

新能源和可再生能源 对石油工业 潜在影响的研究

XINNENGYUAN HE KEZAISHENG
NENGYUAN DUI SHIYOU
GONGYE QIANZAI YINGXIANG DE YANJIU

CNPC

中国石油集团经济技术研究中心

新能源和可再生能源 对石油工业潜在影响的研究

顾 问： 刘振武 方朝亮 朱俊生 衣宝廉

负 责 人： 王同良 李万平 汪 红

编 写 人： 李万平 汪 红 刘 红 张卫忠
吴 铁 高月光 王效祥 娄 承
牛立全

审 稿： 胡文海 贾映莹

中国石油集团经济技术研究中心

二〇〇三年三月

前 言

能源是国家经济发展与社会发展的基本动力，随着全球经济发展以及世界人口的增长，必将引起能源消费的继续增加。矿物能源的应用推动了社会的发展，但其资源却在日益耗尽。同时，矿物能源消费也是造成环境污染的主要因素。从能源发展战略来看，人类必须寻求一条可持续发展的能源道路，因此，提高能源效率和开发利用新能源与可再生能源就成为世界能源可持续发展战略的重要组成部分，尤其是新能源与可再生能源的开发利用，已成为大多数发达国家和发展中国家 21 世纪能源发展的基本选择。随着全球经济一体化趋势的发展以及世界各国对环境保护要求的提高和对可再生能源利用的重视，近几年来，国际石油工业发生了一些新的变化。其中之一就是石油公司开始向多元化方向发展，可再生能源成为各石油公司竞相发展的重点。

石油，作为一种主要能源以及重要的化工原料，为人类社会的发展做出了巨大贡献。但随之也出现了两个严重的问题：一是石油资源为不可再生能源，由于大量开采在不断减少；二是使用以石油为主要原料而制成的燃料，对环境产生的影响日益突出。从能源发展战略来看，人类必须寻求一条可持续发展的能源道路。可再生能源不仅资源充沛，而且对环境不产生或很少产生污染，是未来能源发展的一个重要方面。

追踪世界其他国家能源发展的战略和世界前沿科技，了解国际大石油公司在发展新能源方面所进行的工作，可以为中油集团公司（C N P C）今后的发展提供有意义的参考。通过对国内外新能源和可再生能源的调研，我们提出了有关 C N P C 在新能源和可再生能源科技发展战略方面的建议，供集团公司领导参考。

中国石油集团经济技术研究中心

2003 年 3 月

目 录

第一部分 概 述	1
第二部分 新能源和可再生能源的研究发展现状和趋势	3
地热能	3
燃料电池	25
天然气水合物	41
其他新能源	56
第三部分 中国新能源和可再生能源发展战略	80
中国能源现状	80
环境保护呼唤发展新能源	82
“十五”新能源发展计划和2010年远景目标	83
我国现行的激励政策	85
第四部分 国外新能源和可再生能源发展战略	92
21世纪新能源与可再生能源的发展特点	92
发达国家新能源和可再生能源政策及研发项目	94
新能源的市场化	110
第五部分 国外石油公司新能源和可再生能源发展战略	114
荷兰壳牌集团	114
英国BP石油公司	120
加州联合油公司	124
三菱重工公司	127
埃克森美孚公司	128
其它石油公司	131
第六部分 对中油集团(CNPC)新能源和可再生能源发展战略和措施的建议	134
国外大石油公司21世纪新战略	134
新能源对石油工业的潜在影响	136
中油集团公司开展新能源和可再生能源项目的优势	138
对集团公司开发利用新能源战略的探讨	139
对CNPC发展新能源和可再生能源的建议	142

第一部分 概 述

近 100 年来, 全球能源消耗平均每年以 3% 的速度递增。根据国际上通用的最新数据, 世界能源消耗总量从 1970 年的每年 83 亿吨标准煤到 1995 年 140 亿吨标准煤, 增长了 68.7%。预计到 2020 年将达到 195 亿吨标准煤, 50 年增长 1.35 倍。尽管到 2020 年石油、煤、天然气、核能仍是能源供应的主力, 但水力和其它新能源与可再生能源的发展将十分令人瞩目, 从 1970 年的约 13.8 亿吨标准煤发展到 1995 年的 30.2 亿吨标准煤, 增长了 1.19 倍, 预计到 2020 年将达到 40.9 亿吨标准煤, 50 年将增长 1.96 倍。届时可再生能源在能源结构中 will 占 21% 左右。现在世界能源结构中所利用的化石能源主要仍然是煤炭, 其次才是石油和天然气, 其比例约为 68%:17%:15%。根据现有探明储量和开发技术的经济性预测, 石油将在 40 年时间内枯竭, 天然气将在 60 年内用光, 煤炭也只能用 220 年。在人类利用能源的历史长河中, 石油、煤炭、天然气等常规能源毕竟是短暂的--瞬间, 所以人类必须从现在开始及早寻找新一代的替代能源。

表1-1 中国化石燃料储量及可开采年限

能源种类	探明储量	折合标煤, 亿吨	1999 年开采量	可开采年限, 年
煤炭	1145 亿吨	817	10.45 亿吨	109
石油	32.6 亿吨	47	1.6 亿吨	20
天然气	11230 亿立方米	15	252 亿吨	45
铀	5.1 万吨		如: 供 4000 万千瓦 核电站应用	30

