



深处的地热及其利用远景

(苏联)C.A.克拉斯科夫斯基著

科学普及出版社



华北的地热及其利用远景

王德明 王德明 王德明 王德明 王德明

地质出版社

本書提要

人类生活中不可缺少的热能，經常是取自物質(木材、煤和石油等)的燃燒、太陽的輻射、水力、風力等。火山的爆發和溫泉的噴出，表現了地壳所具有的热能，可是这种蘊藏在地球深处的取之不尽的地热，却很少被利用。

这本小冊子介紹了地球深处的热能及其表現，如何利用深处的地热，在苏联領土上利用深处地热的可能性。

总号:446

深处的地热及其利用远景

ГЛУБИННОЕ ТЕПЛОЗЕМЛИ И
ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

原 著 者: С. А. КРАСКОВСКИЙ

原 編 著: ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО ПО
РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИ-
ЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

原出版社: ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

1955

譯 者: 周 起 秀

責任編輯: 黃 友 奎

出 版 者: 科 学 普 及 出 版 社

(北京市西直門外柳條溝)

北京市書刊出版業營業許可証出字第091号

發 行 者: 新 華 書 店

印 刷 者: 北 京 市 印 刷 一 厂

(北京市西便門大街乙1号)

开本: 787×1092 $\frac{1}{2}$

1957年1月第1版

1957年1月第1次印刷

印張: $\frac{7}{8}$

字数: 18,500

印数: 7,570

統一書号: 13051·9

定价: (9)1角2分

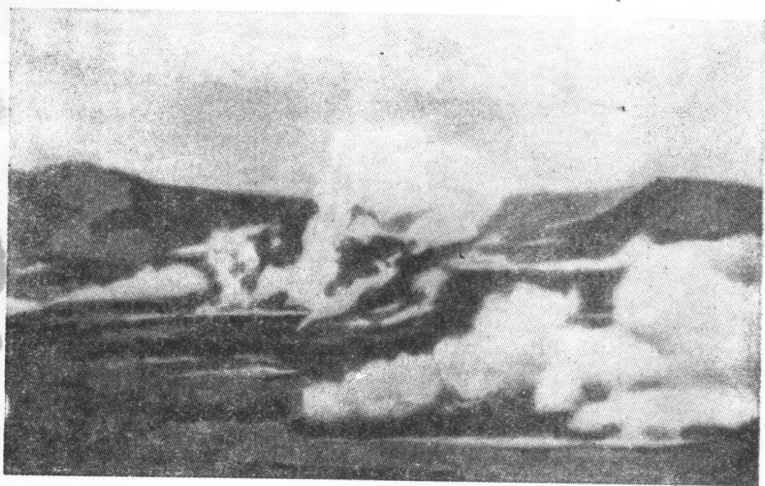
← 苏联堪察加的一个
间歇喷泉，喷出的天然蒸汽
很高。

苏联堪察
加的一个热水
湖，湖水温度
为42—47度。





堪察加的阿瓦琴活火山，1945年2月25日噴發。



阿拉斯加“万烟谷”的一部分。

在苏联共产党的领导下，科学技术工作者们正集中自己的创造性思想，日益迅速地在解决有关利用本国天然丰富资源的一些新问题。

这些新问题之一，就是在工业和日常生活中利用一种新的能源——深处的地热。

这种能源是什么，有哪些表现呢？在什么地方和怎样来利用深处的地热呢？在苏联的领土内，是否可以利用这种深处的热能呢？究竟在什么地方才可以利用呢？

读者自然会提出这些问题，所以我们就来尽力解答。

地球深处的热能及其表现

这种新的能源——深处的地热，究竟是什么呢？地热学，这门关于地球内部热力状况和地壳热能表现的科学，可以给我们解答这个问题。火山的爆发、炽热的气流（喷气孔）、周期性喷发的热水喷泉（间歇喷泉）、温泉，都是地壳热能的表现。此外，不论是在大陆上，还是在海洋的底部，我们到处都可以观察到：越往地球深处，温度就越高。这些现象都证明，在地球深处的某地有一种很热的、可能是处于熔融状态的物质。因此，早在远古时代，许多国家的人民都有一种观念，认为地球深处的物质是熔融状态的，地球外面包着一层厚薄不均匀的硬壳——地壳，后来这种观念得到了发展。

