浅层地温能资源评价

卫万顺　郑桂森　冉伟彦　李文伟　李　宇◎等著

中国大地出版社

浅层地温能资源评价

卫万顺　郑桂森　冉伟彦　李文伟　李　宇　等著

中国大地出版社

·北　京·

内 容 提 要

本书以系统论为统领，以资源持续利用为目的，以岩石学、沉积学、地层学、构造地质、水文地质、热传输理论为基础，系统论述了浅层地温能资源赋存条件评价、资源潜力评价、环境影响评价、经济效益评价及资源评价信息系统等方面的基本原理和方法，建立了一套完整的浅层地温能资源评价体系，详细介绍了“北京平原区浅层地温能资源地质勘查”工作的思路和做法。突出体现了创新性、试验性、系统性和实践性，是一部实践与理论结合、试验与工程结合、成因研究与评价方法结合的内容丰实的专著，对指导全国浅层地温能资源评价具有重要的指导作用。

本书可供从事浅层地温能资源勘查评价和开发利用的教学、科研和生产人员以及高等院校本科生和研究生参考。

图书在版编目（CIP）数据

浅层地温能资源评价/卫万顺等著. —北京：中国大地出版社，2010.7

ISBN 978-7-80246-335-6

Ⅰ.①浅… Ⅱ.①卫… Ⅲ.①地热能—资源—评价—北京市 Ⅳ.①TK529

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 141299 号

责任编辑：李 颖 赵 芳 陈 磊
责任校对：黄苏晔
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） 82329120（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：北京天成印务有限责任公司
开 本：787mm×1092mm 1/16
印 张：12.25
字 数：290 千字
版 次：2010 年 7 月第 1 版
印 次：2010 年 7 月第 1 次印刷
印 数：1—1800 册
书 号：ISBN 978-7-80246-335-6
定 价：98.00 元

版权所有·侵权必究

编 委 会

主　　编： 卫万顺

副 主 编： 郑桂森　冉伟彦　李文伟　李　宇

编写成员： 卫万顺　郑桂森　冉伟彦　李文伟　李　宇
栾英波　王新娟　徐光辉　王立发　江　剑
陈燕民　刘清晓　王泽龙　于　湲　马学利
王　华　张文秀　邹元霖

序

能源资源是重要的战略资源，它不但在历史上推动了人类社会文明的进步和科学技术的发展，而且始终是一个国家和地区经济社会发展的物质基础。

18 世纪产业革命以来，煤炭、石油、天然气等矿物能源的大量使用，极大地推动了生产的发展和社会的变革，为人类文明进步作出了巨大贡献，但这种矿物燃料所排放的大量气体又导致空气的污染和温室效应，严重威胁着人类的生存环境。因此，近年来各国政府和国际组织都强调要调整能源结构，大力发展新能源和可再生能源。

我国是一个发展中国家，能源的供给关系到经济发展、社会稳定和国家安全。当前能源供需矛盾日益突出，能源供应紧张已成为制约经济社会可持续发展的主要“瓶颈”之一，而矿物资源带来的环境污染又日趋严重。因此，大力开发新能源是解决能源短缺问题和保护环境、改善环境的必由之路。

浅层地温能又称浅层地热能，是一种可再生的新型环保能源，具有极大的开发利用潜力。北京市率先开展了北京平原区浅层地温能资源地质勘查工作，结果显示，北京平原区每年浅层地温能资源静态资源量折合标准煤 6 620 $\times 10^4$ t，每年可供 9.59 $\times 10^8$ m^2 建筑物冬季采暖。若按 9.59 $\times 10^8$ m^2 计算，每个采暖季可减排 CO_2 212.9 $\times 10^4$ t，烟尘 3.3 $\times 10^4$ t，SO_2 31.3 $\times 10^4$ t，氮氧化物 11.8 $\times 10^4$ t，节约能耗 9% ~10%。由此可见，大力推进浅层地温能资源持续高效利用，对实现我国政府对世界承诺的到 2020 年，在 2005 年碳排放基础上再减 40% ~45% 的减排目标具有重要的战略意义。

