

Ground-Coupled

Heat Pump Technology

地埋管

地源热泵技术

■ 刁乃仁 方肇洪 著



高等教育出版社

地埋管地源热泵技术

Ground-Coupled Heat Pump Technology

刁乃仁 方肇洪 著

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

地埋管地源热泵技术/刁乃仁,方肇洪著. —北京:高等教育出版社,2006.10

ISBN 7-04-019941-6

I. 地... II. ①刁...②方... III. 房屋建筑设备—地热能—热泵 IV. TU833

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第106446号

策划编辑	刘剑波	责任编辑	张玉海	封面设计	张申申
责任绘图	朱静	版式设计	范晓红	责任校对	姜国萍
责任印制	陈伟光				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市星河印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 14
字 数 280 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006年10月第1版
印 次 2006年10月第1次印刷
定 价 34.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19941-00

内容简介

本书是为适应工程技术人员和研究工作者的需要,作者在总结多年来地埋管地源热泵理论研究和工程实践成果的基础上写成的。全书共六章。第一章绪论;第二章系统,深入地阐明地热换热器传热理论,由过程的物理模型建立起相应的数学模型并求得各个主要环节的解析解,有重要的理论创新。第三章至第六章着重于工程应用。内容包括:竖直埋管地热换热器设计、施工及其空调系统设计、地埋管地源热泵工程实例等。全书着重启示工程应用,分析研究的基本观点和方法,并力求反映作者最新的研究成果。

本书可作为从事地埋管地源热泵工程设计、施工、研究及应用的技术人员参考,还可供高等学校建筑环境与设备等专业的师生作为暖通空调新技术和高等传热学课程教学的参考。

Synopsis

Based mainly on authors' theoretical studies and engineering practices on the ground-coupled heat pump (GCHP) systems in last a couple of years, this book has been completed in order to provide technical assistance to the engineers and researchers in this field in China. It comprises six chapters. Chapter 1 presents a comprehensive introduction to this relatively new technology in China. The second one expounds in details and with significant innovations the heat transfer analyses of the vertical ground heat exchanger including the physical and mathematical models and their analytical solutions of all the aspects of the heat transfer in the ground heat exchanger. Through Chapters 3 to 6 engineering applications of the GCHP technology have also been emphasized including the designing and construction of the vertical ground heat exchangers planning and designing of the air-conditioning systems incorporating the GCHP technology. Case studies are also presented which have been completed by our research group in recent years. The monograph focuses on both the fundamentals and techniques of the GCHP systems in the academic studies and engineering applications and tries to reflect authors' latest achievements in this field.

This book can serve as a manual for engineers working in the designing, construction research and application of the GCHP systems and provide a reference as well for the teachers and students majoring in building service engineering in institutions of higher learning while studying subjects such as HVAC technologies and advanced heat transfer.

前 言

随着我国政府和社会公众对保护大气环境的越来越重视,城镇中已普遍禁止采用中小型燃煤锅炉供热。因此,除了集中供热的形式以外,急需发展其他替代燃煤锅炉的供热方式。热泵就是能有效减少大气污染的供热和空调手段。以建筑物的空调(包括供热和制冷)为目的的热泵系统,其一个热源就是建筑物内部的环境,其另一个热源按性质来分,可分为空气源热泵和地源热泵两大类。在冬季供热工况下,室外空气、地表水或大地中的低品位热量通过热泵做功而提高温度以对建筑物供热。

空气源热泵利用室外的空气作为低温热源,系统最为简单,因而初投资最省。空气源热泵的缺点是受室外环境的影响,能效比较低,而且,室外空气温度越低时供热量越小,特别是当空气温度低于一定的限制时热泵就难以正常工作,需要用电或其他辅助热源对空气进行加热,热泵的效率大大降低。此外,空气源热泵的蒸发器上会结霜,需要定期除霜,也损失相当大的一部分能量。

地源热泵系统利用 200 m 以内的浅层地壳中储存的热能资源对建筑进行供热与空调,具有良好的节能与环境效益,近年来在国内得到了日益广泛的应用。根据中华人民共和国国家标准《地源热泵系统工程技术规范》(GB 50366—2005)中的表述,根据地热能采集系统形式的不同,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。在靠近江河湖海等大体量自然水体的地方,可以利用这些自然水体作为热泵的低温热源,称之为地表水地源热泵系统。与空气源热泵系统相比,它的效率可以有较大的提高,是值得考虑的一种空调热泵的形式。利用各种工业废水和城市污水中的热量的热泵供热系统也可归于这种系统。当然这种方法受到自然条件和水源的限制。

