


“十二五”国家科技支撑计划

# 水/土壤源热泵地下换热系统

## 施工技术手册

■ 潘玉勤 主编

 黄河水利出版社

“十二五”国家科技支撑计划——

“夏热冬冷地区建筑节能关键技术研究及示范”

课题九“浅层地热能集成应用技术与评估及示范”

# 水/土壤源热泵地下换热系统 施工技术手册

主 编 潘玉勤

副主编 杜永恒



黄河水利出版社

· 郑 州 ·

## 内 容 提 要

本书是根据“十二五”国家科技支撑计划“2011BAJ03B09”——“夏热冬冷地区建筑节能关键技术与示范”研究成果编制而成的。本书分为水源热泵地下换热系统施工技术(上篇)、土壤源热泵地下换热系统施工技术(下篇),上篇内容包括水源井成井工艺、几种典型地质的回灌工艺、地下水换热系统存在的问题及防治措施;下篇内容包括地理管换热系统材料及换热介质、地理管换热系统施工工艺、地理管系统管组优化及防堵塞措施、地理管系统泄漏的故障诊断、热物性测试等。

本书可供从事地源热泵行业的技术人员学习和使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

水/土壤源热泵地下换热系统施工技术手册/潘玉勤  
主编. —郑州:黄河水利出版社,2016. 2  
ISBN 978 - 7 - 5509 - 1265 - 6

I. ①水… II. ①潘… III. ①热泵系统 - 换热系  
统 - 地下工程 - 工程施工 - 技术手册 IV. ①TU833-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 251435 号

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:郑州瑞光印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:11.25

字数:270 千字

印数:1—1 000

版次:2016 年 2 月第 1 版

印次:2016 年 2 月第 1 次印刷

---

定价:33.00 元

# 《水/土壤源热泵地下换热系统 施工技术手册》

## 编者名单

主 编:潘玉勤

副 主 编:杜永恒

参编人员:栾景阳 刘 恺 李海峰 葛建民 常建国

李 杰 范之敬 曹 静 杨国平 马校飞

马晓旭 杜 朝 王海涛 温殿波 刘鸿超

郭 猛 董金强 于飞宇 李永业 李发新

王建兵

参编单位:河南省建筑科学研究院有限公司

河南工业大学

中冶集团武汉勘察研究院有限公司

山东科灵空调设备有限公司

河南省地矿建设工程(集团)有限公司

# 前 言

在我国明确提出建设节约型社会,实现可持续发展的形势下,减少矿物能源的消耗,提高可再生能源在社会能源消耗中的比重已成为人们的共识。地源热泵技术作为一项可再生能源利用技术,在我国经过近 20 年的发展,尤其是“十一五”以来,其应用逐渐规模化。其工作原理是利用浅层地下能源,通过输入少量的高品位能源(如电能)实现由低品位热能向高品位热能转移,该项技术对缓解建筑用能中的资源短缺和排放污染作用重大。

地源热泵技术应用过程中也出现了诸多问题,如不同的地域有不同的水文、地质特点,缺少地源热泵技术适应性评价,盲目上马地源热泵系统;水源热泵成井、埋管钻井市场相关技术人员水平参差不齐;热源井成井质量不能保证,水井系统不达标;水井寿命短;水源热泵水井实际取水量大大低于勘测值,管材、设备腐蚀,水质差;回灌井阻塞,回灌困难;不能完全回灌,甚至直接排至市政管网,大水漫流;土壤热响应试验缺失、设计误差较大,不能满足使用要求;埋管钻井、回填质量不能保证;系统各管组之间水力失衡严重;埋管换热器出现泄漏、换热效果差;换热侧管阻过大;冬夏吸释热量不平衡导致土壤温度持续变化等。针对上述问题,亟须提出完整的地源热泵技术利用与评估方法,结合当前地源热泵技术应用中存在的问题,需要从适用性研究、勘探、施工、维护和全生命周期评估体系方面着手,通过示范建筑、技术指南和设计手册等方式进行推广。

针对上述问题,科技部在“十二五”国家科技支撑计划“2011BAJ03B09”——“夏热冬冷地区建筑节能关键技术与示范”中设立课题“浅层地热能集成应用技术与评估及示范”进一步开展高效地下水源热泵技术研究、高效土壤源热泵集成技术研究,土壤源热泵耦合太阳能供热、空调、生活热水三联供集成技术研究,规模化示范工程建设与研究。通过课题的实施,课题组编制了规范地源热泵地下水换热系统施工工艺和土壤源热泵埋管换热系统施工工艺的相关技术手册。本手册从地源热泵地下水换热系统和土壤源热泵埋管换热系统入手,提出水源热泵和土壤源热泵系统在进行冷热源系统施工时应遵循的原则。对于水源热泵系统,主要从钻井工艺、成井(井管安装、填砾、止水、洗井及抽回灌试验)工艺及运行维护等方面进行论述;对于土壤源热泵系统,主要从埋管换热系统施工工艺(埋管管材、回填材料、钻井工艺、回填方法、水压试验及检验调试)、管阻优化、压力监测查漏等方面进行论述。

