

《工程建设与设计》杂志社 编
马最良 吕悦 主编

地源热泵系统 设计与应用

DIYUAN REBENG XITONG
SHEJI YU YINGYONG

第2版

设计基础

设计要点

工程实例

应用经验



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TB657
1071.1-1

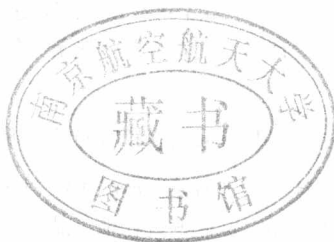


NUAA2014014173

地源热泵系统设计与应用

第2版

《工程建设与设计》杂志社 编
马最良 吕悦 主编



机械工业出版社

2014014173

本书是以推动地源热泵技术在我国的应用与发展为目的而进行编写的,编写中坚持实用性为主的原则。本书系统地阐述了地源热泵的基本知识与设计基础、设计要点、工程实例等部分内容。

本书可供从事地源热泵的研究和设计、施工人员使用,也可供相关专业院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

地源热泵系统设计与应用/马最良,吕悦主编;《工程建设与设计》杂志社编。—2版。—北京:机械工业出版社,2013.7
ISBN 978-7-111-43322-4

I. ①地… II. ①马…②吕…③工… III. ①空气调节器—热泵系统—系统设计②空气调节器—热泵—使用方法 IV. 1
TU831.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第158648号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:张晶 责任编辑:张晶
责任校对:肖琳 封面设计:路恩中
责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2014年1月第2版第1次印刷

184mm×260mm·22印张·5插页·541千字

标准书号:ISBN 978-7-111-43322-4

定价:59.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

8511103108

本书编委委员

(按姓氏笔画排序)

马最良 吕悦 李建红 杨立平 陈岩
姚伟君 姚杨 姚峻 姜益强 徐生恒
张军 倪敏 谭明

主任编委单位

恒有源科技发展有限公司

美意(上海)空调设备有限公司

副主任编委单位

大连葆光节能空调设备厂

北京中科华誉能源技术发展有限责任公司

再 版 序

二十一世纪人类将面临资源、环境与灾害的严重挑战。近年来石油、煤炭等能源资源以及许多重要矿产资源的供应呈现紧张趋势，寻求新能源和改善环境、提升人民生活水平的紧迫性日益凸显。浅层地(热)能作为可再生能源，通过地源热泵技术为建筑物供暖、制冷和制取生活热水，可减少传统化石燃料的消耗，调整能源利用结构，保护人类赖以生存的自然环境，是我国乃至世界各国经济发展的重要战略目标。

我国在利用地源热泵技术开发利用浅层地(热)能方面发展很快，形势如火如荼。据初步统计，目前，全国除港澳台地区外，31个省、市、自治区、直辖市均有地源热泵系统工程，利用地源热泵技术供暖制冷的建筑物面积已超过2亿 m^2 。北京有超过3000万 m^2 的建筑物利用浅层地热能供暖和制冷，沈阳市已超过6000万 m^2 。浅层地(热)能开发已经纳入到国家“十二五”能源发展规划，未来五年，全国计划完成地源热泵供暖(制冷)面积达3.5亿 m^2 ，届时整个地热能开发利用总市场规模至少在700亿元左右。

面对巨大的市场需求和地源热泵技术快速的发展，地源热泵行业急需行业专著来对行业进行指导。在这样的背景下，2006年《地源热泵系统设计与应用》出版，该书是对地源热泵基础知识的普及和对实用设计技术的介绍。本书由《工程建设与设计》杂志组织编写，哈尔滨工业大学马最良教授与《工程建设与设计》杂志主编吕悦主编。《工程建设与设计》杂志是最早关注地源热泵技术的期刊之一，在吕悦主编的领导下，曾最早组织全国性地源热泵技术应用调查，并率先举办了全国性地源热泵技术应用会议，并担任了《地源热泵导刊》杂志的主编。马最良教授一直从事暖通空调教学工作，并致力于热泵技术的研究与评价，其相关研究成果在多个行业权威杂志以及全国性学术会议上发表。

本书作为国内地源热泵行业首部专著，自第一版问世以来，受到了地源热泵行业专业人士的广泛关注。本书的再度出版，根据行业发展情况，对第一版中的内容进行了修订，更新了地源热泵技术在我国的发展情况，完善了地源热泵系统设计的内容，增加了案例分析和系统难点剖析，使本书更全面地反映出地源热泵行业的技术进步，更好地指导地源热泵工程实践，对推动我国地源热泵技术的健康、可持续发展十分有益。

