营成本合计	运营收益	静态回收期	静态回收期	内部收益率 IRR 所得税前 (考虑入住率)
		万元/口	元/m ³	元/m ³	元/m ³	元/m ³	元/m ³	元/m ³	元/m ³	元/m ³	元/m ³	不考虑入住率	
公建	深层地热	378	270	100	370	14.5	15.0	7.0	36.5	33.5	7.2	7.5	12.8%
住宅	深层地热	378	189	55	244	8.6	/	4.5	13.1	11.9	10.3	12.4	5.7%
住宅	地热占70%	265	132	38.5	171	6.0	/	/	/	/	/	/	/
燃气价- 2.37	锅炉占30%	/	/	12	12	5.7	/	/	/	/	/	/	/
	合计	/	/	/	183	11.7	/	4.5	16.2	8.8	6.9	8.7	11.4%

4.2 中深层地热井内换热供热系统的经济性分析

北京地区中深层地热供热技术应用经济性测算表

建筑类型	供热方案	能源单价 (电力)	投资补贴 额	投资补贴 率	供能服务费收费标准			设计负荷指标		耗冷热量指标		单井供热能力		
					采暖	制冷	小计	供热	供冷	耗热量	耗冷量	单井 取热量	单井 供热量 (含热泵)	单井 供热面积
					元/m ²	元/m ²	元/m ²	W/m ²	W/m ²	GJ/m ²	GJ/m ²	kW/口	kW/口	m ²
公建	深层地热	1	120	30%	47	30	77	50	80	0.29	0.25	600	700	14000
住宅	深层地热	0.8	106	40%	30	/	30	35	0	0.22	/	600	700	20000
建筑类型	供热方案	项目投资				单位面积运营成本及收益					经济性指标			
		钻井成本		空调机房成本	总投资小计	采暖	供冷	维保及人工	运营成本合计	运营收益	静态回收期	静态回收期	内部收益率 IRR 所得税前 (考虑入住率)	
		万元/口	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	不考虑入住率		考虑入住率 公建前3年- 80%/90%/100% 住宅前3年- 70%/80%/90%
公建	深层地热	420	300	100	400	14.5	15.0	7.0	36.5	40.5	6.9	7.8	13.2%	
住宅	深层地热	420	210	55	265	8.6	/	4.5	13.1	16.9	9.4	9.9	9.4%	
住宅 燃气价- 2.36	地热 占70%	336	147	38.5	186	6.0	/	/	/	/	/	/	/	
	锅炉 占30%	/	/	12	12	5.7	/	/	/	/	/	/	/	
	合计	/	/	/	198	11.7	/	4.5	16.2	13.8	6.6	10.3	9.2%	

