

# 地源热泵技术手册

Handbook of Ground-Source Heat Pump Engineering

徐伟 主编

中国建筑工业出版社

# 地源热泵技术手册

徐 伟 主编

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

地源热泵技术手册/徐伟主编. —北京:  
中国建筑工业出版社, 2011. 1  
ISBN 978-7-112-12858-7

I. ①地… II. ①徐… III. ①热泵-技术手册  
IV. ①TH38-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 007193 号

本书是根据“十一五”国家科技支撑计划课题“水源地源热泵高效应用关键技术研究示范”研究成果而编写的图书。本书分为基础篇、设计与施工篇、检测与评价篇,内容包括地源热泵发展概况,热泵机组与相关设备,地源热泵资源状况及适宜性评价,建筑物负荷计算,土壤源热泵、地下水源热泵、地表水源热泵、海水源热泵、污水源热泵以及复合式系统的设计与施工、检测与评价及工程案例。力求对地源热泵技术有一全面、系统的介绍。本书可供从事建筑节能及地源热泵行业的技术与管理人员等学习和使用。

\* \* \*

责任编辑:朱首明 田立平  
责任设计:张虹  
责任校对:陈晶晶 刘钰

## 地源热泵技术手册

徐伟 主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京千辰公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 26 字数: 631 千字

2011年5月第一版 2011年5月第一次印刷

定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-12858-7

(20125)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 编写委员会

主任：徐 伟

委员：邹 瑜 王贵玲 姚 杨 王 勇 高 翀  
姜益强 朱清宇 宋业辉 戴立生 郁松涛  
丛旭日 孙宗宇 曹 勇 吕晓辰 冯晓梅  
杜国付 肖 龙 沈 亮 杨灵艳 马宏权  
冯婷婷 张时聪 钱 程 李 骥 孟 冲

主编单位：中国建筑科学研究院

参编单位：中国地质科学研究院

哈尔滨工业大学

重庆大学

山东富尔达空调设备有限公司

广西大学绿色能源与建筑节能研究开发中心

际高建业有限公司

南京丰盛能源环境科技发展有限公司

北京市华清地热开发有限责任公司

北京依科瑞德地源科技有限责任公司

无锡朗诗置业有限公司

济南泰勒斯工程有限公司

山东亚特尔集团股份有限公司

北京易度恒星科技发展有限公司

# 序一

温室效应和全球极端天气频发已经从各个方面影响了世界各地人民的生产生活。2008年经济危机推动能源价格的快速上涨和俄罗斯与乌克兰的天然气之战更使人们深刻认识到了寻找替代能源和发展可再生能源的重要性。根据国际能源署（IEA）最新的研究表明：即使全球完成了到2050年减排50%的目标，可能依然无法阻止气候的剧烈变化，所以必须更大规模、更快速度的推进可再生能源应用。地源热泵系统作为可再生能源建筑应用的一种形式在很多国家和国际组织的能源战略规划中都占据重要位置。根据国际能源署的《2010能源技术展望》：对于建筑物来说，高效热泵技术用于供暖、制冷和生活热水系统，可大幅提高终端能源使用效率。

地源热泵技术在国外已经相当成熟。美国自进入1990年以来，地源热泵年平均增长率保持在15%以上，2005~2007年更是呈现快速增长趋势。欧洲的热泵市场也保持双位数增长。我国水源地源热泵系统的研究始于20世纪80年代。近年来北京、山东、河南、辽宁、河北、江苏、上海等地陆续建成了大量水源地源热泵工程，到2009年底，全国地源热泵系统应用近1.4亿 $\text{m}^2$ ，我国已经成为世界地源热泵发展最快的国家。地源热泵系统相对于传统的暖通空调系统，可以利用可再生能源，集供暖、供冷、供生活热水于一体，是一个高效、节能、环保的系统。但在实际工程中还存在着一些问题，如缺乏对于应用水源地源热泵系统的区域地质背景方面的研究，缺乏水源地源热泵系统开发利用对区域生态环境的影响系统分析研究，缺乏区域应用规划方案等，目前有些工程还不能很好地解决地下水地源热泵系统的回灌以及土壤源热泵系统冬夏负荷不平衡等问题，未能充分开发利用我国江河湖泊、海水以及城市污水等大量潜在的低品位能源，同时国产水源热泵产品性能不能适应不同地源热泵系统低位热源参数的需要，机组能效比和质量有待提高，污水、海水水源热泵机组系列产品有待开发等等。

