

DI YUAN RE BENG GONG CHENG  
JI SHU YU GUAN LI

# 地源热泵工程

技术与

# 管理

孙晓光 林豹 王新北 © 主编

中国建筑工业出版社

# 地源热泵工程技术与管理

孙晓光 林豹 王新北 主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地源热泵工程技术与管理/孙晓光等主编, —北京: 中国建筑工业出版社, 2009

ISBN 978-7-112-10767-4

I. 地… II. 孙… III. 热泵—空气调节器 IV. TU831.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 022164 号

本书详细阐述了各类热泵的原理; 地源热泵系统的工作原理、分类和特点、设计、施工和运行管理; 并介绍了各级政府推广应用地源热泵可借鉴的政策法规措施、推广应用决策依据的经济评价方法、推广应用的规划方法和建设管理方法, 以及业主选择地源热泵作为冷热源方案所依据的技术经济评价方法和项目的建设的管理方法。

本书可供从事地源热泵工程的设计、施工、运行管理的技术和管理人员参考使用; 也可供各级政府主管节能环保能源部门作出决策和实施推广参考; 还可供业主选择和建设地源热泵项目参考, 并可供与地源热泵工程有关专业的大专院校师生参考。

\* \* \*

责任编辑: 姚荣华 赵梦梅 张文胜

责任设计: 董建平

责任校对: 刘 钰 梁珊珊

地源热泵工程技术与管理

孙晓光 林豹 王新北 主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市世界知识印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13½ 字数: 336 千字

2009 年 3 月第一版 2009 年 3 月第一次印刷

定价: 45.00 元

ISBN 978-7-112-10767-4

(18010)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 序 1

## 地源热泵助推沈阳生态城市建设

2006年，沈阳市委、市政府积极响应国家发展循环经济、促进节能降耗的号召，从沈阳的实际情况出发，在全市范围内开展了以推广应用地源热泵技术为重点的清洁能源开发和利用工作。作为住房和城乡建设部确定的“可再生能源利用试点城市”之一，市委、市政府从我市得天独厚的水文地质条件出发，始终坚持以科学发展观统领节能减排工作，取得了较好的经济效益、社会效益和环境效益，为创建“国家生态城市”奠定了坚实的基础。

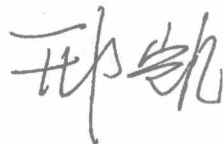
三年来，沈阳市坚持科学推进地源热泵技术的推广应用工作，注意发现新情况、解决新问题，在认真调研、科学规划的基础上，实现了体制、管理、科技三方面创新，为地源热泵事业的健康发展发挥了重要作用。沈阳市政府邀请中国建筑科学研究院、国务院参事室、中国可再生能源学会等有关单位的40余名专家学者对全市水文地质和自然地理情况进行了认真的调查分析，并拨专款200万元在国内率先编制了《沈阳市“十一五”时期再生水源热泵供热规划》和《沈阳市“十一五”时期地源热泵技术应用专项规划》，并在此基础上完成了《沈阳市“十一五”时期供热规划》修编工作。

在《规划》的指导下，沈阳市制定了到2010年底努力实现地源热泵技术应用面积6500万平方米的工作目标。为确保地源热泵技术应用工作目标顺利完成，市政府与各区县（市）政府、开发区管委会签订了推广地源热泵技术应用工作的《责任状》，明确了工作责任和目标。在实际工作中形成了地源热泵推广应用的“三种模式”和“两种形式”，“三种模式”就是对新建的建筑物全部采用地源热泵系统供热和制冷的模式；对原有的公共建筑，利用地源热泵技术改造现有的供热和制冷的模式；对原有住宅采用地源热泵与集中供热混合供热的模式。“两种形式”是指“混合式水源热泵技术”和“再生水源热泵技术”，前者有效解决了水源热泵推广应用中可能遇到的水资源不足、布井位置受限等问题，实现了地源热泵与传统燃煤的双向互补，取得了国家专利；后者则实现了循环经济的发展。这两项技术已经在全市重点推广和应用。

目前，全市地源热泵技术应用面积累计已达3458万平方米，为节能减排、改善城市环境发挥了重要作用。这本《地源热泵工程建设与管理》可以说是沈阳市政府科学开展地源热泵推广应用工作的重要依据，为从事地源热泵技术应用的相关人员提供了参考和借鉴的依据，从而也进一步推动了沈阳市地源热泵技术应用项目更加科学规范、安全有序的建设和运行。

