

地 热 资 源

(勘探、开发和利用)

杨期隆 编著

北京能源学会

地 热 资 源

(勘探、开发和利用)

杨期隆 编著

北 京 能 源 学 会

内 容 提 要

地热是一种很有发展前途的新能源。本书主要介绍地热资源勘探、开发和利用方面的国内外最新进展和经验，书中提供了大量图表、试验数据和照片，可供从事地热工作的地质、热工、能源、环境、温泉医疗科技和教学人员参考。

本书内容力求深入浅出，语言通俗易懂，并举实例说明，也能适合关心地热工作的广大科技人员和具有高中以上程度的人员阅读。

地热资源（勘探、开发和利用）

封面照片：西藏羊八井地热田的早晨

编辑出版：北京能源学会

（北京西城区西黄城根北街五号）

出版日期：1985年2月

印刷：冶金出版社印刷厂印刷

图绘：赵仁凤

工本费： 1.00元

目 录

前言	(1)
1. 地热资源概论	(6)
1.1. 地球内部的热能	(6)
1.2. 板块构造和世界地热带分布	(9)
1.3. 我国地热资源的分布	(14)
1.4. 地热专有词汇	(19)
1.4.1. 地热田	(19)
1.4.2. 地热异常区与非地热异常区	(20)
1.4.3. 地热区与地热田	(20)
1.4.4. 地热类型	(20)
1.4.5. 地热系统	(22)
2. 地热资源的普查与勘探	(29)
2.1. 程序、目的和手段	(29)
2.2. 资料收集和地面地质调查	(32)
2.3. 地球化学探测	(35)
2.3.1. 深部热储温度的估算	(36)
2.3.2. 壤中汞气测量	(40)
2.3.3. 壤中 α -径迹测量	(41)
2.3.4. 了解地热田模型	(42)
2.3.5. 两个地热田实例	(45)
2.4. 地球物理探测	(50)
2.4.1. 浅层温度测量	(50)
2.4.2. 电阻率法探测	(55)
2.4.3. 重力探测	(59)

2.4.4.	磁法(航磁)探测	(61)
2.4.5.	一个地热田实例	(62)
2.5.	钻探与完井	(64)
2.5.1.	总论	(64)
2.5.2.	水泥基础和地窖	(65)
2.5.3.	钻孔结构的选择	(67)
2.5.4.	钻探作业	(69)
2.5.5.	井口装置	(71)
2.5.6.	井下地质	(71)
2.5.7.	事故分析	(72)
2.5.8.	定向斜井钻探	(74)
2.5.9.	碳酸盐热储层的酸化处理	(75)
2.5.10.	地热井深水位人工引喷技术	(76)
2.6.	测井与试井	(78)
2.6.1.	测井	(78)
2.6.2.	试井	(86)
3.	地热资源的评价	(93)
3.1.	概述	(93)
3.2.	名词和分类	(93)
3.3.	评价方法	(95)
3.3.1.	地表热流量法	(95)
3.3.2.	平面裂隙法	(96)
3.3.3.	岩浆热平衡法	(97)
3.3.4.	体积法	(97)
3.3.5.	断面流量法	(100)
3.3.6.	地热田热量补给的估算	(101)
3.4.	中国地热资源评价	(104)
3.4.1.	温泉天然放热量	(104)
3.4.2.	对流型地热资源	(104)

3.4.3. 传导型中低温地热资源·····	(105)
4. 地热资源的开发和管理·····	(109)
4.1. 井距与井深·····	(109)
4.2. 地热田的开采反应·····	(111)
4.3. 地热开采的环境影响·····	(120)
4.3.1. 空气污染·····	(120)
4.3.2. 水污染·····	(123)
4.3.3. 热污染·····	(123)
4.3.4. 噪音污染·····	(125)
4.3.5. 土地利用·····	(125)
4.3.6. 地面形变·····	(126)
4.4. 废热水回灌·····	(127)
4.4.1. 回灌方式和深度·····	(127)
4.4.2. 示踪剂·····	(129)
4.4.3. 几个实例·····	(130)
4.4.4. 储热(与储冷)·····	(132)
4.5. 结垢与腐蚀·····	(133)
4.5.1. 结垢·····	(133)
4.5.2. 腐蚀·····	(134)
4.6. 地热流体的管道输送·····	(135)
4.7. 地热田管理·····	(136)
5. 地热资源的利用·····	(138)
5.1. 发电·····	(138)
5.1.1. 概况·····	(138)
5.1.2. 原理和设备·····	(140)
5.1.3. 地热流体发电潜力的估算·····	(141)
5.1.4. 地热电厂的效率·····	(143)
5.2. 直接利用·····	(145)