本书为“十二五”国家科技支撑计划“2011BAJ03B09”——“夏热冬冷地区建筑节能关键技术与示范”课题研究成果。该书上篇重点对水源热泵取水井、回灌井钻井工艺、成井(井管安装、填砾、止水、洗井及抽回灌试验)工艺及运行维护等方面进行了研究,下篇重点对土壤源热泵埋管换热系统钻井工艺、回填工艺、水压试验、防堵塞方法、管阻优化、泄漏故障诊断等方面进行了研究。通过以上内容的研究,形成完整的浅层地热能集成应用技术体系,为我国夏热冬冷地区地源热泵的合理利用提供科学指导,改善用能结构,减少环境污染,提高居民生活质量,改善居住环境。本书还得到河南省科技惠民计划“可再生能源利用技术集成与示范应用”以及河南省科技攻关项目“夏热冬冷地区绿色建筑技术集成与示

范”等有关项目的技术支持和成果共享。

本书编写人员及编写分工如下：第一章、第五章由潘玉勤、杜永恒、栾景阳编写；第二章由葛建民、曹静编写；第三章、第四章由李海峰、李杰、范之敬编写；第六章、第七章、第八章、第十一章由栾景阳、常建国、杨国平编写；第九章、第十章由刘恺、温殿波、马校飞、郭猛编写。全书由潘玉勤、杜永恒策划、组织和编写，常建国、李杰负责统稿和协调。由于编者的水平所限，书中难免存在缺陷与不足，敬请广大读者批评指正。

作者

2015年8月

# 目 录

第一章 概 述 .....	(1)
第一节 地源热泵系统 .....	(1)
第二节 地源热泵发展历程 .....	(6)
第三节 未来发展趋势 .....	(9)

## 上 篇 水源热泵地下换热系统施工技术

第二章 水源井施工准备 .....	(13)
第一节 勘 察 .....	(13)
第二节 设 计 .....	(17)
第三章 水源井成井工艺 .....	(26)
第一节 钻进、护壁与冲洗介质 .....	(26)
第二节 岩性鉴别 .....	(32)
第三节 井管安装 .....	(33)
第四节 填砾与管外封闭 .....	(36)
第五节 洗井与抽水、回灌试验 .....	(39)
第六节 水样采集与送检 .....	(44)
第七节 维护与保养 .....	(44)
第四章 典型地质回灌工艺 .....	(46)
第一节 砂砾卵石地层回灌工艺 .....	(46)
第二节 中粗砂地层回灌工艺 .....	(50)
第三节 细砂地层回灌工艺 .....	(56)
第四节 岩溶地层回灌工艺 .....	(61)
第五节 基岩裂隙水回灌工艺 .....	(65)
第五章 地下水换热系统存在的问题及防治措施 .....	(70)
第一节 存在的问题 .....	(70)
第二节 防治措施 .....	(73)

## 下 篇 土壤源热泵地下换热系统施工技术

第六章 地埋管换热系统施工准备 .....	(81)
第一节 勘 察 .....	(81)
第二节 设 计 .....	(82)
第七章 地埋管换热系统材料及换热介质 .....	(90)
第一节 地埋管换热器管材 .....	(90)
第二节 地埋管换热器传热介质 .....	(98)

第三节	地埋管回填材料 .....	(99)
<b>第八章</b>	<b>地埋管换热系统施工工艺 .....</b>	<b>(105)</b>
第一节	竖直地埋管施工工艺 .....	(105)
第二节	水平地埋管施工工艺 .....	(115)
第三节	地埋管系统的水压试验 .....	(118)
第四节	地埋管系统的冲洗和试运行 .....	(121)
第五节	地埋管换热系统施工质量控制 .....	(122)
第六节	地埋管换热系统检验 .....	(123)
<b>第九章</b>	<b>地埋管系统管阻优化及防堵塞措施 .....</b>	<b>(124)</b>
第一节	地埋管系统埋管布置形式 .....	(124)
第二节	地埋管系统管阻优化的目的与方法 .....	(125)
第三节	异程式地埋管系统管道阻力优化 .....	(127)
第四节	同程式地埋管系统管道阻力优化 .....	(134)
<b>第十章</b>	<b>地埋管系统泄漏的故障诊断 .....</b>	<b>(147)</b>
第一节	管道泄漏检测技术现状 .....	(147)
第二节	地埋管系统的泄漏故障 .....	(150)
第三节	水平地埋管泄漏检测 .....	(151)
第四节	基于 PCA 的地埋管泄漏检测与故障诊断 .....	(152)
第五节	预防地埋管堵塞的措施 .....	(160)
<b>第十一章</b>	<b>热物性测试 .....</b>	<b>(162)</b>
第一节	土壤热物性测试目的及意义 .....	(162)
第二节	土壤热物性测试方法 .....	(162)
第三节	现场热响应试验法测试步骤及技术要求 .....	(165)
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>(169)</b>