沈阳市的地源热泵技术应用推广工作，虽然取得了一点成绩，但这也是刚刚起步。在今后的工作中，我们有决心和信心在国家、省有关部门的具体指导下，在有关专家学者的帮助下，继续以推广应用“污水源热泵技术”和“混合式水源热泵技术”为重点，全力推进地源热泵技术应用工作，为沈阳市创建“国家生态城市”做出新的、更大的贡献。

沈阳市委常委、副市长



2008年10月11日

## 序 2

### 地源热泵技术应用形成“沈阳模式”

资源与环境是人类赖以生存和发展的基础，是我国社会经济可持续发展的保证。树立科学发展观，积极推进节能减排工作是建设“资源节约型、环境友好型”社会的首要任务。

地源热泵系统作为可再生能源利用的一种重要形式，通过热泵机组将蕴藏于岩土体、地下水或地表水等可再生资源中难以直接利用的低品位热能提取出来，为建筑物供热（供冷），有效地节约了矿物燃料、土地等资源，具有明显的经济、环境和社会效益。我国地源热泵技术应用，除国家倡导、建立示范工程外，主要由地源热泵机组生产厂家和技术服务机构进行商业运作。目前，正在全国大部分省、自治区、直辖市推广应用，并以每年10%~15%的速度增长。自2005年以来，更是进入大规模推广应用阶段。


沈阳市委、市政府因地制宜，把推广应用地源热泵技术作为推进建筑节能的重要手段，率先从城市的角度和全局的高度来推广地源热泵技术应用工作，为全国各大城市带了一个好头。可以说，沈阳是一个创新型的城市，并且已经走在科技发展的前沿。沈阳市通过科学制订发展规划，认真组织课题研究，加强工程勘察、设计、施工的监督管理，加强项目运行管理和专业技术培训，保证了地源热泵技术应用工作的健康发展。

沈阳市政府根据沈阳市的实际情况编制的《沈阳市“十一五”时期再生水热泵供热规划》、《沈阳市“十一五”时期地源热泵技术应用专项规划》、《沈阳市“十一五”时期供热规划》（修编）等三个专项规划已经达到了国内领先水平，为其他城市的推广应用工作起到了借鉴指导作用；沈阳市取得的国家发明专利，让我们看到了一个又一个惊人的创举。三年来，沈阳市推广地源热泵技术应用工作卓有成效，形成地源热泵技术应用的“沈阳模式”，地源热泵应用面积位居全国首位。

沈阳市推广地源热泵技术应用的成熟经验值得我们借鉴和推广，他们在总结归纳成功推广经验的基础上编写的这本《地源热泵工程建设与管理》，可以说是一本实用性非常强的专业技术书籍，可以作为了解掌握地源热泵技术和工程的教科书，也可以作为地方政府推广可再生能源技术的参考书，非常值得借鉴和推广。

最后，希望在各方面共同努力下，沈阳市推广地源热泵技术应用工作在节能减排工作中发挥更大的作用，而且能够健康、可持续的发展，为我们国家地热资源的应用做出示范、做出表率。

中国工程勘察大师  
国务院参事  
建设部建设环境工程技术中心主任  
研究员  
博士生导师



2008年11月

# 前 言

沈阳市作为北方城市，每年有 152 天的采暖期，取暖方式多以传统燃煤为主。全市现有供热建筑面积 1.96 亿平方米，每年需消耗实物煤约 660 万吨。随着城市的迅猛发展，这种供暖方式对煤炭资源的依赖性日益增强。同时，因燃煤对环境造成的破坏也愈演愈烈。为此，沈阳市把科学开发和利用可再生能源、减少对煤炭这种不可再生能源的消耗，作为建设“国家生态城市”，实现全市经济社会又好又快、可持续发展的切入点和突破口。

从 2006 年开始，沈阳市委、市政府在认真调查研究，科学分析本地区水文地质条件的基础上，决定在全市推广应用地源热泵技术。三年来，沈阳市建委坚持科学推进地源热泵技术的推广应用工作，注意发现新情况、研究新对策、解决新问题，科学规划、勇于实践，形成了一整套行之有效的管理工作经验，实现了体制、管理、科技三方面的创新，取得了“混合式水源热泵与集中供热联供技术”和“混合式土壤源热泵与集中供热联供技术”等 2 项发明专利。在国内率先编制了《沈阳市“十一五”时期再生水源热泵供热规划》和《沈阳市“十一五”时期地源热泵技术应用专项规划》，并在此基础上完成了《沈阳市“十一五”时期供热规划》修编工作。