我们在这里不打算讨论关于我们这个行星（地球）起源的种种观点的发展过程，也不打算讨论和这些观点密切关联的、

441 40/01

关于地球热力状况的种种观念。我們只是指出，不久以前盛行着一种观点，認為从前某一时期，地球是曾經处于熾热状态的，后来逐漸变冷而盖上了一層硬壳。

这种看法的証据，就是从深处噴出来的熔化了了的熔岩、熾热的气流和温泉。随着矿业技术的发展，矿井和矿坑也就越来越深了，这时发现：往地下越深，温度就越高。

18 世紀中叶时，开始用溫度計来測量矿井和矿坑中的地温。19 世紀 30 年代，开始对很多深鑽孔中的岩層温度进行測量（即地温測量）。不論这种測量是在什么地方进行的，都証明：地面以下越深，温度也就越高。然而，随着天文学、物理学、地質学的发展，随着关于地球深处状况和构造的日益精确的新資料不断地积累，从前認為地球内部都是处于融熔状态的观念，也就日益显得沒有根据了。

在 20 世紀前夕，科学上又发现了物質的一种新性質——放射性。这个偉大的发现，引起了各个科学部門人員很大的兴趣，很多国家都建立了專門的實驗室和研究所，出版了大量的文献，于是一門新兴的科学——放射学，很快地成長起来了。在这門科学的历史上，1896 年永远是值得紀念的，因为在那年法国物理学家貝克勒耳在巴黎研究鈾的化合物时，发现这种化合物能發射出看不到的射綫，而这种射綫能使照相底片感光，能灼伤活的机体組織，等等。过了几年，瑪丽亞·斯克拉多夫斯卡婭（即居里夫人——編者）发现了鈾的放射性，又和她的丈夫比埃尔·居里共同发现了两种比鈾和鈷强烈好几千倍的新元素——鐳和釷。

瑪丽亞·居里在 1904 年写道：“我把鈾、鈷矿物所發出的貝

克勒耳射綫叫作放射綫，而把这些物質所表現的新特性叫作放射性。”

在俄国，卓越的学者、地球化学奠基人 В. И. 維爾納德斯基院士，非常注意物質的这种新性質，他在俄国科学界中，是第一个了解放射性在人类生活上所应起的作用的人。

1903 年，比埃尔·居里發現了放射性元素的一种惊人的新特性，就是这些元素会發热。进一步的研究証明，一切岩石都含有放射性元素，但不同岩石中的含量是不同的。

在所謂酸性岩(即富含硅酸的岩石)中，放射性元素的含量最多，例如花崗岩。在基性岩(即硅酸含量貧乏的岩石)中，放射性元素的含量較少，例如玄武岩。放射性元素的含量随着深度的增加而減少，因此，放射性元素所产生的热量也就随之減少。十分可能，含放射性元素最多的是地面以下不深的地方，在 15—20 公里的深处，即在地壳的范围以內。放射性元素在地層中分布不均匀，形成許多單独的富集点。由此可見，主要的热源是原子的放射能，可以用它来解釋地球上所發生的很多地質作用。

根据种种方法对地球深处構造进行的研究，尤其是对由于剧烈地震在岩石中所产生的彈性波的分析，証明地球并不是一个均匀的物体，而是由好几層具有不同物理化学性質的同心圓的壳組成的。上層的圈有 40—70 公里厚，叫作地壳。再往下去，到 2,900 公里的深度是中層圈，位于这一个圈和地心之間的是所謂地核，关于地核的性質，到目前为止还没有一致的見解。地核可能是金屬質的，可能是固体，而温度并不很高。但我們現在感到兴趣的是地壳以及在地壳內部起作用的种种力量。