地埋管地源热泵系统和地下水地源热泵系统都是利用大地(土壤、地层、地下水)作为热源。由于较深的地层中在未受干扰的情况下常年保持恒定的温度,远高于冬季的室外温度,又低于夏季的室外温度,因此,地源热泵可克服空气源热泵的技术障碍,且效率大大提高。此外,冬季通过热泵把大地中的热量升高温度后对建筑供热,同时使大地中的温度降低,即蓄存了冷量,可供夏季使用;夏季通过热泵把建筑物中的热量传输给大地,对建筑物降温,同时在大地上蓄存热量以供冬季使用。这样在地源热泵系统中大地起到了蓄能器的作用,进一步提高了空调系统全年的能源利用效率。这不仅使冬季供热的效率大大提高,而且夏季空调的电耗也大大降低。

自 20 世纪 90 年代起,地下水地源热泵供热空调技术在我国得到了很大的发展。它抽取地下水在热泵中放出热量后再回灌到地下水层。推广这种技术有明显的节能

和保护大气环境的效益,对宣传和推动热泵技术在供热空调中的应用也起到了积极的作用。但是,这种地下水地源热泵技术也存在明显的先天缺陷。首先,这种抽取地下水的办法需要当地有丰富的地下水作为先决条件,如果地下水位较低,水泵的耗电将大大降低系统的效率。此外,虽然理论上抽取的地下水将回灌到地下水层,但在很多地质条件下回灌的速度大大低于抽水速度,因此会造成地下水资源的流失。即使能够把抽取的地下水全部回灌,怎样保证地下水层不受污染也是一个棘手的课题。水资源是当前最紧缺、最宝贵的资源之一,任何对水资源的浪费或污染都是不允许的。因此,发达国家对推广应用这种系统已采取非常慎重的态度。

地埋管地源热泵系统正是保留了地下水地源热泵系统的优点,同时又避免了它的缺点的一种热泵供热空调技术,将成为地源热泵供热空调技术中的主导形式。地埋管地源热泵系统采用介质流经埋在地下管子与大地(土壤、地层、地下水)进行换热的模式。它在20世纪50年代就已在一些北欧国家的供热中得到实际应用。由于石油危机的影响,地源热泵技术的应用在20世纪70年代得到较大的发展,并在北美形成了利用地源热泵对建筑进行冷热联供的研究和工程实践的新一轮高潮,技术也进一步趋于成熟。地埋管地源热泵系统在我国投入实际应用的时间还很短,缺乏成熟的经验和大量的熟练掌握该项技术的设计、施工技术人员。目前,我国已颁布了《地源热泵系统工程技术规范》(GB50366—2005),为规范地源热泵系统的设计、施工及验收,确保地源热泵系统安全可靠地运行打下了坚实的基础。由于地埋管换热器中传热问题的复杂性及实际工程所涉及的地质和气候条件以及建筑空调系统的多变性,对地埋管地源热泵系统的理论探索还远没有完成,实际工程应用的方式和技术措施也正在不断地发展。

本书是作者课题组的全体同仁以及历届研究生在消化吸收国外先进技术的基础上对地埋管地源热泵技术的理论研究和工程实践的总结,他们各自的工作体现在本书中引用的众多文献中。本书第二章由方肇洪执笔整理,其余章节由刁乃仁执笔整理。我们的理论研究和工程应用推广工作得到了山东省重点科技攻关项目“地热综合利用关键技术”(011150105)和国家自然科学基金项目“含湿岩土传热与地热换热器传热特性分析”(50476040)的经费支持,这对我们能够取得这些成果起到了重要的作用。山东建筑大学热能工程学院的“供热、供燃气、通风与空调工程”学科是山东省重点学科,有着较深厚的学术和工程实践的底蕴。山东建筑大学自始至终为我们的研究提供了良好的工作条件和多方面的支持。清华大学的过增元院士作为刁乃仁教授的博士导师,对地源热泵技术的研究和应用也倾注了很大的心血,给予了悉心指导。作者在这里也要感谢美国俄克拉荷马州立大学(OSU)的J. D. Spitler教授,是他在我们进入地源热泵技术研究领域的初期给予了真诚的帮助,并在多年中与我们一直保持信息的交换和联系。高等教育出版社的编辑也为本书的选题直至出版倾注了心血,付出了辛勤的劳动,我们在此也表示衷心的感谢!