此次科技部在“十一五”国家科技支撑计划中为地源热泵系统设立课题研究，充分体现了其在我国建筑节能中的重要性。通过课题的实施，课题组制定了我国浅层地热能、江河湖泊、海水以及城市再生水等应用资源规划方案，制定了水源地源热泵技术应用评估体系，提供了水源地源热泵系统工程实际应用的关键技术手段，在土壤源、地下水、地表水、城市污水及海水水源热泵技术领域实现14项技术创新，完成20项水源地源热泵系统关键技术攻关任务，在全国不同气候区实施完成18项水源地源热泵系统工程示范项目。

希望本书的出版能够使课题研究成果能够更加广泛的扩散，从而推动我国地源热泵系统更高效、更节能、更环保、更健康的服务社会。

中国建筑学会暖通空调分会 名誉理事长  
中国建筑科学研究院 原副院长 总工

吴元炜

## 序二

我国浅层地热能的开发利用，可谓是在如火如荼地进行着。从国务院参事室地热调研组上书国务院到逐步开展应用地源热泵技术开发利用浅层地热能的评价体系、市场准入制度、工程质量验收与技术标准等研究工作，均取得很大进展。在从事地源热泵相关工作过程中，我和中国建筑科学研究院等科研机构保持着密切联系与沟通、多次开展技术交流和探讨，作为一名利用地源热泵技术开发浅层地热工作的积极推动者，很高兴能看到徐伟院长等人将他们的课题研究部分成果汇总，编制写成《地源热泵技术手册》一书，此书的问世非常及时，具有重要的指导意义。

中国建筑科学研究院长期从事可再生能源建筑应用的基础性、公益性、前瞻性研究，从最早组织翻译外文书籍，到“十五”、“十一五”的国家级科研课题的相关成果产出，都一直引领、指导着行业技术发展。“十五”期间，中国建筑科学研究院承担的国家科技攻关项目“小城镇节能与新能源利用关键技术研究及设备开发”，初步建立了适合不同地区的水源地源热泵系统成套技术。课题组结合小城镇建筑及不同气候区的特点，对水源地源热泵系统相关技术参数进行优化分析，指导水源地源热泵系统的设计，提高水源地源热泵系统运行的经济性；通过调研及对典型水源地源热泵空调系统现场测试，对水源地源热泵系统应用情况进行了分析与总结；编写了《地源热泵系统应用技术指南》，为地源热泵系统的设计、施工提供指导，使地源热泵系统能够安全、可靠运行，更好地发挥其节能减排效益；并基于课题研究成果编制了国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366—2005；这些课题研究成果已经在多个水源地源热泵系统工程中得到实际应用，取得了良好的经济效益、社会效益和环境效益。

地源热泵技术的高效应用，除必须具备暖通空调系统的知识外，对项目所在地区水文工程地质环境和浅层地热能赋存条件的了解，对岩土体与地下水中热能提取使用的可行性分析，都是确定水源地源热泵系统适宜性的重要组成部分。因此“十一五”国家科技支撑项目“水源地源热泵高效应用关键技术与示范”课题，以建国60多年来水文地质勘查与区域浅层地热能调查资料为基础，充分吸取国内外水源地源热泵系统开发利用的成功经验与教训，紧紧围绕国家能源开发可持续发展战略，遵循“点上突破，面上展开，以典型区示范工程推动水源地源热泵的应用，以技术支撑体系指导水源地源热泵的开发利用”的方针，以点为主，点面结合，构建全国地下水、土壤源、地表水、海水以及城市污水源热泵系统设计数据库平台，研究水源地源热泵技术应用的适宜性，研究土壤源热泵系统应用技术，研究地下水、地表水源热泵系统应用技术，研究与开发污水、海水源热泵系统取水及换热技术，开发水源地源热泵系统高效专用水源热泵机组，完成全国水源地源热泵应用区划，很好地解决了地源热泵使用过程中出现的

