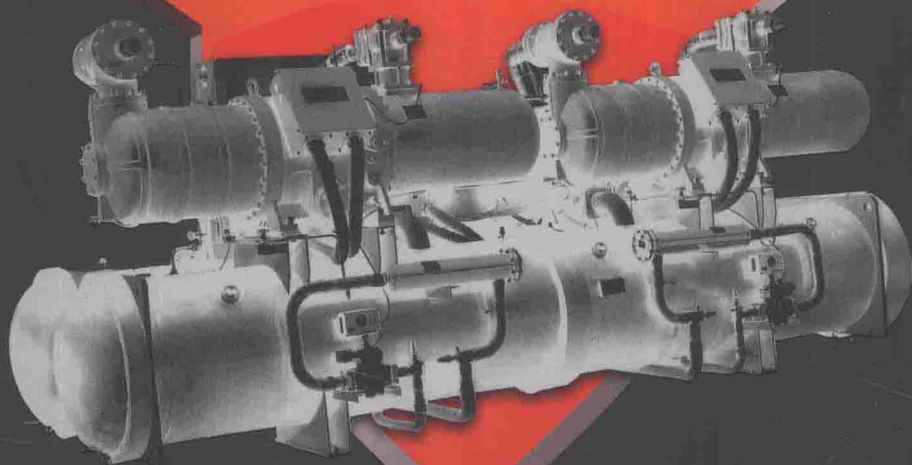


张国东 编著

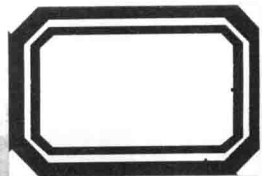
地源热泵 应用技术



DIYUAN REBENG
YINGYONG JISHU

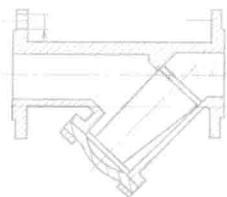
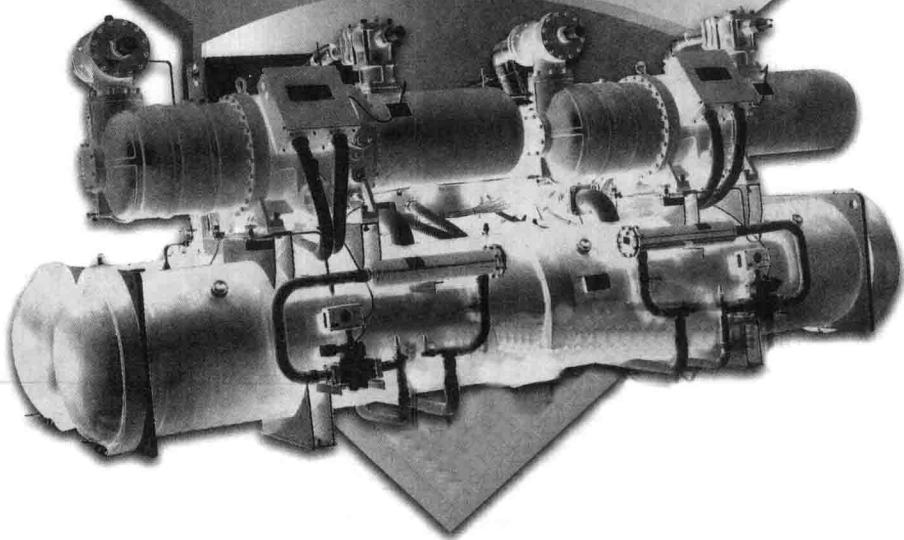


化学工业出版社

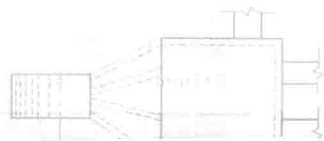


张国东 编著

地源热泵 应用技术



DIYUAN REBENG
YINGYONG JISHU



化学工业出版社

·北京

本书涵盖了地源热泵、制冷原理的基本知识，着重介绍了地源热泵（地理管式）的设计、施工、调试与验收和工程实例。本书在强化理论的基础上，更注重实践应用能力的提高。

本书可作为教育、劳动社会保障系统以及其他培训机构或社会力量办学和企业所举办的职业技能培训教学，也可作为职业技术学院的技能实训教材，还可供从事地源热泵的工作人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

地源热泵应用技术/张国东编著. —北京: 化学工业出版社, 2014. 6
ISBN 978-7-122-20436-3

I. ①地… II. ①张… III. ①热泵 IV. ①TH38

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 077200 号

责任编辑: 辛 田
责任校对: 边 涛

文字编辑: 冯国庆
装帧设计: 张 辉



出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 340 千字 2014 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

随着我国国民经济的快速发展,能源和环境问题日益严重,越来越成为公众、社会乃至政府关注的焦点,“低碳、绿色、环保”这一理念也日渐深入人心。地源热泵技术作为一种高效节能、无污染、低运行成本的既可采暖又可制冷,并可提供卫生热水的新型空调技术,近些年来在国内得到了较快的应用和发展,应用地源热泵的项目数量和建筑面积逐年增加。为了满足社会需要,提高人们对地源热泵的应用技术,依据中华人民共和国国家标准《地源热泵系统工程技术规范(2009年版)》(GB 50366—2005),我们编写了本书。

地源热泵应用技术是理论性和实践性都很强的一门专业课,在教材组织上,基本理论力求深入浅出、通俗易懂,强调实际、实用,突出能力的培养,为编写出既有行业特色,又有较宽覆盖面,适应性、实用性强的专业教材。全书共6章,内容主要包括地源热泵的基本概念与分类、制冷与空调的基础知识、地源热泵系统的设计、施工、调试与验收等,并介绍了地源热泵系统工程实例。

本书在强调实用性的前提下,充分重视内容的先进性,较好地体现了本职业当前最新的实用技术和操作技能,对于提高学生职业素质,掌握地源热泵设计、安装、调试、验收的职业能力有较大的帮助和指导作用。

