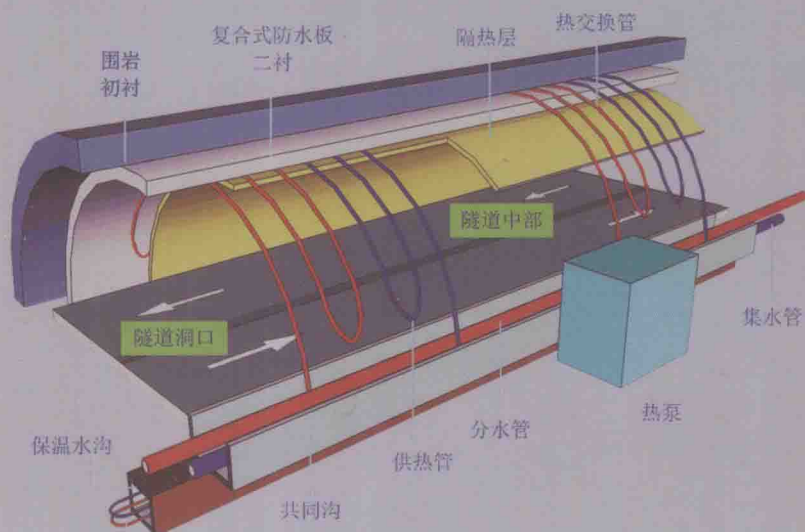




能源地下结构的 理论及应用

——地下结构内埋管的地源热泵系统

夏才初 张国柱 孙猛 著



能源地下结构的理论及应用

——地下结构内埋管地源热泵系统

夏才初 张国柱 孙 猛 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

能源地下结构的理论及应用:地下结构内埋管地源热泵系统/夏才初,张国柱,孙猛著. —上海:同济大学出版社,2015.10

ISBN 978-7-5608-6026-8

I. ①能… II. ①夏…②张…③孙… III. ①地热能—热泵—应用—建筑—节能—研究 IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 228771 号

能源地下结构的理论及应用——地下结构内埋管地源热泵系统

夏才初 张国柱 孙 猛 著

出品人 支文军 策划编辑 杨宁霞 责任编辑 胡 毅 助理编辑 李 杰
封面设计 陈益平 责任校对 徐春莲

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店、建筑书店、网络书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 16.25

字 数 406 000

版 次 2015 年 10 月第 1 版 2015 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6026-8

定 价 88.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

内 容 提 要

能源地下结构是一种由地源热泵技术引申而来的崭新的建筑节能技术。它利用地下结构本身处于一定深度而常年保持恒定温度的地层中,将地源热泵系统的地下热交换管直接植入地下结构内,与地下工程部分结构一起形成地下换热器,解决了在城市中推广地源热泵技术中占地和成本高两个主要障碍。本专著是作者研究团队近5年内的最新研究成果的总结。主要介绍了能源地下结构的概念、类型和工作原理;系统论述了能源地下结构的传热理论、勘察和测试方法、设计计算理论和方法、施工技术与质量控制技术,以及能源地下结构中的热交换管与地下结构的热学和力学相互作用,还给出了两个城市地下建筑工程和一个山岭隧道工程中能源地下结构的应用实例。

本书可作为隧道与地下工程、暖通工程、岩土与地质工程等专业从事地源热泵系统勘察、设计、施工、测试的技术和科研人员的参考书,也可以作为相关专业研究生学科交叉研究的教材。

序

近四十年来,我国经济建设持续高速发展,大大增强了综合国力,提高了人民的生活水平,但也付出了很大的资源和环境代价。经济发展与资源环境日趋尖锐的矛盾已经被人们所认识。国家“十一五”规划纲要提出了万元 GDP 能耗降低 20%和主要污染物排放减少 10%的两个约束性指标,是国家贯彻科学发展观和构建和谐社会的重要举措。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需求,其能耗已占到社会总能耗的相当部分。浅层地温能是可以在公共建筑和住宅中直接利用的可再生洁净能源。能源地下结构是利用地下结构本身处于一定深度而常年保持恒定温度的地层中,将地源热泵系统的地下热交换管直接植入地下结构内,与地下工程结构一起形成地下换热器,从而有效地开发利用了浅层地温能。