国土资源部十分重视浅层地温能勘查评价和开发利用工作。2008 年，国土资源部下发了《国土资源部关于大力推进浅层地热能开发利用的通知》（国土资发［2008］249 号），全面部署了我国浅层地温能资源的勘查评价、规划编制和地质环境监测工作。目前，各省、自治区、直辖市已陆续开展浅层地温能资源地质勘查工作。浅层地温能的勘查、开发是一项新的工作，急需勘查评价理论上的指导和评价技术方法的支撑。正是基于这种形势需要，卫万顺等同志在系统总结“北京平原区浅层地温能资源地质勘查”项目成果和经验的基础上，撰写了《浅层地温能资源评价》一书。

本书把浅层地温能资源勘查实践与理论相结合，从“明确浅层地温能具有资源属性—资源开发须以评价为基础—评价的内容应包括赋存条件评价、

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

资源潜力评价、环境影响评价、经济效益评价和评价信息系统建立等内容—提出评价的原理和方法—将此原理和方法应用到‘北京平原区浅层地温能资源地质勘查’（评价）项目中—检验该评价原理和方法的科学性”这条主线进行论述，以系统论为统领，以资源持续利用为目的，以岩石学、沉积学、地层学、构造地质、水文地质、热传输理论为基础，系统论述了浅层地温能资源赋存条件评价、资源潜力评价、环境影响评价、经济效益评价及资源评价信息系统等方面的基本原理和方法，建立了一套完整的浅层地温能资源评价体系，详细介绍了“北京平原区浅层地温能资源地质勘查”工作的思路和做法。本书是一个实践与理论相结合的成功范例，是一部内容丰实的专著，对全国浅层地温能资源评价具有重要的指导作用，对浅层地温能的形成机理和评价方法研究作出了开创性贡献。因此，出版本书非常必要、十分及时、意义重大。

浅层地温能的勘查、开发方兴未艾，有关理论和技术方法的研究有待提高和完善，希望本书的作者，特别是年轻的科技人员在已有的基础上，深化研究，刻苦攻关，在浅层地温能研究上取得更多新的成果，为浅层地温能开发利用作出更大贡献。最后，对本书的出版表示热烈祝贺！对以卫万顺同志为首的科研群体开创性的工作和成果表示由衷的敬意！

中国科学院院士 李廷栋

2010 年 2 月 20 日

前　言

浅层地温能又称浅层地热能，是一种可再生的新型环保能源，利用前景广阔。近年来，我国浅层地温能开发迅速，但因浅层地温能资源分布、资源量家底不清，使浅层地温能开发利用受到很大限制并存在很大风险。目前，浅层地温能勘查评价滞后已成为浅层地温能资源可持续开发利用的瓶颈因素。因此，开展浅层地温能勘查评价是政府部门做好浅层地温能开发利用规划和管理的基础性工作。

2008 年 12 月，国土资源部下发了《国土资源部关于大力推进浅层地热能开发利用的通知》（国土资发［2008］249 号），从调查评价、编制规划、加强监测三个方面，对大力推进我国浅层地热能资源的开发利用进行了部署。国土资源部这一部署是非常及时和必要的，表明我国浅层地温能资源开发利用将步入科学化、规范化轨道。因此，各地区将开展浅层地温能的调查评价工作，查明浅层地温能资源分布规律和资源量，为今后科学开发利用浅层地温能、编制专项规划提供依据。

