

地热能

利用技术

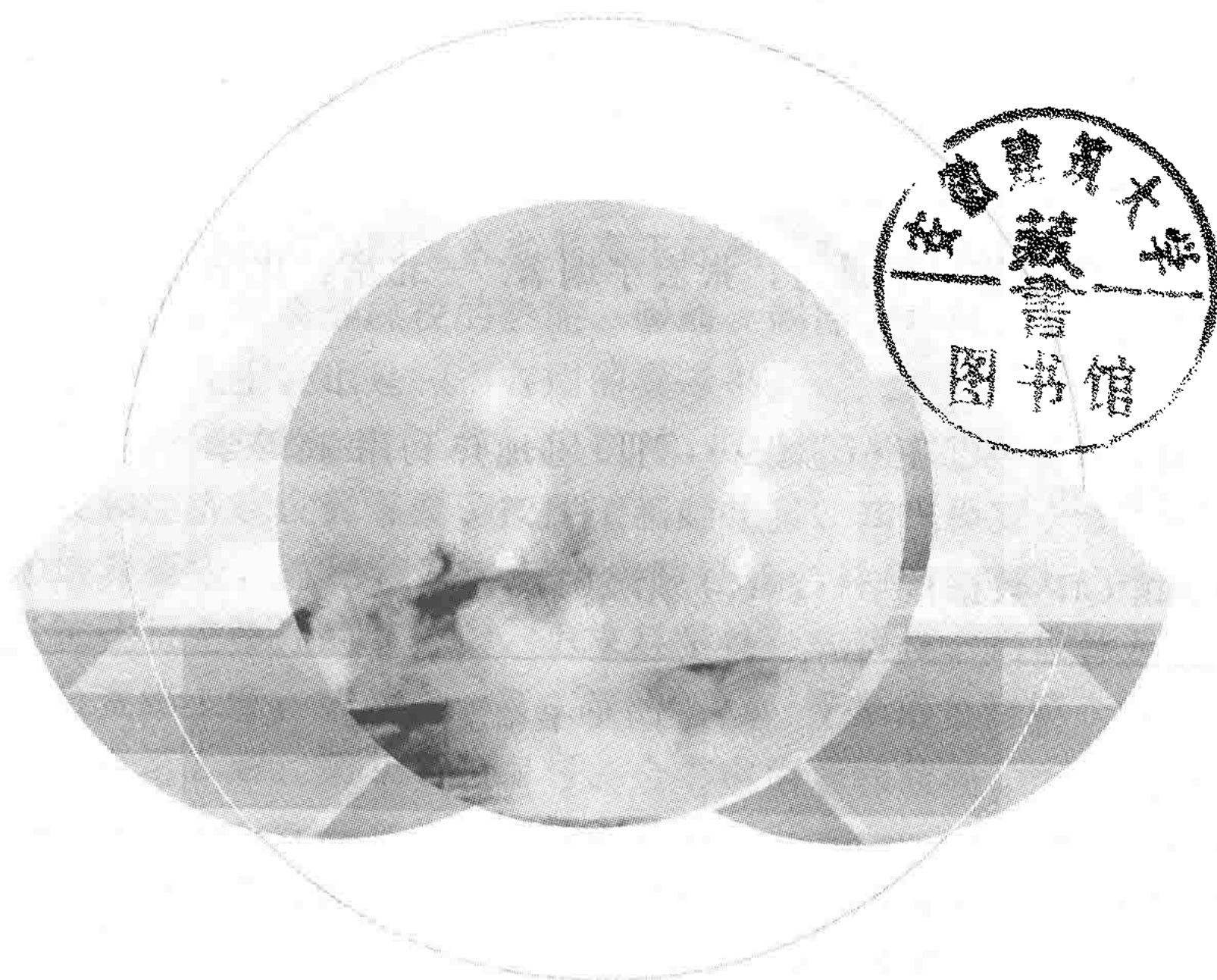
● 唐志伟 王景甫 张宏宇 编著



化学工业出版社

地热能 利用技术

● 唐志伟 王景甫 张宏宇 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书内容包括地热能与地热资源概述, 地热井施工和试验, 地热系统的防腐防垢与选材, 地热井设备与地热流体输送, 地热采暖, 地热发电, 地热综合利用技术, 水源热泵空调系统, 土壤耦合热泵空调系统以及地热开发利用的环境保护。

本书可供能源、地热科技人员参考, 也可用于高等院校的热能、暖通、制冷、环保、化工、农业、旅游、医疗等专业本科与研究生教学。

图书在版编目 (CIP) 数据

地热能利用技术/唐志伟, 王景甫, 张宏宇编著. —北京: 化学工业出版社, 2017.12
ISBN 978-7-122-30874-0

I. ①地… II. ①唐…②王…③张… III. ①地热利用-高等学校-教材 IV. ①TK529

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 261774 号

责任编辑: 李玉晖
责任校对: 王素芹

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 中煤 (北京) 印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 22½ 插页 4 字数 571 千字 2018 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前言