问题。

应用地源热泵技术开发浅层地热能工作的更好更快发展，还需要我国暖通空调工作者和地质工作者的密切配合，相辅相成。相信本书的出版必将会进一步推动地源热泵技术在建筑领域的应用，为我国的建筑节能事业做出重要的贡献。

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





# 前 言

地源热泵作为一种利用可再生能源的暖通空调新技术，是建筑节能领域国际上通用的高效节能技术，在我国已经有了近 20 年的发展历史，并且发展十分迅速。2006 年，建设部和财政部联合颁布《建设部、财政部关于推进可再生能源在建筑中应用的实施意见》、《可再生能源建筑应用专项资金管理暂行办法》两个重要文件，为可再生能源建筑应用项目建立专项财政补贴给予支持，引导可再生能源建筑应用技术的发展，促进其工程应用的发展规模和速度；2009 年，住房和城乡建设部开始组织实施“可再生能源建筑应用城市示范”和“农村地区可再生能源建筑应用示范”，2009 年，批准示范城市 26 个，示范县 38 个；2010 年，批准示范城市 18 个，示范县 48 个。两年合计批准示范城市 44 个，示范县 86 个。截至 2009 年年底，全国地源热泵应用面积 1.39 亿  $\text{m}^2$ 。预计示范城市和示范县完成后，新增可再生能源建筑应用面积将达到 3 亿  $\text{m}^2$ 。

为了解决此技术快速发展中存在的一些问题，2007 年，科技部立项“十一五”国家科技支撑计划——“水源地源热泵高效应用关键技术研究及示范”，要求构建全国土壤源、地下水、地表水、海水以及城市污水源热泵系统工程设计数据库平台，研究水源地源热泵技术适宜性，研究水源地源热泵系统应用技术，研究与开发污水、海水源热泵系统取水及换热技术，开发水源地源热泵系统高效专用水源热泵机组，完成全国水源地源热泵应用区划。课题组织单位为中国建筑科学研究院，课题参加单位为中国地质科学院水文地质环境地质研究所、重庆大学、哈尔滨工业大学、山东富尔达空调设备有限公司。

为了将“十一五”国家科技支撑计划课题成果全面展示并加以推广，同时系统而全面的梳理地源热泵系统的原理、设计方法、施工工艺、调试评估等主要技术内容，特组织课题组的主要研究人员编著此书。课题组的参加单位都是国内从事地源热泵研究开发应用的最主要的单位，主要编写人员长期从事地源热泵的研究、设计、施工和调试工作，有着丰富的经验和研究开发能力。此书的编写力求给地源热泵行业一个全面、系统的工具书，也展现国内地源热泵技术的最新进展和研究成果。

本书由中国建筑科学研究院徐伟研究员担任主编，中国地质科学研究院王贵玲研究员，哈尔滨工业大学姚杨教授和姜益强教授，重庆大学王勇教授，山东富尔达空调设备有限公司高翀总工程师，中国建筑科学研究院邹瑜、朱清宇、吕晓辰、孙宗宇、冯晓梅、杜国付、宋业辉、曹勇、戴立生、肖龙、沈亮、杨灵艳、张时聪、钱程、李骥、孟冲，南京丰盛新能源科技股份有限公司郁松涛、马宏权，际高建业有限公司从旭日、冯婷婷等人参与了编写。编著分工为：第 1 章，第 3 章，第 5 章，第 12 章由杨灵艳、朱清宇编写；第 2 章由徐伟、张时聪编写；第 6 章，第 4.1.1 节，第 4.2.1 节由吕晓辰、肖龙、沈亮、钱程、朱清宇编写；第 7 章，第 14 章，第 4.1.2 节，第 4.2.2 节由王贵玲、孙宗宇、冯晓梅、杜国付、李骥编写；第 8 章，第 4.1.3 节，第 4.2.3 节由王勇编写；第 9 章，第 16 章，第 4.1.4 节，第 4.2.4 节由高翀、杨灵艳、朱清宇编写；第 10 章，第 4.1.5 节，第

4.2.5 节由姚杨、姜益强编写；第 11 章由孙宗宇、冯晓梅、丛旭日、冯婷婷编写；第 13 章由朱清宇、肖龙、郁松涛、马宏权、丛旭日、冯婷婷编写；第 15 章由王勇、马宏权编写；第 17 章、第 18 章由宋业辉、曹勇、孟冲、王勇编写。全书由徐伟策划、组织和编写，吕晓辰、张时聪统稿和协调。