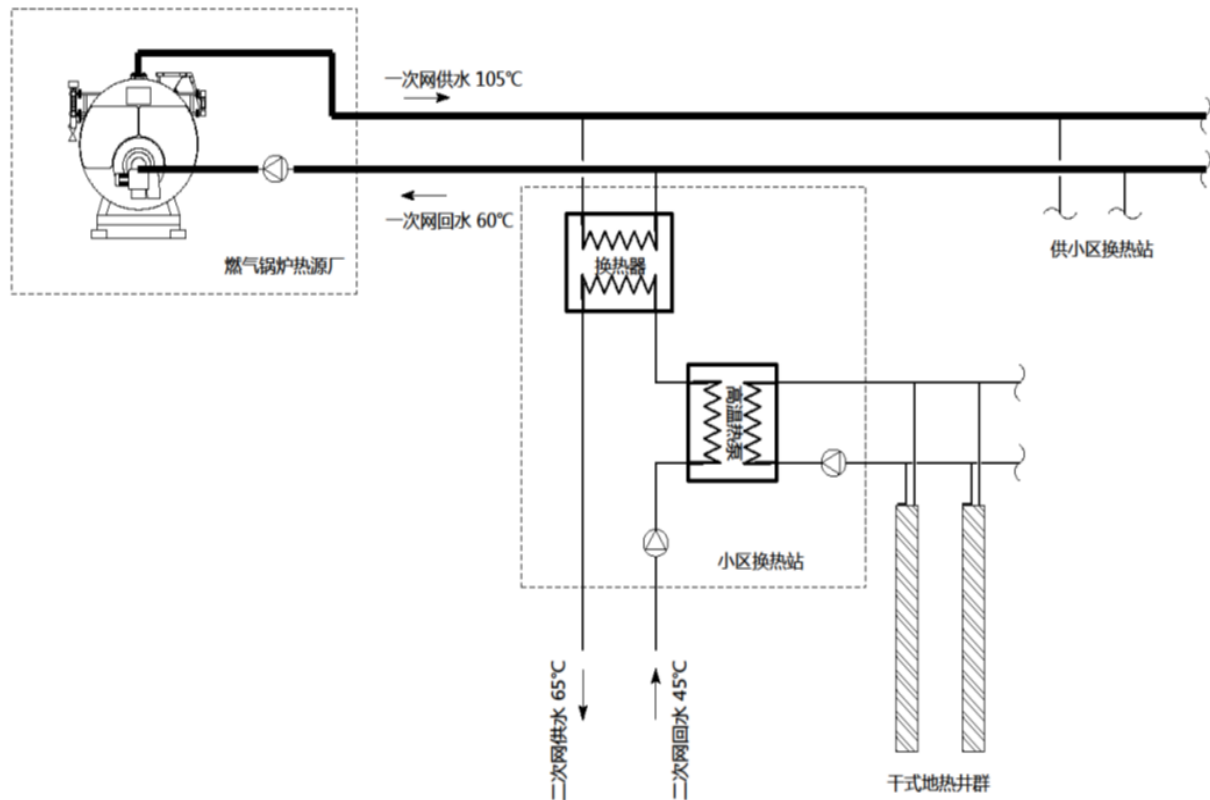
4.2 中深层地热井内换热供热系统的经济性分析

西安地区中深层地热供热技术应用经济性测算表

建筑类型	供热方案	能源单价 (电力)	热力配套标准	供能服务费收费标准			设计负荷指标		耗冷热量指标		单井供热能力		
				采暖	制冷	小计	供热	供冷	耗热量	耗冷量	单井 取热量	单井 供热量 (含热泵)	单井 供热面积
		元/kWh	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	W/m ²	W/m ²	GJ/m ²	GJ/m ²	kW/口	kW/口	m ²
公建	深层 地热	1	98	30	30	60	45	75	0.26	0.23	600	700	15556
住宅	深层地热	0.5	98	23.2	/	23.2	35	0	0.22	/	600	700	20000
建筑类型	供热方案	项目投资				单位面积运营成本及收益					经济性指标		
		钻井成本		空调机房成本	总投资小计	采暖	供冷	维保及人工	运营成本合计	运营收益	静态回收期	静态回收期	内部收益率 IRR 所得税前 (考虑入住率)
		万元/口	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	元/m ²	不考虑入住率	
公建	深层 地热	286	184	100	284	13.0	14.0	7.0	34.0	26.0	7.1	8.7	11.2%
住宅	深层 地热	286	143	55	198	5.6	/	4.5	10.1	13.1	7.6	8.8	11.1%
住宅 燃气价- 2.77	地热 占80%	229	114	44	158	4.5	/	/	/	/	/	/	/
	锅炉 占20%	/	/	8	8	4.4	/	/	/	/	/	/	/
	合计	/	/	/	166	8.9	/	4.5	13.4	9.8	7.0	8.3	12.3%

