

节能减排与可再生能源丛书

热泵技术



及其理论基础

喜文华 骆进 编著

REBENG JISHU JIQI LILUN JICHU

 科学出版社

节能减排与可再生能源丛书

热泵技术及其理论基础

喜文华 骆进 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要阐述热泵系统运行原理、结构形式及其基础理论。内容包括热泵系统（空气源热泵、地理管地源热泵、地表水源、地下水源热泵、多热源热泵系统以及污水源热泵系统等）的概念、应用与原理。本书力求将热泵技术的系统性与实用性相结合，着意反应热泵技术的最新理论和最新研究成果；应用理论联系实际、定性与定量相结合的阐述方法，简介了热泵技术的历史发展概况，这更利于读者深入地理解和掌握热泵技术的原理，了解热泵技术发展方向，从而，可在前人研究的基础上有所突破，有所创新。这种从历史发展角度来研究热泵技术的方法对读者也是十分有利的。

本书适合于从事研究、设计、施工运行及维护热泵系统的科技人员参考使用，也适合于大专院校相关专业师生翻阅参考和自学之用，还可用作培训技术人员的教材。

图书在版编目(CIP)数据

热泵技术及其理论基础 / 喜文华, 骆进编著. —北京: 科学出版社, 2015.3

(节能减排与可再生能源丛书)

ISBN 978-7-03-043823-2

I. ①热… II. ①喜… ②骆… III. ①热泵—基本知识
IV. ①TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 053843 号

责任编辑: 莫永国 / 封面设计: 墨创文化

责任校对: 李 娟 / 责任印制: 余少力

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年4月第一版 开本: 787×1092 1/16

2015年4月第一次印刷 印张: 19

字数: 470千字

定价: 69.00元



德性之知

——“节能减排与可再生能源丛书”代序

2009年12月，世界气候大会在丹麦哥本哈根举行，这标志着在全球政治层面上，人类所面临的环境问题已经被提到了一个刻不容缓的议事日程。

近代以来，人类历史的核心内容，就是人与自然的角逐，也就是如何确立相对于自然的人类中心主义观念。三百年的工业化发展使得人类对自然界无节制地过度开发，一系列全球性生态危机已经说明地球承受或支持工业高速发展的能力已逐步受到制约和挑战。

马克思早在160多年前就指出，自然界是人的无机的身体，保护这个无机的身体就是在保护我们自己。生态文明是人类文明的一种形态，它以尊重和维护自然为前提，以人与人、人与自然、人与社会和谐共生为宗旨。它是对工业文明进行深刻反思的结果。在地球上，只有人才具有客观地(至少在某种程度上)评价非人类存在物的能力，人的这种能力既是一种殊荣，也是一种责任，既是赞天地之化育，也是超越一己之得失。

张载在《正蒙》中提出了“德性之知”，认为拥有“德性之知”就能使人“体天下之物”。人们在环境与生态问题上，在经济与社会发展问题上，在萦绕生活的方方面面要形成“德性之知”，即对人存在的意义和价值有更理性、更长远的认识和理解，才能以“知”之成熟来贯彻“行”之健康。

自1978年从事太阳能等新能源与可再生能源工作以来，我一直在国内外四处奔波。身之所及，目之所触，让我深深地感到全球，特别是发展中国家既要发展经济，更亟待普及节能减排与可再生能源知识；同时必须提高全民的生态环境保护意识和可持续发展的理念。

“节能减排与可再生能源丛书”缘于2009年10月的“第六届中国西部国际太阳能—风能论坛”，由国内著名高校和科研院所多年从事新能源、低碳经济研究的著名教授、研究员、高级工程师等，组成强大的写作队伍。经过近三年的积极准备和策划，丛书的第一批书即将付梓。丛书分为节能减排技术及其应用、可再生能源的基础理论与技术、低碳社会建设与绿色循环经济发展模式三大内容，兼顾专业性与科普性，反映了当今国内在新能源、节能减排、绿色与低碳经济领域内的最新研究成果和技术。本丛书非常适合相关专业研究人员、机关公务员、企事业单位工作人员阅读参考，也可用作为大专院校相关专业的教材。

