

高新技术科普丛书

待开发的 地热能

DAIKAIFA DE
DIRENENG

莫尊理◎丛书总主编

赵保卫 钟金奎 马锋锋◎编著




读者出版集团
DUREN CHUBAN JITUAN
甘肃科学技术出版社

• 高新技术科普丛书 •

待开发的地热能

耿志远 王冬梅 编著

 甘肃科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

待开发的地热能 / 耿志远, 王冬梅编著. -- 兰州:
甘肃科学技术出版社, 2012. 1

(高新技术科普丛书 / 莫尊理主编)

ISBN 978 - 7 - 5424 - 1585 - 1

I. ①待… II. ①耿…②王… III. ①地热能—普及
读物 IV. ①TR52 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 281117 号

责任编辑 韩 波

装帧设计 林静文化

出 版 甘肃科学技术出版社 (兰州市读者大道 568 号 0931-8773237)

发 行 甘肃科学技术出版社 (联系电话: 010-61536005 010-61536213)

印 刷 北京飞达印刷有限责任公司

开 本 710mm × 1020mm 1/16

印 张 12

字 数 150 千

版 次 2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

印 数 1 ~ 10 000

书 号 ISBN 978 - 7 - 5424 - 1585 - 1

定 价 23.80 元

目 录

第一章 探寻地热的奥秘

第一节 地球母亲的小秘密·····	2
一、地球母亲的诞生·····	2
二、地球母亲的内部结构·····	4
三、地球母亲的体温·····	5
第二节 地热能是从哪里来的·····	6
一、放射性元素——地热能的核燃料·····	6
二、地球自转——地热能的发动机·····	7
三、外成—生物作用——地热能的补充剂·····	7
四、争论不休的原始地球形成过程的“残余热”·····	7
五、太阳辐射热——生命活动的驱动器·····	7
六、潮汐摩擦热·····	8
七、其他外部热源·····	8
第三节 地热是如何到达地球表面的·····	8
一、传导·····	8
二、对流·····	9
三、热辐射·····	11
第四节 不断散失的地球内热·····	11
一、大地热流——不断散失的地球内热·····	11
二、火山喷发活动携带出的热量·····	12
三、由温泉、地热地带携带出的热量·····	12
四、地震释放的能量·····	12
第五节 地热的类型·····	12
一、蒸汽型资源·····	12
二、水热型资源·····	12

三、沉积盆地型地热	13
四、地压型地热	13
五、干热岩地热	13
六、放射性地热	14
七、熔岩或岩浆型地热	14

第二章 “忽冷忽热”的地球

第一节 绕着世界走一圈，追踪神奇的地热带	15
一、环太平洋地热带	15
二、地中海——喜马拉雅地热带	19
三、大西洋中脊地热带	20
四、红海—亚丁湾—东非裂谷地热带	21
第二节 南热、北冷、东暖、西凉——中国地热分布大观	22
一、西南深处及宝岛台湾——高温对流型地热带	23
二、东南沿海——中低温对流型地热带	28
三、遍布全国——中低温传导型地热带	30

第三章 沿着时间的脚印，开启地热利用的神秘卷轴

第一节 走近生命的培育温床	34
一、解密：你不知道的地热种植	35
二、放大的地热培养皿——热水养殖	36
三、继续发挥农业“余热”	38
第二节 探索工业多面手	39
一、为供暖制冷披上新衣	40
二、不可或缺的重要角色：烘干、脱水	44
三、新晋能手——其他工业应用	44
第三节 浴饮两相宜的天然疗养院	45
一、蒸蒸日上的温泉医疗	48
二、跟我一起，享受异域温泉	54