为规范沈阳市地源热泵系统建设及应用管理，沈阳市政府颁布发了《沈阳市地源热泵系统建设应用管理办法》（市政府第 71 号令），下发了《关于全面推进地源热泵系统建设和应用工作的实施意见》（沈政发〔2006〕20 号），并与各区县（市）政府、开发区管委会签订了推广地源热泵技术应用工作的《责任状》，明确了工作责任和目标，保证了地源热泵技术应用工作目标的顺利完成。在地源热泵技术推广应用实际工作中，沈阳市建委注重技术革新和发明创造，舍得投入，先后投资 1000 万元开展了 11 个相关课题的科研工作，取得了可喜成绩，优化和完善了技术体系，为地源热泵技术推广应用工作拓展了空间、注入了活力。在加强科研、普及宣传的同时，自 2008 年 5 月 1 日起，沈阳市将建设项目地源热泵审批工作纳入到市行政审批服务中心统一管理，规范了行政审批行为，提高了办事效率，提升了服务水平，保证了地源热泵技术应用项目的建设质量、运行品质和管理水平，促进了全市地源热泵建设市场的健康发展。

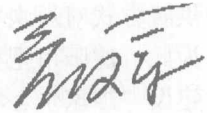
截至 2008 年 11 月 1 日，全市累计已有地源热泵技术应用项目 483 项，应用面积累计达到 3458 万平方米。按照每平方米每个采暖期消耗实物煤 35 千克计算，可节约实物煤 120 万吨，可减排二氧化硫 41.4 万吨、烟尘 34.5 万吨。

作为住房和城乡建设部确定的“可再生能源推广应用工作试点城市”之一，沈阳市的地源热泵技术推广应用工作得到了住房和城乡建设部、科技部、环境保护部、国务院参事室和中国可再生能源学会等有关部委和专家的高度关注和充分肯定，先后有 5 个国家和国内 20 个省（自治区、直辖市）的 46 座城市的有关领导和专家来沈考察、交流经验。“沈阳模式”的地源热泵技术应用推广工作为全国节能减排工作提供了宝贵经验，沈阳市的地源热泵技术应用推广工作已经走上了科学规范的发展轨道。

总结沈阳市近三年来推广地源热泵技术应用的经验，我们认为有必要编写一本集地源热泵系统原理、设计、施工和运行，以及经济性分析评价、推广应用的政策法规和措施、工程应用实例于一体的书籍，力争做到全面准确地阐述地源热泵工程建设和管理原理及方法，以满足与地源热泵工程推广应用工作有关的设计、施工、运行和工程管理人员，以及政府各部门工作人员等不同方面的需要。

希望本书的出版，能够为可再生能源事业的科学发展起到积极推进作用。

沈阳市城乡建设委员会主任  
沈阳市地源热泵规划建设管理办公室主任



2008年11月

# 目 录

第 1 章 地源热泵技术发展概况	1
1.1 热泵与地源热泵	1
1.1.1 热泵与地源热泵的定义	1
1.1.2 热泵与制冷机的区别	1
1.2 国外地源热泵技术发展历程	2
1.3 我国地源热泵应用发展概况及趋势	4
第 2 章 热泵的原理	8
2.1 蒸气压缩式热泵的原理	8
2.1.1 热泵工质的状态变化规律	8
2.1.2 蒸气压缩式热泵的工作原理	8
2.1.3 热泵工质的温 ( $T$ )-熵 ( $s$ ) 图和压 ( $p$ )-焓 ( $h$ ) 图	9
2.1.4 蒸气压缩式热泵的循环	10
2.2 吸收式热泵的原理	15
2.2.1 吸收式热泵的基本构成	15
2.2.2 吸收式热泵的工作过程	16
2.2.3 吸收式热泵的热平衡	16
2.2.4 吸收式热泵的热力系数	17
2.2.5 吸收式热泵的分类	18
2.2.6 吸收式热泵的基本特点	19
2.3 化学热泵原理	19
2.3.1 简介	19
2.3.2 基本的间歇型吸附式热泵	19
2.3.3 基本的连续型吸附式热泵	21
2.3.4 吸附式热泵的性能指标	22
2.3.5 吸附式热泵的特点	22
2.4 蒸气喷射式热泵原理	23
2.4.1 蒸气喷射式热泵的工作流程	23
2.4.2 蒸气喷射式热泵的效率分析	24
2.4.3 喷射式热泵的应用场合	24
2.5 温差电热泵原理	25
2.5.1 珀尔贴效应	25
2.5.2 温差电热泵的效率分析	25
2.5.3 温差电热泵的优点	26