# 第一章 概述

## 第一节 地源热泵系统

能源是人类社会生存和发展的必要因素,是社会经济发展的动力,对国民经济的持续、快速发展起着举足轻重的作用。人类社会的发展依赖于各种矿产资源,随着经济的快速发展和人民生活水平的大幅度提高,世界面临的能源短缺问题逐步在各个行业中体现出来。据统计,我国目前建筑能耗约占全部能源消耗的 25%,而且该数据仍保持快速上升趋势,在建筑能耗中,制冷、供暖、通风能耗占建筑总能耗的 60%~85%,因此降低制冷、供暖、通风能耗成为降低建筑能耗的重中之重。我国在 2009 年 12 月哥本哈根会议前就提出了“节能、减排”政策,实施节能产品惠民工程,推动淘汰高耗能、高污染的落后产能,大力发展可再生能源和其他新能源的推广使用。

“十一五”“十二五”期间,国务院及国家发展和改革委员会、科技部、财政部、建设部等部委相继出台《“十一五”十大重点节能工程实施意见》《关于加快推进我国绿色建筑发展的实施意见》《“十二五”建筑节能专项规划》《“十二五”节能环保产业发展规划》《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》《绿色建筑行动方案》等节能相关文件、政策,大力支持建筑节能新技术发展、推广应用。我国针对如何降低制冷、供暖、通风的能耗开展了许多节能技术与探索,其中地源热泵技术以节能、环保、高效、可持续性,被称为 21 世纪最具发展前途的绿色空调技术。地源热泵技术是一种通过输入少量的高品位能(电能),实现从低品位能(低温地热能)向高品位能转移的热泵空调系统。在冬季,该系统通过热泵提升地下岩土体的低位热能对建筑物进行供暖,同时蓄存冷量以备夏季使用;夏季通过热泵对建筑物进行供冷并将建筑内的余热转移至地下,蓄存热量以备冬季使用。夏热冬冷地区的供冷和供暖天数大致相当,冷热负荷相差不大,采用地源热泵系统,可以充分发挥地下岩土体的蓄能作用。地源热泵与常规空调系统相比,具有可再生性、节能高效、一机多用、环境效益显著、系统寿命高、运行管理方便等优点。

### (1) 可再生性。

地源热泵空调系统利用了地球表面的浅层地热资源(通常在地层 200 m 以内)作为冷、热源。地表浅层是一个巨大的太阳能集热器,收集了 47% 的太阳能量(地层中只有不到 2%~3% 的能量来自炙热的地核),是人类每年能耗的 500 多倍。地源热泵系统将地下含水层、地下岩土体作为蓄能载体,周期性地向地下含水层、地下岩土体吸收、释放热量,在一个运行周期内系统吸收、释放热量近似相等,减小系统运行对浅层地能温度变化的影响,这种几乎无限的可再生能源,为清洁的可再生能源的一种形式。

### (2) 节能高效。

常规电制冷螺杆机、离心机中央空调机组能效比一般为 2.5~3.5,而地源热泵机组能效比为 4.0~6.5,甚至部分机组能效比达到 8.0,即输入 1 kW 的能量能产出 8 kW 的热量,

其优异的制冷、制热能效具有非常明显的节能效果。

### (3) 一机多用。

常规电制冷螺杆机、离心机中央空调机组为单制冷机组,冬季供暖需增加锅炉房或电加热等供暖系统设备,地源热泵系统可同时以制冷、供暖、制取生活热水多种模式运行,节省了燃煤、燃气、燃油等锅炉系统供暖管网、末端的投资,节约了建筑空间。地源热泵系统适用于宾馆、商场、办公楼、学校、住宅等建筑。

### (4) 环境效益显著。

地源热泵系统可以供热模式运行,冬季供暖不需增加锅炉或其他供暖设施,系统供暖运行时不向大气排放污染气体,有助于大气雾霾污染的防止和治理;供冷时避免了冷却塔、冷凝风机噪声、霉菌污染,同时不向大气排放热量,有效减弱了城市热岛效应。

### (5) 系统寿命长。

由于水源热泵热源井系统、地下埋管系统与室外空气隔绝,系统管道、设备腐蚀性小,水源热泵热源井使用寿命可达 15 ~ 20 年,土壤源热泵系统埋管换热系统使用寿命可达 50 年左右。

### (6) 运行管理方便。

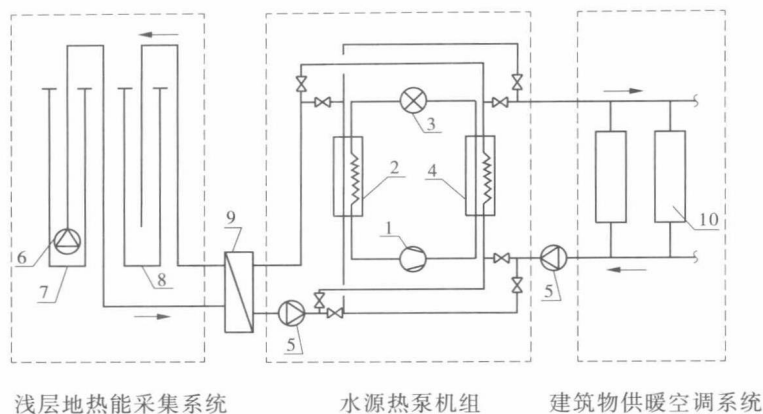
由于地源热泵地下换热侧地下水温、岩土温度四季波动较小,且冬季地下温度高于环境温度,夏季地下温度低于环境温度,使得热泵机组运行稳定、高效,无化霜、除霜过程。地下换热系统布置方式灵活方便,可布置在建筑地下、道路、花园、草坪、农田、湖泊中。地源热泵系统运行部件较常规空调系统少,维护简单,且地下换热系统不暴露在环境中,可延长系统使用寿命。