4.3 技术应用方案——居民集中供热

中深层地热+燃气锅炉调峰方案



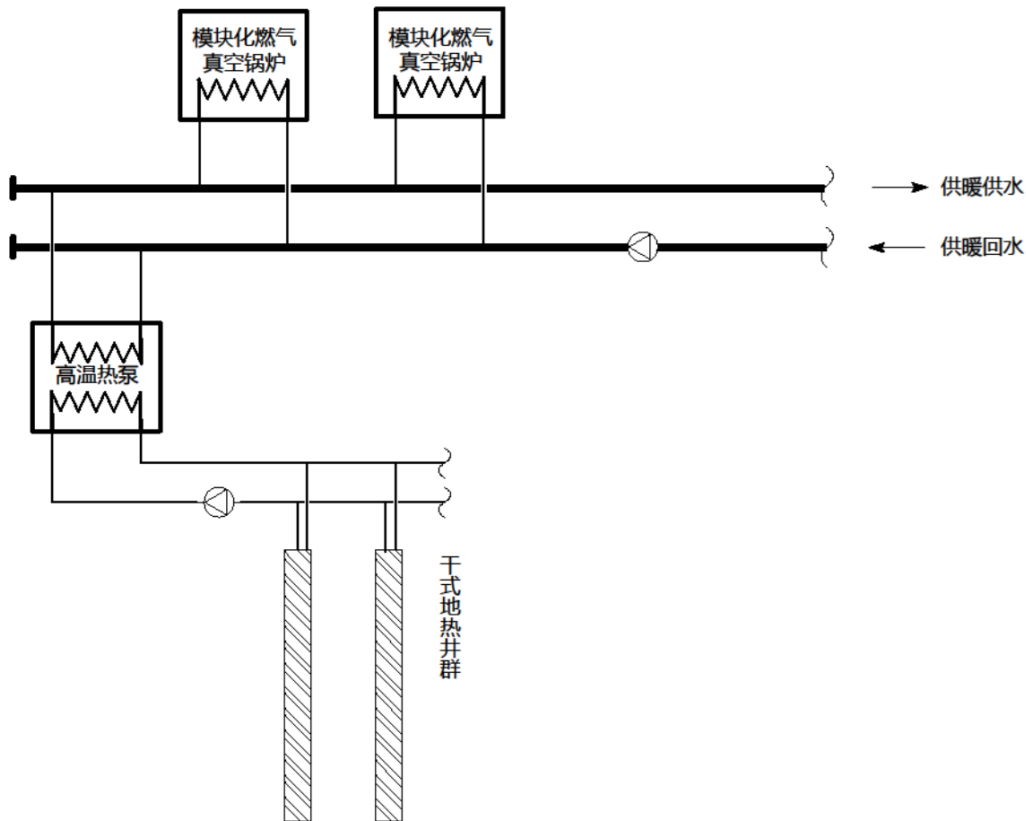
方案简介：在小区换热站建能源站，中深层地热系统承担基础负荷，热源厂燃气锅炉作为调峰和备用热源

适用项目：市政燃煤或燃气供热系统改造，新建市政供热系统

方案特点：节能减排，为市政供暖系统扩容

4.3 技术应用方案——分布式供热

中深层地热+燃气锅炉调峰方案



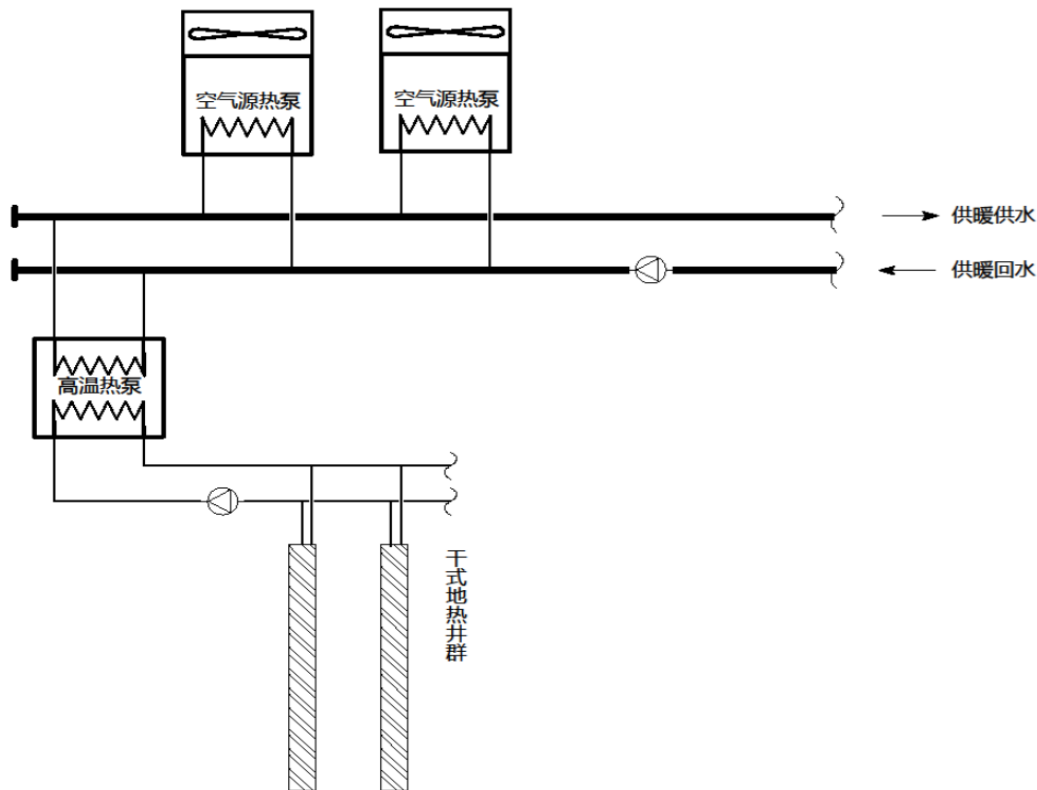
方案简介：能源站内设中深层地热系统和模块化燃气真空锅炉系统，中深层地热系统承担基础负荷，燃气锅炉作为调峰和备用热源