著者的科研团队创造性地将暖通工程学科的新技术与地下结构结合起来,开展学科交叉研究,解决了地下连续墙内、基坑围护排桩内和山岭隧道衬砌内的地下换热器传热模型,以及能源地下结构中的热交换管与地下结构的热学和力学相互作用等科学问题,提出了能源地下结构的设计计算方法。通过在三处工程中的实施和总结,开发形成了系统的能源地下结构的施工技术及其质量控制方法,成果处于国内外领先水平。因此,能源地下结构理论的提出、设计方法和施工技术的形成,对尽快在我国地下工程中利用这项节能技术,避免在我国地下空间开发建设大发展时期痛失利用这一节能技术的良好时机,具有重要贡献。

《能源地下结构的理论及应用》一书是著者科研团队将近五年来科研成果经总结提炼而成,全书着重论述了能源地下结构的传热理论和能源地下结构的设计计算方法,同时,论述了能源地下结构从概念和分类、地质勘察和热物性测试、施工技术与质量控制方法,形成了系统的能源地下结构设计理论和施工技术。在上海自然博物馆、上海富士康大厦和内蒙古扎敦河隧道三处地下建筑和隧道工程中成功应用,取得了显著的经济和社会效益,为该项节能技术的推广应用积累了宝贵的经验。

能源地下结构是一项崭新的节能技术,涉及岩土工程、地下建筑与隧道工程以及暖通工程等多学科交叉与融合,能源地下结构的传热理论丰富了浅层地温能开发利用的基础理论,拓展了地源热泵的推广应用范围。该书的出版必将对从事地源热泵推广应用和有关领域科学研究人员具有很好的参考借鉴作用,使他们深受助益。

为此,我写了以上一点文字,是为序。

中国科学院院士,同济大学教授

孙钧

2015年中秋,于同济园

前 言

能源地下结构是一种由传统地源热泵技术引申而来的崭新的建筑节能技术。它利用地下结构本身处于一定深度而常年温度恒定的地层中,将地源热泵系统的地理管植入地下结构内,与地下结构一起形成地下换热器,从周围地层中获取或释放热量,比传统冷热空调和热水系统节能 30%~50%,获得的能源具有可再生性、清洁可持续、经济和环境效益显著等特点,解决了在城市推广地源热泵技术中占地和成本高两个主要障碍。以地铁建设为龙头的城市地下空间开发正在我国三十多个城市蓬勃发展,能源地下结构可满足地下建筑物自身和附近建筑物的冷热空调和热水系统的需求,该项节能技术在我国乃至全世界均有着巨大的发展潜力和广阔的应用前景。

2006 年我的博士研究生赵旭被选派到奥地利第二科技大学作合作研究,了解到该校有教授正在从事将地源热泵与地下工程相结合的研究,并发邮件问我是否感兴趣,我让她收集相关资料发给我看看,于是她收集了四篇相关的论文。我那时也正好在美国弗吉尼亚理工大学作访问学者,能有整块的时间静下心来来看资料,仔细研读了这四篇论文后,我认为这是一件很有意义的事情。地源热泵是 21 世纪以来一项节能减排的热门技术,它虽然是暖通工程领域的研究对象,但将热交换管理到岩土和地下结构中就属于岩土工程和地下工程领域的研究对象。将地源热泵的热交换管理到岩土和地下结构中是一项新技术,有很多技术问题要解决,但这项技术是否包含什么科学问题要解决呢?经过一年多的思考,凝聚了能源地下结构主要地下换热器的传热模型以及能源地下结构与热交换管的相互力学作用这两个关键科学问题,我们于 2008 年申请国家自然科学基金面上项目并得到了国家自然科学基金委员会的资助(项目名称为:能源地下结构中的换热器传热模型及热交换管与结构的相互力学作用,项目编号:50878150),非常感谢各位通讯评审专家和会评专家,在本人于地源热泵领域几乎没有工作基础的情况下,能够独具慧眼地给予高度评价。