我们希望本书的出版能起到一个抛砖引玉的作用,使我国在地埋管地源热泵技

术方面能够不断地有所自主创新,也使地源热泵供热空调产业不断发展壮大,更好地发挥其节能和环保的效益,为建设可持续发展的节约型社会作出贡献。

作者

2006年6月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第一章 绪论	1
1.1 热泵与建筑空调	1
1.2 空调热泵的分类	2
1.2.1 空气源热泵	2
1.2.2 地源热泵	3
1.3 地源热泵技术的发展与研究现状	6
1.3.1 国外的发展与研究现状	6
1.3.2 国内的研究与应用现状	8
第二章 竖直地埋管换热器的传热分析	13
2.1 地埋管换热器传热分析概述	14
2.1.1 工程设计用的半经验公式方法	15
2.1.2 地埋管换热器的数值计算	17
2.1.3 基于叠加原理的方法	18
2.2 钻孔内的传热分析	19
2.2.1 钻孔内的一维导热模型	20
2.2.2 钻孔内的二维导热模型	22
2.2.3 单 U 型管钻孔内传热的准三维导热模型	26
2.2.4 双 U 型管钻孔内传热的准三维导热模型	31
2.2.5 套管式地埋管换热器的热阻	43
2.3 钻孔外的传热分析	47
2.3.1 钻孔外的一维导热模型	48
2.3.2 有限长线热源模型	50
2.3.3 倾斜钻孔的传热分析	54
2.4 有地下水渗流的地埋管换热器传热模型	62
2.4.1 数学模型及解	64
2.4.2 地下水渗流对地埋管换热器传热的影响	66
2.4.3 水文地质条件的影响	68
2.5 多钻孔地埋管换热器的传热分析	70
2.6 地埋管换热器在变负荷工况下的温度响应	72
2.6.1 变负荷工况下的温度响应	72
2.6.2 周期性热流作用下的温度响应	73
2.7 地埋管换热器设计和模拟软件	75
2.7.1 “地热之星 V2.0”的功能	76
2.7.2 数据输入	77

2.7.3 模拟计算和设计计算	77
第三章 埋管热交换系统	81
3.1 地质与土壤热物性	81
3.1.1 地温分布	81
3.1.2 地质构造	83
3.1.3 地下储存能	83
3.1.4 岩土热物性	85
3.2 地层热物性的测定	87
3.2.1 概述	87
3.2.2 简化模型与思路	87
3.2.3 测量装置与测量方法	88
3.2.4 方法检验与测试实例	89
3.3 地热换热器的计算方法	92
3.3.1 地热换热器的计算及特点	92
3.3.2 地热换热器方案设计的概算指标	94
3.3.3 U型埋管换热计算原理	96
3.3.4 计算方法与框图	97
3.3.5 与现有地热换热器计算方法的比较	97
3.4 竖直埋管换热器的设计	100
3.4.1 埋管管材与传热介质	100
3.4.2 地热换热器的负荷计算	104
3.4.3 埋管换热器的布置形式	105
3.4.4 地热换热器长度计算	108
3.4.5 地热换热器系统的压力损失计算	109
3.4.6 循环泵的选择	111
3.5 地热换热器设计与运行测试实例	111
3.5.1 地热换热器设计	111
3.5.2 地热换热器的运行测试	114
3.6 影响竖直埋管换热的主要因素	118
3.6.1 埋管换热的强化与热阻分析	118
3.6.2 钻孔回填材料对埋管换热的影响	121
第四章 埋管换热器的施工	126
4.1 施工设备	126
4.1.1 钻孔与挖掘机械	126
4.1.2 焊接与回填设备	127
4.2 施工前的准备	129
4.2.1 现场勘察	129
4.2.2 场地规划	130
4.2.3 水文地质调查	131