适用项目：无集中供暖，有燃气供应，燃气价格相对较低的项目

方案特点：布置灵活，建设相对较低

4.3 技术应用方案——分布式供热

中深层地热+空气源热泵方案



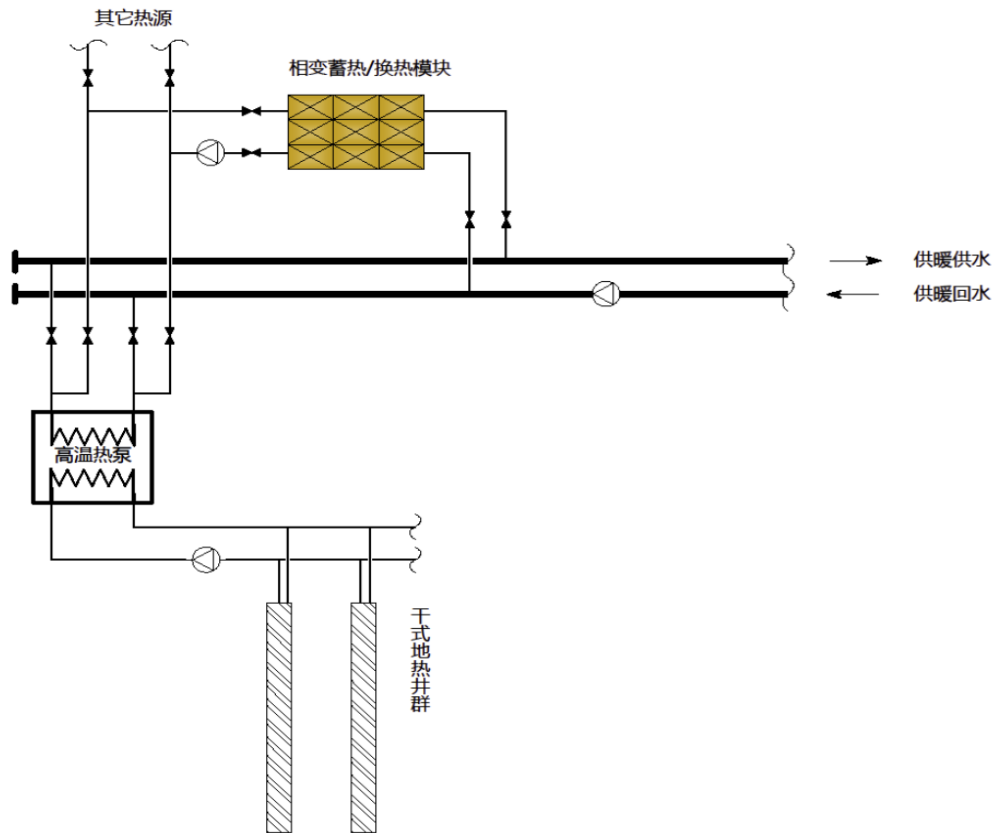
方案简介：能源站内设中深层地热系统和空气源热泵系统，中深层地热系统承担基础负荷，空气源热泵系统作为调峰热源