本书共分 10 章。第 1 章介绍地热能与地热资源，有传统的深层地热，即温度超过 25℃ 的地热能，还有新的浅层地热能，即地表面以下 200m 范围内的地热能，温度大都处于 15℃ 左右。第 2 章介绍地热井施工和试验，以深层地热为主。第 3 章介绍地热系统的防腐防垢与选材。第 4 章介绍地热井设备与地热流体输送，以深层地热为主。第 5 章介绍地热供暖，以深层地热为主，结合工程案例。第 6 章介绍地热发电，以深层地热为主，结合有机朗肯循环。第 7 章介绍地热综合利用技术，以深层地热为主，结合工程案例。第 8 章介绍水源热泵空调系统，以浅层地热能为主，结合工程案例。第 9 章介绍土壤耦合热泵空调系统，以浅层地热能为主，结合工程案例。第 10 章介绍地热开发利用的环境保护，以保持地热资源利用的可持续性。

本书不仅阐述了深层地热的利用，即传统地热利用，还增加了浅层地热能的利用，即结合热泵技术，利用浅层地热能热泵空调采暖系统，不但制热，还能制冷。本书既能让地热工作者对地热开发利用的有关知识有一个全面的认知，又能具体地了解各项技术的原理、构造、系统、设计计算方法、必要的技术数据以及建设要点。本书反映了几十年来我国发展地热取得的经验与成果，同时介绍了国外地热发展现状和先进技术。这样的内容安排，目的是使本书能对提高我国地热开发利用的技术水平真正起到一些促进作用。本书不仅对广大地热工作者有一定的实用价值，对高等院校的热能、暖通、制冷、环保、化工、农业、旅游、医疗等许多专业的学生与研究生，也是一本有用的参考书。

本书遵循全国普通高等学校教学工作会议精神，立足培养 21 世纪的专业人才，适应科技进步以及改革发展和经济建设的需要，按照“基础扎实、知识面宽、能力强、素质高、有创新意识”的人才培养要求，总结编写者教学实践经验、科研成果及工程实践经验编写而成，在保证学科系统性与完整性的基础上，力求科学性、先进性、启发性及实用性。

本书由唐志伟负责第 1 章、第 2 章~第 5 章的编写，王景甫负责第 6 章、第 7 章、第 10 章的编写，张宏宇负责第 8 章、第 9 章的编写。全书由唐志伟统稿。

本书的编写参考了相关文献，在此向作者一并致谢。

限于编者学术水平及教学经验，书中难免有疏漏和不妥之处，竭诚希望读者及兄弟院校使用本书的师生批评指正

编著者

2017 年 9 月

第 1 章	地热能与地热资源	1
1.1	概述	1
1.1.1	地热能与地热增温率	1
1.1.2	地热资源	3
1.1.3	地热区、地热田与热储	4
1.1.4	大地热流	4
1.1.5	地热异常	5
1.1.6	奇特的地热显示	6
1.2	地热资源与地热带	9
1.2.1	板块构造和地热带分布规律	9
1.2.2	地热带分类	10
1.3	岩石与地质年代	14
1.3.1	地层单位与地质时代	14
1.3.2	岩石的分类	16
1.3.3	岩石的热物理性质	17
1.3.4	岩石的渗透率和孔隙率	17
1.4	地热资源分类	18
1.4.1	对流型高温水热资源	18
1.4.2	中低温地热资源	20
1.4.3	地压、地热资源	23
1.4.4	干热岩型地热资源	24
1.4.5	熔岩(岩浆)地热资源	26
1.5	中国的地热资源	26
1.5.1	中国的温泉及其分布	26
1.5.2	中国高温地热资源的分布	29
1.5.3	中国中低温地热资源的分布	30
1.5.4	中国地压地热资源初探	32
第 2 章	地热井施工和试验	34
2.1	概述	34

