



《北京城市地质丛书》之五

北京

BEIJING

浅层

地温能资源

QIANCEG DIWENNENG ZIYUAN

北京市地质矿产勘查开发局
北京市地质勘察技术院

编著



中国大地出版社

 《北京城市地质丛书》之五

北京浅层地温能资源

北京市地质矿产勘查开发局
北京市地质勘察技术院 编著

中国大地出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

北京浅层地温能资源 / 北京市地质矿产勘查开发局,
北京市地质勘察技术院编著. —北京: 中国大地出版社,
2008. 9

(北京城市地质丛书; 5)

ISBN 978-7-80097-999-6

I. 北… II. ①北…②北… III. 地热能—资源利用—概
况—北京市 IV. TK529

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 143589 号

责任编辑: 程 新 陈维平 谭 静

出版发行: 中国大地出版社

社址邮编: 北京市海淀区学院路 31 号 100083

电 话: 010-82329127 (发行部) 010-82329007 (编辑部)

传 真: 010-82329024

网 址: www.chinalandpress.com 或 www.中国大地出版社.中国

印 刷: 北京市地矿印刷厂

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 11.75

字 数: 280 千字

版 次: 2008 年 9 月第 1 版

印 次: 2008 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 1~2500 册

书 号: ISBN 978-7-80097-999-6/P · 104

定 价: 68.00 元

版权所有 · 侵权必究

《北京城市地质丛书》专家指导委员会

主 任：马延明

委 员：（按姓氏笔画排序）

王淑芳	王瑞江	王增护	方 裕
李宗武	刘延忠	杨东来	严光生
张贻侠	张世宏	赵永平	姜守玉
侯景岩	谢学锦	蒋才俊	董得茂
鲍亦冈	潘 懋	魏连伟	魏汝祥

《北京城市地质丛书》编辑委员会

主 任：卫万顺

副主任：吕晓俭 蔡向民 郑桂森 石小林

委 员：（按姓氏笔画排序）

卫万顺	韦京莲	王跃进	王翊虹	石小林
冉伟彦	叶 超	吕晓俭	李 宇	李文伟
李宁波	刘学清	邵胜军	邹登亮	郭 萌
郑桂森	秦 沛	蔡向民		

主 编：卫万顺

副主编：吕晓俭 蔡向民 郑桂森 石小林

编 辑：栾英波

《北京浅层地温能资源》

编 委 会

主 编：卫万顺

副 主 编：郑桂森 冉伟彦 李 宇

编写人员：卫万顺 郑桂森 冉伟彦 李 宇

李文伟 叶 超 徐光辉 刘清晓

江 剑 邹元霖 王新娟 于 媛

李宁波 王立发 王泽龙 栾英波

马学利 刘 予 杨俊伟 陈志宏

编 辑：栾英波

总 序

随着科学技术进步和工业化发展,全球城市化进程正在急剧加快。据联合国最新报告预测,2008 年底全球人口将有一半生活在城市,到 2050 年中国城市人口可能会超过总人口的 70%。可持续发展是未来城市发展的方向,全球城市可持续发展面临着四个方面的特殊挑战:一是需要提供安全的居住空间;二是需要提供安全饮水和卫生设施;三是需要严格管理固体垃圾;四是需要控制空气污染。这些挑战均与城市地质问题相关联,研究和解决这些复杂的问题,迫切需要地质工作的有力支撑。

城市地质工作是城市发展过程中基础性、前瞻性和先行性的工作,它以保障城市可持续发展为目标,对城市规划、建设、运行和管理服务具有十分重要的作用。

北京城市地质工作始于 20 世纪 60 年代,进入 21 世纪后得到了快速发展,取得了令人瞩目的成就。在基础地质方面,先后完成了两轮 1:5 万区域地质调查,其成果和数据已应用在北京经济建设的各个领域;开展了地层、古生物、岩浆岩、构造、成矿条件等方面的研究,陆续出版了《北京区域地质志》等专著。水文、工程、环境地质研究程度在国内处于领先水平,先后完成了不同比例尺城市供水、农田供水、厂矿供水等水文地质勘查,特别是 1994 年开始陆续实施的怀柔、平谷、房山等应急水源工程,保证了连续 9 年干旱条件下首都的供水安全;多年来坚持开展地下水动态和水质监测和调查,为保护地下水资源、防治地下水污染、保障饮水安全提供了有力支撑;首次完成的北京生活垃圾处置现状调查及规划选址,为生活垃圾处置场地科学选择提供了规划依据。城市地质安全方面,完成了区县地质灾害区划和防治规划,开展了城市活动断裂及地壳稳定性研究和评价,并针对奥运公园开展了大比例尺地质调查,为城市规划和奥运场馆建设提供了科学依据。为减轻大气污染,积极推动地热、浅层地温能等绿色环保新能源的开发和研究,对地热资源和浅层地温能资源开展了综合地质调查和评价,并对地质环境影响进行了试验和研究。

