

出国参观考察报告

墨西哥地热资源勘探及其开发利用

科学技术文献出版社

出国参观考察报告

墨西哥地热资源勘探及其开发利用

(限国内发行)

编辑者：中国科学技术情报研究所

出版者：科学技术文献出版社

印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

*

开本：787×1092 1/16 印张：3.25 字数：82千字

1980年10月北京第一版第一次印刷

印数：1,520册

科技新书目：175—30

统一书号：12176·37 定价：0.50元

墨西哥地热资源勘探及其开发利用

赴墨西哥地热考察组

前言

能源是发展国民经济的重要物质基础。随着我国国民经济的迅速发展,使用能源的数量将越来越多。为了满足工农业发展和人民生活不断提高对能源的需要,要因地制宜地把各种能源都开发出来,为社会主义建设服务。地球是个大热库,内部蕴藏着大量的热能,世界上不少国家,在地热资源的勘探、开发和利用等方面,做了不少工作。学习他们的技术和经验,对开发利用我国的地热资源是十分有益的。

赴墨西哥地热考察组,是由中国科学院自然资源综合考察委员会黄志杰、章铭陶同志,地质研究所陈墨香同志,北京大学地质学系张知非同志和科学院外事局陈祥春同志五人组成。考察组于一九七九年十一月十三日由北京启程,十一月十六日至十二月五日在墨西哥进行考察活动,并于十二月十日回到北京。

这次地热考察,是由墨西哥电力委员会接待的。在电力委员会总部,由负责人介绍了总的情况,并共同讨论了考察计划后,由电力委员会地热处详细介绍了墨西哥地热普查、勘

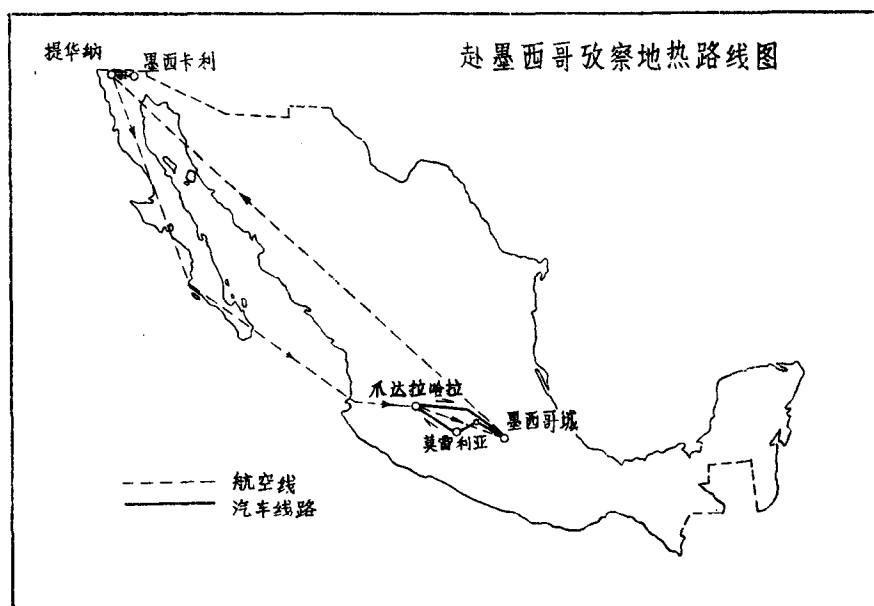


图1 赴墨西哥考察地热路线图

探、钻井和利用的历史和现状。然后，实地考察了这些方面所取得的成果和经验。实地考察分成两部分进行。第一部分，考察了正在勘探和开发的中央新火山轴地区。我们从墨西哥城出发，先后考察了米却肯州的洛斯阿索弗瑞斯 (Los Azufres) 地热田；阿拉罗 (Araro) 地区的地热显示；正在进行地球化学和地球物理勘探的拉戈奎伊特采奥湖 (Lago Cuitzeo) 周围的地热田和伊斯特兰 (Ixtlan) 地热田；还考察了已经做了大量勘探工作、正准备钻探井的哈利斯科州的拉普里马韦拉 (La Primavera) 地热田；并访问了瓜达拉哈拉的地热勘探队办公室。第二部分，考察了已经大规模开发利用，并正在扩大热田勘探工作的下加利福尼亚州塞罗普列托 (Cerro Prieto) 地热田及发电厂。整个考察地面行程一千五百多公里，考察地区的位置及考察线路如图 1 所示。最后，我们还访问了墨西哥自治大学地质研究所，对墨西哥地热资源的地质背景进行了全面的了解。整个考察按预定计划完成，并取得了较大的收获。通过考察，了解了墨西哥地热工作的水平，他们在地热普查、勘探、开发、利用中的技术和经验，以及他们正在探索、研究中的一些问题。现将我们考察的收获进行总结。如果我们的考察总结，对进一步搞好我国地热工作有所帮助，这就是我们的愿望。