适用项目：无集中供暖，配电量足够，用电价格相对较低的项目

方案特点：布置灵活，零排放

4.3 技术应用方案——分布式供热

中深层地热+相变蓄热方案



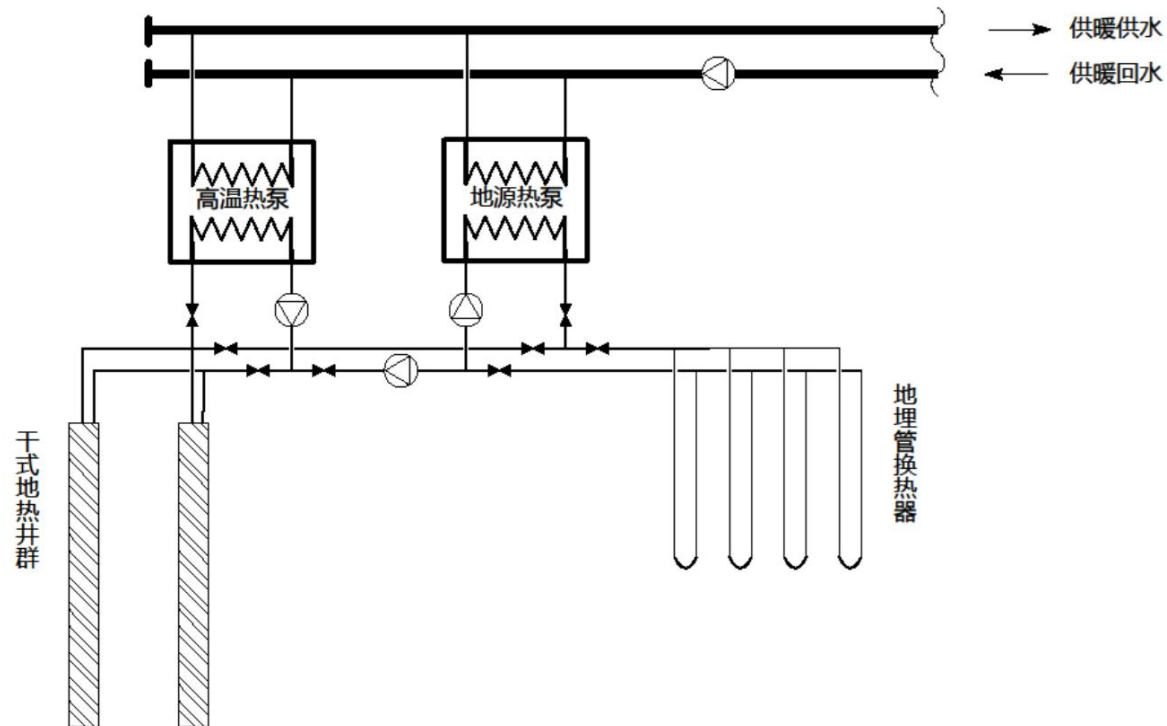
方案简介：能源站内设中深层地热系统和相变蓄热系统，利用夜间谷电低成本蓄热，电价高的峰电阶段放热供暖

适用项目：配电量足够，有峰谷电价，谷电价格低的项目

方案特点：运行费用低，零排放

4.3 技术应用方案——分布式供热

中深层地热+地源热泵方案



方案简介：能源站内设中深层地热系统和地源热泵系统，中深层地热系统承担基础负荷，地源热泵系统作为调峰热源

适用项目：无集中供暖，有足够（地埋管）钻井场地的项目

方案特点：节能，运行费用低，零排放，建设成本较高



微信公众号：ccienergy



上海中金能源投资有限公司

公司地址：上海市徐汇区漕溪北路333号中金国际广场B座22层
公司总机：021-62376600
公司传真：021-62377313
公司网址：www.ccienergy.com