城市在不断发展和进步,城市地质的工作领域也将不断拓展,研究程度也将不断提高。对于首都的地质工作者来说,更好地为首都建设服务是我们共同的目标,建设“两项工程、一个系统”的城市地质发展战略保障体系还需要我们长期的努力。

回顾 50 年来北京城市地质工作的历程,并将多年来取得的成果和经验系统整理,我们出版了《北京城市地质丛书》,包括《北京城市地质》、《北京城市地质图集》、《北京地下水》、《北京地质灾害》和《北京浅层地温能资源》等共 5 册。今后我们还将陆续推出丛书的其他专著,及时介绍最新研究成果。希望这套丛书能总结过去、思考未来,为城市地质工作提供一些借鉴和参考。

魏连伟

序

浅层地温能是一种清洁的可再生资源,有广阔的开发应用前景,这是《北京浅层地温能资源》一书提出的重要观点。目前我国应用热泵技术开发利用浅层地温能的形势发展得又好又快。2007年北京应用热泵供暖和制冷的建筑面积达到1050万 m^2 。“十一五”期间,北京市利用浅层地温能的建筑面积将达到3500万 m^2 。目前,沈阳利用浅层地温能的建筑面积已达到1800万 m^2 ,到2010年底,力争实现6500万 m^2 ,代替1/3以上的传统能源。辽宁省已决定在全省推广应用热泵技术开发利用浅层地温能资源。

虽然我国热泵技术应用发展很快,但有许多突出的问题未能很好地解决,如:热泵系统设计不合理,功率过大,造成资源浪费;热泵选择不当,导致运行不畅或效率低下,同时也造成环境破坏,已建的大部分热泵工程未建立地下水与岩土监测系统,未进行岩土热物性参数测试等等。本书从“资源”概念出发,提出开发浅层地温能必须开展地质勘查评价工作,在对资源科学评价基础上,针对不同地区以其适宜性条件为依据,选择最有效的热泵应用方式,从而达到节能减排的最佳效果。

本书提出了浅层地温能资源科学评价体系,即通过有效的地质勘查手段,查明一定区域内浅层地温能赋存的水文、地质条件,进行热泵应用方式分区,划分水源地、地源热泵适宜区;在不同的适宜区选择不同的资源量计算方法并确定计算应用参数,实测岩土体热导率等一系列热物性参数,利用这些参数计算区域内地下15~200 m内的资源量,获得区域的地温能基础资源量。他们的大量实践证明,这是一种行之有效的评价方法体系。

利用资源量和岩土体热物性参数,计算出合理地地温能供暖面积、热泵工程间距、深度,不仅科学合理地规划了工程布局,也极大地提高了系统的效率。

本书从资源应用后的环境效应角度出发,预测了由于开发浅层地温能可能引发的环境问题,提出应实施监测,获得在供暖、制冷工况下能量转化和对地下水、土壤温度以及地温场产生的各种影响,以提高资源的可持续利用保证程度,充分体现了以理念促发展的思想。

本书提出的思想方法和工作体系是解决热泵技术应用中存在的各种问题的钥匙。完善和提高这一思想方法体系必将对浅层地温能资源的应用开发起到重要的推动作用。

本书是北京市地质矿产勘查开发局多年工作成果的集成。他们在浅层地温能应用的理论研究和实践探索上迈出了可喜的一步,积累了宝贵的经验。书中许多资料和实例都选自工程实践,对于同类条件地区开发利用浅层地温能工作具有借鉴作用。

我以中国矿业联合会地热专业委员会总顾问的身份向他们表示祝贺,并希望他们在浅层地温能资源的理论研究和开发实践中继续努力,为科学开发浅层地温能,推动我国节能减排工作作出更大贡献。