## 一、地源热泵系统的工作原理

在自然界中,水总是由高处流向低处,人类可通过水泵消耗能量把水从低处提升到高处。作为自然现象,热量也总是从高温向低温传递,热力学第二定律的(克劳修斯)表述是:“热量不可能自发地由低温物体传递到高温物体”。但人们可以创造机器,如同人类利用机器做功把水从低处提升到高处一样,人类利用热泵系统把热量从低温环境“抽取”到高温环境中。热泵作为一种热量提升装置,通过消耗一部分能量,把环境介质中储存的能量加以挖掘利用,而整个热泵装置所消耗的功仅为供热量的三分之一或更低。

典型地下水地源热泵系统如图 1-1 所示。地源热泵系统主要由浅层地热能采集系统、热泵机组、室内供暖空调系统、输配系统四部分组成。其中,浅层地热能采集系统是指通过系统循环介质将岩土体或地下水、地表水中的热量采集出来并输送给热泵机组换热器。在夏季制冷工况下,将浅层地热能采集系统与热泵机组冷凝器相连,利用浅层地热能采集系统内低温循环介质作为冷却水,冷却热泵机组冷凝器内高压高温气态制冷剂,制取 5 ~ 7 °C 冷冻水,调节建筑室内温度、湿度,同时蓄存热量以备冬季用;在冬季制热工况下,通过将浅层地热能采集系统采集的低品位热能送至热泵机组蒸发器内,热泵机组通过逆卡诺循环将其提高为高品位热能,在热泵机组冷凝器侧制取供暖热水,对建筑进行供暖,同时蓄存冷量以备夏季用。热泵机组主要利用采集的冷(热)量通过制冷、制热运行制取冷冻水、供暖热水。浅层地热能采集系统通常有埋管换热系统、地下水换热系统、地表水换热系统。室内供暖空调系统主要有风机盘管系统、地板辐射供暖系统、柜式空调系统、组合机系统。输配系统

指将热泵机组冷冻水、供暖热水输送至室内供暖空调系统的管路及设备。



1—制冷压缩机;2—蒸发器;3—节流机构;4—冷凝器;5—循环水泵;  
6—井水泵;7—取水井;8—回灌井;9—板式换热器;10—热用户

图 1-1 典型地下水地源热泵系统

## 二、地源热泵系统的分类

地源热泵系统按照低品位能源的类型可分为地下水地源热泵系统、地埋管地源热泵系统和地表水地源热泵系统;按照地下热交换器敷设方式的不同可分为闭式系统、开式系统和直接膨胀式系统;如果地源热泵设置辅助系统,可以分为冷却塔补偿系统和太阳能辅助系统。

### (一) 地下水地源热泵系统

地下水地源热泵系统通过从热源井中抽取地下水与换热器(或直接进入热泵机组)换热,然后将地下水回灌至回灌井内。地下水地源热泵根据不同回灌形式可分为同井回灌系统和异井回灌系统。

同井回灌系统指取水井和回灌井在同一口井内,水井被隔板分为低压(抽水)区、高压(回水)区两部分,利用潜水泵将地下水从低压(抽水)区抽出送至井外换热器换热,然后将换热后的地下水同井回灌到高压(回水)区内。同井回灌系统所在地应具有适宜埋深和回灌条件的含水层,水井应能够提供设计水量和良好水质的地下水。

异井回灌系统指取水、回水分别在取水井、回灌井内进行,从取水井抽出地下水送至换热器换热,然后送至回灌井回灌到地下同一含水层中。当热泵机组采用板式换热器时,由于地下水所含的成分较复杂,杂质较多,设备容易堵塞,管路及设备易产生腐蚀和结垢,因此地下水源热泵通常采用闭环系统。若地下水水质好,可以使用开环系统,将地下水直接送入热泵机组中换热,但应采取相应措施。

同井回灌、异井回灌地下水地源热泵系统示意图见图 1-2。

地下水地源热泵与传统供暖、空调系统及空气源热泵相比具有以下特点:

(1) 地下水源热泵具有较好的节能性。地下水的温度相当稳定,一般与当地全年平均气温相差  $1 \sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，“冬暖夏凉”，系统运行稳定,系统能效高。同时,温度较低的地下水,可直接用于空气处理设备中,对空气进行冷却、除湿处理而节省能量。相对于空气源热泵系