愿这套丛书能够促进人们建立起科学、朴素、节能、环保、绿色、低碳的生活方式与发展意识和理念，更加关注我们的生存环境；同时对大力发展新能源和可再生能源、加快推进能源科技进步和能源多元清洁发展，培育战略性新兴产业，保护生态环境，应对气候变化，实现可持续发展，并为“十二五”末，实现非化石能源消耗占一次能源消

费比重达到 11.4%，非化石能源发电装机比重达到 30% 的目标做出积极的贡献。

在丛书策划筹备期间，科学出版社的领导杨岭和莫永国等编辑及骆进、吴耀琪、张凯山、李智、魏一康、冷跃进、姚蔚平、马重芳、刘锦超、李世民、李建明、柴娟、刘孝敏、田凌等专家和同仁做了积极的贡献，在此深致谢意！

由于丛书涉及学科领域多、知识面广，尽管编著者精心编写、力求完善，但由于水平所限，在诸多问题的研究和认识上尚待提高，难免有遗漏和不妥之处，敬请读者批评指正，以便再版时修正。

是为序。



联合国工业发展组织国际太阳能技术促进转让中心主任

亚太地区太阳能研究与培训中心主任

甘肃自然能源研究所所长、研究员

甘肃省太阳能风能协会会长

中国绿色能源产业技术创新战略联盟理事长

中国可再生能源学会副理事长

中国能源环境科技协会副会长

2012. 10. 09

于北京

前 言

能源是人类生存、社会经济可持续发展和社会文明进步的重要物质保证和必要的推动力，是关系国家经济命脉的重要战略物资。

人类的居住环境既是生态环境的重要组成部分，也是文明进步的重要体现。绿色建筑是实现“人文—建筑—环境”三者和谐统一的重要途径，是促进生态环境协调、实施可持续发展战略的重要举措。而可再生能源技术是绿色建筑中的重要技术支撑。美国环境保护署(EPA)在对6个具有代表性的美国气候区实例进行分析的基础上，得出结论：热泵技术在为居民创造舒适家居环境的同时，以其可靠和高效节能的特点，将成为降低国家能源消耗和环境污染的主要技术。

随着经济发展和人民生活水平的日益提高，空调、热水及采暖能耗在我国建筑能耗中的比重大幅提升，逐渐成为建筑能耗中的一个主要部分。数据统计显示，我国建筑能耗已接近总能耗的30%，其中供热、通风空调的能耗已达建筑能耗的65%，给能源和环境带来巨大压力。热泵技术是随着全球能源危机和环境问题的出现而逐渐兴起的一门节能环保新技术，其通过输入少量的高品位能(如电能)，实现从低品位热源(如在岩土体、地下水或地表水以及空气中的低温热源)将热能向高温热源转移，从而实现对建筑物冬季供暖、夏季制冷以及全年热水供应。目前，我国采用热泵系统的建筑应用面积已超过1.4亿m²，在“十二五”期间，预计完成地源热泵系统供暖(制冷)面积约3.5亿m²，若按每平方米200~300元的投资强度，总投资金额可达700亿~1050亿元。

热泵技术是一种可再生能源技术，地源热泵系统利用浅层常温地热能，给建筑供暖或制冷，它具有三大优点：①比其他常规供暖技术可节能50%~60%；②不排放任何废弃物；③运行费用可降低30%~70%。热泵系统作为一种新的清洁能源技术，已先行在北美、欧洲、中国等地区广泛应用。我国地源热泵的应用规模已排名世界第二，仅次于美国。

热泵系统应用场合广泛、功能多样。从严寒地区至热带地区均可采用热泵系统，是为办公楼、学校、宾馆、医院、疗养院、机场、车站、饭店、商店、超市、幼儿园、别墅、居民小区等各种用途的建筑提供冷暖的两用设备，同时还能供应生活热水。

