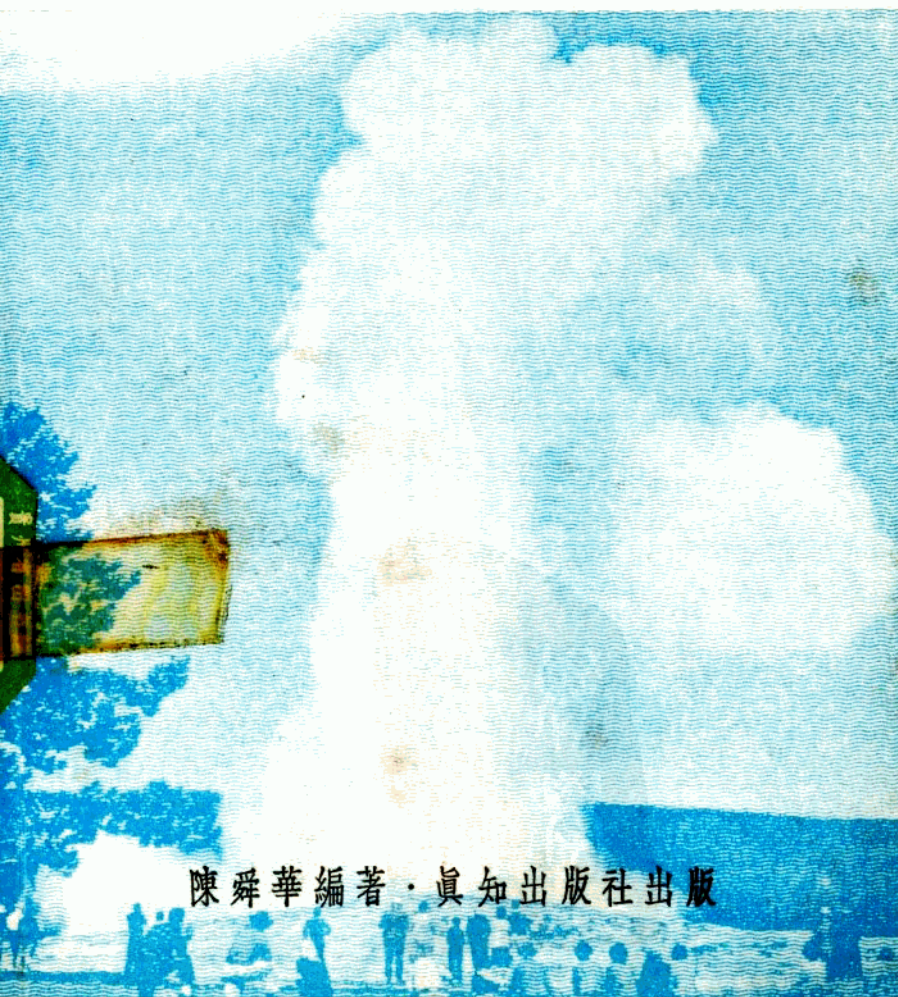


地熱的利用

THE GEOTHERMAL
POWER



陳舜華編著・真知出版社出版

地 熱 的 利 用

編 著 者：陳 舜 華

出 版 者：真 知 出 版 社

香港北角馬寶道66號二樓

印 刷 者：新華印刷股份有限公司

香港鰂魚涌華廈工業大廈四樓B座

定 價：港 幣 三 元 二 角

版權所有*不准翻印

(一九七六年二月版)

前 言

地熱就是地球內部發出的熱。

熱量就是能量。地熱是巨大的天然能量來源。

有人計算過，地球本身在一百年間所放出的熱量，就相當於地球所貯藏的全部燃料燃燒以後所發出的熱量。

很久以前，人們就懂得利用地下的熱水來取暖，利用溫泉來治療疾病。在本世紀初，意大利人就開始利用地熱發電。

利用地熱發電，比用火力發電要優越得多。不過，如何更好地利用地熱，建造更大規模的地熱發電廠，却是近十年來科學家所致力研究的事情。

人們不但要利用地熱作為發電的能源，還要搞綜合利用——從地熱井中提取蒸汽和水的混合物，再把蒸汽和水分離，使蒸汽驅動汽輪機來發電，把熱水輸送到住宅區供取暖，並設法從地熱水中提取有用的化學元素……。