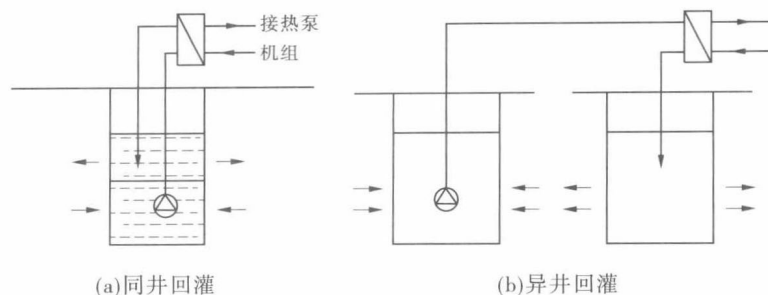


图 1-2 地下水地源热泵系统示意图

统,能够节约 23% ~ 44% 的能量。

(2) 地下水地源热泵具有显著的环保效益。由于地下水源热泵具有较高的制热性能系数和制冷能效比,有效降低了电能和一次能源的消耗,减少了二氧化碳温室性气体及其他有害气体的排放。

(3) 地下水地源热泵具有良好的经济性。美国 127 个地源热泵工程的实测数据表明,地源热泵相对于传统供暖、空调方式,运行费用节约 18% ~ 54%。地下水地源热泵的维护费用也低于传统的冷水机组加燃气锅炉系统。

(4) 回灌是地下水地源热泵的关键技术。在面临地下水资源严重短缺的今天,如果地下水源热泵的回灌技术有问题,不能将 100% 的井水回灌至含水层内,将带来一系列的生态环境问题,如地下水位下降、含水层疏干、地面下沉、河道断流等,会使地下水资源状况更加严峻。因此,地下水地源热泵系统必须具备可靠的回灌措施。

## (二) 地埋管地源热泵系统

地埋管地源热泵系统,是将地下土壤作为热泵机组的高温、低温热源,利用地下换热盘管与土壤进行热量交换。夏季供冷时,土壤作为排热场所,热泵将室内热负荷、压缩机、水泵耗能,通过地下换热盘管排入土壤;冬季供热时,土壤作为热泵机组的高温热源,热泵通过地下埋管获取土壤热量进行制热。土壤源热泵地下换热系统只需在建筑物地下、周边空地、道路或停车场铺设埋管,利用地埋管换热器内循环介质与地下土壤进行换热。地源热泵具有不消耗地下水资源、不影响地下水品质、系统运行能效比高等特点。

土壤源热泵按照地下换热系统埋管方式分为水平式埋管系统和竖直式埋管系统。水平式埋管系统将地埋管水平铺设在 1.2 ~ 3.0 m 深的土壤中,每沟埋 1 ~ 6 根水平埋管,管沟布置形式、长度与土壤热物性、温度、设计埋管长度、可使用土地面积相关。水平式埋管系统一般成本低,铺设方便,但土壤温度受地表四季温度变化影响大,占用地面面积大,适宜于地表面积充裕的建筑使用。竖直式埋管系统将换热器垂直埋入钻井中,钻井深度一般为 50 ~ 200 m,埋管形式有 U 形管(可分为单 U 管、双 U 管)、套管等。竖直式埋管系统中,土壤温度不易受四季温度变化的影响,流动阻力损失小,运行费用低,但钻井费用较高,一般用于地表面积受限的建筑。水平式埋管系统、竖直式埋管系统示意图如图 1-3、图 1-4 所示。

与空气源热泵相比,地埋管地源热泵系统具有以下优点:

(1) 土壤温度全年波动较小且数值相对稳定,热泵机组的季节性能系数具有恒温热源热泵的特性,这种温度特性使土壤源热泵比传统的空调运行效率高 40% ~ 60%,节能效果明显。