本书除适用于高职、中职制冷专业作为专业教学教材外,还可用于劳动社会保障系统、社会力量办学和其他培训机构所举办的培训教学,也适用于各级、各类职业技术学校举办的中短期培训教学,以及企业内部的培训教学。

本书由张国东编著,并负责全书的统稿工作。本书在编写过程中,得到了张桂娥协助进行文字和插图的校对工作,同时还得到魏龙、戴路玲、陶洁、蒋李斌、冯飞、张蕾、金良、沈宫新等的大力帮助,在此一并表示衷心的感谢。

限于作者的水平,书中疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

目录

CONTENTS

第1章 概述

1.1 热泵技术的发展	1
1.2 热泵技术的节能原理	3
1.3 热泵的分类	4
1.3.1 空气源热泵	4
1.3.2 地源热泵	5
1.4 地源热泵的特点和发展趋势	9
1.4.1 地源热泵的特点	9
1.4.2 地源热泵的发展趋势	12

第2章 制冷与空调基础

2.1 制冷原理	14
2.1.1 单级蒸气压缩式制冷理论循环	14
2.1.2 单级蒸气压缩式制冷实际循环	18
2.1.3 热泵循环	20
2.2 空调基础	20
2.2.1 湿空气的性质	20
2.2.2 湿空气的焓湿图	24
2.2.3 湿空气的状态变化过程	26
2.2.4 空调房间送风状态的确定及送风量的确定	28
2.2.5 空调房间新风量的确定	31
2.2.6 房间空气处理方式和气流组织	33

第3章 地源热泵系统设计

3.1 空调负荷计算	37
3.1.1 室内、外设计参数的确定	37
3.1.2 夏季空调负荷计算	39
3.1.3 冬季空调负荷计算	47
3.1.4 空调负荷的工程概算方法	48
3.2 空调系统的设计	51
3.2.1 风管式空调系统设计	51
3.2.2 水管式空调系统设计	64
3.2.3 VRV 空调系统设计	77

3.2.4	地源热泵机房的设备选型	85
3.3	地源热泵埋管换热器设计	87
3.3.1	埋管换热器换热量的确定	87
3.3.2	埋管换热器的选材	87
3.3.3	埋管换热器结构与管网设计	90

第4章 地源热泵系统的施工

4.1	空调系统的安装	99
4.1.1	水管道的安装	99
4.1.2	风管道的安装	107
4.1.3	空调机器和设备的安装	114
4.2	埋管换热器的施工	126
4.2.1	施工前的准备	126
4.2.2	施工设备	128
4.2.3	埋管管道的连接	132
4.2.4	埋管换热器的安装	139

第5章 地源热泵系统的调试与验收

5.1	空调系统的调试与验收	144
5.1.1	水系统的调试	144
5.1.2	风系统的调试	148
5.1.3	机组的调试和验收	155
5.2	埋管换热器系统的试验	157
5.2.1	埋管换热系统的检验	157
5.2.2	埋管换热系统水压试验	158

第6章 地源热泵系统工程实例

6.1	居住建筑	160
6.1.1	上海某复式住宅地源热泵 (面积 212m ²)	160
6.1.2	西安某别墅地源热泵	161
6.2	公共建筑	164

附录

一、附表	169
二、附图	196

参考文献

第1章 概述

随着空调工业的发展,空调在现代建筑中扮演着越来越重要的角色。人们对空调的要求也不断提高,节能、环保、灵活成为今后共同追求的目标。近年来,随着国际经济技术合作的不断深入,地源热泵中央空调系统进入了我国,并通过在工程中的成功运用得到了空调界人士的认可,成为我国中央空调发展的趋势,体现了节能、环保、灵活、舒适的新概念。美国环境保护局已经宣布,地源热泵系统是目前可使用的对环境最友好和最有效的供热、供冷系统。

1.1 热泵技术的发展

(1) 能源形势与环境问题 现代社会的发展与经济的繁荣,与能源的发展变革息息相关。石油危机的发生和现代工业带来的一系列问题,使人们对不可再生矿物能源储量的有限性及其使用的局限性有了更深刻的认识。据美国石油业协会估计,地球上尚未开采的原油储藏量已不足2万亿桶,可供人类开采时间不超过90年,在2050年到来之前,世界经济的发展将越来越多地依赖煤炭,其后在2250年左右,煤炭也将消耗殆尽,矿物燃料供应枯竭,在21世纪不论是发达国家还是发展中国家,最终都面临空前的能源危机。据能源机构估计,到2050年我国能源需求量将为50亿吨标煤,目前开采水平为30亿吨标煤,水力、风力等发电开发量为5亿吨标煤,届时将有15亿吨标煤缺口量,该量只能靠进一步开发核能太阳能及其他可再生能源填补,因而中国的能源问题将面临十分严峻的挑战。

能耗的问题体现在多种行业中,而建筑能耗占了整个社会总能耗的较大比例。在发达国家,建筑能耗占社会能源总消耗的40%以上,在西欧,这个比率甚至达到了52%,为此欧盟在2002年欧洲议会和欧盟理事会上通过了关于建筑能耗的法律性文件,要求计算建筑物的整体能耗;为新建建筑和既有建筑颁发能效证书;并定期对建筑中的锅炉和空调系统进行检查及能耗评估,通过制定法律提高能源利用率,降低建筑能耗。

建筑相关能耗已成为我国三大能耗大户之一,随着我国经济的发展,建筑能耗占社会总能耗的比例逐渐在提高,目前我国城镇建筑消耗(采暖、空调、照明、炊事、办公等伴随建筑运行使用的能耗)的能源占全国商品能源的23%~26%,这还不包括建筑材料制造用能及建筑施工过程耗能。随着我国城市化进程的加速、建筑总量的不断攀升和居住舒适度的提升,建筑能耗呈急剧上扬趋势,而由于建筑能耗主要集中在暖通空调能耗,据预测2020年我国暖通空调能耗量将达10亿吨标煤,预计最终会接近发达国家的水平,节能降耗的形势