在经过一段时间的研究后,我希望能找到能源地下结构应用的实际工程。记得 2005 年在进行交通部西部交通建设科技项目“公路隧道健康诊断的应用技术研究”的研究中,曾到甘肃省兰州市的七道梁隧道做该隧道的健康诊断,了解到该隧道的冻害严重,隧道养护部门用给隧道供暖气的方法防止冻害的发生,就想到能否采用埋设于隧道结构内的地源热泵系统来对寒区隧道供暖以实现节能的目的,于是我们于 2009 年写了“寒区公路隧道地源热泵型防冻保暖技术研究”的交通运输部西部交通建设科技项目的建议书并获得立项(项目编号:2009-318-822-047),并且在内蒙古博牙高速公路扎敦河隧道中实施了该项目。同时,我们也在不同的场合呼吁地下工程开发的业主尤其是地铁建设公司能够应用这项新的节能技术。用地源热泵系统节能主要是地铁运行管理部门考虑的事情,地铁建设部门一般主要考虑建设以及建设中的安全问题,不太会考虑运行节能,而且还会担心将热交换管理到地下结构中会影响施工的进度和结构的安全,所以推广还是比较难。但将热交换管理到地下结构中的能源地下结构节能技术只有在地下工程建设阶段考虑进去才能应用,建设好

后就没有应用的机会了。上海自然博物馆的空调系统设计采用了地源热泵系统,原设计采用钻孔埋设埋管的形式,但在勘察时发现场地内有承压水,在基坑底部钻孔埋设埋管不便于施工,而上海地铁13号线穿过上海自然博物馆,在一次技术会议上,知道我在做这方面研究的上海地铁13号线杨国伟总工程师提出可以将地源热泵的埋管埋到地下连续墙内和工程桩内的建议,并推荐设计施工单位与我合作,于是才有了第一个在地铁车站地下连续墙内的能源地下结构,并进行了现场的试验和测试研究工作,研究成果很快在国际著名期刊 *Energy and Building* 上发表。上海沃特奇勒暖通工程有限公司在投标上海富士康大厦的地源热泵工程时,为了能顺利中标,希望在技术标上有创新,该公司房雯博士检索到了我们发表在刊物上的论文,并通过同济大学机械与能源工程学院暖通专业的陈汝龙教授联系我们联合投标,在标书中将富士康大厦的地源热泵系统的埋管埋到该工程的地下连续墙内成为能源地下结构并顺利中标实施,而且做了现场换热能力的测试。2011年8月,英国剑桥大学的 Kenichi Soga 教授来同济大学进行学术交流时,了解到我们在能源地下结构方面的研究工作,推荐我们参加由清华大学牵头的三校联盟[中国的清华大学、美国的麻省理工学院(MIT)和英国的剑桥大学]绿色能源项目,我们先后在清华大学、麻省理工学院(MIT)和剑桥大学召开的该联盟的学术交流会上做了学术报告并获得好评。2012年起,因华东建筑设计研究院有限公司王卫东总工程师邀请,我们参与了由他负责的国家科技部科技支撑计划项目“城市地下空间开发应用技术集成与示范”中的“软土地下空间开发工程安全与环境控制关键技术”课题(2012BAJ01B02),开展了热交换器与地下结构一体化的能源地下结构综合技术的研究。2015年6月5日,住房和城乡建设部主持召开了由清华大学和北京中岩大地工程技术有限公司主编的工程建设行业标准《桩基地热能利用技术规程》(暂名)编制组成立暨第一次工作会议,明确本专著的作者作为主要编制人员负责编写该规程中能源地下结构设计计算、能源地下结构中换热器构造和地下结构传热性能测试等内容,将我们的研究成果编进规范,以便更好地指导该技术在工程中的推广应用。

本专著共七章:第一章绪论,介绍了地表浅层地热能及其开发、能源地下结构概念和类型;第二章能源地下工程的地质勘察和热物性测试,论述了浅层地温分布规律、能源地下结构的地质勘察要求和方法、岩土体热物性测试的原理和方法;第三章能源地下结构传热理论,包括地下连续墙内埋管换热器传热模型、钻孔灌注桩排桩内埋管换热器流-热耦合数值模型、隧道结构内埋管换热器传热模型;第四章能源地下结构设计计算方法,主要包括连续墙内埋管换热器设计计算方法、钻孔灌注桩排桩内埋管换热器设计计算方法、隧道结构内埋管换热器设计计算方法;第五章能源地下工程中的热交换管与地下结构相互作用,主要包括热交换管对结构承载力的影响、系统正常运营时的温度应力对结构和热交换管的影响、结构变形和施工对热交换管的影响,以及系统运行对周围环境的影响等;第六章能源地下结构施工方法与质量控制技术,主要包括地下连续墙内埋管换热器施工方法与质量控制、桩基内埋管换热器施工方法与质量控制、隧道结构内埋管换热器施工方法与质量控制;第七章呈现了上海自然博物馆、上海富士康大厦和内蒙古扎敦河隧道三个典型能源地下结构的工程案例。这些内容是课题组成员共同努力的科研成果,该课题组成员有夏才初、张国柱、孙猛、曹诗定、肖素光、邹一川、朱建龙、杨勇、刘志方和白雪莹等,他们都付出了辛勤的劳动。