热切盼望本书的再版。衷心祝愿本书能在地源热泵领域发挥应有的指导作用，愿更多的专家、学者和政府公务人员投入到地源热泵技术研究与应用领域中来，为科学开发浅层地(热)能资源，推动我国节能减排工作做出更大贡献。

国务院资深参事、中国工程勘察大师
住建部科技委顾问兼部建设环境工程技术中心主任



2013年2月20日

序 1

落实节约资源和保护环境基本国策，建设资源节约型、环境友好型社会，是“十一五”规划纲要中规定的重要任务，需要各方面去做工作，才能实现。

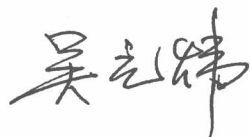
建筑采暖空调及生活热水是满足以人为本，提高生活质量必不可少的，但在其运行过程需要消耗大量能源，并带来对环境的不利影响。因此，需要寻求新的解决途径。我国能源结构中煤占67.7%，“煤为基础，多元发展”是我国能源发展的长期方针。在解决面临的难题时，我们必须努力提高能源利用效率，更多开发利用可再生能源(包括浅层地能)。地源热泵恰好是用少量电力驱动，能将浅层地能中的低位热高效提升到满足建筑供暖需要的水平，即是高效用电，充分利用可再生能源的技术，在我国有广泛的发展应用空间。近十年来国内不少有识之士已先行对此开展研究、试验和在工程中实践，显示了该技术的潜力。相信今后会有更多人士及单位投入这方面活动。

《工程建设与设计》杂志编辑部早就关注地源热泵在国内的应用，并曾出专刊报道这方面的进展。为了系统阐述地源热泵系统，吕悦主编又邀国内热泵领域知名专家、哈尔滨工业大学马最良教授一起担纲并邀其他专家用较短的时间撰写地源热泵系统设计，并汇集国内部分工程实例，以《地源热泵系统设计与应用》为书名，并得到机械工业出版社支持，正式出版。本书的问世对推动地源热泵技术在国内健康发展是一件十分有益的事。

地源热泵系统的关键部分是将低位能提取出来，这需要了解土壤、地表水等平时不曾熟悉的对象的特性。各个工程遇到的情况均不相同。因此，认真做好每一项工程尤其重要和必要。应该说至今为止，我国积累的技术经验还不甚丰富。目前采用设计院、热泵设备制造商、专业工程商联合协同做工程的模式是一种适宜的模式。本书对他们都会发挥良好的作用。

我衷心希望从事地源热泵项目的各方面专家能认真总结经验，以2006年1月1日起实施的国家标准《地源热泵系统工程技术规范》(GB 50366—2005)为平台，加强交流，把我国地源热泵系统各方面水平大大向前提高，在实现国家发展目标上发挥更大的作用。

中国建筑学会暖通空调委员会主任委员



2006年7月7日

序 2

十年前，当地源热泵在美国开始进入快速成长期，而在中国尚鲜为人知的时候，我就坚信这一技术在中国将具有比美国更好的前景。因为世界上没有任何一个国家像今天的中国这样，正在承受着由于高密度人口和高速经济所带来的环境和能源的压力。同时，我们充分的劳动力资源使地源热泵的施工成本接近常规空调，有力的政府行为能使地源热泵的补贴政策快速出台并实施。这些都是美国所不具备的。

今天我们看到，在短短的三年时间里，地源热泵在中国的安装就已经突破3 000MW，超过风力发电和光伏发电20年来的装机总和。如此快速增长，使我们相信这项技术的应用不但得益于政策的鼓励，并且已经完全具备竞争力，可以依赖市场而生存发展。

但同时要看到的是，由于地源热泵在中国真正应用的时间很短，每天都有新的企业进入这个新的领域。对于他们，往往没有很多的经验可以依靠，而不得不在实际的工程中去摸索。今天，我们非常高兴地看到，马最良教授，吕悦先生的著作《地源热泵系统设计与应用》在中国出版。相信这将是地源热泵施工安装企业的技术人员、建筑设计院的设计工程师，以及房地产企业的合约工程师们的得力工具。非常可贵的是，这本设计指导书在吸收国际同行的经验的同时，包含了大量的中国工程实践资料，使其能为中国的专业人员提供更好的帮助。我本人在多次的国际会议报告和学术讨论中使用吕悦先生和他主编的《工程建设与设计》杂志提供的中国工程应用的数据，深感他的执着与细致。相信作者的努力和心血将被广大的读者所感激和铭记。

“以地源热泵技术服务一个可持续发展的世界”，是国际地源热泵协会中国委员会的信条，我们将和本书作者以及其他致力于地源热泵应用和研究的专家学者一起，通过促进地源热泵更好、更广泛的应用，来服务于我们的祖国，服务于我们的未来。