非常严峻。而在建筑能耗中则又以建筑采暖和空调能耗为主，因此，建筑节能的首要问题之一就是解决暖通空调领域的能耗问题。

随着全球规模的环境问题日趋严重，传统的“大量生产、大量流通、大量消费、大量废弃”的生产消费模式，已越来越不能被人们所接受。由于我国的能源结构仍以煤为主，煤的消耗占一次能源消耗的 69% 左右，我国煤燃烧所排放的 SO_2 占到全国总排放量的 85% 以上， CO_2 占到 85%， NO_x 占到 60%，粉尘占到 70%，燃煤排放 SO_2 引起的酸雨污染已扩展至全国整个面积的 35%，造成的经济损失占国民生产总值的 2%；另外全球 CO_2 等温室气体的排放给人类带来重大损失，全球温暖化的经济成本是全球经济总产值（GWP）的 10%~20%，建筑耗能是大气污染的主要因素之一，其中暖通空调在全国温室气体排放中的贡献率为 15% 以上，因而暖通空调的能源消耗给环境带来了巨大压力。

解决暖通空调领域的能耗问题是多方面技术集成的结果，首先要考虑从空调负荷的来源着手，解决建筑围护结构本身所造成的空调负荷增加，即建筑节能，同时需考虑高效节能空调新技术在建筑设备系统中的应用。从 20 世纪末到 21 世纪的初期，传统空调技术主要注重各种空调机组设备效率的提高，这只能一定限度地部分降低暖通空调的能耗，更重要的是有必要从全局的角度对整个空调系统进行研究，降低空调领域过高的能耗。因此作为空调冷热源中能源转换效率最高的热泵应用技术，正受到人们的日益重视和关注。目前人们公认采用热泵技术是解决空调系统的能源与环境问题的一项有效措施，发展和应用热泵空调系统已成为暖通空调可持续发展的基本出发点之一。

从热力学角度来看，建筑物供暖空调只需要低品位热能，而燃煤、燃气、燃油、用电等是高品位的一次能源消耗，根据热力学第二定律，开发利用低位冷热源供暖空调，改变“以热源消耗高位能源，向建筑物室内提供低温热量，向环境排放废热”的不合理能源消耗模式，将暖通空调纳入到自然生态循环之中，符合生态建筑的发展趋势，符合中共十七大提出的“建设生态文明，基本形成节约能源资源和保护生态环境的产业结构、增长方式、消费模式的目标”主张。

(2) 热泵的起源及发展 热泵技术的理论基础起源于 1824 年卡诺发表的关于卡诺循环的论文。30 年后开尔文提出“冷冻装置可以用以加热”。1852 年威廉·汤姆逊发表论文，提出用空气作为工质的热泵技术。到 1927 年英格兰一台用空气作热源的家用水泵安装成功。日本是在 1937 年开始采用透平式压缩机，以泉水作为低温热源为建筑物进行空气调节。1938 年第一台较大的热泵装置在苏黎世投入运行。这台热泵装置以河水作为热源，装有一台回转式压缩机，工质是 R12，用来向市政厅供热，其输出功率为 175kW，输出水温为 60℃，而且此热泵装置夏季也能制冷。此后在欧洲的瑞士和英国，热泵的数量已经很可观了。

20 世纪 70 年代初期，人们广泛地认识到矿物燃料在地球上是有有限的，1973 年“能源危机”的出现更加深了人们对地球能源有限性的认识。而热泵以其回收地下岩土、空气、水等物质中的低温热源的热量、节约能源、保护环境的特点得到了广泛的应用。

20 世纪 70 年代以来，欧洲各国和苏联、日本、美国、澳大利亚等国家对热泵研究工作十分重视。苏联、英国、法国、联邦德国、丹麦、瑞典、挪威等国家都参加了世界能源组织 1976 年成立的“国际热泵委员会”。

目前，世界各国对热泵技术应用的兴趣越来越浓，欧洲、日本、北美的制造厂商都为工业、商业、民用建筑提供了大量热泵。诸如国际能源机构和欧洲共同体都制定了大型热泵发展计划，并且不少现有热泵技术和新技术试验，在新领域中的推广应用工作也正在及规划当中。而热泵的用途也在不断开拓，不仅仅用于采暖空调系统上，而且在工、农、商业上

也得到广泛的应用。热泵工业正在迅速成长，它将在节约能源方面起到重大的作用。

1.2 热泵技术的节能原理

(1) 热泵工作原理 热泵技术是近年来在全世界备受关注的新能源技术。人们所熟悉的“泵”是一种可以提高位能的机械设备，比如水泵主要是将水从低位抽到高位。而“热泵”是一种能从自然界的空气、水或土壤中获取低品位热能，经过电力做功，提供可被人们所用的高品位热能的装置。

如图 1-1 所示为蒸汽压缩式热泵系统，主要由压缩机、蒸发器、冷凝器和膨胀阀组成，其中压缩机起着压缩和输送循环工质的作用，使工质从低温、低压处到高温、高压处，是热泵系统的核心；蒸发器是输出冷量的设备，它的作用是使经膨胀阀流入的制冷剂液体气化，以吸收被冷却对象的热量，达到制冷的目的；冷凝器是输出热量的设备，从蒸发器中吸收的热量连同压缩机消耗功所转化的热量在冷凝器中被冷却介质带走，达到制热的目的；膨胀阀或节流阀对循环工质起到节流和降压作用，并调节进入蒸发器的循环工质流量。

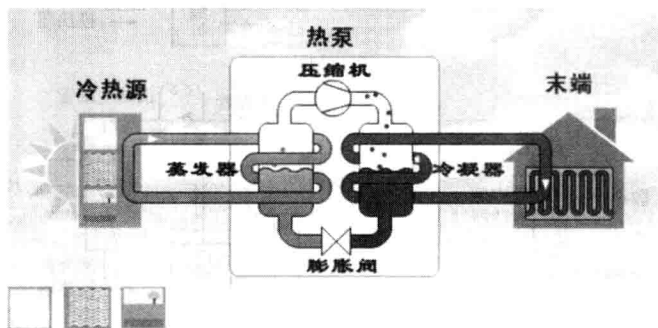


图 1-1 蒸汽压缩式热泵系统

(2) 热泵节能原理 根据热力学第二定律，使热量由低温位向高温位的转移，必须要消耗一定的热量作为补偿条件，才能使循环工作不断地从低温环境中吸热，并向高温环境放热，周而往复地进行循环，即向高温位放出的热量应等于从低温位吸收的热量加上压缩机所消耗的能量。

