

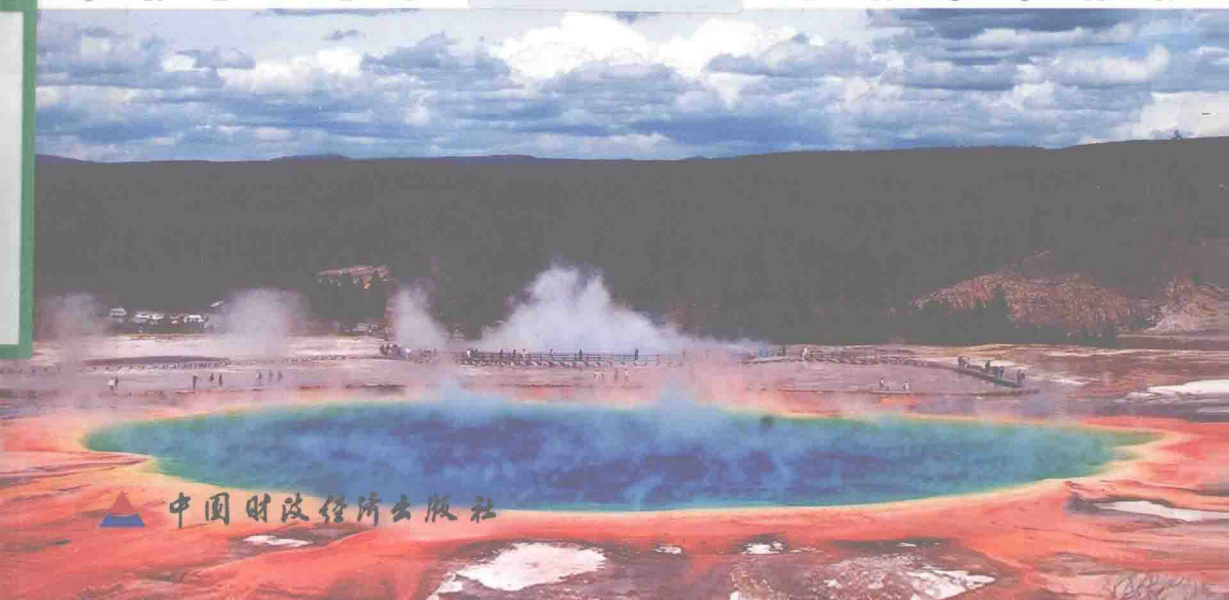
地球资源与保护丛书

地热资源大观

李 营 © 主编 高 慧 © 编著

D I R E Z I

D A G U A N



中国财政经济出版社

地球资源与保护丛书

地热资源大观

高 慧 编著

中国财政经济出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地热资源大观/高慧编著. —北京: 中国财政经

济出版社, 2012. 10

(地球资源与保护丛书/李营主编)

ISBN 978 - 7 - 5095 - 4038 - 1

I. ①地… II. ①高… III. ①地热能 - 普及读物

IV. ①TK521 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 247597 号

责任编辑: 张 铮

封面设计: 佳图堂设计工坊

中国财政经济出版社出版

URL: <http://www.cfeph.cn>

E-mail: cfeph@cfeph.cn

(版权所有 翻印必究)

社址: 北京海淀区阜成路甲 28 号 邮政编码: 100142

发行电话: 010 - 88190406 财经书店电话: 010 - 64033436 (传真)

北京龙跃印务有限公司印刷 各地新华书店经销

787 毫米 × 1092 毫米 16 开 12 印张 215 千字

2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷

定价: 21.60 元

ISBN 978 - 7 - 5095 - 4038 - 1/TK · 0005

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

本社质量投诉电话: 010 - 88190744

前言

“春寒赐浴华清池，温泉水滑洗凝脂。”这是唐代大诗人白居易为陕西华清池写下的千古绝句。温泉固然惹人喜爱，而那千姿百态的地下热水喷泉更是蔚为壮观，引人入胜。沸水的白练，从地下飞腾而上，喷射高达数丈，汇成飞瀑，呼呼作响，有声有色，使人赞叹不已。本书将带你一起领略这种奇异的自然景象，认识这种供人观赏的地球内部蕴藏着的热能。