2.2	钻井设备	35
2.2.1	冲击钻机	35
2.2.2	回转钻机	37
2.2.3	其他类型的回转钻进	38
2.2.4	取芯钻具	40
2.2.5	定向钻井	41
2.3	钻进液	41
2.3.1	概述	41
2.3.2	钻进泥浆的主要性能和各种岩层对泥浆的要求	42
2.3.3	聚物流体	44
2.3.4	空气基流体	44
2.3.5	复杂岩层中钻进用泥浆的处理	45
2.3.6	散低固相泥浆	46
2.3.7	高温地热钻进泥浆	46
2.4	地热井的设计	47
2.5	地热井钻进	48
2.5.1	中低温地热井的钻进	49
2.5.2	高温地热井钻进	49
2.5.3	固井	50
2.6	地热井钻进事故的预防与处理	50
2.7	防喷器	52
2.8	回灌井	54
2.9	地热测井	55
2.10	地热井试验	56
2.10.1	钻井数据	58
2.10.2	钻机试验	58
2.10.3	抽水降压试验	58
2.10.4	长期生产和干扰试验	60
2.10.5	注水试验	61
2.10.6	恢复试验	61
2.10.7	试验计划与其他一些问题	61
2.11	数据采集与解释	62
2.11.1	井孔压力的测量	62
2.11.2	井孔温度的测量	63
2.11.3	井孔流量的测量	63
2.11.4	测量中的一些经验	65
2.11.5	数据解释	65
2.12	热储工程理论	65
2.13	热储模型	67
2.14	热储模型与数值模拟	68
2.15	中低温地热水的回灌	70

2.16	地热资源评价	71
2.16.1	概说	71
2.16.2	地热资源按研究程度分类	71
2.16.3	地热资源的评价	74

第3章 地热系统的防腐防垢与选材 77

3.1	概述	77
3.2	地热腐蚀的类型	79
3.2.1	按金属腐蚀原理分类	79
3.2.2	按腐蚀破坏形式分类	79
3.3	金属均匀腐蚀速度表示法	80
3.3.1	金属均匀腐蚀速度的质量指标	80
3.3.2	金属腐蚀速度的深度指标	80
3.3.3	均匀腐蚀的分级标准	81
3.4	金属电化学腐蚀的机理	81
3.4.1	电极电位	81
3.4.2	腐蚀原电池	82
3.5	常见的局部腐蚀及其控制办法	83
3.5.1	孔蚀	83
3.5.2	缝隙腐蚀	84
3.5.3	应力腐蚀破裂	84
3.5.4	晶间腐蚀	85
3.5.5	电偶腐蚀	85
3.5.6	脱成分腐蚀	86
3.5.7	氢脆	86
3.5.8	磨蚀	86
3.6	地热流体中的主要腐蚀成分	86
3.7	材料在地热水中的腐蚀行为	88
3.8	地热设备的选材	92
3.9	地热防腐措施	93
3.10	防腐蚀工程的设计原则和设计依据	96
3.11	地热系统的结垢与阻垢	98
3.11.1	阻垢的重要性	98
3.11.2	地热水垢的成垢机理	99
3.12	地热水腐蚀与结垢趋势的判断方法	100
3.12.1	概述	100
3.12.2	碳酸钙结垢趋势判断	101
3.12.3	硫酸钙结垢趋势判断	105
3.12.4	硅酸盐结垢趋势判断	106
3.12.5	用拉伸指数判断腐蚀趋势	106

3.13	地热除垢与防垢方法	107
3.13.1	地热除垢方法	107
3.13.2	地热防垢方法	107
3.14	防腐蚀工程设计方案举例	111
3.14.1	影响地热水腐蚀主要因素的论证	112
3.14.2	常用金属材料在地热水中腐蚀行为的论证	113
3.14.3	地热水的腐蚀规律	115
3.14.4	在地热水中使用防腐涂料的试验研究	116
3.14.5	地热采暖系统防腐蚀工程方案	118

第4章 地热井设备与地热流体输送 122

4.1	概述	122
4.2	长轴深井泵	123
4.2.1	基本构造	123
4.2.2	运行与安装的几个问题	123
4.2.3	长轴深井泵设计计算示例	127
4.2.4	泵的运行和维护	131
4.3	潜水电泵	132
4.3.1	基本结构与工作原理	132
4.3.2	高温潜水电泵	136
4.3.3	潜水电泵的选型及注意事项	137
4.4	地热井泵变频调速	140
4.4.1	节流法	140
4.4.2	用储水箱使井泵间隙运行	140
4.4.3	井口回流法	141
4.4.4	改变井泵的转速	141
4.5	地热井口装置	142
4.5.1	地热井口装置的一般要求	142
4.5.2	多功能井口装置	142
4.5.3	井口氮气保护与除氧	144
4.6	地热水除砂	146
4.7	汽水分离装置	147
4.7.1	分离器壁厚计算	147
4.7.2	分离器封头壁厚计算	148
4.7.3	井口系统主管径的确定	148
4.8	地热水除铁	148
4.8.1	概述	148
4.8.2	地热水除铁原理	149
4.8.3	曝气过程与曝气装置	151
4.8.4	天然锰砂除铁滤罐	154