✓ 要获得关于地球温度的实际資料，唯一的直接方法就是在很深的矿山坑道和鑽井中測量岩石的温度。現在用專門的儀器，可以在看来很深的地方——深达6公里的地方——測量温度。然而这个6公里的深度大約只有地球半徑的千分之一，我們并不能根据所获得的資料，对很深地方的温度作出任何結論。

但是即使只知道几公里深的地温，在理論上和實踐上也是有很大的价值的。我們在測量了深鑽井中不同的温度之后，就可以計算出地热增温率，也就是說，可以确定出温度在深度單位上增加的情况（以度計）。

近百年來积累了关于地球温度的大量資料。这些資料指出，地壳的特点在于深处温度情况是不同的，因而增温率的情况也就不同：有些地方增温率是每公里温度的升高不超过5度，而有些地方每公里升高到150度，甚至到250度。

✓ 究竟为什么温度会随深度的增加而迅速升高呢？很可能是由于地面以下不很深的地方，在10—20公里的深处有許多更熱的、形态和大小各不相同的岩漿体，这些岩漿体是从地球較深的部分跑到地壳的岩層中的，或如地質学家所說，是侵入地壳岩層中的。因此，这种岩漿体就叫作侵入体。

有时，熔融的岩漿通过地壳岩層中所形成的裂縫，向上升而成为熔岩，溢出地面，这时就会發生大家都知道的一种現象——火山爆發。熔岩、火山灰、火山彈在裂縫或通道周圍堆积起来，逐漸形成圓錐形的山——火山錐。然而有时岩漿未能达到地面成为熔岩溢流出来，而是停滯在某一深度，这样就造成了侵入体。

这种年青的熔融的侵入体，从很深的熾热的地方升向地

面，由于地面温度低得多，它們就逐渐冷却。这种侵入体的冷却却很緩慢，要延續几万年、几十万年，而極大的侵入体的冷却甚至要几百万年之久。这些侵入体在冷却和結晶的过程中析出热气体；这些气体順着裂縫和大断裂穿向地面，途中碰到含水層，就会使水受热，往往使水达到很高的温度。

В. И. 維尔納德斯基院士的学生 А. Е. 費尔斯曼院士，对于这种熔融岩漿体的冷却过程，曾經这样地描述：“岩漿是大量物質摻合起来的、复杂的熔融液。当摻杂有水蒸汽和揮發气体的岩漿在人力不能到达的深处沸騰着的时候，它里面發生一种内部作用，于是种种化学元素就化合而成为矿物（这时还处于液态）。当温度下降时（不論下降是由于普遍变冷的影响，还是由于岩漿跑到較冷較高的地方去了），岩漿就开始凝固，分离出种种物質。有些化合物比另外一些化合物早一些变成固态，它們就結晶和浮起，或者掉到仍处于液态的物質的底部。由于結晶力的关系，愈来愈多的新質点慢慢地被吸引到正在形成的固体質点上去；固体物質集合在一起，就和液体的岩漿分离了。

岩漿变成了晶体的組合物，就是我們把它叫作結晶岩的那种矿物塊。

固体岩石的成分，和熔融的岩漿源的成分是極不相同的。有大量的揮發化合物浸染到岩漿源熔融的复合物中，形成很多强大的气流分离出来，穿透固体岩石的复盖……。这种气体只有極少的一部分留在凝固的物質里，其余部分都成为气流升向地面。

这些揮發性化合物决不能都到达地面，它們大部分在深处

就沉积下来，水蒸汽也凝結了；于是順着裂隙和岩脈就有温泉流到地面上来，逐漸变冷，漸次从溶液中分离出一个一个的矿物。有一部分气体滲到水里去，使水充滿气体，而成为泉水或間歇噴泉噴出来，另一部分就很快找到另外的道路而形成固体的化合物。

温泉……——这就是使岩漿的活动和地面上的活动联系起来的道路……由它們形成了真正的水源，这种水从深处把和地面上不同的物質帶上来。如矿物、重金屬的硫化物就順着縫壁，順着岩石中極小的縫隙开始沉淀下来。这样，深处岩漿的揮發性化合物就造成了金屬矿床，也就是人們渴望找到的、能在工業上利用的矿物聚集体。”