此外，热泵系统设计上具有很大的灵活性，可以安装在新建筑中，也可用于既有建筑的改造。可以利用单一热源，也可利用混合型多热源，如与工业余热结合，或与太阳能利用系统结合等。而机房占地面积比常规中央空调系统小；同时，还可以利用建筑中现存的管路，为建筑提供热量和冷量，无需采用其他系统。另外，热泵系统还可以用于道路除冰融雪和体育场草坪加温等。

能源与环境问题将是人类面临的重大挑战，也是促进科学技术发展的良好机遇。因此，热泵技术必将在能源与环境问题的推动下，获得进步与发展。在经济迅速发展、环

境污染日趋严重、能源危机进一步加剧的当今社会，热泵系统的应用必将越来越广泛。为了促进热泵技术在我国快速健康的发展，我们应用理论联系实际、定性与定量相结合的阐述方法，编著本书，向读者呈现出热泵技术的最新理论和最新研究成果。

近几年，我们先后编著了三部书，第一部《可再生能源与节能减排知识手册》，为读者打开了可再生能源知识的大门；第二部《农村能源实用技术》回答了读者可再生能源在农村运用中怎样“做”的问题；第三部就是本书，旨在与读者一起探讨可再生能源之热泵系统的基础理论与应用，从而形成了应用较广的多种可再生能源的知识、技术、理论三部曲，用以回报读者与社会。但因我们对可再生能源的认识与研究还不够深刻，本书难免错误，敬请读者批评斧正。

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 热泵系统的组成与分类	(1)
1.1.1 地埋管地源热泵系统	(2)
1.1.2 地下水源热泵系统	(3)
1.1.3 地表水源热泵系统	(4)
1.1.4 空气源热泵系统	(4)
1.1.5 多热源热泵系统	(4)
1.2 热泵系统的特点	(6)
1.3 热泵技术的发展史话	(7)
1.3.1 热泵技术的早期发展	(7)
1.3.2 热泵技术的研究现状	(9)
第二章 热泵技术发展中需要注意的几个问题及其对策	(10)
2.1 热泵技术发展中的问题	(10)
2.1.1 地源热泵在我国的发展状况	(10)
2.1.2 我国地下水超采现象严重	(11)
2.1.3 地源热泵的热贯通问题	(12)
2.1.4 浅层地热能的枯竭问题	(13)
2.2 热泵系统运行性能与经济性的改善	(13)
2.2.1 发展和研究浅层岩土层储能技术	(13)
2.2.2 优化选取低温热源	(14)
2.2.3 合理选取驱动能源	(15)
2.2.4 热泵机组的高效化	(16)
2.2.5 热用户用热低温化	(16)
2.2.6 整合集成热泵系统的新技术与新成果	(17)
2.2.7 地源热泵系统中防腐防垢的技术措施	(18)
第三章 热泵技术的理论基础	(20)
3.1 把流体作为连续介质来研究	(20)
3.2 流体的主要力学性质	(20)
3.2.1 流体具有质量和重量	(20)
3.2.2 流体的压缩性和膨胀性	(21)
3.2.3 物态方程	(21)
3.2.4 流体的黏性	(23)

3.2.5	流体的凝聚力与表面张力	(23)
3.3	热泵技术的传热学基础	(23)
3.3.1	导热	(24)
3.3.2	对流换热	(25)
3.3.3	辐射换热	(25)
3.3.4	层流膜状凝结换热	(26)
3.3.5	凝结雷诺数与凝结准则	(29)
3.3.6	紊流膜状凝结换热	(30)
3.3.7	横管内凝结换热	(30)
3.3.8	水平管束平均换热系数	(31)
3.3.9	珠状凝结换热	(31)
3.3.10	影响膜状凝结的因素	(33)
3.3.11	强化凝结换热的措施	(33)
3.3.12	强化换热的经济分析	(34)
3.3.13	大空间沸腾换热	(34)
3.3.14	大空间泡态沸腾换热系数的计算	(38)
3.3.15	管内沸腾换热	(40)
3.3.16	核态沸腾传热机理的模型	(41)
3.4	热泵技术的热力学基础	(41)
3.4.1	热力学与热泵技术的关系	(42)
3.4.2	热力学过程	(42)
3.4.3	气态工质的基本状态参数	(44)
3.4.4	气体工质的状态方程	(48)
3.4.5	热力学第一定律	(50)
3.4.6	温熵图	(50)
3.4.7	卡诺循环及卡诺定理	(52)
3.4.8	逆卡诺循环	(53)
3.4.9	两相区的逆卡诺循环	(55)
3.4.10	热泵循环	(56)
3.4.11	蒸汽压缩式热泵循环	(56)
第四章	热泵系统主要部件的工作原理	(59)
4.1	制冷剂 and 载冷剂	(59)
4.1.1	热泵的工质与制冷剂	(60)
4.1.2	热泵系统对工质的要求	(60)
4.1.3	制冷剂的分类和代号	(62)
4.1.4	替代工质	(65)
4.1.5	热泵工质热力性质计算方程	(67)
4.1.6	制冷剂热力性质计算的 Cleland 模型	(69)