5.2.1.	概况	(146)
5.2.2.	供热、热供水和空调、制冷	(147)
5.2.3.	农业	(149)
5.2.4.	工业	(152)
5.2.5.	洗浴医疗	(153)
5.3.	地热利用的经济性	(158)
5.3.1.	发电	(158)
5.3.2.	房屋采暖	(160)
5.3.3.	蔬菜温室等	(162)
5.3.4.	洗浴	(164)

主要参考文献

前 言

地热是贮存于地球内部的一种巨大能源。在某些有条件的地区，它的勘探、开发和利用对发展工农业，减少城市公害，提高人民生活水平具有一定的意义，但地热作为一种有前途的新能源，主要还是着眼于将来。我国著名地质学家李四光教授在1970年曾谈到：“地球是一个大热库，地下热能的开发与利用，是件大事情，就象人类发现煤炭、石油可以燃烧一样，这是人类历史上开辟的一个新能源，也是地质工作的一个新领域。”

最近几十年来，科学家强烈意识到石油，煤等常规能源的大量消耗对环境引起的不良恶果。一个世纪前，除了极少数工业地区外，世界的环境是好的，但是现在随着人口的增长、工农业的发展和生活水平的提高，大量的石油、煤等能源的消耗，使世界环境越来越受到污染。目前世界上工业发达国家人均每年消费商品能源已达5-12吨标准煤。每年燃烧几十亿吨煤引起了严重的空气污染，空气中 CO_2 含量较之一个世纪前增大一倍， CO_2 的增加会导致“温室效应”，使地球变热；大量的 H_2S 抛向大气，最后形成酸雨……破坏大地的平衡。

我国人均能源消费不过0.63吨标煤/年，比工业发达国家低达10—20倍之多，但环境污染方面的问题却日益严重。从大气污染看，颗粒物：北方城市100%超标，南方城市71.4%超标；降尘：无论南北，均100%超标；硫氧化物：北方城市30%超标，南方城市19.2%超标；酸雨：遍及西南、华东等地（赵宗燠，1983）。

北京市区的大气污染是严重的，主要发生在采暖期。这时 SO_2 与尘严重超标，如1982与1983年采暖期 SO_2 日平均值达0.31与0.257毫克/立方米，而其日平均浓度的二级标准为0.15毫克/立方米。1979年世界卫生组织专家组结论是：当 SO_2 日平均浓度

达到0.25毫克/立方米时，呼吸道病患者的病情就会恶化（徐国光、李宪法，1985）。

再一方面，石油、煤等常规能源的储量是有限的，不久将会耗尽，1973年世界石油危机使许多国家以至联合国更加重视地热等新能源的开发和利用，加快了发展的步伐。目前世界上已有30多个国家在进行地热勘探和开发利用。据专家估计，从地球内部每年传到地球表面的热量，相当于370亿吨标煤燃烧时发出的热量。

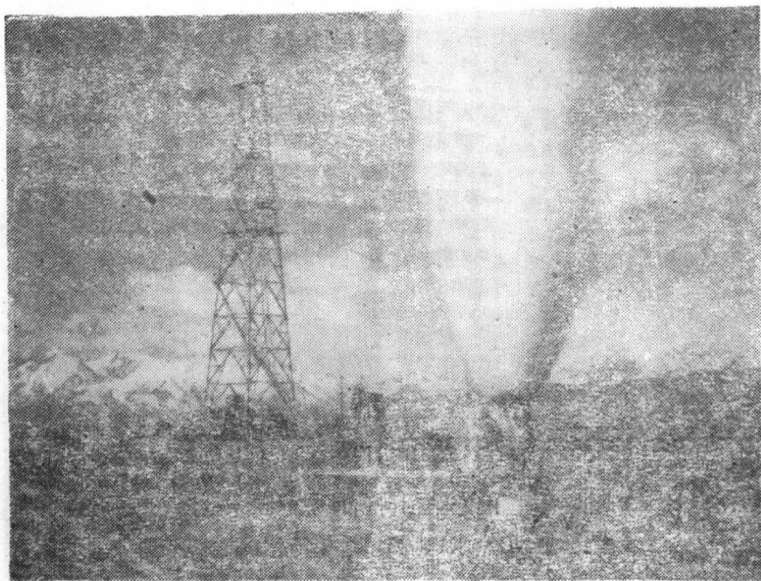
世界第一座地热电站是1904年在意大利拉德瑞罗建成的。据最新统计，美国、菲律宾、新西兰、日本、中国等17个国家建成了60多座地热电站，装机容量已达355.05万千瓦。预计到1985年，世界地热电站的总发电量将超过400万千瓦。