国际地源热泵协会中国委员会主席
密苏里大学能源与环境技术学院副院长
美国环境与能源技术办公室
徐云生 博士

前 言

(第二版)

《地源热泵系统设计与应用》第一版于2007年出版,这是国内首部地源热泵技术著作,它系统地阐述了地源热泵的基础知识、设计要点和国内早期工程应用实例。本书出版以来,深受广大读者的关注与欢迎,销售情况良好。它为我国地源热泵技术的普及与推广、为地源热泵技术在我国的健康发展,起到了积极的推动作用。

近年来,由于能源与环境问题,地源热泵技术在我国开始大量应用并快速发展。其表现有:

- 热泵空调系统在我国民用建筑中的使用量急剧上升。据统计,现阶段我国地源热泵服务面积超过1.4亿 m^2 ,而且在前几年其项目数量每年以20%~25%的速度增长。

- 热泵空调系统应用规模由中小单体建筑(1万 m^2 以下)转向大型建筑群住宅小区。几十万 m^2 的埋管地源热泵空调系统工程实例时有介绍。

- 据初步统计,1980~1989年期间,我国正式出版的热泵技术书籍(著作、教材、译著)有9部。1990~1999年期间,正式出版5部。2000~2011年期间,正式出版20部,而其中有关地源热泵的技术书籍共11部,占此期间正式出版的热泵技术书籍的55%,这充分表明地源热泵在我国的快速发展与市场的需求。

- 《地源热泵系统工程技术规范》(GB 50366—2005)于2009年重新修订,通过规范的修订又把我国地源热泵技术各方面水平大大向前提高一步。

但是,我们也要清醒地看到:我国地源热泵在快速的发展中表现出一些不同于其他国家与地区的新特点,也暴露出一些技术、设计、施工和运行中的问题。因此,为了我国热泵技术的健康发展,在今后,我国地源热泵技术的发展应进入一个以质量为核心的新的快速发展阶段。

基于上述背景和在未来低碳时代的绿色建筑中,地源热泵系统是有潜在的应用空间和应用价值的理念,在机械工业出版社同仁的建议下,《地源热泵系统设计与应用》主编同意在第一版的基础上,开始撰写第二版。第二版将保持第一版的特点,即保持地源热泵基础知识普及性,地源热泵设计要点的实用性,地源热泵工程实例的启发性。对第一版进行增删、调整,增加地表水源热泵塑料盘管换热器的设计研究、地源热泵系统存在的问题与对策等新的章节,力求使第二版的内容更加充实、完整。希望《地源热泵系统设计与应用》(第二版)的出版,能为地源热泵技术在我国普及与发展中贡献微薄力量。

本书由马最良、吕悦担任主编。马最良负责第1章1.1~1.4节,第2~8章的修编和相应章节中新增加内容的撰写。吕悦、谭明、中国勘察设计协会倪敏负责第1章1.5节,第10章的修编和相应章节中新增加内容的撰写。第9章由徐生恒、孙骥、吕悦、谭明、北京建筑设计研究院有限公司陈岩撰写。全书由马最良、吕悦统稿。在此对参与本书第一版撰写的同仁表示敬意和感谢。

由于编著者的水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2013年5月

前 言

(第一版)

能源是人类赖以生存和发展的物质基础。随着人类文明的进步和社会发展,人类对能源的消耗愈来愈多,若不采取措施,将导致能源枯竭、环境恶化等严重后果。因此,大力发展新能源与可再生能源已成为我国 21 世纪发展国民经济和建设小康社会刻不容缓的主要任务和战略目标。

热泵技术是应用低位可再生能的重要技术措施之一。人们愈来愈关注如何通过热泵技术,将储存在土壤、地下水、地表水或空气中的太阳能之类的自然能源以及生活和生产排出的废热,用于建筑物采暖和热水供应等方面,从而有效地降低高位能的耗散速度。

在热泵产品中,地源热泵诞生于 20 世纪 80 年代中期。这是指地源热泵作为真正兴起的一门热泵新技术,并开始获得了应用与发展的时期。但是地源热泵的核心技术最早出现在 1912 年瑞士佐伊利(H. Zoelly)的一份专利文献中,之后的几十年,地源热泵基本处于试验研究状态,并开始先后有地表水源热泵系统、地下水热泵系统、土壤耦合热泵系统的问世与发展。地源热泵由于具有节能效果好、环保效益高、合理使用高位能、利用可再生的浅层地能(热)等优越性,在美国和欧洲等地区已获得了广泛的应用。在目前和将来地源热泵仍是最具有前途的节能装置和系统之一。在 21 世纪里,地源热泵技术将是传统暖通空调和热水供应替代技术之一。它将克服传统暖通空调和热水供应中用能的单向性、能耗高、污染环境等问题。它将实现能源、暖通空调(热水供应)和环境的协调发展。