中国工程勘察大师、国务院参事

中国地质调查局高级咨询专家

2008年5月10日

前 言

能源是人类赖以生存和发展的基础，是经济社会可持续发展的重要物质保证和必要推动力。能源问题是现实社会中一个具有战略意义的重要问题，一个国家经济发展的快慢在很大程度上取决于这个问题的解决。

自从进入 20 世纪，世界能源消费增长很快。1900 年全世界能源的总消费量相当于 $7.75 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤，到 1980 年就达到了大约 $100 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤。2005 年，美国埃克森美孚公司在其年度能源展望报告中称，到 2030 年的 25 年内全球能源消耗将上升 60%。

石油、天然气、煤、核能和地热是人类生活和经济建设的五大能源。从能源结构来看，石油是目前世界上消耗最多的能源。20 世纪 60 年代以前，大量应用的能源是煤、石油、天然气，能源结构以煤为主；由于石油的开发利用和发达国家工业的快速发展，60 年代石油用量急剧增加，在 20 世纪 70 年代末，石油和天然气的消耗量接近全世界能源消耗总量的 70% 左右。世界已探明的石油储量按现在每年开采水平计算，只够开采 70 年；煤的可开采储量以目前每年消耗量计算，仅可供全世界使用 200 年。

随着煤、石油、天然气等常规能源的日趋枯竭，经济的发展和能源消耗量的大幅度增长，能源的储量、生产和使用之间的矛盾将会日益突出，成为世界各国面临的亟待解决的重大问题之一。

我国的能源蕴藏量位居世界前列，但是，人均能源资源占有量和消费量远低于世界平均水平，因此我国仍然是能源资源严重短缺的国家。我国石油、天然气人均剩余可采储量仅有世界平均水平的 7.7% 和 7.1%，储量比较丰富的煤炭也只有世界平均水平的 58.6%。从能源资源赋存及利用现状看，主要能源结构是煤炭和石油，二者占能源总消耗的 90% 左右。水力发电、天然气、煤层气、核能、太阳能和风能所占比例很小。

中国能源现状具有以下特点：

(1) 人均能源资源相对不足，资源质量较差。我国常规能源资源的总储量就其绝对量而言，是较为丰富的。但由于我国人口众多，人均能源资源占有量仅相当于世界平均水平的二分之一。目前，在世界能源产量中，高质量的液、气体能源所占比例为 60.8%，而我国仅为 19.1%。

(2) 能源生产消费以煤为主，能源生产消费结构不合理。在我国的能源生产消费结构中煤炭始终占有较大的比重，1998 年，原煤在一次能源生产中所占比重为 74.2%，在能源消费结构中，所占比重为 75.6%。根据联合国环境规划署（UNEP）和联合国开发计划署（UNDP）1995 年的世界资源报告，在全球能源结构中，世界为：液体 37.1%，气体 23.7%，固体 29.2%，一次电能 9.9%；发达国家为：液体 36.7%，气体 27.4%，固体 24.1%，一次电能 11.7%；发展中国家为：液体 37.3%，气体 14.1%，固体 43.7%，一次电能 3.8%；而我国为：液体 17.5%，气体 1.6%，固体 75%，一次电能 5.9%。

(3) 能源供需形势从长期看依然十分紧张。我国的能源生产经过 50 多年的努力，取

得了十分显著的成绩,能源紧张的矛盾明显缓解。然而与经济的长远发展需要相比,仍存在着较大的差距,特别是洁净高效能源,缺口依然很大。

(4) 能耗水平高,能源利用率低下。按万美元 GDP 能耗分析,全球平均为 4.2t 标准煤/万美元,而我国为 15.74t 标准煤/万美元,是其 3.74 倍。目前我国第一产业能耗水平为 0.90t 标准煤,第二产业为 6.58t 标准煤,第三产业为 0.91t 标准煤。产业结构的不合理、能源品质低下,管理落后等是造成能耗水平较高的重要原因。

(5) 能源环境问题日趋严重,制约了经济社会发展。以城市为中心的环境污染进一步加剧,并开始向农村蔓延,生态破坏的范围仍在继续扩大。大气污染以煤烟型污染为主,烟尘和酸雨危害最大。北方城市中总悬浮颗粒物(TSP)超标大于 30% 的城市占 85% 以上;酸雨则在华中、西南最严重。目前,在污染环境的各因素中,70% 以上的总悬浮颗粒物,90% 以上的二氧化硫,60% 以上的氮氧化合物,85% 以上的矿物燃料生产的二氧化碳均来自煤炭。