4.8.5	地热水除铁系统	156
4.9	地热流体输送	157
4.10	管道材料	158
4.10.1	碳钢	159
4.10.2	球墨铸铁	160
4.10.3	玻璃纤维增强塑料 (FRP)	160
4.10.4	聚氯乙烯 (PVC) 与增强聚氯乙烯 (UPVC)	163
4.10.5	氯化聚氯乙烯 (CPVC)	164
4.10.6	ABS	166
4.10.7	聚乙烯 (PE) 与交联聚乙烯 (PEX)	167
4.10.8	铝塑复合管 (PEX-Al)	168
4.10.9	聚丙烯 (PP) 与聚丙烯 (共聚) (PP-C)	169
4.10.10	聚丁烯 (PB)	170
4.11	管道保温	172
4.11.1	对保温材料的要求	172
4.11.2	常用保温材料	172
4.11.3	保护层	174
4.11.4	预制保温管	175
4.11.5	非保温管	175
4.12	管道保温热力计算	177
4.12.1	计算原则	177
4.12.2	保温层厚度计算	178
4.13	管网布置与敷设	181
4.13.1	管网布置原则	181
4.13.2	敷设方式	181
4.13.3	无补偿直埋敷设的设计与实例	182

第5章 地热供暖 187

5.1	概述	187
5.2	供暖热耗量的估算	187
5.2.1	供暖的气象参数	188
5.2.2	建筑物的供暖热耗指标	188
5.2.3	供暖度日值和累积热负荷	190
5.3	地热供暖系统的调峰	191
5.4	地热间接供暖系统	193
5.5	降低地热排水温度和地热利用率	196
5.5.1	地热供暖利用率	196
5.5.2	降低地热排水温度的制约因素	196
5.6	地热直接供暖系统	198
5.6.1	地热直接供暖系统的组成与特点	198

5.6.2	地热直接供暖系统的供热调节	198
5.6.3	调节地热水量的方法	199
5.6.4	地热直接供暖变频调速系统供热调节计算	200
5.6.5	地热直接供暖变频调速系统的混水器	201
5.6.6	地热直接供暖变频调速系统	202
5.6.7	地热直接供暖系统示例	204
5.6.8	地热供暖散热器	205
5.7	低温地热辐射采暖	207
5.7.1	概述	207
5.7.2	地板辐射供暖的特点	207
5.7.3	地板辐射供暖系统的组成	208
5.7.4	地板辐射供暖的设计计算	211
5.7.5	地板辐射供暖的施工与调试	218
5.7.6	经济性	218
5.8	地热热风供暖	218
5.8.1	热风供暖的系统与特点	218
5.8.2	暖风机翅片管束的传热计算	220
5.8.3	翅片管换热器的阻力计算	221
5.8.4	地热热风供暖的电力消耗	223
5.8.5	地热热风供暖系统的优化分析	223
5.9	燃煤锅炉供暖改为地热供暖	224
5.9.1	低温与多余供热量对非标准条件下供暖的影响	224
5.9.2	热水系统的改造	225
5.9.3	热风系统的改造	225
5.10	地热生活热水供应	226
5.10.1	生活热水负荷的计算依据	226
5.10.2	生活热水负荷的计算方法	228
5.10.3	生活热水供应系统	229
5.11	井下换热器供热系统	230
5.11.1	井下换热器的供热原理	230
5.11.2	井下换热器的结构与设计	230
5.11.3	井内对流	232
5.11.4	井下换热器产热量	234

第6章 地热发电 236

6.1	地热发电的方式	236
6.1.1	地热蒸汽发电	236
6.1.2	地下热水发电	237
6.1.3	全流地热发电	239
6.1.4	干热岩发电	239

6.2	世界典型地热电站介绍	240
6.2.1	西藏羊八井地热电站	240
6.2.2	美国盖瑟斯地热电站	241
6.3	地热能利用的制约因素和环境保护	241
6.3.1	常见的制约因素	241
6.3.2	对环境的影响	243

第7章 地热综合利用技术 244

7.1	地热农业利用技术	244
7.1.1	地热温室大棚	244
7.1.2	地热养殖	251
7.1.3	地热孵化	254
7.1.4	地热干燥	258
7.2	地热水的深加工处理	264
7.2.1	地热水利用反渗透技术生产净水	266
7.2.2	地热 GQ-JS 系列直饮水设备	268