所有這些，都是現代科學中的一項新工藝。

本書介紹地熱的利用和各國利用地熱發電近況。讀者看了本書，將會知道，地熱的資源是多麼豐富，地熱利用的前景是未可限量的。

目 次

前 言	1
一、從火山爆發談起	1
二、地熱的來源	4
三、地熱異常區	10
四、世界的地熱資源	17
地熱蒸汽田	17
地熱水汽田	18
地下熱水田	18
五、對地下熱水的探察	23
六、怎樣尋找地下熱水	28
普查地熱異常現象	29
井、孔溫度測量	29
水化學調查	32
地球物理勘測	33
紅外線探測	34
七、地下熱水的成質	36
八、利用地熱發電	42

地熱蒸汽發電	46
地下熱水發電	49
九、各國利用地熱發電概況	60
十、地熱的其他用途	74
地熱取暖	74
地熱在工業上的應用	76
地熱在農業上的應用	77
地熱在醫療上的應用	79
地熱的化學應用	82
十一、地熱利用的展望	84

一、從火山爆發談起

維蘇威火山，是一座著名的火山。它位於意大利繁華昌盛的地區，在地中海沿岸的那不勒斯灣畔。以景色秀麗怡人見稱的那不勒斯城，正座落在這座舉世知名的火山腳下。

根據歷史記載，維蘇威火山早在公元 79 年的時候，曾經發生過猛烈的爆發。那時候，周圍附近好幾座大城市，如赫古拉農姆、奧普隆吉斯、司塔比亞和邦貝等，都毀於一旦。

在 1882 年，印度尼西亞爪哇和巽他海峽之間，也發生過一次火山爆發。當時，曾經把一座 75 平方公里的海島全部炸毀，火山灰飛升到 27 公里的高空之中。原來這座火山在未爆發之前，高出海面 500 公尺，可是在爆發之後，竟然低於海面 3 百多公尺！由此可見，火山爆發的威力，確實十分驚人；同時，火山噴出物的溫度，也是非常熾熱的！

在中國，黑龍江省中部德都縣的五大蓮池火山，也曾經在公元 1720 年時候爆發過。事後有一

段碑文這樣記寫：

「烟火冲天，其聲如雷，晝夜不絕。聲聞 50 餘里，熱氣逼人 30 餘里。」而且，當時從火山口流出來的熔岩，足可以覆蓋周圍 60 多平方公里的地面。同時，熔岩還堵塞了訥莫爾河的支流——白河的河谷，使河水因而壅積，構成今天我們所看到的五個串珠狀排列的湖泊，也就是風景秀麗的五大蓮池。

談到這裏，我們不禁要問：火山爆發時所表現出來的驚人威力和噴出物所携有的熾熱高溫，究竟又是從那裏來的呢？

很明顯，這都是從地底下面來的，也就是從地心裏面來的。

科學研究告訴我們：地球的內部蘊藏着驚人的熾熱的高溫。有人曾經實地測量過，發現火山爆發時候所噴出來的氣體，溫度約為 $300 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ，至於火山爆發時所噴出的熔岩，溫度更要高，約為 $1,100^{\circ}\text{C}$ 到 $1,300^{\circ}\text{C}$ 之間。許多火山爆發時，烟霧騰空而起，連續數晝夜仍不消散，實在不知流失了多少地底下的熱量。

有人曾經計算過，設想環太平洋火山帶的火山活動，每年從地球內部携出 40 萬億千卡的熱量。那麼，這數字就相當於 600 萬噸煤在燃燒時候所放出的熱能。

此外，又有人估計，以地底下全部的煤貯藏量做標準。設想地下全部的煤都被開採，它們所釋放

出來的能量總共為 100。那麼，石油的全部藏量所釋放出來的能量，僅為煤的百分之三，而當前所能夠利用的全部核燃料所釋放出來的能量，約為煤的百分之十五。但是，以全部的煤所蘊藏的能量跟地下熱能的蘊藏量相比，却是微不足道，地下熱能的蘊藏量，竟是煤的 1.7 億倍之巨！

所以，地下熱能的開發和利用，目前正為許多國家所重視。同時，如何開採和利用的技術問題，已經成為地質學和綜合科學技術領域的一項重要新興課題！許多科學工作者正在埋頭研究，想方設法來利用地下熱。

二、地熱的來源

地球內部有這麼豐富的熱能，究竟這些熱能是從哪裏來的呢？回答這個問題，我們不妨從地球的起源談起。

許多時候，我們總是這樣說：「任何事物都是在不斷地運動和發展之中」。作為一個天體的地球，也不能例外，有着它本身的發展歷程！

地球的起源和形成的年代，最少有 50 ~ 60 億年，而地殼的形成年代，最少也有二、三十億年。

有一種假說（例如康德和拉普拉斯認為太陽系本來是一團極其龐大、熾熱和稀薄的「原始星雲」，後來，這團氣態星雲逐漸冷卻，最後又因為自轉和收縮的關係，使外圍物質一團一團地分離，以至形成好幾個氣態的「環層」，這些「環層」再進一步冷卻、凝結，遂成為各個大大小小的行星，就是今日的太陽系的九大行星。