<b>第3章 地源热泵系统分类、工作原理及特点</b>	28
3.1 地源热泵系统分类与工作原理	28
3.1.1 热泵的分类	28
3.1.2 地源热泵系统的分类	29
3.2 地源热泵系统的工作原理	30
3.2.1 地表水水源热泵系统的工作原理	30
3.2.2 地下水源热泵系统的工作原理	31
3.2.3 土壤源热泵系统的工作原理	32
3.2.4 污水源热泵系统的工作原理	34
3.3 各类地源热泵系统的特点	35
3.3.1 地表水源热泵系统的特点	35
3.3.2 地下水源热泵系统的特点	35
3.3.3 土壤源热泵系统的特点	37
3.3.4 污水源热泵系统的特点	37
<b>第4章 地源热泵的低位热源</b>	39
4.1 地表水	39
4.2 地下水	40
4.3 土壤	43
4.3.1 土壤的特点	43
4.3.2 土壤的温度特性	44
4.3.3 土壤温度变化规律	44
4.4 污水与废水	46
4.4.1 生活污水	46
4.4.2 工业废水	47
<b>第5章 蒸汽压缩热泵机组的分类及特点</b>	48
5.1 蒸汽压缩热泵机组的分类及特点	48
5.1.1 水—风型热泵机组	48
5.1.2 水—水型热泵机组	49
5.2 蒸汽压缩热泵机组的主要结构	49
5.2.1 压缩机	49
5.2.2 换热器	58
5.2.3 节流和控制元件	60
5.2.4 其他部件	62
<b>第6章 地源热泵系统的设计</b>	64
6.1 资源勘察	64
6.1.1 工程勘察的意义	64
6.1.2 工程场地状况调查的主要内容	64
6.1.3 地表水源热泵水文勘察	64
6.1.4 地下水源热泵水文地质勘察	65

6.1.5	土壤源热泵水文地质勘察	65
6.2	地源热泵系统方案的选择确定	66
6.2.1	地表水热泵系统	66
6.2.2	地下水源热泵系统	67
6.2.3	土壤源热泵系统	67
6.2.4	污水源热泵系统	68
6.3	地表水源热泵系统的设计	68
6.3.1	地表水源热泵系统概述	68
6.3.2	地表水换热系统的设计要点	69
6.3.3	地表取水口与取水构筑物	70
6.3.4	海水源热泵系统设计中的几个问题	72
6.4	地下水源热泵系统的设计	74
6.4.1	地下水热泵系统概述	74
6.4.2	地下水源热泵系统的组成	74
6.4.3	地下水换热系统的设计要点	75
6.4.4	热源井的设计要点	76
6.4.5	地下水回灌技术	78
6.4.6	地下水源热泵系统机房设计要点	81
6.5	土壤源热泵系统的设计	83
6.5.1	土壤源热泵系统概述	83
6.5.2	土壤源热泵系统组成	83
6.5.3	土壤源热泵系统设计要点	84
6.5.4	地埋管换热系统的管网设计要点	88
6.6	污水源热泵系统的设计	89
6.6.1	污水源热泵系统分类	90
6.6.2	污水的特性及对热泵系统的影响	90
6.6.3	污水源热泵系统设计要点	90
6.6.4	污水换热器设计要点	91
6.6.5	防堵塞与防腐蚀的技术措施	92
6.6.6	污水取水设计及热泵机组选择要点	93
6.7	地源热泵联合供热系统的设计	94
6.7.1	地源热泵联合供热系统概述	94
6.7.2	地源热泵联合供热系统的特点	94
6.7.3	地源热泵联合供热系统设计要点	95
6.8	地源热泵水系统的设计	96
6.8.1	地源热泵的水系统概述	96
6.8.2	集中式地源热泵水系统	96
6.8.3	分散式地源热泵水系统	97
<b>第7章 地源热泵系统的工程管理与施工</b>		<b>100</b>