面对这种生态环境恶化的严重形势,我国提出了“十一五”时期要实现的目标:生态环境恶化趋势基本遏制;主要污染物排放总量减少 10%;温室气体排放控制取得成效。

能源短缺和环境污染的双重压力迫使我们在节能的基础上必须大力寻找和开发可再生、绿色环保的新型能源。我国日前公布了可再生能源中长期发展规划,确定到 2020 年可再生能源占到能源总消费的 15% 的目标,全国可再生能源利用量将相当于 6×10^8 t 标准煤。预计到 2050 年,我国可再生能源在能源消费总量中,将会达到 30% 或更高水平。这将有利于我国能源结构的调整和保障能源供应安全,对减少温室气体排放、保护环境发挥更加重要的作用。

可再生能源是人类能源的希望,是指在自然界中可以不断得到补充、不断再生、永续利用、取之不尽、用之不竭的资源,它是清洁能源,对环境无害或危害极小,而且资源分布广泛,适宜就地开发利用。主要包括太阳能、风能、水能、生物质能、地热能 and 海洋能等,浅层地温能能源是一种新型资源。

浅层地温能资源作为一种可再生能源,它的开发利用是借助热泵技术来实现,随着热泵技术的不断成熟,在 1973 年的世界能源危机后开始飞跃发展,到 20 世纪 80 年代,在西方发达国家已得到广泛应用。而我国则是近年来随着经济、环境和能源之间矛盾的逐渐加剧,才逐渐被人们认识、接受和重视,近几年得到了快速的发展。北京地区是我国开发利用浅层地温能最为前沿的地区,自 2000 年首个地下水式地源热泵项目建成投入商业运行以来,项目数量及服务面积均呈大幅度增长,年平均增长率高达 150% ~ 200%。

但是,随之而来的问题也不断出现。比较突出的如换热系统设计不合理,设备选型不当,功率偏大,换热效率低造成资源浪费;工程量增加造成土地资源的浪费等。究其原因目前的开发利用都是从暖通空调技术、热泵机组技术角度,从空调系统末端进行研究与设计,忽视了浅层地温能的根本属性。本书提出将浅层地温作为一种特殊资源来对待,基于以下理由:浅层地温具备资源的基本属性——在一定技术经济条件下可被利用;特殊性在于其具有可再生性。任何一种资源在被利用之前,都应先进行评价,然后依据资源赋存条件、资源量、需求程度、经济技术水平等因素对其开发利用进行规划设计。按这一思路开展浅层地温利用就可从根本上解决上述问题。本书目的即在于此。

本书是北京市开展浅层地温能资源地质勘察的成果总结,所引用的资料均来自实际工

程和调查成果。书中对浅层地温能资源赋存地质背景、评价方法、评价参数选择及影响参数的因素、综合效益进行了探讨,对因其开发利用引起的问题作了初步分析,提出了相应对策。本书仅将作者的思路 and 做法推介给大家,抛砖引玉,期望引起对浅层地温资源的关注和理论上的深入探讨,推动对其评价理论方法体系的形成与完善。同时希望通过本书既可以让从事热泵开发事业的从业人员对浅层地温能资源的知识有一个比较全面的认识,又能对具体设计热泵系统的技术人员在选取工程参数时有一个指导作用;既要推进这项事业的发展,又能使开发者认识到它可能造成的环境影响而加以注意。另外,我国地域广阔,南北东西差异很大,各地区地质、水文地质条件复杂多变、各不相同,而作者引用的工程实例和开展的研究均围绕北京地区开展,是以北京地区为例,因此各地区在开发利用浅层地温能资源时应慎重考虑各自不同的地质条件,本书仅作参考。

由于我国浅层地温能开发利用时间尚短,涉及的专业知识很多,而作者水平有限,因此书中肯定会有不少欠缺或不妥之处,还望读者批评指正。

本书编写由北京市地质矿产勘查开发局牵头组织,得到了中国地质调查局浅层地温能研究与推广中心、北京市地质勘察技术院、北京市地质工程勘察院、北京市地质调查研究院等单位的大力支持,抽调本单位多年从事浅层地温能研究与开发工作的专家、技术人员参与了本书的编写。本书的具体分工为:第一章由冉伟彦、刘清晓编写;第二章由冉伟彦、刘清晓、马学利编写;第三章由李宇、刘予、江剑、王立发编写;第四章由郑桂森、于浞编写;第五章由李文伟、徐光辉、邹元霖、陈志宏编写;第六章由李文伟、叶超、王立发、江剑、刘清晓、冉伟彦编写;第七章由郑桂森、李宇、李宁波、王泽龙、栾英波、杨俊伟编写;第八章由李文伟、徐光辉、邹元霖编写;第九章由卫万顺、李宁波、郑桂森编写。郑桂森、马学利、栾英波负责完成全书的统稿、修改工作及前言、后记的编写,最终由卫万顺修改定稿。