然而热水和天然蒸汽从裂縫跑到地面上来的时候，它們帶上来的不仅是許多种宝贵的化学元素及其化合物，而且还从深处把热能也帶了上来，人們不但学会了成功地利用这种热能来取暖，还用来發電。

看起来，为了取暖和發電，最合适的要算那些發散出大量热能的活火山了。然而实际上并不是这样。首先，由于火山的噴發只是暫时的現象；其次，也是最主要的一点，活火山是非常强大的热能和机械能的泉源，現在任何人工的建筑物都还控制不住火山噴發的力量。火山的噴發往往可以毀灭許多城市，使城中居民死亡。例如，1815年由于馬來亞的坦波拉火山的爆發，大約死了9万2千人。1902年，从馬提尼克島的培雷山滾下来的熾热云雾，穿过聖培雷城，几分鐘內就摧毀了整个城市，燒死全城居民3万人。

要利用地下深处的热能，應該注意下列这样一些地方：有

热气流或温泉湧出地面的地方，或把溫度計放到鑽井里測出溫度很快上升的地方，这是因为在地下不很深的地方有很热的侵入体。

有大量的温泉湧出地面，在很多地方有热达数百度的气流嘟嘟地向外噴發，有許多沸水噴泉（間歇噴泉）周期性地向外噴發，高达数十公尺。在日本这个多火山和地震頻繁的国家，据調查就有 6,000 多个温泉；在美国黄石公园里，热水湧出地面的有 7,000 多处，間歇噴泉有 80 多个；阿拉斯加的“万烟谷”里有几百股气流噴出来；新西蘭有几千个温泉湧出地面。亞洲許多国家、非洲、北美、中美、南美以及大西洋和太平洋的許多島嶼上，都有很多温泉。在欧洲，由波蘭到葡萄牙，許多国家都有温泉；冰島的温泉有好几千个，間歇噴泉大約有 30 个。

在苏联，已經知道在千島羣島、堪察加的“間歇噴泉谷”中有間歇噴泉。苏联辽阔土地上的几千个温泉，都已經过苏联地質学家和水文地質学家的研究。北高加索、南高加索的許多矿泉是世界聞名的；在烏克蘭西部、克里木、中央亞細亞的許多加盟共和国、貝加尔湖附近、西伯利亞、沿海边区（註）、千島羣島、庫頁島、堪察加和楚克奇半島，都有許多温泉。

地球深处强大力量的这一切表现，都是和从太平洋兩岸經過东南亚、喜馬拉雅山、伊朗、西欧許多国家，形成一条寬闊的条帶圍繞着地球的著名的地区有关系的，这就是地質学家所說的阿尔卑斯褶皱区。这个褶皱区的另外兩個帶，大体上都是按照子午綫的方向排列的，一个是順着太平洋西岸分布（亞洲

註：“沿海边区”是苏联太平洋沿岸的一个地帶，約从北緯 51° — 42° ，大部为老岑嶺占据。——譯者

分支），另一个是顺着太平洋东岸分布（美洲分支）。阿尔卑斯褶皱区的特点是常常發生剧烈的地震，有些地方由于靠近地表有岩漿源，所以地热增温率很大。因此，科学家们知道，主要应该在阿尔卑斯褶皱区以内寻找和勘探这种新的矿产——地球深处的热能。

火山的爆發、熾热气流和温泉的湧出，把大量不同的化学物質帶到地面上来，并把其中一部分物質散布到大气中去。例如：阿拉斯加的“万烟谷”中有几百万个噴气孔，99%的这种噴气孔是由純水組成的，每秒鐘噴出2千3百万公升、温度达600度的水蒸汽。一年內，从水蒸汽所散布到大气中去的就有125万吨鹽酸、20万吨氫氟酸。温泉的水里有时含有大量溶解的礦物質，多到可以进行工業性的开采。例如，从捷克的卡洛瓦里的温泉水中，每年大約可以得到6吨氟化鈣、800吨碳酸鈉、1,300吨芒硝等等。新西蘭有个温泉，水里所含的硫和硫酸的濃度达19%，因此，把一小塊鋅放进去，立刻就会溶解。