第四章 茁壮成长的宠儿——地热发电

第一节 一度被忽视的宠儿	61
一、地热不“热”难题待解	61
二、最为现实并最具竞争力的能源之一	61
三、地热发展存在四大问题	62
第二节 技能大发挥	63
一、奇妙的能量变化过程	63
二、地热发电系统的奥秘	66
三、地热发电主要方法的探究	70
第三节 需要被呵护的中国地热发电	71
一、羊八井电厂——世界屋脊上的奇葩	71
二、默默无闻的好伙伴——灰汤地热试验电站	72
三、给祖国电力新兴之花建好温室	73
第四节 世界地热发电大家庭	74
一、地热发电的鼻祖——意大利	75
二、地热发电的领头羊——美国	75
三、学习的好榜样——冰岛	76
四、正在向前的兄弟姐妹们	78
第五节 成长的烦恼——地热发电需要解决的问题	83
一、热田的回灌	83
二、地热田的腐蚀	84
三、地热田的结垢	84

第五章 融入瑰丽的地热之景——发现之旅

第一节 巅峰之热——西藏	87
一、地热冰塔	87
二、羊八井	88
三、塔格加间歇喷泉	89

第二节 天地有大美——吉林长白山	90
一、天池	90
二、长白山温泉	91
第三节 地热也疯狂——云南	93
一、大理地热国——一颗璀璨新星	93
二、腾冲	95
第四节 磺泉玉雾——台北	98
一、大屯火山群	98
二、地热谷	99
三、北投温泉	100
第五节 温泉之乡——日本	101
一、箱根大涌谷——大地狱	101
二、长野地狱谷温泉——与雪猴共浴	102
第六节 硫烟弥漫——新西兰	103
一、罗托鲁瓦	104
二、华卡雷瓦雷瓦地热保护区	105
三、波利尼西亚温泉	106
第七节 大自然的鬼斧神工——美国黄石公园	107
一、热喷泉	108
二、大稜镜温泉	109
三、猛犸温泉	110
第八节 冰与火的国度——探秘冰岛	111
一、蓝湖——蓝色诱惑	111
二、盖锡尔间歇泉——地热力与美的展示	112
三、黄金瀑布——白色单调的点缀	113

第六章 挥出地热利用的双刃剑——你不知道的地热危害

第一节 悄无声息的地质危机	122
一、不容忽视的地面沉降	123
二、破坏地表结构的导火索	126
三、让地面颤抖的大动作——诱发地震	127

四、消失的美丽奇观——地质景观消亡·····	129
五、不可回复的地质资源·····	129
第二节 人类生存环境的操盘手·····	130
一、破坏水资源的隐形杀手·····	131
二、侵扰土地的不速之客·····	131
三、微量废气的制造商·····	132
四、来自地表的轰鸣——噪声·····	132
五、太热了·····	133
六、放射源触动了·····	134
第三节 侵害动植物的乐园·····	135

第七章 地热能开发面面观

第一节 探热之路不平坦·····	138
一、不知深浅，近热无门·····	138
二、浅层低温家难找，探宝技术待提高·····	140
三、大材小用地热宝藏拳脚不开·····	140
四、只寻锅炉不添水，地热热不久·····	141
五、地热发电路原地踏步·····	142
六、N维管理，地热无法可依·····	143
七、且看干热岩资源如何“纸上谈兵”·····	144
八、人才“济济”——高素质入不敷出·····	145
第二节 探热攻略·····	145
一、地热资源知多少，几度开发何处归·····	145
二、浅层地温，层浅温不浅·····	146
三、地热资源，一切皆有可能·····	146
四、出来混总是要还的，开不尽的地热用不完的资源·····	147
五、述不尽的地热情，发不完的地热电·····	148
六、国有国法，家有家规，地热资源亦有道·····	148
七、干热岩是怎样“炼”成的？·····	149
八、政府聚集关注，问题尚待考究·····	149

第八章 地热能的春天

第一节 地热发电百年——艰难历程，光辉岁月·····	151
一、干蒸汽地热发电阶段·····	151
二、湿蒸汽地热发电阶段·····	154
三、美洲地热发展·····	155
四、亚洲的发展·····	157
五、欧洲的发展·····	158
六、非洲的发展·····	159
七、最近的发展·····	159
八、群雄并起·····	162
九、地热直接利用——悠久的历史，灿烂的文化·····	164
第二节 走进新时代·····	167
一、地源热泵——浅层地热开发的利器·····	167
二、地热强化系统——热岩地热开发的新式武器·····	170
三、各尽所能的地热发电·····	171
第三节 美好的未来·····	177
一、争相发展的宠儿·····	177
二、环境的守护神·····	178
三、新能源的主力军·····	179
四、绿能发电展神威·····	181
五、多才多艺显本领·····	183
六、经济发展的助推器·····	183
七、美好的未来·····	184