4.1.7	几种计算制冷剂状态参数的数学模型	(70)
4.1.8	制冷剂充注量数学模型	(71)
4.2	压缩机的工作原理	(72)
4.2.1	压缩机的分类	(72)
4.2.2	活塞式压缩机分类	(72)
4.2.3	活塞式压缩机的工作原理	(74)
4.2.4	螺杆式压缩机的工作原理	(75)
4.2.5	螺杆式压缩机的特点	(82)
4.2.6	较高效率的螺杆式制冷热泵系统	(83)
4.2.7	螺杆热泵机组变工况模型	(83)
4.2.8	滚动转子式压缩机工作原理	(85)
4.2.9	滚动转子压缩机的特点	(86)
4.2.10	涡旋式压缩机工作原理	(86)
4.2.11	离心式压缩机的结构与工作原理	(88)
4.3	压缩机的理论排量、实际排量和容积效率的计算	(91)
4.4	压缩机的容量调节方法	(92)
4.5	热泵系统的换热器形式与基本结构	(94)
4.5.1	热泵系统换热设备的特点	(94)
4.5.2	换热器的分类	(94)
4.5.3	管壳式换热器的工作原理	(95)
4.5.4	肋片管式换热器的结构	(96)
4.5.5	螺旋板式换热器	(97)
4.5.6	板翅式换热器	(97)
4.5.7	板翅式换热器的数学模型	(98)
4.5.8	板式换热器	(99)
4.6	换热器的平均温差法计算	(100)
4.7	换热器的优化设计	(103)
4.7.1	建立优化问题的数学模型	(103)
4.7.2	换热器的优化中的特点	(104)
4.7.3	惩罚函数法	(105)
4.7.4	换热器优化计算过程	(106)
4.8	冷凝器、蒸发器的基本结构与工作原理	(106)
4.8.1	换热器的评价方法	(106)
4.8.2	冷凝器换热的基本情况	(107)
4.8.3	影响冷凝器传热系数的因素	(109)
4.8.4	冷凝器的基本构造和工作原理:	(111)
4.8.5	蒸发器内换热的基本情况	(116)
4.8.6	蒸发器的分类、基本构造和工作原理	(118)