4.2.4 测试孔与监测孔	131
4.3 地埋管管道的连接	132
4.3.1 管道的热熔连接	132
4.3.2 管道的电熔连接	134
4.3.3 钢塑管道的转换连接	136
4.3.4 聚乙烯管道连接与施工时应注意事项	137
4.4 地埋管换热器的安装	138
4.4.1 水平式地埋管换热器	138
4.4.2 竖直式 U 型埋管换热器	139
4.5 地埋管换热系统的检验与水压试验	142
4.5.1 地埋管换热系统的检验	142
4.5.2 地埋管水压试验	143
第五章 地埋管地源热泵系统设计	145
5.1 地埋管地源热泵系统	145
5.1.1 地源热泵空调系统组成及其运行	145
5.1.2 地源热泵空调系统设计内容	148
5.2 地热换热器结构与管网设计	151
5.2.1 单 U 型埋管与双 U 型埋管换热器	151
5.2.2 竖直 U 型埋管的管网设计	155
5.3 地源热泵空调的水系统设计	159
5.3.1 集中式与分散式地源热泵系统	159
5.3.2 集中设置水泵的分散式地源热泵系统	161
5.3.3 分散设置水泵的分散式地源热泵系统	165
5.3.4 集中 - 分散设置水泵的地源热泵系统	168
5.3.5 混合地源热泵空调系统	171
5.3.6 各种地热换热器循环液水系统的比较与分析	174
5.4 水源热泵机组选择与空调末端设计	175
5.4.1 水源热泵机组类型及其工作范围	175
5.4.2 水源热泵机组的选用及设计要点	177
5.4.3 空调末端系统的设计	178
5.5 地源热泵空调系统的调节与控制	181
5.5.1 定流量水系统的调节控制	181
5.5.2 一次泵变流量系统的调节控制	182
5.5.3 二次泵水系统的调节控制	184
5.5.4 热泵机组的调节控制	185
第六章 地埋管地源热泵工程实例	188
6.1 居住建筑	188
6.1.1 单体别墅	188
6.1.2 连体别墅	191

6.1.3 住宅楼建筑	196
6.2 公共建筑	198
6.2.1 地下展览厅	198
6.2.2 综合办公楼	199
附录 标准选摘	203
附录 A 《水源热泵机组》(GB/T 19409—2003)选摘:水源热泵类型及其主要 技术参数	203
附录 B 《地源热泵系统工程技术规范》(GB 50366—2005)选摘:地埋管换热 系统	208
作者简介	212

第一章 绪 论

1.1 热泵与建筑空调

随着经济的发展和人民生活水平的提高,公共建筑和住宅的供热和空调已成为普遍的需求。在发达国家中,供热和空调的能耗可占到社会总能耗的 25% ~ 30%。我国的能源结构主要依靠矿物燃料,特别是煤炭。矿物燃料燃烧时产生的大量污染物,包括大量 SO_2 、 NO_x 等有害气体以及 CO_2 等温室效应气体^[1]。大量燃烧矿物燃料所产生的环境问题已日益成为各国政府和公众关注的焦点^[2]。我国的供热已经历了一家一户的小煤炉到燃煤锅炉的转变。现在又进一步禁止在城镇建设中小型燃煤锅炉房,体现了政府对保护大气环境的高度重视。因此,除了集中供热的形式以外,急需发展其他的替代供热方式。热泵就是能有效节省能源、减少大气污染和 CO_2 排放的供热和空调新技术。

热泵(制冷机)是通过做功使热量从温度低的介质流向温度高的介质的装置^[3]。建筑的空调系统一般应满足冬季的供热和夏季制冷两种相反的要求。传统的空调系统通常需分别设置冷源(制冷机)和热源(锅炉)。建筑空调系统由于必须有冷源(制冷机),如果让它在冬季以热泵的模式运行,则可以省去锅炉和锅炉房,不但节省了初投资,而且全年仅采用电力这种清洁能源,大大减轻了供暖造成的大气污染问题。

采用热泵为建筑物供热可以大大降低一次能源的消耗。通常我们通过直接燃烧矿物燃料(煤、石油、天然气)产生热量,并通过若干个传热环节最终为建筑供热。在锅炉和供热管线没有热损失的理想情况下,一次能源利用率(即为建筑物供热的热量与燃料发热量之比)最高不会超过 100%。如果先利用燃烧燃料产生的高温热能发电,然后利用电能驱动热泵从周围环境中吸收低品位的热能,适当提高温度再向建筑供热,就可以充分利用燃料中的高品位能量,大大降低用于供热的一次能源消耗。在现有的技术条件下,热泵供热的性能系数(供热量与消耗电能之比)可达 3.5 或更高,火力发电站的效率可达 35% ~ 58% (高值为燃气联合循环电站)。因此,采用燃料发电再用热泵供热的方式,在现有先进技术条件下一次能源利用率可以达到 200% 以上。研究表明,采用热泵的供热方式与直接燃烧矿物燃料供热方式相比,可以节省燃料约 40% 以上,也就是相应减少 CO_2 的排放量。而用电阻加热设备把电能转化为热能的性能系数为 1,当然是非常不经济的。