目 录

前 言	(I)
第一章 墨西哥地热能的开发及其在能源构成中的地位	(1)
第二章 墨西哥地热资源的地质背景	(3)
第一节 区域地质概况	(3)
第二节 板块运动及地热活动	(5)
第三章 墨西哥地热资源的普查和勘探	(8)
第一节 普查、勘探工作的部署和队伍组成	(8)
第二节 普查工作现状	(9)
第三节 地质测量工作	(10)
第四节 地球化学勘探工作	(10)
第五节 地球物理勘探工作	(11)
第六节 钻井技术	(12)
第四章 塞罗普列托地热田及其开发利用	(16)
第一节 热田地质条件	(16)
第二节 热田开发有关问题的研究	(20)
第三节 地热发电厂的建设及运行	(28)
第四节 地热资源的综合利用问题	(34)
第五章 中央新火山轴若干地热田的概况	(36)
第一节 洛斯阿索弗瑞斯地热田	(36)
第二节 拉普里马韦拉地热田	(39)
第三节 奎伊特采奥地热田	(40)
第四节 伊斯特兰 (Ixtlan) 和洛斯内格里托斯 (Los Negritos) 热田	(41)
第六章 墨、美合作研究塞罗普列托地热资源的协议性质和执行情况	(42)
第一节 协议的概况及性质	(42)
第二节 协议执行情况	(43)
第七章 墨西哥地热能开发的主要经验	(44)
参考文献	(47)

第一章 墨西哥地热能的开发及其在能源构成中的地位

墨西哥合众国是一个属于第三世界的发展中国家。从蕴藏的能源资源来看，煤炭资源不很丰富，探明储量只有42亿吨，主要分布在科阿韦拉州。因之，在墨西哥大量开发石油以前，国家对水力资源的开发极为重视。从表1中的数字可以看出，1970年以前，在全国发电装机容量中，水力发电装机容量的比重，一般都在50%以上，有的年份还高达57%。1970年以后，随着国内石油产量的迅速增加，大量发展烧油电厂，1978年使火力发电装机容量的比重增加到61.8%。在发电燃料构成中，使用石油制品作为燃料发电的比重达到50.4%（见表2）。

表1 墨西哥发电装机容量

年 份	水 电 装 机		火 电 装 机		总装机容量 (千千瓦)
	千千瓦	%	千千瓦	%	
1937	372	57.3	257	42.7	629
1947	515	53.5	442	46.5	1040
1957	1118	49.2	1152	50.8	2270
1969	3229	57.0	2288	43.0	5658
1971	3227	49.8	3271	50.2	6498
1978	5225	38.2	8767	61.8	13992

表2 墨西哥1978年发电燃料构成

类 别	发电量 (百万度)	使用燃料量	发热量 (10 ⁹ 大卡)	类 别	发电量 (百万度)	使用燃料量	发热量 (10 ⁹ 大卡)
总发电量	52977			其中用油		9496百万立升	93753
水力发电	16966			用天然气		2518百万立米	21297
地热发电	598			用煤		375 吨	2
火力发电	36313						

1974年资本主义世界发生“能源危机”以后，国际市场上石油价格猛涨，为了在今后把石油制品用于最需要的地方，政府提出了使用多种能源生产电力的能源政策。1979年4月，在塞罗普利托地热发电厂第三、四号机组投入运行的时候，就在那里召开了生产电能多样化会议，波尔蒂洛总统亲自参加了会议。电力委员会主席在会上阐明了墨西哥的能源政策是：石油、天然气、水力、煤炭、地热、原子能等各种能源都要开发利用，来为国家的经济发展提供能源。并指出：各种各样的自然资源都是我们的财富，我们要开发多种能源来生产电力。如果只使用一种能源，例如石油，那是很错误的。

1978年，墨西哥的总发电量为530亿度。在这个基础上，如果接近几年用电量的平均增长

率，每年增加8—10%计算，到2000年，预计对电能的需要为3650到4500亿度，将比目前的需要量增大七至八倍。目前，墨西哥用石油、天然气发电380亿度，水力发电170亿度，地热发电6亿度。为了使各种能源资源能够得到最有效的利用，国家要求尽量减少将石油用于发电，把石油应用于更为有用的地方。国家提出，从现在起就要打下基础，为二十一世纪充分利用各种能源资源，来实现生产电力的多样化。由于开发多样化能源的结果，到1982年，使用石油、天然气发电的数量，将从现在的380亿度减少为370亿度，水力发电从170亿度增加为240亿度，地热发电将增加为8.26亿度，另外还要用煤发电70亿度，并将在墨西哥第一次使用原子能发电40亿度。那时，电力部门可能达到每天消耗天然气14亿立方英尺，用来代替石油，这样，一年节省的石油价值相当于300亿比索（约15亿美元）。在未来的二十年中，在全国将建设和投入运行78座新的发电厂。其中，水力发电厂40座，地热发电厂15座，烧煤的发电厂8座，其余15座是烧油、气和原子能发电厂。到那时，每年利用水力资源可以发电800亿度，用煤炭资源发电400亿度，用地热能发电200亿度，其余部分，则由油、气和原子能发电来满足。