热泵的经济性用制热系数 COP 表示：

$$\text{COP} = \frac{Q_k}{P} = P + Q_0 / P = 1 + \epsilon \quad (1-1)$$

式中 Q_k ——热泵循环向高温热源释放的热量；

P ——热泵循环的输入功率；

Q_0 ——热泵循环从低温热源吸收的热量；

ϵ ——制冷循环的制冷系数。

式 (1-1) 给出了同一台机器在相同工况下起热泵作用时的制热系数 COP 与起制冷作用时的制冷系数 ϵ 之间的关系。式 (1-1) 表明，COP 恒大于 1。同时可以看出，同样消耗一单位能量时，热泵循环获得的能量 Q_k 比制冷循环所获得的能量 Q_0 多了 P ，比单纯消耗电能的供暖系统所获得的能量多了 Q_0 。所以，热泵的效力学经济性能比制冷系统以及消耗电能或燃料直接供暖的系统都要好，具有显著的节能效益。

下面就以家用空调为例说明热泵的工作过程。如图 1-2 所示家用热泵空调循环的示意图。通过在单冷空调中增加一个电磁四通换向阀来改变制冷系统中制冷剂的流动方向，就可

以实现热泵空调的夏季供冷和冬季供暖的功能。图中系统有两个换热器，一个置于室内，一个置于室外。夏天制冷时，机组接通电源后，制冷压缩机开始工作，从室内侧换热器(蒸发器)吸入低温、低压制冷剂蒸气，经压缩成为高温、高压的气体，进入室外侧换热器(冷凝器)中冷凝成液体，经节流，压力、温度降低的制冷剂进入室内侧换热器中气化，吸收室内热量，再通过吸气管进入制冷压缩机，从而实现制冷循环。冬天制热，即热泵运行时，四通换向阀工作，改变了系统中的连接管路。机组接通电源后，制冷压缩机将从室外侧换热器(蒸发器)吸入低温、低压的制冷剂蒸气，经压缩成高温、高压的气体，进入室内侧换热器(冷凝器)中冷凝成液体，同时向室内放出热量。经节流，压力、温度降低的制冷剂进入室外侧换热器中气化，吸收室外空气中的热量，再通过吸气管进入压缩机，从而实现制热循环。

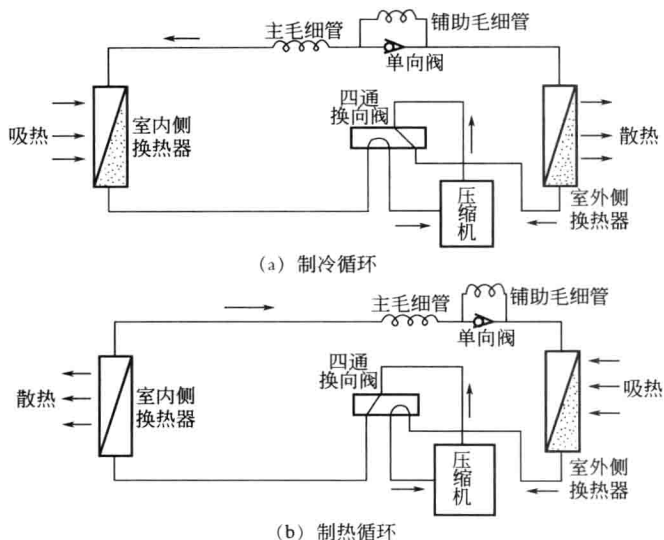


图 1-2 家用热泵空调循环的示意图

1.3 热泵的分类

热泵是一种将低温热源的热能转移到高温热源的装置。按热泵驱动功的形式可分为蒸气压缩式热泵、吸收式热泵、蒸气喷射式热泵，常见的是蒸气压缩式热泵；根据蒸气压缩式热泵所吸收的可再生低位热源的种类，热泵可分为空气源热泵、地源热泵、太阳能热泵等多种。

1.3.1 空气源热泵

空气源热泵系统是以空气作为低温热源。分体式热泵空调机(图 1-2)、VRV 热泵空调系统、大型风冷热泵机组等，均属于空气源热泵。

这种空气源热泵的安装和使用都非常方便，虽然被人们广泛应用了很多年，但目前仍存在一些缺点。由于空气的状态参数随地区和季节的不同而不同，这对空气源热泵的容量和制热性能系数影响很大，空气温度偏高或偏低时，热泵的制冷性能系数就会变得很低。尤其在冬季，当空气温度很低时，这时需求的供热量就很大，势必造成热泵供热量与建筑物耗热量之间的供需矛盾。

冬季空气温度很低时，空调换热器中的工质蒸发温度也很低。当空调换热器表面温度低

于 0°C ，并且低于空气露点温度时，空气中的水分在换热器表面就会凝结成霜，导致蒸发器的吸热量减少，热泵不能正常供热。

空气源热泵的除霜需要一定的能耗。要保证空调换热器能获得足够的热量，就需要较大容量的风机供风，这样就增大了空气源热泵装置的噪声。

空气源热泵在我国典型的应用范围是长江流域以南地区。而在北方地区，冬季平均气温低于 0°C ，空气源热泵不仅运行条件恶劣，稳定性差，而且存在结霜问题，效率较低，因此空气源热泵用于北方地区时，必须慎重考虑。

热泵装置的设计不仅要考虑防止空调换热器的结霜，还要选择良好的除霜方式。其一般的除霜方法有：

① 把压缩机的部分高温热气经旁通管直接送入蒸发器进行除霜；

② 利用四通阀，将热泵由供热工况运行变为制冷工况运行（图 1-2），这种方法除霜快，但要消耗大量能量；

③ 在空调换热器内镶入电加热器，用电加热除霜。

不同地区和不同品牌的空气源热泵机组除霜采用的方法不同，空气源热泵系统防霜和除霜的能耗估计占热泵总能耗的 10%，但是霜层的形成造成换热器运行性能下降是无法确定的。随着空气温度的下降，热泵的效率降低，有些热泵虽然可在 $-15\sim-20^{\circ}\text{C}$ 仍可运行，但此时的制冷系数将降得很低。