第8章 水源热泵空调系统 270

8.1	水源热泵机组	270
8.1.1	水源热泵机组的分类	270
8.1.2	水/空气热泵机组	271
8.1.3	水/水热泵机组	272
8.1.4	水源热泵机组的运行特性	273
8.2	地下水源热泵空调系统	274
8.2.1	地下水源热泵空调系统的组成与工作原理	274
8.2.2	地下水源热泵空调系统的设计要点	275
8.2.3	地下水回灌技术	278
8.3	地表水源热泵空调系统	280
8.3.1	地表水换热系统的形式	280
8.3.2	地表水的特点对热泵空调系统的影响	281
8.3.3	地表水换热系统勘查	282
8.3.4	松散捆卷盘管的设计要点	282
8.4	海水源热泵空调系统	284
8.4.1	大型海水源热泵站	284
8.4.2	海水源热泵空调系统的特殊技术措施	285
8.5	污水源热泵空调系统	286
8.5.1	污水的特殊性及对污水源热泵的影响	286
8.5.2	污水源热泵站	286
8.5.3	城市原生污水源热泵设计中应注意的问题	287

8.5.4	污水源热泵形式	288
8.5.5	防堵塞与防腐蚀的技术措施	289
8.6	工程案例	290
8.6.1	冷热负荷	290
8.6.2	设计依据	290
8.6.3	方案设计	290
8.6.4	经济环境效益分析	292
8.6.5	流程图	293

第9章 土壤耦合热泵空调系统 295

9.1	土壤耦合热泵空调系统简介	295
9.1.1	土壤耦合热泵空调系统的组成	295
9.1.2	土壤耦合热泵空调系统的分类	296
9.2	现场调查与工程勘查	297
9.2.1	现场勘查	297
9.2.2	水文地质调查	298
9.2.3	设置测试孔与监测孔	298
9.2.4	土壤热响应实验	299
9.3	地埋管换热器的管材与传热介质	300
9.3.1	地埋管管材	300
9.3.2	管材规格和压力级别	301
9.3.3	传热介质	301
9.4	地埋管换热器的布置形式	303
9.4.1	埋管方式	303
9.4.2	连接方式	305
9.4.3	水平连接集管	306
9.5	地埋管换热器的传热计算	306
9.5.1	地埋管换热器传热分析	306
9.5.2	竖直地埋管换热器的长度	307
9.6	地埋管换热器系统水力计算	310
9.6.1	压力损失计算	310
9.6.2	循环泵的选择	312
9.7	地埋管换热器的安装	312
9.7.1	施工前的准备	312
9.7.2	水平式地埋管换热器	312
9.7.3	竖直式U形埋管换热器	313
9.7.4	地埋管换热系统的检验与水压试验	317
9.8	直接膨胀式土壤源热泵系统	318
9.9	案例分析	319
9.9.1	冷热源需求	319

9.9.2	设计依据	320
9.9.3	方案设计	320
9.9.4	经济环境效益分析	322
9.9.5	绘图	323

第10章 地热开发利用的环境保护 325

10.1	概述	325
10.2	地热流体开发利用对环境的影响	326
10.2.1	热污染	326
10.2.2	空气污染	326
10.2.3	水污染	327
10.2.4	土壤污染	328
10.2.5	放射性污染	328
10.2.6	地面沉降和诱发地震	328
10.2.7	噪声污染	328
10.3	地热水按不同用途的水质评价	329
10.3.1	灌溉	329
10.3.2	养鱼(或其他水产品)	330
10.3.3	直接排放	331
10.4	我国的水环境质量标准	332
10.4.1	地面水环境质量标准	332
10.4.2	污水综合排放标准	333
10.5	地热排水的处理及试验研究	335
10.5.1	水生植物吸收法	335
10.5.2	多孔骨料吸收法除氟和其他有害气体	335
10.5.3	湿地生物系统综合治理	336
10.5.4	简单物理化学沉淀法除盐	336
10.5.5	工程实例	336

参考文献

地热能与地热资源

1.1 概述

1.1.1 地热能与地热增温率

地球内部包含的热能叫做“地热能”。地热能有两种不同的来源，一种来自地球外部，另一种来自地球内部。地球表层的热能主要来自太阳辐射，表层以下约 15~30m 的范围内，温度随昼夜、四季气温的变化而交替发生明显的变化，这部分热能称为“外热”。从地表向内，太阳辐射的影响逐渐减弱，到一定深度，这种影响消失，温度终年不变，即达到所谓“常温层”。从常温层再向下，地温受地球内部热量的影响，逐渐升高，这种来自地球内部的热能称为“内热”。每垂直深入地下 100m 或 1km 的地温增加值称为“地热增温率”或称“地温梯度”，单位为 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 或 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。

地球是一个巨大的椭球体，构造很像鸡蛋，主要分为三层：外表相当于蛋壳的一个薄层叫“地壳”，厚度 10~70km 不等；地壳下面相当于蛋白的那一部分叫“地幔”，总厚度约 2900km；地球内部相当于蛋黄的那一部分叫“地核”（液核与内核），约 3450km（图 1-1）。地表至 15km 深处，地热增温率平均为 $2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ；15~25km 深处，地热增温率降为平均 $1.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ；再往下，则只有 $0.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 左右。