1970年我国在广东丰顺建成了第一座减压扩容式低温地热试验电站。从1974年起勘探和开发了西藏羊八井湿蒸汽地热田。1975年在羊八井出现了我国大陆上第一口湿蒸汽井。之后，打成了一批地热井，如羊9井，在井口压力4.6绝对大气压和井口温度148℃时，总流量191吨/时（其中蒸汽量21.4吨/时），估算单井发电潜力达1978千瓦（照片1）。1977年建成了第一座1000千瓦蒸汽实验地热电站；1982—83年又建成一座6000千瓦实验地热电站（照片2），并向拉萨市输电，成为主要供电来源。

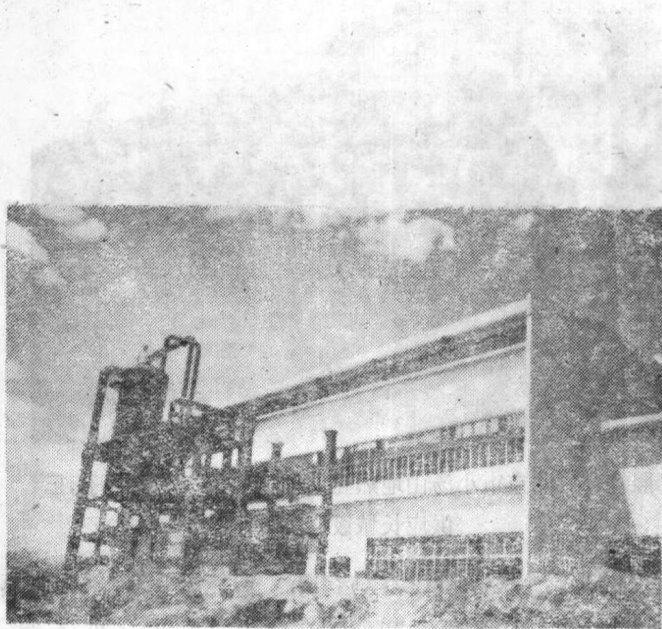
地热资源的直接利用由于效率高，而越来越受到重视。世界上最早大规模利用地热采暖的是冰岛。从1928年开始，冰岛首都雷克雅未克已有世界上最大的集中地热供热系统，使雷城（11.2万居民）成为世界上少有的无烟城市。现在巴黎、北京、布达佩斯、天津等城市也逐渐发展了地热采暖系统（照片3）。

地热还直接用于农业（如农业温室，见照片4）、工业和洗浴医疗（照片5）等许多方面。据1983年统计了11个直接利用地热的国家，总量为860万千瓦（热）。

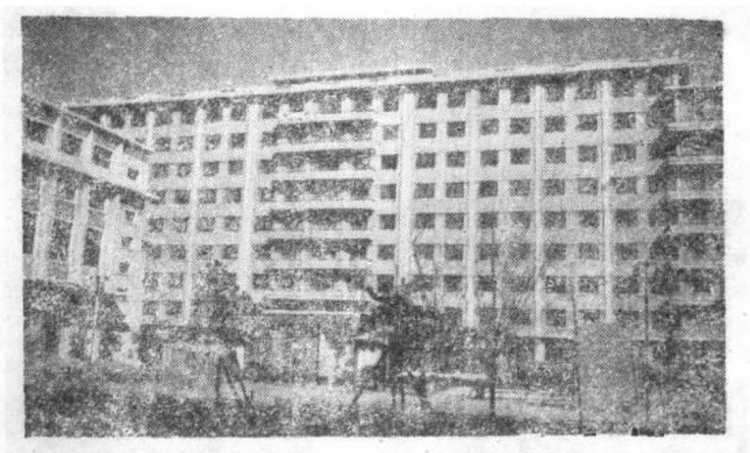
近年来，地热能的重要性随着世界技术革命和所谓第三次浪潮的兴起，更引人注目。联合国在推动地热能发展方面起着积极