根据世界权威部门的预测, 到 2060 年, 新能源与可再生能源的比例将占能源结构的 50% 以上。因此, 全球许多国家正在制定鼓励新能源与可再生能源发展的战略和发展规划, 以期积极开发利用这种能源。

欧盟制定了一个使新能源与可再生能源比重从 6% 增加到 2010 年的 12% 的战略目标, 已开始实施并初见成效。美国在新能源与可再生能源的研究开发方面也投资很大, 目前已有 10 个州制订了相关法律, 以保证新能源与可再生能源的发电量达到一定比例。印度已有了重要的新能源与可再生能源商业化的计划, 为此在过去的 10 年中, 风电装机容量超过 2000 万千瓦, 小水电超过 21 万千瓦, 蔗渣发电为 17.4 万千瓦。印度政府计划在 2012 年实现新能源与可再生能源发电占全国总发电量的 10%。日本目前也积极扩大使用新能源: 日本综合资源能源调查会最近确定了日本长期能源供求预测。该预测内容包括, 为了防止地球变暖, 日本将在今后 10 年中使二氧化碳的排放量降低至 1990 年的水平。同时, 日本还将增建 10 座至 13 座原子能发电站, 同时推进节能工作, 引进新能源。

在新能源和可再生能源的开发利用方面, 国际大石油公司扮演了十分重要的角色。英国 BP 公司致力于开发氢能 and 太阳能等新能源。BP 计划在新加坡建设世界首批加氢

站，负责为戴姆勒－克莱斯勒公司的燃料电池汽车提供氢燃料。2003年，BP将为新加坡的部分加油站供应氢燃料。在推广太阳能商业化利用方面，BP在澳大利亚和新加坡都取得了显著成绩。目前，BP公司已经成为世界上最大的太阳能公司之一，太阳能业务的年增长速度达30%。BP认为，未来世界最合适的能源系统将是太阳能、风能、水电和地热。虽然目前这些能源还利用得很少，且价格昂贵。但今后20年新能源的利用将会大幅度增长。

英荷壳牌集团在今后5年将投资5~10亿美元进行太阳能和风能等新能源的开发。壳牌公司预测，从2025年起，燃料电池将快速增长，能源工业将发生根本性变化。这意味着上个世纪位于前列的埃克森、BP和英荷壳牌等大石油公司在未来的100年不一定能够继续保持其优势地位，因此必须加快新能源的开发速度。

作为全球最大的石油公司，埃克森美孚公司（当时的埃克森公司）在20世纪70年代和80年代曾经投资10亿美元，进行能够替代石油和天然气的经济实用的新型燃料的研究，但以失败告终。目前，埃克森美孚正在与通用汽车公司、丰田汽车公司和其他一些公司携手发展动力电池。但从目前掌握的情况看，埃克森美孚显然并未把这一工作作为重点，他们更希望到2010年甚至更远的将来，石油和天然气不仅不会被替代，而是在世界范围的需求稳步增长。看来，在发展石油与天然气的替代能源方面，埃克森美孚公司没有足够的信心。

中国是世界上最大的能源生产和消费国之一，同时也是世界上少数几个以煤为主要能源的国家之一，在全国能源生产和消费中，煤炭能源约占75%，造成日益严重的环境污染问题。另一方面，能源短缺日益严重。自1993年开始，中国由石油出口国变为石油进口国。2000年的一次能源缺口达到4.6~5.4亿吨标准煤。据预测，中国未来能源供需的缺口将越来越大，在采用先进技术、推进节能、加速可再生能源开发利用以及依靠市场力量优化资源配置的条件下，2010年仍将短缺8%，到2050年将短缺24%左右，其中石油短缺额可能多达4.4亿吨标煤。为此，近年来我国通过调整能源发展政策，减免税收、贴息贷款等措施，多方鼓励发展水能、风能、太阳能、地热等新能源和可再生能源，以期收到好的效果。

中国新能源和可再生能源资源丰富，可开发利用的风能资源约2.53亿千瓦，地热资源探明储量为31.6亿吨标准煤，陆地接收的太阳辐射年总量平均值约为 5.8×10^3 焦耳/平方米，生物质能、海洋能的储量均处于世界领先地位。

按照中国的新能源产业发展规划，到2015年，中国新能源和可再生能源的年开发量将由现在的300万吨标准煤上升到4300万吨标准煤，约占当时全国能源消费总量的2%。

我国在新能源开发和利用方面存在着巨大的潜力。因此，中油集团可以在新能源和可再生能源的开发利用方面进行一些有益的尝试，选择一两种新能源进行系统的可行性调研，其中包括太阳能、风能、地热能、燃料电池、天然气水合物等新能源，确定今后CNPC在新能源开发和利用方面研究的发展方向。

第二部分 新能源和可再生能源的 研究发展现状和趋势

近年来,随着对能源供需和环保问题重视程度的不断增加,国际上对新能源和可再生能源的开发和利用越来越重视。研究新能源和可再生能源国内外的情况,特别是与石油工业相关的新能源的发展现状、资源分布和资源量以及未来10年可再生能源的发展态势是本章阐述的重点。