能源地下结构是一项崭新的节能技术,涉及岩土工程、隧道工程和暖通工程等多学科



交叉,能源地下结构的传热理论丰富了浅层地温能开发利用的基础理论,拓展了地源热泵的推广应用范围,能源地下结构设计计算方法和施工质量控制技术以及工程实例等研究成果对能源地下结构的推广具有重要的指导意义和示范作用,也是对加快推动节能减排和可持续发展的重要贡献。

由于受作者的水平和能力等因素的限制,本专著所涉及的内容也难免存在一些遗漏和不足之处,敬请广大读者给予指正。

夏才初

2015年9月于东源丽晶

目 录

序
前言

第一章 绪论	1
第一节 地表浅层地热能及其开发	1
第二节 能源地下结构概念	2
第三节 能源地下结构类型	3
一、能源桩	3
二、能源连续墙	4
三、能源隧道	4
第二章 能源地下结构的地质勘察和热物性测试	9
第一节 浅层地温分布规律	9
一、变温带	9
二、常温带	9
三、增温带	9
第二节 能源地下结构的地质勘察	10
一、地质勘察要求	10
二、地质勘察方法	10
第三节 岩土热物性测试的原理和方法	11
一、岩土体热物性参数	11
二、导热系数和热扩散率的现场测试原理	12
三、单位孔深换热量的现场测试原理	14
四、岩土体热物性的现场测试仪器和方法	15
五、岩土比热容测试原理和方法	18
第四节 工程实例	20
一、岩土层的岩性及结构	20
二、地下水水质	20
三、地下水水温、水位、流速及流向	21
四、岩土层原始地温测试及恒温层的确定	22



五、单位孔深换热量测试	24
六、岩土体的综合导热系数	27
七、地温恢复能力测试	28
第三章 能源地下结构传热理论	30
第一节 地下连续墙内埋管换热器传热理论	30
一、地下连续墙内埋管换热器周围温度场二维传热模型	30
二、地下连续墙内埋管换热器内流体温度场一维模型	37
三、影响地下连续墙内埋管换热器换热量的因素	38
第二节 钻孔灌注桩排桩内埋管换热器流-热耦合数值模型	45
一、流-热耦合数值计算简介	45
二、流-热耦合控制方程	46
三、流-热耦合数值几何模型及边界条件	51
四、影响钻孔灌注桩内埋管换热器换热量的因素分析	52
第三节 隧道结构内埋管换热器传热理论	58
一、隧道结构内埋管换热器传热模型	58
二、理论解与现场实测结果的对比验证	74
三、影响隧道结构内埋管换热器换热量的因素	78
第四章 能源地下结构设计计算方法	95
第一节 地下连续墙内埋管换热器设计计算方法	95
一、地下连续墙内埋管换热器的负荷计算	95
二、地下连续墙内埋管换热器的布置形式和参数计算	96
三、地下连续墙内埋管换热器系统的压力损失计算	102
第二节 钻孔灌注桩排桩内埋管换热器设计计算方法	103
第三节 隧道结构内埋管换热器设计计算方法	105
一、隧道供热负荷计算	105
二、热交换管布置形式优化	115
三、热交换管埋设位置优化	118
第五章 能源地下结构中的热交换管与地下结构相互作用	123
第一节 埋管对结构承载力的影响	123
一、地下连续墙内埋管对其承载力影响	123
二、隧道结构内埋管对其承载力的影响	125
第二节 系统正常运营时的温度应力	127