地热增温率与该地区的地质构造条件、岩石的导热性能、火山与岩浆活动情况以及水文地质等因素有关。对于近代火山和岩浆活动地区，地热增温率一般在 $6\sim 8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ；对正在喷发和不久前喷发的活火山区，地热增温率达每百米几十摄氏度；对地壳活动不活跃的古老结晶岩地区，增温率则 $<1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ；对于主要由沉积岩组成的近代沉降地区和年轻的山地，增温率为 $2\sim 4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ；对绝大部分地区，增温率为 $2\sim 5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

凡地热增温率超过某一正常值的地区，我国规定为 $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，统称为“地热异常区”。

根据地热增温率的变化计算，地壳底部温度约为 $900\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，至 100km 深处的地幔上部，温度可达 1300°C 左右。至于地幔下部和地核的温度，根据地球物理学有关资料推断，约在 $2000\sim 5000^{\circ}\text{C}$ 之间。所以说，地球是一个巨大的热库，内部蕴藏着几乎取之不尽的热能。根据目前的钻井技术，超深井的钻井深度也只有 1 万多米，还不及地壳平均厚度的 $1/3$ ，而一般钻井深度都在 3000m 以内，因而现在人们利用的地热能仅仅是“沧海一粟”，潜力还很大。

地热能的由来涉及地球起源的学说，虽然目前对这种学说有不同的学术观点，但都承认岩石中放射性元素蜕变产生的热量是地球内热的主要来源。据计算，在地球历史中，地球内

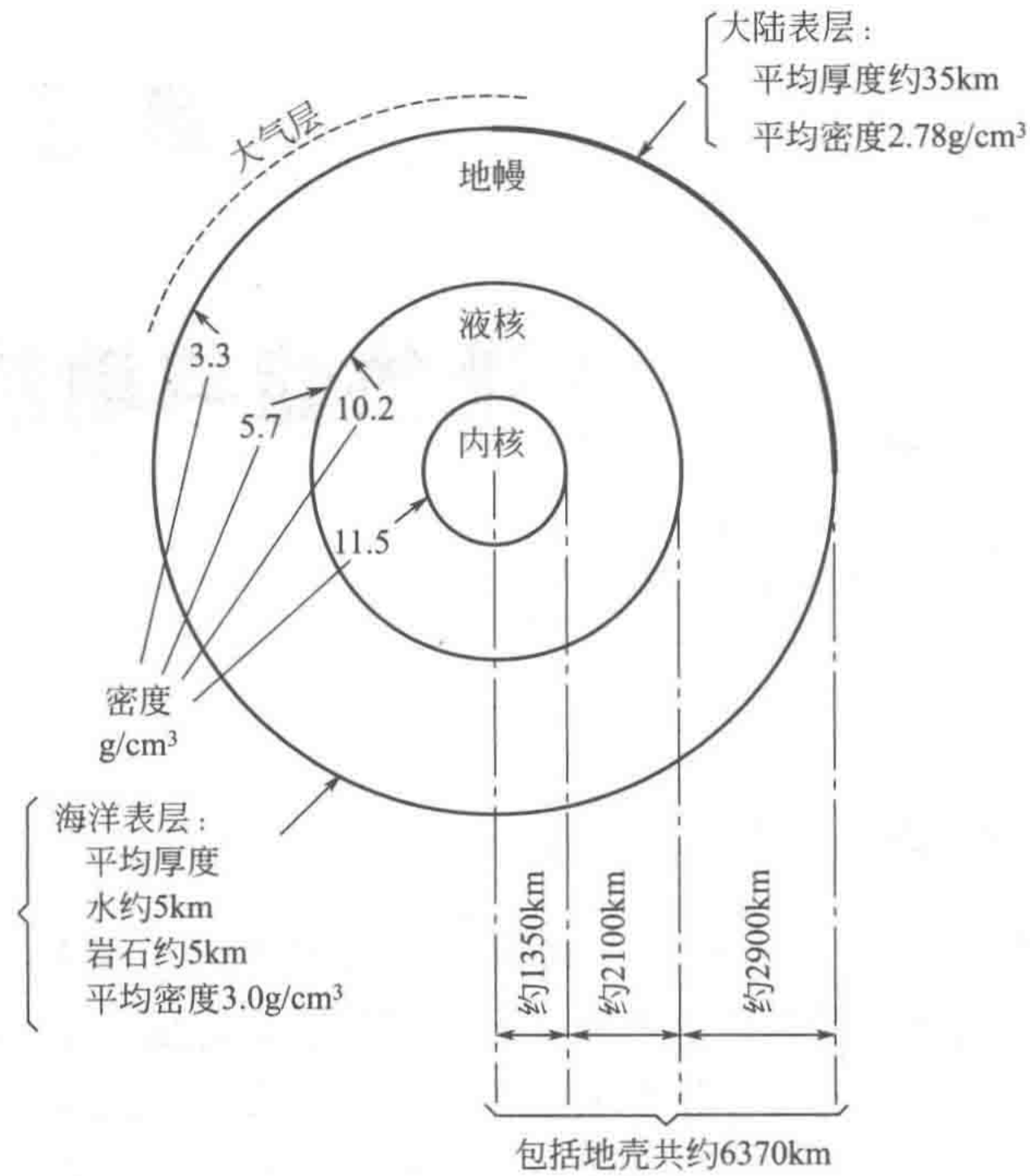


图 1-1 地球的构造 (据 Bullard, 1973)

部中、长半衰期放射性元素蜕变产生的热量平均每年有 20.934×10^{20} J。由于地壳中放射性元素含量逐渐减少，目前产生的热量约为 30 亿年前的 40%，略少于地球每年向宇宙散失和由火山、温泉携出的热量的总和，因而地壳在最近的地质历史时期正处在极其缓慢的冷却之中。根据计算，要使地壳上部的冷却区向下移至地心，约需 100 亿年的时间。除放射性元素蜕变放热外，地球内部的热源还可来自重力分异、潮汐摩擦、化学反应等，但这些都占主导地位。

可产生衰变的放射性元素很多，但只有满足以下 3 个条件的元素才能作为地球的热源：①必须具有足够的丰度；②放射性热效率较高；③半衰期和地球年龄相当。目前所知，具备上述 3 个条件的放射性元素只有 U (铀)、Th (钍)、K (钾) 3 种，它们的半衰期见表 1-1，在地球各层的平均含量和生成热见表 1-2 (《能源百科全书》编辑委员会, 1997)。

表 1-1 地球热源中放射性元素性能

放射性元素	半衰期/a	生热率/[J/(g·a)]