本书在编写过程中得到了住房城乡建设部科技司的指导，得到了吴元炜教授、王秉忱参事等专家的指导，得到了住房城乡建设部科技发展促进中心及中国建筑业协会地源热泵工作委员会的大力支持，在此一并表示感谢。

“十一五”国家科技支撑计划课题的相关研究成果在工程上的推广应用，也得益于北京依科瑞德地源科技有限责任公司、际高建业有限公司、北京市华清地热开发有限责任公司、南京丰盛能源环境科技发展有限公司、无锡朗诗置业有限公司、济南泰勒斯工程有限公司、山东亚特尔集团股份有限公司、北京易度恒星科技发展有限公司等公司的大力支持，在此也表示感谢。

希望本书能提高社会各界对地源热泵的认识，为政府决策提供技术支持，为科技工作者提供技术发展信息，促进行业又好又快地发展，成为我国地源热泵发展的又一助推力。

本书成稿时间仓促，作者水平有限，难免存在遗憾之处，望读者给予批评和指正。

# 目 录

## 基 础 篇

<b>第1章 概 述</b> .....	3
1.1 地源热泵系统定义 .....	3
1.2 地源热泵系统基本原理 .....	4
1.2.1 逆卡诺循环 .....	4
1.2.2 洛伦兹 (Lorenz) 循环 .....	4
1.2.3 机械压缩式热泵循环 .....	5
1.2.4 吸收式热泵理论循环 .....	7
1.3 地源热泵系统分类 .....	8
1.4 《地源热泵系统工程技术规范》介绍 .....	9
1.5 热泵系统的性能系数和季节性能系数 .....	11
1.5.1 热泵的性能系数 .....	11
1.5.2 制热季节性能系数 .....	11
<b>第2章 地源热泵发展概况</b> .....	12
2.1 中国地源热泵发展概况 .....	12
2.1.1 地源热泵相关政策 .....	12
2.1.2 地源热泵市场发展 .....	12
2.2 国际地源热泵发展概况 .....	16
2.2.1 美国地源热泵发展概况 .....	16
2.2.2 欧洲地源热泵发展概况 .....	21
2.2.3 日本地源热泵发展概况 .....	28
<b>第3章 热泵机组与相关设备</b> .....	32
3.1 机组组成及工作原理 .....	32
3.1.1 基本组成 .....	32
3.1.2 工作原理 .....	32
3.2 机组的主要结构形式 .....	32
3.2.1 风冷水源热泵机组 .....	32
3.2.2 水冷水源热泵机组 .....	33
3.3 水源热泵机组性能 .....	34
3.3.1 名义工况和使用工况范围 .....	34
3.3.2 实际工况性能 .....	35
3.3.3 水环热泵系统 .....	35

3.3.4	水冷多联机机组 .....	36
3.4	制冷剂 .....	37
3.4.1	氟氟烃 (CFC) 类制冷剂 .....	37
3.4.2	常用工质介绍 .....	38
3.5	国内外相关标准与规范 .....	40
3.5.1	国家标准 .....	40
3.5.2	国际标准 .....	41
3.6	主要热泵产品介绍 .....	41
<b>第4章</b>	<b>地源热泵资源状况及适宜性评价</b> .....	<b>44</b>
4.1	资源状况 .....	44
4.1.1	土壤资源调查 .....	44
4.1.2	地下水资源调查 .....	45
4.1.3	地表水资源调查 .....	52
4.1.4	海水资源调查 .....	59
4.1.5	污水资源调查 .....	64
4.2	适宜性评价 .....	69
4.2.1	土壤源热泵适宜性评价 .....	69
4.2.2	地下水源热泵适宜性评价 .....	89
4.2.3	地表水源热泵适宜性评价 .....	102
4.2.4	海水源热泵适应性评价 .....	116
4.2.5	污水源热泵适宜性评价 .....	135