本书2008年4月中旬完成初稿,后又经近2个月的修改、校对,最终于2008年6月定稿,定名为《北京浅层地温能资源》。在此,作者对在本书编写过程中提供过资料、建议和帮助的单位和个人表示深切谢意。

对中国工程勘察大师、国务院参事王秉忱研究员在百忙之中为本书作序,并提出宝贵意见,再次表示衷心的感谢!

编著者

2008年6月10日

目 录

第一章 浅层地温能资源	(1)
第一节 基本概念及特点	(1)
一、浅层地温能	(1)
二、资源特点	(3)
第二节 浅层地温能影响因素	(3)
一、岩土体的一些基本物理、热物理性质	(4)
二、热的传导机理	(8)
第二章 浅层地温能赋存条件	(11)
第一节 区域地质构造对浅层地温资源的控制作用	(11)
一、区域地质构造对地温场的控制作用	(11)
二、区域地质构造对城市分布的控制作用	(12)
第二节 北京浅层地温能蕴藏的区域地质背景	(16)
一、北京市自然地理概况	(16)
二、北京的构造和地层	(18)
三、北京平原区的第四系结构特征	(22)
四、北京市平原区第四系地下水系统	(24)
五、地下水的动态特征	(26)
第三章 浅层地温能资源开发利用现状	(29)
第一节 浅层地温能获取方式及地源热泵的工作原理、特点	(29)
一、地下水热泵系统	(31)
二、埋管地源热泵系统	(41)
第二节 国内外利用现状	(46)
一、国内地源热泵发展概况	(46)
二、地源热泵在国外的的发展	(51)
第三节 北京地区浅层地温能资源开发利用现状	(54)
一、北京地区浅层地温能资源开发利用	(54)
二、北京地区浅层地温能资源开发利用存在的主要问题	(59)
第四章 浅层地温能资源开发利用分区	(62)
第一节 分区目的、原则	(62)
一、分区目的	(62)
二、分区原则	(62)
三、分区依据	(62)
四、分区类型	(63)

第二节 分区方法及指标	(63)
一、地下水热泵适宜性分区	(63)
二、地埋管热泵经济性分区	(66)
第三节 北京地区地下水热泵开发利用适宜性分区	(67)
一、地下水热泵适宜性分区划分标准	(67)
二、地下水热泵适宜性分区结果	(68)
第四节 北京地区地埋管热泵经济性分区	(69)
一、地埋管热泵经济性分区划分标准	(69)
二、地埋管热泵经济性分区结果	(70)
第五节 北京市平原区浅层地温能不同利用形式分区	(70)
第五章 浅层地温能资源评价	(72)
第一节 资源量计算相关参数的选择	(73)
一、各种计算方法中的相关参数	(73)
二、参数获取方法和边界控制	(78)
第二节 各类参数获取方法可信度评估	(96)
一、基础参数和成果	(96)
二、测试参数	(96)
三、计算参数	(98)
四、经验、常量参数	(98)
第三节 浅层地温能资源估算实例	(98)
一、地下水热泵适宜区浅层地温能资源量计算	(98)
二、地埋管热泵经济区浅层地温能资源量计算	(100)
第四节 浅层地温能资源综合评价体系	(103)
第六章 浅层地温能资源开发利用典型实例分析	(105)
第一节 地源热泵项目实例分析	(105)
一、北京市昌平区某地源热泵供暖、制冷设备改造项目	(105)
二、北京市昌平区北七家镇某培训基地地源热泵改造工程	(113)
三、中石化管理干部学院地源热泵系统	(116)
第二节 地下水热泵项目实例分析	(120)
一、北京市昌平区某地下水热泵工程	(120)
二、北京海淀区某大厦地下水热泵工程	(125)
三、北京市海淀区海兴大厦地下水热泵工程	(126)
第七章 浅层地温能应用效益分析	(127)
第一节 国家对清洁能源的需求	(127)
第二节 经济效益分析	(128)
一、已建项目的运行能耗	(128)
二、效益评价指标的选取	(134)
三、评价方法的选择	(135)
四、确定评价指标权重	(136)