第一章 探寻地热的奥秘

自古以来,人类就为改善自身的生存条件、促进经济发展和社会进步而不懈地奋斗。在这一奋斗过程中,能源一直在扮演着极其重要的角色。目前全球利用的能源有煤炭、石油、天然气、水能、太阳能、风能、潮汐能、核能和地热能。按照各种能源的开发利用情况和它们在人类社会经济生活中的地位,人们把能源分为常规能源和新能源两类。

一般说来,常规能源指的是技术上比较成熟、使用比较普通的能源,如前面所说的煤炭、石油、天然气、水能等就是常规能源;而新能源指的是新近才利用的或正在开发研究的能源,这种能源有太阳能、核能、沼气、风能、氢能、地热能、海洋能、电磁能等。

实际上,新能源和常规能源是相对而言的,现在的常规能源在过去也曾是新能源,而今天的新能源在将来肯定也会成为常规能源。例如,核能在许多第三世界和不发达国家中还只能称为新能源,但在某些工业发达国家中,核能的使用已经非常普遍,已经变成了一种常规能源。

由于目前使用的能源以常规能源为主,而这些常规能源如煤、石油、天然气等却越用越少,是不可再生的能源,总有一天要用完,加上它们燃烧时污染环境并且热能利用率不高,世界各国都在加紧研究开发新能源,以满足社会发展对能源日益增长的需要。

随着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。

现在,能源已向人类发出了挑战:据专家们估计,在前面提到过的世界常规能源中,除煤炭因为储量较多尚可维持较长时间外,目前已探明的石油储量将于2020年左右开采完毕;一些工业发达国家的天然气也将在2020年被用完;而发展中国家在2060年也将会发生天然气短缺。另外,煤炭资源虽然较丰富,但是直接使用煤炭既不能充分利用它的能量和资源,还会对环境造成污染。

面对能源紧张的情况,世界各国除了充分利用现有的传统能源外,都在大力研究开



图 1-1 瓦特发明的蒸汽机

发新能源。同时,在开发新能源之即,人们还在寻求各种方法、采取各种措施节约能源,并防止或减轻对环境的污染。

在我国,我们正处于能源短缺、能源结构不合理,而对能源的需求却迅速增长的新的历史时期;而要解决能源问题,必须依靠科技进步,特别是应用高新技术加快开发新能源的步伐。在这方面,既要研究以跟上工业化国家的先进水平,也要符合我国作为一个发展中国家的实际国情。我国能源发展的中期战略是开发与节约,能源开发利用以电力为中心,以煤炭为基础,积极开发石油和天然气,大力开发水电资源和有计划地发展核电,提高能源生产利用效率。只有依靠高新技术,才有可能完成能源工业在现代化建设中承担的重要使命。

其中,地热能就成为世界各个国家青睐的清洁可再生能源。那么什么是地热能呢?地热能是怎样产生的呢?生活中我们见过或感知过地热能吗?地热能为我们做些什么呢?怎么才能抽取到地球内部的热量呢?地热能的利用安全吗?地热能对我们的生存环境有什么样的影响呢?本书试图帮助读者解答这些疑问。

第一节 地球母亲的小秘密

“孩子们,天空是什么颜色的?”“灰色的。”“水是什么颜色的?”“黑色的。”“森林是什么颜色的?”“老师,森林是什么呀?”亲爱的读者朋友,听了这段话,你有何感想?自上世纪以来,世界上发生了多次严重的环境污染事件,造成数万人死亡,这引起了有志之士的重视。再加上20世纪70年代以来各个国家对能源的争夺,促使我们不断寻找和开发新的可再生能源。地热能作为新兴能源,20世纪后半叶以来,得到了迅猛发展。目前世界上有24个国家采用了地热发电,70多个国家使用了地热供暖。目前全球地热发电的装机容量为10,715MW,最大的装机容量分别在美国、菲律宾和印度尼西亚。那么地热能是怎样产生的呢?又是如何传到地球表面的呢?地热有哪些种类?地热与地球结构之间有什么关系呢?我们从地球母亲的起源说起吧。