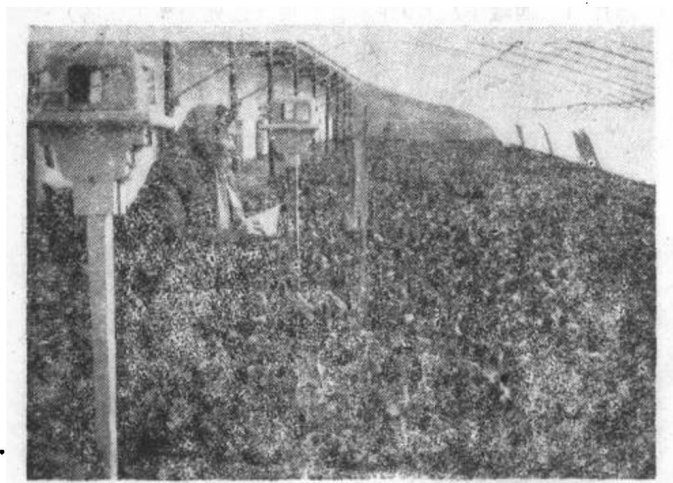
照片 1 西藏羊八井9井垂直放喷（远处为施工钻塔）



照片 2 西藏羊八井6000千瓦地热实验电站

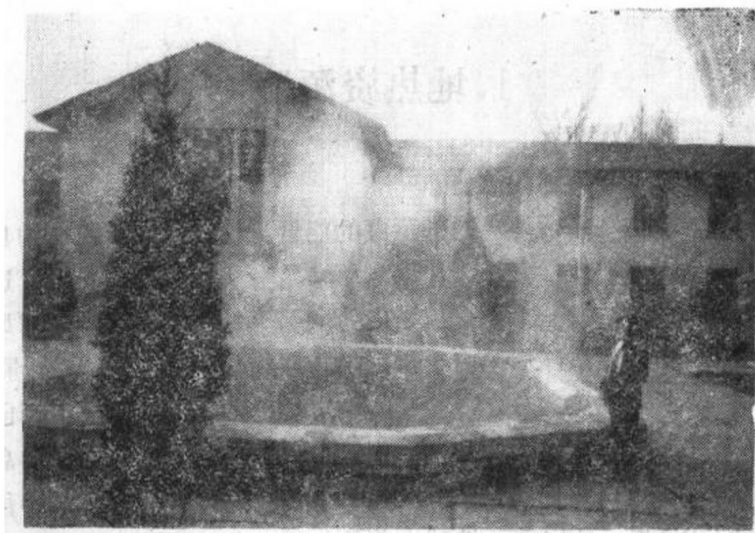


照片 3 北京建国门空军招待所地热采暖大楼 (70吨/时, 64°C热水采暖3.7万平方米)



照片 4 北京市小汤山地热温室种植生菜 (美国种子, 已供应长城饭店等)。

的作用。1961年, 联合国在罗马召开了新能源讨论会, 地热方面的文献有80多篇。1970年, 联合国在意大利比萨召开了第一届“联合国地热资源开发利用科学讨论会”, 并在比萨成立了“国



照片 5 北京市小汤山疗养院汉白玉温泉池（建于400多年前，水温 50°C 左右，现有床位600个，为北京康复中心）

际地热研究所”，出版国际性《地热》季刊。1975年，联合国在美国旧金山召开了第二届地热资源开发利用讨论会。1985年，联合国大学等将在美国夏威夷召开国际地热会议。为培养地热人才，联合国每年在冰岛、日本、新西兰和意大利等地举办地热培训班。联合国有一个帮助发展地热资源勘探和研究的计划，其中包括向北京提供地热顾问和更新实验室设备的“北京地区地热资源的技术评价和开发”（1981—82年）和正在执行的天津和西藏羊八井的地热项目。