为了满足我国浅层地温能资源调查评价的需要，引导浅层地温能的科学开发利用，我们在系统综合“北京平原区浅层地温能资源地质勘查”成果、《北京浅层地温能资源》和《中国浅层地温能资源》专著的基础上，结合我国地质条件的实际情况，撰写了《浅层地温能资源评价》一书。本书将区域勘查实践成果提升到理论方法的高度，是从实践成果到理论成果的典型案例。全书试图从“明确浅层地温能具有资源属性—资源开发须以评价为基础—评价的内容应包括赋存条件评价、资源潜力评价、环境影响评价、经济效益评价和评价信息系统建立等内容—提出评价的原理和方法—将此原理和方法应用到‘北京平原区浅层地温能资源地质勘查’（评价）项目中—检验该评价原理和方法的科学性”这条主线进行论述。但由于不同地区地质条件不同，希望大家在应用本书的评价原理和方法时，要充分考虑不同地区地质条件的差异性。

由于浅层地温能资源是一种新型的清洁能源，尚无成型的评价方法和体系。因此，本书突出体现了创新性、试验性、系统性和实践性。所谓创新性，是指在研究浅层地温能资源评价方法和体系时，尽可能采用新理论、新技术和新方法；试验性是指所有形成的观点和认识，必须建立在大量的试验研究

和测试数据分析的基础上；系统性则是指提出的评价方法体系全面统筹赋存条件评价、资源潜力评价、环境影响评价、经济效益评价及评价信息系统等方面的关系，尽最大可能保证其完整性和系统性；实践性则是本书提出的评价方法体系将在全国浅层地温能资源调查评价过程中广泛应用，作为省级浅层地温能资源调查工作的技术指南。

本书由北京市地质矿产勘查开发局牵头组织编写，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、北京市水文地质工程地质大队、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撰写工作。

全书共分两篇十四章。具体编写分工为：前言由卫万顺执笔；第一章由卫万顺、郑桂森、王新娟、栾英波、徐光辉、李文伟、冉伟彦编写；第二章由郑桂森、栾英波、李宇、马学利编写；第三章由卫万顺、王新娟、栾英波编写；第四章由郑桂森、王新娟、栾英波编写；第五章由王泽龙、王华、卫万顺编写；第六章由卫万顺、李文伟、冉伟彦、王泽龙编写；第七章由王新娟、栾英波、卫万顺编写；第八章由卫万顺、郑桂森、栾英波编写；第九章由刘清晓、栾英波、李文伟编写；第十章由徐光辉、冉伟彦编写；第十一章由王新娟、栾英波、于湲编写；第十二章由王泽龙、王华编写；第十三章由陈燕民、张文秀、邹元霖、李文伟编写；第十四章由王立发、江剑、王新娟、栾英波编写。卫万顺、郑桂森负责完成全书的统稿、修改工作，最终由卫万顺修改定稿。本书于2009年10月中旬完成初稿，后又经近两个月的修改、校对，最终于2009年12月定稿。

李廷栋院士十分关心和支持浅层地温能资源勘查评价和开发利用工作，百忙之中对本书逐章审阅，提出了许多宝贵意见和建议，并为本书写序，为此，作者对李廷栋院士表示衷心的感谢！本书编写过程中，许多单位和个人提供过大量资料、建议和帮助，在此，作者也一并表示诚挚的谢意！

目前，由于浅层地温能资源评价处于起步阶段，且作者水平有限，书中恐有欠妥和不足之处，恳请广大读者批评指正。

中国地质调查局浅层地温能研究与推广中心主任
北京市地质矿产勘查开发局副局长 卫万顺

2010年2月10日

目　录

序 …… (Ⅰ)
前言 …… (Ⅲ)