同时，本书也将带你认识地热的这些自然现象——火山爆发、温泉、间歇喷泉、炽热的汽流（喷汽孔）、水热爆炸、泉华，它们都是地热能的释放过程。火山爆发是非常大的热能源泉，迄今还无法被人们利用和控制。能够被我们作为能源利用的地球热能主要是地下热水、地热蒸汽和热岩层。地壳中地热资源分布不均匀，集中在板块结构的边缘地区。许多地热是与火山共生的。新西兰、冰岛、美国、俄罗斯、意大利等国，都有丰富的地热资源。

地热的潜力是无穷的。这个热库里储藏的热能，约为地球储藏全部煤燃烧时放出热能的 1.7 亿倍。它比现在的主要能源——煤、石油、天然气等所有储量的总和，不知要大多少万倍。在这本书里，我们会看到世界上许多国家都在开发利用地热。农业上，用于育种、育秧、暖化土壤培植热带作物、干燥农产品、培育温室蔬菜和花卉、养殖淡水鱼虾；工业上，用于造纸、制革、印染、加工食品、干燥水泥、制

前

言

这本书主要向大家介绍地热这种有用的自然资源。看完本书后，你就会明白，地热是宝贵的财富，我们应该很好地开发它、利用它，让它为人类作出更大的贡献！

111

2

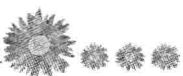
目 录

一、温泉和间歇喷泉

1. 温泉水源何处来	1
2. 温泉的特性	6
3. 温泉疗疾功效神奇	10
4. 我国温泉的分类和分布	14
5. 间歇喷泉形成的特定条件	18
6. 全球著名的间歇喷泉	22
7. 中国的间歇喷泉	26

二、地球上的其他地热显示

1. 惊心动魄的水热爆炸	31
2. 中国的水热爆炸区	35
3. 泉华的形成和分类	39
4. 千姿百态的泉华体	44
5. 火山的类型	49
6. 地球上的火山分布	54
7. 火山喷发与人类活动	58



三、地球是庞大的热库

1. 地球内部的结构	63
2. 地球内部的温度	67
3. 地球的热历史	72
4. 地球的外部热源	76
5. 地球的內部热源	80
6. 地球内部热的传导	84
7. 庞大热库真是取之不尽用之不竭吗?	87

四、世界上的地热带和地热田

1. 板块构造运动和环球地热带	93
2. 环球地热带的分布	99
3. 高温地热田构造及形成	105
4. 全球驰名的著名高温地热田	110
5. 板内地热带的形成和分布	115
6. 世界著名中低温地热田	121

五、地热资源的利用

1. 地热发电	127
2. 世界地热发电现状	131
3. 地热供热	135
4. 工业生产与地热利用	140
5. 从地热流体中提取元素和矿物	144
6. 温室种植	148
7. 地热在医疗保健和旅游方面的利用	153

六、地热资源的开发和保护

1. 地热利用产生的主要开发效应	157
2. 地热利用产生的次要开发效应	163
3. 地热回灌是资源保护的有效措施	167
4. 回灌存在的重要问题	172
5. 什么是地热热泵	177
6. 热泵的应用前景	181

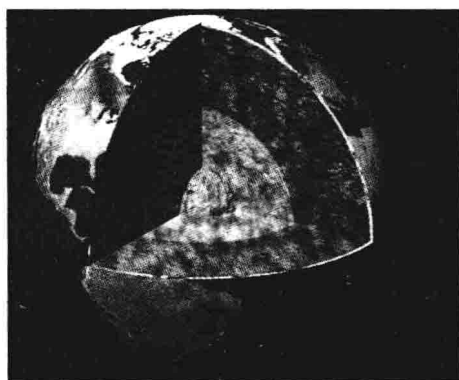


有了热源还不行，还需要了解地壳内大量的水是从哪里来的，地下水又是如何被加热的。被加热的地下水还必须具备第三个条件，那就是为这些埋深的水建造一个上升的通道，只有这样才能涌流出地表形成温泉。这就是温泉形成的三大要素：热源、水源加通道。