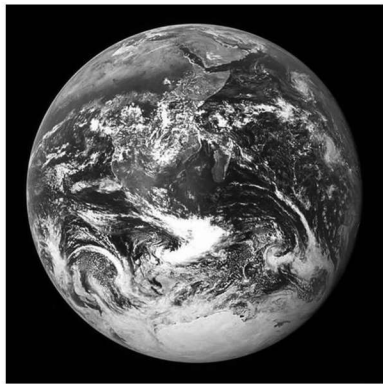


图 1-2 地球

一、地球母亲的诞生

地球(图1-2)是太阳系家族中的一个普通成员,是太阳系中一个赤道部分较为突出(赤道半径6378.14千米),两级部分较为扁平(极半径6356.76千米)的近似球形的行星。她是太阳系从内到外的第三颗行星,属于太阳系八大行星之一(图1-3),也是太阳系四颗类地行星中体积和质量最大的一颗(图1-4)。在四大类地行星中,地球的密度和吸引力最大、磁场最强、自转速度最快。在我们的眼里,地球常又被称作是世界。从太空上看,地球是一颗美丽

的、蔚蓝色的星球。它为包括人类在内的数百万种生物提供了生存的家園，它是目前人类所知太阳系中唯一存在生命的天体。它大约诞生于45.4亿年前，而生命出现于地球诞生后的10亿年后，人类的出现才仅仅是200~300万年前的事。关于其起源有各种各样的神话传说和科学假说。在中国古代就有盘古开天辟地、女娲补天的故事。古希腊神话讲开天辟地时，也是说宇宙是从混沌之中诞生的，最先出现的神是大地之神——该亚。天空、陆地、海洋都是由她而生，她是最有资格、最有权势的神之一，所以人们尊称她为“地母”。

而科学假说认为，在很久很久以前，太阳系是由一团星云形成的。在收缩过程中，星云中央部分增温，形成原始太阳。当原始太阳中心温度达到700万度时，就会发生氢聚变为氦的热核反应（图1-6）。这种热核反应非常剧烈，产生巨大的能量，于是光芒四射的太阳便诞生了。由于星云体积不断缩小，因而自转加快，离心力增大，逐渐在赤道附近形成一个星云盘。星云盘上的物质不断聚集，最终演化为包括地球在内的八大行星和其他小天体。无数高度压缩的太空物质和内部的放射性物质的衰变热加热了这个绕太阳运动的岩团。由于温度的升高，岩团中铁镍开始液化，诱发了地球的分层。熔化了的铁镍往地球的中心下沉，较轻的物质则往上浮，最终形成了地壳、地幔和地核。

小百科

类地行星和气体巨星：类地行星、地球型行星或岩石行星都是指以硅酸盐岩石为主要成分的行星。这个术语的英文字根源自拉丁文的“Terra”，意思就是地球或土地，由于时尚界的流行，加上对象是行星，因此在二合一下采用“类地”行星这个译名。类地行星与气体巨星（图1-5）有极大的不同，气体巨星可能没有固体的表面，而主要的成分是氢、氦和存在不同物理状态下的水。