4.8.7	热泵系统的膨胀阀与节流阀的作用与原理	(121)
第五章	空气源热泵系统	(126)
5.1	空气源热泵在低温工况下运行存在的问题与措施	(126)
5.1.1	空气源热泵的制热量不足	(126)
5.1.2	空气源热泵在寒冷地区应用的可靠性较差。	(126)
5.1.3	空气源热泵在寒冷高湿度地区的结霜问题	(127)
5.1.4	空气源热泵除霜方法	(127)
5.1.5	除霜控制策略	(129)
5.1.6	改善空气源热泵低温运行特性的技术措施	(130)
5.2	多热源热泵系统	(139)
5.2.1	太阳能—空气双热源热泵系统研究历史	(139)
5.2.2	热泵系统数值模拟研究的历史	(141)
5.3	多热源热泵系统的基本结构与工作原理	(143)
5.3.1	多热源热泵系统的基本结构	(143)
5.3.2	多热源热泵系统的工作原理	(144)
5.3.3	多热源热泵系统的主要性能指标的计算	(145)
5.4	直膨式太阳能、空气源热泵系统的基本结构与原理	(146)
5.4.1	多功能太阳能辅助空气源热泵系统	(146)
5.4.2	直膨式太阳能热泵系统结合形式及其原理	(147)
5.5	直膨式太阳能热泵系统的数学模型	(150)
5.5.1	平板太阳能集热器有效能量收益计算	(150)
5.5.2	平板太阳集热器数学模型	(151)
5.5.3	空气换热器数学模型	(153)
5.5.4	压缩机数学模型	(154)
5.5.5	冷凝器数学模型	(155)
5.5.6	热力膨胀阀数学模型	(156)
5.5.7	空隙率模型	(157)
5.5.8	太阳能辅助空气源热泵热水系统数学模型的求解	(157)
5.6	太阳能、空气双热源热泵系统其他结构形式及其运行原理	(159)
5.6.1	直膨式太阳能热泵热水器其他结构形式及其运行原理	(160)
5.6.2	非直膨胀式太阳能热泵系统的连接方式	(162)
第六章	我国地热资源	(164)
6.1	我国地热资源	(164)
6.2	地球内部温度分布计算	(164)
6.2.1	土壤内的温度变化	(167)
6.2.2	土壤或岩石热物性参数计算	(168)
6.3	水资源	(170)
6.3.1	地表水资源	(172)

6.3.2	地下水资源	(172)
第七章	地下水源热泵系统	(179)
7.1	概述	(179)
7.1.1	地下水源热泵技术的研究进展	(180)
7.1.2	地下水源热泵系统的优势	(182)
7.1.3	应用地下水源热泵系统需要注意的问题	(182)
7.2	地下水源水质与处理技术	(185)
7.2.1	地下水源水质	(185)
7.2.2	处理地下水的设备与技术	(188)
7.2.3	怎样构造管井	(189)
7.3	地下水同井回灌系统的特点	(190)
7.4	地下水换热系统工程的勘察	(192)
7.4.1	工程场地现状调查	(192)
7.4.2	水文地质条件勘察	(192)
7.5	地下水源热泵开式系统	(193)
7.5.1	地下水源热泵开式系统对水质的要求	(193)
7.5.2	地下水间接利用的开式系统	(194)
7.6	地下水源热泵系统换热器的种类与选择	(194)
7.7	地下水回灌技术	(195)
7.7.1	回灌类型	(195)
7.7.2	回灌方法	(196)
7.7.3	回灌时应注意的技术问题	(197)
7.8	地下水换热系统的设计与施工	(198)
7.8.1	水源热泵系统的构成	(198)
7.8.2	地下水换热系统的设计要求	(198)
7.8.3	地下水源系统水井的设计原则	(200)
7.8.4	地下水换热系统的施工原则	(201)
7.9	地下水换热系统的验收	(202)
第八章	地表水源热泵系统	(203)
8.1	地表水及其换热利用	(203)
8.1.1	地表水源热泵系统的低温热源	(203)
8.1.2	地表水的换热利用	(204)
8.1.3	湖水水温分层的数学模型	(205)
8.2	地表水换热系统工程的勘察	(207)
8.3	地表水源换热系统的特点与设计	(207)
8.3.1	地表水换热系统的设计原则	(207)
8.3.2	地表水源热泵开式系统的特征与设计要点	(208)
8.3.3	地表水源热泵闭式系统的特征与设计要点	(210)