一、温度应力的基本概念	127
二、弹性温度应力理论及有限元计算方法	128
三、系统正常运行时温度应力的数值模拟	129
第三节 隧道衬砌变形和施工对热交换管的影响	141
一、隧道初衬变形对热交换管的影响	142
二、隧道二衬施工对热交换管的影响	144
第四节 系统运行对周围环境的影响	144
一、系统长期运行时周围土层的温度分布特点	144
二、土层热物性对温度场的影响	148
第六章 能源地下结构施工方法与质量控制技术	154
第一节 管材材质及要求	154
第二节 地下连续墙内埋管换热器施工方法与质量控制	155
一、地下连续墙内埋管的构造设计	155
二、地下连续墙内埋管的关键施工方法	157
三、地下连续墙内埋管的施工质量控制措施	161
第三节 桩基内埋管换热器的施工方法与质量控制	165
一、桩基内埋热交换管的构造设计	166
二、桩基内埋管的关键施工方法	169
三、桩基内埋管的施工质量控制措施	172
第四节 隧道结构内埋管换热器施工方法与质量控制	174
一、隧道结构内埋管的施工工艺	174
二、隧道结构内埋管的施工质量控制技术	181
三、隧道结构内埋管的热交换管检测	182
第七章 能源地下结构实例	184
第一节 上海自然博物馆工程能源桩和能源地下连续墙	184
一、工程概况	184
二、灌注桩工程桩及地下连续墙内埋管布置	184
三、地下连续墙内埋管布置形式优化	184
四、地下连续墙内埋管换热能力现场试验	187
五、水泥水化热对换热能力的影响	194
第二节 上海富士康总部大厦能源地下连续墙	198
一、工程概况	198
二、地下连续墙内埋管布置	198



三、地下连续墙墙体原始温度测试·····	198
四、地下连续墙内埋管换热能力现场测试·····	200
第三节 内蒙古扎敦河隧道地源热泵型防冻保暖能源隧道·····	203
一、工程实例·····	203
二、隧道衬砌结构内埋管布置·····	204
三、热响应试验·····	207
四、系统运行效果测试·····	220
参考文献·····	243
后记·····	246

第一章 绪 论

第一节 地表浅层地热能及其开发

在地球浅表层数百米内($<200\text{ m}$)的土壤砂石和地下水中所蕴藏的一种低温热能,即地温能,其能量主要来源于太阳辐射和地球梯度增温。

地温能同传统意义上的地热能都属于地层热能。但地热能指的是地层中温度大于 25°C 异常区的地层热能,而地温能指的是地层中温度小于 25°C 一般层区的地层热能。地热能受地质构造、岩浆活动等地质因素的影响,主要分布于构造活动带和大型沉积盆地之中。通过近30年较大规模的地质调查与勘探发现,我国地热资源虽然储量大(仅次于美国,居世界第二位),但由于埋藏较深,因此开发较困难,开发成本高。而浅层地温能是一种新型、可再生的优质清洁能源,与传统意义上温度较高的地热能相比,它不受地质因素的影响,在地球表层普遍存在,具有分布广、可再生、储量大、清洁环保、可用性强等诸多特点。国内外专家认定:采集大自然低温可再生热能特别是浅层地层热能是21世纪取代传统供热(冷)方式最为现实、最有前途的技术措施。我国已测得的地温能分布层深度在 $10\sim 40\text{ m}$ 之间,其温度(在 $10\sim 23^{\circ}\text{C}$ 之间)与当地的年平均温度相当,不受环境气候的影响,不受地域的限制,根据恒温层的温度特性,或作为热源通过热泵利用 $40\sim 70^{\circ}\text{C}$ 的热能,或作为冷源通过冷却散热利用 $7\sim 12^{\circ}\text{C}$ 的冷能。据专家测算,我国地下近百米深度内的土壤每年可采集的低温能量是我国目前发电装机容量4亿kW的3750倍,而地下百米内地下水每年可采集的低温能量也有2亿kW,可见我国地温能开发潜力巨大。

浅层地温能利用通常需借助于地源热泵(Ground Source Heat Pump,简称GSHP),它是利用地下岩石、土壤、地下水和地表水作为热源的热泵系统。它把传统空调器的冷凝器或蒸发器直接埋入地下,使其与大地进行热交换,或是通过中间介质(通常是水或水和防冻剂的混合液)作为热载体,并使中间介质在封闭环路中循环流动,从而实现与大地进行热交换。在冬天,它以大地为低温位热源,从大地中提取热量,经过热泵转换,提高温度向房屋供热;在夏天,则以大地为高温位热源,将房屋内的热量输送到大地中。由于地下温度十分稳定且很接近房屋居住所需的温度,因此,相对于以大气环境为热源的热泵和燃煤、燃油的供热供冷系统,以大地为提取热量或排放热量热源的地源热泵系统其效率大大提高,同时还减少了燃烧产物的排放和制冷剂的用量,对环保十分有利。该技术对资源依赖性弱、地区适应性强,在许多国家已经得到普遍的应用,我国一些城市也已建立了地源热泵的示范小区。