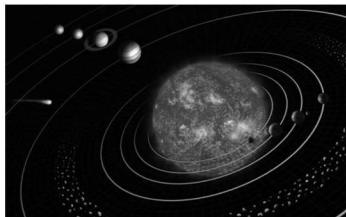


图1-3 太阳系的主要成员（由左至右）依序为：海王星、天王星、土星、木星、小行星带、太阳、水星、金星、地球、月球、火星，在左边可以看见一颗彗星（未依照比例）

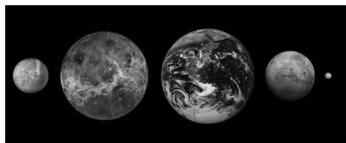


图1-4 太阳系四大类地行星大小的比较：从左到右为水星、金星、地球、火星

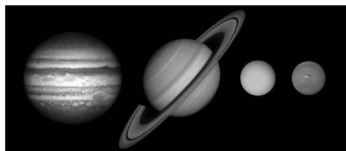


图1-5 太阳系气体巨星（从左到右）分别为：木星、土星、天王星、海王星

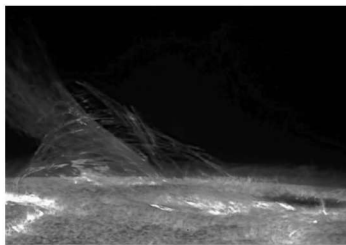


图1-6 太阳中的核聚变

二、地球母亲的内部结构

这位伟大的母亲不仅承载着无数鲜活的生命,还为我们提供了美丽的山川、奔腾的河流、辽阔的草原、葱绿的森林、丰富的矿产、一望无际的海洋。她不仅用温暖的怀抱拥抱着我们,还通过火山的喷发、炽热的气流、汨汨的温泉展示了一幅幅美丽的画卷。她那博大的胸怀蕴藏着我们取之不尽,用之不竭的能量源泉。地热能是她恩赐给我们的物质财富和“精神食粮”。那么她的身体内部到底有怎样的结构呢?

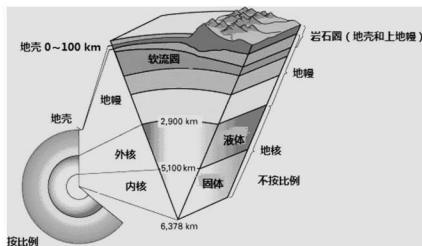


图 1-7 地球内部结构截面示意图

地球母亲的内部类似一个煮熟了的鸡蛋,具有一定规律。从外向内分别为地壳、地幔和地核(图 1-7)。

地壳是地球最外面的一层,约占地球总体积的 2%,厚度因地而异。海洋下面其厚度只有 5~15km,平均为 6km;而在陆地下的厚度为 30~50km,平均为 40km。地壳上层为花岗岩层,主要由硅—铝氧化物构成;下层为玄武岩层,主要由硅—镁氧化物构成。地壳内部放射性元素非常丰富。

地幔是地球的主体部分,其体积占地球体积的 83%,处于地壳和外地核之间。地幔是一个岩石壳,其厚约为 2900km。地幔主要为固体物质,它将富铁地核紧紧封住。它可分为上地幔与下地幔。上地幔厚 35~60km,其下为一过渡带。过渡带和上地幔的塑性部分称为软流圈,是由于放射性元素大量集中,衰变放热,将岩石熔融后造成的,可能是岩浆的发源地。上地幔最上层的刚性部分与地壳构成了岩石圈。岩石圈是地球固体表层,在大陆下面厚约 100~150km,海洋下面则为 60~70km。它一方面像盾牌一样抵御外层空间陨石等小天体物质的袭击,另一方面又防止内部热能和化学能的外泄,使地球内部物质的相互作用处于一个相对封闭的体系之中。下地幔,又称中间层,深度 60~2900km。上地幔平均密度为 $3.3 \sim 3.4 \text{g/cm}^3$ 。由超基性岩组成;下地幔的密度和物质组成与上地幔近似,但矿物种类不同,密度更大,为 $3.4 \sim 5.6 \text{g/cm}^3$ 。在上地幔,硅酸盐逐渐固化;然而,由于上地幔所受压力相对小,所以上地幔的黏度相对较低。相反,下地幔所受压力特别大,因此比上地幔具有更高的黏滞性。