地 热 能

一、地热能发展现状

地热能起源于地球的熔融岩浆和放射性物质的衰变。地下水的深处循环和来自极深处的岩浆侵入到地壳后,把热量从地下深处带至地表。在有些地方,热能随自然涌出的热蒸汽和水而到达地面,自史前起它们就已被用于洗浴和蒸煮。通过钻井,这些热能可以从地下的储层引入水池、房间、温室和发电站。这种热能的储量相当大。据估计,每年从地球内部传到地面的热能相当于100拍瓦小时。不过,地热能的分布相对来说比较分散,开发难度大。实际上,如果不是地球本身把地热能集中在某些地区(一般来说是那些与地壳构造板块的界面有关的地区),用目前的技术水平无法将地热能作为一种热源和发电能源来使用。严格地说,任何情况下即使从技术上来说地热能也不是可再生能源,但全球地热资源量十分巨大;关键是应用适合的技术将这些资源经济地开发出来。

地热能是指贮存在地球内部可供开发的热能。其储量比目前人们所利用的总量多很多倍,而且集中分布在构造板块边缘一带,该区域也是火山和地震多发区。如果热量提取的速度不超过补充的速度,那么地热能便是可再生的。高压的过热水或蒸汽的用途最大,但它们主要存在于干热岩层中,可以通过钻井将它们引出。

地热能在世界很多地区应用相当广泛。老的技术现在依然富有生命力,新技术业已成熟并且在不断地完善。在能源的开发和技术转让方面未来的发展潜力相当大。地热能是天生成储存在地下的,不受天气状况的影响,既可作为基本负荷能使用,也可根据需要提供使用。

古时候起人们就已将低温地热资源用于浴池和空间供热,近来还应用于温室、热泵和某些热处理过程的供热。在商业应用方面,利用干燥的过热蒸汽和高温水发电已有几十年的历史。在过去的10年中利用中等温度(100℃)水通过双流体循环发电设备发电已取得了明显的进展,该技术现在已经成熟。地热泵技术后来也取得了明显进展。由于这些技术的进展,此类地热资源的开发利用得到较快的发展,也使许多国家在经济上可供利用的资源潜力明显增加。从长远观点来看,研究从干燥的岩石中和从地热增压资源

及岩浆资源中提取有用能的有效方法可进一步增加地热能的开发潜力。地热能的勘探和开采技术依赖于石油工业的经验,但为了适应地热资源的特殊性(例如资源的高温环境和高盐度)要求,这些经验和技术必须进行改进。地热资源的勘探和开采费用在总的能源费用中占有相当大的比例。这些成熟技术通过联合国有关部门(联合国培训研究所和联合国开发计划署)的艰苦努力,已成功推广到发展中国家。

二、地热资源的生成与分布

1. 地热资源的生成

地热资源是指在当前技术经济和地质环境条件下,地壳内能够科学、合理地开发出来的岩石中的热能量和地热流体中的热能量及其伴生的有用组分。

各种类型地热资源均要通过一定程序的地热地质勘查研究工作,才能查明地

热资源数量、质量和开采技术条件以及开发后的地质环境变化情况。从技术经济角度看,目前地热资源勘查的深度可达到地表以下5000米,其中3000米以上为经济型地热资源,3000米至5000米为亚经济型地热资源。中国资源总量为:可供高温发电的约5800兆瓦以上,可供中低温直接利用的约2000亿吨标准煤当量以上。总量上我国是以中低温地热资源为主。

地热资源的生成与地球岩石圈板块发生、发展、演化及其相伴的地壳热状态、热历史有着密切的内在联系,特别是与更新世以来构造应力场、热动力场有着直接的联系。从全球地质构造观点来看,大于150℃的高温地热资源带主要出现在地壳表层各大板块的边缘,如板块的碰撞带、板块开裂部位和现代裂谷带。小于150℃的中、低温地热资源则分布于板块内部的活动断裂带、断陷谷和凹陷盆地地区。

地热资源赋存在一定的地质构造部位,有明显的矿产资源属性,因而对地热资源要实行开发和保护并重的科学原则。

2. 地热资源的类型和开发概况

据估计在地壳表层10公里的范围内,地热资源就达 12.6×10^{26} 焦耳,相当于 4.6×10^{16} 吨标准煤,即超过世界技术和经济力量可采煤储量含热量的70 000倍。

一般说来,深度每增加100米地温就增加3℃左右,这意味着地下2公里深处的地温是70℃左右,深度为3公里时,温度将增加到100℃,依此类推。然而在某些地区地壳构造活动可使热岩或融岩到达地球表面,从而在技术可以达到的深度上形成许多个温度较高的地热资源储存区。要开采和实际应用这些热能需要有一个载体把这些热能输送到热能提取系统。这个载体就是在渗透性构造内形成热含水层的地热流。这些含水层或

表 2-1 1999 年世界上直接应用地热能前几位的国家

	装机容量 (兆瓦热功率)	产能 (吉瓦小时/年)
中国	2282	10531
日本	1167	7482
美国	3766	5640
冰岛	1469	5603
土耳其	820	4377
新西兰	308	1967
格鲁吉亚	250	1752
俄罗斯	308	1707
法国	326	1360
瑞典	377	1147
匈牙利	473	1135
墨西哥	164	1089
意大利	326	1048
罗马尼亚	152	797
瑞士	547	663