传统的地源热泵技术有两种,即水源热泵技术和埋管式土壤源热泵技术。水源热泵系统的热源是来自水井、废弃矿井或小河、池塘中的地下水或地表水。绝大部分常用的水源



热泵系统直接抽取地下水或地表水,为开放式系统。开放式水源热泵系统换热效率高、成本低,但由于水中常含有微生物、钙镁离子及硫酸根离子,换热环路易发生结垢、堵塞,系统稳定性差,且长期抽取地下水会引起地面沉降等地质灾害,虽然可采取回灌等手段减少地面沉降,但效果一般不理想,还会引起污染地下水和破坏地下生态环境等不良后果,故许多国家不推荐甚至禁止在一些城市内使用该系统。

埋管式土壤源热泵系统是将换热环路埋在地下岩土介质中的封闭式循环热泵系统,水或其他工质在换热环路管中流动,与岩土介质交换热量(图 1-1)。通常称之为“闭路地源热泵”、“地耦合地源热泵”,以区别于地下水源热泵系统。埋管式土壤源热泵系统的地下换热环路的埋设有水平和垂直两种。热交换管的埋设形状有单 U、双 U、螺旋型等数种。埋管式土壤源热泵系统稳定性好,但是换热能力较水源热泵系统略差。无论是水平埋管还是垂直埋管,由于需要开挖、钻孔等额外施工费用,故工程造价较高;且需要占用一定的土地面积与地下空间,因此它在我国人口密集、寸土寸金的城市地区的推广遇到很大的阻力。

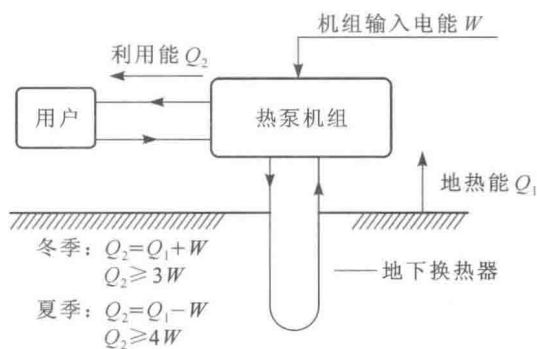


图 1-1 地源热泵系统示意图

第二节 能源地下结构概念

能源地下结构是一种由传统地源热泵技术引伸而来的崭新的建筑节能技术。它是利用

地下建筑结构本身处于一定深度且常年保持恒定温度的地层中,将传统埋管地源热泵的地下环路管系统直接植入地下建筑结构内,与地下工程部分结构一起形成地下换热器(图 1-2),具有可以与地下工程的结构施工协同进行,额外工程费用少,不需要额外占地面积(地下空间),又有可以省去室外机或冷却塔,且传热效果好(钢筋混凝土传热能力强)等优点,一般比传统空调系统节能 30%~50%。同时,由于能源地下结构将地下换热器与地下结构紧密结合了起来,可保证系统的稳定性、耐久性,比一般地下埋管地源热泵系统造价低。可见,能源地下结构在继承传统地源热泵技术优点的同时,还解决了在城市中推广地源热泵技术中占地和成本高两个主要障碍。各种地源热泵