墨西哥有极为丰富的地热资源。目前已经发现的地热显示区有316处。集中分布在中央新火山轴，那里有将近三千个火山。其中，帕里库廷（Parícutin）火山曾于1944年爆发过。另外，在下加里福尼亚州北部，以及东西马德雷山脉等地也均有分布，现正对重点地区进行资源评价。

墨西哥的地热工作已经有了很长的历史。1949年，电力委员会派出一批工程技术人员到意大利的拉德瑞罗热田进行考察，希望了解全国众多的地热显示区，有没有将这些地热资源加以利用的可能性。那次考察以后，开始进行地热普查，并以伊达尔戈州的帕蒂（Pathe）地热田作为开发试点，这是由于它距离墨西哥城只有120公里。在这个地区进行了地表地热工作，钻了梯度井，并对地热流体进行了化学分析。在这些资料的基础上，于1955年钻成第一口地热井。它标志着墨西哥地热技术发展的开始。

1959年，第一台3500千伏安地热发电实验机组在帕蒂建成并投入运行。由于蒸汽量不足，这台机组在小于500千瓦的情况下运行了14年后被拆除。但通过它培养了第一批地热工作人员，并取得了经验，打下了进一步开展地热工作的基础。

到2000年，每年用地热能发电200亿度，在烧油电厂发这些电，大约需要使用燃料油3700万桶。为了实现这个目标，电力委员会加强了地热的勘探和钻井计划。近三年来，从事地热工作的人员增加了三倍，经费增加了十倍。并加强了地球物理和地球化学等勘探技术的研究和热储评价的研究。由于墨西哥政府意识到地热资源的重要价值，将尽力开发这种资源。在墨西哥这种资源将主要用于发电，因之，电力委员会正进一步普查地热资源。目前，地热分析工作主要集中在中部地区进行，这个地区正是使用电能较多的负荷中心。

目前正在勘探的重点地区有：伊斯特兰的洛斯海弗雷斯（Los Hervores），奎伊特采奥湖，洛斯尼格里托斯（Los Negritos），拉普里马韦拉和洛斯胡梅罗斯（Los Humeros），这几个地方，都在中央新火山轴地区。正在进行详细工作的有洛斯阿索弗瑞斯，那里已经钻了14口地热井，井深在1200米到2400米之间，并取得了可喜的结果。产汽最好的2号井，井深1130米，每小时生产水汽混合物301吨，可分离出热焓为305大卡/公斤的蒸汽118吨，能供给1.2~1.4万千瓦的发电用汽；6号井，井深900米，每小时可生产热焓为635.25大卡/公斤的蒸汽65.84吨，能供给8000千瓦的发电用汽。这个地区因山林起伏，地热井之间需要穿山绕道才能联接，所以规划建设分散的发电设备。估计在两年内即可开始发电，第一台计划安装

1~2万千瓦的发电机组。

塞罗普列托地区的地热工作开始于1959年,大量的研究工作,确定了热田面积为12平方公里,地下蕴藏着大量的高焓热水。经过了十多年的努力,才开始利用地下的天然资源,进行商业规模的发电。1973年,两台37500千瓦的发电机组投入运行。在1973年至1979年4月期间,这两台发电机组共发电35亿度,相当于节约燃料油六百万桶。1979年4月,又有两台37500千瓦的发电机组投入运行。预计在未来六年中,还将安排25万千瓦的机组,到那时,每年的发电量,将为国家节约五百七十万桶燃料油。按现行国际市场每桶387比索的价格计算,价值22亿比索(折合1.1亿美元)。计划到2000年,塞罗普列托地热发电厂每年将为国家提供70亿度电力。这个数值还是在把地热资源作为不可更新的资源来考虑的。但从最近将水文地质学和热动力学用于地热的研究表明,这种地下热能是可以更新的资源,这种观点如能得到确认,则将大大改变对地热资源的评价。

塞罗普列托地热田,从地下喷出的水汽混合物,在地面进行汽水分离,用蒸汽进行发电,分离出来的热水目前还没有利用。地下热水中含有多种化学组分,如氯化钾,可以通过浮选法得到回收,也可以用太阳能蒸发浓缩。按照目前的发电量,每年从分离的热水中可以回收钾盐八万六千吨,能够满足国内目前的全部需要。现在,这种钾盐全部是从国外进口的,估计取得这种产品的成本将低于进口的价格。将来发电装机增加,墨西哥将成为这种化学产品的出口国。由于塞罗普列托地热发电厂在1980年将发电70亿度,当地电力平衡将有剩余,正在计划把下加利福尼亚州电网与全国电网联接起来,将北部热能发的电,输送到墨西哥中部的负荷中心。