7.1	工程管理概述	100
7.1.1	工程管理	100
7.1.2	工程管理需要解决的主要问题	103
7.2	工程管理模式与运营实施方式	107
7.2.1	工程管理模式	107
7.2.2	运营实施方式	109
7.3	工程管理组织分配方式及任务	109
7.3.1	政府的工程管理	109
7.3.2	投资者的工程管理	110
7.3.3	业主的工程管理	110
7.3.4	工程管理公司的工程管理	110
7.3.5	承包商的工程管理	111
7.4	工程管理相关管理制度、法律、法规和规范	111
7.4.1	我国政府工程管理体制和制度	111
7.4.2	相关法律体系	115
7.4.3	相关重要法规	116
7.4.4	相关的规范	117
7.5	地源热泵系统施工与施工管理	118
7.5.1	地源热泵系统的施工	118
7.5.2	地源热泵系统的施工管理	129
<b>第8章</b>	<b>地源热泵系统的运行维护管理</b>	<b>138</b>
8.1	地源热泵系统运行管理	138
8.1.1	运行的规章制度	138
8.1.2	运行人员管理	139
8.1.3	技术资料管理	139
8.1.4	运行的技术要求	139
8.1.5	运行的节能要求	140
8.2	地源热泵系统运行维护	141
8.2.1	维护保养制度	141
8.2.2	维护保养	141
<b>第9章</b>	<b>地源热泵工程经济性分析与评价</b>	<b>143</b>
9.1	地源热泵工程经济性分析评价方法	143
9.1.1	国民经济评价	143
9.1.2	技术经济性评价	146
9.2	地源热泵工程技术经济性分析评价实例	151
9.2.1	初投资	151
9.2.2	年运行费用	153
9.2.3	各方案的费用年值比较	155

<b>第 10 章 地源热泵推广应用的政策法规和措施</b> .....	157
10.1 国外地源热泵推广应用的政策法规和措施 .....	157
10.1.1 地源热泵在美国推广应用的政策法规和措施 .....	157
10.1.2 地源热泵在欧洲推广应用的政策法规和措施 .....	160
10.2 我国可再生能源推广应用的政策与措施 .....	165
10.2.1 可再生能源在解决我国能源问题中的地位和作用 .....	165
10.2.2 我国可再生能源推广应用政策法规 .....	166
10.2.3 地方政府地源热泵推广应用的政策 .....	172
10.2.4 其他行业对地源热泵技术推广应用的推动作用 .....	176
10.3 地源热泵推广应用措施 .....	177
10.3.1 地源热泵推广应用规划 .....	177
10.3.2 地源热泵推广应用中存在的主要问题及解决措施 .....	181
<b>第 11 章 地源热泵系统工程应用实例</b> .....	186
11.1 星海湾商务区海水源热泵工程实例 .....	186
11.1.1 项目概况 .....	186
11.1.2 资源情况 .....	187
11.1.3 系统设计 .....	188
11.1.4 投资概况及说明 .....	189
11.1.5 热泵运行能耗和运行的能源费用估算 .....	189
11.1.6 热泵系统运行状况 .....	189
11.1.7 存在的问题 .....	190
11.2 沈阳海韵广场地下水源热泵工程简介 .....	190
11.2.1 工程概况 .....	190
11.2.2 水文地质条件 .....	190
11.2.3 地下水换热系统 .....	190
11.2.4 空调系统设计 .....	190
11.2.5 工程投资 .....	191
11.2.6 运行经济分析 .....	191
11.2.7 运行效果 .....	191
11.3 东北大学游泳馆地下水源热泵工程简介 .....	192
11.3.1 工程概况 .....	192
11.3.2 地下水文地质概况 .....	192
11.3.3 地下水源热泵系统设计 .....	192
11.3.4 暖通末端系统的设计 .....	194
11.3.5 地下水源热泵系统工程的投资 .....	194
11.3.6 地下水源热泵系统运行状况 .....	195
11.3.7 存在的问题 .....	195
11.4 中国沈阳 2006 世园会玫瑰园土壤源热泵工程简介 .....	195
11.4.1 工程概况 .....	195