储热层便称为地热液田。热液源在全球分布很广，但却很不均匀。多数地热田位于地质活动带内，常表现为地震、活火山、热泉、喷泉和喷气等现象。地热带分布与地球大构造板块或地壳板块的边缘有关，主要位于新的火山活动区或地壳已经变薄的地区。这些地热带中，有一条环绕着整个太平洋，包括堪察加半岛、日本、菲律宾、印度尼西亚，以及从南美西部起直至阿根廷、秘鲁、厄瓜多尔、中美洲和北美西部。还有一条地热带横穿亚洲一直延伸到地中海地区。热地壳物质还存在于洋中脊（如爱尔兰和亚速群岛）和内陆断裂区（如东非断裂、肯尼亚和埃塞俄比亚断裂）。低焓地热资源要比高焓资源丰富，而且分布也比较广，它们分布在许多世界深海沉积盆地上，例如美国墨西哥湾沿岸、加拿大西部、西西伯利亚及中欧和南欧相当一部分地区，此外还分布在高焓资源的边缘地区。

我国处于欧亚板块的东南边缘，在东部和南部分别与太平洋板块和印度洋板块连接，是地热资源较丰富的国家之一。两个高温地带或温泉密布地带就分别位于上述两个板块边缘的碰撞带上，而中、低温泉密布带则多集中于板块内的区域构造边界的断层带上。西藏的地热资源最为丰富，云南的地热点最多，已知的达 706 处。在常规能源比较缺乏的福建省，已探明的地热能达 3.34×10^{20} 焦耳，相当于 117 亿吨标准煤。

地热资源按其在地下的赋存状态，可以分为水热型、干热岩型和地压型地热资源，其中水热型地热资源又可进一步划分为蒸汽型和热水型地热资源。因此，地质学上常把地热资源分为蒸汽型、热水型、干热岩型、地压型和岩浆型五大类。

(1) 蒸汽型

蒸汽型地热田是最理想的地热资源，它是指以温度较高的干蒸汽或过热蒸汽形式存在的地下储热。形成这种地热田要有特殊的地质结构，即储热流体上部被大片蒸汽覆盖，而蒸汽又被不透水的岩层封闭包围。这种地热资源最容易开发，可直接送入汽轮机组发电，腐蚀较轻。可惜蒸汽型地热田很少，仅占已探明地热资源的 0.5%，而且地区局限性大，到目前为止，只发现两处具有一定规模的高质量干热蒸汽储藏，一个位于意大利的拉德雷罗，另一个位于美国的盖瑟尔斯地热田。

(2) 热水型

它是指以热水形式存在的地热田，通常既包括温度低于当地气压下饱和温度的热水和温度高于沸点的有压力的热水，又包括湿蒸汽。这类资源分布广，储量丰富，温度范围很大。90℃ 以下称为低温热水田，90~150℃ 称为中温热水田，150℃ 以上称为高温热水田。中、低温热水田分布广，储量大，我国已发现的地热田大多属这种类型。在冰岛首都雷克雅未克，地热能已成为第二大能源。该地区 14.5 万多人享受着热水管道直接通入每户的待遇，且热水的成本比冷水还低。

(3) 地压型

一种目前尚未被人们充分认识的、但可能是十分重要的一种地热资源。它以高压高温盐分热水的形式储存于地表以下 2~3 公里的深部沉积盆地中，并被不透水的页岩所封闭，可以形成长 1000 公里、宽几百公里的巨大的热水体。地压水除了高压（可达几百个大气压）、高温（温度处在 150~260℃ 范围内）外，还溶有大量的甲烷等碳氢化合物。所以，实际上地压型资源中的能量是由机械能（高压）、热能（高温）和化学能（天然气）三个部分组成。由于沉积物的不断形成和下沉，地层受到的压力会越来越大。地压

型地热通常与石油资源有关。地压水中溶有甲烷等碳氢化合物，形成有价值的副产品。

(4) 干热岩型

干热岩是指地层深处普遍存在的没有水或蒸汽的热岩石，其温度范围在150~650℃之间。干热岩的储量十分丰富，比蒸汽、热水和地压型资源大得多。目前大多数国家都把这种资源作为地热开发的重点研究目标。不过从现阶段来说，干热岩型资源是专指埋深较浅、温度较高的有开发经济价值的热岩。提取干热岩中的热量需要有特殊的办法，技术难度大。干热岩体开采技术的基本概念是形成人造地热田，亦即开凿通入温度高、渗透性低的岩层中的深井（4000~5000米），然后利用液压和爆破碎裂法形成一个人的热交换系统。这样，注水井和采水井便通过人造地热田联结成一个循环回路，水便通过破裂系统进行循环。

(5) 岩浆型

它是指蕴藏在地层更深处处于动弹性状态或完全熔融状态的高温熔岩，温度高达600~1500℃左右。在一些多火山地区，这类资源可以在地表以下较浅的地层中找到，但多数则是深埋在目前钻探还比较困难的地层中。火山喷发时常把这种岩浆带至地面。据估计，岩浆型资源约占已探明地热资源的40%左右。在各种地热资源中，从岩浆中提取能量是最困难的。岩浆的储藏深度在3000~10000米之间。这种资源目前尚未被开发，美国这方面的研究计划已于1991年终止，有待于在今后开展进一步研究。

上述5类地热资源中，目前应用最广的是热水型和蒸汽型，而干热岩和地压两大类尚处于试验阶段，开发利用很少。不过，仅仅这一部分热能其储量也相当可观。仅按目前可供开采的地下3公里范围内的地热资源来计算就相当于 2.9×10^{12} 吨煤炭燃烧所发出的热量。美国能源部曾把各种类型的地热资源和其它化石能源作过比较，认为能量最大的为干热岩地热，其次是地压地热和煤炭，再其次为热水型地热，最后才是石油和天然气。可见地热作为能源将会对人类的生活起到十分重要的作用。随着科学技术的不断发展，完全可以确信地热能的开发深度还会逐渐增加，为我们提供的热量将会更大。