空气源热泵系统在使用时还应注意以下三个方面：

① 经济合理地选择平衡点；

② 热泵系统应配备一个合理的辅助加热装置；

③ 热泵系统的自动能量调解。

目前，由于对空气源热泵存在的固有问题还没有找到有效的解决办法，所以空气、土壤、太阳能的综合利用是一种发展趋势。

1.3.2 地源热泵

地源热泵系统是以岩土体、地下水或地表水为低温热源，由水源热泵机组、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下水地源热泵系统、地表水地源热泵系统和地理管地源热泵系统。地源热泵系统一般均由以下四个主要部分组成：室外地能换热系统（包括土壤、地表水和地下水的换热）、循环系统（主要以水和空气为循环介质）、地源热泵机组系统和建筑物采暖、空调系统。地源热泵系统的组成如图 1-3 所示。

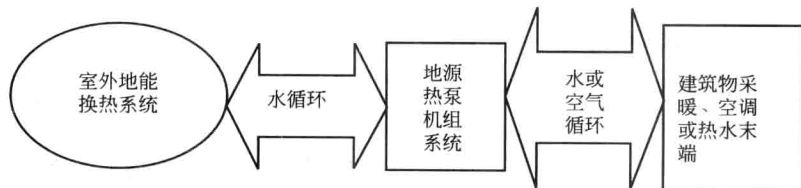


图 1-3 地源热泵系统的组成

1.3.2.1 地下水地源热泵系统

如图 1-4 所示，地下水地源热泵系统也就是通常所说的深井回灌式水源热泵系统。通过建造抽水井群将地下水抽出，通过二次换热或直接送至水源热泵机组，经提取热量或释放热量后，由回灌井群灌回地下。地下水水源热泵中央空调系统是目前应用最普遍的一种形式，与地下埋管的

“闭式”地源热泵相比，由于其造价低、容量大、水的温度稳定，所以市场占有率高。

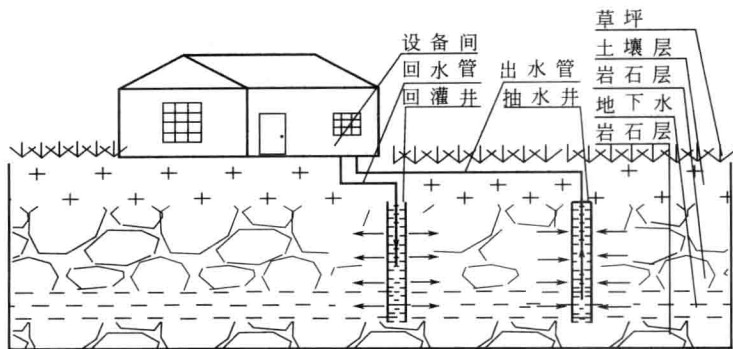


图 1-4 地下水地源热泵系统图

目前大多数地下水地源热泵工程的地下水系统非常简单，一般采用直流系统，即地下水直接送入热泵机组，换热后向回灌井或地表排放。地下含水层是天然的地下水库，但在无充足天然补给的条件下，地下水并不是“取之不尽，用之不竭”的自然资源。大量集中采集地下水，使得地下水储量日趋枯竭，已造成抽水井水位逐渐下降，最后将难于抽水。而地下水是一种优质的淡水资源，是国家的一种战略物资，大规模地使用地下含水层，一旦出现地质环境问题，后果将是无法弥补的。地质环境的问题主要表现在以下两个方面。

(1) 地面沉降 地下水的过度抽取会引起地面沉降，后果是对地面的建筑物产生直接的破坏作用。如果实行 100% 的回灌到原水层，使总体上保持地下水供给平衡，局部地下水的变化就不至于引起地面沉降。

(2) 地下水水质污染 由于地下水水源热泵并不是密闭的循环系统，回灌过程中的回场、水回路中产生的负压和沉砂池，都避免不了空气和地下水的接触，导致地下水氧化。地下水氧化会产生一系列的水文地质问题，如地质化学变化、生物变化等。采用井口换热器，尽量减少地下水与空气的接触，并对回路中所用器材做防腐处理，这样可以减轻空气对地下水的污染程度。回灌水的环保处理不仅不会污染地下水，而且还能缓解地下水的污染，改善地下水水质。

随着地下水资源的日益减少，这类现象已经引起一些专家和政府有关部门的重视，并要求对地下水实行全部回灌。有部分工程项目声称解决了地下水回灌问题或称回灌率达到 100%，但对回灌当地的地质条件如何、采取何种回灌方式、回灌的质量如何等，则避而不谈，因而国内的一些专家和政府管理部门对这项技术持慎重态度是可以理解的。所以，地下水地源热泵技术的推广应用有待地质水文科技的进步。

1.3.2.2 地表水地源热泵系统

如图 1-5 所示，地表水地源热泵系统通过直接抽取（开式系统）或者间接换热的方式，利用包括江水、河水、湖水、水库水以及海水作为热泵的冷热源，归属于水源热泵方式。在靠近江、河、湖、海等大量自然水体的地方，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型式。

当然，这种地表水地源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，但热泵的性能系数也会降低。与地下水水源热泵比较，运行工况要恶劣得多，一年内温度变化大，夏季水温高达 25℃ 以上，冬季低到 5℃ 以下，北方内陆湖的冰下水温仅在 2℃ 左右。而且一定的地表水体能够承担的冷热负荷与其面积、深度和温度等多种因数有关，需要根据具体情况进行计算。

