



# 散煤治理与清洁取暖工作指南

## ——基于京津冀清洁能源改造项目研究

# 技术案例集

清洁空气创新中心  
北京市环境保护科学研究院

2017.11

## 前 言

近年来，京津冀地区散煤治理与清洁取暖工作取得了积极成效，但是，在散煤治理与清洁取暖的推进过程中，也出现了各种问题与挑战：一些地方政策出台比较仓促，没有充分考虑各种潜在可应用的清洁取暖技术，技术选取较为单一；部分地区在制定清洁取暖改造方案时对不同技术的适用性考虑不足，技术应用缺乏可持续性；个别地区清洁能源改造方案的资金机制不完善，缺乏有效的激励约束，出现了居民复烧燃煤等现象。

分析原因，主要是由于选用技术与当地实际情况及需求的不匹配造成的。此外，散煤治理与清洁取暖是一个系统性问题，在制定具体技术路线时，不仅要考虑改造技术本身的技术性能和适用条件，还需综合考虑城乡规划、电网和天然气管网等基础设施的需求、能源和自然资源的可持续供应、二次污染等因素。

本案例集是清洁空气创新中心（清洁空气联盟秘书处）与北京市环境保护科学研究院共同开展的“京津冀区域清洁能源改造典型案例分析及政策建议项目”产出之一。经过一年多的资料分析、调研评估和多次专家评审会，项目产出了《京津冀区域清洁能源改造典型案例分析及政策建议研究报告》和《散煤治理与清洁取暖工作指南》、《散煤治理与清洁取暖技术与案例集》。

本技术与案例集适用于以京津冀地区为代表的北方地区，其配合《散煤治理与清洁取暖工作指南》的使用，意在支持促进京津冀地区有效开展燃煤治理与清洁取暖工作，解决区域冬季灰霾污染问题，实现改善空气质量、保障人民健康目标。本技术与案例集针对燃煤供热锅炉和散户燃煤供暖，为包括城县建成区、城乡结合部、农村地区、边远农村地区在内的不同区域提供制定清洁取暖工作方案和技术参考，支持各级政府开展清洁取暖工作。

## 目录

<b>1 燃煤锅炉改造类技术</b> .....	<b>1</b>
1.1 工业余热综合利用 .....	1
1.1 案例：河北省迁西县工业余热供暖项目 .....	6
1.2 移动余热储能利用技术 .....	10
1.2 案例：河北邢台宾馆移动式余热利用项目 .....	15
1.3 蓄热式电锅炉技术 .....	20
1.3 案例 A 河北省廊坊市新动批商城蓄热式电极锅炉应用 .....	25
1.3 案例 B 北京市延庆区固体蓄热电锅炉供暖 .....	29
1.4 燃气锅炉技术 .....	32
1.4 案例 A 山东省济南大学冷凝式天然气锅炉应用 .....	36
1.4 案例 B 北京市顺义区某低氮燃气锅炉应用 .....	40
1.5 地热能利用 .....	44
1.5 案例 A 北京市昌平区永旺国际商城土壤源热泵 .....	50
1.5 案例 B 河北省雄县地热井供暖项目 .....	54
1.6 生物质锅炉 .....	56
1.6 案例 河北省石家庄市某镇政府煤改生物质供暖项目 .....	60
1.7 分布式燃气冷热电三联供 .....	63
1.8 其他 .....	67
<b>2 民用散煤改造类技术</b> .....	<b>69</b>
2.1 空气源热泵 .....	69
2.1 案例：北京市房山区某村煤改空气源热泵项目 .....	75
2.2 蓄热式电暖气 .....	79
2.2 案例：北京市通州区村煤改蓄热式电采暖项目 .....	84
2.3 燃气壁挂炉 .....	88
2.3 案例 北京市通州区某村燃气壁挂炉应用 .....	93
2.4 太阳能光伏 .....	97
2.4 案例 北京亦庄经济开发区独栋商建分布式光伏项目 .....	103
2.5 其他民用散煤改造技术 .....	108
<b>附件 1 指标核算方法</b> .....	<b>114</b>

1 计算方法概述 .....	114
2 环境性指标 .....	114
3 经济性指标 .....	116
4 综合性指标 .....	116
<b>附件 2 废气排污费征收标准及计算方法 .....</b>	<b>118</b>

技术及其案例将针对燃煤锅炉改造和民用散煤改造的技术路线来划分：

规模	技术路线	典型应用案例	类型
燃煤锅炉改造	工业余热综合利用	河北迁西钢厂余热利用供暖项目	余热利用
	移动余热利用	河北省邢台宾馆项目	余热利用
	燃气锅炉	北京顺义区供热站项目	煤改气
		山东济南大学一体式低氮冷凝锅炉项目	煤改气
	蓄热式电锅炉	河北廊坊新动批电极锅炉项目	煤改电
		北京延庆八达岭经济开发区项目	煤改电
	地热能利用	北京昌平永旺国际商城项目	可再生能源
		河北雄县某村地热供暖项目	可再生能源
	生物质锅炉	河北石家庄生物质锅炉供暖项目	可再生能源
	分布式燃气冷热电三联供	-	煤改气
醇基锅炉	-	-	
民用散煤改造	热水型空气源热泵	北京房山区某村煤改电项目	煤改电
	蓄热式电暖器	北京通州区某村煤改电项目	煤改电
	太阳能光伏	北京亦庄经济开发区项目	可再生能源
	燃气壁挂炉	北京通州区某村煤改气项目	煤改气
	浅层地热能热泵	-	可再生能源
	太阳能热泵	-	可再生能源
	碳纤维电采暖	-	煤改电
	被动式能源建筑	-	-
	洁净型煤	-	-

# 1 燃煤锅炉改造类技术

## 1.1 工业余热综合利用

说明：在本指南中，工业余热综合利用是指将低品位工业余热通过换热技术及管线传输的方法满足用户端供暖需求。

### 技术概要

#### ● 技术简介

工业余热主要是工矿企业热能转换设备及用能设备在生产过程中排放的废热、废水、废气等低品位能源，利用余热回收技术将这些低品位能源加以回收利用，为建筑物供热，节约能源的同时，还可以减少燃煤供暖锅炉的需求和散煤用量，降低大气污染物排放。本指南所指低品位余热是  $100^{\circ}\text{C}$  以下的液体、乏汽余热、 $200^{\circ}\text{C}$  的烟气余热、 $400^{\circ}\text{C}$  左右的固体显热，以及其他因热源分散、回收成本高等原因尚未充分利用的中高品位余热资源等。

工业余热资源十分丰富且广泛存在于各种生产过程中，特别在煤炭、石油、钢铁、化工、建材、机械和轻工等行业更是如此，被视为继煤、石油、天然气、水力之后的第 5 大常规能源。但是，这些行业生产过程中有很多工艺自身难以利用的低品位余热，通过高效换热及吸收式热泵大温差换热，可以深度挖掘低品味余热利用的潜力，将低品位热源用于采暖提高能源利用效率。

## ● 技术原理

低品位工业余热回收利用可以分为几个部分，余热的采集与整合、余热的传输，用户侧的使用。

## ● 技术类别

按照低品位余热的分类如图：



图 1.1.1 低品位工业余热的分类

## ● 应用情况

国内已有相当数量的余热供暖项目建成并运行，如宣钢、济钢的高炉冲渣水供暖项目、石家庄石化工业冷却循环水供暖项目等。绝大多数低品位工业余热供暖系统的形式主要可分为：1) 利用特定换热设备回收较高温度热源高炉冲渣水的

热量；2）利用电热泵、吸收式热泵等热功转换设备回收较低温度热源（如冷却循环水）的热量，提升温度后用于供暖。

## ● 适用条件

低品位工业余热供暖的热源成本远低于燃煤和天然气供暖，在经济和技术上均具有较好的可行性。在供应侧需要周边具有稳定的工业余热资源。在用户侧，需要用户集中居住，具备一定的集中供热管网条件以及相对稳定的供暖需求。

## ● 自然条件

具体的可行性需要结合供热量、需热量和低品位余热的温度、供热距离等要素进行核算。

## ● 基础设施

原有小区应具备一定的集中供热管网。

## ● 其他

**资源再利用：**对低品位余热资源的利用，可以有效减少工厂工艺流程中的散热需求和能耗，是对资源的有效再利用，同时起到了节水节能的作用。

**负荷调节：**由于工业生产的过程常存在波动，不能够像锅炉一样稳定出力，需要辅助合理可控的负荷调节手段。

## 技术特点

### ● 技术性

**能效：**利用电热泵或吸收式热泵，将低品位热源的热量充分提取用于供暖。

**技术成熟性：**高效换热器研发充分，技术日臻高效；吸收式热泵原理成熟；关键部件（如压缩机、膨胀阀、换热器、冷媒）技术成熟。

### ● 环境性

**污染减排效益：**由于传输热水和换热等使用的主要是电能，本地污染物零排放。

**节约用水：**避免了工业生产流程中的冷却水消耗，起到了节水效果。

**二次污染风险：**需要避免工业生产业主由于自身生产关系民生供暖而减少对自身排放的控制和治理，保证其在工艺流程中没有二次污染。

### ● 经济性

低品位工业余热利用的主要经济投入，包括取热装置、传输管道和用户侧的换热和输送。

**基础设施：**根据实际情况需要建立新的高效换热站。

**设备成本：**管网建设，取热设备以及用户端换热设备。

**运维成本：**在与工业供暖企业商定合适的热源费用情况下，热源成本不高，同时设备无需特殊维护，维护成本正常。

### ● 其他

**舒适度：**与燃煤锅炉集中供暖比较，室内供暖温度达标。

**利用现有设施：**可继续使用用户侧已经建成的供暖管网。

## 执行要点

### ● 规划整合

由于设备投资及管网改造成本较高，一旦设计规划，应当长期使用，短期有拆迁计划的区域不适宜。同时，也应该考虑本地区的人口流动趋势，确保人口不会大规模输出，避免需求锐减带来的损失。

### ● 补贴需求

补贴分为两部分：一部分是建设期国家给予的扶持性补贴，对绿色供热、清洁取暖工程给予补贴；另一部分是在运行期为供热企业争取合理的热源费用，避免由于工业企业大幅上调价格导致供热项目无法合理运行。

### ● 改造难度

改造工程耗资大，需要合理调配资源。

### ● 使用培训

原有集中供热公司的团队经过培训后可以继续参与运营。

## 其他参考文件

2015年10月29日，国家发展改革委和住房城乡建设部联合发布了《余热暖民工程实施方案》，首次从中央政府层面鼓励并规范了低品位工业余热供暖工程的实施。

## 1.1 案例：河北省迁西县工业余热供暖项目

### 案例综述

#### ● 项目描述

迁西县热力公司成立于 2002 年，是县住建局所属自收自支事业单位，负责城区集中供暖设施的规划、建设和管理。迁西热力公司针对燃煤锅炉供暖如何向低污染、高效率、循环利用和市场化运行方向发展进行了多次调研，召开了多次论证分析会。2014 年 6 月 30 日，注册成立迁西富龙热力有限责任公司，负责项目建设和运行，确定通过迁西县城周边的津西、津西特钢两座钢铁厂部分生产流程进行改造，提取并回收钢铁厂生产过程中产生的低品位余热，通过长距离输送，为迁西县城热用户供暖。

2015-2016 年供暖季，在津西产区新安装使用了两台（1 台 30MW，1 台 17MW）工业余热汽水换热器、两台 35MW 的蒸汽吸收机热泵，低压饱和蒸汽投入使用，实现迁西全部利用工业余热对城区集中供暖，供暖面积 360 万 m<sup>2</sup>。

#### ● 调研介绍

清洁空气创新中心与北京市环境保护科学研究院于 2017 年 4 月 10 日赴迁西县调研长距离工业余热用于城市集中供暖的应用情况。

## 案例技术介绍

### ● 技术原理

钢铁厂在生产过程中有大量低品位工业余热，由于钢铁厂自身无法利用而被排放，通过提取这部分工业余热，再配合钢铁厂内低压余热蒸汽，可基本解决近期迁西县供热需求。随着县城规模的不断发展，在县城热力站内安装吸收式热泵，降低一次网回水温度，可以拉大供回水温差，降低输配能耗，增加余热回收率，县城原有燃煤锅炉配合调峰，最终可利用工业余热基本解决迁西县城远期供热问题。



图 1.1.2 迁西县城供暖图

### ● 运行描述

供暖季全天运行。

## ● 经济投入

投资	初投资（亿元）	4.8
	供暖面积（万 m <sup>2</sup> ）	360
运行费用	人员工资与燃料费用（万元/年）	832.89

## 案例技术特点

为实现系统稳定高效运行，项目研发了专用的新型立式吸收式换热器，降低一次网回水温度，实现了大温差供热，提升了余热回收效率，提高了管网输送能力。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

按每年供暖季平均用煤 74300t 计算大气污染物减排量。

燃煤替代量(t/a)	烟尘减排量（kg/a）	NO <sub>x</sub> 减排量（kg/a）	SO <sub>2</sub> 减排量（kg/a）
74300	203450	218300	584350

### ● 减排成本分析<sup>1</sup>

指标名称		费用
初投资成本 （万元）	基础建设	48000
	设备购置	
运行维护成本 （万元/年）	电费	120
	维修维护费	0
人力成本（万元/年）		712.89
采暖期室内温度（℃）		18
污染物减排年成本（元/（污染当量数•年））		25.93
吨煤年替代成本（元/（吨煤•年））		327.66
单位面积供暖成本 （元/（m <sup>2</sup> •年））	全成本	6.1
	运行成本	2.1

<sup>1</sup> 未考虑通货膨胀，其他经济因素

## 补充信息

- **问题：**一次网供热量缺少可控调节手段，面对极寒天气缺少应急手段保障供暖稳定。
- **用户体验及反馈：**与燃煤锅炉集中供暖差别不大。

## 相关设备信息

主要技术参数	立式吸收式换热器
型号	VAHEX-225
一次网流量	3m <sup>3</sup> /h
二次网流量	19.4 m <sup>3</sup> /h
一次网承压	0.8MPa
二次网承压	1.4MPa
耗电功率	5.01kW
供热量	225kW
一次网进/出水温	90/25℃
二次网进/出水温	40/50℃
尺寸	1.3m*1.3m*4.5m
配电	三相、380V、50Hz
机组重量	1700kg

## 1.2 移动余热储能利用技术

说明：在本指南中，移动余热利用，是指通过相变储能材料，将热源端的热量采集，通过车辆运输储能后的相变储能模块到供热需求用户端，再通过换热将相变储能模块中的热量释放，满足用户端供暖需求。

### 技术概要

#### ● 技术简介

移动余热的利用术通过车载相变储能，将余热用于采暖。相变储能技术作为清洁能源稳定利用的核心模块，可将余热高效储存，实现“绿色多热源互联网”，用低廉的低品位余热替代昂贵的化石燃料供热，不仅能减少化石燃料消耗实现大气污染物减排，还能提高供热管网的稳定性和能源利用效率。

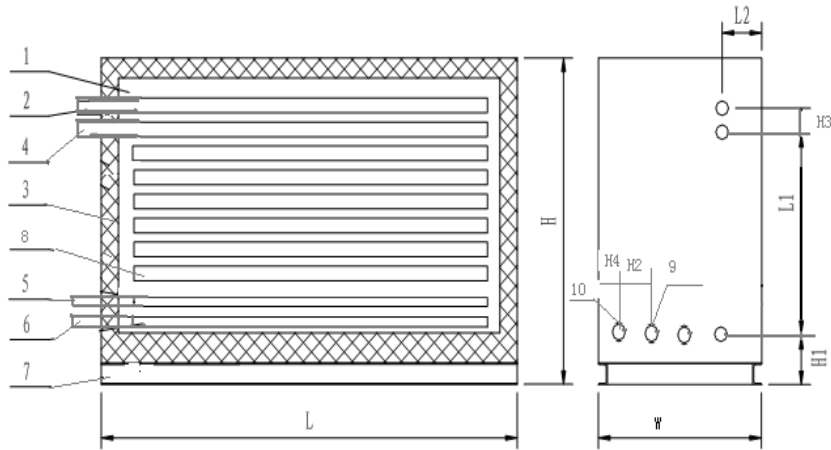
将蓄热材料制作成储能元件，可依据不同热源特点，利用该元件组装生产多种功能的蓄热产品，实现产品的生产规模化与集成化。产品的蓄热性能稳定，24小时降温不超过2摄氏度。

通过车载传送储能模块，可以减少管网建设等基础设施投入，机动灵活。

#### ● 技术原理

通过本技术的蓄热单元可将工业低品位余热吸收利用，通过车载蓄热模块运输，在用户端换热进行供热。

相变蓄热装置由余热回收换热器、蓄热元件、供热换热器、导热介质、蓄热箱体、保温壳体、供热控制系统等组成，如下图所示。



1、传热介质 2、进水口 3、保温层 4、出水口 5、冷凝水出口 6、余热蒸汽进口 7、底座 8 蓄热单元 9、补水口 10、排污口

图 1.2.1 相变蓄热装置结构示意图

功能性蓄热装置的蓄热放热工作原理如下图所示。

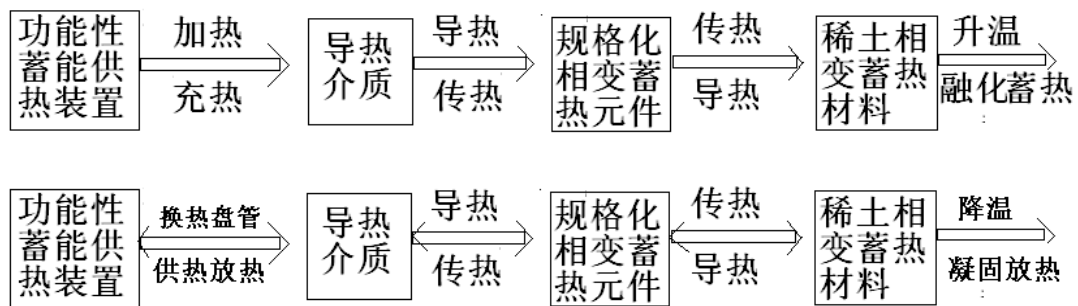


图 1.2.2 功能性蓄热装置的蓄热放热工作原理示意图

## ● 技术类别

蓄能类别按照相变温度可分为高温储能材料，中温储能材料和低温储能材料。

按相变材料的组成成分可分为无机类、有机类和混合类。

## ● 应用情况

目前，已在北京、天津、山东、山西、辽宁、新疆等多地的热电集团以及企业用户得到应用。

## 适用条件

适用工业生产中产生中低温（如 200℃ 以下）余热资源和有供暖、供热需求地区。

### ● 自然条件

该技术对当地冬季温度有一定要求，需要结合供热量、需热量和供热距离等要素进行可行性分析。

### ● 基础设施

需求用户侧应具备供热管网，同时距离热电厂等工业余热提供端的距离在合理范围内，避免由于运输成本上升影响项目的经济性和环境效益。

### ● 其他

**水暖双供：**由于使用灵活，移动余热车在非取暖季可以继续为宾馆、洗浴、酒店供热加热自来水或提供生活热水。

**高效灵活：**用户侧的使用需求发生变化时，可以将移动余热车调往其他用户处，避免管网建设后，由于拆迁等规划变动，带来的管网投资浪费。同样，热源侧发生变化时，也可选择其他热源。

**空间：**由于采用模块化应用，移动余热车实现了空间的高效利用。

**可应急调动：**通过对移动余热车的有效调动，满足常规供热及突发性供热服务要求。

**多能互补：**除了利用工业余热，该技术还可以利用太阳能、风能等可再生能源及低谷电对为移动余热车蓄能。该技术适用于上述可再生能源较为丰富，但存在上网困难的区域，可实现以相变储热技术为纽带构建多热源联网的清洁能源供热系统。

## 技术特点

### ● 技术性

**能效：**相变储热技术比较成熟，设备的保温效果较好，热损小，热效率可达 98%。

**技术成熟性：**部分该类型技术已经入选北京市节能低碳技术产品，以及国家科技部科技惠民目录。储热能力基本无衰减，可长期使用。

**其他：**车辆设备充热、放热时间在 30-40 分钟。

### ● 环境性

**污染减排效益：**与燃煤锅炉相比，减少了本地污染物排放。但是由于载有储热模块的柴油车在运输过程中会产生尾气排放，因此，需要核算运输距离及相应燃油污染排放，确保本地污染物排放下降。

**碳减排：**与燃煤锅炉相比，减少了煤炭的燃烧。但由于运输过程需要消耗柴油，考虑到柴油机排放的黑碳量较高，需重点测算合理运输距离。

**二次污染风险：**柴油车需要做好排放处理，避免造成二次污染；热源侧设有固定式蓄热站，产生的冷凝水应该按有关规定排放。

## ● 经济性

移动储能技术用于余热回收利用的成本包括固定基础设施建设成本、车辆购置成本和运维成本。

**基础设施：**根据热源的稳定情况，需要在热源侧建设固定式蓄热站及配套系统。

**设备成本：**车辆及储能模块箱 50-100 万元/辆。

**运维成本：**主要包括热源费用、车辆运输成本、人工成本和泵运行的电耗等。

## ● 其他

**舒适度：**相较于燃煤锅炉集中供暖，室内供暖温度达标。

**利用现有设施：**可继续使用用户已经建成的供暖管网。

## 执行要点

### ● 规划整合

对于老旧小区，无天然气管线，电网设施陈旧，且短期面临拆迁风险，电力设施升级改造困难。如果已经建有热力管道，燃煤锅炉房取代可以直接利用移动余热供暖，即使将来规划拆迁，也可以继续使用移动余热车为其他地方供暖。