地核为地幔之下至地心的部分,地核占地球体积的 15%,没有放射性元素。地核又可分成内核与外核。外核深度为 2900~5100km,内核深度为 5100~6378km。由于压力巨大,过热的内核为固体状态,且主要由铁组成。外核处于液体状态,主要成分亦为铁,还有镍和其他一些较轻的元素。地核的这种物质组成,是地球具有强磁场的重要原因。外核的密度为 $9.9 \sim 12.2 \text{g/cm}^3$,内核的密度为 $12.8 \sim 13.1 \text{g/cm}^3$,这是其组成物质的改变与超高压的双重结果。不同层的相对熔点及温度和压力随深度增加而增加。熔化的镍铁外核是液体,这是由高温高压造成的。当压力以指数形式增加时,铁的熔点剧增,镍铁内核变成固体。

三、地球母亲的体温

地球母亲有两个热引擎,其中一个驱动地球地质活动的内引擎——地热;另一个为驱动生命和大气活动的外引擎——太阳,在这两个引擎的驱动下,使地球母亲始终保持着生命的激情——地质活动(如火山、地震、温泉等)和生物活性,以及其自身多彩的“生命”历程。

火山喷发的炽热熔岩(图1-8)、滚烫的温泉向我们时时展示着地球内部蕴含着巨大的热量。而生活在这个巨大热引擎之上的我们为什么不觉得灼热难忍呢?(图1-9)这得归咎于组成地球的岩石圈,它是良好的绝缘体,像一个厚厚的毯子覆盖在地球上,既有效地防止了地球内部的热量向宇宙空间散发,又很好地保护了我们免遭地下高温灼伤。



图1-8 火山喷发的炽热熔岩

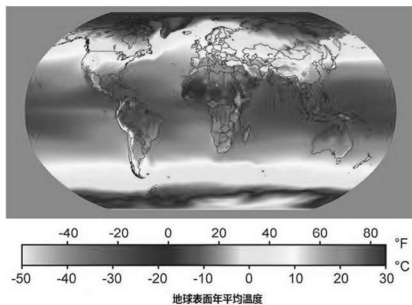


图1-9 全球年平均温度

地球内部的温度在正常情况下是愈往深处愈高。内部温度随深度的增加而升高,即深度每增加1km,温度就升高25~30℃。但我们不能简单地认为从地表到地心,温度随深度的增加而升高的速率都符合近地表观察到的结果。如果温度随深度的增加按那种速率进行的话,则地心的温度将高达19万度。那样的话,地球内部的物质将无一例外地处于熔融和气体状态,而实际情况并非如此。一些地质学家们认为,地球内部的温度随深度的增加可能如(图1-10)所示。他们综合分析了起源于地幔和火山中出现的熔岩的温度、铁和岩石开始熔融温度的试验数据,以及由地震学研究得出的地表到地心的温度变化结果,认为地心的温度大约在4000~5000℃之间。另外一些地质学家们则认为,他们的试验数据表明地心的温度可能高达6000~8000℃,而熔点则更高。

不管地心温度到底有多高,地球内部蕴藏着巨大的热能却是不争的事实。这种高温的热能,透过厚厚的地层,每时每刻都在不断地向大

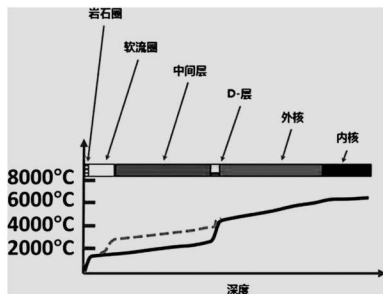


图1-10 地球内部温度变化曲线



空释放,这种现象就是大地热流。尽管这种热量分散在辽阔的地球表面,人们浑然不觉,但实际上总量巨大,每年从地表释放的地热能,相当于20世纪70年代末全球煤炭、石油、天然气总耗量的3~4倍。或者说,每年流出地球表面的热能,相当于全球电能消耗的44倍,数字十分惊人。

地幔内,与地壳连接的上部边界的温度约为500~900℃,而与地核相接的边界的温度高达4000℃。虽然较高的温度远超过地幔岩石的熔点,但是地幔几乎为固体。这是由于物质的熔点随压力增加而增加,所以加在地幔上的巨大地压阻止了地幔的熔化。

第二节 地热能是从哪里来的

地热是地球内部所蕴藏的热量。大家已经知道了,在地球的中心,温度高达5000~8000℃,压力超过360GPa。地球内部可以说是一个巨大的火球,在这样一个巨大的火球内部,有些物质已熔化成液体,但有些仍然为固体。喷发的火山、滚烫的温泉,向我们展示着地球内部蕴藏着巨大的热能,那么如此巨大的热量释放靠什么来维持?这些热量从哪儿来呢?是什么燃料一直维持着它内部的温度呢?