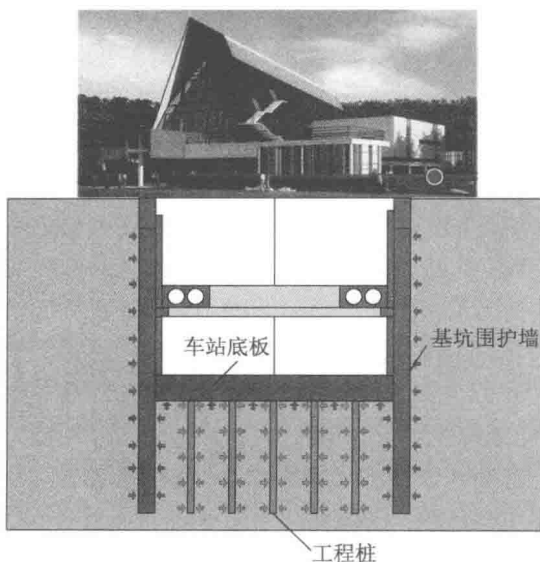


图 1-2 能源地下结构换热示意图



系统的优缺点综合比较如表 1-1 所示。

表 1-1 各种地源热泵系统的优缺点综合比较表

系统类型	水源热泵系统		土壤源热泵系统		能源地下结构
	地下水源	地表水源	水平埋管	垂直埋管	
热交换强度	强	强	弱	较强	较弱
热源稳定性	出水量渐小	温度随季节波动	温度随季节波动	稳定	稳定
占地面积	较少	较少	多	少	极少
初投资	高	最低	较高	最高	较低
运行维护费用	高	最高	低	低	低
运行稳定性	差	最差	较差	较好	好
适用性	受水文地质条件限制		受场地限制		不受限制

能源地下结构最大的特点与创新点就是将换热构件与地下建筑结构融为一体。由于它将换热构件跟地下建筑结构紧密地结合起来,保证了地下换热系统的稳定性和耐久性;造价相对其他节能技术低廉;具有通用性,且不占用额外空间,可与任何地下建筑结构相结合;而且通过它获得的能源具有可再生性、稳定可靠、清洁持久、经济和环境效益显著等特点,因此,该项节能技术在我国乃至国际上都有着巨大的发展潜力和广泛的应用前景。

第三节 能源地下结构类型

任何在地下结构内埋设了地下换热系统的地下工程均可称之为能源地下结构。地下换热系统可埋设在地下结构基坑围护结构(地下连续墙、排桩)内、基础底板下、桩基(钻孔灌注桩、预制桩、PHC 桩等)内;可埋设在新奥法施工的隧道衬砌内或以能源锚杆的形式埋设在其围岩中;也可埋设在地铁区间隧道内、地下输水管道内。只要地下结构具有一定的埋深,只要地下结构周围岩土体温度相对恒定,就可在其中埋设热交换管,将其作为热交换构件,利用热泵技术开发周围岩土体中的地温能。下面对桩基、连续墙内和隧道衬砌结构内埋管换热器进行介绍。