地球的内热作为温泉的热源，大体由两种形式提供。一种是以特殊的局部的热源来加热地下水，诸如现代火山区或地下有年轻侵入体存在的地区的温泉，它们是被埋藏不深的岩浆的热加温。这类温泉水温高，甚至形成气水两相赋存于地下，我们称之为高温温泉。

但是，并不是任何地质年代的侵入体都能作为温泉的局部热源，因为这些侵入体的温度一般在 $850^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$ ，经历漫长的年代之后，侵入体本身会渐渐变凉，加上侵入体的规模不大，就更难维持自身的温度了。所以地质学家普遍认为：自地质年代为上新世（300 万年）以前形成的侵入体，不论其温度、体积分布有多高多大，对当今而言，它早已在地壳内变成“凉”体了，不可能形成高温温泉的局部热源。所以这就是在前文中提到的侵入体前为什么要加上“年轻”二字的缘故。

另一种是不在火山和岩浆活动区域内的而且是数量远远大于高温温泉的低温温泉，它们的升温是靠地球的内热。有关这方面的知识和感受在日常生活中屡见不鲜。我国北方黑龙江省冬季气温在 $-40^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ ，但在鹤岗煤矿 300 米深的矿坑里，温暖如春，温度达 20°C 。钻井工人也有同样感受，



地壳

在华北平原施工时，当钻至 1000 米深时，井下温度为 46.8°C ，钻至 2100 米时，井底升温到 84.5°C ，平均每百米增温 3.4°C 。井孔内的增温源自地球的内热，也就是通常所讲的地下水随其深度以当地的地热增温率来增温，一般情况是每百米深度地下水平均增温 $2.5^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。

地球内热是加热温泉的“锅炉”，那么“锅炉”里源源不断的水又是来自何方？

我们知道地球表面积约 5.1×10^4 亿平方千米，其中的 3.61×10^4 亿平方千米为海洋所占据。海洋中的水体并非处于静止状态，在太阳辐射热的作用下，海水被蒸发到空中成为水汽。一部分水汽在空中被冷凝之后，又以雨或雪的形式重新降落到海洋。另一部分则随大气流动降到陆地上，落入陆地的雨雪，有的流入河流，有的注入湖泊，有的落到高山地区或寒冷地带后形成了积雪和冰川。还有一部分则从地表渗透，在土壤和岩石裂隙中流动，这就是地下水。

大气降水是地下水的主要来源。此外，地下水还有两个数量不大的来源，其一是岩浆水。许多到过温泉地区旅游、疗养、洗浴的人只要到泉区就能闻到浓浓的硫黄气味。硫黄和火山关系密切，因此人们

温泉和间歇喷泉



温泉

就会自然联想到温泉水可能就是地下岩浆中所含的水吧！这种想法，在地质学界中是曾流行一时的“原生水假说”。持这一观点的学者认为，地壳中岩浆凝固时释放出的水汽，是沿着裂隙上升不断凝结形成的水。由岩浆分离出来的原生水，数量很有限，即使在现代火山和近

代岩浆活动地区，岩浆水和岩浆蒸汽的数量也不会超过那里热水和蒸汽总量的5%~10%。

还有一种说法认为这是古海洋残留水。在长达几十亿年的地质历史时期内，经过多次的地质构造运动，海洋和陆地的位置、面积在不断地发生变化，陆地的某些部分有时下沉为海洋，海洋的某些部分则上升为陆地。当海水退去，古海洋底上的饱含海水的巨厚沉积岩固结成岩时，一部分水被保存下来，封存在沉积岩层中，这种水叫古海洋

残留水或封存水。为区别于大气降水（或称外生水），上述两种水源又称为“内生水”。

虽然地壳中蕴藏着大量的热水，如果没有理想的上升通道，它也形成不了温泉。强烈的地质构造运动会使地下岩石地层产生断裂、错动、上升、下陷等一系列



岩浆水



海洋

A black and white photograph showing a steep, rocky mountain slope. The rock face is rugged and covered with patches of dense vegetation, particularly at the base and in crevices. The slope is very steep, and the vegetation appears to be growing in more sheltered or soil-rich areas. The overall scene is one of a wild, mountainous landscape.