在进行热源选择与规划时要综合考虑该地区未来的产业与规划，需要进行备用热源的规划。

## ● 补贴需求

由于该技术应用成本较高，需要针对用户和供热单位设计一定补贴，保证正常运行，避免造成供暖中断产生民生问题。

## ● 改造难度

用户端改造工程量小、改造时间短。

## ● 使用培训

对于用户无需特殊培训，但运行方运维压力比较大，需要专业的运维团队及技术支持。

## 其他参考文件

暂无。

## 1.2 案例：河北邢台宾馆移动式余热利用项目

### 案例综述

#### ● 项目描述

河北省邢台市旭阳煤化工有限公司在环己烷生产过程中产生大量蒸汽，直接对外排空。每小时蒸汽量 4t，通过蓄热站及移动供热车对放散蒸汽进行回收，减少了能源的浪费。每天热源取热 30 蒸吨，用于邢台宾馆 2 万 m<sup>2</sup> 的供暖。

#### ● 调研介绍

清洁空气创新中心与北京市环境科学研究院于 2017 年 4 月 11 日，对于中益能技术有限公司发出了调研问卷，对于项目情况进行了调研。

## 案例技术介绍

### ● 技术原理

主要技术原理同技术概要。项目运行流程如下图所示：

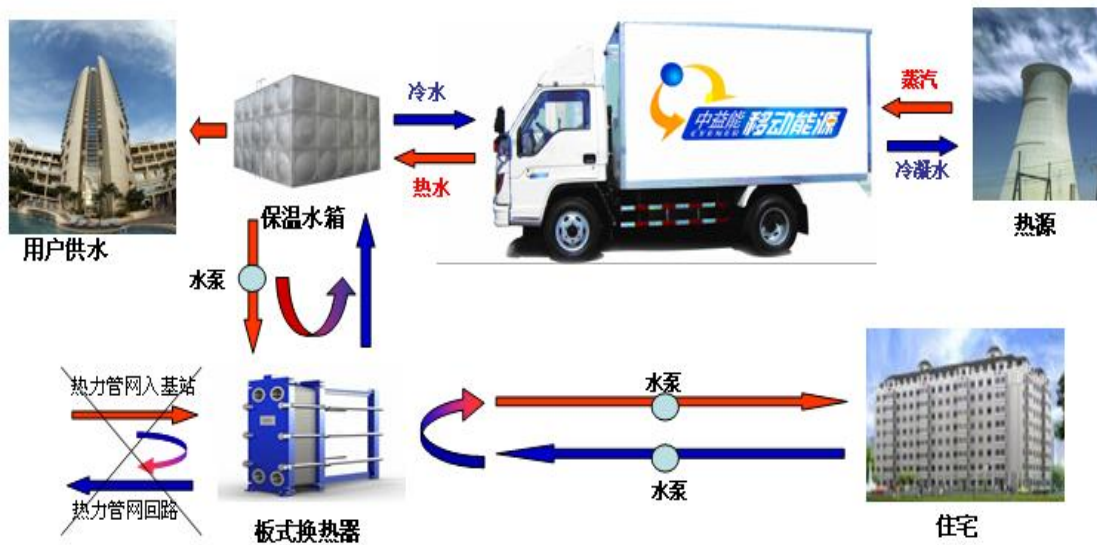


图 1.2.3 移动余热供暖运行流程图

### ● 运行描述

本项目热源包括一台 15GJ 蓄热站及配套设置，4 辆移动余热车，每天每辆车往返 6 车次，单程 7km，供暖面积 2 万  $m^2$ 。供暖季 120 天中，以供暖为主，供暖季后，主要是替代燃煤锅炉为邢台市招待所、洗浴等提供生活热水。运行人员包括 1 名主管经理、4 名司机（两班倒）、2 名充热工（两班倒）和 1 名后勤统计人员。

## ● 经济投入

经济投入包括热源端一台蓄热站及配套设备、供热车等的购置费用，以及运行电费，供热车油耗及维修费用、保险等费用，人员工资，热源成本等，如下表所示：

项目	成本
蓄热站及配套设备、系统	230 万元
4 台供热车	300 万元
用电	85.6 元/天
供热车的油耗	30L/100km
供热车	650 元/天
人员工资	37000 元/月
热源成本	2335.8 元/天

目前，一个采暖期运行成本共 506296 元，折合单位面积年运行成本为 25.31 元/（m<sup>2</sup>·年）。

## 案例技术特点

据介绍，稀土相变蓄热材料稳定性好，蓄热性能 10 年无衰减；蓄热装置常压运行，安全性高。采用金属波纹管壳体可以增加传热面积和换热能力。在蓄热过程中，由于采用了波纹管结构加速形成内部对流传热，使得蓄热材料融化速度加快，实现快速蓄热。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

本项目供热面积为 2 万 m<sup>2</sup>，按民用建筑节能设计标准及华北地区单位面积煤耗标准计算，每供暖季平均用煤为 500t。则原燃煤大气污染物排放量为：

燃煤替代量 (t/a)	燃煤烟尘排放量(kg/a)	燃煤 NO <sub>x</sub> 排放量(kg/a)	燃煤 SO <sub>2</sub> 排放量(kg/a)
500	1370	1470	3935

柴油车本地排放按照国四柴油标准及供暖季项目车辆总计行驶 40320 公里计算：

燃油行驶里程 (km/a)	烟尘排放量 (kg/a)	NO <sub>x</sub> 排放量(kg/a)	SO <sub>2</sub> 排放量(kg/a)
40320	2.6	106.3	0

由于柴油车 NO<sub>x</sub> 排放比较显著，车辆必须加装有效的 NO<sub>x</sub> 处理设备，否则可能增加 NO<sub>x</sub> 排放的风险。

### ● 对应减排

烟尘减排量 (kg/a)	NO <sub>x</sub> 排放量(kg/a)	SO <sub>2</sub> 排放量(kg/a)
1367.4	1363.7	3935

## • 减排成本分析<sup>2</sup>

项目		费用
用户成本	设备成本折旧（万元/年）	21.6 <sup>3</sup>
	运行成本（万元/年）	7.8 <sup>4</sup>
	人工工资（万元/年）	14.8
	能源成本（万元/年）	28
	年度成本（万元）	72.2
替代成本	吨煤替代成本（元/t）	1445.9
污染物减排成本	大气污染物单位当量减排成本（元/当量）	116.5

## 补充信息

- **问题：**移动余热车不仅可以在供暖季使用，在非供暖季可以为宾馆等场所提供热量生产热水等，设备利用率更高。
- **用户体验及反馈：**用户表示，供热体验舒适，温度稳定。

## 相关设备信息

指标	数据
15GJ 的固定式蓄热站尺寸	3250mm*3250*mm*7800mm
稀土相变蓄热材料密度	2400kg/m <sup>3</sup>
60°C~90°C 蓄热量	380kJ/kg
相变潜热	281kJ/kg
储热能力	1000kJ/L

<sup>2</sup> 未考虑通货膨胀，其他经济因素

<sup>3</sup> 储能设备按照 30 年，柴油车按 300 万元，使用期 15 年计算

<sup>4</sup> 包括运行电费和车辆运输维修费用。

## 1.3 蓄热式电锅炉技术

### 技术概要

#### ● 技术简介

电锅炉也称电加热锅炉、电热锅炉，它是以电力为能源，并电能转化成为热能，经过锅炉转换，向外输出具有一定热能的蒸汽、高温水或有机热载体的锅炉设备。

蓄热式电锅炉是在电锅炉基础上增加蓄热技术，目的是利用蓄热技术实现错峰用电，合理利用电能，有效降低成本。

#### ● 技术原理

要将电能转换为热能，可以有不同的技术途径，主要包括：利用大功率电热元件通电发热，将电能转换为热能；利用电磁感应元件先将电能转换为电磁能，再将电磁能转换为热能；利用热交换元件直接或间接将传热媒介（常用水）加热，产生热水或蒸汽。

蓄热电锅炉技术可应用于实行峰谷电价机制的地区，在谷电时产热，满足低谷时段建筑物的供暖负荷的同时，将蓄热体加热到一定的温度，在平峰电段停止产热，利用被加热的蓄热体所蓄热量供热。

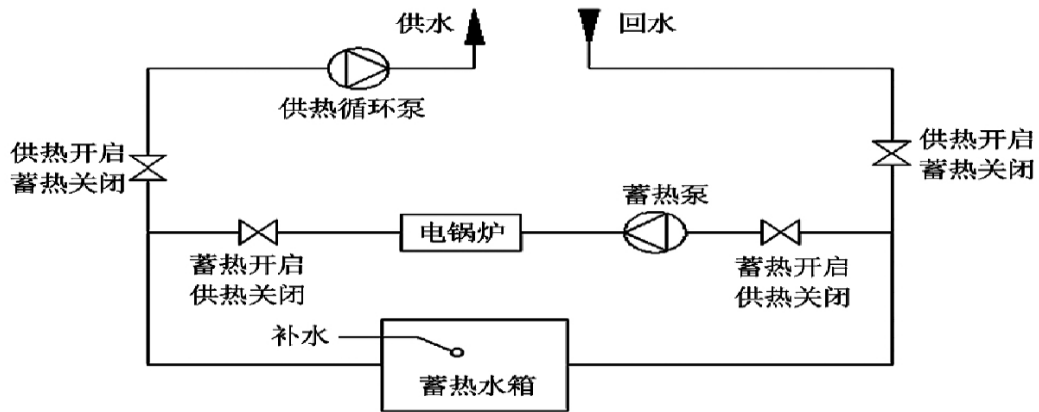


图 1.3.1 直接加热式蓄热循环供热系统

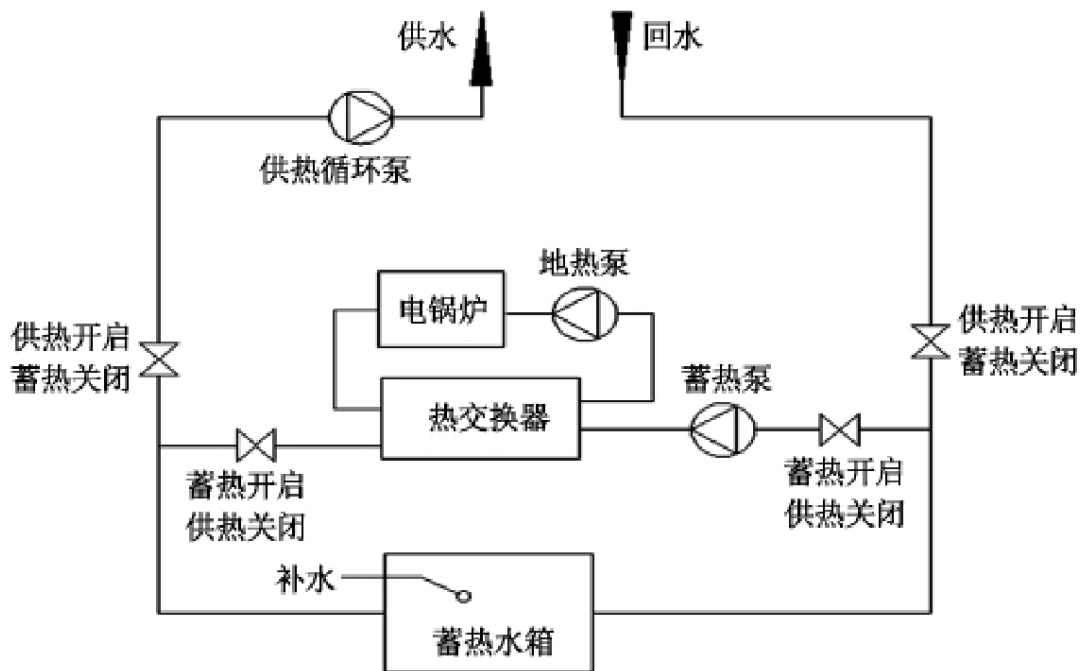


图 1.3.2 间接加热式蓄热循环供热系统

## ● 技术类别

按照蓄热方式可分为水蓄热式和固体蓄热式。按照电加热方式可分为电阻式、电极式、电磁式等。

## ● 应用情况

电锅炉广泛应用于需要热水、蒸汽及有供暖需求的生活和工业场所。

## 适用条件

蓄热式电锅炉有其特殊的适用性，受使用地区电力供应、环境和能源政策等影响，在建设改造时应综合考虑。

### ● 自然条件

该技术没有自然条件使用限制，不受环境因素影响。

### ● 政策条件

大气污染物排放有特殊排放限值区域，可以替代燃煤、燃气锅炉和燃油锅炉。对于常压的热水锅炉，因不属于特种设备，不需要办理锅炉使用证。

### ● 电力供应

由于电锅炉用电量较大，需要配备足够的电负荷，对电网基础设施条件有较高的要求，适合电力充沛、清洁电力富余的地区。另外，由于蓄热式电锅炉响应快、可蓄能的特点，有利于提高光电、风电的消纳能力，能在一定程度上减少弃风弃光现象。

### ● 其他

**冷暖双蓄：**水蓄能系统可以实现蓄冷和蓄热双重功能，在有供冷需求的项目中，蓄能系统可以在需要冷量时通过使用低谷电蓄冷，节约制冷所需电费。

## 技术特点

### ● 技术性

**能效：**电锅炉电热转换效率很高，基本所有的电能都可以转化为热能。在良好施工的情况下，蓄热系统的热损失很小。

**特点：**电锅炉结构简单、占地小，无需烟道、末端处理设备和烟囱，也无需储存燃料的场地。电锅炉噪声低、维修简单、自动化程度高，与燃煤锅炉相比，大幅节约人力投入；锅炉出力可以大范围调节；启动及响应时间短，可以做到及时启动，实时调节。

**技术成熟性：**电锅炉经过多年发展，技术成熟稳定。水蓄热系统技术简单成熟，固体蓄热系统的蓄热材料技术仍在发展进步中。

### ● 环境性

**污染减排效益：**电锅炉与化石燃料锅炉相比，在使用地没有大气污染物排放。

**碳减排：**电锅炉是消纳风力及光伏等清洁电力的良好解决方案，在使用清洁电力的情况下，电锅炉减碳效果显著。与燃煤小锅炉相比，电锅炉不排放黑碳，可减少温室气体排放。

**二次污染风险：**电锅炉在使用中二次污染风险很小。

### ● 经济性

蓄热式电锅炉的经济成本包括工程建设投资、运行和维护成本。

**建设投资：**建设投资受土地价格、锅炉选型和蓄热系统设计等诸多因素影响。

**运行成本：**运行成本中电费是主要部分，因此，蓄热式电锅炉运行成本受电价影响大。在有峰谷电价或特殊直供电价的地区，蓄热式电锅炉经济性较优；否则，运行成本高，经济性差。

**维护成本：**锅炉部分技术成熟可靠，自动化程度高，维护成本低于燃煤锅炉。

## 执行要点

### ● 规划整合

无特殊要求。

### ● 补贴需求

电锅炉用电成本高，若使用正常工业峰时电价和平时电价，不具经济性。采用蓄热电锅炉供暖方案，需要有峰谷电价、特殊直供电或者国家、省市、自治区清洁能源鼓励政策等的配合。

### ● 改造难度

由于使用的能源由煤转变为电力，基础设施方面需要电力系统的配合。锅炉主体设备改造施工难度较低。蓄热系统建设需要一定空间，改造时应当考虑。

### ● 使用培训

更换为电锅炉后，操作人员的工种和工作内容均发生较大的变化，需要进行相应调整或培训。

## 1.3 案例 A 河北省廊坊市新动批商城蓄热式电极锅炉应用

### 案例综述

#### ● 项目描述

廊坊市新动批商城于 2012 年建筑物完工，设计供暖建筑面积为 17 万 m<sup>2</sup>，目前，该商城实际供热面积为 10 万 m<sup>2</sup>。该商城采用瑞特爱公司提供的蓄能式电极热水锅炉方案实现冬季供暖。

据该商城承包商介绍，在工程建设的技术选型阶段，一方面，考虑到当时廊坊市对于燃煤锅炉的管理已经十分严格，无法再使用燃煤锅炉；另一方面，当时项目所在区域市政供热管网尚未配套，若采用天然气锅炉，不仅需要投入较高的天然气接管费用，而且，气源供应稳定性问题也较难保证。综合考虑各种因素后，承包商最终采取了电极锅炉配套水蓄热系统的供暖技术方案。

用户：廊坊新动批商城、中航物业有限公司；

技术提供方：北京瑞特爱能源科技股份有限公司

#### ● 调研介绍

清洁空气创新中心与北京市环科院于 2016 年 11 月 15 日对位于廊坊新动批红门服装城的两台瑞特爱电极式热水锅炉（功率分别为 6MW 和 8MW）及其蓄热装置的主要参数性能、运行情况等进行了实地调研和核证。



图 1.3.3 调研锅炉房现场

图 1.3.4 控制台

## 案例技术介绍

### ● 技术原理

电极加热是对电极之间的电解质溶液施加电压，电解质在电场作用下发生离子迁移从而产生电流发热。电极热水锅炉通过这种原理把水电解液当作加热电阻，进行加热。

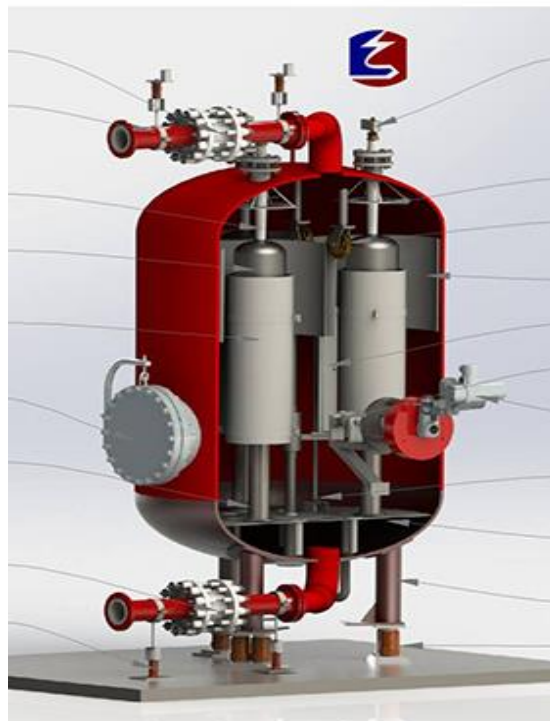


图 1.3.5 电极锅炉结构示意图

## ● 运行描述

目前，项目实际供暖面积为 10 万 m<sup>2</sup>，采用运行单台 6MW 锅炉即可满足供暖需求。每天夜间 11 点启动锅炉蓄热，至次日早晨 7 点前将蓄热池水温度蓄热至 85℃ 并关闭锅炉。在该地区最冷情况下，水蓄热系统单个白天的温差不高于 20℃。