8.3.4	地表水源热泵系统冷凝器的计算	(211)
8.4	地表水换热系统施工	(213)
8.5	地表水换热系统的验收	(213)
第九章 污水源热泵系统		(214)
9.1	污水源热泵系统概述	(214)
9.1.1	污水源热泵系统发展历史	(214)
9.1.2	城市污水源分类及性质	(215)
9.2	污水源热泵系统的分类	(216)
9.2.1	污水源热泵系统的形式与分类	(217)
9.2.2	污水源热泵系统的特点	(218)
9.3	污水源热泵系统制冷(热)量的计算	(220)
9.4	应用污水源热泵需解决的特殊问题	(220)
9.4.1	污水水质对热泵系统的影响	(221)
9.4.2	污水堵塞与腐蚀问题的处理技术	(222)
9.5	污水取水系统设计	(222)
第十章 海水源热泵系统		(224)
10.1	海水源热泵系统概述	(224)
10.1.1	海水源热泵系统原理	(224)
10.1.2	国内外研究海水源热泵的历史与现状	(225)
10.2	应用海水源热泵系统要注意的问题	(226)
10.2.1	应用海水源热泵系统存在的问题	(226)
10.2.2	海水水质特点	(227)
10.3	对海水的处理技术	(228)
10.4	海水源热泵空调系统分类	(229)
10.4.1	集中式海水源热泵空调系统	(229)
10.4.2	分散式海水源热泵空调系统	(230)
10.5	海水源热泵用盘管换热器管内流体的数学模型	(231)
10.6	海水源系统的应用前景	(232)
第十一章 地埋管地源热泵系统		(233)
11.1	地埋管地源热泵系统概述	(233)
11.2	地埋管换热器设计计算的理论基础与计算模型	(233)
11.3	地埋管换热系统工程勘察	(235)
11.3.1	地埋管换热系统工程勘察内容	(235)
11.3.2	岩土热响应试验规定	(236)
11.3.3	岩土热响应试验的基础理论	(237)
11.3.4	岩土热响应试验方法	(238)
11.3.5	岩土热响应试验计算方法	(240)
11.3.6	岩土热响应试验应注意的几个问题	(242)

11.4	地埋管换热器系统的分析与设计	(243)
11.4.1	影响地埋管换热器的岩土因素	(243)
11.4.2	地埋管换热器的类型	(245)
11.4.3	地埋管换热系统设计的基本要求	(246)
11.4.4	地埋管换热系统设计需要考虑的问题	(249)
11.5	地埋管换热系统设计计算	(252)
11.5.1	地埋管压力损失的计算	(252)
11.5.2	竖直地埋管换热器水平集管的数学模型	(253)
11.5.3	埋管间距与布置方式	(254)
11.5.4	地埋管长度计算与埋深	(257)
11.5.5	管材承压能力计算	(260)
11.6	地埋管换热系统的施工	(260)
11.6.1	地埋管换热系统施工要求	(260)
11.6.2	正确处理回填问题	(264)
11.6.3	水平沟槽与竖直地埋管施工	(265)
11.6.4	安装换热管道	(267)
11.6.5	地埋管热泵系统制热性能系数计算	(272)
11.7	地埋管换热系统的验收	(273)
11.8	混合式地源热泵系统	(276)
11.8.1	太阳能、储热体、地埋管热泵系统运行模式	(276)
11.8.2	太阳能热水器与地源热泵联合供热系统	(277)
11.8.3	风力—地埋管地源热泵系统	(278)
主要参考文献		(281)
附录		(284)
附录 1	地埋管外径与壁厚	(284)
附录 2	几种土壤、岩石及回填料的热物性	(285)
附录 3	回填灌浆材料性能	(288)
附录 4	空调负荷概算指标	(288)

第一章 绪 论

1.1 热泵系统的组成与分类

热泵是利用工质的状态变化,从较低温度的热源吸取一定的热量,通过一个消耗能量的补偿过程,向较高温度的热源放出热量,从而把热量从低温热源传送给被加热的对象(温度较高的物体)。热泵的工作原理与制冷机相同,都是按逆卡诺循环(与热机的工作循环相反)工作的,所不同的只是工作的温度范围不同。换句话说,热泵技术就是将储存在土壤、地下水、地表水(江、河、湖、海水)或空气等自然界中的低品位能,以及生活和生产过程中排放的废热,用于建筑物采暖、制冷或热水供应等。

热泵系统一般由四个子系统组成:①低品位能采集系统,即热(冷)源热(冷)量采集系统;②热泵机组;③驱动能输配系统;④热(冷)量分配系统(建筑供暖、制冷或热水供应系统)。