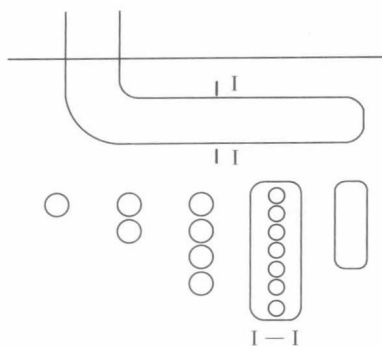


图 1-3 土壤源热泵——水平式埋管系统示意图

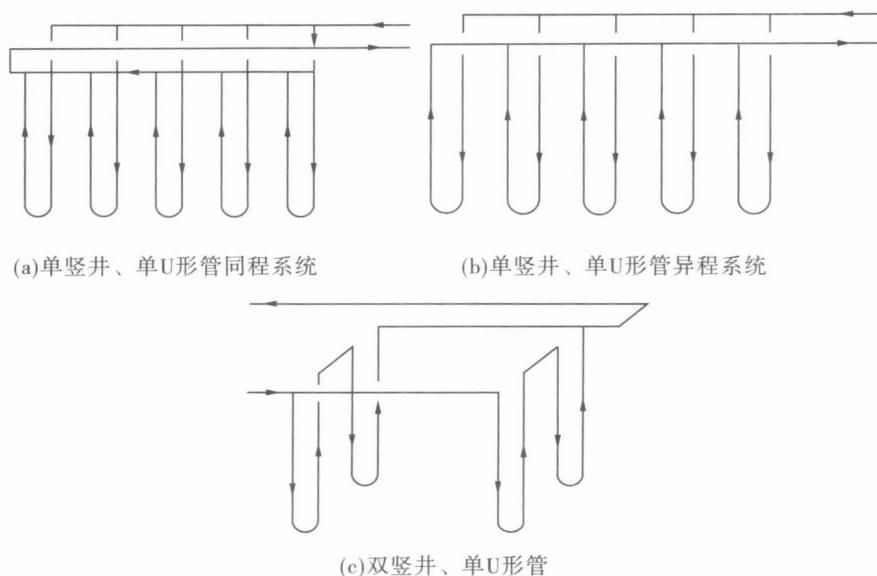


图 1-4 土壤源热泵——竖直式埋管系统示意图

(2) 土壤具有良好的蓄热性能,冬、夏季从土壤中取出(或排入)的能量可以分别在夏、冬季得到自然补偿。

(3) 当室外气温处于极端状态时,用户对能源的需求量一般也处于高峰期,由于土壤温度相对地面空气温度的延迟和衰减效应,因此和空气源热泵相比,土壤源热泵可以提供较低的冷凝温度和较高的蒸发温度,从而在耗电相同的条件下,可以提高夏季的供冷量和冬季的供热量。

(4) 土壤源热泵系统相对于空气源热泵系统无需除霜、融霜,有效避免了融霜能耗损失,且室内舒适性好。

(5) 地埋管换热系统地下换热过程噪声污染小,不向周围空气释热、释冷。

(6) 运行费用低。据世界环境保护组织(EPA)估计,设计安装良好的地源热泵系统,可较常规系统节约 30% ~ 40% 的供热、空调运行费用。

### (三) 地表水地源热泵系统

地表水地源热泵将江水、河水、湖水、水库水、海水等作为系统运行冷、热源进行制冷、供热。其中,地表水地源热泵按系统与地表水的换热形式可分为开式系统、闭式系统。开式系

统通过水泵等装置直接从江、河、湖、海中抽取地表水,将地表水送至换热器换热,然后送返原水域。闭式系统将换热盘管置于地表水中,换热盘管内的循环介质在地表水中直接进行热量交换,然后通过换热盘管内循环液将热量送至热泵机组。地表水地源热泵系统示意图见图 1-5。

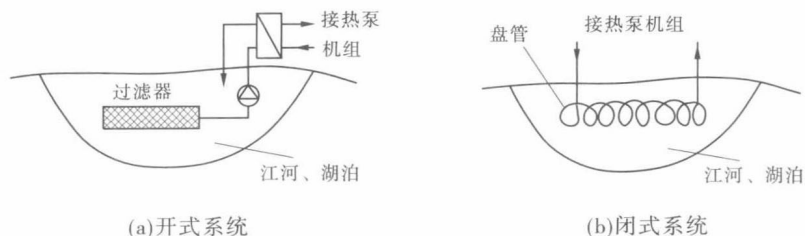


图 1-5 地表水地源热泵系统示意图

地表水地源热泵系统具有以下特点:(1)地表水温度比地下水、地下岩土温度变化大,因此地表水源热泵与空气源热泵具有类似的特点,如冬季最寒冷或夏季最炎热时所需负荷最大,由于地表水温度随室外温度变化剧烈,热泵机组运行工况恶劣,导致热泵机组运行能效较低。

(2)地表水换热系统施工简单、方便,不需进行取水井、回灌井或地下埋管钻井施工、回灌,因此地表水热泵空调系统施工费用较低。

(3)地表水地源热泵系统使用中需要注意防止腐蚀、藻类生长等问题,避免清洗系统运行频繁中断和清洗费过高等问题。

(4)地表水源热泵系统节能效果较好。德国阿伦文化及管理中心的河水源热泵平均性能系数可达 4.5。河水温度在 6℃时,其性能系数可达 3.1。

## 第二节 地源热泵发展历程

### 一、国外发展历程

“地源热泵”(GSHP)一词第一次出现于 1912 年瑞士的一份专利文献中,欧洲于 20 世纪 50 年代出现了利用地源热泵的第一次高潮。在此期间,Ingersoll 和 Plass 根据 Kelvin 线源概念提出了地下埋管换热器的线热源理论,但由于当时能源价格低,系统造价高,未得到广泛应用。

20 世纪 70 年代初期,石油危机的出现和环境的恶化,引发了人们对新能源的开发和利用,地源热泵以其节能的特点开始受到重视。这时,北欧国家的科技工作者开始了地源热泵的实际应用研究与开发,并得到了政府的大力支持。1974 年起,瑞士、荷兰和瑞典等国家政府资助的示范工程逐步建立起来,地源热泵生产技术逐步完善。从系统技术来说,这个时期的地下热导体体系大多数采用的是地下水直接利用方式,要求有一定的水温,而且技术相对粗糙,甚至没有回灌井。70 年代后期,瑞典科学家开始研究地下开放式的循环供热系统。我国于 1978 年开始进行热泵技术的专项研讨,并逐渐被我国科研工作者重视。