## ● 经济投入

作为 17 万 m<sup>2</sup> 的供暖工程，该项目建设成本为 1250 万元，包括电极锅炉、蓄热系统及商城内的送风系统。

## 案例技术特点

**能效率高：**一次能源转化效率可达 99.7%，相比燃煤锅炉，电极锅炉在不同负荷下都能保持高效运行。

**操作灵活：**启停机速度块，响应时间短，可实现快速加热。

**智能控制：**功率可在 1%-100% 范围内调节，可根据环境气温与实际用户的需求调整供热量，节约成本。

**直接使用高压电：**电极式锅炉不需配备低压变电设备，可直接使用高压电。该商城离配电所较近且配电额较大，共有两条 10kV 和一条 8kV 供电线路，目前，直接用其 10kV 高压电供电。

**冷暖双蓄：**新动批商城利用蓄能水箱，冬季谷电蓄热，夏季谷电蓄冷，夏季尽量多使用低谷电，节约使用成本。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

按项目供暖面积估算，若采用燃煤锅炉，每年供暖季耗煤量约 4250t。若不考虑发电端排放，替代燃煤后相应的污染物减排量如下表所示：

燃煤替代量 (t/a)	SO <sub>2</sub> 减排量 (t/a)	NO <sub>x</sub> 减排量 (t/a)	烟尘减排量 (t/a)
4250	33.45	12.50	11.65

### ● 减排成本分析

目前实际供暖面积为 10 万 m<sup>2</sup>，一个供暖季电费为 240 万元，折合 17 万 m<sup>2</sup> 总供暖面积的年供暖季电费约 408 万元。

指标名称		费用
初投资成本 (万元)	基础建设	1250
	设备购置	
运行维护成本 (万元/年)	电费	408
	维修维护费	10
人力成本 (万元/年)		40.74
污染物减排年成本 (元/ (污染当量数·年))		93.18
吨煤年替代成本 (元/ (吨煤·年))		1177.42
单位面积供暖成本 (元/ (m <sup>2</sup> ·年))	全成本	29.44
	运行成本	26.98

## 补充信息

● 供暖效果：蓄能式电极锅炉供暖效果与燃煤锅炉没有区别，运营方反映使用成本与燃气基本相当。

● 提前规划：工程承包商表示，在建设初期没有提前规划蓄能槽，而是在主体建筑完工后重新开挖蓄能槽，增加了建设成本，若进行提前规划，可以节省部分费用。

- **运行经验：**运营方反映，由于该电极锅炉对锅炉水质要求较高，加装了一套反渗透系统产生纯水以补充锅炉系统水损。但由于电极锅炉系统封闭运行，补水需求较少，该反渗透系统利用率不高，但仍需投入维护费用。可以采取直接采购纯水补水。
- 承包商表示，承包商表示该项目符合当地清洁取暖改造政策，通过申请，还可获得 40 万政府补贴。但此项目承包商没有实际申请。

### 相关设备信息

主要技术参数	锅炉 1	锅炉 2
型号	ZVPI-1806	ZVPI-1808
制造年份	2012/08	2012/08
功率	6000kW	8000kW
电流	348A	48A
电源	10kV/3P/50HZ	10kV/3P/50HZ
内部容积	5.4m <sup>3</sup>	5.4m <sup>3</sup>
出水温度	95℃	95℃
设计压力	50kPa	50kPa
蓄能形式	水蓄能	
蓄水量	3000m <sup>3</sup>	

## 1.3 案例 B 北京市延庆区固体蓄热电锅炉供暖

### 案例综述

- **项目描述**

所调研项目为北京市延庆区某工业企业厂房及辅助建筑供暖用锅炉。该企业原有一台 1 蒸吨小型燃煤锅炉用于企业厂房及辅助建筑供暖，供热面积为 6000 m<sup>2</sup>。

按照全市燃煤小锅炉拆改要求，企业于 2016 年将燃煤锅炉拆除，改用固体蓄热电锅炉技术。

## ● 调研介绍

北京市环科院于 2016 年 11 月对该项目主体设备及蓄热装置的主要参数性能、运行情况等进行了实地调研和核证。

## 案例技术介绍

### ● 技术原理

该项目所用电锅炉为电阻锅炉，所配备的蓄热组件采用熔融盐相变储热材料。

### ● 运行描述

锅炉系统采用全谷电运行模式，日运行时间为 9 小时。系统操作简单，由企业现有职工负责运行管理，未配备专职人员管理。

### ● 经济投入

项目建设初投资约 43 万元。每年供暖季电费约 15.8 万元。

## 案例技术特点

**能效较高：**一次能源转化效率为 95%，相比燃煤锅炉，电锅炉在不同负荷下都能保持高效运行。

**谷电蓄热：**装备有蓄热装置，可以在夜间采用谷电蓄热，节约使用成本。

**操作灵活：**可以根据供热需求单独开启加热电阻。

**占地面积小:** 设备占地面积小, 使用原燃煤锅炉房既满足建设场地要求。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

使用燃煤锅炉时, 年燃煤消耗量约 150t, 则替代燃煤后相应的污染物减排量

如下表所示:

燃煤替代量 (t/a)	SO <sub>2</sub> 减排量 (t/a)	NO <sub>x</sub> 减排量 (t/a)	烟尘减排量 (t/a)
150	1.18	0.44	0.41

### ● 减排成本分析

指标名称		费用
初投资成本 (万元)	基础建设	43
	设备购置	
运行维护成本 (万元/年)	电费	15.8
	维修维护费	0
人力成本 (万元/年)		0
采暖期室内温度 (°C)		12
污染物减排年成本 (元/ (污染当量数·年))		90.94
吨煤年替代成本 (元/ (吨煤·年))		1149.06
单位面积供暖成本 (元/ (m <sup>2</sup> ·年))	全成本	28.73
	运行成本	26.34

## 补充信息

- **供暖效果:** 蓄能式电锅炉供暖效果与燃煤锅炉没有区别, 运营方反映使用成本与燃气基本相当。

## 1.4 燃气锅炉技术

本指南主要讨论以天然气为燃料的燃气锅炉。

### 技术概要

#### ● 技术简介

燃气锅炉是用天然气、液化气、城市煤气等气体燃料作燃料，在炉内燃烧释放出热量，将所盛装的液体加热，向外输出具有一定热能的蒸汽、高温水或有机热载体的热能设备。

#### ● 技术原理

燃气锅炉主要原理是燃气在炉膛内燃烧释放出大量热量，这些热量主要以辐射的方式被受热面吸收，传导给受热面另一侧的介质，向外输出热能。

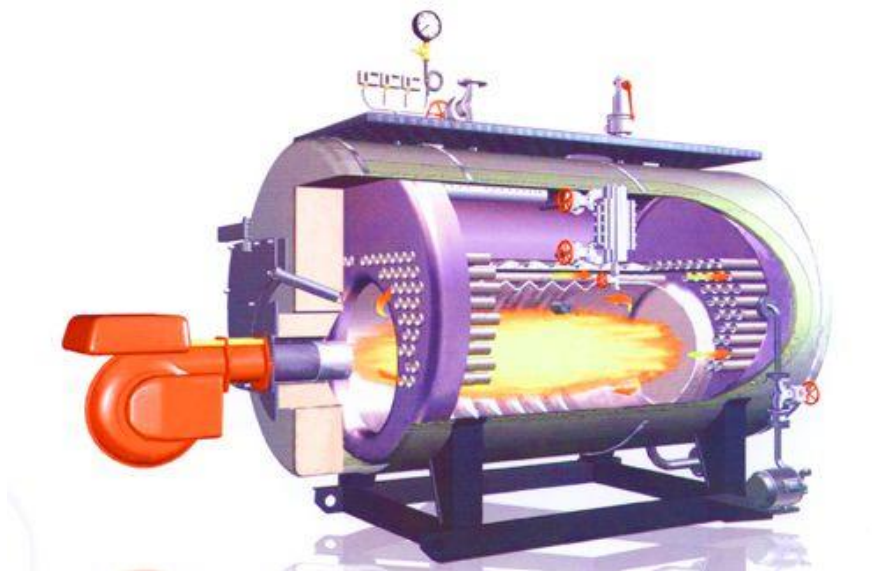


图 1.3.6 燃气锅炉示意图

#### ● 技术类别

燃气锅炉有多种分类方法，如按照燃料类型、功能、燃烧方式、炉体材料、烟气流程等。目前燃气锅炉使用天然气作为燃料的居多，当然燃气锅炉还可以使用煤气、液化石油气等其他燃料，本文主要讨论以天然气为燃料的燃气锅炉。。

按照锅炉用途，燃气锅炉还可以分为燃气开水锅炉、燃气热水锅炉、燃气蒸汽锅炉。

## ● 应用情况

燃气锅炉广泛应用于生产生活中需要热能供应的情景，如热水、动力蒸汽等。

## 适用条件

燃气锅炉没有特殊的使用限制。

## ● 自然条件

该技术没有自然条件使用限制，不受环境因素影响。

## ● 政策条件

在大气污染物排放有限制区域，可以替代燃煤和燃油锅炉；在特殊大气污染物排放限值区域特殊地区需使用低氮燃烧器、废气再循环等技术满足  $\text{NO}_x$  排放要求。

## ● 燃气供应

燃气燃料的费用较高。燃气锅炉需要稳定的燃料供应配套设施，如自建燃气供应站或者接入天然气管网。

## 技术特点

### ● 技术性

**能效：**燃气锅炉热效率一般可以达到 80% 以上。

**特点：**燃气易于输送，与燃煤锅炉相比，节省了煤库占地。燃烧清洁、无灰渣；无 SO<sub>2</sub> 排放，颗粒物排放量很低，无需加装特殊的脱硫除尘设备。

燃气锅炉易实现自动化、智能化控制，启动迅速，调节响应时间短，容易进行燃烧调节，作业性好，容易调整发热量。

**技术成熟性：**国内外燃气锅炉发展应用时间较长，基本技术成熟稳定。

### ● 环境性

**污染减排效益：**燃气锅炉与燃煤锅炉相比，基本没有颗粒物和 SO<sub>2</sub> 排放；NO<sub>x</sub> 排放水平基本相同，在使用低氮燃烧器情况下，NO<sub>x</sub> 排放浓度低于燃煤锅炉。

**碳减排：**同样出力情况下，由于燃气锅炉热效率高和天然气燃烧碳排放低的特性，CO<sub>2</sub> 排放仅为燃煤锅炉的一半。

**二次污染风险：**普通燃气锅炉需考虑锅炉水排放问题。冷凝式燃气锅炉在使用过程中，除考虑烟气排放外，由于冷凝水呈现弱酸性，还应考虑冷凝水的排放问题。

### ● 经济性

燃气锅炉的经济成本包括工程建设投资、运行和维护成本。

**建设投资：**建设投资受土地价格、锅炉选型设计等诸多因素影响。

**运行成本：**运行成本中燃料费用是主要部分，因此，燃气锅炉的运行成本受燃气价格以及锅炉热效率影响大。我国由于燃气价格原因，燃气锅炉的燃料费用高于燃煤锅炉。由于燃气锅炉自动化程度高，运行人员少，人员成本低于燃煤锅炉。

**维护成本：**设备复杂程度低于燃煤锅炉，维护成本低于燃煤锅炉。

## 执行要点

### ● 规划整合

需要提前规划相应天然气管网等基础设施，稳定燃气供应。

### ● 补贴需求

由于天然气价格较高，天然气锅炉供暖成本高于燃煤锅炉，需要配套相应的鼓励措施如优惠燃气价格。

### ● 改造难度

由于使用的能源由煤转变为天然气，在基础设施方面，需要接入天然气管网或者自建天然气站。锅炉主体设备改造施工难度较低。

### ● 使用培训

更换为燃气锅炉后，操作人员的工种和工作内容均发生变化，需要进行响应相应调整或培训。

## 1.4 案例 A 山东省济南大学冷凝式天然气锅炉应用

### 案例综述

#### ● 项目描述

2016 年，济南市开展了建成区 35 蒸吨/小时及以下燃煤锅炉的淘汰（改造）工作。济南大学西校区在改造范围内，按照全市统一要求，于 2016 年开展了煤改气工作。

济南大学西校区供热站改造项目采用博墨热能提供的 4 台 2.8MW 的冷凝式燃气锅炉，为学校宿舍、教学楼供暖，供热面积为 16.1 万 m<sup>2</sup>，2016-2017 年供暖季是其首个供暖季。

相关项目参与方：济南大学、博墨热能

#### ● 调研介绍

清洁空气创新中心于 2017 年 3 月 4 日对济南大学西校区供热站的 4 台冷凝式燃气锅炉的主要参数性能、运行情况等进行了实地调研和核证。



图 1.4.1 调研锅炉房现场

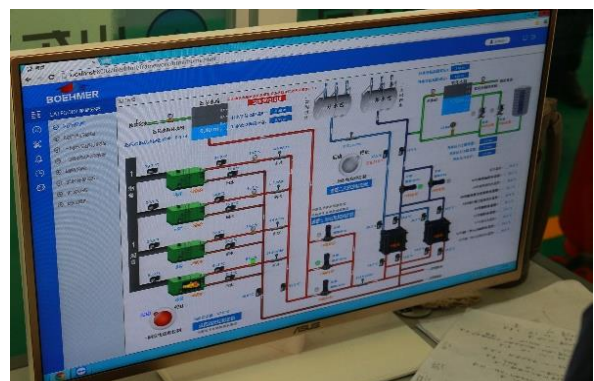


图 1.4.2 控制台

## 案例技术介绍

### ● 技术原理

冷凝式燃气锅炉是在传统燃气锅炉的基础上，增设热能回收装置，通过将烟气中的显热和水蒸汽的凝结潜热回收，深度回收烟气中的热能，减少了燃料燃烧的热损失，提高热效率，降低燃料使用成本。



图 1.4.3 博墨冷凝式燃气锅炉示意图

同时，在能量回收过程中，烟气冷凝可以将烟气中的有害物质部分收集到冷凝水中，减少了酸性物质及其他污染物向大气中的排放。若结合低氮燃烧技术，可以进一步降低氮氧化物的排放。

### ● 运行描述

2016-2017 年供暖季，设备运行时数为 2880 小时，共消耗 96.6 万 m<sup>3</sup> 天然气。

### ● 经济投入

锅炉改造建设投资为 680 万元，总供暖面积达 16.1 万 m<sup>2</sup>。该投资主要包括锅炉及其配套辅机设备投资。

## 案例技术特点

**能效率高：**整体设计的冷凝式燃气锅炉，宽工况范围内都可以进入冷凝状态，充分利用烟气余热。检测报告数据显示，在锅炉 30%-100%出力范围内，热效率为 97%-109%。

**操作灵活：**自动化程度高，启停机速度快。

**设备抗腐蚀：**冷凝器使用 316L 不锈钢材质，抗酸性冷凝水腐蚀性能好。换热器有独特的空气流道设计，具备自清洁功能。

**氮氧化物排放低：**由于采用一体化设计，检测报告显示，在没有使用低氮燃烧器的情况下，氮氧化物排放浓度可以达到 47.83mg/m<sup>3</sup>。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

根据节能建筑设计标准中，济南市供暖平均耗煤量为 9.8kg/m<sup>2</sup> 每供暖季。项目供热面积为 16.1 万 m<sup>2</sup>。替代燃煤后相应的污染物减排量如下表所示：

燃煤替代量 (t/a)	SO <sub>2</sub> 减排量 (t/a)	NO <sub>x</sub> <sup>5</sup> 减排量 (t/a)	烟尘减排量 (t/a)
1577.8	12.4	0.1	4.32

### ● 减排成本分析

本案例中，燃气供热收费为 33 元/(年· m<sup>2</sup>)；供暖面积为 16.1 万 m<sup>2</sup>，2016-2017 年供暖季耗气量为 96.6 万 m<sup>3</sup>，电费为 20 万元，锅炉房工作人员共 5 人。

<sup>5</sup> 燃气锅炉氮氧化物排放系数采用第一次全国污染源普查结果。

指标名称		计算结果
初投资成本 (万元)	基础建设	680
	设备购置	
运行维护成本 (万元/年)	燃料费	290.48
	维修维护费	n.a.
人力成本 (万元/年)		31.71
污染物减排年成本 (元/ (污染当量数·年))		235.27
吨煤年替代成本 (元/ (吨煤·年))		2384.29
单位面积供暖成本 (元/ (m <sup>2</sup> ·年))		22.1

## 补充信息

冷凝式燃气锅炉供暖效果与燃煤锅炉没有区别，运营方反映济南大学燃气锅炉使用成本低于其他燃气锅炉使用单位。初步测算该项目 2016-2017 供暖季单位面积耗气量在 6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> 左右。

## 相关设备信息

型号	单位	BM2800
锅炉额定功率	kW	2800
天然气压力	mbar	150-200
热效率 (100%负荷)	%	106
热效率 (30%负荷)	%	109
供水温度调节范围	℃	40-95
额定供回水温差	℃	20
冷凝工况供回水温度	℃	50/30
最低排烟温度	℃	45
烟气侧阻力	mbar	6
烟道接口内径	mm	Φ500
锅炉重量 (运行重量)	t	7.7 (15.2)
供回水管口径	DN	125
冷凝水排放口	Rp	Φ48
通大气管口径	DN	150
锅炉排污口	DN	40
运输尺寸 (L×B×H)	mm	5056×2421×2544
运输重量	t	10

## 1.4 案例 B 北京市顺义区某低氮燃气锅炉应用

### 案例综述

#### ● 项目描述

该项目主要为北京市顺义城区居民住宅及部分公共设施供暖，总供热面积为 296.5 万 m<sup>2</sup>。原燃煤锅炉建成投运于 2009 年，建设初投资近 3.8 亿元，锅炉房共有 3 台单台出力为 90 蒸吨/时的燃煤锅炉，锅炉房总出力为 270 蒸吨/时，锅炉热效率为 83%。原燃煤锅炉采用湿法氧化镁脱硫技术、SCR 脱硝技术及布袋除尘器进行烟气治理，环保治理设施建设投资约 3900 万元。

根据顺义区清洁空气行动计划的工作部署，该锅炉房燃煤改燃气项目于 2016 年 5 月开始施工建设，于 2016 年供暖季正式运行。锅炉房共有 3 台单台锅炉出力为 98 蒸吨/时的燃气热水锅炉，锅炉房总出力为 294 蒸吨，均采用了低氮燃烧器技术，锅炉热效率可达 93%。

#### ● 调研介绍

清洁空气创新中心和北京市环境保护科学研究院于 2017 年 3 月 15 日对位于北京市顺义区的 3 台低氮燃气锅炉的主要参数性能、运行情况等进行了实地调研和核证。

### 案例技术介绍

#### ● 技术原理

同燃气锅炉技术概要。

## ● 运行描述

2016-2017 年供暖季，天然气消耗量为 3155 万 m<sup>3</sup>，按照每立方米天然气价格 2.36 元计算，年采暖燃料成本为 7445.8 万元，较原燃煤锅炉房采暖燃料成本增加 138.04%。锅炉房现有工作人员 21 人。

## ● 经济投入

该锅炉房燃煤改燃气项目于 2016 年 5 月份开始施工建设，于 2016 年供暖季正式运行，项目建设初投资为 9873.77 万元，供热面积为 296.5 万 m<sup>2</sup>。

案例改造项目共得到北京市政府一次性固定资产投资补贴 2962.13 万元、燃煤设施改造补贴 3510 万元。运行期间，燃气锅炉房亦可获得北京市供热补贴，但具体金额未获取。

## 案例技术特点

**氮氧化物排放低：**采用低氮燃烧器，NO<sub>x</sub> 排放达到北京锅炉排放新标准。

**操作灵活：**自动化程度高，启停机速度块。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

原燃煤锅炉所用燃料为二类烟煤，燃料中灰分、全硫分别为 10%和 0.35%，燃料热值较高，平均每年供暖季煤炭消耗量为 4.6 万 t，年采暖燃料成本约 3128 万元。污染物排放历史监测数据显示，原燃煤锅炉 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟尘三种主要大气

污染物排放浓度分别为  $6\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $44\text{mg}/\text{m}^3$  和  $8\text{mg}/\text{m}^3$ ，不仅达到国家锅炉新标准中燃煤锅炉特别排放限值要求，也满足北京市锅炉排放新标准要求。