根據這個假說推論下去，地球實在是太陽的「分支體」，它在形成之初的溫度必然很高，只是

在後來才經過宇宙空間的冷卻，由外而內，逐漸凝結成爲固體。最後，地殼層越來越厚，把內部的未曾凝結的物質包圍和固封起來，因而，地球內部現存的熱量，應該是原始時期未經全部冷卻的古地球的「殘餘熱」。

另一種假說却認爲：太陽本來就是宇宙天體學中的一顆恒星。由於萬有引力的存在，使它從宇宙中不斷「捕獲」各種星際物質，其中，包括有大量的宇宙微細粒子、這些星際物質和宇宙微細粒子，被太陽「捕獲」後，便相互吸引和凝聚起來，最後，在太陽的周圍緊密地結合成爲各大行星。

「捕獲說」否認地球是太陽的「分支」。它強調行星的形成，最初是宇宙中星際物質的「凝聚體」。所以，地球在形成之初的溫度是不很高的。

前一個假說（即原始星雲說）認爲地球越來越冷，如果真的是這樣，原始地球向宇宙散熱的速度，應該非常迅速。奇怪的是，按照地球現在已經確知的年齡計算，地球內部的溫度，今天決不可能維持 $2,000\sim 5,000^{\circ}\text{C}$ 之高，這就證明這個學說不能解釋地熱的來源。

到了二十世紀初期，放射性元素被發現之後。便有人應用它來補「原始星雲說」的不足。他們認爲，地球內部現存的熱量，有一部份是由於放射性元素的蛻變而成的。正因爲放射性元素不斷地產生熱量，從而大大地延緩了地球的冷卻速度。這方

面，和「捕獲說」的解釋却是一致的。

「捕獲說」認為，地熱的主要來源，是星際物質中所含的放射性元素，經過蛻變反應而放散出來的，這些放射性物質蛻變時候所產生的熱，就積聚在地球的內部，使到今天的地核保持攝氏 $2,000^{\circ}\text{C}$ 到 $5,000^{\circ}\text{C}$ 的高溫！

上面的兩種假說，雖然對地球起源問題有不同解釋，但它們最後都歸結到元素物質的放射性上面去，並認為地熱是放射性元素蛻變的產物。

所謂放射性，就是指能够自發地從分子內部放射出一些射線的自然現象。比方鐳、釷、鈾和釷等等，就都是具有放射性能力的物質，因而，鐳、釷、鈾和釷等，也就被統稱為放射性元素。

說起來，放射性元素物質，在地球上的分佈廣泛，種類繁多。它們不斷自發地放出一些粒子射線，同時本身逐漸轉化成為另外的一種物質。這種現象叫做蛻變。如果有一半數原子發生蛻變，那麼，這蛻變過程所需要的時間，就叫做那種放射性元素的半衰期。

應該指出，地球上面所發現的放射性元素，它們的半衰期長短不一，而且差別很大，有的只有幾千分之一秒，有的長到幾十億年的。只有那些半衰期為 100 萬年至 100 億年，尤其是由 1 億年到 50 億年之間的放射性元素才對地熱起了顯著的作用。例如 鈾 (U^{238})、鈾 (U^{235})、釷 (Th^{232}) 和 鉀

(K^{40}) 等，它們不但參與整個地球的演變過程，同時，現在依然起着作用。因此，這些放射性元素所產生的蛻變熱，就幾乎是地熱的主要來源。據科學家計算，在地球整個演變歷史過程中，地球內部那些中、長半衰期的放射性元素，平均每年所產生的蛻變熱，至少有 5 萬億億卡。

除了放射性學說之外，對於地球熱源的解釋，還有地球轉動熱說，重力分異熱說、化學反應熱說和結晶熱說等等。有人認為，在地球的形成早期，由於地球和它的外殼物質的密度分佈很不均勻，更加上地球自轉的速度發生變化。因此，引致地殼岩層作水平位置的移動和擠壓，這麼一來，便產生大量的轉動和擠壓熱。根據計算，地球在形成時期所產生的轉動熱，大約為每年 11 萬億億卡，比較放射性物質所產生的蛻變熱還要高上一倍有多。可見，轉動熱也是地球內部的重要熱源之一。至於其他作用所產生的熱，如重力分異熱、化學反應熱和結晶熱等，在地球熱源中所起的作用極微，這裏就不再一一介紹了。