五、综合效果测度法评价·····	(140)
第三节 节能减排效果·····	(144)
一、节能效果分析·····	(144)
二、减排作用·····	(146)
三、北京开发利用浅层地温能的节能减排效果·····	(148)
第八章 地质环境监测·····	(149)
第一节 监测工作的必要性·····	(149)
第二节 监测工作目的·····	(150)
第三节 监测系统建设方案·····	(150)
一、地下水热泵系统的地质环境监测·····	(150)
二、地埋管热泵系统的地质环境监测·····	(154)
三、监测数据远程传输系统·····	(160)
第四节 技术要求·····	(162)
一、测试元器件精度要求·····	(162)
二、观测结果·····	(162)
第九章 浅层地温能资源开发利用展望·····	(165)
一、开发利用的需求背景·····	(165)
二、浅层地温能发展的特有优势·····	(165)
三、发展现状·····	(166)
四、开发利用的策略·····	(166)
参考资料·····	(168)
后 记·····	(169)

第一章 浅层地温能资源

第一节 基本概念及特点

一、浅层地温能

浅层地温能不是传统意义上的地热能。地热能是指地球内部的热能。地球热源分为外部热源和内部热源。地球外部热源主要包括太阳辐射热、潮汐摩擦热和其他外部热源,太阳辐射热控制着大气层、水圈、生物圈及岩石圈发生的各种生物、化学及其他作用,地球表面及近地表处的温度场,主要取决于太阳辐射热和内热的均衡;潮汐摩擦热又称潮汐摩擦能,它也是全球热源中的一种经常起作用的全球性能源,据 M. 托普扎尔(1960)估算,每年产生的热能量为 5×10^{18} cal。地球内部热源主要由放射性衰变热、地球转动热以及外成-生物作用释放的热能。放射性衰变热是地球内部岩石和矿物中具有足够丰度、生热率较高、半衰期与地球年龄相当的放射性元素衰变时产生的巨大能量,它构成了地球的主要热源;地球转动热是由于地球及其外壳物质密度的不均匀分布和地球自转时角速度的变化,引起岩层水平位移和挤压而产生的机械能,地球转动热在地球内部热源中居于次要地位;外成-生物作用产生的热量一般称化学反应热和化学能,是地球中经常起作用的热源。

地球内部生成和储存的巨大能量,是推动地球发展的内在动力。地球内部热源和外部热源的共同作用,形成了近地表现今热分布状态。

《地热资源地质勘查规范》(GB11615—89),地热资源是指在我国当前技术经济条件下,地壳内可供开发利用的地热能、地热流体及其有用组分。浅层地温能是以广义的地热资源概念为基础。人们所谓的地热主要从自然出露的温泉、地球的火山活动的现象中开始的,习惯上称储存于地下岩石和岩石孔隙裂隙中的天然热能,把储存于地下、具有一定质量(品级)和数量、可供开发利用的那部分热能称为地热资源。依据地热资源开发利用的发展变化,广义的地热资源包括:

(1) 变温层中的地温资源:位于地下表层,深度一般小于 30m (因地而异),地热来自地球深部的热传导和太阳光的辐射,温度受年气温变化的影响,低于当地年平均气温,可通过水热交换方式利用其部分低品位地热(温)资源用于供暖或空调。

(2) 浅层地热资源:位于常温层之下、较经济的开采深度一般小于 200m 的低品位地热资源,地热主要来自地球深部的热传导,温度略高于当地年平均气温 $2^{\circ}\text{C} \sim 3^{\circ}\text{C}$,比较恒定,储存于地下岩石(土层)和岩石裂隙或土层孔隙的水体中,可通过水热交换方式利用其部分低品位地热资源用于供暖或空调。

(3) 地热异常区及深部热储中的地热资源:即分布于地热异常区(一般为天然温泉出露区)及隐伏于地下深部热储中具有开采经济价值的高品位地热资源。地热来自地球

深部的热传导和热对流, 储存于地下岩石(土层)和岩石裂隙或土层孔隙的水体中, 温度随深度或靠近地热异常区增加, 且大于 25°C , 可利用的地热资源目前主要限于深度小于 4000m 的资源, 通过钻井直接开采地下热水予以利用。