改造后，2016-2017 年供暖季，天然气消耗量为 3155 万  $\text{m}^3$ ， $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、烟尘三种主要大气污染物排放浓度分别为  $0\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $68.8\text{mg}/\text{m}^3$  和  $0\text{mg}/\text{m}^3$ ，达到北京市锅炉排放新标准中在用锅炉的要求。

燃煤替代量 (t/a)	烟尘减排量 (t/a)	$\text{NO}_x$ 减排量 (t/a)	$\text{SO}_2$ 减排量 (t/a)
46000	126.04	76.21	362

### ● 排成本分析

指标名称		计算结果
初投资成本 (万元)	基础建设	9873.77
	设备购置	
运行维护成本 (万元/年)	燃料费	7445.80
	维修维护费	n.a.
人力成本 (万元/年)		178.58
采暖期室内温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )		20
污染物减排年成本 (元/ (污染当量数·年))		156.38
吨煤年替代成本 (元/ (吨煤·年))		1764.80
单位面积供暖成本 (元/ ( $\text{m}^2\cdot\text{年}$ ))	全成本	27.38
	运行成本	25.71

据调查，案例改造项目共得到北京市政府一次性固定资产投资补贴 2962.13 万元、燃煤设施改造补贴 3510 万元；运行期间，燃气锅炉房亦可获得北京市供热补贴，但具体金额未获取。由此分析政府补贴后，项目吨煤年替代成本和项目污染减排年成本均下降 3.99%。

### 补充信息

暂无。

## 相关设备信息

燃烧器厂家	ZEECO, Inc.
燃烧器型号	FREE JET-F22 GAS BURNER
生产日期	2016/08
负荷	81.88MW@HHV

## 1.5 地热能利用

### 技术概要

#### ● 技术简介

本技术简介主要针对土壤源热泵，其他中深层地热利用主要通过抽取深层地下热水资源进行换热供暖，在此不做详细介绍。

土壤源热泵利用浅层土壤中的地热能，应用热泵技术，使用少量高品位的电能作为驱动能源，从低温环境吸取热量，将热量传输递给高温环境。实现由低品位热能向高品位热能转移，将热能转移到需要的地方。

#### ● 技术原理

土壤埋管式热泵系统在冬季供热过程中，载热介质从地下收集热量，再通过系统把热量带到室内。夏季制冷时系统逆向运行，即从室内带走热量，再通过系统将热量送到地下岩土中。

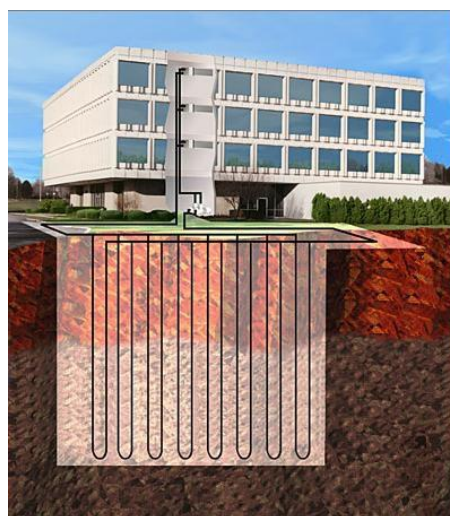


图 1.4.4 浅层土壤源热泵工程示意图

## ● 技术类别

土壤源热泵是地源热泵的细分类别，按照其埋管形式可以分为垂直埋管和平埋管。

垂直埋管可获取地下深层土壤的热量。垂直埋管通常安装在地下 50-150 米深处，一组或多组管与热泵机组相连，封闭的塑料管内的防冻液将热能传送给热泵，然后由热泵转化为建筑物所需的暖气和热水。垂直埋管是地源热泵系统的主要方式。

水平埋管是在地 2 米左右深处水平放置塑料管，塑料管内注满防冻的液体，并与热泵相连。水平埋管占地面积大，土方开挖量大，而且，地下换热器易受地表气候变化的影响。

## ● 应用情况

土壤源热泵技术作为一种采暖技术，于 20 世纪 90 年代在欧美开始应用。进入 21 世纪后，我国逐步开展了土壤源热泵技术的研究和应用。近年来，在绿色节能和环保技术的推广下，土壤源热泵在我国取得了较大发展，开始应用于商业楼宇、政府机关、学校医院等场所的制冷和供暖中。

## 适用条件

土壤源热泵的应用对地质条件和施工建设水平等有较高的要求，需综合考虑建筑物所处环境、供暖需求等实际情况，合理选择。

## ● 自然条件

地源热泵土壤换热器的性能在不同地质条件下差别较大，受土壤温度、土壤特性影响。

**土壤温度：**合适的土壤温度是土壤源热泵实施的基础条件。一般情况下，13℃～19℃的土壤温度比较适宜。过高的土壤温度用于持久制冷的潜力较小，过低的土壤温度虽有利于制冷，但不利于制热。在寒冷地区应用时，土壤源热泵必须在换热器内的循环水中添加防冻剂，而且，还可能面临热泵机组效率下降、换热器埋管数量增多、占地面积增大、投资增加等问题。

**土壤特性：**土壤的类型、热特性、热传导性、密度和湿度等也是影响系统的主要原因，理想的地质条件包括较高的导热系数、热容量高、较高的土壤含水率及迁移速度。例如，尽管卵石性土壤导热系数高，但因石块的含量大，使施工费用大幅增加。因此，粘土和砂地是土壤源埋管的较好选择。另外，土壤潮湿会加大导热系数，如果土壤潮湿或地下水位高，土壤接近饱和，导热率将会提高。

## ● 基础设施

**土壤换热器施工面积：**土壤换热器施工面积是土壤源热泵应用的一个主要的限制因素。当可利用地表面积较大，浅层岩土体的温度及热物性受气候、埋设深度影响较小时，可采用水平地埋管换热器，否则宜采用垂直地埋管换热器。在没有合适的室外用地时，垂直地埋管换热器还可以利用建筑物的混凝土基桩埋设，即将U形管捆扎在基桩的钢筋网架上，使U形管固定在基桩内。但此方式受施工工期限制。

## ● 其他

**平衡冷热负荷：**适宜采用土壤源热泵技术的是处于夏热冬冷地区以及寒冷地区的部分建筑，适宜同时有供冷和供暖需求、年冷热负荷较接近的场所。这样，可确保全年从地下的取放热量平衡，否则长期使用热泵效率会下降。

**建筑物热负荷：**土壤源热泵适用于建筑物类型是负荷波动小、使用稳定的中等规模住宅、酒店、办公楼、别墅等，不适合负荷使用随机性高或负荷较大的会堂、剧院等。

**系统规模：**土壤源热泵系统的规模不宜过大或过小，系统规模过大，因地埋管换热器水系统距离过远，输送能耗增大，水力难以平衡；系统规模过小，则相对初投资过高，系统利用率较低。

## 技术特点

### ● 技术性

**能效：**土壤源热泵利用的是土壤中的热能，是一种可再生能源。土壤源热泵的高效热泵机组的能效比（COP）一般在 3-6 左右，高于空气源热泵。

**技术成熟性：**土壤源热泵是一种新型的空调技术，其技术与使用仍在不断地发展和进步；土壤源热泵主要热泵机组技术成熟；地下换热器管网受工程施工质量影响，优良的工程设计和施工质量可以保证地下换热器的寿命，减少损坏。

### ● 环境性

**污染减排效益：**本地污染物零排放。土壤源热泵在供暖时，消耗电能和土壤中的热，没有污染物排放。

**碳减排：**协同减碳效果显著。由于散煤燃烧会排放大量黑碳，黑碳的 GWP 是 CO<sub>2</sub> 的 900 倍，用电替代散煤可实现较好的温室气体减排效果。

**二次污染风险：**地下换热器有损坏和泄露的风险，导致充填防冻液泄露，污染土壤和地下水。

## ● 经济性

土壤源热泵的经济成本包括工程建设投资和运维成本。

**工程建设投资：**土壤源热泵系统的工程建设投资主要包括设备费用和施工费用，这些费用受当地条件、供热面积等影响。施工费用中，土壤换热器的施工费用较高。整理的文献案例中，土壤源热泵投资在 243.8 元/m<sup>2</sup>~324.13 元/m<sup>2</sup>。<sup>6, 7</sup>

**运维成本：**文献案例运行费用为 18.86 元/m<sup>2</sup>-19.92 元/m<sup>2</sup>。

## ● 其他

**受环境影响小：**由于土壤的温度特性，土壤源热泵的运行受环境温度的影响小于空气源热泵。

**冷暖双供：**该技术虽然夏季需供冷平衡热负荷，但也省去了制冷设备的投资。

## 执行要点

### ● 规划整合

<sup>6</sup> 某节能示范项目土壤源热泵方案设计及其经济性分析-杨卫波、陈振乾、刘光远

土壤源热泵系统的关键技术在于室外埋管的设计、施工，需要一定的地下换热区域。因此，在设计初期，需对施工现场实地勘察取样，进行热物性测试，再设计埋管形式、长度、数量及面积，同时，需要确认地下换热区域不会影响到其他地下建筑。

### ● 补贴需求

土壤源热泵利用了土壤中可再生的热能，是高效节能设备。但设备投资费用较高，在适宜的地区可设计相应的补贴政策予以鼓励。

### ● 改造难度

主体机房改造难度低，但土壤换热器部分的改造难度大，需挖掘地面或者进行钻孔。

### ● 使用培训

改造为土壤源热泵后，操作人员的工种和工作内容均发生变化，需要进行相应调整或培训。

## 1.5 案例 A 北京市昌平区永旺国际商城土壤源热泵

### 案例综述

#### ● 项目描述

中关村国际商城位于八达岭高速公路和北清路入口交汇处的西北侧，是大型城市综合体，属于 2007 年国家第三批可再生能源利用示范项目。规划总用地面积约 63.2062 公顷，建筑占地面积为 37413m<sup>2</sup>，总建筑面积为 156000m<sup>2</sup>。施工时间是 2007 年 10 月-2008 年 11 月。建成后，日本永旺株式会社承租并命名为永旺国际商城。

中国建筑设计研究院建筑节能与新能源工程中心承担了本工程的冷热源系统设计。该设计以冬季热负荷为土壤源热泵系统的设计负荷，夏季土壤源热泵系统不能满足的冷量部分由常规电制冷系统进行补充。

该工程冬季空调热负荷为 11700kW，夏季空调冷负荷为 15188kW。在中关村国际商城的一期建筑周围的绿地内设置 1060 个地下换热器，地埋管上部地面使用功能为停车场和绿地。钻孔间距为 4.5 米，钻孔直径为 170mm，有效换热长度为 123m，钻孔内设置双 U 型地埋管换热器。

室外地埋管换热器采用同程式连接分为若干组，接入绿地内的 14 组支分集水器。各地埋管侧支分集水器设在室外地下小室内，以并联方式接至地源热泵机房。

利用可再生能源中的土壤源热泵系统，结合常规制冷系统作为建筑空调系统冷热源。供暖和制冷面积为 8.1 万 m<sup>2</sup>。

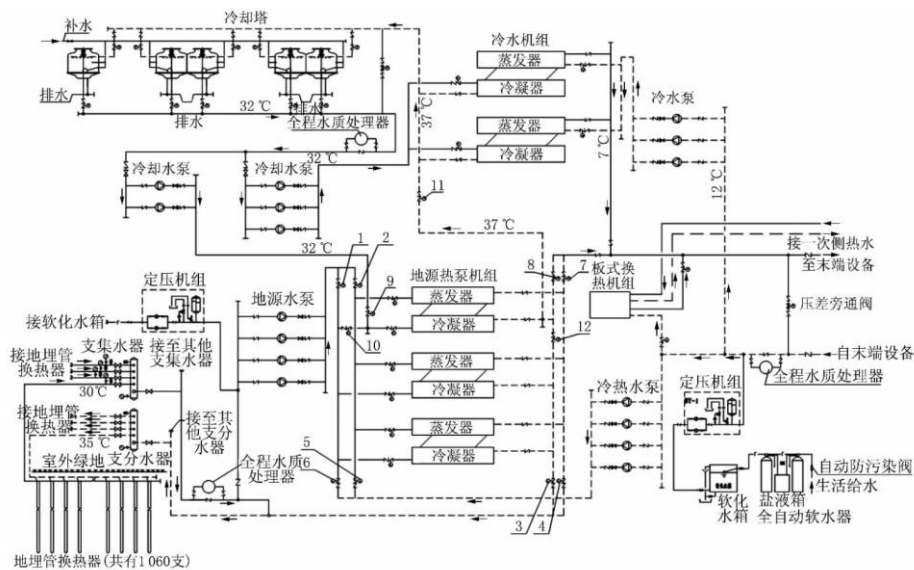
## 调研介绍

清洁空气创新中心于2016年10月26日调研北京市昌平区永旺国际商城土壤源热泵应用情况，该商城地源热泵系统供应商为依科瑞德(北京)能源科技有限公司，主要对该土壤源热泵的主要参数性能、运行情况等进行了实地调研和核证。

## 案例技术介绍

### ● 技术原理

基本原理同土壤源热泵技术描述。该项目在制热方面备以市政管网作为补充，制冷方面结合常规制冷系统作为制冷补充。



注:1) 冬季阀门2,4,6,8,10,12开,1,3,5,7,9,11关;夏季阀门1,3,5,7,9,11开,2,4,6,8,10,12关。2) 空调冷热水供水温度,夏季7℃、冬季50℃,空调冷热水回水温度,夏季12℃、冬季45℃;冷却水供水温度32℃,冷却水回水温度37℃;地源热泵冷却水供水温度,夏季30℃、冬季6.5℃;地源热泵冷却水回水温度,夏季35℃、冬季4℃;一次侧热水供水温度90℃,一次侧热水回水温度70℃。

图 1.4.5 冷热源系统原理图

### ● 运行描述

冬季供暖，夏季制冷。

## ● 经济投入

该商城建筑面积 15.6 万 m<sup>2</sup>，供冷供热面积 8.1 万 m<sup>2</sup>，热泵项目项目建设成本 350 元/m<sup>2</sup>，该项目享有国家 1000 万元可再生能源补贴。

## 案例技术特点

土壤源热泵地下换热器的可靠性十分重要，施工质量对可靠性影响很大。该项目土壤源热泵技术提供方依科瑞德公司自有地源热泵专业施工工程队，施工质量有保障。

地下换热器管网材料为 PE 管，采用编组方式，设置独立阀门，保障单根管线泄露不影响整个系统。

该项目的供冷和供热系统都有相应的辅助设备备用补充。供热系统除土壤源热泵，还接入市政管网，若出现供热量不足的情况，可依靠市政供热管网补充。供冷系统除土壤源热泵外，还配置 2 台常规电制冷机组作为辅助冷源，冷却塔散热，单机制冷量为 4571kW。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

按照供暖耗煤量 25kg/m<sup>2</sup> 估算年供暖季燃煤量，则替代燃煤相应的污染物减排量如下表所示：

燃煤替代量(t/a)	SO <sub>2</sub> 减排量(t/a)	NO <sub>x</sub> <sup>7</sup> 减排量(t/a)	烟尘减排量(t/a)
1004.4	7.90	2.95	2.75

## ● 减排成本分析<sup>8</sup>

该项目供冷和供热面积为 8.1 万 m<sup>2</sup>，供暖季运维成本 160 万元左右；项目建设成本为 350 元/m<sup>2</sup>，该项目享有国家 1000 万元补贴。<sup>9</sup>

指标名称		计算结果
初投资成本 (万元)	基础建设	2835
	设备购置	
运行维护成本 (万元/年)	电费与维护费用	160
	含折旧	254.5
污染物减排年成本 (元/ (污染当量数·年))		99.46
吨煤年替代成本 (元/ (吨煤·年))		1256.79
单位面积供暖成本 (元/ (m <sup>2</sup> ·年))	全成本	31.4
	运行成本	19.7

## 补充信息

### ● 问题

暂无。

### ● 业主体验及反馈

8 年来运行良好。目前，地下管线无泄漏；机组正常维护，无大修；没有出现地下热失衡问题。

运营方为节省成本，夏天制冷时，摸索搭配使用 1 台辅助制冷机组（空冷，效率高）、2 台主热泵机组（地源热泵），效果良好。

<sup>7</sup> 燃气锅炉氮氧化物排放系数采用第一次全国污染源普查结果。

<sup>8</sup> 未考虑通货膨胀，其他经济因素

<sup>9</sup> 中关村国际商城一期空调冷热源系统设计-杜雪娜

冬天供暖时，由于商业建筑内有灯光照明发热等额外热量补充，热泵机组功率冗余充足。配备了使用供热管网的板式换热器，以备在需要更多热量时使用，但建成以来基本没有使用过。

## 相关设备信息

土壤源热泵机组参数	
数量	3 台
厂商	富尔达地源热泵机组
制冷量	1194kW
制冷输入功率	189kW
制热量	1103kW
制热输入功率	236kW
额定电压	380V
相数	3
频率	50Hz
重量	6000kg
制冷剂	R22
充注量	350kg
外形尺寸	4465 mm×1275 mm×2900mm

## 1.5 案例 B 河北省雄县地热井供暖项目

该项目利用中深层地热资源，通过采用“间接换热，梯级利用，封闭回灌”的技术为农村住宅提供集中供暖。

技术利用板式换热器，将热源侧的地热水和供热侧的软化水分开，形成两个独立且封闭的换热循环系统；利用钛板换热器对地热水进行梯次利用；并通过与生产井相同井身结构的回灌井将换热后的地热水灌入热储层中，实现同层无污染回灌。项目建设初投资 650 余万元，供暖面积达 5 万 m<sup>2</sup>，共覆盖村庄内 570 余座住房，这些住房均为 1-2 层未实施节能改造的典型农村住宅。经调查，该村农户

原采用燃煤取暖，每个供暖季户均用煤量 4t 左右。以此推算，地热能供暖项目实施后替代散煤 2280t。下表所示为该项目综合效益分析结果。由于该改造项目是分散式改集中式，原燃煤采暖的污染物排放量按民用散煤排放因子计算。

表 1.5.1 地源热泵供暖案例综合效益分析

序号	指标名称		计算结果
1	大气污染物减排量 (t/年)	SO <sub>2</sub> 减排量	20.25
2		NO <sub>x</sub> 减排量	3.65
3		烟尘减排量	34.20
4		VOCs 减排量	9.12
4	初投资成本 (万元)	基础建设	650
		设备购置	
5	运行维护成本 (万元/年)		n.a.
6	人力成本 (万元/年)		n.a.
7	采暖期室内温度 (°C)		18
8	污染物减排年成本 (元/ (污染当量数·年))		4.30
9	吨煤年替代成本 (元/ (吨煤·年))		55.56
10	单位面积供暖成本 (元/ (m <sup>2</sup> ·年))		4.33

注：由于仅调研到项目建设初投资，污染物减排年成本、吨煤年替代成本和单位面积供暖成本计算未考虑运行期成本。

## 1.6 生物质锅炉

### 技术概要

#### ● 技术简介

生物质锅炉是锅炉的一个种类，就是以生物质能源作为燃料的锅炉叫生物质锅炉。

生物质锅炉主要燃料为生物质成型燃料。

#### ● 技术原理

生物质燃料锅炉是通过燃烧生物质成型燃料获取能量。其中，锅炉由给料系统、燃烧系统、吹灰系统、烟风系统、自控系统等构成。生物质成型燃料是在一定温度与压力下，将原来分散、没有一定形状的农林剩余物如秸秆、水稻秆、薪材、木屑、树皮等，进行干燥、粉碎、高压成型等工艺处理制成具有一定形状（块状、柱状、粒状）、密度较大的成型燃料。



图 1.6.1 柱状生物质成型燃料颗粒

## ● 技术类别

生物质成型燃料专用锅炉（简称生物质锅炉）按照锅炉的用途，可分为热能锅炉和电能锅炉两类。

## ● 应用情况

生物质锅炉应用于需要热水、蒸汽及有供暖需求的生活和工业场所。

## ● 适用条件

生物质锅炉有其特殊的适用性，受使用地区生物质成型燃料供应、环境和能源政策等影响，在建设改造时应综合考虑。

## ● 自然条件

该技术没有自然条件使用限制，不受环境因素影响。

## ● 政策条件

一些地区对生物燃料的使用有限制，应用生物质锅炉前需要进行相应调查。部分地区已经对生物质成型燃料的燃用方式进行了规范，如要求必须在配置袋式除尘器等高效除尘设施的生物质成型燃料专用锅炉中燃烧。