我国地源热泵空调系统的应用开始于 20 世纪 80 年代。20 世纪 90 年代地下水源热泵空调系统在我国公共建筑中才真正开始应用。起步虽晚,但其系统在公共建筑中的应用却是十分普遍,发展迅速,工程实例很多。而土壤耦合热泵系统虽然其应用的实例相对较少、规模也小,但在我国已成为地源热泵的研究热点课题。这十几年地源热泵在我国的应用与发展为建筑节能和环境保护作出了积极贡献。

《工程建设与设计》杂志是一份有 50 多年历史的综合性科技期刊。近年来,本刊以专题、专刊等形式报道地源热泵技术的发展和大量的工程案例。随着对地源热泵技术的深入报道,我们发现由于地源热泵技术进入我国时间不长,各种有关的基础研究尚未深入展开,很多工程技术人员需要了解一些应用工程的情况,却苦于没有资料,本刊很想为大家做些事情。

但科技期刊作为一个媒体,它的职能是科技发展的守望者,媒体毕竟不是科研单位,既无科研任务,也缺乏研究的实力。尽管如此,我们还是认为,作为行业媒体在行业发展的关键时刻应当勇于承担推动行业发展的责任。

于是,本刊花费半年的时间,在很困难的情况下,对地源热泵工程进行了国内首次全面的调查。当我们的调查报告发表后,立刻被业内广泛引用。在有关机构向国务院做的有关地源热泵应用情况的汇报和国际地源热泵界对中国发展情况的介绍中都用了我们统计的数据。我们的调查数据还为沈阳等城市区域推广地源热泵技术的调研活动提供了帮助。这极大地鼓舞了我们,同时也坚定了我们推动地源热泵工作的决心。

当前,地源热泵行业在激烈市场竞争中暴露出一些技术、设计、施工和运行中的问题。如:不作工程场区调查与水文地质勘察,就盲目上马地源热泵工程;地下水回灌井堵塞不能100%回灌地下水;土壤耦合热泵技术具有很强的地域性特点,大量的试验结果具有一定的局限性;井水泵、循环泵等功耗过高;对水井的运行缺乏科学的维护管理等。

为了推动地源热泵技术在我国的应用与发展,《工程建设与设计》杂志社着手在调查资料的基础之上,联合国内专家编写一部针对国内情况的地源热泵技术与应用方面的专业书籍,为技术人员提供参考,为公众提供一个认识、了解地源热泵技术的窗口。本刊的想法得到了哈尔滨工业大学马最良教授和多名学者的支持,他们在繁重的教学、科研工作中抽出时间参与了本书的编写。

作为国内首部地源热泵技术专著,本书系统地阐述了地源热泵的基本知识、设计要点和工程应用实例。全书共分10章。主要内容分三部分,一是地源热泵系统的基本知识与设计基础(第1~4章);二是地源热泵空调系统的设计要点(第5~8章);三是基于《工程建设与设计》杂志社的“国内地源热泵应用情况调查”,系统介绍地源热泵空调系统工程实例和地源热泵相关的科研、生产单位(第9、10章)。

本书由哈尔滨工业大学马最良教授、《工程建设与设计》杂志社吕悦担任主编、山东建工学院的刁乃仁教授、上海交通大学的鲍士雄教授、哈尔滨工业大学姚杨教授和姜益强教授、北京工业大学的马重芳教授、北京建筑设计研究院陈岩、广州中宇冷气科技发展有限公司苏宇贵以及《工程建设与设计》杂志社莫然、周沫、邓海燕、张良波等人参与了编写。编著分工为:第1章1.1~1.4节、第5章、第6章6.3、6.5、6.6节由马最良编写;第1章1.5节由陈岩、吕悦编写;第2章、第3章由姜益强编写;第4章由马重芳编写;第6章6.1、6.2、6.4节由苏宇贵、鲍士雄编写;第7章由刁乃仁编写;第8章由姚杨编写;第9章和第10章由陈岩、吕悦、周沫、莫然、邓海燕、张良波等编写。全书由马最良、吕悦统稿。

本书在编写过程中还得到了中国建筑科学研究院吴元炜教授、清华大学彦启森教授、机械工业第六设计研究院张家平教授、山东建工学院方肇洪教授和苏登超教授等专家的关心和指导。在此表示感谢。

