

地热能利用



科学技术文献出版社重庆分社

地 热 能 利 用

(新能源专题资料之三)

中国科学技术情报研究所重庆分所

科学技术文献出版社重庆分社

1981年·重庆

036206

地 热 能 利 用

中国科学技术情报研究所重庆分所	编 辑
科学技术文献出版社重庆分社	出 版
重庆市市中区胜利路91号	
四川省新华书店重庆发行所	发 行
科学技术文献出版社重庆分社印刷厂	印 刷

开本：787×1092毫米1/32	印张：10.	字数：22万
1981年7月第一版	1981年7月第一次印刷	
科技新书目：3-261	印数：1760	

书号：15176·500

定价：1.05元

内 容 提 要

本书主要介绍地热能的利用方法和与地热能利用有关的化学和热力学原理。书中阐述了地热卤水的化学基础原理(着重讨论了地热卤水的物理化学特性、碳酸盐化学、硅酸盐化学和结垢沉淀等)、热能转换成机械能和电能、膨胀机械以及地热能的热力利用与矿物回收等。书中提供了与地热卤水化学有关的大量试验数据,对研究地热设备的结垢沉淀很有参考价值。

目 录

第一章 地热能的概述

1. 一般利用·····(1)
2. 有关地球内部的知识·····(4)
3. 地热能的位置和概况·····(5)
4. 地球内部热能向地壳传送·····(9)
5. 地热能的水热型传送·····(14)
6. 小结·····(25)

第二章 地热卤水及其化学和物理性质

1. 卤水的化学成分·····(34)
2. 物理性质·····(56)
3. 闪蒸对卤水成分的影响·····(76)
4. 化学性质、平衡和动力学·····(77)
5. 小结·····(86)

第三章 地热卤水的碳酸盐化学

1. 二氧化碳-水系统·····(95)
2. 碳酸氢盐溶液的阳离子反应·····(101)
3. 碳酸钙化学与沉淀的关系·····(102)
4. CO_2 的逸出对方解石溶解度的影响·····(109)
5. 小结·····(110)

第四章 地热卤水的硅酸盐化学

1. 硅石和硅酸盐结构及其形成·····(114)
2. 硅石-硅酸盐-水系统·····(122)
3. 沉淀和(或)聚合·····(128)

4.	二氧化硅-水-盐系统·····	(134)
5.	小结·····	(136)
第五章 地热设备的结垢沉淀		
1.	沉淀及其形成条件的概述·····	(142)
2.	地热卤水沉淀物的详细说明·····	(143)
3.	工艺条件的影响·····	(169)
4.	影响沉淀的因素·····	(172)
5.	结垢沉淀的机理和模型·····	(173)
6.	沉淀的控制·····	(182)
7.	小结·····	(185)
第六章 热源产生的机械功或电功		
1.	热力学第一定律·····	(192)
2.	可用功·····	(194)
3.	小结·····	(201)
第七章 膨胀机		
1.	透平机·····	(207)
2.	二相膨胀机·····	(209)
3.	小结·····	(217)
第八章 利用膨胀机发电		
1.	可逆式处理装置的性能·····	(221)
2.	实际处理装置的性能·····	(226)
3.	地热井流量·····	(228)
4.	闪蒸蒸汽地热电站·····	(229)
5.	蒸汽型和热水型热储地热系统的比较·····	(240)
6.	蒸发系统用的二次工作流体系统·····	(242)
7.	液体型非闪蒸热储用的二次工作 流体系统·····	(243)

- 8. 二相流系统.....(256)
- 9. 各种系统的比较和小结.....(259)

第九章 热利用和矿物回收

- 1. 美国热能的需要量.....(265)
- 2. 热能输送.....(268)
- 3. 地热能输送.....(268)
- 4. 地热能价值.....(270)
- 5. 向集热系统输送流体时需要考虑的问题.....(271)
- 6. 显热输送的设计依据.....(273)
- 7. 冰岛雷克雅未克系统中的集热、分配和输送.....(278)
- 8. 经济.....(281)
- 9. 地热能在学习过程中的利用.....(286)
- 10. 利用地热能回收矿物.....(288)
- 11. 小结.....(297)

第十章 地热用途的比较和联合系统的性能

- 1. 从一固定资源获得最大的利益.....(306)
- 2. 利用固定资源的经济性.....(308)
- 3. 热电联合生产.....(311)
- 4. 应用地热能供应生产过程用热和地热-矿物联合资源.....(316)
- 5. 小结.....(319)