## 技术特点

### ● 技术性

**特点：**生物质成型燃料锅炉具备传统锅炉的特点。同时由于生物质能是一种可再生能源，使用生物质锅炉可以对农业废弃物的问题有所帮助，并减少温室气体排放。

**技术成熟性：**国内生物质炉技术有了一定突破，国外生物质锅炉技术已经趋于成熟。

## ● 环境性

**污染减排效益：**生物质中 S 元素含量一般很低，无需采取特别的脱硫措施即可达到相应 SO<sub>2</sub> 排放标准。生物质中 N 含量小于煤，一般无需使用脱硝装置，但在氮氧化物有特别排放限制的区域，需要加装处理设施脱除氮氧化物。生物质锅炉需要配合烟尘处理装置，才可以满足颗粒物的排放要求。生物质燃烧过程中，HCL 的排放则高于煤的燃烧。

**碳减排：**生物质燃料属于可再生燃料，没有温室气体排放。

**二次污染风险：**暂无

## ● 经济性

生物质锅炉的经济成本主要包括工程建设投资、运维护成本等。

**建设投资：**建设投资受土地价格、锅炉选型等诸多因素影响。一般由于生物质专用锅炉系统无需安装脱硫、脱硝装置，环保治理设施建设及运行管理投入要少于燃煤锅炉系统。

**运维成本：**运维成本中燃料费用是主要部分，燃料费用受当地生物质燃料价格影响较大。但总体来说，等量热值成型燃料运行成本一般高于燃煤锅炉，低于燃气锅炉。

## 执行要点

### ● 规划整合

需符合当地生物质燃料使用要求。

### ● 补贴需求

生物质成型燃料的收集、生产、运输和贮存等存在一定难度，需根据当地实际情况制定相应的可再生能源鼓励政策。

### ● 改造难度

使用的燃料由煤转变为生物质燃料，与燃煤其配套的基础设施、环保设施需进行调整，有一定改造难度。

### ● 使用培训

更换为生物质锅炉后，操作人员的工种和工作内容有一定改变，需要进行相应调整或培训。

## 1.6 案例 河北省石家庄市某镇政府煤改生物质供暖项目

### 案例综述

#### ● 项目描述

该项目于 2015 年开始在原燃煤锅炉房原址进行改造建设，工程建设初投资成本为 40 万元，占地约 120m<sup>2</sup>。2015 年采暖期即投入运行，主要供暖对象包括该镇政府大院及周边一所学校校舍及两家工业企业厂房。实际供热面积约 1.45 万平方米。

#### ● 调研介绍

清洁空气创新中心与北京市环科院于 2016 年 3 月 21 日对位于河北省石家庄市的 1 台 4 蒸吨/时的生物质锅炉的主要参数性能、运行情况等进行了实地调研和核证。



图 1.6.2 调研锅炉房现场



图 1.6.3 成型燃料

### 案例技术介绍

#### ● 技术原理

同生物质成型燃料锅炉原理。

## ● 运行描述

该项目原燃煤锅炉为 1 台 4 蒸吨/时燃煤热水锅炉，锅炉热效率为 75%，配备一套水膜脱硫除尘一体机。原采暖季燃煤消耗量为 400 吨/年，年采暖燃煤支出约 12 万元。改造后所用生物质成型燃料锅炉出力为 4 蒸吨/时，所用生物质成型燃料以锯末为主要成分，锅炉热效率为 75%-80%，系统配备一套布袋除尘器除尘，除尘效率 98%以上，需每两年更换一次布袋，维护费用约 2 万元/年。经统计，每年采暖季生物质燃料消耗量为 450t，按照生物质成型燃料 850 元/t 价格(含运费)计算，年采暖季供暖燃料成本为 38.25 万元，较原燃煤采暖燃料费用增加 218.75%。改造后锅炉房配 2 名工作人员负责运行管理。

## ● 经济投入

改造初投资为 40 万元。

## 案例技术特点

- **使用可再生燃料：**案例生物质锅炉使用可再生的生物质燃料，没有温室气体排放。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

按业主方提供的用煤量为每年 400 吨，生物质锅炉替代后，每年采暖季生物质燃料消耗量为 450t，替代燃煤后相应的污染物减排量如下表所示：

燃煤替代量 (t/a)	SO <sub>2</sub> 减排量 (t/a)	NO <sub>x</sub> 减排量 (t/a)	烟尘减排量 (t/a)
400	2.83	-0.08	1.07

## ● 减排成本分析

目前实际供暖面积为 1.45 万 m<sup>2</sup>，一个供暖季燃料成本 38.25 万元。

指标名称		费用
初投资成本 (万元)	基础建设	40
	设备购置	
运行维护成本 (万元/年)	电费	13.5
	维修维护费	n.a.
人力成本 (万元/年)		10.18
污染物减排年成本 (元/ (污染当量数·年))		154.75
吨煤年替代成本 (元/ (吨煤·年))		1310.86
单位面积供暖成本 (元/ (m <sup>2</sup> ·年))	全成本	36.16
	运行成本	34.78

## 补充信息

### ● 补贴信息:

该项目得到了河北省石家庄市政府燃煤改造补贴共 20 万元。与此同时，当地政府为鼓励燃煤清洁能源改造，为项目提供了运行期燃料补贴，按每吨生物质成型燃料补贴 300 元的标准，项目每年可另外获得 13.5 万元资金补贴。由此分析政府补贴后，项目实际吨煤年替代成本和实际污染物减排年成本均下降了 27.6%。

## 1.7 分布式燃气冷热电三联供

### 技术概要

#### ● 技术简介

分布式燃气冷热电三联供，即燃气蒸汽联合循环冷热电三联供（简称冷热电三联供），属于新型区域分布式能源系统，是一种建立在能源梯级利用基础上，将制冷、供热（采暖和供热水）及发电一体化的总能系统。

#### ● 技术原理

分布式燃气冷热电三联供系统主要由燃机发电机组、余热锅炉、汽机发电机组及吸收式制冷机组组成。该系统通常以燃气（天然气、石油气、煤田瓦斯气、生物质气等）作为一次能源，以小型燃气轮机或燃气内燃机为原动机驱动发电机进行发电，并对其产生的高温烟气通过余热回收设备再次利用，利用余热供热制冷，以达到冷、热、电三联供的目标。

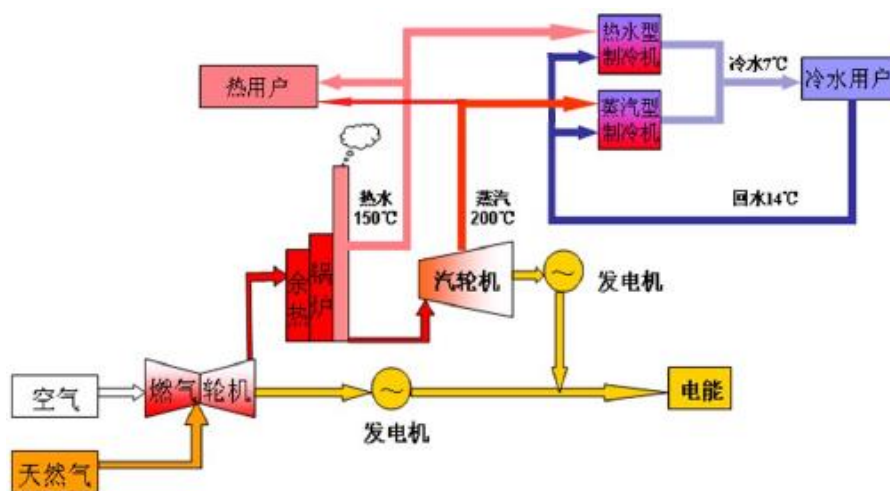


图 1.7.1 分布式燃气冷热电三联供系统原理图

## ● 技术类别

冷热电三联供有多种优化组合形式。根据燃气发电机种类划分，分为内燃机联供系统、燃气轮机联供系统、燃料电池联供系统等。根据发电机与电网的关系划分，有发电机与市电并网运行方式和发电机与市电切网运行方式两种规划方案。根据余热利用设备种类划分，有余热锅炉+吸收式制冷机组系统、补燃型余热锅炉+吸收式制冷机组系统、余热吸收式制冷机组系统等。根据系统运行时间不同划分，有全年连续运行和季节性间歇运行两种系统。

## ● 应用情况

冷热电三联供系统在欧美广泛应用于对供冷、供热及用电有需求的楼宇建筑。目前，国内冷热电三联供应用处于起步阶段。

## 适用条件

冷热电三联供没有特殊应用限制。

### ● 自然条件

该技术没有自然条件使用限制，不受环境因素影响。

### ● 政策条件

大气污染物排放有特殊限制区域，可以替代燃煤和燃油锅炉。

### ● 燃气供应

冷热电三联供需要稳定的燃料供应，如自建燃气供应站或者接入天然气管网。

## ● 其他

适合同时有较大冷热负荷需求的场所。特别是对于部分对电力供应有特殊要求的建筑，如医院等，采用冷热电三联供系统可以兼做此类建筑的应急或备用电源，同时兼具冷热供应能力。

## 技术特点

### ● 技术性

**能效：**冷热电联供可使一次能源综合利用效率显著提高，解决了热电联产以热定电因冬、夏热负荷不平衡而导致的能源利用率难以提高的问题。燃气冷热电三联供系统单项发电效率通常在 30%左右，但将其余热用于供冷及供热情况下，能量的综合利用率可高达 80%-90%。

**特点：**冷热电联供是供冷、供热、供电的技术集成，使 3 种功能实现了按需供应，满足不同的冷热负荷和电力需求。系统是自成的能源供应系统，可与市电并联运行，具有相对的独立性、灵活性和安全性。

采用冷热电联供可使用电用气峰谷负荷互补，利于电网、气网移峰填谷，有利于城市供电供气系统稳定、安全、高效、节能运行。

**技术成熟性：**经过多年发展和国外多年运行经验，技术成熟稳定。

### ● 环境性

**污染减排效益：**冷热电三联供系统，基本没有颗粒物和 SO<sub>2</sub> 排放。配合 SCR 系统可以达到较低的 NO<sub>x</sub> 排放浓度。

**碳减排：**冷热电三联供系统由于其非常高的综合能源利用效率，碳减排效果显著。

**二次污染风险：**冷热电三联供系统在使用中二次污染风险很小。

## ● 经济性

冷热电三联供系统的经济成本包括工程建设投资、运行和维护成本。

**建设投资：**建设投资受土地价格、设备选型和与电网匹配等诸多因素影响。由于此系统同时兼具供冷及发电功能，总体投资成本一般高于相应供热能力的燃煤锅炉。

**运行成本：**运行成本中用燃料费用是主要部分，因此，冷热电三联供的运行成本受燃气价格波动影响。

**维护成本：**系统复杂程度高于燃煤锅炉，但系统自动化程度高。

## 执行要点

### ● 规划整合

无特殊要求

### ● 补贴需求

由于天然气价格较高，需要配套相应的鼓励政策如优惠燃气价格等。

### ● 改造难度

由于系统整合了供冷供热以及电力供应，涉及多个系统，改造难度较大。适合新建场所统一规划建设。

## ● 使用培训

冷热电三联供的操作人员工种和工作内容与燃煤锅炉有较大不同，需要进行相应调整或培训。

## 1.8 其他

### 醇基锅炉

醇基燃料锅炉是指燃烧醇基燃料的锅炉。而醇基燃料，则是指以醇类，如甲醇、乙醇、丁醇等物质为主体配置，通过添加改性辅料或添加剂配制而成的一种新型清洁燃料。

醇基燃料以液体或固体形式存在，可替代液化气、煤油、柴油等用于餐饮或工业锅炉。与液化气、柴油、煤油相比，醇基燃料燃烧值低，热效率高，价格有优势，原料易购。而且，由于醇基燃料在燃烧后主要产物为  $\text{CO}_2$  和水，没有其他腐蚀性物质和颗粒物排放，清洁、环保，是燃煤替代的可选燃料之一。目前，市场上比较常见的醇基燃料锅炉主要为甲醇锅炉。

在锅炉应用中，醇基燃料通常是采用雾化燃烧方式，燃烧过程分别为喷雾形成阶段、蒸发阶段、着火阶段和燃烧阶段。

醇基燃料热值较普通燃煤、生物质成型燃料具有较大优势。但相比柴油等传统液体燃料，其热值明显偏低，使用过程中存在火力小、用量大等问题，必须采用具有特制炉头或燃烧机的专用设备，以提高燃烧效率。目前，国内市场的醇基燃烧机大多数是烧柴油的燃烧机或是将燃煤锅炉改造为醇基燃料锅炉。由于锅炉

及燃烧机并非针对醇基燃料设计，易出现燃烧不充分和排放超标，以及炉膛腐蚀等问题。

## 2 民用散煤改造类技术

### 2.1 空气源热泵

说明：在本指南中，所指空气源热泵为户式空气源热泵采暖设备。

#### 技术概要

##### ● 技术简介

热泵实质上是一种热量提升装置，使用少量高品位的电能作为驱动能源，从低温环境吸取热量，将热量传输递给高温环境。

空气源热泵是利用空气作为热源，吸取空气中热量，将这些热量转移到需要的地方。

##### ● 技术原理

目前普遍应用的热泵是蒸汽压缩式热泵，空气源热泵也属于此类热泵。

工作原理是：冷媒在蒸发器内，吸收环境热后蒸发，蒸发成过热蒸汽进入压缩机，在压缩机中经绝热压缩变为高温高压的气体，经冷凝器定压冷凝为低温高压液体，释放热量，液态冷媒经节流装置节流为低温低压液体，再进入蒸发器定压吸热。依次往复循环，不断将环境的热量泵入室内。

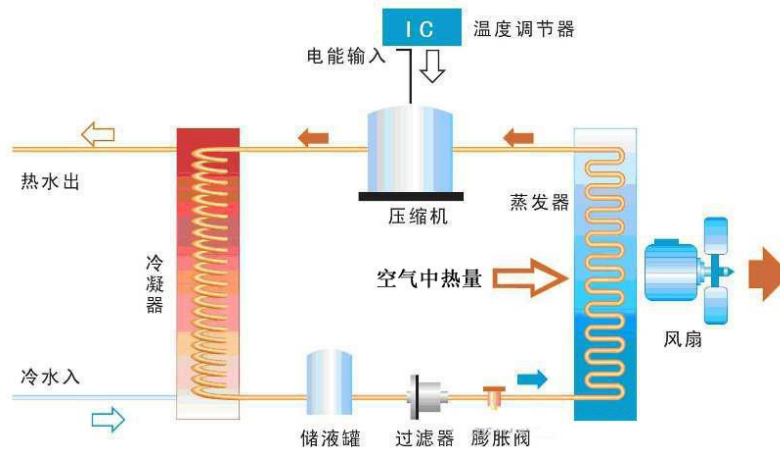


图 2.1.1 空气源热泵原理示意图

## ● 技术类别

以末端散热设备分为：热水型空气源热泵和热风型空气源热泵。

## ● 应用情况

2015-2016 年，户式空气源热泵采暖应用快速普及，北方农村煤改电项目多采用此设备，目前已成为农村煤改电的主流技术。

2016 年，在煤改电的推动下，空气源热泵热水供暖机组的销售台数已达到 18 万台，比较大规模采购热泵采暖设备的地区有北京和天津。<sup>10</sup>

## 适用条件

空气源热泵在具体应用时受到当地使用条件的限制，需综合考虑建筑物所处的地理位置和功能要求等因素，合理选择。

## ● 自然条件

<sup>10</sup> 2016 年空气源热泵采暖市场分析报告，热泵产业资讯

寒冷地区可选用低温空气源热泵，但极寒地区不适合使用空气源热泵，温度低、湿度大的地区，热泵制热能力会下降。

## ● 基础设施

空气源热泵适合未接入天然气管网的地区；对电网稳定供电能力有要求，供暖季负荷较大，老旧电网需要进行扩容改造，每户容量 1.5kW 需要扩增到 8kW-9kW。此外，建议双线供电，提高可靠性。

## ● 其他

**冷暖双供：**适用于供冷供暖都有需求的地区，可以一机两用，冬天制热、夏天制冷。

**空间：**空气源热泵安装布置较灵活，适用于分散用户。外机安装需要一定空间，保证外机空气流通。

## 技术特点

### ● 技术性

**能效：**空气源热泵空调能利用空气中的热能，消耗一份电可以产生最多四份热，能量利用率高。

**技术成熟性：**空气源热泵是一种空调技术，制热原理成熟；主要关键部件（压缩机、膨胀阀、换热器、冷媒）技术成熟。正常维护情况下，制热能力基本无衰减，可长期使用。

### ● 环境性

**污染减排效益：**本地污染物零排放。空气源热泵在运行时，消耗电能和空气中的热，没有污染排放；若考虑发电端污染排放，即便全部为煤电，其污染排放水平依然不到散煤的 1/10。

**碳减排：**协同减碳效果显著。由于散煤燃烧会排放大量黑碳，黑碳的 GWP 是 CO<sub>2</sub> 的 900 倍，用电替代散煤可实现较好的温室气体减排效果。每户每供暖季可减排约 13.5tCO<sub>2</sub> 当量。

**二次污染风险：**二次污染风险较小。制冷剂装填、维修以及使用中会有泄露可能，若制冷剂为环保制冷剂，可降低此类环境风险。若末端散热设备中使用防冻液，在使用、维护过程中可能有防冻液泄露风险。此外，外机在运行中会产生一定的噪声污染，需要在设备选型中予以关注。

## ● 经济性

空气源热泵的经济成本包括基础设施建设成本、设备成本和运维成本。

**基础设施：**电网改造扩容，每户约 5-8 万元。

**设备成本：**6 匹空气源热泵售价为 2.8 万元/台（此为北京市 2016 年煤改电项目招标价格），已包含设备安装施工费用。

**运维成本：**单位面积供暖费用约 20 元/(m<sup>2</sup>·a)，相同供暖效果下，运行费用与燃烧散煤基本相同。设备基本不需要特殊维护，维护成本较低。

## ● 其他

**舒适度：**温度便于调节，设备可以自动运行，温度恒定，制热舒适性优于燃煤供暖；外机有一定噪音，会影响舒适度；使用便捷，与燃煤相比，不需要填煤、卸渣等体力劳动。

**利用现有设施：**可使用用户已经建成的供暖管线和末端散热设备。

## 执行要点

### ● 规划整合

由于设备投资及电网改造成本较高，一旦安装，应当长期使用，短期有拆迁计划的区域不适应空气源热泵的改造。

### ● 补贴需求

设备投资费用较高，用户需要补贴支持。该技术成本正在下降期，由于技术成本变化较快，在推广时应当结合最新的技术成本信息进行决策。

### ● 改造难度

在基础设施改造完成后，用户端改造工程小、改造时间短。

### ● 使用培训

用户需要开展基本的维护操作培训，包括如何确保机组正常水位、如何确认通风口不被堵塞等。

## 其他参考文件

北京市通州区农村工作委员会关于“煤改电”项目空气源热泵设备及安装入围企业采购公开招标公告请参见如下链接：

[http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/gkzb/201703/t20170323\\_8034691.htm](http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/gkzb/201703/t20170323_8034691.htm)

## 2.1 案例：北京市房山区某村煤改空气源热泵项目

### 案例综述

#### ● 项目描述

北京市人民政府 2016 年《政府工作报告》中提出“重点治理农村散煤，实施 400 个村煤改清洁能源，完成 3000 蒸吨左右燃煤锅炉清洁能源改造”，并于当年启动“煤改电”和“煤改气”工作。

房山区某村于 2016 年启动开展“煤改电”工作，采用空气源热泵技术进行改造。其中，格力空气源热泵共 249 户，海尔空气源热泵共 50 户，鸿盛蓄能蓄热式电采暖 40 户。

主要责任单位有北京市农村工作委员会、相关区乡镇政府及村委会。

#### ● 调研介绍

清洁空气创新中心与北京市环境保护科学研究院于 2017 年 2 月 24 日对该村煤改空气源热泵项目进行调研。2016 年，该村有两家空气源热泵供应商，分别为格力空调和海尔电器。本次调研的对象为格力空气源热泵。