为了在本世纪末能达到每年用地热能生产200亿度电的目标,必须把钻井和研究方面的投资扩大四倍。同时,在已经普查的地区继续进行工作。此外,由电力委员会电力研究所和下加利福尼亚州大学等组织训练班,培养地热工作方面的技术干部和技术工人。

墨西哥经过二十多年的努力,已经进入世界地热开发的前列。他们掌握并发展了与地热勘探有关的地球物理、地球化学等方面高精密度测量技术,用来测定岩石的特性和地下热流等。但在这些方面以及地热利用技术等,还有许多工作需要进一步研究。

第二章 墨西哥地热资源的地质背景

第一节 区域地质概况

墨西哥处于北美板块、东太平洋板块、可可斯板块和加勒比板块镶嵌交接的地带(图2)。这四块大陆板块和海洋板块彼此之间相对运动和相互作用,造成如今墨西哥比较复杂的大地构造格局、强烈的地热活动和丰富的地热资源,使墨西哥大部份地区成为环太平洋地热带中的一个环节。

在墨西哥的加利福尼亚湾以东,大约北纬18°以北,为北美板块的南延部分。北美板块基本上属于坚稳陆块,墨西哥则在这一陆块西部新造山带的南段,即陆块中近代构造运动活跃的部分。出露最老的地层为前寒武系;零星分布于西马德雷山北段的西麓,同位素年龄值为17亿年。古生代至中生代,大部分地区处于北美巴芬兰地盾西南的浅海或滨海。古生代