3. 全球地热资源的地质分布

在一定地质条件下，地热系统及具有勘探开发价值的地热田都有其发生、发展和衰亡过程，绝不是只要随处打钻都可发现地热能。作为地热资源的概念，它也和其它矿产资源一样有数量和品位的问题。就全球来说，地热资源的分布是不平衡的。明显的地温梯度每公里深度大于30℃的地热异常区主要分布在板块生长、开裂—大洋扩张脊和板块碰撞，衰亡—消减带部位。环球性的地热带主要有下列4个：

(1) 环太平洋地热带

它是世界最大的太平洋板块与美洲、欧亚、印度板块的碰撞边界。世界许多著名的地热田，如美国的盖瑟尔斯、长谷、罗斯福；墨西哥的塞罗、普列托；新西兰的怀腊开；中国的台湾马槽；日本的松川、大岳等均在这一带。

(2) 地中海—喜马拉雅地热带

它是欧亚板块与非洲板块和印度板块的碰撞边界。世界第一座地热发电站意大利的拉德瑞罗地热田就位于这个地热带中。中国的西藏羊八井及云南腾冲地热田也在这个地热带中。

(3) 大西洋中脊地热带

这是大西洋海洋板块开裂部位。冰岛的克拉弗拉、纳马菲亚尔和亚速尔群岛等一些地热田就位于这个地热带。

(4) 红海—亚丁湾—东非裂谷地热带

它包括吉布提、埃塞俄比亚、肯尼亚等国的地热田。

除了在板块边界部位形成地壳高热流区而出现高温地热田外，在板块内部靠近板块边界部位，在一定地质条件下也可形成相对的高热流区。其热流值大于大陆平均热流值1.46热流单位，而达到1.7~2.0热流单位。如中国东部的胶、辽半岛，华北平原及东南沿海等地。

三、地热资源评估方法

各种物质在地壳中的保有量称为资源。地热作为一种热能，存在于地壳中也有一定数量，因此也是一种资源。对于地热资源的评价也象其它矿物燃料一样，要在一定的技术、经济和法律的条件下进行评定，而且随着时间的推移要作一定的修改。地热是一种新能源，目前虽有一些国家做了较多的地热资源评价工作，但尚缺乏世界性的全面评价。

根据地热勘查国家标准 GB11615-89 规定，地热资源按温度分为高温、中温、低温三级（表2-2），按地热田规模分为大、中、小三类（表2-3）。地热资源的开发潜力主要体现在地热田的规模大小。

表2-2 地热资源温度分级表

温度分级		温度 (t) 界限 (℃)	主要用途
高温		150 以上	发电、烘干
中温		$90 \leq t < 150$	工业利用、烘干、发电、制冷
低温	热水	$60 \leq t < 90$	采暖、工艺流程
	温热水	$40 \leq t < 60$	医疗、洗浴、温室
	温水	$25 \leq t < 40$	农业灌溉、养殖、土壤加工

表2-3 地热资源规模分类表

规模	高温地热田		中、低温地热田	
	热功率 (兆瓦)	能利用年限 (计算年限)	热功率 (兆瓦)	能利用年限 (计算年限)
大型	> 50	30	> 50	100
中型	10 ~ 50	30	10 ~ 50	100
小型	< 10	30	< 10	100

下面简要介绍几种地热资源的评价方法：

1. 天然放热量法

早在20世纪60年代初，新西兰塔桑等人采用一种评价地热资源的方法，先测量一个地区地表各种形式的天然放热量的总和，再根据已开发地热田的热产量与天然放热量之间

的相互关系加以比较,以估计出该区域开发时的产热能。这种方法估算的地热储量较接近合理数量,也是水热系统经长期活动而达到的某种平衡现象。其值在相当长时间内是较稳定的。显然,天然放热量要比热田开采后的热量低,实际地热资源要大得多,并且因地制宜。当然,这种方法只适用于已有地热开发的地区,对于未开发的地热区是无法估算的。

实测各地各种形式的天然放热量不是一件容易的事。因此,也可采取测定地热水中氯离子的排出量来估算天然放热量。地面的全部天然放热量几乎都是由对流系统的中心深部上升的地热流体带上的热量。传导热的热量可以忽略不计。若知道热流体的流量和温度,就可估计出排放热能的总量。用氯根焓图解法求出深部流体的温度及氯根的浓度,而在地面测定氯根的排放量,两者氯根量的相除即可得出为维持地面天然放热量深部流体在单位时间内应该上升的总量,并按深部流体的温度可进一步计算出放热量。实践证明,这样得出的天然放热量只能代表开发地热时的最低热产率。通常还应乘一个倍数,才能得到开采地热能的合理产率。这个倍数有的人主张4~10倍,也有人主张10~100倍,所以只是一个估计数。为了更简便地评价地热资源与天然放热量的相关性,日本有人采用“水量补给法”估算水热系统地热资源,即:

$$Q = S \cdot P \cdot n$$

式中:Q 为地热流体的年产率

S 为水热系统所在盆地的面积;