## 设计与施工篇

<b>第5章</b>	<b>建筑物负荷计算</b> .....	<b>189</b>
5.1	全年负荷计算 .....	189
5.2	设计日负荷计算 .....	189
5.2.1	室外空气计算参数 .....	189
5.2.2	室内空气计算参数 .....	190
5.2.3	空调房间冷 (热)、湿负荷的计算 .....	191
5.2.4	空调房间新风量确定及新风负荷计算 .....	193
5.3	空调建筑物负荷计算 .....	194
5.4	全年供热与供冷负荷计算 .....	194
<b>第6章</b>	<b>土壤源热泵系统设计</b> .....	<b>195</b>
6.1	岩土热物性试验 .....	195
6.1.1	概述 .....	195
6.1.2	岩土热物性试验目的 .....	195
6.1.3	岩土热物性试验要求 .....	196
6.1.4	岩土热物性试验方法 .....	197
6.2	埋地管换热器环路形式选择 .....	200

6.3	埋管换热器的设计与布置	201
6.4	埋管换热器传热模型	203
6.5	土壤源热泵系统专用设计软件	204
<b>第7章</b>	<b>地下水源热泵系统设计</b>	<b>207</b>
7.1	地下水源热泵系统分类及设计原理	208
7.1.1	地下水源热泵系统分类	208
7.1.2	地下水源热泵系统设计总则	210
7.2	水文地质勘察	211
7.2.1	水文地质勘察及试验内容	211
7.2.2	水文地质勘察方法	211
7.3	热源井抽水、回灌设计要点	214
7.3.1	热源井的设计	214
7.3.2	地下水回灌技术	217
7.4	换热器选型	219
7.5	相关管道设计	221
7.6	存在的问题及解决措施	222
7.7	地下水模拟软件介绍	225
<b>第8章</b>	<b>地表水源热泵系统设计</b>	<b>228</b>
8.1	地表水系统的分类与选择	228
8.2	开式地表水系统设计	230
8.2.1	开式地表水系统的设计步骤	230
8.2.2	设计原则	230
8.2.3	取水方案及冷却水系统的确定	245
8.2.4	系统动态取水温度限值分析	247
8.3	闭式地表水系统设计	251
8.3.1	闭式地表水系统的应用范围	251
8.3.2	闭式地表水系统的设计步骤	251
8.3.3	闭式换热器设计要点	259
<b>第9章</b>	<b>海水源热泵系统设计</b>	<b>260</b>
9.1	海水源热泵系统分类	260
9.2	海水源热泵系统设计	263
9.2.1	海水取水及换热方案的设计	264
9.2.2	海水源热泵系统的设计案例	264
9.2.3	海水源热泵系统控制策略	267
<b>第10章</b>	<b>污水源热泵系统设计</b>	<b>269</b>
10.1	系统形式的分类与选择	269
10.1.1	开式系统及应用条件	269
10.1.2	闭式系统及应用条件	269
10.2	换热方式分类、选择及换热工况设计	270

10.2.1	换热方式分类及选择	270
10.2.2	换热工况设计	271
10.3	防阻工艺分类与选择	272
10.3.1	防阻换热技术	272
10.3.2	防阻器设计标准	273
10.4	取水方式设计	274
10.4.1	潜水泵取水方法	274
10.4.2	干式水泵取水方法	274
10.4.3	自吸水泵取水方法	275
10.5	设备选型与管线设计	275
10.5.1	设备选型	275
10.5.2	管线设计	275
10.5.3	水力设计计算	277
10.6	与热泵机组的匹配性设计	277
10.6.1	热泵机组容量选型与匹配设计	277
10.6.2	过滤器的设计选择	277
10.6.3	换热器的设计	278
10.6.4	蒸发器材质设计	279
10.6.5	蒸发温度与面积的变化	279
10.6.6	制热与制冷的切换工艺	279
10.7	设计要点	280
<b>第 11 章</b>	<b>复合式系统设计</b>	<b>281</b>
11.1	采用复合式地源热泵系统的必要性	281
11.2	地源热泵与太阳能复合式系统	285
11.2.1	应用条件	286
11.2.2	联合运行方式	287
11.2.3	不同集热器面积下的联合方式	287
11.2.4	优化容量配置	289
11.3	地源热泵与冷却塔复合式系统	292
11.3.1	连接方式	292
11.3.2	优化控制策略	294
11.4	地源热泵与冰蓄冷复合式系统	296
11.4.1	系统运行策略	298
11.4.2	设计注意事项	300
<b>第 12 章</b>	<b>室内部分设计及相关设备选择</b>	<b>301</b>
12.1	概述	301
12.2	辅助散热装置	301
12.3	热泵主机方案及空气处理方案的确定	301
12.3.1	采用水—水热泵机组	302