热泵是减少 CO_2 排放量的最经济有效的技术。现在全世界约有 1.3 亿台热泵

在运行,总供热量约为每年 4.7×10^{18} J,每年减少 CO_2 排放量约为 1.3 亿吨。由于供热和空调的能耗巨大,而且正在迅速增长中,因此全面推广热泵的供热方式取代传统的锅炉房供热方式,将有可能使 CO_2 的总的排放量下降 5% 以上,环境效益显著。随着热泵技术的进一步改进和发电效率的进一步提高,采用热泵技术供热使全世界 CO_2 排放量减少 16% 是有可能的^[4]。因此,它是建筑节能和减少 CO_2 排放的关键技术之一。除了减少矿物燃料的消耗以外,由于在大型电站中集中燃烧矿物燃料发电有利于采用先进技术除去或减少燃烧产物中的粉尘、 SO_2 和 NO_x 等大气污染物,采用电动热泵供热与分散的锅炉房供热相比还可以大大减少燃煤产生的大气污染。

热泵利用的低温热源通常是环境(大气、地表水和大地)或各种废热,由热泵从这些热源吸收的热量属于可再生的能源。热泵作为一项利用可再生能源、保护环境的可持续发展技术,在欧美等许多国家的研究与应用已有数十年的历史^[5-6]。

1.2 空调热泵的分类

以建筑物的空调(包括供热和制冷)为目的的热泵系统有许多种,例如有利用建筑通风系统的热量(冷量)的热回收型热泵和应用大型建筑内部不同分区之间的水环热泵系统等^[7]。本文主要讨论利用周围环境作为空调冷热源的热泵系统。就其性质来分,国外的文献通常把它们分为空气源热泵(air source heat pump, ASHP)和地源热泵(ground-source heat pump, GSHP)两大类。地源热泵系统通常还被称为地热热泵系统(geothermal heat pump system)、地能系统(earth energy system)、地源系统(ground-source system)等,后来,由 ASHRAE 统一为标准术语即地源热泵系统(ground-source heat pump system)。地源热泵又可进一步分为地表水热泵(surface-water heat pump, SWHP)、地下水热泵(groundwater heat pump, GWHP)和地耦合热泵(ground-coupled heat pump, GCHP)^[8-11]。考虑实际应用中人们的称呼习惯,同时也为了便于理解,我国颁布的《地源热泵系统工程技术规范》(GB 50366—2005)(后文简称《规范》)中把地耦合热泵系统(closed-loop ground-coupled heat pump system)或以前国内有人所称的“土壤源”地源热泵系统定义为地埋管地源热泵系统。本书将采用《规范》定义的术语“地埋管地源热泵系统”,或在不起混淆的情况下直接称为“地源热泵”。

1.2.1 空气源热泵

空气源热泵以室外空气为一个热源。在供热工况下将室外空气作为低温热源,从室外空气中吸收热量,经热泵提高温度送入室内供暖;其性能系数(COP)一般在 2~3。空气源热泵系统简单,初投资较低。空气源(风冷)热泵目前的产品主要是家用热泵空调器、商用单元式热泵空调机组和风冷热泵冷热水机组^[12]。空气源热泵的主要缺点是在夏季高温和冬季寒冷天气时热泵的效率大大降低。此外,其所必需的

室外机或冷却塔对建筑物有一定的影响或损坏作用。空气源热泵的制热量随室外空气温度降低而减少,这与建筑热负荷需求趋势正好相反。因此当室外空气温度低于热泵工作的平衡点温度时,需要用电或其他辅助热源对空气进行加热。而且,在供热工况下空气源热泵的蒸发器上会结霜,需要定期除霜,这也消耗大量的能量。在寒冷地区和高湿度地区热泵蒸发器的结霜可成为较大的技术障碍。在夏季高温天气,由于其制冷量随室外空气温度升高而降低,同样可能导致系统不能正常工作。空气源热泵不适用于寒冷地区,在冬季气候较温和的地区,如我国长江中下游地区,已得到相当广泛的应用。