²³⁵ U	7.53×10^8	13.72
²³⁸ U	4.5×10^9	3.1
²³² Th	1.45×10^{10}	0.84
⁴⁰ K	1.54×10^9	11.297×10^{-5}

表 1-2 地球各壳层的放射性生成热

单位: $\times 10^{18}$ J/a

壳层	²³⁵ U	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K	共计	所占比例/%
地壳	22.59	535.55	544.76	158.99	1261.89	76.3
地幔	5.86	144.35	168.61	46.02	364.84	21.7
地核	0.84	16.74	14.64	—	32.22	2.0
共计	29.29	696.64	728.01	205.01	1658.95	100
所占比例/%	1.7	41.7	44.3	12.3	100	

根据放射性元素放热热源的分布，地球不同深度的热源所占的比例估计如下：

0~100km	占 50%
100~200km	占 25%
200~300km	占 15%
300~400km	占 8%
400km 以上	占 2%

这些放射性物质在地球演化和分异过程中集中于上部，又以地壳上部酸性岩浆岩（如花岗岩）的生热率最多，达 $3.422512 \times 10^{-5} \text{J}/(\text{g} \cdot \text{a})$ 。1g 花岗岩中含的 K、U、Th 每秒可产生 $10.88 \times 10^{-3} \text{J}/\text{g}$ 的热量。其他如 ^{236}U 、 ^{146}Sm 、 ^{244}Pu 、 ^{247}Cm 等半衰期短的放射性元素，在地球形成后的 $10^7 \sim 10^8$ 年间曾对地球加热。

1.1.2 地热资源

赋存于地球内部的热能，是一种巨大的自然能源，它通过火山爆发、温泉、间隙喷泉及岩石的热传导等形式不断地向地表传送和散失热量。火山爆发时喷出的熔岩浆，或是从地下喷出或涌出的热水和蒸汽，都是巨大的载热体，它们不断地将地球内部的热能带到地表，在地表或近地表处形成强烈的地热显示和具有经济开发价值的地热田，为人类提供廉价的洁净能源。凡是在某一未来时间内能被经济而合理地取出来的那部分地下热能，我们称之为地热资源。可见地热资源只是地热能中很小的一部分。

地热资源按其形成的 4 个要素（热储层、热储体盖层、热流体通道和热源）可划分为 3 种基本类型：①近期岩浆活动型；②断裂（裂隙）型；③沉降盆地型。

地热资源若按其在地下储存的形式可分为 5 种类型：①蒸汽为主型地热资源——以蒸汽形式赋存于地下热储中的地热资源；②水为主型地热资源——以热水的形式赋存于地下热储中的地热资源；③地压地热资源——埋藏在沉积盆地可渗透的沉积岩中，流体压力明显超过正常静水压力的异常高压层中的地热资源，它不但具有高压（机械能）、高温（热能），水中还溶有饱和的可回收的碳氢化合物（天然气甲烷）；④干热岩型地热资源——干热岩泛指地下不存在热水或蒸汽的热岩体，干热岩地热资源则专指埋藏较浅、温度较高且有较大开发经济价值的热岩体中赋存的地热资源；⑤熔岩（岩浆）型地热资源——指蕴藏在熔融状态和半熔状态岩浆中的巨大能量。