12.3.2	采用水—空气热泵机组	303
12.3.3	空气处理方案确定	303
12.4	室内风系统设计	304
12.4.1	风管设计	304
12.4.2	新风系统设计	305
12.5	水系统设计	307
12.5.1	水系统分类与选择	307
12.5.2	水系统管路设计	309
12.5.3	水系统设备与附件	312
12.6	系统控制措施	313
<b>第13章</b>	<b>土壤源热泵系统施工</b>	<b>314</b>
13.1	施工原则	314
13.2	地下管线的探测	314
13.2.1	地下管线及其他障碍物探查与测量	314
13.2.2	明显管线点实地调查	314
13.2.3	管线的追踪与盲探	315
13.2.4	质量保证措施	315
13.3	钻井成井工艺	315
13.3.1	正循环回转钻进	318
13.3.2	潜孔锤钻进	319
13.3.3	牙轮回转钻进	320
13.4	钻孔护壁堵漏及洗井	322
13.5	回填工艺	323
13.5.1	回填过程及回填材料	323
13.5.2	回填密实性的检测	323
13.6	管道连接	324
13.7	水平管处理	326
13.8	运行调试	328
13.8.1	系统检查	328
13.8.2	系统调试	328
<b>第14章</b>	<b>地下水源热泵系统施工</b>	<b>329</b>
14.1	水井建造原则	329
14.2	抽水井建造	329
14.3	抽水井的测试	329
14.4	回灌技术要点	330
14.4.1	地下水回灌的必要性	330
14.4.2	地下水回灌方法	330
14.4.3	灌抽井数比	331
14.4.4	地下水回灌困难的原因	331

14.4.5	减缓回灌井堵塞的技术措施	332
14.4.6	回灌井堵塞的处理办法	332
14.5	抽水试验和回灌试验	333
14.5.1	抽水试验	333
14.5.2	回灌试验	333
14.6	水样采集、水质实验	334
14.6.1	地下水样采集	334
14.6.2	水质实验	334
14.7	运行调试	334
<b>第15章</b>	<b>地表水源热泵系统施工</b>	<b>336</b>
15.1	基本原则	336
15.2	取水口与回水口设置	336
15.3	盘管选择与热交换器安装	336
15.4	水压试验	340
<b>第16章</b>	<b>海水源热泵系统施工</b>	<b>341</b>
16.1	海水取水方案	341
16.2	调试准备	343
16.3	运行调试	343

## 检测与评价篇

<b>第17章</b>	<b>检测与评价</b>	<b>347</b>
17.1	测评内容	347
17.1.1	测试内容	347
17.1.2	评价内容	347
17.2	测评方法	347
17.2.1	测试方法	347
17.2.2	评价方法	349
<b>第18章</b>	<b>工程案例</b>	<b>354</b>
18.1	测试项目介绍	354
18.1.1	典型工程一——土壤源热泵系统	354
18.1.2	典型工程二——地下水源热泵系统	358
18.1.3	典型工程三——地表水源热泵系统	361
18.1.4	典型工程四——海水源热泵系统	366
18.1.5	典型工程五——污水源热泵系统	370
18.1.6	典型工程六——废热回收应用热泵系统	374
18.2	检测结果及分析	375
18.2.1	应用效果	375
18.2.2	热泵机组性能	375
18.2.3	地源热泵系统性能	375



18.2.4	节能效果	376
18.2.5	经济性	376
18.2.6	环保性	377
18.3	存在问题	377
18.3.1	基础资料收集	377
18.3.2	系统匹配	377
18.3.3	产品性能质量	377
18.3.4	地下水源热泵系统	378
附录		380
附录1	土壤与岩石热物性	380
附录2	防冻措施的选择和性能	381
附录3	管材与配件	382
附录4	地源热泵相关国家政策	384
附录5	中国地源热泵产业相关机构	394
参考文献		397