浅层地温能是存在于传统地热盖层中的低温传导热, 传统地热是指热储层中品位较高可以直接利用的对流热。

尽管浅层地温能资源的应用现在已开辟了一个大好的局面, 但对浅层地温能理论的研究仍存在很大的争议, 就目前来说主要有两大学术派别。一种观点认为根据地球大气温度、地温全年恒定的事实可以从理论上证明, 地球吸收太阳能最终仍旧以红外长波的形式全部辐射到宇宙; 太阳能只影响岩土层的变温带, 深度只有 30m 左右。 $0 \sim 200\text{m}$ 地下岩土恒温层是地心热耗散流动过程中造成的温度场, 在岩土层中提取的热量是其蓄热, 而绝非是再生迅速、取之不竭、用之不尽的太阳能。所以叫浅层地温能是不实的。

另一种观点认为浅层地温能属于既可恢复又可再生是取之不尽用之不竭的低温能源, 它是在太阳能照射和地心热产生的大地热流的综合作用下, 存在于地下近表层数百米内的恒温带中的土壤、砂岩和地下水里的低温地热能。不是传统概念的深层地热, 是地热可再生能源家族中的新成员, 它不属于地心热的范畴, 是太阳能的另一种表现形式, 广泛地存在于大地表层中。

针对以上两种观点, 作者认为浅层地温能是蕴藏在浅层岩土体和地下水中的低温地热资源。地热能的来源分为两个途径, 一个是来自地球外部, 在地表以下约 $15 \sim 20\text{m}$ 的范围内, 由于受太阳辐射的影响, 其温度有着昼夜、年份、世纪、甚至更长的周期性变化, 称之为“外热”; 一个是来自地球内部, 在地表以下, 太阳辐射的影响逐渐减弱, 在达到一定的深度时, 这种影响基本消失, 此时太阳辐射与地球内热之间的影响达到平衡状态, 温度的年变化幅度接近于零, 称之为“恒温带”。恒温带很薄, 其厚度一般为 $10 \sim 20\text{m}$, 并随温度而异。恒温带在某种程度上反映地壳浅层地温场的状况, 同时也是评价和预测地壳深部地温的基本参数。在恒温带以下, 地温场完全由地球内热所控制, 地温随深度的增加而增高, 其热量的主要来源是地球内部的热能。该层称为“增温带”(图 1-1)。

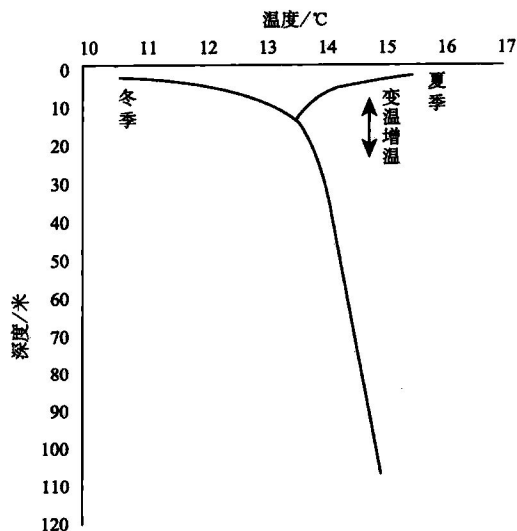


图 1-1 变温带、恒温带和增温带的关系

从图 1-1 中可以看出,在中纬度地区变温带是指地壳的表层大约 15m 以上的部分,温度变化的幅度随着受太阳辐射的影响而呈现出明显的季节性变化特点,在冬季由于地表温度的降低,近地表的变温带温度呈正梯度,越靠近地表,温度越低;而在夏季,受太阳辐射的影响,浅部温度垂向上呈负梯度,越靠近地表,温度越高,热流向下传导。由于岩土体的热导率很小,太阳辐射的周期性,虽然太阳辐射的能量巨大,但是不能达到地壳的深部。在深度为 30~100m 的范围内,温度的变化为 2℃,属正常增温。

从前面的论述中,我们可以看出浅层地温能是蕴藏在地壳浅部变温层以下一定深度范围内(一般小于 200m)岩土体和地下水中、受太阳辐射的程度较小、温度相对稳定(一般恒定在 10℃~25℃之间)、在当前技术条件下具备开发利用价值的低温地热资源。浅层地温能分布广泛,可迅速再生,循环利用。因此,不同地方,冬季、夏季,利用此相对恒定温度的低温热能可就地取材,比较方便。