P 为当年平均降水量;

n 为年排放热流体的量与降水总量之比,一般为0.10~0.33之间。

2. 平面裂隙法

这种评价地热资源的方法最早用于冰岛。其模型是:在渗透性极差的岩体中,地下水沿着一个平的裂隙流动,岩体中的热能靠传导传输传到裂隙面,再在裂隙表面与流水进行换热。这样流水受热升温,把不透水岩体中的热能提取出来。在岩性均一的情况下,开采热水的速率如果较慢,则提取出来的某一温度限额以上的热能总量就较大。这种方法计算的结果也是能流率,而不是可及资源底数。

使用这种方法有许多特定要求,如要求估算出裂隙的面积、裂隙的间距、岩层的初始温度、采出热水的最低要求温度以及岩石的热导率和热扩散率等。因此,只有在类似冰岛的地质条件下才能使用这种方法,因为冰岛只有玄武岩,地层未经褶皱,只在熔岩的界面上才有透水层。而其他大多数地方的水热系统都裂隙发育复杂,一般很难按照上列模式进行。

3. 类比法

这是一种较简便、粗略的地热资源评价方法。即根据已经开发的地热系统生产能力,估计出单位面积的生产能力,然后把未开发的地热地区与之类比。这种方法要求地质环境类似,地下温度和渗透性也类似。日本、新西兰等国都采用过类比法评价新的地热开发区,效果比较好。采用这种方法要求必须测出地热田的面积,在新西兰一般以电法圈定的面积为依据,也还要求知道热储的温度,在没有钻孔实测温度的情况下,可用地热温标计算出的热储温度。

4. 岩浆热平衡法

岩浆热平衡法主要是针对干热岩地热资源的评价,以年轻的火成岩体为对象。美国地质调查局采用这种方法评估了西部10个年轻火山系统的岩浆热储。其模式是:某一

火成岩体从某一给定时间开始（假定最后一次喷发或侵入发生于某一时间使岩浆的顶部顷刻间升至距地表半公里处），初始温度 850℃，按传导传输冷却机制到某一温度，所采岩浆的热量多少取决于岩浆的侵入年代、岩浆体分布面积、厚度、深度和形状等因素。计算方法是先估算出岩浆体初始含有的总热量（ $Q_{总}$ ）减去自侵入以来逸出的热量（ $Q_{逸}$ ），则现在存在岩浆体内的余热为：

$$Q_{存} = Q_{总} - Q_{逸}$$

岩浆体初始含有的总热量可用下式计算：

$$Q_{总} = V \cdot \rho [C (T_0 - T_r)] + H$$

式中： ρ 为岩浆体密度，取平均值 2.5 克/厘米³；

C 为热容量，取平均值 0.3 卡/克·℃

T_0 为岩浆温度，按酸性岩浆取 850℃；

T_r 为参比温度，按 10 公里处正常地温 300℃；

H 为岩浆结晶潜热，以 65 卡/克计算；

V 为岩浆体积，根据面积厚度计算。

$Q_{逸}$ 的求得，在传热机制和岩体状况已定的情况下，仅取决于开始冷却以来的时间。这个时间可从最后一次喷出岩的同位素年龄来判断，而岩浆体侵入后会使围岩增温，最终达到稳定状态，一般这个过程需要 36 万年。如果小于 36 万年，就意味着 $Q_{存} < Q_{总}$ 。若大于 36 万年，则计算稍复杂一点。

5. 体积法

这种方法是石油资源估价的方法，现广泛借用到地热评价方面来。它的计算公式为：

$$Q = a \cdot d [(1 - \phi_e) \cdot \rho_r \cdot C_r + \rho_w \cdot C_w] (T_r - T_{ref})$$

式中： Q 为估算的地热能总量；

a 为热储面积，按物探或钻探结果，以公里计；

d 为可及深度内的热储厚度，以公里计；

ρ_r 为热储岩石的密度，克/厘米³，一般为 2.2~3.1；

ρ_w 为热水的密度，克/厘米³，考虑含有矿物质；

C_r 为热储岩石的比热，卡/克·℃，约 0.2；

C_w 为热储水的比热，卡/克·℃，常取值为 13；

ϕ_e 为热储的有效孔隙率，0%~20% 之间；

T_r 为热储的平均温度；

T_{ref} 为参比温度，取当地多年平均气温。

实际影响计算精度的主要是热储面积，因而此式也可简化为：

$$Q = a \cdot d \cdot \rho C (T_r - T_{ref})$$

式中： ρC 代表热储岩石和水一起的容积比热，一般取 2.6 焦耳/厘米³·℃。

在地热资源评价方法中，体积法较为可取、使用普遍，可适用于任何地质条件。计算所需的参数原则上可以实测或估计出来。地热能若用于发电，可按下式估算：

$$E = Q \cdot \eta$$

式中： E 为总发电量，兆瓦·百年；

Q 为可及地热能资源底数，卡；

α 为地热能转化为电能的系数,即采收率乘发电效率。

四、中国地热资源研究现状和发展

1. 资源量与分布

通过地质调查,证明我国地热资源丰富,分布广泛,其中盆地型地热资源潜力在2000亿吨标准煤当量以上。全国已发现地热点3200多处,现有的地热井2000多眼,其中具有高温地热发电潜力有255处,预计可获发电装机5800兆瓦,现已利用的只有近30兆瓦。

日前全国29个省区市进行过区域性地热资源评价为地热开发利用打下了良好基础。几十年来地矿部门列入国家计划,进行重点勘探,进行地热储量评价的大、中型地热田有50多处,主要分布在京津冀、环渤海地区、东南沿海和藏滇地区。全国已发现:

1) 高温地热系统,可用于地热发电的有255处,总发电潜力为5800兆瓦·30A,近期至2010年可以开发利用的10余处,发电潜力300兆瓦。

2) 中低温地热系统,可用于非电直接利用的2900多处,其中盆地型潜在地热资源埋藏量相当于2000亿吨标准煤当量。主要分布在松辽盆地、华北盆地、江汉盆地、渭河盆地等以及众多山间盆地如太原盆地、临汾盆地、运城盆地等等,还有东南沿海福建、广东、赣南、湘南、海南岛等。日前开发利用量不到资源保有量的千分之一,总体资源保证程度相当好。

我国地热资源的特点是类型较多,有近期火山和岩浆活动类型;有褶皱山区断裂构造类型;还有中新世自流水盆地类型。其形成主要受构造体系和地震活动的影响,与火山活动密切相关,根据其形成的地质作用和赋存条件,可以划分为三种类型:①火山或岩浆型地热资源;②盆地型中低温地热资源;③断裂带型中低温地热资源。

我国地热资源的分布,受大地构造格架的控制,主要与各种构造体系及地震活动、火山活动密切相关。根据现有资料,按照地热的分布特点、成因和控制等因素,可把我

国地热资源的分布划分为如下6个带:

(1) 藏滇地热带

主要包括冈底斯山、念青唐古拉山以南,特别是沿雅鲁藏布江流域,东至怒江和澜沧江,呈弧形向南转入云南腾冲火山区。这一带,水热活动强烈,地热显示集中,是我国大陆上地热资源潜力最大的地带。这个带共有温泉1600多处,现已发现的高于当地沸点的热水活动区有近百处,是一个高温水汽分布带。据有关部门勘查,西藏是世界上地热储量最多的地区之一,现已查明的地热显示点达900多处,西藏拉萨附近的羊八井地热田孔深200米以下获得了172℃的湿蒸汽,1985年底该电站装机容量已达1万千瓦;云南腾冲热海地热田,浅孔测温,10米深135℃,12米深145℃。

(2) 台湾地热带

台湾是我国地震最为强烈、也最为频繁的地带。地热资源主要集中在东、西两条强震集中发生区。在8个地热区中有6个温度在100℃以上。台湾北部大屯复式火山区是一个大的地热田,自1965年勘探以来,已有13个气孔和热泉区,热田面积50平方公里以上,在11口300~1500米深度不等的热井中,最高温度可达294℃,地热流量每小时350吨以上,一般在井深500米时,可达200℃以上。据估计,大屯地热田的发电潜力可达8~20万千瓦。

(3) 东南沿海地热带

主要包括福建、广东以及浙江、江西和湖南的一部分地区。其地下热水的分布和出露受一系列北东向断裂构造的控制。这个带所拥有的主要是中、低温热水型的地热资源,福州市区的地热水温度可达 90°C 。

(4) 山东—安徽庐江断裂地热带

这是一条将整个地壳断开的、至今仍在活动的深断裂,也是一条地震带。钻孔资料分析表明该断裂的深部有较高温度的地热水存在,目前有些地方已有低温热泉出现。

(5) 川滇南北向地热带

主要分布在从昆明到康定一线的南北向狭长地带,以低温热水型资源为主。

(6) 祁吕弧形地热带

包括河北、山西、汾渭谷地、秦岭及祁连山等地,甚至向东北延伸到辽南一带。该区域有的是近代地震活动带,有的是历史性温泉出露地,主要地热资源为低温热水。

中国地热资源中能用于发电的高温资源分布在西藏、云南、台湾,其他省区均为中、低温资源,由于温度不高(小于 150°C),适合直接供热。全国已查明水热型资源面积 10149.5 平方公里,可采量 92.6 艾焦耳。推测资源面积 49809.53 平方公里,可采量 341.8 艾焦耳,远景资源面积 257047.8 平方公里,可采量 3678.8 艾焦耳。分布于全国30个省区,资源较好的省区有:河北省、天津市、北京市、山东省、福建省、湖南省、湖北省、陕西省、广东省、辽宁省、江西省、安徽省、海南省、青海省等。各省资源分布情况如表2-4所示。从分布情况看,中低温资源由东向西减弱,东部热田位于经济发展快、人口集中、经济相对发达的地区。

我国的地热温泉几乎遍布全国各地,主要分布在福建、广东、湖南、湖北、山东、辽宁等省,多数位于山前或山间谷地。其中温—沸泉年放热量约可折合 379×10^4 吨标准煤,但其主要地热资源却蕴藏在地下。我国温—沸泉的天然放热量如表2-5所示。

我国沉积盆地的面积约 4×10^6 平方公里,占全国总面积的41%,有大小盆地300多个,其中面积大于 1×10^4 平方公里的有37个,如松辽盆地、华北盆地、江汉盆地、四川盆地、柴达木盆地、塔里木盆地等。各沉积盆地的地热条件有明显差别,总的来说,地温梯度自东向西逐渐减小。松辽平原、华北盆地和下辽河盆地地温梯度较高,一般为 $2.5 \sim 8.0^{\circ}\text{C}/100$ 米,四川盆地为 $2.0 \sim 2.5^{\circ}\text{C}/100$ 米,柴达木和塔里木盆地仅为 $1.5 \sim 2.0^{\circ}\text{C}/100$ 米。即使是一个盆地内部,由于受地质构造等条件的影响,地温梯度也有明显的差别,往往是在拗陷内的凸起部位或斜坡上,地温梯度较高,在地表形成地热异常区,成为具有开发利用价值的地热田。