一、能源桩

能源桩是将传统埋管地源热泵的热交换管路安装于桩基内,利用管内循环传热介质与桩周岩土体之间的温差,与桩周岩土体进行热交换。

热交换管路可安装于钻孔灌注桩和预制桩等桩内,安装于桩基内的热交换管可采用 U 型、W 型或螺旋型布置(图 1-3 和图 1-4)。

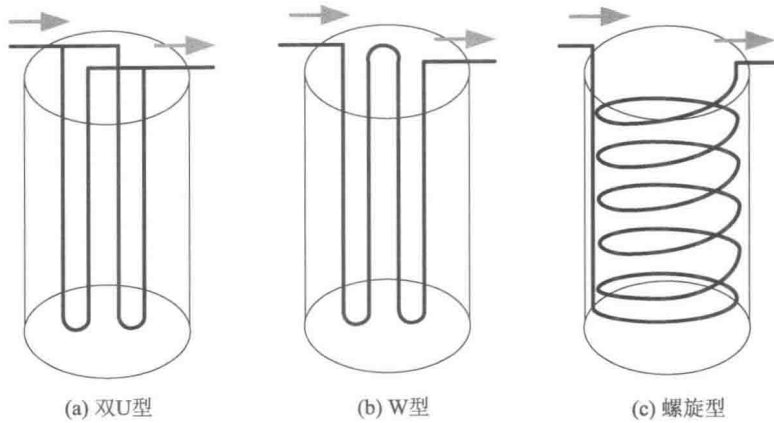


图 1-3 能源桩热交换管布置形式

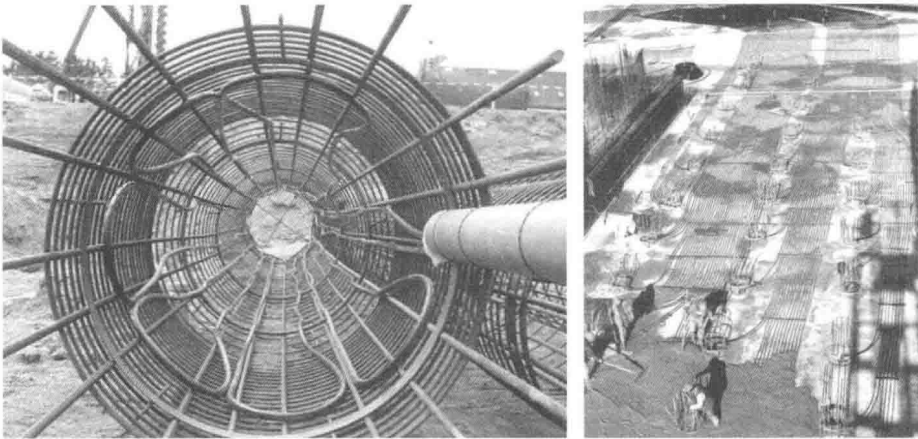


图 1-4 能源桩现场施工图

二、能源连续墙

能源连续墙是将传统埋管地源热泵的热交换管路安装于地下连续墙内,利用管内循环传热介质与墙周岩土体之间的温差,与墙周岩土体进行热交换。

安装于地下连续墙内的热交换管可采用W型、改进W型和单U型埋管布置(图1-5)。能源连续墙的现场施工如图1-6所示。

三、能源隧道

一定埋深的隧道衬砌结构位于可供地源热泵利用的恒温层中,以隧道围岩作为热源,将热交换管布置于初衬与复合式防水板之间或衬砌管片内,利用管内的传热循环介质与围岩之间的温差,通过衬砌结构吸收围岩中的地温能,经热泵对低温的围岩地温能进行提升后,通过封闭循环管路对隧道衬砌、排水系统和路面进行供热,也可以用于隧道周围建筑的供热或制冷。

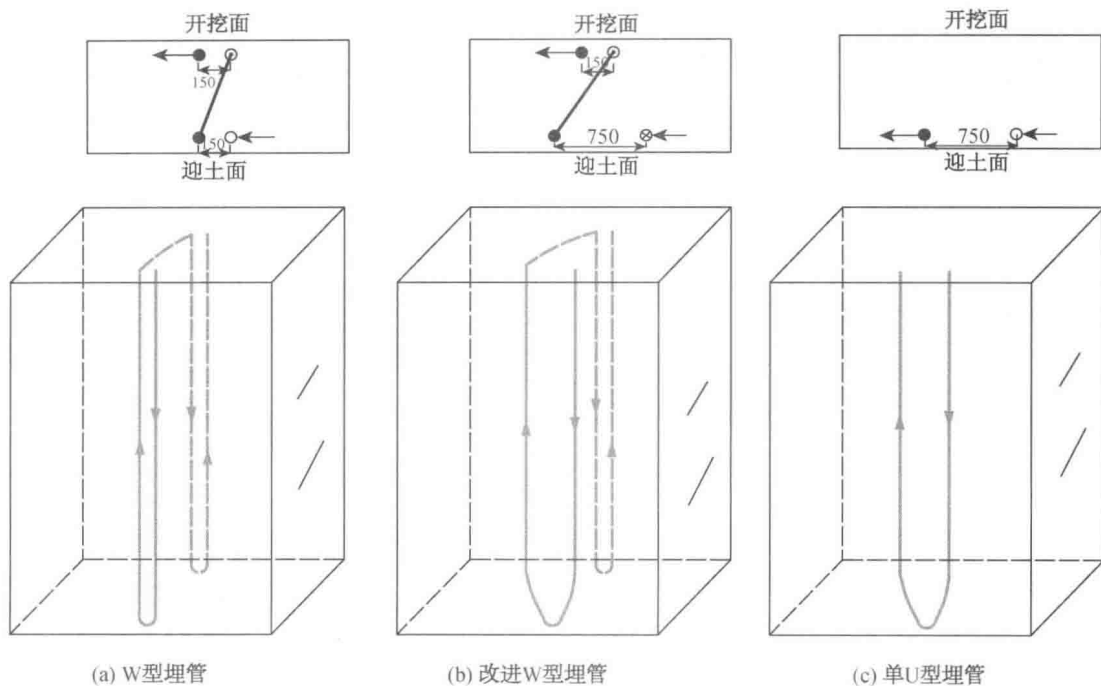


图 1-5 能源连续墙热交换管布置形式



图 1-6 能源连续墙现场施工图

1. 新奥法能源隧道

新奥法能源隧道是将地源热泵热交换管路布设于新奥法隧道初衬和二衬之间,有仰拱的隧道,也可将热交换管路布设于仰拱上方。热交换管布置如图 1-7 所示。