1.2.2 地源热泵

另一种热泵利用大地(土壤、地层、地下水)作为热源,可以称之为“地源热泵”。由于较深的地层中在未受干扰的情况下常年保持恒定的温度,远高于冬季的室外温度,又低于夏季的室外温度,因此地源热泵可克服空气源热泵的技术障碍,且效率大大提高。此外,冬季通过热泵把大地中的热量升高温度后对建筑供热,同时使大地中的温度降低,即蓄存了冷量,可供夏季使用;夏季通过热泵把建筑物中的热量传输给大地,对建筑物降温,同时在大地上蓄存热量以供冬季使用。这样在地源热泵系统中大地起到了蓄能器的作用,进一步提高了空调系统全年的能源利用效率。

1. 地下水源热泵

地下水源热泵系统的热源是从水井或废弃的矿井中抽取的地下水。经过换热的地下水可以排入地表水系统,但对于较大的应用项目通常要求通过回灌井把地下水回灌到原来的地下水层。水质良好的地下水可直接进入热泵换热,这样的系统称为开式环路。由于地下水温常年基本恒定,夏季比室外空气温度低,冬季比室外空气温度高,且具有较大的热容量,因此地下水热泵系统的效率比空气源热泵高,COP值一般在3~4.5,并且不存在结霜等问题。最近几年,地下水热泵系统在我国得到了迅速发展。地下水热泵系统的应用也受到许多条件的限制。首先,这种系统需要有丰富和稳定的地下水资源作为先决条件。按常规计算,10 000 m²的空调面积需要的地下水量约为120 m³/h。地下水热泵系统的经济性还与地下水层的深度有很大的关系。如果地下水位较低,不仅成井的费用增加,而且运行中水泵的耗电将大大降低系统的效率。此外,虽然理论上抽取的地下水将回灌到地下水层,但在很多地质条件下回灌的速度大大低于抽水的速度,从地下抽出来的水经过换热器后很难再被全部回灌到含水层内,造成地下水资源的流失。再者,即使能够把抽取的地下水全部回灌,怎样保证地下水层不受污染也是一个应关注的问题。国外对此要求很严格^[13]。

2. 地表水热泵

地表水热泵系统的一个热源是池塘、湖泊或河溪中的地表水。在靠近江、河、湖、海等大体量自然水体的地方,利用这些自然水体作为热泵的低温热源是值得考虑的一种空调热泵的形式。当然,这种地表水热泵系统也受到自然条件的限制。此外,由

于地表水温度受气候的影响较大,与空气源热泵类似,当环境温度越低时热泵的供热量越小,而且热泵的性能系数也会降低。一定的水体能够承担的冷热负荷与其面积、深度和温度等多种因素有关,需要根据具体情况进行计算。

一般来说,只要地表水冬季不结冰,均可作为低温热源使用。我国长江、黄河流域有丰富的地表水。用江、河、湖、海作为热泵的低品位热源,可获得较好的经济效果。在北方地区,如果自然水体的容量很大,水深较深,则冬季水体表面结冰后水底仍将保持 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的温度,也可考虑作为热泵的热源。地表水相对于室外空气来说,可算是高品位热源,它不存在结霜问题,冬季也比较稳定,除了在严寒季节外,一般不会降到 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。因此,早期的热泵中就开始用江河水、湖水等作为低品位热源。利用海水作热泵热源的实例也很多(包括以海水作为制冷机的冷却水)。如20世纪70年代初建成的悉尼歌剧院;20世纪90年代初建成的大阪南港宇宙广场区域供热、供冷工程,为 $23\ 300\ \text{kW}$ 的热泵提供热源。目前,我国大连、青岛等沿海城市也正在实施大型海水源热泵站供热项目。

从工程方面讲,对地表水的利用在取水结构和处理方面要花费一定的投资,如清除浮游垃圾及海洋生物,防止污泥进入,以免影响换热器的传热效率;同时要采用防腐的管材或换热器材料避免海水对普通金属的腐蚀。此外,河川水和海水连续取热降温(冬季供暖)或经升温后再排入(夏季制冷),对自然界生态有无影响,也是有关专家所关注的问题。