11.4.2	土壤热性能参数的测量	195
11.4.3	负荷计算	195
11.4.4	土壤源热泵系统形式的确定	195
11.4.5	地下换热器设计	196
11.4.6	地下换热器温度模拟	196
11.4.7	热泵机组选型	196
11.4.8	地下换热器内换热介质的选择	197
11.4.9	运行测试结果	197
11.4.10	节能效果	197
11.4.11	投资与运行费用	198
11.5	辽宁某部队指挥中心土壤源热泵工程简介	198
11.5.1	工程概况	198
11.5.2	地源资源情况	198
11.5.3	地源热泵系统设计	198
11.5.4	项目投资情况	199
11.5.5	地源热泵系统运行能耗及其费用估算	199
11.5.6	地源热泵系统运行	200
11.6	沈阳沈水湾污水源热泵工程简介	200
11.6.1	工程简介	200
11.6.2	主要建设内容	200
11.6.3	项目技术特点	201
11.6.4	运行情况	201
11.6.5	存在的问题	201

# 第 1 章 地源热泵技术发展概况

## 1.1 热泵与地源热泵

### 1.1.1 热泵与地源热泵的定义

“热泵”是借鉴“水泵”得来的。我国《暖通空调术语标准》(GB 50155—92)对“热泵”的解释是“能实现蒸发器和冷凝器功能转换的制冷机”，《新国际制冷词典》(New International Dictionary of Refrigeration)对“热泵”的解释是“以冷凝器放出的热量来供热的制冷系统”。

“热泵”这个词最早是 20 世纪初由欧洲人提出的，但热泵的基础理论，蒸汽压缩动力循环原理可追溯到 19 世纪早期法国物理学家卡诺 (S. Carnot) 在 1824 年发表的关于卡诺循环的论文。

1845 年，英国物理学焦耳 (J. P. Joule) 完成了研究气体内能的焦耳气体自由膨胀实验，论证改变气体压力能引起温度变化的原理。1852 年，英国物理学家汤姆森 (W. Thomson) [后改名为开尔文 (L. Kelvin) 勋爵] 首先提出了关于热泵的想法，当时称为热量放大器 (Heat Amplifier)。

热泵技术是利用低温可再生能源的有效技术之一，同时也是解决暖通空调的能源与环境问题的有效措施之一。如何用可再生能源替代常规矿物燃料能源是热泵技术发展的必然趋势。

地源热泵系统是以浅层地热能资源，即蕴藏在浅层岩土体、地下水或地表水中的热能资源为低温热源，以水或添加防冻剂的水溶液为传热介质的热泵机组、地热能交换系统、建筑物内系统组成的供热空调系统。根据地热能交换系统形式的不同，地源热泵系统分为地埋管地源热泵系统、地下水地源热泵系统和地表水地源热泵系统。

近年来，地源热泵、太阳能热泵、城市污水源热泵等得到了迅速的发展，促进我国的热泵技术的推广与应用。

### 1.1.2 热泵与制冷机的区别

从热泵的定义可以看出，从工作原理和热力循环理论角度分析，热泵就是使用目的不同的制冷机，不同之处主要体现在以下两个方面：

#### (1) 应用目的不同

热泵 (或制冷机) 与周围环境在能量上的相互作用是从低温热源吸热，然后放热至高温热源，同时按照热力学第二定律必须消耗机械功 (如电力驱动热泵消耗电能)。如果应用的目的是为了获得高温热量 (制热工况)，也就是低温热源吸热，通过循环放热至高温

热源,就是热泵。如果应用的目的是为了获得低温冷量(制冷工况),也就是从低温热源吸热,就成了制冷机。

## (2) 工作温度区有所不同

所谓高温热源或低温热源都是相对于环境温度而言的,热泵将环境温度作为低温热源,而制冷机则是将环境温度作为高温热源。相对于同一环境温度来说,热泵的工作温度区明显高于制冷机。

正是由于存在以上区别,在工程实践中,热泵与制冷机既有共同性,也有特殊性。当一个装置同时实现制热与制冷功能时,即这种装置运行时高温热源输出用于制热,而低温热源吸热用于制冷,这种“一举两得”的同时供热供冷的联合装置既可称热泵也可称制冷机。

## 1.2 国外地源热泵技术发展历程

地源热泵的概念最早出现在1912年瑞士的一份专利文献中。1912年瑞士苏黎世成功安装了一套以河水作为低温热源的热泵设备用于供暖,并以此申报专利,这就是早期的地源热泵系统,也是世界上第一个地源热泵系统。

这一阶段有代表性的是英国的霍尔丹(Hal Dane)于1930年在他的著作中报道1927年在苏格兰安装了一台进行试验的家用热泵,用氨作工质,外界空气为低温热源,用于采暖及加热水,从运行的制冷装置测得不同输出温度下热泵的性能系数为逆向卡诺机理论效率的 $1/3\sim 1/2$ 。当时霍尔丹已认识到可通过简单的切换用制冷循环来实现冬季供热、夏季制冷的可能性,他还研究了利用废水热量和廉价的低谷电力、带废热回用的柴油机及在低温热源端制冰等问题。