为推动地热工作的开展，我国也先后召开过一些重要会议，如1978年在广东省从化温泉召开了“全国地热学术会议”，并编辑出版了论文选集。1981年在天津市召开了“中美地热座谈会”，1982年在辽宁省营口市召开了“全国地热工作会议等。主要出版的地热专著有：《地质科技》，1972年第5期；《地热专辑》第一辑；《地热》；《地下热水普查勘探方法》；《地热研究论文集》；《广东地下热水的水文地质特征及勘查方法》；《西藏地热》等。

1. 地热资源概论

1.1 地球内部的热能

“地热”是指地球内部蕴藏的能量。地球形成于距今约45亿年前，有些地质学家认为，地球原来是一团高温度的物质，逐渐冷却，表面结成一个壳，就是地壳。另一种观点认为，地球原来是一团冷的物质，后来由于放射性物质和重力位能产生大量热能，使地球变热。总之，现在人类对地球的了解只是皮毛而已，因为，迄今为止最深的钻探深度仅是12公里（苏联在科拉半岛上创造了这个目前世界上钻探深度的最新纪录），而地球的半径约是6370公里，所以关于地球内部的知识，如地球的结构和温度，只是间接地从研究地震波、岩浆活动等得来。

地球的结构是由五个不同性质的同心球面组合而成，它们是大气层、地壳、地幔、液核和内核（图1）。物质的温度和密度都是越往中心越高。大陆地壳平均厚度约35公里，平均密度为2.7克/立方厘米，大洋地壳的平均厚度约10公里（水与岩石各为5公里左右），平均密度3.0克/立方厘米；而内核的密度可达到11.5克/立方厘米。

地壳是不良导体，巨大的热量积存在地球内部。地球内部的热量以传导方式向外传输，在单位时间内通过单位面积由地球表面散发至太空的热量称之为大地热流量。热流（ q ）在数值上等于温度梯度（ dT/dZ ）与传导介质的热导率（ K ）之乘积，即：

$$q = -K \frac{dT}{dZ}$$

从地球表面往下正常增温梯度是每公里增加25~30℃，在地表下约40公里处温度就可达到1200℃。世界上各处火山喷出的岩流，其温度大都在1000℃—1200℃（李四光，1970）。地球中心的温度可能达到6000℃。地球底部和地幔顶部的分界面称为莫霍

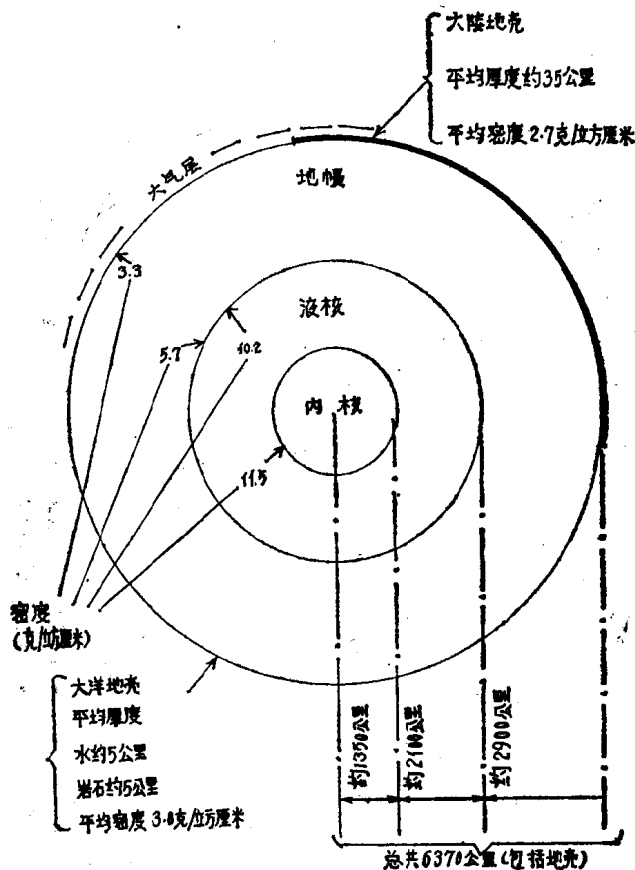


图 1 地球的同心层 (据Bullard)