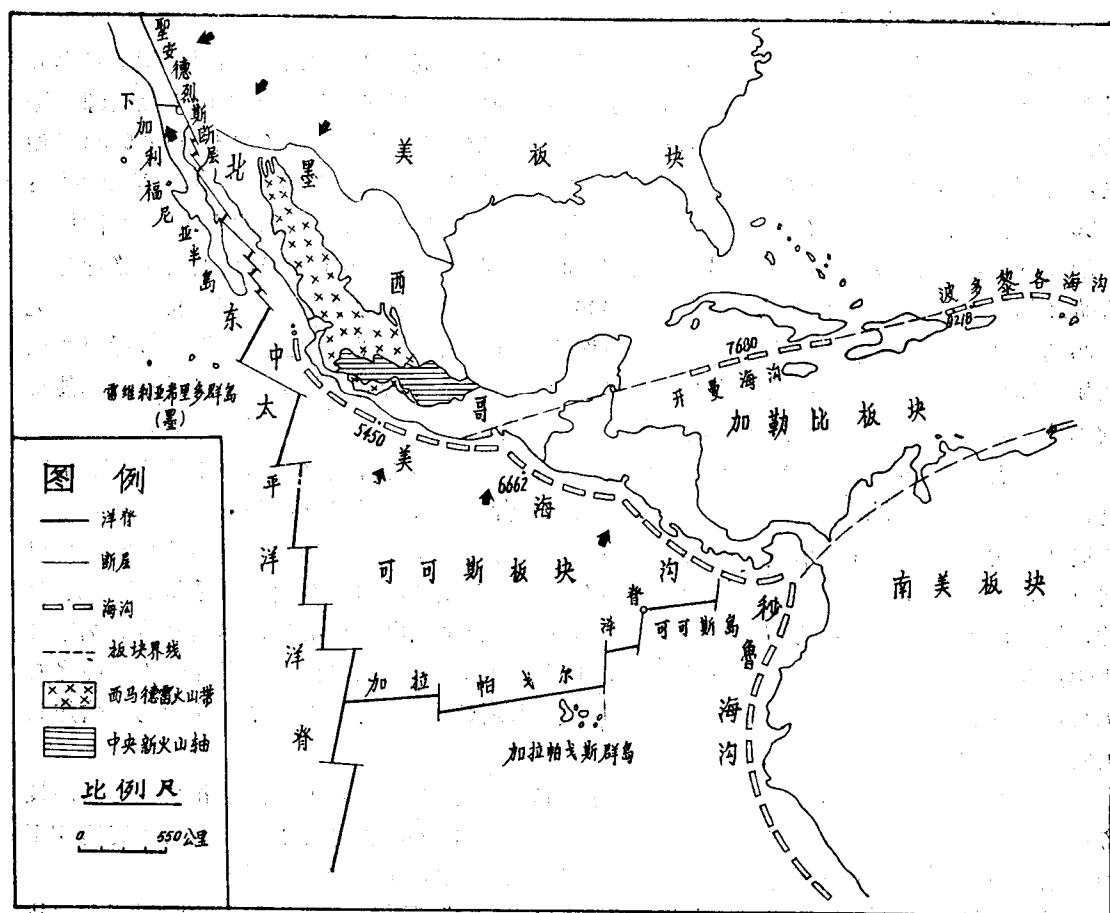


图2 墨西哥及其附近大地构造纲要图

以老的岩石几乎均为中、新生代沉积岩和火山岩所覆盖。中生代以来地表岩石的大致分布情况是：在北纬 20° 以北并靠近太平洋和加利福尼亚湾的西马德雷山区为长达2000公里、宽300—400公里的中、基性火山岩带。这一火山岩带向北西方向直抵墨、美国境线附近，向南东可能通过横贯东、西的中央新火山轴的下部，延伸至北纬 18° 左右。它是墨西哥覆盖面积最大的火山岩带。该火山岩带的火山活动始于晚白垩纪，第三纪始新世达到高潮，到上新世才逐渐消沉。上新世以后的火山活动东移至西马德雷山东麓，规模不大，分布零星。早期火山岩为安山岩，中期初为安山岩，后由火山活动转为侵入活动，晚期火山岩以碱性玄武岩为主。在西马德雷火山岩带以东，直至靠近墨西哥湾的东马德雷山，大面积分布着以白垩系灰岩为主的中生代海相或海陆交互相地层，这些地层在西马德雷山的北部亦有所见。新生界第三系海相灰岩几乎占据了墨西哥东部的尤卡坦半岛，在东马德雷山以东甚至到达海滨，分布面积亦比较大。在东马德雷山中段的近墨西哥湾处，有一小片分散的新生界火山岩区，呈北北西向排列。其火山活动始于第三纪始新世，岩石类型复杂，近期以碱性玄武岩为主。第四系各种类型的松散堆积物主要分布在东、西马德雷山之间的内陆盆地，靠近墨西哥湾北部的格兰得河下游，以及西马德雷山北段的西麓直到科罗拉多河三角洲。

在墨西哥中部偏南，从太平洋海岸至墨西哥湾的大约北纬 18° 至 20° 之间，有一横贯墨西哥中腰的火山带，由于形成时间晚于西马德雷火山带，所以一般称为中央新火山轴。它是墨

西哥地热资源最有开发远景的地带。新火山轴全长超过800公里，宽度在200公里以上。呈现熔岩高原和山地面貌，首都墨西哥城及第二大城市瓜达拉哈拉均位于此间。中央新火山轴的火山活动是迭加在西马德雷火山带上更新的喷发旋回，喷发活动始于第三纪始新世，中新世时曾强烈活动，上新世以后多钙碱性火山岩流，第四纪晚更新世以来，又有酸性流纹质火山穹隆形成。时至今日，中央新火山轴仍不断有喷发活动。全国最高峰海拔5700米的奥里萨巴峰为一巨大的近代火山锥。十九世纪末，墨西哥城以南的火山爆发，熔岩曾流布于现市区范围之内。瓜达拉哈拉城东南约170公里的帕里库廷峰，海拔2774米，其近旁的一火山锥于1910年爆发。伴随着火山活动的水热活动十分普遍而强烈。目前全国正在进行开发和勘探的地热田，除塞罗普列托地热田以外，全部集中于中央新火山轴。

加勒比板块的主要范围是在墨西哥湾以南的加勒比海海域。它的东界是小安德烈斯群岛，这是大西洋仅有的两处岛弧构造之一。北界在古巴岛以南。南界稍跨南美洲的北缘。加勒比板块的北界向西可能经过尤卡坦半岛的南部延伸到中央新火山轴以南，这一界限目前还不十分明确，即墨西哥的南部有可能是加勒比板块的一部分。墨西哥南部太平洋沿岸或近岸处，有面积较大的前寒武系和古生界变质岩。局部地区出露古生代的酸性侵入体。在接近墨西哥湾地区，主要分布着白垩系地层和中生界变质岩。墨西哥南部的火山活动不甚强烈，新生代以来的火山活动零星分布。