第一章 地热能的概述

1. 一般利用

目前,世界各国政府机构,根据过去进行的地热资源调查和对未来的预测,正在把大量的研究和发展基金用于资助和开创地热能的利用。大大小小的公司都在积极地勘探潜在的地热储和购买地热田租地权。有的公司正在研制利用地热资源的各种转换系统。不久的将来,或许在今后几十年内,地热能利用将得到进一步发展。表 1.1 示出了地热发电系统的近代发展历史,由表可见,地热能的利用每八年增加一倍。

世界上许多地区已普遍利用地热能,不仅用于住宅区、商业和工业等方面的采暖和过程加热,而且还用来发电。全世界1975年发电和供热的每一种用途所生产的动力均达1300兆瓦,如表1.2所示。像冰岛首都雷克雅未克这样的城市,采暖和其它用途的热能,其费用占矿物燃料供热系统费用的一半,而此费用的大部份是用于输热系统。在地热储附近大量供应热能的情况下,其费用只有矿物燃料费用的五分之一。目前地热发电费用比燃煤、燃油电站和原子能电站低25~30%。用现代技术可开发的地热田,大多数位于陆地上的地质活动区内,如图1.1所示。美国可开发的地热能储量估计为1,000,000兆瓦-几百年热能;此外,整个水热型热储估计达4,000,000兆瓦-几百年热能;各种类型地热田的总储量估计达10,000,000,000兆瓦-几百年。

表1.1 世界各主要国家地热电站装机容量(单位兆瓦)

年	意大利	新西兰	美国	墨西哥	日本	冰岛	苏联	其它	总计
1913	1/4								1/4
1914	8								8
1936	56								56
1939	140								140
1940	250								250
1944	10								10
1956	260	69	12						329
1960	300	↓	↓						381
1961	320	181	26						501
1963	320	↓	54						527
1965	340	↓	↓						575
1966	↓	↓	↓		20				595
1967	↓	↓	↓	3.5	33		5.7		617
1968	↓	↓	82	↓	↓		↓		645
1969	↓	↓	↓	↓	↓	3.4	↓		648
1971	391	↓	192	↓	↓	↓	↓		810
1972	↓	↓	302	↓	↓	↓	↓		919
1973	↓	↓	412	78.5	↓	↓	↓		1104
1974	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		1104
1975	↓	231	522	↓	58	↓	↓		1289
1976	↓	↓	632	↓	↓	63.4	↓	110	1569
1977	↓	↓	742	153.5	158	↓	↓	170	1915
1978	↓	↓	852	↓	↓	↓	↓	↓	2025
1979	↓	↓	962	↓	↓	↓	↓	↓	2135
1980	↓	281	1072	183.5	↓	↓	↓	↓	2325

数据来源

(1.12)(2.10)(3.11)(4.5) (6)(7)(8)(9)

(1) Villa, 1975; (2) Smith, 1970; (3) Lengquist, 1975;
 (4) Guiza, 1975; (5) B. Molina, 1970; (6) Axtell, 1975;
 (7) Ragnars, 1970; (8) Berman, 1975; (9) Berman, 1975;
 (10) Scholes, 1974; (11) McCabe, 1975; (12) Birsic, 1974.

表1.2 1975年用于采暖加热的地热能与发电用地热能的比较 (温泉浴除外^a)

国 家	电能 ^b (兆瓦)	热能 ^c (兆瓦)	数 据 来 源
冰 岛	3	475	Einarsson, 1975
美 国	522	30	Lund, 1974; Linton, 1974
日 本	58	37 ^d	Komagata, 1970
苏 联	6	300	Tikhonov, 1970; Dorov, 1974
意大利	391	1	Dragone, 1970
匈牙利	—	363	Boldizsar, 1970; Belteky, 1972
新西兰	231	70	Wilson, 1970; Burrows, 1974
墨西哥	79	—	
总 计	1290	1276	

注: a, 温泉浴等可达 $5\sim 10\times 10^3$ 兆瓦热。

b, 根据表1.1。

c, 据证实, 实际应用可能超过该值相当数量。其后发表的一个报告实质上与该热能数值符合, 而苏联先报导是5000兆瓦。

d, 此外, 用于疗养的温泉水总热能估计达1700兆瓦。

为了科学地建立加工厂-热储系统, 以利用这类热储, 需要掌握有关的知识: 什么是热储; 热储的位置; 怎样才能从中获得能量; 如何使能量转换成所要求的形式等。本章概述地热田的性质和位置, 这是为后面几章讨论地热田实际应用打下基础。从长远来说, 高温地热田, 如活火山的利用, 需要一种与目前的实践完全不同的方法。