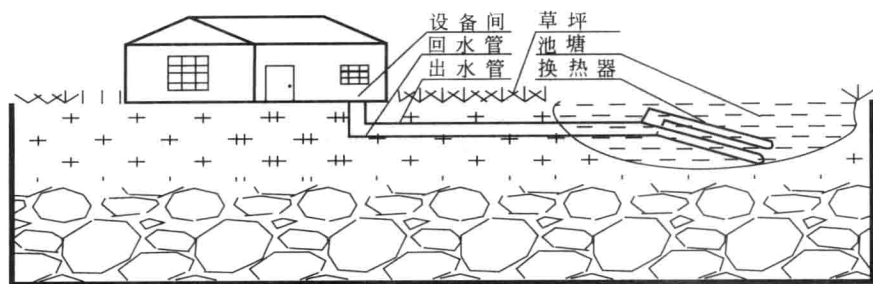


图 1-5 地表水地源热泵系统图

另一方面，地表水热泵的换热对水体中生态环境有一定的影响，特别是地表水源热泵的开式系统，使用不当会造成环境污染和地表水资源枯竭，而且直接抽取换热方式对热泵机组还有腐蚀和堵塞等现象，因此系统应当谨慎采用。

1.3.2.3 埋管地源热泵系统

埋管地源热泵系统是传热介质通过垂直或水平埋管换热器与岩土体进行热交换的地热能交换系统，又称土壤热交换系统。埋管热泵系统解决了地下水源热泵系统的地下水回灌问题（因为本身并不抽取地下水资源），避免了地下水资源对热泵机组使用的影响和地下水被污染的可能性，占地空间小，并且系统的安装和使用不会改变建筑的外观和结构。埋管地源热泵系统是通过导热介质溶液在埋入地下的循环系统中流动，实现与大地之间的热交换的。

如图 1-6 所示，埋管地源热泵系统是一个密闭的闭路循环系统，它保持了地下水水源热泵利用大地作为冷热源的优点，同时又不需要抽取地下水作为传热的介质。从根本上解决了地下水水源热泵的种种弊端，是一种真正可持续发展的建筑节能的新技术，而且还具有适用范围广、运行费用低、节能和环保效益显著等优点。

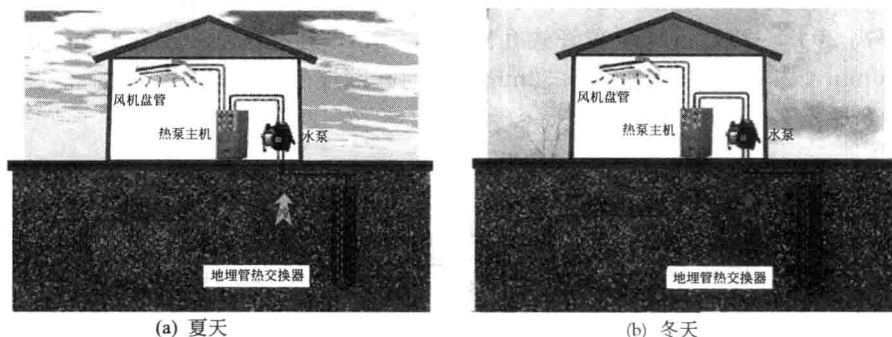


图 1-6 埋管地源热泵系统示意图

埋管地源热泵系统中的换热器按埋管方式可分为水平式埋管换热器、垂直 U 形埋管换热器、垂直套管式埋管换热器、热井式埋管换热器、直接膨胀式埋管换热器等。

(1) 水平式埋管换热器 如图 1-7 所示，水平埋管普遍使用在单相运行状态的空调系统中，一般的设计埋管深度在 2~4m 之间，在只用于采暖时，土壤在整个冬天处于放热状态，埋管沟的深度一定要深，管间距要大。水平埋管因占地面积大、受气候影响大等缺点，目前应用较少。

(2) 垂直 U 形埋管换热器 如图 1-8 所示，垂直 U 形埋管换热器是通过钻孔将 U 形

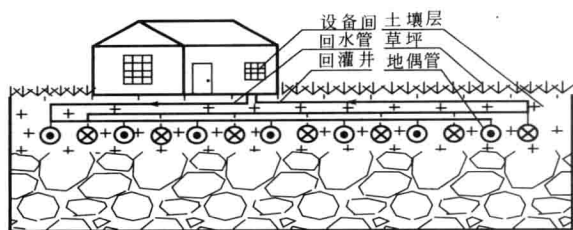


图 1-7 水平式地埋管换热器埋管方式

管深埋在地下，因此与水平土壤换热器的比较具有用地面积小、运行稳定、效率高等优点，已成为工程应用中的主导形式。

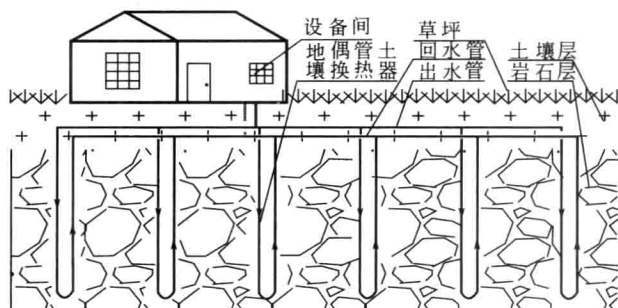


图 1-8 垂直 U 形地埋管换热器埋管方式

(3) 垂直套管式地埋管换热器 换热器有内套管和外套管的闭路循环系统。循环时，水沿内套管从上至下地流入，从外套管的底部经内套管上流到顶部出套管。套管式土壤换热器适合在地下岩石深度较浅、钻深孔困难的地表层使用。通过竖埋单管试验，套管式换热器较 U 形管效率高 20%~25%。竖埋套管式孔距为 3~5m，孔径为 150~200mm，外套管直径为 $\phi 63\sim 120\text{mm}$ ，内套管直径为 $\phi 25\sim 32\text{mm}$ 。目前在欧洲的瑞典采用较多的套管式土壤换热器，如图 1-9 所示。