也許有人會問，究竟地球，特別是地殼層在最近的地質歷史時期之中，是向着冷的方向變化，還是正朝着熱的方向發展呢？

為了更好地說明這個問題，我們不妨列舉和引證一些數字。首先是熱的傳導作用，使地球每年從內而外，由下而上的向宇宙空間散失 2×10^{20} 卡/年

(2 萬億億卡) 的熱量。同時，火山和溫泉每年從地球內部攜帶出 10^{17} 卡/年至 10^{19} 卡/年的熱量；另一面，在漫長的地球發展過程中，地球內部中、長半衰期放射性元素所產生的蛻變熱，大約為每年 5×10^{20} 卡/年 (5 萬億億卡) 的熱量。從上述這三個數字來作簡單的比較，即蛻變熱大於地球散失熱 (包括地表、火山和溫泉) 的總和。很明顯，地球目前應該是處於增溫狀態的。

但是，放射性元素所產生的蛻變熱熱量，却不是恒定的。根據科學工作者的研究表明：地殼中放射性元素的含量，隨着地球的歷史進程而逐漸減少。據估計，現代地殼層中放射性元素的含量，僅為 30 億年前的五分之一。因此，地殼層中放射性元素所產生的蛻變熱熱量，也必然比 30 億年前少。如果以 30 億年前地殼層中放射性元素所產生的蛻變熱熱量作為百分之一百計，則現代地球每年所產生的蛻變熱，只及 30 億年前的百分之四十。所以說，地殼在最近的地質歷史時期中，正處於極其緩慢的冷卻過程中，地球現時正朝着冷的方向變化。有人計算出來，最近 20 億年裏面，地殼的溫度平均每 10 億年降低 100 度，這是完全可以理解的。

但是我們還要知道，地殼的導熱率很低，地殼一方面阻礙着地球內部熱量向外散失，另一方面又阻礙着地殼上部的冷卻區向地球內部伸展。因而地

幔和地核内部的熱量，便得到很好的積蓄和保存。造成地殼的溫度漸減，而地幔和地核的溫度漸升的現象，是不足奇怪的。

三、地熱異常區

地熱，使地殼層的温度隨着深度的增加而逐漸升高。我們在習慣上，常把地熱增溫率為每深 100 公尺、温度升高 3°C 左右的地區，稱為地殼的「正常增溫區」，或者叫做「正常地熱區」。反之，地熱增溫率超過這個數字的地區，就稱為「異常增溫區」，或者「地熱異常區」。

在地熱正常區之內， 80°C 的地下熱水，往往埋藏在地下 2,000 公尺到 2,500 公尺的深處。可是，在地熱異常區裏面， 80°C 的地下熱水，竟然分佈在地下幾百公尺或幾十公尺的淺層，甚至有些還直接露出地面上。像許多溫泉、蒸汽噴泉和間歇噴泉等便是一例。

如果，我們以某一個地熱異常區作為試點，對該區周圍的土壤和地下水温度進行調查，並將調查所得的記錄在地圖上面，再用線把温度相同的地方連貫起來，構成所謂「等溫線圖」，則我們可以清楚地看出，土壤和地下水的温度，都以地熱異常區為中心，逐漸向外圍減低，因而，圖中等溫線都呈

不規則的同心圓或者是木紋狀態的輪形。另一方面，我們又可以對地熱異常區的縱切解剖面作等溫線圖，同樣可以看見等溫線以地熱異常區為中心，向上高高隆起，並從高聳的兩側，向下逐漸傾斜，最後，逐步過渡到正常地熱區為止。這說明了什麼呢？它正好說明在地熱異常區之內，地下熱水的埋藏較淺，土壤和岩石的溫度也比鄰近地區為高。因此，地熱異常區就好比「油苗」或「礦點」，正是人們所要尋找的地下熱水和蒸汽的地區。

據水文地質學家指出：在地熱異常區內，如果地殼內層有良好的地質構造和水文地質的條件，那麼，該區就能够形成富集的大量熱水或者蒸汽，成為具有重大經濟價值的「熱水田」或「蒸汽田」。這兩種特殊的「田」，因為都是由地熱構成的，所以統稱為「地熱田」。

究竟，地熱異常區又怎麼會形成富集的地熱田呢？

這方面，我們又得談到地熱異常區的成因，和地熱田的形成條件了。

地熱異常區是怎樣形成的呢？地質學家認為：在近代的地質歷史時期之中，有些地殼斷裂運動比較活躍的地區，往往在地殼層的內部形成好幾組方向不同、規模不等的相互交叉的斷層。這些斷層的裂口，如張性斷裂，或者斷裂的交叉點，就造成地殼深處的地下熱水上湧的通道，使深處的地下熱水