由于编者的水平所限,书中难免存在缺点和错误,望读者给予批评指正。

编者

2006年5月

目 录

再版序		4.3 现场资源条件的勘察	77
序1		参考文献	79
序2		附表 地源热泵空调系统设计	
前言(第二版)		相关参数	80
前言(第一版)		附表1~附表23	80
第1章 绪论	1	第5章 地下水源热泵空调系统的	
1.1 热泵技术与科学用能	1	设计	99
1.2 地源热泵系统的基本知识	3	5.1 概述	99
1.3 地源热泵系统的分类与		5.2 工程场区调查与地下水水文	
特点	6	地质勘察	99
1.4 地源热泵在国外的发展	11	5.3 地下水源热泵空调系统的	
1.5 国内地源热泵发展概况	17	形式与组成	102
参考文献	29	5.4 地下水换热系统的设计要点	105
第2章 地源热泵的低位热源	34	5.5 热源井的设计与施工要点	109
2.1 土壤	34	5.6 地下水回灌技术	116
2.2 地下水	46	5.7 地下水源热泵机组机房的	
2.3 地表水	49	设计要点	123
2.4 生活废水与工业废水	51	5.8 地下水源热泵空调系统中热	
参考文献	52	用户的特殊问题	126
第3章 水源热泵机组	53	5.9 地下水源热泵空调系统发展	
3.1 水源热泵机组的分类与		进步中应关注的问题与	
工作原理	53	对策	131
3.2 水源热泵机组的构造与特点	56	参考文献	137
3.3 水源热泵机组的运行特性	58	第6章 地表水源热泵空调系统的	
参考文献	66	设计	140
第4章 地源热泵空调系统设计		6.1 地表水换热系统的形式	140
基础资料	67	6.2 地表水换热器的设计与施工	140
4.1 设计原始资料与依据	67	6.3 地表水源热泵塑料盘管换热器	
4.2 空调负荷的计算	71	的设计研究	152
		6.4 地表水取水口与取水构	
		筑物	160

6.5	水源热泵机组选择应注意的问题	169	9.1	浅层地能采集技术的创新	264
6.6	海水源热泵空调系统设计中的特殊问题	169	9.2	单井循环换热地能采集井与抽水井	265
6.7	污水源热泵空调系统设计中的特殊问题	176	9.3	单井循环换热技术对地下水体质量影响的跟踪监测	266
6.8	地表水源热泵空调系统存在的特殊问题与对策	187	9.4	专家评审意见	267
	参考文献	192	9.5	单井循环换热地能采集井地下温度场测试	268
第7章 土壤耦合热泵空调系统的设计			第10章 地源热泵空调系统工程实例		
		194			271
7.1	地埋管换热器的传热分析	194	10.1	国家行政学院地能热泵环境系统	271
7.2	地埋管换热器的设计	204	10.2	国家大剧院地能热泵环境系统	275
7.3	地埋管换热器方案设计的概算指标	215	10.3	金四季购物中心地能热泵环境系统	279
7.4	地埋管管材与传热介质	219	10.4	全国工商联工程地能热泵环境系统	283
7.5	地埋管管道的连接	222	10.5	宜昌兴发集团综合办公楼湖水源热泵应用系统	287
7.6	地埋管换热器的安装	228	10.6	海门外商投资服务中心中央空调系统	291
7.7	在我国地埋管地源热泵技术发展进步中应关注的几个问题	237	10.7	翡翠山城泳池及水源热泵系统	297
	参考文献	244	10.8	长沙融城医院空调系统	302
第8章 浅层地能(热)水环热泵空调系统的设计			10.9	山西省晋中人民检察院地源热泵系统	306
		247	10.10	民航华北局山西办公楼分散式地源热泵空调系统	310
8.1	传统水环热泵空调系统简介	247	10.11	大连益嘉广场污水源热泵工程	314
8.2	传统水环热泵空调系统的问题与对策	251	10.12	光伸名品家居污水源热泵工程	318
8.3	井水源水环热泵空调系统	252	10.13	华晨东兴汽车零部件有限公司水源热泵供热工程	321
8.4	土壤源水环热泵空调系统	254	10.14	上地办公中心地源热泵	
8.5	地表水源水环热泵空调系统	256			
8.6	浅层地能(热)水环热泵空调系统设计的特殊问题	259			
	参考文献	263			
第9章 单井循环换热地能采集技术					
		264			

工程	323	10.16 沈阳阳光100国际新城住宅	
10.15 沈阳202医院水源热泵		项目污水源热泵工程	329
工程	326	附录 编委单位介绍	334