二、资源特点

1. 能够与热泵技术紧密结合给建筑物供暖和制冷

利用浅层地温能主要是运用地源热泵技术,根据地下常温土壤或地下水温度相对稳定的特性,通过输入少量的高品位电能,将低品位热能向高品位转移,来实现建筑物的供暖和制冷,其效能比可达到 3,因此其在经济上比较合算。每建筑平方米投资约为 250~380 元,比同样满足供暖、制冷和生活热水条件的燃气锅炉和空调系统等降低 20%~30%,几年即可收回设备的初始投资,可见其可用性强。

2. 可循环再生

浅层地温能的能量主要来源于地球内部的热能(少部分来自太阳辐射能),而这两种能源相对人类历史来说为可再生资源,从我们利用浅层地温能资源角度来讲,冬季从地层中取出热量给建筑物供暖,夏季吸收建筑物的热量释放到地层中储存,这样,全年中建筑物冬季采暖所需的热量,总体上可与来自地球深部的热传导和夏季储存的热量实现平衡,使浅层地温能得以能够持续循环地利用。

3. 储量巨大

据专家测算,我国近百米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 $4 \times 10^8 \text{ kW}$ 的 3750 倍,而百米内地下水每年可采集的低温能量也有 $2 \times 10^8 \text{ kW}$ 。经计算北京规划城区 2000 km^2 浅层地温能的储量相当于 $1.07 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤。

4. 可就近利用

由于浅层地温能是蕴藏在地壳浅部的一种自然资源,具有可就近利用、无环境污染、使用方便、基本不受地域限制等优点,是理想的“绿色环保能源”。

第二节 浅层地温能影响因素

浅层地温能蕴涵在地壳浅部空间的岩土体中,向下接受地球内热的不断补给,向上既接受太阳、大气循环蓄热的补给,又向大气中释放过剩的热量。因此,从宏观地质角度上讲,地球天然温度场分布、水圈、大气圈、太阳等对它都有影响,表现在地温的高低与板块构造的活动性、纬度、水循环、大气循环等密切相关,上述这些现象可以称为“浅层

地温能的呼吸”。浅层地温能的循环是清洁的、周而复始的，是可再生的。从微观区域地质上看，浅层地温能受控于区域地质、水文地质条件，即当地地层沉积组合、岩性特征、地下水动态等，特别是岩土体结构和综合物理、热物理性质是研究浅层地温能的基础。

另外，浅层地温能资源开发利用的关键是开发利用技术的出现、不断创新，以及社会经济发展到一定阶段对节能减排、环境保护和可再生能源的必然需求。热泵技术为浅层地温能资源的开发利用创造了条件。为了说明浅层地温能影响因素，首先需要了解蕴涵浅层地温能的岩土体的一些基本物理、热物理性质。

一、岩土体的一些基本物理、热物理性质

1. 岩石的主要物理性质

天然岩石受地质环境的制约，常常表现为不均一性和各向异性的特点，在分析判别岩石的热物理性质时岩石的物理性质是基础。

(1) 比重：岩石的固体颗粒重量与其同体积水在 4℃ 时的重量之比称为岩石的比重 (Δ)。

$$\Delta = \frac{W}{V_s \cdot r_w}$$

式中： W ——绝对干燥时岩石的重量；

V_s ——岩石干燥重为 W 时其中固体颗粒的体积；

r_w ——水在 4℃ 时的容重。

(2) 容重：

岩石单位体积的重量称为容重，容重在不同的含水状态分为干容重、天然容重和饱和容重三种。

常用干容重 (r_d) 作为容重的评价指标 (单位： kg/m^3)：

$$r_d = \frac{G}{V}$$

式中： V ——岩石体积；

G ——岩石的重量。

(3) 孔隙度：

岩石的孔隙体积与岩石的总体积的百分率 (n)：

$$n = \frac{V_s}{V}$$

式中： V_s ——岩石孔隙体积；

V ——岩石总体积。

(4) 孔隙比：

岩石中孔隙体积和岩石固体颗粒体积之比称孔隙比 (ξ)。孔隙比 ξ 可由孔隙度直接计算求得：

$$\xi = \frac{n}{1 - n}$$