### 案例技术介绍

#### ● 技术原理

同空气源热泵技术描述。



图 2.1.1 案例空气源热泵图

## ● 运行描述

供暖季全天运行。

## ● 经济投入

该村所用格力空气源热泵共有 3 种型号，分别为 6 匹、5 匹和 3 匹。调研了解到，该村用户基本采用 6 匹的热泵。该村热泵采购及补贴情况如下表：

热泵设备 (格力 6 匹)	采购价格 (万元)	2.8
	补贴 (万元/户)	2.72
	业主自付 (元)	800
运行电费	补贴 (元/kWh)	0.2
	业主自付 (元/kWh)	0.1

在针对 6 匹热泵设备的 2.72 万元补贴中，市级财政负担 1.2 万元，区级财政负担 1.2 万元，村委会负担剩余的 80%即 3200 元。

运行电费补贴中，市级财政负担 0.1 元/kWh，区级财政负担 0.1 元/kWh，补贴电量上限为 1 万 kWh，即最高补贴 2000 元。

## 案例技术特点

据厂商介绍，该产品在北京冬季的低温下可正常运行。但是，由于 2016 年冬季平均气温较高，该技术特点未得到实际验证。

所调研设备制热 COP 为 2.2，国家能效评定为 3 级（中等）。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

按每户年供暖季平均用煤 5t 计算污染物减排量。

燃煤替代量 (t/a)	SO <sub>2</sub> 减排量 (kg/a)	NO <sub>x</sub> 减排量 (kg/a)	烟尘减排量 (kg/a)	VOCs 减排量 (kg/a)
5	44.40	8 KG	75 KG	20 KG

### ● 减排成本分析<sup>11</sup>

指标名称		费用
空气源热泵购置成本，6 匹机型（元）		28000
运行成本 (元/年)	电费	2874.83
	含初投资	5674.83
污染物减排年成本（元/（污染当量数·年））		51.30
吨煤年替代成本（元/（吨煤·年））		1134.96
单位面积供暖成本 (元/（m <sup>2</sup> ·年））	含初投资	47.29
	运行成本	23.96

## 补充信息

### ● 问题

<sup>11</sup> 未考虑通货膨胀，其他经济因素

在所调研供暖季最冷时期，由于空气源热泵都大负荷运行，导致那段时期村内电力设备超负荷，出现断电而无法供暖。地方政府及有关部门应当根据地区最大用电负荷配套升级区域供电设备容量，避免发生此类问题。

## ● 用户体验及反馈

村民表示，空气源热泵供热体验舒适，温度恒定，基本不需要人为控制调节。与燃煤相比，不需要填煤，省时省力；而且，没有清理煤粉、煤渣的问题，干净卫生。格力公司相关工作人员表示，该村在 2016 年供暖季中，所选用的格力空气源热泵设备运行状况良好，未出现设备质量问题。村民反映较多的是水泵噪音以及风机噪音的问题。水泵噪音主要是由于设备缺水导致，补水后即可解决；风机噪音为设备正常运行产生，主要解决方法是将设备安装在远离门窗的位置，不属于质量问题。

## 相关设备信息

主要技术参数	格力
名义工况性能系数 (COP)	2.2
额定功率	5450 kW
制热量	12 kW
最高出水温度	55 °C
设计最低环境温度	-25 °C
设备占地面积/空间	1141 mm × 596 mm × 288mm
设计使用寿命	10 年
散热模式	地暖、暖气片（主）、盘管

## 2.2 蓄热式电暖气

### 技术概要

#### ● 技术简介

蓄热式电暖气技术，是利用夜间电网低谷时段的低价电能，在这期间完成电、热能量转换并贮存，在电网高峰时段，以辐射、对流的方式将贮存的热量释放出来，实现全天供暖。

#### ● 技术原理

蓄热式电暖气技术的原理是耐高温的电发热元件通电发热，将电能转换为热能加热特制的蓄热材料，蓄热材料在保温材料的包裹下，贮存热量；使用时可按照用户意愿调节热量释放速度，缓慢释放贮存的热量。

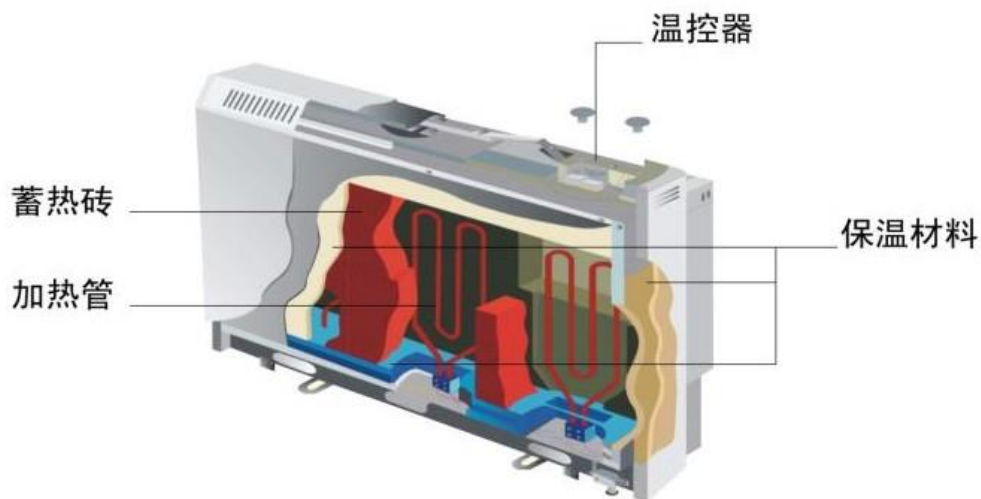


图 2.2.1 蓄热式电暖气结构示意图

#### ● 技术类别

蓄热式电暖器根据蓄热介质的不同，主要可以分为显热蓄热式电暖器和相变蓄热式电暖器两种。

显热蓄热式电暖器的蓄热介质一般是热容量大的固体材料、热水等。利用蓄热材料温度的变化吸收或释放热量。相变蓄热式电暖器是利用相变材料的相变过程来蓄存或释放热量。

显热蓄热式电暖器放热过程温度下降，散热功率难以保持恒定，热舒适性差。相变过程材料的温度保持不变，故热舒适性好。

## ● 应用情况

市场上主要的蓄热式电暖器主要是显热蓄热式电暖器，而相变蓄热式电暖器因为受相变蓄热材料技术发展的限制，市场上产品较少。

## 适用条件

### ● 自然条件

使用不受自然条件限制。

### ● 基础设施

由于蓄热式电暖器功率较大，对电网稳定供电能力有一定要求，老旧电网需要进行扩容改造。

### ● 其他

**空间：** 安装布置较灵活，适用于分散用户。

**峰谷分时电价：** 由于蓄热式电暖器耗电量较大，需要配套峰谷电价政策以降低使用成本，提高技术经济性。

## 技术特点

### ● 技术性

**能效：** 蓄热式电暖器电热转换效率很高，有电能基本都可以转化为热能。

**蓄热：** 可以利用夜间低谷电蓄热，平峰电时放热，节约供热费用。

**技术成熟性：** 在蓄热式电暖器技术中，加热与保温技术部分成熟稳定；蓄热材料方面，显热蓄热材料应用多年，技术成熟；相变蓄热材料仍在发展与完善中。

### ● 环境性

**污染减排效益：** 本地污染物零排放。

**碳减排：** 协同减碳效果显著，由于散煤燃烧会排放大量黑碳，黑碳的 GWP 是 CO<sub>2</sub> 的 900 倍，用电替代散煤可实现较好的温室气体减排效果。平均每户每供暖季可减排约 13.5tCO<sub>2</sub> 当量。<sup>12</sup>

**二次污染风险：** 蓄热式电暖器在使用中没有二次污染风险。

### ● 经济性

<sup>12</sup> 以每户冬季散煤使用量 5t 计算。

蓄热式电暖器的经济成本包括基础设施建设成本和设备成本。

**基础设施：**电网改造扩容，每户约 5-8 万元。

**设备成本：**设备功率不同，价格有所不同，无安装施工费用。

**运行成本：**单位面积供暖费用约 35 元/(m<sup>2</sup> · a)<sup>13</sup>。相同供暖效果下，

运行费用高于燃烧散煤。设备无需特殊维护。

### ● 其他：

**舒适度：**使用便捷，与燃煤相比，不需要填煤、卸渣等体力劳动；温度调节灵活，但显热蓄热设备温度不恒定，放热后期温度下降明显，某些情况下制热效果低于燃煤供暖。

**电网：**蓄热式电暖器可为电网移峰调荷、消纳清洁能源发电发挥积极作用，但需要对电网裕度、承载能力进行评估分析。

**安装使用：**灵活方便，使用简单，无需安装直接使用。

## 执行要点

### ● 规划整合

设备采购费用较低，适合短期有拆迁计划，但同时需进行煤改电的地区。

### ● 补贴需求

<sup>13</sup> 蓄热式电采暖—北京旧城区平房采暖改造的有效途径

设备运行费用高，需要补贴电费维持用户使用。

- **改造难度**

在用户电路容量允许情况下，蓄热式电暖器可直接使用，无改造需求。

- **使用培训**

无需对用户进行使用培训。

## 其他参考文件

北京市通州区农村工作委员会通州区“煤改电”储能式电暖器设备及安装项目招标公告请参见如下链接：

[http://www.ccgpp.gov.cn/cggg/dfgg/gkzb/201606/t20160602\\_6856065.htm](http://www.ccgpp.gov.cn/cggg/dfgg/gkzb/201606/t20160602_6856065.htm)

## 2.2 案例：北京市通州区村煤改蓄热式电采暖项目

### 案例综述

#### ● 项目描述

北京市人民政府 2016 年《政府工作报告》中提出“重点治理农村散煤，实施 400 个村煤改清洁能源，完成 3000 蒸吨左右燃煤锅炉清洁能源改造”，并于当年启动“煤改电”和“煤改气”工作。

通州区某村于 2016 年启动“煤改电”工作，通过设备招标选择了空气源热泵和蓄热式电暖器两种技术路线。其中，空气源热泵采用清华同方空气源热泵，共计 217 户；蓄热式电暖器采用桑普蓄热式电暖器，共计 6 户。

主要责任单位有北京市农村工作委员会、相关区、乡镇政府及村委会。

### 调研介绍

清洁空气创新中心与北京市环境保护科学研究院于 2017 年 2 月 28 日对该村村煤改蓄热式电暖器项目进行调研。2016 年，该村蓄热式电暖器供应商为北京桑普阳光技术有限公司，本次调研的对象为桑普蓄热式电暖器。

### 案例技术介绍

#### ● 技术原理

基本原理同蓄热式电暖器技术描述。

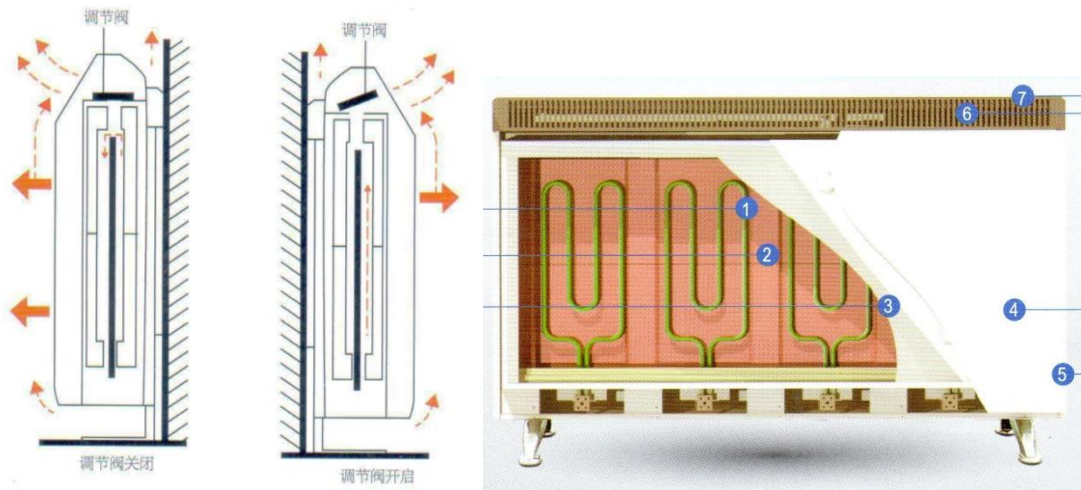


图 2.2.2 桑普蓄热式电暖器示意图

### ● 运行描述

夜间低谷电期间蓄热，白天断电，释放储存的热量，全天工作。

### ● 经济投入

该村所用桑普蓄热式电暖器有 3 种型号，分别为 1.2kW、2.4kW 和 3.2kW。设备采购及补贴情况如下表所示：

采暖设备	设备型号	1.2 kW	2.4 kW	3.2 kW
	采购价格（元）	1500	2200	2500
补贴（元）		1350	1980	2250
业主自付（元）		150	220	250
运行电费	补贴（元/kWh）	0.2		
	业主自付（元/kWh）	0.1		

运行电费补贴中，市级财政负担 0.1 元/kWh，区级财政负担 0.1 元/kWh，补贴电量上限为 1 万 kWh，即最高补贴 2000 元。

### 案例技术特点

**蓄热材料：**采用微晶陶瓷蓄热材料，高温显热蓄热。

**热量释放方式：**有两种方式，第一阶段主要为热辐射方式，通过暖器面板向房间释放热量；第二阶主要为热对流方式，随着蓄热砖温度降低，调节阀开启，通过对流方式补充房间所需热量。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

按每户每供暖季平均用煤 3 吨计算污染物减排量。

燃煤替代量 (t/a)	SO <sub>2</sub> 减排量 (kg/a)	NO <sub>x</sub> 减排量 (kg/a)	烟尘减排量 (kg/a)	VOCs 减排量 (kg/a)
5	26.64G	4.8	45	12

### ● 减排成本分析<sup>14</sup>

蓄热式电暖器购置成本（元） <sup>15</sup>		4700
运行成本 (万元/年)	电费	3261.6
	含初投资	3731.6
污染物减排年成本（元/（污染当量数•年））		56.23
吨煤年替代成本（元/（吨煤•年））		1243.87
单位面积供暖成本（元/ (m <sup>2</sup> •年)）	初投资	74.63
	运行成本	65.23

## 补充信息

### ● 问题

蓄热式电暖器运行成本较高，但相比空气源热泵，其初始投资低。适用于短期内规划拆迁的地区，作为临时清洁取暖方式。

<sup>14</sup> 未考虑通货膨胀，其他经济因素

<sup>15</sup> 50m<sup>2</sup>，一台 3200w，一台 2400w

## ● 用户体验及反馈

村民表示，蓄热式电暖器供热体验舒适，基本不需要人为控制调节。与燃煤相比，不需要填煤，省时省力；而且，没有清理煤粉、煤渣的问题，干净卫生。

## 相关设备信息

项目	主要技术参数		
型号	SPDX1600	SPDX2400	SPDX3200
电压/功率	220V/1600W	220V/2400W	220V/3200W
控制系统	机械控制	机械控制	机械控制
外观规格 mm	590×620×200	818×620×200	1046×620×200
重量	65kg	95kg	125kg
使用面积	13-20	20-30	26-40

## 2.3 燃气壁挂炉

### 技术概要

#### ● 技术简介

燃气壁挂炉是以燃气如天然气、人工煤气、液化石油气等为能源，以水为热媒，通过地暖或散热器向房间供暖的小型锅炉。

#### ● 技术原理

燃气壁挂炉的内部供热部分包括循环水泵、加热器、膨胀水箱。水以燃气为热源，经过加热器加热和循环水泵循环，将热水送至散热器或地暖盘管后，经回水管回流壁挂炉，完成循环，为室内供热。

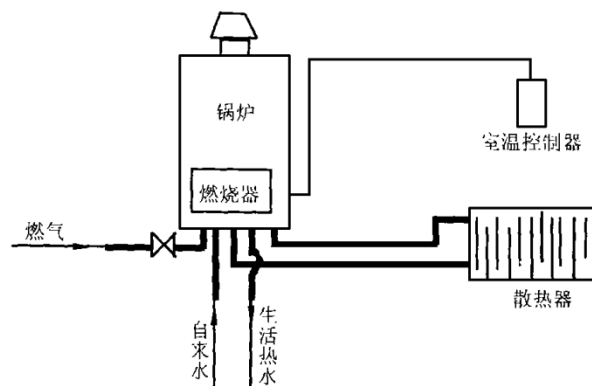


图 2.3.1 燃气壁挂炉原理示意图

#### ● 技术类别

燃气壁挂炉按照使用功能，可以分为单采暖燃气壁挂炉和采暖生活热水两用壁挂炉；按照燃气排气换热形式，可以分为普通燃气壁挂炉和冷凝式燃气壁挂炉。

## ● 应用情况

在清洁供暖政策的刺激下，燃气壁挂炉行业实现了跨越式增长，呈现出供不应求的发展态势。年度统计数据显示，2016年中国燃气壁挂炉市场的整体行业产量在190万台，国内销量高达166.65万台，实现同比增速48%，其中，主要外资品牌增速在20%-40%之间，主要国产品牌增速在40%-200%之间。<sup>16</sup>

## 适用条件

### ● 自然条件

使用不受自然条件限制。

### ● 政策条件

大气污染物排放有限制区域，可以替代散煤供暖；特殊大气污染物排放限值区域需使用低氮氧化物排放的燃气壁挂炉，以满足氮氧化物排放要求。

### ● 燃气供应

燃气壁挂炉要求燃料供应稳定，适用于有天然气管网且燃气供应稳定、充足的地区。

## 技术特点

区别于传统的集中供热采暖，燃气壁挂炉采暖是一种单元化、独立式的采暖方式。其特征是单台壁挂炉可为300 m<sup>2</sup>左右的单元住宅或别墅单独提供采暖热源和生活用热水。分户式壁挂炉采暖与集中供暖相比，热力、外网及楼内管道的热

<sup>16</sup> <http://news.chinabm.cn/jcnews/2017/0227382273.shtml>

损失至少可以减少 15%。另外，分户式壁挂炉用户可以根据自己的实际情况确定室内温度、采暖时间和采暖区间，可以为用户节约运行费用 30% 左右。而集中供热用户无论何时、家中是否有人，室内温度均保持在一定温度，甚至还存在因室温过高而开窗散热的情况，造成能源浪费。所以，分户式壁挂炉采暖与集中供热相比，舒适性和节能效果都较显著。

## ● 技术性

**能效：**燃气壁挂炉的能效远高于燃烧散煤。普通的燃气壁挂炉热效率在 90% 左右，先进的冷凝式燃气壁挂炉产品热效率可以达到 95% 以上。另外，燃气壁挂炉与集中式供暖相比，管道热损失小。

**技术成熟性：**燃气壁挂炉发展应用多年，技术成熟。

**其他：**某些型号的燃气壁挂炉在提供采暖热源的同时，还可提供生活热水。

## ● 环境性

**污染减排效益：**燃气壁挂炉与燃烧散煤相比，基本没有颗粒物和 SO<sub>2</sub> 排放。在使用低氮技术情况下，NO<sub>x</sub> 排放可以达到相关排放标准要求。

**碳减排：**由于燃气锅炉热效率高和天然气燃烧碳排放低的特性，使用燃气替代散煤可实现温室气体减排。

**二次污染风险：**普通燃气壁挂炉无二次污染风险。冷凝式燃气壁挂炉在使用时除考虑烟气排放外，由于冷凝水呈现弱酸性，还需要考虑冷凝水的排放问题。

## ● 经济性

燃气壁挂炉的经济成本包括基础设施建设成本、设备成本和运维成本。

**基础设施：**如果需要建设燃气管网配套设施，则基础设施投资较大。

**设备成本：**功率为 40kW 的燃气壁挂炉招标采购价格为 7300 元/台（为北京市 2016 年煤改气项目燃气壁挂炉招标价格），已包含设备安装施工费用。

**运维成本：**单位面积供暖费用约 15-25 元/(m<sup>2</sup>·a)，相同供暖效果下，燃气壁挂炉运行费用低于燃烧散煤。设备基本不需要特殊维护，维护成本较低。

## ● 其他

**舒适度：**温度便于调节，设备可以自动运行，温度恒定，制热舒适性优于燃煤供暖；使用便捷，与燃煤相比，不需要填煤、卸渣等体力劳动。

**利用现有设施：**可使用用户已经建成的供暖管线和散热设备。

## 执行要点

### ● 规划整合

燃气壁挂炉推广需要稳定的燃气供应保障，和供气管线等基础设施。对于难以保障稳定燃气供应的地区，管线施工有难度的地区，不适用于燃气壁挂炉的改造。同时，由于燃气官网的投资改造成本较高，一旦投入运行，应当长期使用，短期有拆迁计划的地区，也不适用于燃气壁挂炉的改造。