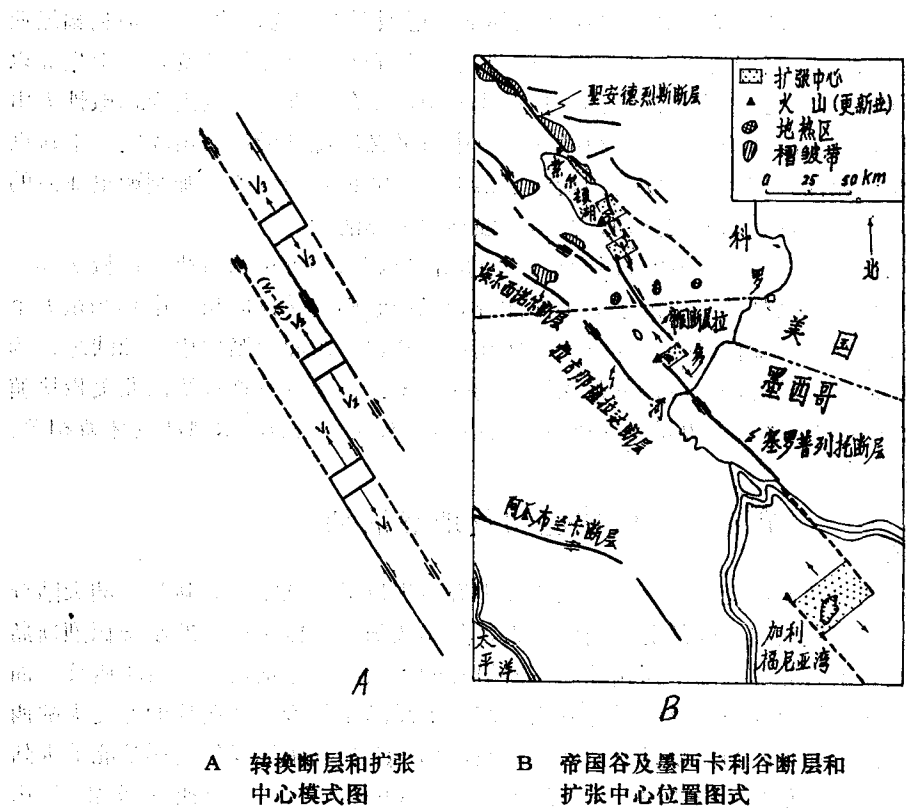
墨西哥西部狭长的下加利福尼亚半岛是太平洋板块的一部分，它和北美板块之间以著名的圣安德烈斯断层以及同样狭长的加利福尼亚湾为界。加利福尼亚湾的海底至少存在七段具有洋脊性质的扩张海盆，长度很短，彼此之间呈雁行排列，从北到南依次由平行错开的转换断层联系。可以认为这一系列断层是加利福尼亚湾北部圣安德烈斯断层的延续。在下加利福尼亚半岛上，由于中生代以后频繁的岩浆活动和构造运动，古生界岩石强烈变质和变形。中生界以白垩系为主的沉积岩主要出露在半岛的北部。早在侏罗纪，半岛所在的区域出现钙碱性火山岩流喷发。白垩纪以侵入活动为主。第三纪始新世至中新世又出现钙碱性火山喷发。上新世以来火山活动转变为碱性。如今，圣安德烈斯断层系上的大陆扩张盆地及下加利福尼亚湾的海底扩张盆地中，正在进行新的岩浆活动，并引起强烈的水热活动。

下加利福尼亚半岛以南，以及墨西哥西南部太平洋沿岸以西，为可可斯板块。该板块为一海洋板块。它的西界是一系列扩张中的东太平洋洋脊和连接它们的转换断层。南界为东太平洋洋脊向东的一条分支——加拉帕戈斯洋脊及其所属转换断层。东北面紧贴中美洲陆缘，为一条沿海岸线延伸的中美洲海沟。海沟的最大深度为6662米。作为可可斯板块向北美板块俯冲的消减带。它的活动和中央新火山轴的形成以及火山轴分布地区强烈的水热活动休戚相关。

第二节 板块运动及地热活动

根据全球板块构造理论，北美板块是在大西洋中脊出现以后，从欧亚大陆和非洲大陆分裂出来而形成的。在接近北美大陆的北大西洋一带，除作为加勒比板块东界的小安德烈斯岛弧外缘以外，洋壳并未向北美大陆下面俯冲。不断增长的大西洋洋壳推动北美板块西移。而北美板块以西，正在扩张中的东太平洋洋脊则驱使东太平洋洋壳朝着不断西移的北美大陆西部边缘迎头俯冲下去。那时，加利福尼亚湾并未出现，如今下加利福尼亚半岛还是北美大陆的一部份。现在半岛上分布的从侏罗纪到第三纪上新世形成的火山岩，以及西马德雷火山带，在晚白垩纪至第三纪上新世形成的火山岩，都是那时东太平洋洋壳俯冲重熔所引起的热

效应在大陆一侧的反映。大约在第三纪中新世早期，首先在现美国旧金山以南和洛杉矶以北，西移中的北美大陆终于和东太平洋洋脊中的一段相遇。洋壳俯冲带的海沟沉积褶皱成海岸山脉。扩张的洋脊逐渐为大陆所“超覆”。被“超覆”的洋脊以西的断块，沿“超覆”线向北西方向移动，并最早从北美板块过渡为太平洋板块的一部分。到第三纪上新世末期，现今美国洛杉矶以南，直至墨西哥西海岸的大部分地区，仍在西移中的北美大陆和另一段东太平洋洋脊相遇。这段洋脊又被北美大陆所“超覆”，并在大陆以下逐渐演化成被一系列转换断层所连接的一组北东向新的扩张构造，彼此成雁行排列。这便使这一断裂构造以西的断块又过渡为太平洋板块的一部分。断裂构造南部的扩张作用终于把南部断块推离大陆，形成加利福尼亚湾和下加利福尼亚半岛，这一地质事件，大约仅仅发生在400万年以前。加利福尼亚湾湾底的扩张构造表现为洋脊性质的扩张海盆，被扩张移离的下加利福尼亚半岛以较快的速度向北西滑移，最终与早在中新世早期即已成为东太平洋板块一部分的北部断块结合成一体。迄今为止，断块北部的总移离量约达1100余公里，断块南部亦在500公里左右。滑移所循断裂是由大洋洋脊和转换断层转化而来的圣安德烈斯断层系，因此兼有水平错动和拉张的性质。在拉张构造分布的地区，地面表现为陷落盆地。据我们所知，墨西哥塞罗普列托热田所在的墨西卡利谷地、美国境内的帝国谷盆地和索尔顿洼地均为所属。扩张作用所引起的地壳扩张量，由连接它们的一系列右行走向断层的滑移活动加以调整，其性质相当于洋底的转换断层。因此这些盆地被称为转换扩张盆地（图3）。受扩张作用影响，地壳变薄张开，来自上地幔的岩浆自盆地中涌出，在索尔顿盆地、墨西卡利谷地及加利福尼亚湾北端的一海底盆地，都有年代很新的火山活动，造成邻近地区的强烈的水热活动。