2. 有关地球内部的知识

有关地球内部的知识是从地球表面的直接观察以及由火

山喷发和钻井等岩样资料推断得来的。火山喷发把地球内部的物质直接带到地表。这就提供了关于地球内部组成的资料，也间接提供了关于内部温度和压力状况的资料，提供了关于内部温度和压力状况的资料。从深5公里、少数深达8公里的钻井中得到了地壳的试样，并进行了详细的化学分析和物理分析。根据对地球进行的地质和地球物理综合观测推断，地球的表层是由漂浮在热对流粘性物质上的七、八个板块组成的。由于这些板块的分离、碰撞，造成地壳和地幔各部份的相对垂直运动。这样在地球表面观察到的外露物质乃是地球内部的远古物质。对这些物质所作的实验室研究提供的资料说明了有关在地球内部可能存在的物质的状态。对由爆炸或天然地震产生的地震波的传播的研究，得到了有关波传播范围内（和/或固液相的界面）地球内部物质的密度和组成成份等方面的资料。根据这些观测，地球物理学家就可以绘制出较详细的地球内部结构图。

3. 地热能的位置和概况

根据现在的认识，地球的构成是这样的：在约2800公里厚的铁-镁硅酸盐地幔上有一层薄的（约30公里厚）铝-硅酸盐地壳，地幔下面是液态铁-镍地核，内含一个固态内核，如表1.3所示。在6到70公里厚的表层地壳和地幔之间有个分界面，即莫霍不连续面。莫霍界面是一个反射地震波的平面，这表明是密度界面。从地表到深100~200公里的岩石圈是刚性较大的物质。由于地球内圈和外圈之间存在热梯度，所以粘性物质是不断循环的。由以上的讨论和表1.3中可以看出，地球各区段具有双重术语，一组术语是由原来的名称构

成的，包括地壳、地幔和地核；另一组术语是较新的，是根据上地幔和地壳的板块性质取名的。

大洋壳厚6~10公里，由玄武岩构成，大洋壳层延伸到大陆壳层下面，如图1.2和1.5所示。

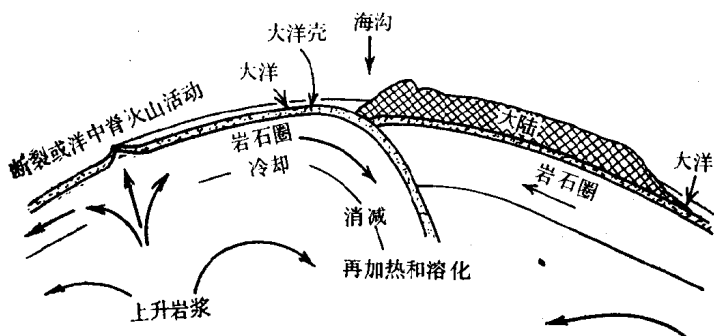


图1.2 地壳和地幔模型图。

图中表明板块和岩石圈的运动及其下面的粘性物质的热对流

大陆壳是由密度小的主要是钠钾铝-硅酸盐的花岗岩所组成，典型厚度为35公里，但在造山带厚度可能达到70公里。大陆壳的厚度较大，表明它对岩浆矿床或热田的绝热性能比大洋壳要好。热能通过地壳传导的情况是这样的：局部产出的岩浆侵入体要经过几百万甚至几千万年才冷却，所以大陆热田的寿命约为大洋壳热田（大部分是火山）寿命的十倍。如表1.4所示，地质活动区40公里深处的温度为1000℃，相应地在地质非活动区（如美国中东部）40公里深处温度仅为500℃。在前面所讨论区段内的平均温度分布和密度列于表1.3。由于地球内部的循环，以及由于物质不同，各区段和界面的温度，在空间上是与所给出的典型数值有所出入

表1.3 地球内部各段区间的温度分布和过渡区

区段	状态	结合带	深度(公里)	温度(°C)	密度(克/厘米 ³)	成份	区段
地壳	刚性板块	0.....	0—50.....	岩石圈
	.....	莫霍	10—20 ^c.....	.....?	.....2.7.....	.....钠、钾、铝硅酸盐 ^a
	.....	固相线	6—70.....	500—1000.....	.....30.....	.....铁、钙、镁、铝硅酸盐 ^b
	固态	固相线	100—200.....	1200.....	.....	.....
地幔	粘性物质	软流圈
	.....	固相线	.....700.....	1900.....	.....	.....3.6—4.4 铁、镁硅酸盐
	刚性地幔	.....	.....	.....	.....	.....
	.....	固相线	2800.....	3700.....	.....4.5—5.5	.....铁、镁、硅酸盐和/或氧化物
地核	液态	地核
	.....	固相线	5500.....	4300.....	.....10—12.....	.....铁、镍
	固态	.....	.....	.....	.....	.....
.....	中心	6340.....	4500.....铁、镍