### ● 补贴需求

设备投资和使用费用较高，用户需要补贴支持。

### ● 改造难度

在基础设施改造完成后，用户端改造工程小、改造时间短。

## ● 使用培训

用户基本不需要特定的维护保养培训。

## 其他参考文件

北京市通州区市政市容管理委员会“煤改气”项目燃气壁挂炉设备及安装入围企业采购公开招标请参见如下链接：

[http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/gkzb/201702/t20170221\\_7940271.htm](http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/gkzb/201702/t20170221_7940271.htm)

## 2.3 案例 北京市通州区某村燃气壁挂炉应用

### 案例综述

#### ● 项目描述

北京市人民政府 2016 年《政府工作报告》中提出 “重点治理农村散煤，实施 400 个村煤改清洁能源，完成 3000 蒸吨左右燃煤锅炉清洁能源改造”，并于当年启动“煤改电”和“煤改气”工作。

调研的通州区某村 2016 年“煤改气”工作共覆盖全村 1100 余户村民。

主要责任单位有北京市农村工作委员会、相关区、乡镇政府及有关部门。

#### ● 调研介绍

清洁空气创新中心与北京市环境保护科学研究院于 2017 年 3 月 16 日对该村煤改燃气壁挂炉项目情况进行调研。2016 年，该村燃气壁挂炉供应商为戴纳斯帝。调研共走访了两户戴纳斯帝燃气壁挂炉业主。

业主 1 室内采暖面积为 82m<sup>2</sup>，供暖季天然气消耗量 800m<sup>3</sup> 左右。业主 2 室内采暖面积为 200m<sup>2</sup>，供暖季天然气消耗量 2200m<sup>3</sup> 左右。



图 2.3.2 业主 1 壁挂炉

图 2.3.3 业主 2 排气口

## 案例技术介绍

### ● 技术原理

同燃气壁挂炉技术描述。

### ● 运行描述

供暖季全天运行。

### ● 经济投入

燃气壁挂炉设备 (戴纳斯帝 40kw)	采购价格 (元)	7300
	补贴 (元)	5980
	业主自付 (元)	1320
燃气价格 (元/m <sup>3</sup> )		2.36

## 案例技术特点

案例所应用的燃气壁挂炉能效等级为二级，额定热负荷热水效率为 88%，额定热负荷供暖效率也为 88%。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

按每户每供暖季平均用煤 5 吨计算污染物减排量。

燃煤替代量 (t/a)	SO <sub>2</sub> 减排量 (kg/a)	NO <sub>x</sub> 减排量 (kg/a)	烟尘减排量 (kg/a)	VOCs 减排量 (kg/a)
5	44.40	7.95	75.00	20.00

## ● 成本分析<sup>17</sup>

详细成本信息如下表：

指标名称		费用
燃气壁挂炉购置成本（元）		7300
运行成本（万元/年）	燃气费	3304
	含初投资	4034
污染物单位当量减排年成本（元/（污染当量数·年））		36.66
吨煤年替代成本（元/（吨煤·年））		806.8
单位面积供暖成本（元/（m <sup>2</sup> ·年））	含初投资	33.62
	运行成本	27.53

## 补充信息

### ● 问题

暂无。

### ● 用户体验及反馈

村民表示，供热体验舒适，温度恒定，基本不需要人为控制调节。与燃煤相比，不需要填煤，省时省力；而且没有清理煤粉、煤渣的问题，干净卫生。

## 相关设备信息

主要技术参数	戴纳斯帝
温度调节范围	30℃-60℃
采暖水温度调节范围	30℃-80℃
最大额定热输入	40.0kW
最大额定供暖热输出	36.0kW
最小额定热输入	16.0kW
最小额定供暖热输出	14.0kW
额定电功率	130W

<sup>17</sup> 未考虑通货膨胀及其他经济因素。

燃气种类	天然气（12T）
------	----------

## 2.4 太阳能光伏

**说明：**在本指南中，分布式光伏发电是指在用户场地附近建设，运行方式以用户侧自发自用、多余电量上网，且在配电系统平衡调节为特征的光伏发电设施。

### 技术概要

#### ● 技术简介

光伏发电是利用半导体界面的光生伏特效应，将光能直接转变为电能的一种技术。这种技术的关键元件是太阳能电池。太阳能电池经过串联后进行封装保护可形成大面积的太阳电池组件，再配合上功率控制器等部件就形成了光伏发电装置。

分布式光伏发电系统与常规电网相连，共同承担供电任务。当有阳光时，逆变器将光伏系统所发的直流电逆变成正弦交流电，产生的交流电可以直接供给交流负载，然后将剩余的电能输入电网，或者直接将产生的全部电能并入电网。在没有太阳时，负载用电全部由电网供给。

#### ● 技术原理

分布式光伏发电主要是光电直接转换的方式，该方式是利用光伏效应，将太阳辐射能直接转换成电能，光电转换的基本装置就是太阳能电池。太阳能电池是一种利用光生伏特效应将太阳光能直接转化为电能的器件，是一个半导体光电二极管。当太阳光照到光电二极管上时，光电二极管就会把太阳的光能变成电能，

产生电流。当许多个太阳能电池串联或并联起来时，就可以形成有较大输出功率的太阳能电池方阵。

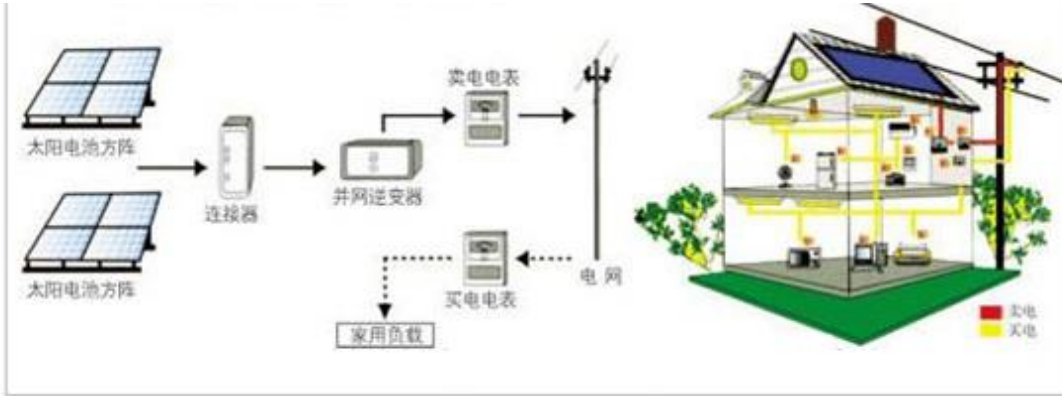


图 2.4.1 分布式光伏发电系统示意图

## ● 技术类别

根据太阳能电池材料的不同，太阳能电池可分为：单晶硅、多晶硅太阳能电池和非晶硅薄膜太阳能电池等。

## ● 应用情况

由于分布式光伏发电系统可分散安装、就地消纳，在装机渗透率低于 30% 的情况下不需要对电网进行改造，因此，各国都优先发展分布式光伏发电系统，它已成为全球光伏发电市场的主流。

中国政府在 2014 年后出台了一系列鼓励分布式光伏发电的法规政策，各地方政府也纷纷出台配套补贴政策，在中国掀起了分布式光伏发电系统的建设热潮。

## 适用条件

分布式光伏发电如用于北方地区供暖，需要与电加热设备相匹配。

● 自然条件

按照地区全年日照时数和接受太阳能辐射量的大小，我国太阳能资源分布大致可分为五类地区，如下图所示。京津冀地区属于二三类区域范围内，太阳能资源较为丰富，可以发展分布式光伏发电。

二类地区，全年日照时数为 3000~3200 小时，辐射量在  $586\sim 670\times 10^4\text{kJ} / \text{m}^2\cdot\text{a}$ ，相当于 200~225kg 标准煤燃烧所发出的热量。

三类地区，全年日照时数为 2200~3000 小时，辐射量在  $502\sim 586\times 10^4\text{kJ} / \text{m}^2\cdot\text{a}$ ，相当于 170~200kg 标准煤燃烧所发出的热量。

如下图：

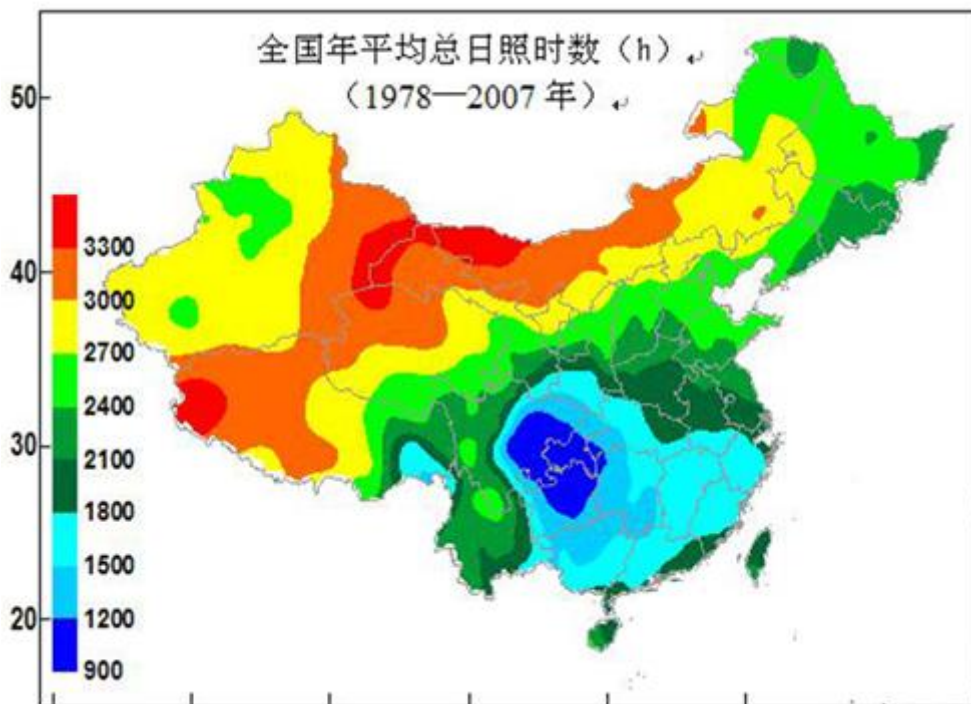


图 2.4.2 全国太阳能资源分布图

## ● 基础设施

由于光伏发电不稳定，在不使用其他辅助供暖方式的情况下，电网基础设施需能满足单独使用电加热设备的容量需求。

## ● 其他

**暖电双供：**除了冬季结合电采暖技术用于采暖，全年所发电量都可用于满足用户的其他电力需求。

**空间：**分布式光伏发电系统一般布置在用户房屋的顶部，对屋顶面积和屋顶强度有一定要求，同时，还需考虑周边遮挡的问题。

## 技术特点

### ● 技术性

**能效：**分布式光伏晶体板发电的一般效率可达 18%-19%。

**技术成熟性：**晶硅太阳能板发电系统已经相当成熟。

### ● 环境性

**污染减排效益：**本地污染物零排放。光伏发电配合空气源热泵或其他电采暖方式，消耗电能及空气能。若考虑发电端污染排放，即便全部为煤电，其污染排放水平依然不到散煤的 1/10。

**碳减排：**协同减碳效果显著。由于散煤燃烧会排放大量黑碳，而黑碳的 GWP 是 CO<sub>2</sub> 的 910 倍，用电替代散煤可实现较好的温室气体减排效果。每户每供暖季可减排约 13.5 吨的 CO<sub>2</sub> 当量。

**二次污染风险：**光伏发电设备本身在运行期间无二次污染。

**基础设施：**电网改造扩容，每户约 5-8 万元；需要有足够强度，足够面积，并且不受周边遮挡的屋顶。

**设备成本：**以 200m<sup>2</sup> 屋顶的光伏发电项目为例，成本约 32 万元。

**运维成本：**采用分布式光伏发电配合空气源热泵，运行成本很低。设备基本不需要特殊维护，维护成本较低。

## ● 其他

**舒适度：**温度便于调节，设备运行自动化，温度恒定，制热舒适性优于燃煤供暖。

**利用现有设施：**可使用用户已经建成的供暖设备。

## 执行要点

### ● 规划整合

由于设备投资及电网改造成本很高，一旦安装，应当长期使用，短期有拆迁计划的区域不适宜进行“光伏发电+电采暖”组合系统的改造。

## ● 补贴需求

设备投资费用较高，用户需要补贴支持。该技术成本正在下降期，由于技术成本变化较快，在推广时应当结合最新技术成本信息进行决策。

## ● 改造难度

在电网等基础设施改造完成后，用户端改造工程的改造时间较短。

## ● 使用培训

需要对用户开展基本的维护操作，包括定期清洗光伏板上的积尘等。

## 其他参考文件

暂无。

## 2.4 案例 北京亦庄经济开发区独栋商建分布式光伏项目

### 案例综述

#### ● 项目描述

项目用户兴象科技有限公司位于北京市亦庄经济开发区经海三路，分布式光伏发电系统即安装在用户总高为 4 层的独栋商业办公楼房屋顶上。该独栋商业建筑每天总耗电需求量为（包括照明、采暖，电梯等）300kWh-500kWh。



图 2.4.3 安装前屋顶图片

慧能阳光是该光伏发电项目的承包商，负责项目设计和施工。项目于 2016 年 7 月开始施工，2016 年 9 月完成，同年 10 月完成并网。项目主要采用常规固定安装方式，光板组件为 120 块多晶硅板，工作电压为三相 AC380V/50Hz，阵列容量为 31.2kW，逆变器额定功率为 31.2kW，总占地面积为 199m<sup>2</sup>。



图 2.4.4 安装后效果图

该项目设计日均发电量为 110kWh。由于受机组调试、雨雪和雾霾等天气条件以及日照强度等影响,在 2016-2017 年供暖季期间,项目日均发电量为 69.82kWh。2017 年 3 月 13 日的发电量最大,为 153.08kWh,2016 年 10 月 18 日的发电量最小,为 1.33kWh。

## ● 调研介绍

清洁空气创新中心与北京市环境保护科学研究院于 2017 年 1 月 10 日调研了该光伏发电项目的应用情况。

## 案例技术介绍

### ● 技术原理

同技术描述部分。

### ● 运行描述

光伏组件全年可持续运行。在供暖季，项目用户每天的电力需求高达300-500kWh，因此，系统所发电量并不够支持电采暖设备，依然需要电网支持。本案例近200m<sup>2</sup>的屋顶光伏发电系统日均发电量约70kWh，可满足供暖面积为120m<sup>2</sup>的空气源热泵用户的供暖需求。

## ● 经济投入

将本光伏发电项目案例与空气源热泵案例相匹配，可获知应用“光伏+空气源热泵”组合系统用于供暖的成本。

设备名称	采购价格（万元）
热泵设备	2.8
光伏设备	32

该项目用户设计年发电总量为40280kWh左右，日均发电量为110kWh左右。

该公司属于商业用电，按北京市商业用电电价1.2元/kWh计算，每年可节约电费4.8万元左右。

按目前国家相关分布式电源补贴政策<sup>18</sup>，北京市在国家规定的基础上再补贴0.3元/kWh，每年用户可获得2.9万元左右补贴。

## 案例技术特点

晶体硅太阳能电池组件技术成熟，且产品性能稳定，使用寿命长。商业用太阳能电池组件中，单晶硅组件转换效率最高，多晶硅其次，但两者相差不大。

晶体硅电池组件故障率极低，运行维护简单。在开阔场地上使用晶体硅光伏组件，安装简单方便，布置紧凑，可节约场地。

相比非晶硅薄膜电池，晶体硅电池使用寿命期更长。

<sup>18</sup> 分布式电源补贴政策：0.42元/kWh

晶体硅电池可以在低温状态下正常运行。

## 环境效益分析

### ● 减排量分析

若按每户每供暖季平均用煤 5 吨进行计算。

燃煤替代量 (t/a)	烟尘 (kg/a)	NO <sub>x</sub> (kg/a)	SO <sub>2</sub> (kg/a)	VOCs (kg/a)
5 吨	75 KG	8 KG	44.4 KG	20 KG

### ● 减排成本分析<sup>19</sup>

费用		
空气源热泵	设备折旧	5300 元/年
光伏投入	光伏设备折旧 <sup>20</sup>	16000 元/年
吨煤替代成本	燃煤替代每户年投入	21300 元
	吨煤减排成本	3200 元/吨
污染物减排成本	大气污染物单位当量减排成本	144.6 元/当量

## 补充信息

### ● 问题

由于用户的发电量并不足以满足用电需求，光伏发电系统相当于支持了部分空气源热泵的电耗。

太阳能光伏发电系统的能源效率受外界天气影响很大，如重雾霾天气，需要电网作为辅助能源支持空气源热泵持续运行。

从供暖季的平均日发电量来看，可满足农村地区供暖面积在 120m<sup>2</sup> 左右的空气源热泵用户的供暖需求。

<sup>19</sup> 未考虑通货膨胀，其他经济因素

## ● 用户体验及反馈

项目运行比较稳定，不需要现场人员维护，自动与电网互补。出现特殊情况（如雷击、电网波动导致通信中断等）时，技术工程师会来现场。项目审批、备案、并网和补贴申请发放流程相对繁琐。

## 相关设备信息

表 2.4.5 系统配置清单

序号	部件名称	规格	单位	数量	备注
1	光伏组件	(260Wp)	块	120	具备相关认证资格
2	并网逆变器	YC500	台	60	具备相关认证资格
3	交流汇流箱		台	1	具备防雷、断路器
4	方阵对接头		对	10	用于组件连线
5	25A 公母头		对	10	用于逆变器连接
6	监控模块	ECU	套	1	赠送
7	交流电缆	ZR-YJV-0.6-3×4mm <sup>2</sup>	米	30	具体用量，实际情况而定
8	交流电缆	ZR-YJV-0.6-5×16mm <sup>2</sup>	米	50	具体用量，实际情况而定
9	接地系统		套	1	
10	支架	31.2kW	套	1	
11	安装附件		套	1	

## 2.5 其他民用散煤改造技术

### 水热型地热能利用技术

地热能是一种绿色低碳的可再生能源，具有储量大、分布广、清洁环保、稳定可靠等特点。按照地热资源的纵向分布位置，可分为浅层地热资源、水热型地热资源和干热岩资源三种。浅层地热能的利用如土壤源热泵技术已经在前述章节进行了详细介绍，此部分简要介绍水热型地热能利用技术。

水热型地热能利用技术采用换热以及热泵技术利用地热资源。对于地表水以及温度不高的地下水热资源，通常采用热泵技术提高热源品味，进行供暖。温度较高的水热资源可以直接换热后供暖，经换热后的热水若再采用梯级利用的方式，充分利用所抽取热水中的能量，则可以进一步提高能量利用效率。

地下水热资源的利用具有稳定、可靠的特点，但也因为需要抽取地下水，会受到地下水资源条件和地层结构的限制。同时，由于需要进行地下水回灌，可能存在污染地下水的风险。另外，钻井成本也是利用地下水热资源时需要考虑的重要因素。

## 太阳能热泵采暖系统

太阳能热泵采暖系统是将太阳能集热器和热泵组合，由太阳能为热泵提供所需要的热源，并实现将低品位热能提升到高品位热能，为建筑物供热的系统。通过组合，不仅可以提高太阳辐射不充足时太阳能系统产生的热水温度，同时，在温度比较低的工况下，空气源热泵系统还能够利用太阳能系统获得的辐射热改善自身的热性能。