第 1 章 绪 论

1.1 热泵技术与科学用能

能源是人类赖以生存和发展的物质基础。随着人类文明的进步和社会的发展,人类对能源的消耗越来越多,导致能源枯竭、环境恶化等严重后果。我国是一个人口众多、人均能源占有量低于世界平均水平的发展中大国,能源供给不足已成为制约经济社会发展的重要因素。文献[1]明确指出:今天的中国已经达到人均 GDP1 000 美元的小康目标,按照预定的经济发展目标,2020 年将全面实现小康,达到中等发达国家的水平,人均 GDP 达到 10 000 美元。从其他发达国家的发展历程来看,GDP 达到 10 000 美元时能源消耗是人均标准油 4t/a,折合标准煤 5.6t/a。这样,到 2020 年我国人口达到 15 亿人,将需要标准油 60 亿 t,折合标准煤 84 亿 t。这是世界目前能源生产能力的 60%,是一个无论如何也不可能达到的目标,不要说全球的资源无力支撑,全球的环境也根本无法忍受。怎么办?唯一的出路就是科学用能,依靠科学技术来解决这一难题。

科学用能是在信息时代发展进程中对节能工作的一次升华,是以科学发展观为指导,为解决制约经济和社会可持续发展的能源瓶颈问题而建立的新理念和寻找的新出路,即运用熵定律和耗散结构理论,对能源世界观进行深入研究。科学用能是实现节能为本的具体措施。其具体措施主要是指科学使用能源、科学配置能源和科学管理能源。

那么,热泵技术的发展在科学用能中将会起到什么作用呢?

众所周知,所谓的热泵是一种利用高位能使热量从低位热源流向高位热源的节能装置^[2]。顾名思义,热泵也就是像泵一样,可以把不能直接利用的低位热能(如空气、土壤、水中所含的热能、太阳能、生活和生产废热等)转换为可以利用的高位热能,从而达到节省部分高位能(如煤、燃气、油、电能等)的目的。由此可见,热泵在科学用能中的作用有:

(1) 热泵技术是应用低位再生能的重要技术措施之一。科学使用能源中很重要的一点就是利用一切可以利用的能源来有效地降低资源的耗散速度。基于这种理念,人们愈来愈关注如何通过热泵技术,将贮存在土壤、地下水、地表水或空气中的太阳能之类的自然能源,以及生活和生产排出的废热,用于建筑物采暖和热水供应,从而有效地降低高位能的耗散速度。

(2) 热泵是合理利用高位能的典范。热泵利用高位能作为驱动能源,推动动力机(如电动机、燃气机、燃油机、汽轮机等),然后再由动力机驱动工作机(如制冷机、喷射器)运转。工作机像泵一样,把低位的热能输送至高位以向用户供热,实现了科学地配置能源。

热泵供暖技术充分体现出:①将高位能满足高端的需求,将低位能满足低端的需求,合理有效利用能源,控制熵增的速度。②能够利用废弃能源的,就不要使用优质能源。

因此,热泵供暖技术是一个效率和效益最为理想的系统,这就是科学配置能源的典型

实例。

为了进一步说明热泵技术在科学用能中的作用, 现以热泵供暖一例来说明。

某建筑物热负荷为 12kW, 要求室内空气温度为 20℃。采用热泵供暖, 以实现科学用能。文献[3]早在 1988 年就指出: 节能技术一方面是以热力学第一定律为基础, 从量的方面着手, 减少各种损失和浪费, 这是目前人们较熟悉的; 另一方面是从热力学第二定律出发, 从质的方面着手研究。我们无法逆转熵的方向, 就像无法逆转时间一样, 但是可以减缓熵增加的速度和过程, 通过科学技术的进步, 来减缓有效能量的耗散速度。这一点由图 1-1 可清晰地看出。