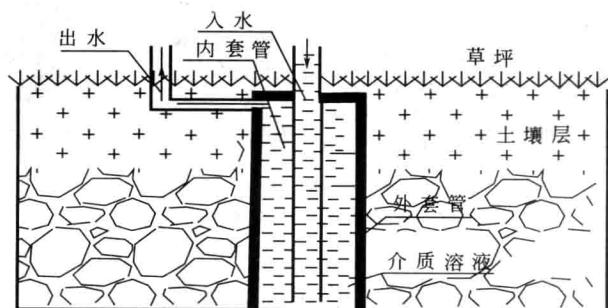


图 1-9 垂直套管式地埋管换热器埋管方式

(4) 热井式地埋管换热器 热井式地埋管换热器是套管式换热器的改进，在地下为硬质岩石地质，可采用这种换热器，如图 1-10 所示。

在安装时，地表渗水层以上用直径和孔径一致的钢管做护井套，护套管与岩石层紧密连接，防止地下水的渗入；渗水层以下为自然空洞，不加任何固井措施，热井中安装一个内管

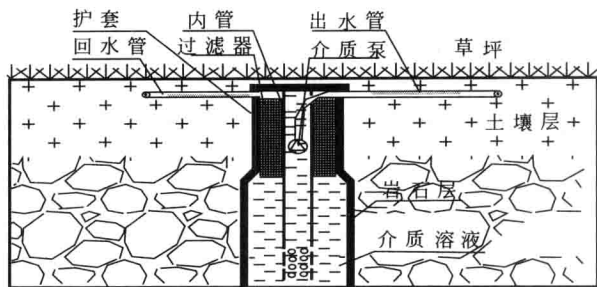


图 1-10 热井式地埋管换热器埋管方式

到井底。内管的下部四周钻孔，其中上部分通过钢套直接与土壤换热，下部分循环水直接接触岩石进行热交换。换热后的流体在井的下部通过内管下部的小孔进入内管，再由内管中的抽水泵汲取水作为热泵机组的冷热源，此系统为全封闭系统。

上面讲的 4 种埋管换热系统，都是通过中间介质作为载体，使中间介质在埋于土壤内部的封闭环路中循环流动，从而实现与大地土壤进行热交换的目的，其热泵系统流程示意图如图 1-11 所示。

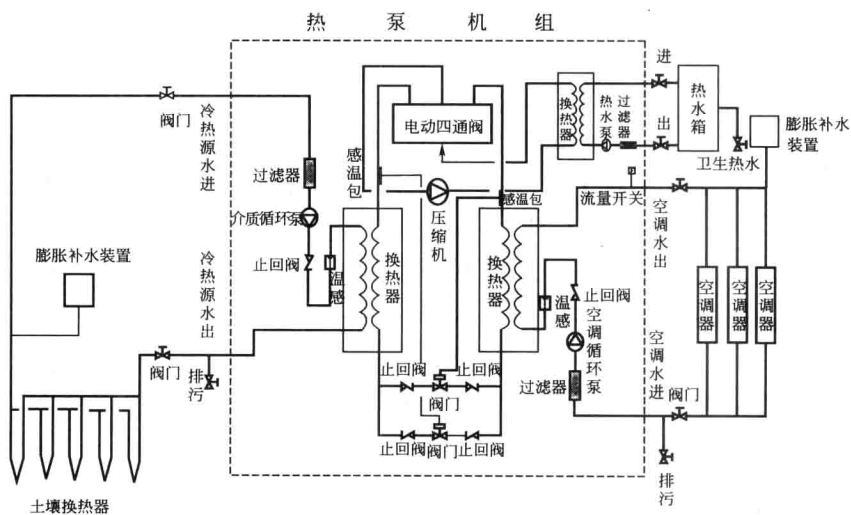


图 1-11 间接式热泵系统流程示意图

(5) 直接膨胀式地埋管换热器 直接膨胀式地埋管系统冷、热源不采用载冷剂来传递热量，而是将热泵机组的一个换热器（蒸发器、冷凝器）埋入地下土壤中，制冷剂通过此换热器直接换热，如图 1-12 所示。其热泵系统流程示意图如图 1-13 所示。

1.4 地源热泵的特点和发展趋势

1.4.1 地源热泵的特点

地源热泵具有以下优点。

(1) 属于可再生能源利用技术 地源热泵是利用地球表面浅层地热资源（通常小于 400m 深）作为冷热源，进行能量转换的供暖空调系统。地表浅层地热资源可以称为地

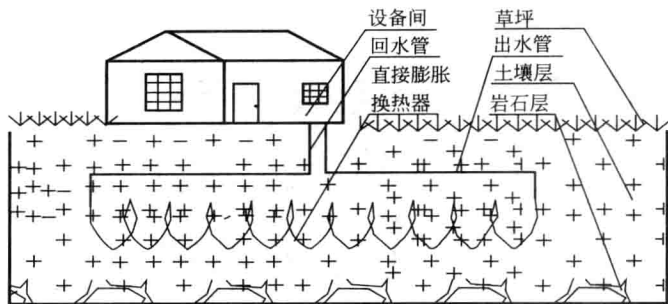


图 1-12 直接膨胀式地理管换热器埋管方式

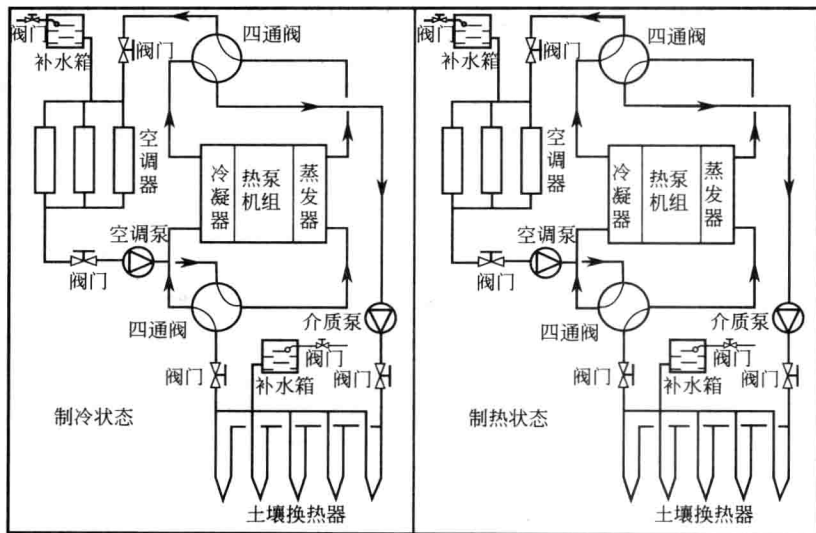


图 1-13 直接式热泵系统流程示意图

能，是指地表土壤、地下水或河流、湖泊中吸收太阳能、地热能而蕴藏的低温位热能。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，比人类每年利用能量总和的 500 倍还多。它不受地域、资源等限制，真正是量大面广、无处不在。这种储存于地表浅层近乎无限的可再生能源，使得地能也成为清洁的可再生能源的一种形式。