我国的地热田可分为以对流为主的地热田和以传导为主的地热田两大类。

(1) 以对流为主的地热田主要有:

高温型:羊八井;那不如;巴尔I;索多I;索多II;曲普;安部;丹果其萨;如角;塔各加;南独木;岗来I;岗来II;拉布朗;色米;鲁鲁下;擦古;查布;卡乌;科作;毕毕龙;色当;桑木塞;曲才;古林曲;布荣;卡嘎;莫龙;红海湖;谷露;董翁;诺;布雄朗古;茶卡;日多贡巴;巴布的密;突多;撒嘎朗嘎;长青;札曲;阿斯登II;热海;攀枝花;瑞滇。

中低温型:信宜;潮安;邓屋;保亭;从化;福州;漳州;厦门;灰汤;汝城;汤

第二部分 新能源和可再生能源的研究发展现状和趋势

表 2-4 中国各省地热资源分布情况

地 区	已 探 明 资 源			远 景 资 源			注
	面积 (km ²)	可采量 (PJ)	折合标准煤 (MT)	面积 (km ²)	可采量 (PJ)	折合标准煤 (MT)	
北京市	174	1515.79	51.72	200	1718.26	58.62	其他省区根据 勘查推测,在 吉林、浙江、 广西、四川、 贵州、甘肃、 宁夏等省区, 约有资源: 面积: 37548.8km ² 可开采量: 219.7EJ 折合标准煤: 7496.78 亿 t
天津市	387	3339.64	113.9	17474	155767.13	5314.97	
河北省	9240	83633.93	2853.66	69225	1442389	49215.50	
辽宁省	4.83	59.12	2.02				
安徽省	4.12	9.55	0.33				
福建省	20.89	190.08	6.49	591.52	11655.1	397.678	
江西省	4.38	19.34	0.66				
山东省	125.7	296.77	10.11				
湖北省	9.92	66.49	2.27				
湖南省	13.5	183.30	6.25				
广东省	8.73	57.23	1.95	780	1613.22	55.66	
云南省	107.73	2646.00	90.284	18528	90343.2	12906.17	
西 藏	35.87	512.46	17.486				
陕西省	11.85	27.59	0.942				
青海省	1.0	15.76	0.538				
黑龙江省				3.50	63.99	2.183	
江苏省				24.28	259.17	8.843	
河南省				65124.0	405516.70	13836.60	
新 疆				147400	2867590.2	97844.59	

河;汤池;三里畷;汤庙;招远;怀来;熊岳;汤岗子;五龙背;兴城;恩拉堡。

(2) 以传导为主的地热田主要有:

1) 华北盆地:牛驼凸起(1019平方公里);文安斜坡(1000平方公里);任丘凸起(223平方公里);高阳-博野凸起(870平方公里);肃宁断裂带(约300平方公里);河间-深县凸起(1175平方公里);大城-献县凸起(1163平方公里);兴济凸起(713平方公里);孔店-除阳桥凸起(425平方公里);但宁隆起(1488平方公里);四宁普-隆尧凸起(约1000平方公里);新河凸起(1390平方公里);晋县-武城凸起(2300平方公里);百尺口断裂带(354平方公里);广采凸起(655平方公里);滦河凸起(269平方公里);义和庄凸起(约126平方公里);陈车庄凸起(675平方公里);滨县凸起(约162平方公里);林樊家凸起(360平方公里);青城凸起(351平方公里);馆陶低凸起(约540平方公里);堂邑低凸起(约1215平方公里);武涉凸起(约756平方公里);辉县凸起(约756平方公里);胙城凸起(576平方公里);兰考低凸起(495平方公里)。

2) 北京:胡家营(40平方公里);小汤山凸起(30平方公里);首都机场凸起(30平方公里);东南城凸起(100平方公里);风河营拗陷(100平方公里)。

表 2-5 温-沸泉天然放热量

地 区	温-沸泉总数 (个)	60℃以上的温-沸泉 (个)	天然放热量 (107KJ/a)	折合标准煤 (t)
河北省	22	5	119244	40687
吉林省	6	2	9617	3281
辽宁省	43	10	252133	86030
山西省	9	3	333525	113801
山东省	13	6	67407	23000
陕西省	8	1	283815	96840
河南省	16	4	67738	23113
安徽省	3	1	7561	2580
江苏省	10	1	116293	39680
浙江省	6	1	28462	9711
江西省	92	>4	199748	68156
湖北省	46	>4	357046	121827
湖南省	31	3	272050	92826
福建省	153	45	358746	122407
台湾省	81	>3		
广东省	291	>20	448293	152861
广 西	3	1	607	207
贵州省	47		34357	11723
四川省	296	>29	292272	99726
云南省	706	>12	4753257	973111
西 藏	354	116	4145	1621851
青海省	38	2	206966	1414
甘肃省	24	1	40063	70618
新 疆	64	3	11105301	13670
总 计	2362	277		3789120

天津：双窑凸起（300平方公里）；东庄凸起（150平方公里）；小韩庄凸起（140平方公里）。

3)松辽盆地（62400平方公里）。

4)下辽河盆地（3000平方公里）。

5)山西盆地：运城—永济（10000平方公里）；忻定（3200平方公里）；太原（2000平方公里）。

6)关中盆地：宝鸡（50平方公里）；咸阳—兴平（70平方公里）；子午—余下—周至