一、放射性元素——地热能的核燃料

不管是地球的高温起源说,还是地球的低温起源说,都几乎一致认为,放射性元素衰变(图1-11)所释放的能量是地球内热的主要来源。地球内部放射性元素衰变所产生的热量占整个地热的80%。地球内部主要的产热放射性同位素为铀(^{238}U 、 ^{235}U)、钍(^{232}Th)、钾(^{40}K)。因为大多数热量是放射性衰变产生,所以科学家们相信,在早期的地球历史上,短半衰期同位素耗竭之前,地球的产热量非常高。30亿年前的产热量相当于目前的2倍,这些额外产热量将会增加地球内部的温度,增加地幔对流和板块构造速率,导致火成岩的形成,而这些火成岩在今天是不会形成的。

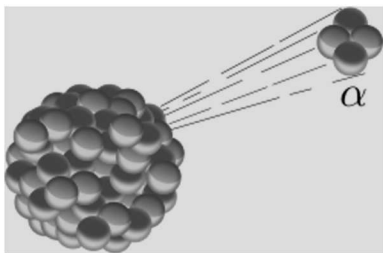


图1-11 核素放射性衰变

地球内部放射性元素虽然很多,但只有具备下述三个条件,才能成为地球内热的主要来源:第一,具有足够的丰度;第二,生热率较高;第三,半衰期与地球年龄相当。第三个条件很重要,短半衰期元素(如 ^{26}Al 、 ^{10}Be 、 ^{146}Ce 、 ^{60}Fe),只在地球历史早期起过作用,在地球形成之后,这些元素早就完成衰变放热,而变成其他元素了;半衰期过长者,至今尚未充分发挥作用。目前多数认为,在整个地球发展的历史时期中,能为地球提供巨大能量的放射性元素是能具备上述三个条件的铀(^{235}U 、 ^{238}U)、钍(^{232}Th)和钾(^{40}K)三种。

地球的化学研究表明,这些长寿命的放射性元素铀、钍、钾在地球分异演化过程中集中于地壳及上地幔顶部,以大陆地壳上部的酸性岩如花岗岩中最为富集,而在基性岩、超基性岩(如玄武岩、橄榄石、榴辉石)中含量甚低。有人做过概略统计,酸性岩浆岩的生热量约占生热量的70%,基性岩约占20%,超基性岩约占10%。

由于地球内部放射性原子的数目随时间而减少,放射性元素衰变产生的热量在过去也就必然比现在的大得多。根据衰变速率和目前放射性元素的丰度,我们可以推断,地球形成时的放射性衰变产生的热能大约是今天的4倍。那时,地球比现在热的多。

二、地球自转——地热能的发动机

地球的转动热在地球的热起源中占有重要的地位。这种热量是由于地球及其外壳物质密度的不均匀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机械热。这一变化使地球的外壳产生巨大的应力集中,地壳因而遭到破坏。地球转动热在地球内部的热源中具次要地位。

三、外成—生物作用——地热能的补充剂

外成—生物作用产生的热量一般称为化学反应热,也称化学能,是地球内部热源中经常起作用的能源。外成—生物作用主要包括硫化物及有机物的氧化作用。有机物的氧化反应具有最大的热效应,这种热效应可以释放出平均为 $3.84 \times 10^5 \text{ J/摩尔}$ 的热量。硫化物的氧化反应是地壳中发生的化学反应中分布最广和最重要的一种。不过,总的来说,化学反应热在地球内部热源中所起的作用还是很微小的,但对局部地热异常的形成具有一定的意义。