3. 地埋管地源热泵

地埋管地源热泵系统是利用地下岩土中热量的闭路循环的地源热泵系统,通常称之为“闭路地源热泵”、“地耦合地源热泵”,以区别于地下水热泵系统。本书主要讨论地埋管地源热泵系统,在不引起混淆的情况下本书中也把它直接称为“地源热泵”。它通过循环液(水或以水为主要成分的防冻液)在封闭的地下埋管中流动,实现系统与大地之间的传热。地源热泵系统在结构上的特点是有一个由地下埋管组成的地埋管换热器,或称地热换热器(geothermal heat exchanger,或ground heat exchanger)。地埋管换热器的设置形式主要有水平埋管和竖直埋管两种。水平埋管形式是在地面挖 $1\sim 2\ \text{m}$ 深的沟,每个沟中埋设2、4或6根塑料管。竖直埋管的形式是在地层中钻直径为 $0.1\sim 0.15\ \text{m}$ 的钻孔,在钻孔中设置1组(2根)或2组(4根)U型管并用灌浆材料填实(见图1.1,图1.2)。钻孔的深度通常为 $40\sim 200\ \text{m}$ 。现场可用的地表面积是选择地埋管换热器形式的决定性因素。竖直埋管的地埋管换热器可以比水平埋管节省很多土地面积,因此更适合中国地少人多的国情。

地源热泵空调系统一般由三个必需的环路组成(图1.3)。

(1) 室外环路。由高强度塑料管组成的在地下循环的封闭环路,循环介质为水或防冻液。冬季从周围土壤(地层)吸收热量,夏季向土壤(地层)释放热量,并与热泵机组之间交换热量。其循环由一台或数台低功率的循环泵来实现。

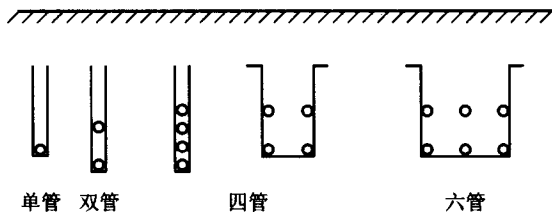


图 1.1 各种形式的水平埋管示意图

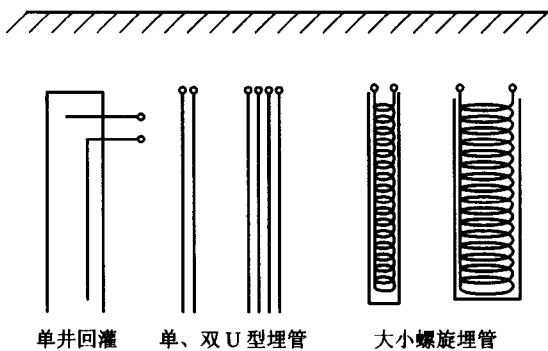


图 1.2 各种形式的竖直埋管示意图

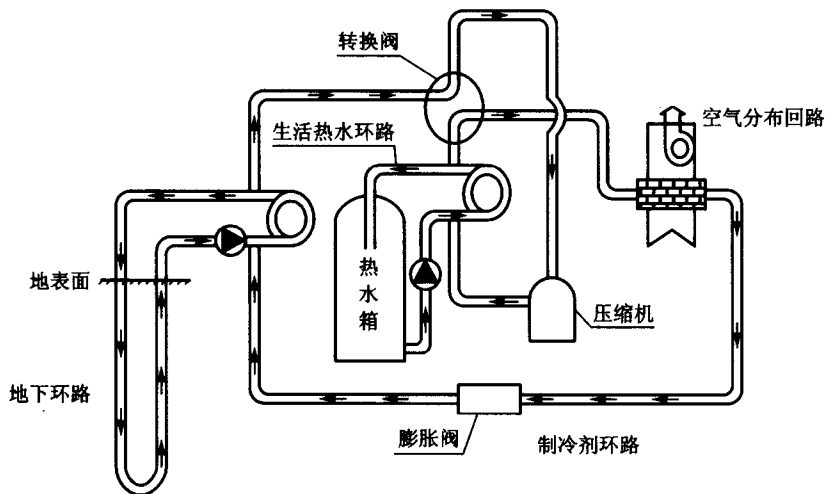


图 1.3 地源热泵流程示意图