A 转换断层和扩张中心模式图

B 帝国谷及墨西卡利谷断层和扩张中心位置图式

图3 帝国谷及墨西卡利谷断层和扩张中心位置图式

至今圣安德烈斯断裂系,仍在朝北西方向作走向滑移。平均每年的水平滑移量达5厘米。考察期间,考察组在位于墨西卡利谷地的塞罗普列托热田观察到现代修建的东、西向运河受到明显扭曲(图4)。沿圣安德烈斯断层系的浅震活动频繁,尤以南段的墨、美边界附近为甚,故该断层系所在地区又有“地震之乡”之称。

东太平洋洋脊及其东部的分支——加拉帕戈尔洋脊,属于地球上扩张速度最快的洋脊带。每年的扩张量在6至8厘米之谱,高于大西洋中脊五倍左右。1978年法、美、墨联合对东太平洋洋脊进行海底考察。他们在靠近北纬 $20^{\circ}54'$ 及西经 $109^{\circ}03'$ 水深2620米的两个位置上见到枕状火山岩流以及大量含锌、铜、铁、钴、铅、锰、银等金属硫化物的沉积。其中一个样品锌的含量达29%,另一样品铜的含量达6%。温度高达 300°C 的高温热水流涌出海底。另据报导,同年一艘美国海洋考察船又在4000米深的加拉帕戈尔洋脊上发现也有热水涌出,洋底亦有大量金属硫化物沉积,附近海域生物异常繁多。这两条洋脊的强烈扩张作用,推动可可斯板块迅速向北东方向运移,沿中美海沟,向中美洲陆区以下俯冲。对应消减洋壳所形成的贝尼奥夫带上方的墨西哥境内,受可可斯板块的推挤,以及消减洋壳的折断、重熔,上地幔和地壳内强烈的热效应和动力效应,表现在大致沿北美板块南缘的东西向断裂带以及墨西哥湾沿岸的局部地段,从始新世至今的大量的火山喷发,形成一条迭加在西马德雷火山带南段上部的中央新火山轴,横贯墨西哥中部,如今,可以鉴别的火山口在三千处以上。与火山活动相伴随的水热活动十分强烈,而且分布广泛,构成许多规模很大的地热田。此外还表现为十分频繁的地震活动,除了大量浅源地震以外,墨西哥近太平洋一带还有相当数量的中源地震。1975年9月11日在东太平洋洋脊上发生5.8级地震。1972年11月13日及1975年4月23日在墨西哥以南的中美海沟发生了两次浅源地震,震级分别为6.7级和6.6级。1973年1月30日在中央新火山轴的东段发生震级为7.7级的地震,震源深43公里。同年8月28日在西段发生震级为6.6级的地震震源深84公里,同属地幔地震。从震源分布情况来看,表现了与圣安德烈斯断裂系不相一致的地震活动特征。

上述地质现象有助于人们对于可可斯板块强烈活动性的认识,以及对于中央新火山轴大量火山活动、水热活动形成机制的理解。

受板块构造运动控制,墨西哥境内大部份地区的地质构造线取北西—南东走向。在西马德雷山以东,局部表现为北北西或近东西走向。中央新火山轴则以东—西向或北西—南东走向为主。

根据地球物理资料,墨西哥大部份地区的地壳厚度在30公里左右。在加利福尼亚湾的北部,受地壳扩张作用的影响,地壳厚度减薄到只有正常厚度的一半左右,即10—20公里。

有关大地热流的资料比较缺乏。目前只了解在墨西卡利谷地西北墨美国境线附近的圣安德烈斯断层系南段,实测热流值在 2.0HFU 以上。在加利福尼亚湾中部的若干实测点表明,