四、争论不休的原始地球形成过程的“残余热”

地球诞生的高温起源假说认为,原始地球是从太阳分离出来的一团火球。按照这一观点,原始地球的温度一开始就很高,以后逐渐变冷,地球内部的热量就是原始地球的残余热。原始地球残余热占地球内热的20%。但后来发现,地球的残余热,远不能使地球维持到现在的热状态。自从20世纪(1903年)发现放射性元素以来,有人才认为放射性元素的衰变产生的能量,不断的补充地球向宇宙空间散失的热量,从而大大延缓了地球的冷却速度。

低温起源说则认为,由于地球是冷的星际物质的聚集而形成的,因此开始时温度并不高,以后由于星际物质中放射性元素衰变释放的能量,储存于地球内部,才能使地球内部逐渐聚集起越来越多的热能。

五、太阳辐射热——生命活动的驱动器

太阳辐射热是地球外部经常起作用的全球性能源,主要包括太阳和大气的辐射热以及地表的放射热。因而,地球表面及近地表处的温度,取决于这类能量的均衡。在太阳放射的能量中,大约有34%经大气的散射、地表面的反射等又返回到宇宙空

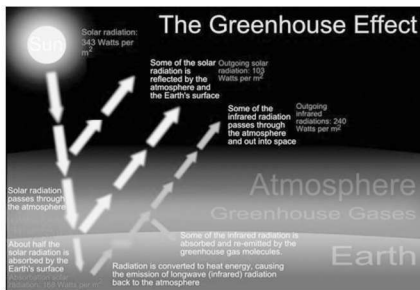


图 1-12 太阳辐射热

间,其余约 66% 使大气和地表受热(图 1-12)。

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,成为地球上表面风化、剥蚀等外力作用所需的能量。然而,太阳辐射能对陆地及海洋的影响深度是不同的。对海洋的影响深度为 150 ~ 500m,对陆地的影响深度只有 10 ~ 20m。在此深度一下,也就是说,在地

温接近年平均气温的地壳中性层以下,地温是随深度而逐渐升高的,显然是受到地球内部的热源所控制的。

六、潮汐摩擦热

在地球的外部热源中,除太阳辐射以外,居次要地位的热源就要算是由月球和太阳对海水的吸引而释放的能量了,这种能量被称为潮汐摩擦热,它也是全球热源中的一种经常起作用的全球性能源。当地球自转时,地球上的潮汐力能产生热量,因为陆地不可能像水一样流动,它被压缩或扭曲,产生热量。月亮及太阳对地球的潮汐力不仅引发了海洋的潮起潮落,也使地球深处的物质周期性地发生程度不同的伸缩起伏,与此相伴的塑性形变和层间摩擦导致地球持续缓慢地减速,并将地球自转的转动动能的一部分转化为地球的内能。这与刹车时车轮抱闸而摩擦生热有几分相似。

七、其他外部热源

此外,如上所述,在地球外部热源中,还有来自宇宙射线及陨石坠落释放的能量。其中,后者是一种间或起作用的局部能源。

第三节 地热是如何到达地球表面的

前面我们已经知道,地球有一个绝缘性好的固体外壳(岩石圈),那么地球内部的热量是如何向外传递的?大地热流究竟是怎么一回事?这就是我们下面要讨论的问题。

一、传导

非金属固体中,热能以原子振动的形式存在。振动的强度取决于温度。温度越高,原子振动的强度越大。当处于激发态的原子或分子相互碰撞时,热即被传导。如图所示(图 1-13),热由高温区传至低温区,任意两点的热流随两点间的温差增减而增减。当物体所有的分

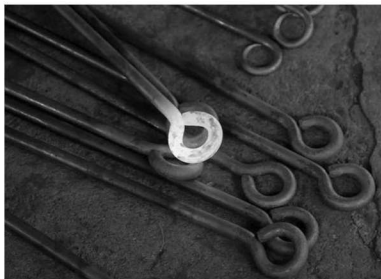


图 1-13 热传导示意图