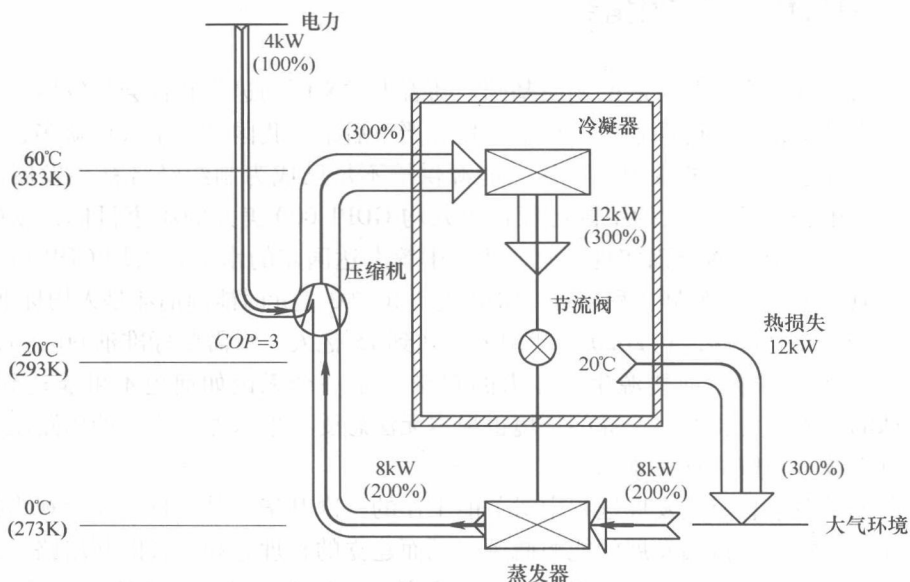
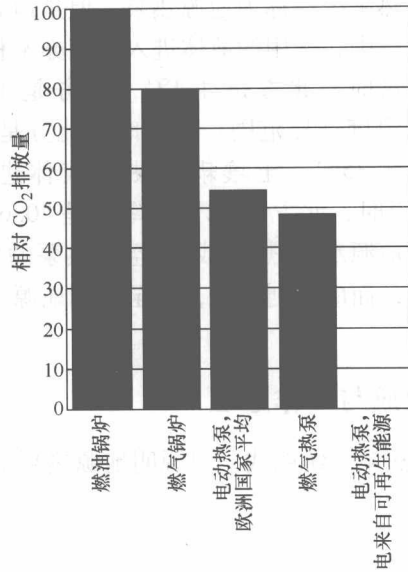


图 1-1 热泵供暖能流图

(1) 建筑物热损失 12kW。即是室内空气(20℃)通过围护结构向室外环境(0℃)传递的能量。根据热力学第一定律, 只有不断地向室内空气提供 12kW 的热量, 才能维持室温 20℃ 不变。而传统的供暖方式是利用高位能(煤、油、燃气、电等)向室内供给热量。显然, 能量是守恒的, 我们相信能量在数值上虽然不变, 但能量的品位逐渐失去, 由高位能逐渐都变成废热传递给大气环境了, 最终降级到无用了。

(2) 热泵供暖系统向室内供 12kW 的热, 才消耗电能 4kW, 由图 1-1 看出, 它并不违背热力学第一定律, 而是利用了温度低于室温的低温环境的热量 8kW, 从而, 节省了电能的消耗。这是一种典型的科学使用能的方式。通过热泵技术, 将低位能源(空气、土地、水、太阳能、生活和工业废热等)的能量转换为可利用的热量, 以此代替一部分高位能源(煤、石油、燃气、电能等), 同时, 减少燃料燃烧对环境污染, 带来全球环境效益, 如图 1-2 所示。由图 1-2 可见, 电动热泵和燃气热泵的 CO₂ 排放量均小于燃油锅炉和燃气锅炉^[4]。因此, 热泵供热系统是合理使用能源的利用模式, 环境和能源代价更加低廉。

(3) 图 1-1 所示热泵供热系统是一种“再生能源+高位能—供暖—废弃物(火力发电时)—再生能源”的闭环反馈式循环过程的供暖(冷)模式。这是建立在热能不断循环利用的基础上, 按着生态规律, 利用再生能源和环境容量实现暖通空调技术的生态化和绿色化。也

图 1-2 供热装置的相对 CO₂ 排放量

注:1. 图中欧洲发电的 CO₂ 排放量,平均为 0.55kg CO₂/kWh。

2. 图摘自姚扬主编. 暖通空调热泵技术。

就是说,热泵生态供暖(冷)系统的提出与应用,避免了“高位能源—供暖—废弃物”的单向传统供暖模式。这种新理念开始成为暖通空调界的主题,影响暖通空调技术的可持续发展的进程。

1.2 地源热泵系统的基本知识

1.2.1 地源热泵系统的定义

地源热泵空调系统(也习惯称为地源热泵或地源热泵系统)是随着全球性能源危机和环境问题的出现而逐渐兴起的一门热泵技术。它是一种通过输入少量的高位能(如电),实现从浅层地能(土壤热能、地下水中的低位热能或地表水中的低位热能)[⊙]向高位热能转移的热泵空调系统^[5-7];它是一个广义的术语,包括了使用土壤、地下水和地表水作为低位热源(或热汇)的热泵空调系统,即以土壤为热源和热汇的热泵系统称为土壤耦合热泵系统,也称地下埋管换热器地源热泵系统;以地下水为热源和热汇的热泵系统称为地下水热泵系统;以地表水为热源和热汇的热泵系统称为地表水热泵系统。国内外有关地源热泵还有一系列其他术语,如:地热热泵、地能系统、地源系统、地能中央空调系统、地温中央空调系统、地温热泵冷热空调系统、中央液态冷热源等,如此定义很不统一,也很不规范。1997年以后,由ASHRAE统一为标准术语——地源热泵^[8]。对此,我们应该注意到:虽然将地表水源热