太阳能热泵采暖系统主要分为直接膨胀式太阳能采暖系统和非直接膨胀式太阳能采暖系统。直接膨胀式太阳能热泵采暖系统是将太阳能集热器与热泵蒸发器结合为一体。非直接膨胀式太阳能热泵采暖系统是将太阳能集热器与热泵蒸发器分离，一般由太阳能集热器、换热器、热泵和贮水箱等部件组成。

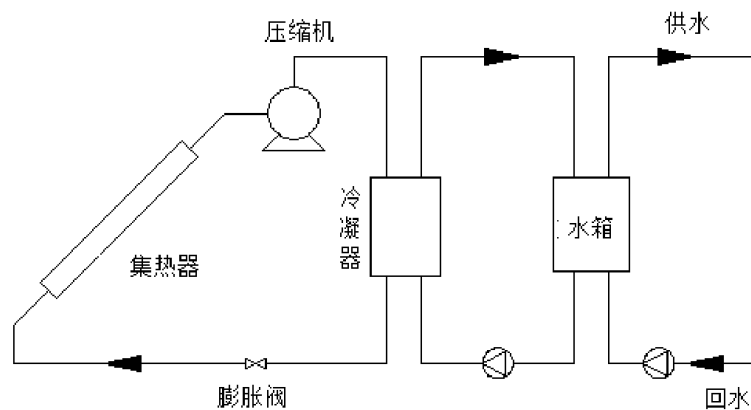


图 2.5.1 直接膨胀式太阳能热泵热水系统

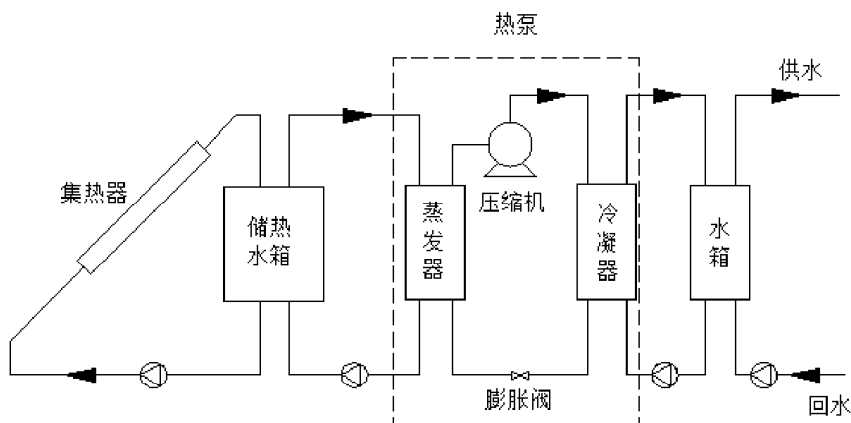


图 2.5.2 非直接膨胀式太阳能采暖系统（串联式）

太阳能热泵采暖系统主要特点是热效率高，并能有效利用低温热源，延长太阳能采暖的使用时间。但由于太阳能集热方面受地理纬度、季节变化、昼夜交替及各种复杂气象因素的影响，制热工况会有波动。

## 碳纤维电采暖

碳纤维电采暖技术利用碳纤维半导体材料，以电力为能源实现辐射采暖。该技术系统产品构造简单、控制方便智能，其电热转换率高达 99%。



图 2.5.4 碳纤维电采暖示意图

碳纤维采暖系统应用灵活，可以铺设于地面、墙面以及火炕。碳纤维采暖具有升温同步、供暖连续舒适、可单独控制的特点。其中，地暖方式是将埋于地板或瓷砖下方的碳纤维电热膜通电加热，通过地面作为散热面，将热量以辐射方式向地面以上传递，达到取暖目的。但由于碳纤维电采暖主要采用地暖方式，需在地面铺装前进行安装。

与其他电采暖技术一样，碳纤维电采暖使用方便，温度调节灵活。使用电力，可以均衡峰谷用电，减少弃风弃光的现象，并减少本地污染物排放。

## 被动式节能建筑

被动式节能建筑一般是指在保证室内环境舒适度前提下，通过对建筑的布局、朝向、形体、遮阳、保温、气密性、自然通风等方面进行合理的节能优化设计，从而降低建筑总体能耗。

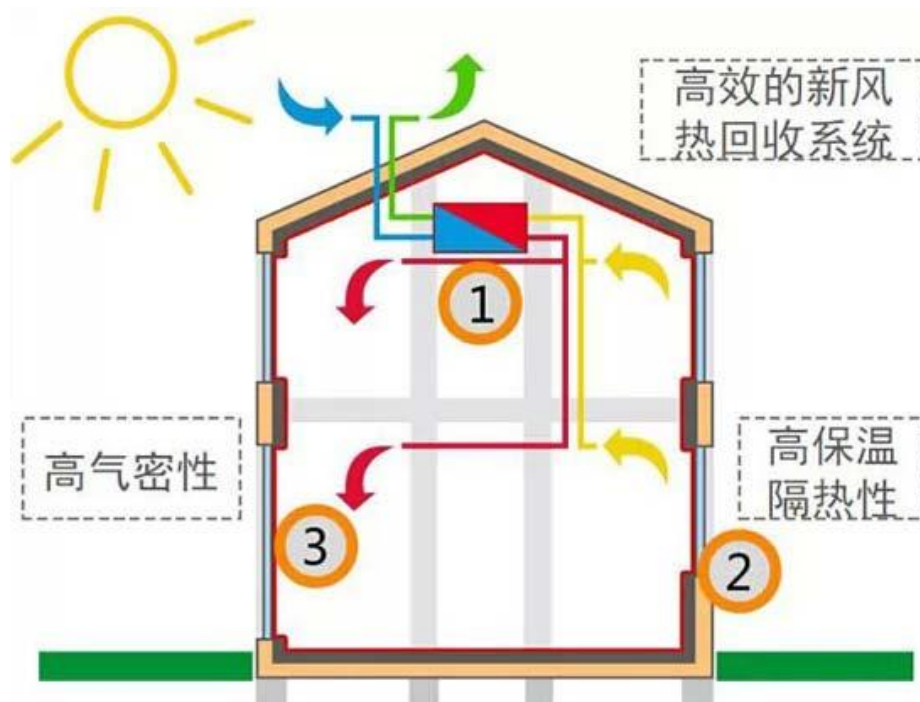


图 2.5.3 被动式建筑示意图

被动式节能建筑的特点是自身的热损失小，对外部能源的依赖低。被动式节能建筑在建造完成之后便可以不再主动向外需求能源，而是转为由可再生能源提供。冬季，被动式节能建筑主要依靠建筑自身得热满足室内供暖需求，极寒天气热负荷不足部分和夏季供冷负荷需求尽量从可再生能源中获取。建筑自身得热主要来自于室内人体散热、照明、电器、食物、烹饪炉火、太阳辐射以及新风热回收等。夏季通过自然通风或其他主动技术手段消除。

通过主动及被动节能技术合理应用，以及可再生能源替代，被动式节能建筑减少了自身对外部能源的依赖，冬季依靠其自身热量有效降低了供暖热负荷需求，甚至可以取消传统的供暖系统，不仅节约了供暖费用，还减轻由传统供暖系统带来的各类环境问题。

## 洁净型煤

煤炭的清洁化利用也是燃煤清洁能源改造的技术路线之一。目前，煤炭清洁化利用主要通过提高煤炭质量标准，推广洁净型煤替代烟煤，以降低燃煤散烧污染排放。近年来，为推进煤炭清洁化利用，多地发布了民用煤质量控制地方标准，下表所示为京津冀地区民用洁净型煤地方标准主要指标要求。

表 2.5.5 京津冀地区民用洁净型煤地方标准主要指标要求

地区	煤种类	灰分 (%)	挥发分 (%)	全硫 (%)
北京市	块煤	≤16	≤10	≤0.40
	型煤	≤25	≤12	
天津市	块煤	≤20	≤10	
	型煤	≤25	≤12	
河北省	块煤	≤16	≤10	
	型煤	≤24	≤12	

所谓民用洁净型煤，是指低挥发分、低灰、低硫的煤制品，具体煤质要求按照各地区相关标准划定。以北京市为例，按照《低硫煤及制品》(DB 11/097-2014)<sup>21</sup>要求，民用型煤灰分不高于 25%，挥发分不高于 2%，全硫不高于 0.40%。与民用散煤比较，洁净型煤具有清洁环保、燃烧高效、使用简单等特点。相关研究表明，燃用型煤的民用炉灶，热效率可提高 10%-15%，节煤率可达 20%-30%，烟尘、

<sup>21</sup><http://www.bjepb.gov.cn/eportal/fileDir/oldfile/bjepb/resource/cms/2014/07/2014070321461422540.pdf>

NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>排放量可分别减少 70%-89%、56%-60%、50%-60%，强致癌物减少 50% 以上，固硫率达到 40% 以上<sup>22</sup>。

京津冀地区民用洁净型煤原料多以无烟煤粉为主，生产企业将无烟煤粉混合粘结剂等辅助材料，通过一系列的生产设施加工并经过烘干处理制成型煤产品。目前，我国洁净型煤的生产主要集中在陕北神木、河北、甘肃、宁夏等地区。由于无烟煤价格较高，加之加工所需成本，使得洁净型煤总成本较高，成品价格昂贵，通常比烟煤高 300-500 元/t，这无疑加重了普通用户的经济负担。而且，型煤节能、环保的优点必须配套专用炉具才能更好的体现出来，改炉又增加了用户消费支出。所以，虽然各地政府在推广洁净型煤的过程中提供了一定的补贴，但是仍出现部分用户出于成本考虑选择购买低价劣质散煤的问题。此外，由于国家层面洁净型煤生产技术规范仍存空白，导致产品质量良莠不齐，加之监管难度大，洁净型煤产配销体系尚未完全建立，从整体来看，洁净型煤推广进度及实际应用效果并不理想。

另外，从污染排放来看，尽管优质无烟煤或洁净型煤的污染排放水平较民用散煤有了很大的改善，但是与天然气或其他清洁能源如电能、太阳能、地热能等相比仍属于污染排放量较大的能源品种，而且市场价格高，对于用户尤其是农村居民而言，型煤供暖成本较高。

<sup>22</sup>黄慧君,阮立军,申联星.洁净型煤技术在散煤治理中的作用和建议[J].煤炭加工与综合利用,2016（16）:1~5.

# 附件 1 指标核算方法

## 1 计算方法概述

### ● 历史基准线法

采用历史基准线法，从污染物减排效果的层面考察清洁取暖技术的燃煤污染排放，主要参考调研评估案例以往用煤量情况，根据排放因子计算其污染物排放。不同于一般的节能量，节煤量计算以热值平行计算替代的燃煤量，而是参考历史基准线，以便于清洁采暖技术路线实际效果前后对比。

### ● 静态年值法

为简化计算，未引入折现率，采用静态分析法，不考虑折旧费用，在计算年化成本时，建设期初投资按不同设备折旧年限计算。

### ● 大气污染物当量减排

引入污染物减排当量数的概念，见附件。以改造前后各项污染物减排当量数合计之差代表技术的污染减排效果。主要考虑一些传统能源采暖方式在本地依然会产生污染物排放，如天然气锅炉、燃气壁挂炉等都会有 NO<sub>x</sub> 排放，同时，清洁煤的燃烧和生物质成型燃料的燃烧，依然会带来本地污染物排放。因此，这些技术在替代燃煤后的前后污染物差值也应进行对比。

## 2 环境性指标

燃煤清洁能源改造技术的环境性分析，主要围绕改造技术带来的污染物减排效益，即改造技术相比原燃煤设施其大气污染物如 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟尘、VOCs 等的

实际减排量，如式 3-1 所示。其中，对于集中式燃煤设施改造技术，主要关注 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟尘三项污染物的减排效果；对于散煤改造技术，还考虑 VOCs 的减排情况。

$$\Delta E_i = E_{i,0} - E_{i,1} \quad (3-1)$$

式中：E<sub>i,0</sub> 为改造前原燃煤采暖时污染物 i 的排放量，kg/年；E<sub>i,1</sub> 为改造后采用清洁能源采暖技术时污染物 i 的排放量，kg/年；ΔE<sub>i</sub> 为改造后污染物 i 的减排量，kg/年。

污染物减排量的计算采用排污系数法，如式 3-2 所示。其中，单个污染物排污系数根据国家已发布的相关大气污染物排放清单编制技术指南，包括《民用煤大气污染物排放清单编制技术指南》（试行）、《生物质燃烧源大气污染物排放清单编制技术指南》（试行），以及《第一次全国污染物普查工业污染源产排污系数手册》确定。污染物活动水平根据典型案例实际调研数据确定。

$$E_i = A_i \times EF_i \quad (3-2)$$

式中：E<sub>i</sub> 为采用某项采暖技术时污染物 i 的排放量，kg/年；A<sub>i</sub> 为污染物 i 的活动水平，即煤、天然气或生物质成型燃料等燃料年供暖季消耗量，t/年，万 m<sup>3</sup>/年；EF<sub>i</sub> 为污染物 i 的排污系数，kg/t 煤，kg/万 m<sup>3</sup>，kg/t 燃料。对于配备环保治理设施的集中式燃煤、燃气或生物质锅炉设施，考虑到污染治理效率 η，实际排污系数需按式 3-3 计算：

$$EF_i' = EF_i \times (1 - \eta) \quad (3-3)$$

### 3 经济性指标

通常，项目的经济性分析要考虑项目建设、运行的全部成本投入及折旧费用。为简化计算，本指南采用静态分析法，不考虑折旧费用，在计算年化成本时，建设期初投资按不同设备折旧年限计算，如热泵类设备、燃气锅炉和电锅炉的折旧年限分别取 10 年、20 年和 30 年。同时，建设初投资不包含前端电网、燃气管网改造扩容的成本投入。对于分散式改造项目而言，建设初投资成本主要是终端用能设备如空气源热泵、蓄热式电暖器等的购置成本。运行维护成本是指项目/设备运行期能源（燃料）消耗成本及系统维修维护成本，对于分散式改造项目而言，仅考虑能源（燃料）消耗成本；人力成本是指系统运行管理投入的人工费用，按项目运行管理人工数量及项目所在地区当年社会平均工资<sup>23</sup>计算，对于分散式改造项目，人力成本为零。

考虑到各地针对不同清洁能源改造政策配套实施的鼓励政策，在计算经济性指标中，还将区分有政府补贴成本和无政府补贴成本两种情形，以比较不同技术路径下政府实际承担的成本，并判断未来鼓励政策退出背景下，用户需承担的实际使用成本。

### 4 综合性指标

综合性指标是分析比较各项清洁能源改造技术污染减排成本、减煤成本、供暖成本等的核心指标。其中，对于污染减排成本，主要关注单位污染物减排的经济投入。由于燃煤排放的污染物种类较多，无法就单项污染物计算成本投入，因

<sup>23</sup>北京市 2015 年社会平均工资为 85038 元，河北省 2015 年社会平均工资为 50921 元。

此，引入了污染物减排当量数的概念，以改造前后各项污染物减排当量数合计之差代表技术的污染减排效果，清洁能源改造技术  $j$  的污染减排当量数  $\Delta x_j$  和污染减排年成本  $C_{j,污}$  分别按式 3-4 和式 3-5 计算：

$$\Delta x_j = \sum \frac{\Delta E_{i,j}}{e_i} \quad (3-4)$$

$$C_{j,污} = \frac{C_{j,初}/n_j + C_{j,运} + C_{j,人}}{\Delta x_j} \quad (3-5)$$

式中： $\Delta E_{i,j}$  为改造技术  $j$  较原燃煤采暖时污染物  $i$  的年减排量， $kg$ ； $e_i$  为污染物  $i$  的污染当量值  $kg$ ； $C_{j,初}$  为技术  $j$  项目建设初投资，万元； $C_{j,运}$  和  $C_{j,人}$  分别为技术  $j$  年运行维护成本和年人力成本，万元/年； $n_j$  为技术  $j$  主体设备折旧年限， $a$ 。

吨煤年替代成本是考虑到煤炭消费总量控制作为一项约束性指标，为比较燃煤锅炉或散煤替代过程中，不同改造技术的成本优势而设，按式 3-6 计算：

$$C_{j,煤} = \frac{C_{j,初}/n_j + C_{j,运} + C_{j,人}}{x} \quad (3-6)$$

式中， $C_{j,煤}$  为吨煤年替代成本，万元/（ $t \cdot a$ ）； $x$  为原燃煤采暖时燃煤年消耗量， $t$ 。

单位面积供暖年成本则是为了比较供暖技术本身的经济性而设，按式 3-7 计算：

$$C_{j,暖} = \frac{C_{j,初}/n_j + C_{j,运} + C_{j,人}}{m} \quad (3-7)$$

式中， $C_{j,暖}$  为单位面积供暖年成本，元/（ $m^2 \cdot a$ ）； $m$  为实际供暖面积， $m^2$ 。

## 附件 2 废气排污费征收标准及计算方法

### 废气排污费征收标准及计算方法

- (一) 废气排污费按排污者排放污染物的种类、数量以污染当量计算征收，每一污染当量征收标准为 0.6 元。其中，二氧化硫排污费，第一年每一污染当量征收标准为 0.2 元，第二年（2004 年 7 月 1 日起）每一污染当量征收标准为 0.4 元，第三年（2005 年 7 月 1 日起）达到与其它大气污染物相同的征收标准，即每一污染当量征收标准为 0.6 元。氮氧化物在 2004 年 7 月 1 日前不收费，2004 年 7 月 1 日起按每一污染当量 0.6 元收费。
- (二) 北京市二氧化硫排污费仍按经国务院同意，1999 年国家计委批准的收费标准执行，即高硫煤每公斤二氧化硫排污费 1.2 元，低硫煤每公斤二氧化硫排污费 0.50 元。2005 年 7 月 1 日起，低硫煤二氧化硫排污费标准为每一污染当量 0.6 元。本办法实施前两年，杭州、郑州和吉林三个城市的二氧化硫排污费标准，按当地人民政府批准的总量排污收费标准执行，即杭州、吉林二个城市的二氧化硫排污费标准为每一污染当量 0.6 元，郑州市二氧化硫排污费标准为每一污染当量 0.5 元。2005 年 7 月 1 日起，三个城市的二氧化硫排污费标准均按本办法规定执行。
- (三) 对每一排放口征收废气排污费的污染物种类数，以污染当量数从多到少的顺序，最多不超过 3 项。
- (四) 大气污染物污染当量数计算

$$\text{某污染物的污染当量数} = \frac{\text{该污染物的排放量(千克)}}{\text{该污染物的污染当量值(千克)}}$$

大气污染物污染当量值见下表，

(五) 排污费计算 废气排污费征收额 = 0.6 元 × 前 3 项污染物的污染当量数之和 大气污染物污染当量值

表 1 大气污染物污染当量值表

序号	污染物	污染当量值 (公斤)	序号	污染物	污染当量值(公斤)
1	二氧化硫	0.95	23	二甲苯	0.27
2	氮氧化物	0.95	24	苯并(a)芘	0.000002
3	一氧化碳	16.7	25	甲醛	0.09
4	氯气	0.34	26	乙醛	0.45
5	氯化氢	10.75	27	丙烯醛	0.06
6	氟化物	0.87	28	甲醇	0.67
7	氰化氢	0.005	29	酚类	0.35
8	硫酸雾	0.6	30	沥青烟	0.19
9	铬酸雾	0.0007	31	苯胺类	0.21
10	汞及其化合物	0.0001	32	氯苯类	0.72
11	一般性粉尘	4	33	硝基苯	0.17
12	石棉尘	0.53	34	丙烯腈	0.22
13	玻璃棉尘	2.13	35	氯乙烯	0.55
14	碳黑尘	0.59	36	光气	0.04
15	铅及其化合物	0.02	37	硫化氢	0.29
16	镉及其化合物	0.03	38	氨	9.09
17	铍及其化合物	0.0004	39	三甲胺	0.32
18	镍及其化合物	0.13	40	甲硫醇	0.04
19	锡及其化合物	0.27	41	甲硫醚	0.28
20	烟尘	2.18	42	二甲二硫	0.28
21	苯	0.05	43	苯乙烯	25
22	甲苯	0.18	44	二硫化碳	20



## 清洁空气创新中心（联盟秘书处）

北京市朝阳区建外大街甲24号东海中心709

电 话：+86-10-65155838

电子邮箱：[cleanairchina@iccs.org.cn](mailto:cleanairchina@iccs.org.cn)