根据资源的研究程度，地热资源又可分为远景地热资源、推测地热资源及已查明地热资源。

远景地热资源系指在小比例尺（相当于 1:1000000 或 1:500000）区域调查的基础上，根据某些地热现象，如温泉、浅层地温等物探资料，并基于一般的地热地质条件和理论，推测其存在的地热资源，它可作为进行中比例尺调查和制定规划的依据。

推测地热资源系指在中比例尺（相当于 1:200000 或 1:100000）区域调查的基础上，相应开展了地热地质、地热地球化学和地温调查，重力、磁、电或地震等物探以及钻探工作后得出的地热资源，它可作为规划大比例尺地热调查、地热普查计划编制及初步勘探设计的依据。

已查明地热资源又称已确认地热资源，系指在大比例尺（相当于 1:50000 等）调查的基础上，相应开展了地热地质、地热地球化学、地温调查，重力、磁、电或地震等物探工作，经钻探验证，地质构造和热储边界清楚，同时经过长时间单井、多井抽水试验或放喷试

验以后，能够计算出的地热资源，它是开采设计的依据。

地热资源按温度可分为高温 ($t \geq 150^\circ\text{C}$)、中温 ($90^\circ\text{C} \leq t < 150^\circ\text{C}$) 和低温 ($t < 90^\circ\text{C}$) 三类。温度均指主要热储代表性温度。

1.1.3 地热区、地热田与热储

在现时条件下，在技术经济上有开发利用价值的地热相对富集区，即地温梯度大于正常值的地区，一般称为地热区。这里没有提到热储的渗透性。只有具备良好渗透性热储的地热区，才成为地热田。地热田的概念及其面积圈定，在不同地区，对不同的利用方式，有很大的差别。如世界上一些用来发电的高温地热田，是以热储温度高于 150°C 来圈定地热田面积的；如果今后发电技术有所突破或高温资源不能满足需要而使开发 150°C 以下的资源成为必要时，热田面积就可以相应扩大。目前中国的一些中低温地热田，热水的利用温度很低，因此，有时将热储温度在 40°C 以上的地区也称为地热田。

热储系指地热流体相对富集，具有一定渗透性并含载热流体的岩层或岩体破碎带。热储分为孔隙热储和裂隙热储。砂层、砂卵砾石层、胶结较差的砂岩、砾岩和部分碳酸岩等属孔隙热储。火成岩、变质岩、部分碳酸盐岩和致密砂岩、砾岩属裂隙热储。它们以储存热流体的形式而加以区别，如两者并存时，则按孔隙热储考虑。

热储周围常是较凉的渗透性岩石，它们与热储具有水力联系，因此，天然状态下，水可在热储和围岩之间流动，形成一个大的地热系统。热储仅是这一大地热系统的一部分。

1.1.4 大地热流

大地热流是指从地球内部经岩石的热传导作用源源不断地流出地表的热量。一般用它表示地球内部热能向地球表面散失的状况。大地热流值（或热流量）指单位时间内通过地球表面单位面积散失的热流量。热流单位通常用 HFU (heat flow unit) 表示， $1\text{HFU} = 4.18 \times 10^{-6} \text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ [约为 $1\mu\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$]。全球热流值变化范围为 $0.6 \sim 3.0\text{HFU}$ ，平均为 1.47HFU [约为 $0.06\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]。

大地热流量 q 的数值的计算公式为

$$q = k \frac{dr}{dz} \quad (1-1)$$

式中 k ——岩石导热率；

$\frac{dr}{dz}$ ——地温梯度。

大地热流量是一个矢量，在各向同性的均匀介质内部的任何一个点，热流的方向总是垂直于温度恒定的某一个等温面。

大地热流测量是了解地壳、上地幔内部的热状态和热过程的基本途径，也是寻找有无地热异常区的重要手段之一。如大洋中脊热流平均值为 1.9，高于海沟（约 1.16）和海盆（1.27）。现代地壳运动剧烈的部分，其热流变化也大，反之则小。大地热流值变化大于 0.5 的地方，正好与板块边界相吻合；陆上愈是古老的地区，热流值愈低；构造性愈大的地区，热流值愈高。

大地热流值因不受各类岩石导热率的影响，较之地温梯度值（地热增温率）更能全面地