(2) 高效节能，运行费低 地能或地表浅层地热资源的温度一年四季相对稳定，冬季比环境空气温度高，夏季比环境空气温度低，是很好的热泵热源和空调冷源，这种温度特性使得地源热泵比传统空调系统运行效率要高 40%，因此要节能和节省运行费用 40% 左右。另外，地能温度较恒定的特性，使得热泵机组运行更可靠、稳定，也保证了系统的高效性和经济性。

据美国环保署 EPA 估计，设计安装良好的地源热泵，平均来说可以节约用户 30%~40% 的供热制冷空调的运行费用。

(3) 环境效益显著 地源热泵的污染物排放，与空气源热泵相比，相当于减少 40% 以上，与电供暖相比，相当于减少 70% 以上，如果结合其他节能措施节能减排会更明显。虽然也采用制冷剂，但比常规空调装置减少 25% 的充灌量。该装置的运行没有任何污染，可以建造在居民区内，没有燃烧，没有排烟，也没有废弃物，不需要堆放燃料废物的场地，且不用远距离输送热量。

(4) 一机多用,应用范围广 地源热泵系统可供暖、制冷,还可供生活热水,一机多用,一套系统可以替换原来的锅炉加空调的两套装置或系统。特别是对于同时有供热和供冷要求的建筑物,地源热泵有着明显的优点。不仅节省大量能源,而且用一套设备可以同时满足供热和供冷的要求,减少了设备的初投资。可应用于宾馆、商场、办公楼、学校等建筑,小型的地源热泵更适合于别墅住宅的采暖、空调。

(5) 自动运行 地源热泵机组由于工况稳定,所以机组运行简单可靠,维护费用低;自动控制程度高,使用寿命长,可达到15年以上。地源热泵和传统中央空调机组比较,见表1-1。

表 1-1 地源热泵和传统中央空调机组比较

比较项目	地源热泵系统	传统中央空调
占用空间	小型热泵机组安装在吊顶内,大型热泵机组安装于小机房内。没有冷水机组,不需大型冷冻机房,只需提供冷却塔、水泵放置场所,为建筑节能可用面积	除冷却塔、锅炉及水泵外,需大型冷冻机房放置冷水机组,风机盘管/空气处理机安装在吊顶内
系统安装	系统水管不需保温,安装简易经济;各热泵机组只需一般空调技师检查安装正确,便可开机,完成较快;水源热泵机组工期较短	系统水管需绝热材料保温,增加额外投资;冷水主机需专业工人安装调试,安装期较长;冷水主机供货期较长
系统控制	每台机组均有智能接口,易于进行智能化控制(如时控、遥控等);每台热泵机组可于任何时间选择供冷或供热。温度控制舒适	也能进行智能化控制,但主机和末端控制点多,系统复杂,工程量大;四管道风机盘管在冷水和热水同时供应下,方可选择供冷或供热
维修保养	各热泵机组采用密封式压缩机,不用保养,只需普通技工进行清洗过滤网工作即可。当热泵机组产生故障时,只需将备用热泵机组进行更换,需时很短,不影响其他机组运行,损失轻微	风机盘管需进行清洗过滤网工作,直燃式机组需要极高的密封性,而且溴化锂溶液具有很强的腐蚀性,所以机组部件较易被腐蚀,机器寿命不能保证,当机组产生故障时,整个系统停止运行,影响较大,损失较大
分户计量	可依每台热泵机组独立计算耗能。用户根据使用空调时间的长短来交纳运行费用	难以独立计算耗能。无论用户用否或用多少,费用一样支付
分期投资	有必要时,可分期投资购买设备,只需先安装水循环系统,个别机组可视需要量递增	不可分期投资。需先投资冷水主机和供热锅炉,一次性投资费用较大
节能性	以电为动力,夏季向土壤中排放热量,冬季从土壤中汲取热量,不需另设排热设备及燃烧能源获得热量;各机组可独立启停,仅有部分房间需要空调时才启动,不会浪费能源;在过渡季节根据不同需要,各机组独立供热或供冷,能量交替转移利用,不需启动冷热源;有明显内外区的项目,冬季可转移利用内区余热给外区供热;年运行费用比传统中央空调系统节能40%以上	燃烧天然气/城市煤气/油的同时消耗少量的电,同一系统(楼宇)内,要同时满足供暖和制冷的不同要求,必须做成造价昂贵的四管制系统;制冷季节,当只有部分空调使用时,大功率的主机仍需启动,浪费大量能源;在有明显内外区的项目,冬季锅炉给外区供热,同时内区用冷却塔排热,浪费能源
环保性	没有锅炉及冷却塔,不会向大气中排放任何气体,不会污染空气	热源常采用锅炉,燃烧产物污染空气,必须配套处理设施
其他	旧楼翻新安装空调,既可避免损坏楼宇原有结构,又可分层安装及使用空调	无法避免损坏原有结构,且难找到适用机房,一般需全楼停业以进行安装工程,经济损失较大
地源热泵以电为动力,电力为国家重点、高速发展的能源,电价下降为必然性趋势;利用地热能,属于可再生能源,符合国家可持续发展的方向,是节能环保型空调系统,各地纷纷出台各项法规以支持发展地源热泵		

当然,像任何事物一样,地源热泵也不是十全十美的,其应用也会受到制约。