随后,美国也开始对热泵进行了设计与应用,但能进行试验的装置却很少。至1931年,美国安迪生公司的洛杉矶办公楼将制冷设备用于供热,供热量达 $1050\text{kW}$ ,制热系数达2.5。这是大容量热泵的最早应用。

欧洲第一台较大的热泵装置是1938~1939年间在苏黎世投入运行的,它以河水作为低温热源,工质是R12,采用离心式压缩机。这台热泵装置用来向市政厅供热,出力是 $175\text{kW}$ ,制热系数为2,输出水温为 $60^\circ\text{C}$ ,并装有蓄热系统,在高峰负荷期间采用电加热作为辅助加热。此热泵装置在夏季也进行制冷运行。

第二次世界大战的爆发,一方面影响与中断了空调用热泵的发展,但战时能源的短缺促进了大型供热和工艺用热泵的发展。对于木材及其他生物制品的干燥,不仅有明显的节能效果,而且能改善产品质量。在物料的浓缩工艺中,只需将蒸发装置产生的废气采用压缩热泵提高一些温度便可重复用于对装置的加热。在这种场合,因为热泵充分利用了废气中的余热而使其制热系数很高。同样在精馏装置中应用热泵的经济性也非常好。热泵在二次大战中也直接用于战事装备,如美国制造了10000台蒸馏热泵为上百万的人提供饮用水。

20世纪20~30年代,热泵才得到较快的发展。这是因为一方面在这之前工业技术特别是制冷机的发展为热泵的制造奠定了良好的基础,另一方面社会上出现了对热泵的需求。而开式地下水热泵系统正是在20世纪30年代被成功应用。

在 20 世纪 40~50 年代, 早期热泵技术又获得迅速发展, 到 1943 年, 大型热泵的数量已相当可观。20 世纪 40 年代, 美国也开始对热泵有了进一步的认识。1946 年, 美国在俄勒冈州的波特市市中心区建成第一个地源热泵系统。但是这种能源的利用方式没有引起当时社会各界的广泛注意, 无论是在技术、理论上都没有太大的发展。

在 20 世纪 50 年代到 60 年代初 (1952~1963) 这 10 年中热泵技术经历着迅速成长的阶段。欧洲和美国掀起了研究地源热泵 (GSHP) 的第一次高潮, 但由于当时的能源价格低, 这种系统并不经济, 因而未得到推广。美国爱迪生电子学院最早研究闭式环路热泵系统, 印第安纳州的印第安纳波利斯是最早安装闭式环路地源热泵系统的。由于热泵可以把制冷与采暖合用一套装置, 在电力充足而电能价格又便宜的地区使用时运行费用甚低, 用户对热泵产生了兴趣, 使热泵进入了早期发展阶段。

直到 20 世纪 70 年代, 世界上出现了第一次能源危机, 人们才开始关注节能、高效用能, 因此地源热泵的研究进入了又一次高潮, 许多公司开始了地源热泵的研究、生产和安装。这一时期, 欧洲建立了很多水平埋管式土壤源热泵, 主要用于冬季供暖。虽然欧洲是世界上发展地源热泵最成熟的地区, 但是它也曾因为热泵专家不懂安装技术, 安装工人又不懂热泵原理等因素, 致使地源热泵的发展走了一段弯路。同时瑞典的研究人员开始将塑料管应用在闭式环路地源热泵系统上, 自此, 地源热泵的推广应用迅速展开。

地源热泵真正意义的商业应用也只有近十几年的历史。如美国, 截止 1985 年全国共有 14000 台地源热泵, 而 1997 年就安装了 45000 台, 到 2001 年为止, 已安装了约 400000 台, 而且每年以 10% 的速度稳步增长。1998 年美国商业建筑中地源热泵系统已占空调总保有量的 19%, 其中新建筑中占 30%。美国地源热泵工业已经成立了由美国能源部、环保署、爱迪生电力研究所及众多地源热泵厂家组成的美国地源热泵协会, 该协会在近年中投入一亿美元从事开发、研究和推广工作。