20 世纪 80 年代是地源热泵技术飞速发展的时期。这一时期,美国的地源热泵生产厂

家十分活跃,成立了全国地源热泵生产商联合会,并逐步完善了安装工程网络。欧洲国家以瑞士、瑞典和奥地利为代表,大力推广地源热泵供暖和制冷技术,并采取相应的补贴和保护政策,使得地源热泵生产规模和使用范围迅速扩大。

20世纪80年代后期,地源热泵技术已经臻于成熟,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%。在此期间,美国的地源热泵生产和推广速度很快,相关技术得到飞跃性的发展,成为世界上地源热泵生产和使用大国。

20世纪90年代以来,欧美国家的科技工作者联系更加密切,共同对地源热泵有关的环境问题开展了广泛和深入的研究。1995年在国际地热学术会上,英国学者Curtis代表国际地热组织发表了一篇关于应用土壤源热泵系统的调查报告,其中总结性的结论为:

(1)土壤源热泵系统是世界能源市场的成熟技术之一,与现存的用电供热/制冷技术相比,具有稳定性能好、可靠性高、花费更少的优势。

(2)土壤源热泵系统在经济上与燃油和燃气锅炉不相上下。

(3)如果考虑到环境效益、能源保障和长期利用等因素,土壤源热泵系统是最好、技术含量最高的替代产品。

20世纪末期,土壤源热泵系统逐渐在民用建筑中使用,全球大约3/4的地源热泵都安装在美国和欧洲,主要应用于新建房屋。1998年美国商业建筑中地源热泵系统已占空调总量的19%以上,新建建筑占30%,并以10%的速度增长。欧洲一些国家采用政策补贴的方式促进地源热泵的发展,20世纪90年代补贴取消后仍以1000套/年的速度增加。瑞典是世界上地源热泵应用比例最高、技术较成熟的国家,2001年欧洲地源热泵总销量39350台,其中瑞典销售27000台。

2008年和2009年美国每年热泵设备装机容量多达100000台,相当于每年400000多t能量,美国对实施于2009年12月1日到2016年12月31日之间的地源热泵项目实施课税津贴,根据美国能源信息管理机构的年度报告,2013年以来每年热泵设备装机容量达130000台。加拿大经过多年持续增长,其中2005年增长了40%,2006~2008年每年保持60%的增长速度,2009~2011年保持稳定发展趋势。2010年瑞典共安装31954台热泵系统,相比于2009年增长了16%,这也使瑞典重新成为了欧洲热泵第一大市场。

## 二、国内发展历程

自1995年,山东富尔达空调设备有限公司首次把地源热泵应用到辽阳市邮电新村项目以来,短短的十几年间,地源热泵从无到有,从小面积示范到大面积推广,相关政府部门逐渐找到了审批管理地源热泵系统的最优方案。地源热泵技术在我国的发展可以分为三个阶段。

### (一)起步阶段(20世纪90年代至21世纪初)

自20世纪90年代起,中国建筑学会暖通空调委员会、中国制冷学会第五专业委员会主办的全国暖通空调制冷学术年会上进行了地源热泵的专项研讨,地源热泵逐渐发展起来。早期的辽阳市邮电新村项目属于我国集成商与设备厂商对地源热泵技术进行的初期摸索,我国地源热泵真正起步的标志性事件是我国科技部与美国能源部正式签署的《中美能源效率及可再生能源合作议定书》。

在地源热泵发展起步阶段,地源热泵概念开始在暖通空调技术界人士中扩散,相关设计人员、施工人员、集成商、设备生产商等逐渐被这个概念吸引,但整体上看该阶段地源热泵技术还没有被接受,专业技术人员对该技术了解不够,相关地源热泵机组和关键配部件不齐全、不完善,造成这一阶段地源热泵技术发展规模不大,进展速度较慢。

## (二) 推广阶段(2000~2005年)

进入21世纪后,地源热泵机组厂家和系统集成商已达80余家,地源热泵逐渐在多个地区应用,此时地源热泵技术科学研究也极其活跃,2000~2003年的4年间,年平均专利为71.75项,有关热泵的文献数量剧增,很多高校的硕士、博士论文也不断增多,屡创新高。2001年,由中国建筑科学研究院空调研究所徐伟等翻译的《地源热泵工程技术指南》为我国地源热泵工作者普及了相关工程技术和施工方法,为我国地源热泵从业人员提供了参考。