注: a 酸性壳, 由所示成份组成, 在大洋壳中不存在。

b 镁铁质壳, 由所示成份组成。

c 康拉德界面, 在大洋下不存在。

的。地球内部的温度分布是由于热流把地球内部所蓄的热能带到冷的地表面,再加上某些局部产生的热能所造成的。地球内部所蓄的高温热能从高温的内部通过地壳传导到较冷的地表,结果在地表产生1—2微卡/平方厘米·秒的局部热流量。

认为,局部产生热能的一个来源是放射性元素,特别是在花岗岩岩层中。每10公里厚的花岗岩地壳产生的放射性衰变热足以在地表形成达0.6微卡/平方厘米·秒的热流。这种放射性衰变热与地球内部蓄储的能量有很大关系。玄武岩和橄榄岩是大洋壳中普通的组成成分,它们所产生的放射性衰变热是非常小的(见表1.5)。在地表壳层中产生的放射性衰变热虽然数量很大,但由于分布范围相当大,所以只能产生很低的温度。因此,地表的放射性衰变热地球内部高温热能相比作用小得多。

表1.4 各类地壳的地热特征

地壳类型	40公里深处的温度(℃)	地表热流量	
		总量(微卡/平方厘米·秒)	放射性(占总量的%)
地质非活动区			
(如美国中东部)	500	1	30
地质活动区			
(如造山运动、火山活动)	1000	2	30
分离板块的洋脊处的大洋壳	—	>2	< 5
大洋壳板块	—	1.3	< 5
海沟处的大洋壳	—	<1	—

表1.5 在各种地壳岩石中产生的放射性衰变热

岩石	单位质量产生的能(微卡/克·年)	10公里厚地壳产生的热流(微卡/平方厘米·秒)
花岗岩	7	0.6
玄武岩	1.2	0.1
橄榄岩	0.02	0.004

板块碰撞做功会产生局部高温，这种高温足以使板块局部熔化。这种再熔现象或超高温变质现象是在地表附近局部产生热能的另一个来源。

由于地球内部各种地热源发生热传导，结果在地表形成达1~2微卡/平方厘米·秒的热流，这大约相当于太阳能流的1/5000，是一种勉强够格的能源。这种传导热流作为能源来利用是不现实的。人们最感兴趣的能源是地球的高温。获取这种能量的一种方法是钻一口50公里的深井，在这个深度上温度是500℃~1000℃。遗憾的是，目前的技术条件还不可能经济地钻那么深的井。另一种方法是把深处的热能传送到地表附近，这样就可以很容易地加以利用。幸运的是，地幔中天然存在的循环流与地壳中的水热循环共同形成了传送机制。要确定这种近地表热储的位置和了解其重要性，重要的一条是要了解地热能从地球内部传送到地表的机制。

4. 地球内部热能向地壳传送

地壳和地幔的最简模型如图1.2所示。地壳和地幔是由密度小的大陆物质组成的，好象一个“筏”放在刚性岩石圈

上，岩石圈再“漂浮”在软流圈上。由于软流圈中的对流作用，使这些大陆壳“筏”向各个方向上移动，与大洋板块或其它大陆壳“筏”相碰撞或分离。这些相互作用的地区就是地质活动区，在这些地区发生着火山喷发、造山活动、一板块在另一板块下消减、和/或一板块交迭在另一板块上。这些活动产生的热物质就是岩浆，侵入到地表壳层中。这些侵入体是由板块的三种活动形式形成的。

板 块 分 离

分离的地壳板块由于软流圈中的对流而移开，致使岩浆向上流动形成火山活动，把炽热物质带入岩石圈中，如图1.2所示。当某一板块沿地表移动时，它逐渐冷却，最终会与大陆板块或另一大洋板块相碰撞。由于大洋壳发生这样的移动，局部的热流量将随地壳位置的不同而发生变化。在一般

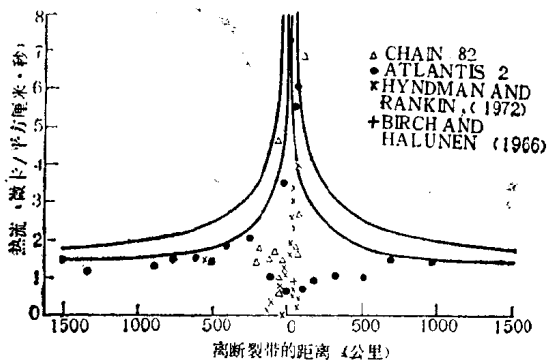


图1.3 穿过大西洋洋脊(北纬43°~46°)的热流剖面图

实线是Kasameyer等人(1972)的理论剖面(在扩展速度固定为0.75厘米/年和2.0厘米/年的情况下)。资料来源: Foster等人(1974年)。