前面已經說过，熔融的侵入体的冷却是很緩慢的。在很多地方，我們都可以找到实际的例子，来証明地球化学家在理論上的計算是正确的。例如，在法国的几个温泉附近，还保留有凱撒在加利阿居住时所修建的羅馬式澡塘的廢墟，經過地質学家研究該处矿物沉积的性質，知道这些温泉的湧水量、泉水的成分和温度，在最近兩千年来，实际上并未發生变化。冰島一些温泉的年齡經确定为1万到1万5千年。黄石公园一些温泉的年齡为2万年，从1870年开始对这个公园的地热表現性質进行系統的研究，有些考察者指出：有些間歇噴泉和温泉的活动縮小了，在有些場合下甚至停止了。于是产生了一种想法，認為

造成所有这些奇異現象的岩漿源冷却了。然而这种想法并没有得到証实。間歇噴泉或温泉活动的縮小，以及在某些情况下的停止，只能說明：把热水引到地面上来的天然的地下水管系統（即裂縫和通道），被鹽类的沉积物封閉或者淤塞了。1946年在黄石公园一个博物館的建筑物附近，有个新的間歇噴泉冲破柏油馬路噴發出来，后来成了噴气孔。

虽然黄石公园区的火山活动至少在 100 万年以前就已經停止了，然而經過專門打鑽后进行的測量，知道深層温度仍然很高，在地面以下 80 公尺的地方的温度在 200 度以上，可見那里地下深处所儲存的热量还是很大的。这些热量儲集在岩漿源里，而岩漿源正在很緩慢地变冷、結晶和析出灼热的气体。

上面介紹了地球深处的热能在地表上种种不同的表现。即使只根据列举的这些少量的事实，也不难設想：人类拥有的热能是多么强大，实际上是取之不尽，用之不竭的！

利用深处的地热

現在我們談談，在什么地方和怎样利用深处的地热。要利用深处的地热，必須有大量温度高的水，或者大量天然水蒸汽。我們已經知道，温度随深度的增加而增加的現象，是到处都在發生的——在大陆的地層中是这样，在洋底下面也是这样。我們还知道，这种温度的升高，在地球上的不同地区是不相同的——从每公里上升 5 度到每公里 250 度不等。根据这点，对于在什么地方可以利用深处地热这个問題，是不难回答的。

只有在鑽井技术所能达到的深度，有条件把足够数量的热水或天然水蒸汽引到地面上来的地方，才能把深处的地热用来

作动力。

这种条件（地下深处有熾热的侵入体）在阿尔卑斯褶皱区就可以找到。

可以想象到，早在远古时代的原始人就已经把泉里的热水用于日常生活的需要了，例如用来作飯。把温泉水用于日常生活的需要（作飯、洗衣、洗澡等）不仅在古时盛行，在不少国家内，即使在中世紀以至現代都还可以找到这样的例子。

可是，現在我們感兴趣的是以工業規模利用深处地热的可能性。把地热用于工業的目的是这样进行的：

1. 用管道把温泉水引来，供給住宅、旅館或其它建筑物的暖气設備。
2. 用热水使裝有揮發性液体的鍋爐受热后，揮發性液体变成蒸汽，驅动汽輪發电机，發电机就發出电流。
3. 通过鑽井，从地下引出天然蒸汽，淨化后用来驅动汽輪机，以得到电流。

目前冰島正广泛地利用热水供給暖气設備；意大利、新西蘭正在利用天然蒸汽發電；其它一些国家利用的發電量不大。下面我們只举出利用深处地热的最主要的一些結果。

首先談冰島在这方面的情况，正如有时大家所說的那样，这是个多冰和多火山的国家。

冰島在地質上是个盾狀隆起，主要是由玄武岩構成的。島上火山的活动时断时續地进行了至少有3千万年，火山活动到現在还没有停止：那里的火山有100多个，其中活火山至少有28个。最近一次希克拉火山的猛烈爆發是在1947年。島上有很多間歇噴泉和几千个温泉，水的温度在攝氏100度以上，在