温泉和间歇喷泉



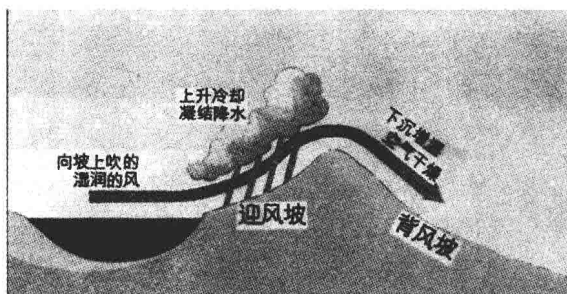
和飲金手指

随着世界各国野外地热调查工作的深入，以及全球深钻技术的发展，发现许多温泉出露地区以及钻探出热水的地区附近，并无火山活动，也没有发现地下有强烈的岩浆侵入活动。调查结果使人们逐渐认识到，地下水加温“锅炉”不仅分布在现代火山区和近代岩浆活动区，其他区域的地下也有“锅炉”存在。所以，“原生水假说”也就无法自圆其说而被人们渐渐淡化了。

*知识风向标

源源畅流的温泉水看起来虽然很清澈，但闻起来常感觉有股特殊的气味，的确，它是一种成分复杂的天然溶液。温泉水不仅自身具有一定的温度，而且还溶解了各种盐类、化学元素以及不同组分的气体。因此，可以说温泉是一种固、液、气三相融合热的天然流体。当温泉水中某些盐类、化学元素以及气体组分的含量达到一定数量时，它就显示出自身的特性——医疗保健价值，这就是通常所讲的“热矿水”。所以通常把温泉水又称为“热矿水”。热矿水和文献中常见的医疗矿泉水之间有什么概念上的区别？

目前,普遍认为医疗矿泉水能治病,主要是水的温度、热水中气体组分以及化学组分三大要素对人体产生药物化学作用的结果。也就是说,凡具备有上述要素之一者,而且可用于医疗保健的地下水,均属医疗矿水。温泉水的物理、化学特性决定了它属于矿泉之列。但是这并不等于说矿泉就是温泉。因为有些矿泉的水温并不高,如黑龙江五大连池的碳酸泉,常年水温仅 $5^{\circ}\text{C}\sim 6^{\circ}\text{C}$,它虽然是一般“冷泉”,但



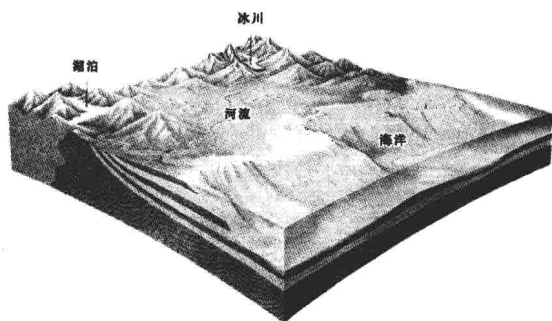
大气降水

仍是很有医疗价值的矿泉。

温泉的主要补给来自天然水，无论是大气降水或地表水，还是少量的由岩浆分泌形成的原生水，它们都具有独特的化学组分，在这些

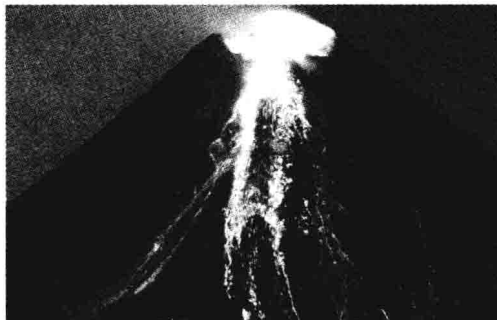
水体渗入或汇聚到地下岩层之后形成地下水的过程中，必然溶入不同的化学成分，构成地下水的原始组分。这些原始组分就是地下水演化形成各种温泉水化学组分的基础。