热泵系统的热(冷)源包括地下水、江、河、湖、海等地表水、岩土体、空气、城市污水与工业污水的低品位能。地下水水温低达 4°C 时仍可作为地源热泵的低温热源;在夏季,地下水、江、河、湖、海等地表水及浅层岩土体的温度一般都低于空气温度,作为冷源优于空气源;城市污水也可作为冷源;但工业污水的温度范围很大,当其温度接近或高于当地大气温度时,不宜作为夏季热泵系统工作的冷源。

地源热泵系统所采用的热泵机组都是水源式的,既可制冷又可供热,也可设计成只制冷或只供热的单一功能系统。地源热泵与空气源热泵仅是机组内水-制冷剂侧换热器不同,其他部件在很大程度上都是通用的。只是随工作温度不同,其控制装置、压缩机部件等略有差异。

热泵系统的分类有多种方法:

(1)按热源分:热泵系统可分为空气源热泵系统和地源热泵系统以及生活、工业废热源、太阳能热泵系统等。地源热泵系统又可分为地下水源热泵系统、地表水源热泵系统和土壤地源热泵系统。其中,土壤地源热泵系统又称地耦合系统,但我国国家标准定义为埋管地源热泵系统。

(2)按热泵的功能分:单纯供热或制冷系统、交替制冷供热系统、同时制冷供热系统等。

(3)按压缩机的种类分:活塞式热泵系统、螺杆式热泵系统、离心式热泵系统、涡旋式热泵系统等。

(4)按驱动方式分:电力压缩式热泵系统、发动机拖动压缩式热泵系统、热力吸收式热泵系统。

(5)按热源与媒介质的组合方式分:空气-空气式热泵系统、空气-水式热泵系统、

水—水式热泵系统、水—空气式热泵系统等。

(6)按供热温度分：低温(低于 70°C)热泵系统、中高温($70\sim 100^{\circ}\text{C}$)热泵系统、高温(高于 100°C)热泵系统。

(7)按热源的组成形式分：纯地源系统与混合式系统。混合式系统是将地源热泵与冷却塔或加热锅炉联合使用。与分散系统非常类似，其只是冷热源系统增加了冷却塔或锅炉。此外，地源与太阳能、风能、沼气、生活污水、工业余热等热源联合使用的系统，也是混合式地源热泵系统的一种类型。

在南方地区冷负荷大，热负荷小，夏季宜用“地源热泵+冷却塔”的联合方式，冬季只使用地源热泵；而在北方地区，热负荷大，冷负荷低，冬季宜用“地源热泵+锅炉”的联合方式，夏季只使用地源热泵。这样，因混合式系统可以减少地源热泵的容量和尺寸，从而节省投资。

1.1.1 地理管地源热泵系统

地源热泵技术是随着全球能源危机和环境问题的出现而逐渐兴起的一门节能环保新技术。目前，国内外对地理管地源热泵系统做了许多研究，主要从五个方面着手：理论研究、实验研究、混合式系统研究、能量分析研究、技术经济性研究。国内学者利用等效法建立了U型地理管二维、三维的传热模型。但国内对地理管地源热泵系统的研究大多集中在寒冷或夏热冬冷地区，而结合夏热冬暖地区的气候环境和地质水文特点的实验、模拟研究还较少。

地理管地源热泵系统主要有三个子系统，即地理管换热器系统、热泵机组和供暖(冷)或热水供应系统。其原理可用三个“循环”来描述：即换热工质的循环，换热工质在蒸发器—压缩机—冷凝器—膨胀阀之间完成逆卡诺循环，这种循环是从地理管循环水中吸收的热量不断地传送给被加热的自来水的循环。生活热水的供应是地理管内的水在循环泵的作用下不断循环与地下岩土体换热，经过蒸发器将热能传递给换热工质；而自来水流经系统中的冷凝器吸收来自换热工质的热量，直至自来水被加热到设定温度后泵入热水箱。之后，泵入热水供应管网或建筑采暖管网。