冰島南部，這種溫泉成羣地分布在從西南往東北的方向，平行於許多很深的裂縫和許多開口的大斷裂。

很多溫泉都是依當地發生的地震為轉移的：由於某些地段發生移位，於是有些溫泉就停止活動，但隨着又產生了另外一些溫泉。一切溫泉的溫度很高，都是由於岩漿源所析出的氣體的關係。

冰島的經濟不很發達，天然資源不豐富，石油和煤要從國外輸入。因此勤勞的冰島人民，早在幾百年前就注意到大自然所毫不吝惜地賦予他們的那種資源——溫泉了。在冰島，這種熱水在日常生活、城市公用事業和農業上得到廣泛的應用：在很多居民地點都修建了公共洗衣房，農民把熱水引到自己的田地和菜園里，來加速蔬菜和谷物的成熟。自1928年起，冰島就開始進行了系統的地質、地球物理調查和鑽探工作。第二次世界大戰之後，有53,000人口的冰島首都——雷克雅維克是世界上在技術方面首次實現了全城暖氣化。熱水經過長達16公里的導管引到城里，熱水的流量是每分鐘16,000公升，溫度是87度。

但熱水的利用並不限於這一種。在冰島，有很多蔬菜和果木都是氣候和土壤條件所不容許栽培的。而那里的黃瓜、番茄、葡萄和菠蘿卻可以很順利地成熟，它們是在無數溫室里成熟的。冰島在靠近熱水流露的地方，各地都建築有這種溫室。

冰島現在還沒有利用天然蒸汽來發電，但不久以前已經開始動工建設一座功率為3千瓩的地熱發電站。

正如冰島一樣，日本也很早以前就已經把溫泉中的水用於日常生活的需要了：在潮濕寒冷的冬天，農民用熱水在房內取暖；在很多地方建築了澡塘和療養院。人們把熱水引到稻田和

菜园里去，不仅可以使土壤温暖，其中含有鉍鹽和磷鹽的水还可以用作肥料。

还可以利用热水来从海水中提取食鹽。研究工作和鑽井工作，已經有可能把温度高、流量大和具有下列化学成分的水引到地面上来，因而就可以对象鉍、銅 X、鈦 X、鐳这些稀有元素以及氯化鋰进行工業性开采了。

有些地方，一个月就可以从热水里得到100 吨食鹽、10 吨氯化鉀、0.5 吨硼酸等等。日本不久以前成立的地热委员会，正在研究在日本更加广泛地利用深处地热的远景。

在太平洋的許多島嶼上、在南美、在北島（新西蘭），把热的泉水用来供給住房的暖气設備，主要是供給旅館。

俄勒岡州(美国)矿业厅对温泉水的利用很引人注意。冬天在冰雪复盖的陡峭的山路上，汽車运输时常發生伤亡事故，于是决定要把公路上危險的地段加热。因此在湧現温泉的附近打了一些深 130 公尺、直徑 12 公寸的鑽井，引出了温度为 90 度的矿化水。这种水使裝有淡水和防止結冰液体的热交換器受热。然后把这样被加热了的淡水，送到安裝在陡峭的公路路基下面的許多管道里去，来阻止結冰。

現在我們来談談天然蒸汽的利用。由于地質学家和地球物理学家能找到天然蒸汽，并用鑽井把它引到地面上来，而化学家和动力学家能把它淨化和送到汽輪机里去，于是获得了廉价的电能。这已經在 1904 年首次在意大利實現了。

地質学家認為亞平宁半島是个年青的山脈，它是在地質上不久以前（第四紀）形成的，現在还在繼續發育。順着亞平宁山脈經常發生地震，往往破坏性很大。岩漿源的热力，表現为