⊙ 地源热泵是一个广义的术语。为了便于使热源(或热汇)与地源热泵相呼应,国内提出了“浅层地能”的概念化的术语,它将土壤、地下水和地表水汇集在同一术语中,统称为浅层地能。

泵、地下水源热泵、土壤耦合热泵统一称为地源热泵,但是地表水、地下水和土壤全年温度范围有较大的差异。因此,设计中,选用的液体进入温度亦不相同。如在美国,地下水热泵液体进入温度选择范围:供热时,北方是 4.4°C ,南方是 10°C ;供冷时,南方最高为 29.4°C 。地表水热源液体进入温度选择范围:供热时,北方是 -1.1°C ,南方是 12.8°C ;供冷时,北方是 26.7°C ,南方是 35°C 。土壤耦合热泵液体进入温度选择范围:北方是 -1.1°C ,南方是 16.7°C ;供冷时,北方是 32°C ,南方是 40.6°C ^[9]。正是由于三种热泵的液体进入温度的不同,将会对地源水/水热泵或水/空气热泵的性能产生不同的影响。因此,不能把三种地源热泵混为一谈,而应区别对待,甚至不同地源热泵所采用的水/水热泵或水/空气热泵应具有各自的特点。

1.2.2 地源热泵系统的组成与工作原理

图 1-3 给出典型地下水源热泵系统图式,以说明地源热泵系统的组成与工作原理。由图 1-3 可以看出:

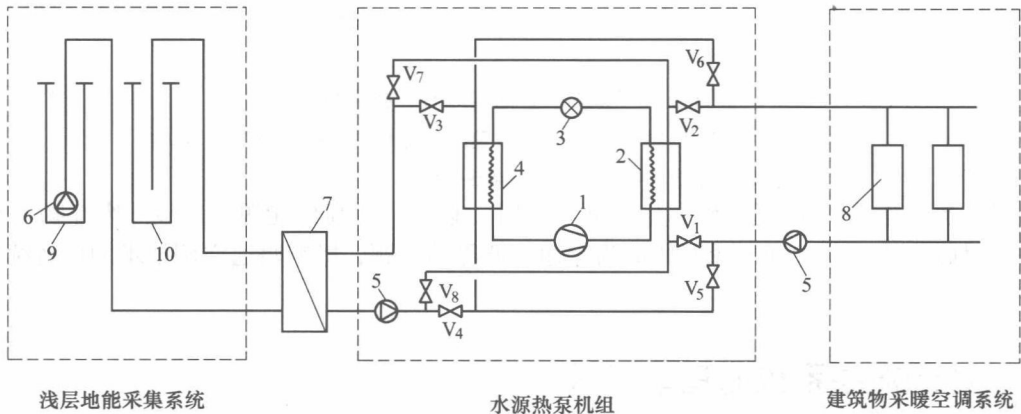


图 1-3 典型地下水源热泵系统图

1—制冷压缩机 2—冷凝器 3—节流机构 4—蒸发器 5—循环水泵 6—深井泵
7—板式换热器 8—热用户 9—抽水井 10—回灌井 $V_1 \sim V_8$ —阀门

(1) 地源热泵系统主要由四部分组成:浅层地能采集系统、水源热泵机组(水/水热泵或水/空气热泵)、室内采暖空调系统和驱动能源输配系统。所谓浅层地能采集系统是指通过水或防冻剂的水溶液将岩土体或地下水、地表水中的热量采集出来并输送给水源热泵系统。通常有埋管换热系统、地下水换热系统和地表水换热系统。水源热泵主要有水/水热泵和水/空气热泵两种。室内采暖空调系统主要有风机盘管系统、地板辐射采暖系统、水环热泵空调系统等。驱动能源输配系统是指电的输配、用户燃气的输配、用户燃油储存与输配。

(2) 通过水循环或添加防冻液的水溶液循环来完成浅层地能采集系统与水源热泵机组之间的耦合关系,而热泵机组与建筑物采暖空调之间耦合是通过水或空气的循环来实现的。

(3) 冬季,水源热泵机组中阀门 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 开启, V_5 、 V_6 、 V_7 、 V_8 关闭。通过中间介质(水或防冻剂水溶液)的循环,与地下水进行换热,从而从地下水中吸取低品位热量,并输送到水源热泵机组的蒸发器4中,通过热泵技术将其低品位热能提高其品位,对建