与美国的地源热泵发展有所不同, 中、北欧 (如瑞典、瑞士、奥地利、德国等国家) 主要利用浅层地热资源, 地下土壤埋盘管 (埋深 < 400m) 的地源热泵, 用于室内地板辐射供暖及提供生活热水。据 1999 年的统计, 为家用的供热装置中, 地源热泵所占比例, 瑞士为 96%, 奥地利为 38%, 丹麦为 27%。

随着科技的进步, 关于能源消耗和环境污染的法律制订越来越严格, 地源热泵的发展迎来了它的另一次高潮。欧洲国家以瑞士、瑞典和奥地利等国家为代表, 大力推广地源热泵供暖和制冷技术。政府采取了相应的补贴政策 and 保护政策, 使得地源热泵生产和使用范围迅速扩大。20 世纪 80 年代后期, 地源热泵技术已经趋于成熟, 更多的科学家致力于地下系统的研究, 努力提高热吸收和热传导效率, 同时越来越重视环境的影响问题。地源热泵生产呈现逐年上升趋势, 瑞士和瑞典的年递增率超过 10%。美国的地源热泵生产和推广速度很快, 技术产生了飞速的发展, 成为世界上地源热泵生产和使用的头号大国。

2005 年已有 33 个国家在推广、发展地源热泵技术, 分布在北美、欧洲、东亚, 南美等地区。如美国、瑞士、德国、瑞典、英国、挪威、丹麦、爱尔兰、加拿大、奥地利、法国、中国、日本、韩国、波兰、罗马尼亚、土耳其、意大利、俄罗斯、阿根廷、智利、伊朗等。应用地源热泵技术领先的国家到 2005 年推广应用概略统计如表 1-1 所示。



应用地源热泵技术领先的国家应用统计

表 1-1

序号	国家	装机容量(MW)	年利用能(GWh)	装机量(台)
1	美国	6300	6300	600000
2	瑞典	2000	8000	200000
3	德国	560	840	40000
4	瑞士	440	660	25000
5	加拿大	435	300	36000
6	澳大利亚	275	370	23000

其中,瑞典是近些年地源热泵发展最快的国家,主要原因是政府支持,给予补贴。

从目前地源热泵应用情况来看,北欧国家主要偏重于冬季采暖,而美国则注重冬夏联供。由于美国的气候条件与中国很相似,因此研究美国的地源热泵应用情况对我国地源热泵的发展有着借鉴意义。

美国已形成完善的地源热泵产业链,包括政府主管部门(美国能源部)、专业团体(国际地源热泵协会和美国地源热泵协会)、地源热泵研发机构(如国家实验室、大学)、推广单位(电力公司)、测试机构、机组专业生产商、地源热泵专业技术集成商、地源热泵工程商等,形成了以政府、协会、推广单位、研发机构、集成商、机组生产商、工程商的整套产业链。

国外比较有影响的大型地源热泵工程有:

美国的 Gait House Hotel 为目前世界最大地下水地源热泵项目之一,配置了总装机容量为 4700 冷吨的地源热泵系统,为 89000m<sup>2</sup> 的办公楼和 70000m<sup>2</sup> 的旅馆提供热量,已正常运行 15 年。

瑞典首都斯德哥尔摩建设了总能力为 180MW 的世界上最大的海水热泵站,用于区域供热,其供热量占城市中心网输送总量的 60%。

日本于札幌城市大学中建成了一项大型地源热泵示范工程,用 STEELFILE 作为地源热泵系统的地下换热器,系统共用了 51 根直径为 600~800mm 的钢管,总计有效长度为 240m。

挪威于 1983 年在奥斯陆建设了由市政污水干管作为热源的污水源热泵站,是当时全球最大的利用污水热泵的供热系统。该系统耗资 1400 万美元,能够产生 18MW 的热能,系统提供的能量 1/3 来自电能,其余的 2/3 来自污水,这些能量足够为 9000 套公寓供热,每年可以节约约 6000t 石化燃料。

### 1.3 我国地源热泵应用发展概况及趋势

我国高度重视可持续发展问题、环境问题、能源问题,并把能源问题、环境问题、资源问题放在我们建设小康社会、建设和谐社会的首要任务之上。

我国的科学技术规划、中长期经济社会发展规划纲要以及能源规划中,都把能源、资源的问题摆在了非常重要的位置,而且提出要建设“资源节约型、环境友好型”的社会。因为,现在的能源问题不仅影响到我国目前的经济社会的发展,关系到我们国家的安全,同时也关系到未来的可持续发展。因此,在这样的形势下,国家把可再生能源的发展放在