由于水在地层活动中的溶解、溶滤和混合作用，温泉水含有各种具有独特作用的离子，但不同的自然环境和气候条件，以相同的地表水或大气降水所形成的水溶液，其化学成分也相差很大。如海水的盐度为 35%，含有氯、钠等离子，受海水的影响，福建、山东等沿海一带出露的温泉水中含有大量的氯离子、钠离子。闽西的温泉水质多为低矿化度型水。而在闽清、德化、南靖、平和一线以东的沿海地区温泉水多为高矿化度型水。总之，各种不同化学成分的地表水在渗入地下形成温泉补给水源时，其原始的化学成分就各有差别。这就是在它们未渗入岩石裂隙之前，地下水所处的初始成分和初始性质，此后具有初始状态的地下水进入与周围岩石以及伴随的地层增温相互作用，



地表水的存在形式

温泉和间歇喷泉



岩浆

使其成分特征开始在地球这一巨大天然实验室里进行长期不断的物理变化、化学反应和生物化学反应，使其初始状态的地下水发生一系列的变化。反应结果，一方面不断地改变了地下水的化学成分，另一方面也在不断地改变地壳物质的分布状况，当然上述的各种反应，离不开地壳增温的作用。

热矿水获取各种化学成分的另一重要手段是混合作用。混合作用是通过两种不同成分水的混合，而发生的一系列化学反应，致使离子交换后形成新的组分矿水。比如在现代火山或岩浆活动区，岩浆分异出来的原生水与入渗岩石裂隙水的混合，入渗水与沉积水的混合，海洋入渗水与地下淡水的混合等。在地球化学环境条件下，两种不同成分水的混合，决不是简单成分叠加的物理作用，而是通过化学反应，在水中生成新的矿物，从而使新生水组分与原来的两种母液的性质、组分完全不同。在热矿水中化学成分的形成过程中，除了上述重要的溶滤作用、混合作用之外，还有很多吸附作用、物理化学作用和生物化学作用。实际上自然界中由于环境因素的多变，地下水包括地下热水化学成分的形成过程更加复杂。

温泉水中除含有不同成分的化学元素外，还溶有多种气体成分。这些气体与天然水中溶有的成分有很大区别，天然水通常溶含的气体都是



温泉和间歇喷泉

源自大气的氮、氧、二氧化碳等组分，含量不高。但地下深部的地热水，所溶含的气体组分就大不一样了，其中包括硫化氢、甲烷、二氧化碳等，所以当它涌出地面形成温泉时，人们常感觉有股臭鸡蛋味、硫黄味，或者常发现有一些温度不高的泉口，却似如刚刚启开瓶口的汽水一样向上鼓出大量的气泡等。通过对溶入温泉气体的分析，不仅能为揭示地下的地质环境提供重要的地球化学方面信息，同时也能对气体含量进行定性和定量研究之后，为温泉的医疗保健价值提供科学依据。



和 和 和 和 和

✱混合作用的“手段”

石灰岩地区以碳酸氢盐和钙离子为主要成分的地下水，当它与含硫酸根和钠离子为主的地下水相遇时，通过化学反应生成石膏，而水则生成以碳酸氢根和钠离子为主的苏打水。呈弱碱性的苏打水与原来的两种母液的化学组分和性质完全不同，新生的苏打水溶液又能与周围岩石相互作用进行新的化学反应。由此可见，混合作用是促使地下水化学组分不断发生化学作用的重要“手段”。