上篇　浅层地温能资源评价原理和方法

第一章　浅层地温能资源评价理论基础 …… (3)
第一节　概述 …… (3)
一、浅层地温能是一种新型资源 …… (3)
二、浅层地温能的概念 …… (3)
三、浅层地温能资源特点 …… (4)
第二节　浅层地温能资源评价的意义 …… (5)
一、浅层地温能开发利用发展迅速 …… (5)
二、勘查评价滞后已成为影响其发展的瓶颈 …… (5)
三、科学开发利用浅层地温能需要加强勘查评价 …… (6)
四、勘查评价应在统一部署下有序开展 …… (6)
第三节　浅层地温能资源评价总体思路 …… (7)
一、浅层地温能资源形成和分布的特殊性 …… (7)
二、浅层地温能资源评价基本思路 …… (7)
三、浅层地温能资源评价基本内容 …… (8)
第四节　浅层地温能资源评价方法体系 …… (10)
第五节　浅层地温能资源评价参数体系 …… (11)
一、浅层地温能资源评价参数体系 …… (12)
二、有关参数的物理意义 …… (13)
三、相关参数的获取方法 …… (15)
第二章　浅层地温能资源赋存条件评价 …… (21)
第一节　赋存条件评价原理和方法 …… (21)
一、评价目的和任务 …… (21)
二、评价方法 …… (21)
三、评价内容及方法体系 …… (21)
第二节　自然地理条件评价 …… (22)
一、气候条件评价 …… (22)
二、地形地貌条件评价 …… (23)

三、太阳照射条件评价 …… (24)
四、区域经济发展条件评价 …… (25)
第三节 地质条件评价 …… (25)
一、岩石、岩石地层、松散堆积物评价 …… (25)
二、地质构造条件评价 …… (40)
三、岩石物理性质和热物理性质评价 …… (41)
第四节 水文地质条件评价 …… (48)
一、概述 …… (48)
二、区域水文地质条件评价 …… (50)
三、地源热泵工程场地水文地质条件评价 …… (56)
第五节 地温场调查评价 …… (58)
一、地温的调查方法 …… (58)
二、大地热流密度测量 …… (59)
三、地温梯度 …… (59)
四、地温场特征 …… (59)
五、其他方法 …… (60)
第三章 开发利用方式适宜性区划原理和方法 …… (61)
第一节 概述 …… (61)
一、地质分区 …… (61)
二、应用方式分区 …… (61)
三、地理分区或行政区划分区 …… (61)
四、开发利用适宜性分区 …… (61)
第二节 开发利用方式适宜性区划基本原理 …… (61)
一、适宜性区划目的 …… (61)
二、适宜性区划原则 …… (62)
三、适宜性区划依据 …… (62)
四、适宜性区划级别 …… (63)
五、适宜性区划方法 …… (63)
六、适宜性区划图编制 …… (63)
第三节 地下水式地源热泵系统适宜性区划方法 …… (63)
一、评价指标的选取 …… (63)
二、评价体系的构建 …… (64)
三、权重的确定 …… (64)
四、综合评价 …… (65)
第四节 地埋管式地源热泵系统适宜性区划方法 …… (65)
一、评价指标的选取 …… (65)
二、评价体系的构建 …… (66)
三、权重的确定 …… (67)
四、综合评价 …… (67)

第四章 浅层地温能资源潜力评价原理和方法 …… (68)
第一节 资源潜力评价方法体系 …… (68)
一、评价思路 …… (68)
二、评价方法体系的建立 …… (68)
第二节 资源量计算方法研究 …… (69)
一、静态储量计算方法 …… (69)
二、可利用资源量计算方法 …… (70)
第三节 静态资源量计算 …… (73)
一、热储量体积法计算主要参数 …… (73)
二、静态储量计算主要参数选取 …… (74)
第四节 浅层地温能可利用资源量计算 …… (75)
一、地下水式地源热泵适宜区可利用资源量计算 …… (75)
二、地埋管式地源热泵适宜区可利用资源量计算 …… (76)
第五节 浅层地温能资源潜力评价 …… (76)
一、浅层地温能资源潜力评价基本方法 …… (76)
二、资源量计算方法评述 …… (77)
第五章 经济效益评价原理和方法 …… (79)
第一节 经济效益评价总体思路 …… (79)
一、经济效益评价基本原理 …… (79)
二、经济效益评价体系设计 …… (79)
三、经济效益评价方法特点 …… (80)
第二节 成本效益评价原理和方法 …… (80)
一、费用年值 …… (80)
二、年经济价值 …… (82)
三、投资回收期 …… (83)
第三节 节能效益评价原理和方法 …… (83)
一、年节能量 …… (83)
二、年节能价值 …… (84)
第六章 环境影响评价原理和方法 …… (85)
第一节 环境影响评价内容 …… (85)
一、大气环境效应评价 …… (85)
二、生态环境影响评价 …… (85)
第二节 大气环境效应评价原理和方法 …… (86)
一、年减排量的计算 …… (86)
二、年减排价值 …… (88)
第三节 生态环境影响评价原理和方法 …… (88)
一、生态环境影响评价总体思路 …… (88)
二、生态环境影响评价基本方法 …… (88)