地理管换热器系统是一种埋设在地下的闭式循环管路。这种系统包括一个与岩土体耦合的地热换热器，其或是水平地安装在地沟中(图1-1)，或是以U形管状垂直安装在竖井中(图1-2)，或是在狭小的垂直管沟中沿高度方向布置螺旋盘管(通常适用于冷量较小的系统；如果工程设计恰当，与垂直环路和水平环路一样有效)。不同的管沟或竖井里的热换热器并联连接，且通过循环液体(水或加有防冻液的水)，在封闭的地下埋管中流动，实现系统与大地之间的热交换。这种系统管路内的循环水经管壁与岩土体进行热交换，再通过不同的集管进入建筑物中，与建筑物的水循环管路联接，从而实现建筑的采暖或生活热水供应。这种系统因与岩土体不直接接触，可广泛应用于多种地区。

地理管地源热泵系统的优点是不受地下水量的影响，对地下水没有破坏和污染，系统运行具有高度的可靠性和稳定性。它的主要缺点是：由于浅层土壤受环境气温影响较大，水平式地理管因管壁传热温差的存在，冬季，机组地源侧水温低于地下水源热泵系统 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ ；夏季，机组地源侧水温则高于地下水源系统 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，机组运行条件相对较

差,降低了运行效率;另外,地理换热器受浅层土壤性质影响较大,连续运行时,热泵的冷凝温度或蒸发温度受土壤温度变化影响而波动;土壤导热系数小而使地理管换热器持续吸热速率小,导致地理管换热器系统的面积较大。同时,浅层土壤热流密度较小,传热的时间跨度较大,如果地理管地源热泵采暖取热与制冷排热负荷相差较大,或只采暖取热不制冷排热,则必然导致浅层土壤源温度下降,若单纯依靠浅层土壤源自身恢复是很难的,长此以往的积累,就会使地理管热泵机组的性能逐渐下降直至不能运行。



图 1-1 水平式地理管换热器系统

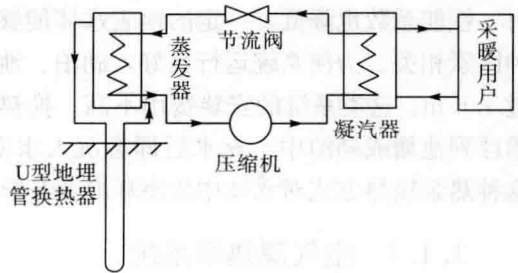


图 1-2 U型地理管换热器系统

1.1.2 地下水源热泵系统

地下水源热泵系统(图 1-3)分为两种:一种是开式系统,另一种是闭式系统。

(1)开式系统是将地下水直接供应到每台热泵机组,通过机组内换热器实现冷热交换与传输,然后将地下水回灌地下。这种开式系统又有双井筒和单井筒直接利用系统之分。

(2)闭式系统中,地下水与热泵机组之间是用板式换热器分开。地下水不与建筑物的任何部件接触,从而避免了地下水对建筑物部件的腐蚀。同时,还可以通过合理调节,使建筑物回路与地下水回路各自在最适宜于系统性能的不同流量下运行。这种系统包括带潜水泵的取水井和回灌井。因地下水位在较深的地方,由于地层的隔热作用,其温度受季节气温影响小,特别是深井里的地下水,水温常年基本不变,对热泵的运行十分有利。

这种系统简便易行,综合造价低,水井占地面积小,可以满足大面积建筑供暖空调的要求。其缺点是这种系统需要有丰富、稳定、优质的地下水资源;此外,即使能全部回灌,如何保证地下水层不受污染也是一个难题。



图 1-3 地下水源热泵系统示意图

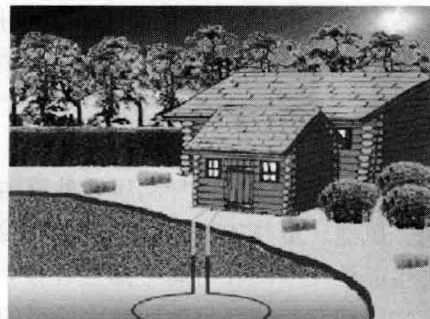


图 1-4 地表水源热泵系统示意图