面，在这个面上地震波速度的突然变化反映了物质组成和物质性质的改变，一般认为莫霍面的温度为 600°C ，可见地球是一个热的行星。

全球平均的地壳热流量测定值约 1.5×10^{-6} 卡/平方厘米·秒 (63毫瓦/平方米)，乘以地球的总面积，得每年由地球表面散发至太空的热量为 2.3×10^{20} 卡 (上田诚也，1982)。但是地壳热流量在各个地区是很不同的，在一些地热条件好的地方热流量比平均数值高得多，增温梯度也可以是每公里增加 100°C 以上，在1—

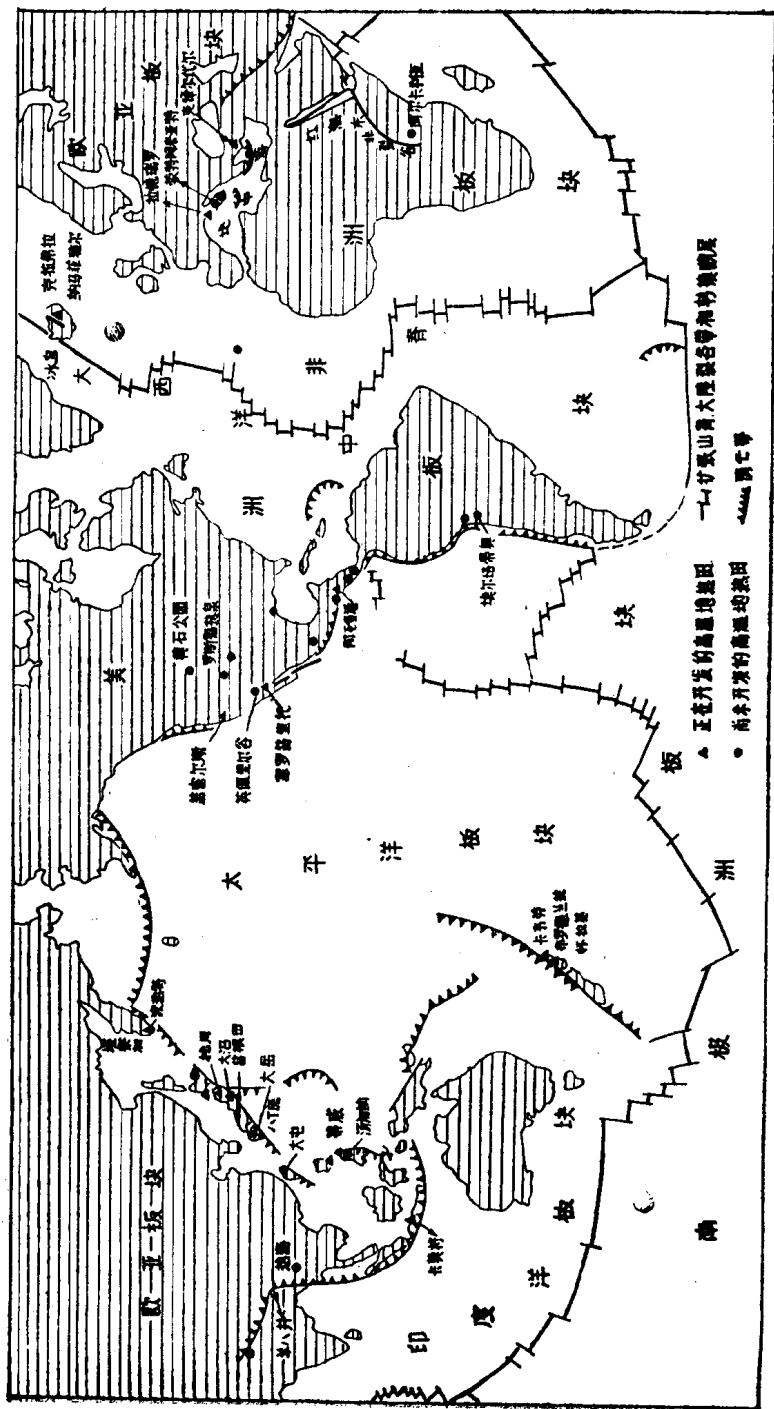


图 2 全球板块构造和著名地热田位置

3公里的深度，温度能达到 200—300℃，成为有利于热能开发的地热异常区。

1.2 板块构造和世界地热带的分布

本世纪五十年代后期，地质学家发现地壳是由六块主要的和一些小的单个板块组成的。六大板块是太平洋板块、欧亚板块、印度洋板块、非洲板块、美洲板块和南极洲板块。这些岩石圈板块沿着中洋脊这个扩张中心向两边分离、生长，并向外移动，同时，板块之间沿着水平方向彼此相对移动、相互滑过或错动。板块边缘成为地震活动和构造活动的主要源地，也是高温地热田的分布地带（图2与图3）。美国科学家用激光射器和卫星技术计算距离，进一步证实了大陆板块漂移的理论，第一次获得了测量数据。