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

第七章　建立评价信息系统的原理和方法 …… (94)
一、总体思路 …… (94)
二、设计原则 …… (94)
三、系统构架 …… (95)
四、系统功能 …… (95)

下篇　浅层地温能资源评价实例
——北京平原区浅层地温能资源地质勘查（评价）实例

第八章　北京平原区浅层地温能资源地质勘查项目概况 …… (101)
第一节　项目基本情况 …… (101)
一、项目来源 …… (101)
二、总体目标和任务 …… (101)
三、工作区范围 …… (102)
四、完成的主要实物工作量 …… (102)
第二节　主要成果及社会影响 …… (103)
一、取得的主要成果 …… (103)
二、成果评审意见 …… (105)
三、成果推广应用情况 …… (106)
第九章　北京平原区浅层地温能资源赋存条件评价 …… (108)
第一节　自然地理、地形地貌条件 …… (108)
第二节　基底构造和基底形态特征 …… (109)
一、基底构造 …… (109)
二、基底构造的形成 …… (110)
三、地层 …… (111)
第三节　松散堆积物分布特征和结构特征 …… (113)
一、更新统 …… (113)
二、全新统 …… (114)
第四节　北京平原区第四系结构特征 …… (115)
第五节　北京平原区地下水条件 …… (117)
一、北京平原区第四系地下水系统 …… (117)
二、北京平原区地下水动态特征 …… (119)
第六节　北京平原区地温场条件 …… (120)
一、原始地温场特征 …… (120)
二、地质构造对地温场的影响评价 …… (122)
三、地下水径流对地温场的影响 …… (124)
第十章　北京平原区浅层地温能相关参数研究 …… (127)
第一节　参数类型 …… (127)
一、基础参数和成果资料 …… (127)

二、测试参数 …… (128)
三、计算参数 …… (128)
四、经验、常量参数 …… (129)
第二节 主要参数的获取 …… (129)
一、变温层厚度 …… (129)
二、岩土标本热物理性质研究 …… (129)
三、抽水/回灌试验相关参数获取 …… (135)
四、现场换热测试相关参数的确定 …… (139)
第十一章 北京平原区浅层地温能资源潜力 …… (145)
第一节 开发利用方式适宜性分区 …… (145)
一、地下水式地源热泵系统适宜性区划 …… (145)
二、地埋管式地源热泵系统适宜性区划 …… (147)
三、浅层地温能资源开发适宜性区划 …… (147)
第二节 北京平原区浅层地温能资源量计算 …… (149)
一、静态资源量计算 …… (149)
二、地下水式地源热泵适宜区可利用资源量计算 …… (150)
三、地埋管式地源热泵适宜区可利用资源量计算 …… (150)
第三节 北京平原区浅层地温能资源潜力评价 …… (152)
一、地下水式地源热泵适宜区和较适宜区资源潜力计算 …… (152)
二、地埋管式地源热泵适宜区和较适宜区资源潜力计算 …… (152)
三、浅层地温能资源潜力评价 …… (153)
第十二章 经济效益和环境效益评价实例剖析 …… (154)
第一节 经济效益和环境效益评价实例 1 …… (154)
一、成本效益评价 …… (154)
二、节能效益评价 …… (158)
三、环境效益评价 …… (158)
第二节 经济效益和环境效益评价实例 2 …… (159)
一、成本效益评价 …… (159)
二、节能效益评价 …… (161)
三、环境效益评价 …… (161)
第十三章 浅层地温能资源开发对地质环境影响的监测试验 …… (163)
第一节 北京监测网站建设总体思路 …… (163)
一、监测目的 …… (163)
二、监测内容 …… (163)
三、监测站点选择原则 …… (163)
四、监测站点的选择 …… (163)
五、监测站网建设 …… (164)
第二节 监测站建设方案 …… (166)
一、地埋管式地源热泵系统监测站 …… (166)