这个阶段,地源热泵发展逐渐升温,但由于技术参差不齐、建设成本不断拉低,使一些项目出现问题,地源热泵企业在市场拓展方面遇到一定困难。

## (三) 快速发展阶段(2006年至今)

2006年后,随着我国对可再生能源应用于节能减排的工作不断加强,《可再生能源法》《节约能源法》《可再生能源中长期发展规划》《民用建筑节能管理条例》等法律法规的相继颁布和修订,《建设部、财政部关于推进可再生能源在建筑中的应用的实施意见》的逐步实施,以及可再生能源示范城市的建设,地源热泵技术的应用面积与应用技术水平在短时间内得到了快速的增加与提升,逐步奠定了地源热泵在我国建筑节能与可再生能源利用中的突出地位。至此,地源热泵系统应用进入快速发展阶段。

至2007年,地源热泵技术的建筑应用面积达7亿 $\text{m}^2$ ,比2006年的2.7亿 $\text{m}^2$ 增长160%。至2008年底,住房和城乡建设部联合财政部已组织实施4批可再生能源建筑应用示范项目,共371项,示范面积4049万 $\text{m}^2$ 。2009年,可再生能源建筑应用城市示范和农村地区示范工作全面启动,统筹兼顾城市与农村,推进模式实现跨越。这标志着我国推进可再生能源建筑应用工作,从抓单个项目示范到抓区域整体推进,实现了将“点连成线”的阶段性发展。

2011年3月,财政部、住房和城乡建设部两部委再次联合发布了《关于进一步推进可再生能源建筑应用的通知》,其中明确指出“十二五”期间可再生能源建筑应用推广目标,切实提高包含浅层地能在内的可再生能源在建筑用能中的比重,开展可再生能源建筑应用集中连片推广,并争取到2015年底,新增可再生能源建筑应用面积25亿 $\text{m}^2$ 以上,形成常规能源替代3000万t标准煤,到2020年,实现可再生能源在建筑领域消费比例占建筑能耗的15%以上。

《“十二五”节能减排综合性工作方案》中明确了全社会可再生能源利用的具体目标:调整能源结构,因地制宜大力发展风能、太阳能、生物质能、地热能等可再生能源。该方案针对建筑节能工程提出了具体要求,要求夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造5000万 $\text{m}^2$ ,公共建筑节能改造6000万 $\text{m}^2$ ,高效节能产品市场份额大幅度提高。“十二五”时期,形成3亿t标准煤的节能能力。在加快节能减排技术开发和推广应用上,明确了对低品位余热利用、地热和浅层地温能应用等可再生能源技术的产业化示范。

总的来说,2006年至今是我国地源热泵技术快速发展阶段,技术应用面积迅速增长,技术类型不断丰富,产业发展逐渐成规模,相关标准逐步完善。到2020年,地源热泵新增应用



建筑面积约为 9 000 万  $\text{m}^2$ ,增长速度超过 30%;地源热泵系统不仅用于供暖、空调及生活热水,而且逐渐与其他形式组合,为人类造福;地源热泵建筑示范项目的实施,促使国家和地方政府相关部门积极编写和制定地源热泵相关设计教程、设计规程、技术导则等。

### 第三节 未来发展趋势

在建筑能耗中,暖通空调系统与热水系统所占比例高达 60%。随着生活水平的逐步提高,人们对住宅、办公舒适度要求越来越高,我国未来十年内供暖和空调设备将持续增长,建筑能耗必将大幅度增加。伴随着愈演愈烈的雾霾天气,国家、地方持续出台“最严厉”的治霾措施,大力治理大气污染,取消和限制燃煤型采暖、低效采暖;大力发展、推广应用高效、环保、节能、可再生空调供暖通风技术,已成为资源节约型、环境友好型发展政策下建筑节能发展的必然结果。

从我国未来的能源发展战略来看,煤电联动、区域冷站、大气污染治理、可再生能源应用、绿色建筑发展等国家政策对于地源热泵系统的发展都有非常显著的促进作用,在可预见的未来,地源热泵系统作为低能耗建筑、绿色建筑应用的最重要部分将呈现快速发展趋势,地源热泵系统的应用规模将进一步增大。

但地源热泵发展过程中仍存在以下问题:在水源热泵系统中,热源井回灌堵塞、井管材质腐蚀严重,水质氧化、潜水泵损耗快及水源热泵系统运行管理不合理等;在土壤源热泵系统中,土壤热响应试验缺失、设计误差大、回填质量差、地埋管换热系统各管组之间水力失衡严重、换热效果差、冷热负荷不平衡导致土壤温度持续变化、地埋管换热器出现泄漏等问题。这些问题将导致地源热泵系统节能效果降低,全寿命期费用剧增。在地源热泵推广应用中,亟须针对地源热泵系统施工过程中存在的主要问题,出版相关技术指南、手册、图集、规范,规范、指导、提高地源热泵施工技术。

因此,我国地源热泵技术的发展应着重于提高地源热泵应用水平、丰富技术类型、控制能耗总量。提高系统综合性能系数,意味着输入同样多的常规能源,能够获得更多的可再生能源应用到建筑采暖与制冷中,提高对可再生资源的利用率。地源热泵系统综合性能系数的提高是一个由“调试”到“调适”的过程,这其中包括多个层面的意义:因地制宜,选择合理的冷热源方式及系统形式;具体建筑应充分考虑使用功能及负荷特点。