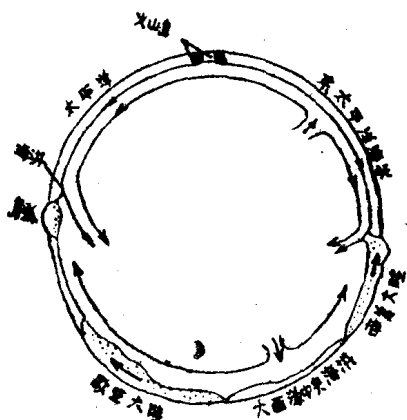


图3 海底扩张说的模式（据上田诚也）

大西洋每年扩大十分之四英寸，夏威夷和南美洲每年接近二英寸，澳大利亚和北美洲每年分离十分之四英寸，处在两个不同的大陆板块上的北加利福尼亚和南加利福尼亚在相互挤压，每年每块板块都要磨掉二点六英寸，其结果将使圣安德烈断层以西的加利福尼亚地区变成一个岛屿（据参考消息，1984）。

从板块构造学说出发，位于北极圈的冰岛正处在大西洋中央海沟，西边的美洲板块和东边的欧亚板块和非洲板块向相反的方向

向运动、拉开。大西洋底正在断开，顺着这个裂开的地壳，深部岩浆流向地面或洋底，造成火山喷发，生成新的岩流。

冰岛有100多个火山，其中活火山27个，据近百年统计，每5年平均就有一次火山喷发。1963年底的一次海底火山喷发，使冰岛本土附近大西洋上出现了一个新岛，爆发时的火山灰柱高达9公里，炽热岩浆（1150—1200℃）在火山口翻滚外流，以后又经多次火山爆发，使岛屿不断增大，至1967年高达175米，长达2公里，被命名为舍奇岛（见照片6）。冰岛的地热资源极为丰富，据统计有喷汽孔和热泉700多个（照片7）。通过地质勘探，全国已发现高温地热田（ $>150^{\circ}\text{C}$ ）28个。

西藏位于欧亚板块与印度洋板块的碰撞带上。据科学院综合科考队调查，有水热活动区600多处，除热水湖、沸泉、喷汽孔、沸泥塘、硫磺矿、强烈水热蚀变区以外，还有地球上比较罕见的间歇喷泉、水热爆炸等。这些强烈的水热活动区分布在西藏南部雅鲁藏布江板块缝合线的两侧。

然而，这个喜马拉雅地热带与上面提到的大西洋中央海沟地热带不同，带内没有活火山，但有强烈的近期地质构造活动，使其成为世界屋脊。在那里，强烈的水热活动与高耸蓝天的皑皑雪峰交相辉映，堪称奇观（照片8）。如果说在大西洋中央海沟（包括冰岛），板块扩张——火山——地热带，能成为一个公式的话；在西藏南部，板块碰撞——地壳上升与岩浆体侵入——地热带，亦可能成立，其共同的特点是地壳运动表现强烈。

从以上两个例子可以看到地热田的分布与板块构造关系密切，高温地热田都分布在板块的边缘地带（图2）。从世界范围来说主要有四个地热带。一是环太平洋地热带，位于欧亚、印度洋、美洲等板块与太平洋板块的边界，包括美国西部的盖塞尔斯、英佩里尔谷和墨西哥的塞罗普里托，萨尔瓦多的阿瓦查潘和智利的埃尔塔蒂奥，苏联勘察加的波热特、日本的松川和大岳、中国的台湾省大屯、菲律宾的蒂威和汤加纳、印尼的卡莫将和新西兰的怀拉基、布罗德兰兹和卡韦劳等著名高温地热田，这是一巨型环