二、地下水式地源热泵系统监测站 …… (168)
三、监测点的布设 …… (169)
四、GPRS 远程数据传输系统建设 …… (169)
第三节 数据处理及环境影响初步评价 …… (170)
一、土壤的原始温度 …… (170)
二、热泵系统运行后的地温场变化 …… (172)
三、A 监测点 2008 年 1 月至 2009 年 2 月监测数据 …… (174)
四、环境影响初步评价 …… (175)
第十四章 北京平原区浅层地温能资源数据库建设 …… (176)
第一节 数据管理系统说明与结构 …… (176)
第二节 开发环境 …… (176)
第三节 主要功能 …… (178)
一、GIS 功能 …… (178)
二、基础数据管理 …… (178)
三、统计查询 …… (178)
四、水质评价 …… (179)
五、钻井柱状图 …… (179)
六、图件信息管理 …… (179)
七、适宜性分区评价 …… (179)
八、菜单管理 …… (180)
九、系统管理 …… (180)
参考文献 …… (181)

上　篇

浅层地温能资源评价原理和方法

第一章　浅层地温能资源评价理论基础

第一节　概　　述

浅层地温能是一种新型能源，具有明显的资源属性。大力推进浅层地温能资源的开发利用，需要科学厘定浅层地温能的概念，分析和研究浅层地温能资源的特点。

一、浅层地温能是一种新型资源

《辞海》对自然资源的定义为：天然环境中存在的自然物质（不包括人类加工制造的原材料）如土地资源、矿产资源、水利资源、生物资源、气候资源等，是生产的原料来源和场所。也可以认为，自然资源是自然环境中与人类社会发展有关的、能被利用来产生使用价值并影响劳动生产率的自然诸要素，可分为有形的自然资源（如土地、水体、动植物、矿产等）和无形的自然资源（如光资源、热资源等）。

《能源百科全书》指出："能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任一形式能量的载能体资源。"能源是一种呈多种形式的，且可以相互转换的能量的源泉。毋庸置疑，浅层地温能可以在一定的开采强度、合理的系统分布情况下，在冬、夏两季数月内连续为水源热泵机组提供稳定的低温热源（汇）。例如，冬天供暖时，浅层地温能为水源热泵机组提供的热能占到了热输出的70%～80%，在当前经济技术条件下具有很大的利用价值。所以根据以上定义，浅层地温能无疑是一种无形自然资源中的新能源。

二、浅层地温能的概念

浅层地温能是指蕴藏在地表水或地表以下一定深度（一般为恒温带－200 m 埋深）范围内的岩土体和地下水中具有开发利用价值的一般低于25℃的热能。浅层地温能是以广义的地热资源概念为基础，是深层地热能与太阳能共同作用的产物，是地热资源概念的扩展，即广义的地热资源，包括两种类型。

（一）变温层中的地热能资源

位于地下表层，深度一般小于30 m（因地而异），热能来自地球深部的热传导和地表吸收的太阳光辐射，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"。

（二）恒温层中的地热能资源

从地表向下，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，此处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。在此恒

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com