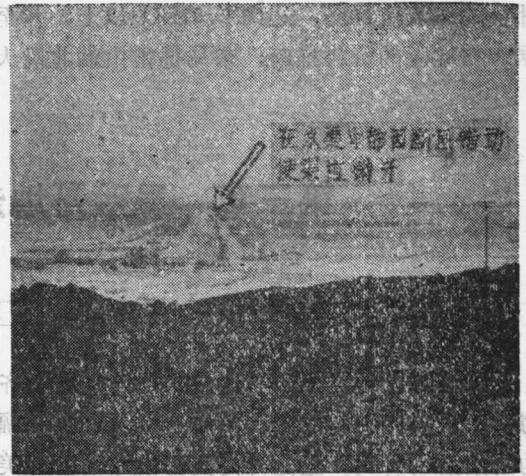


图4 一条东西向的运河受断层活动的影响而有明显的扭曲(箭头所指的地方)

那里的热流值更高,达到2.5HFU以上,甚至超过3.0HFU。符合那里的大地构造特征。根据相邻地区的资料推断,东马德雷山的北段大地热流值在1.5HFU以下。

第三章 墨西哥地热资源的普查和勘探

第一节 普查、勘探工作的部署和队伍组成

墨西哥的地热资源不仅丰富,而且类型齐全。在中央新火山轴分布的水热型地热资源,与洋壳消减而引起的火山活动有关。在加利福尼亚湾以北的水热型地热资源与陆壳扩张引起的岩浆活动有关。墨西哥湾西部沿岸地区与美国墨西哥湾北部的地压地热资源带相接,很可能具有地压地热资源。在墨西哥具有现代岩浆活动的背景下,存在着具有干热岩地热资源的前景。墨西哥电力委员会目前集中力量勘探水热型地热资源,因为开发这种类型地热资源技术上比较容易,具有明显的现实意义。对地压地热资源、干热岩地热资源则持等待象美国等技术先进国家在这方面取得一定经验之后再行考虑的态度。他们把这种勘探部署比喻为先摘成熟的红苹果吃,留下青的,过一段时间再摘。

在勘探水热型地热田方面,他们首先进行地热资源普查、化探、找出资源远景区,再在远景区内不同比例尺的地质填图、物探,综合各种勘探结果,慎重定出井位,进行钻探。搞清热储构造、热田范围和生产能力之后再行开发,最后才搞地热发电厂的设计、施工。在一个地热田内,由勘探到建厂体现了明显的循序性。例如洛斯阿索弗瑞斯地热田大约在六十年代末已开始普查,1974年开始航测,地质填图,并进行物探、化探,1976年开始钻井,到1979年底,已钻完了14口井,并且逐口井地进行测试、观察,建立了详细的技术资料档案。即使如此,仍未立即建厂发电,只准备在两年内建起1—2万千瓦的电厂,最后将建成40万千瓦规模的电厂群。在塞罗普列托地热田,1959年开始勘探,进行了详细的地质工作、地球化学工作、电法勘探工作等,接着又打了三口勘探井,喷出了高温汽水混合物,证实热田确有开发远景。于1962年投入人工地震折射勘探,对地热田的储热层构造,进行了详细的定量研究,在此基础上于1964年增加四口勘探井,取得系统的井下资料,并据此设计开发方案。自1966年起钻生产井,到1969年完成十四口。此后又对钻井工艺、地面设备进行各种试验研究,终于在1973年建成容量为7.5万千瓦的电厂,并一举投运成功。从开始勘探到建成电厂用了十四年,看起来慢了一些,但为以后的工作打下了牢固基础,使后期工程日渐加快。第三、四号机组只用了六年就建成投运,而容量为22万千瓦的塞罗普列托第二地热发电厂,计划再过六年投入运行。

就全国范围而言,勘探工作进程又充分体现了统筹安排的特点。自六十年代初起,在全国范围内开展普查,并集中力量在两、三个地方搞勘探,这样保证不断得到新的勘探基地,又逐渐增加对全国水热型地热资源的了解,为制定能源政策提供更可靠的依据。1975年的一些文献表明,全墨西哥有130个有远景的水热区,到我们考察时曾加到310处,他们预料远景区的数量随着普查工作的开展,还会扩大。

全墨西哥的地热资源普查、勘探工作和地热电站的建设、管理工作均由电力委员会统一领导。在电力委员会之下,设有一个初步工程与研究经理处,由一位副经理主持地热、地

质、水文气象、土建四个处的工作，地热处主管全国地热资源调查工作。该处之下又设勘探、钻井、评价等三个办公室，钻井之前的工作由勘探办公室负责，钻井工程由钻井办公室负责，井孔测试、热储工程由评价办公室负责。目前塞罗普列托热田除了继续进行勘探之外，还进行电厂基建和电力生产，这又涉及电力委员会的其他副经理处，所以当地设了协调员统管整个工作。

目前有三个普查小组，每组设有经验的地质工程师2人，兼管水化学取样，另配备司机一名，汽车一辆。各组逐州普查。

墨西哥勘探队的组织形式根据勘探区工作处于哪个阶段而采取不同的组织形式。洛斯阿索弗瑞斯地热田的勘探队是一个综合性勘探队，该队全员420—450人，工程师20人，技术员10人，技工150人，行政人员20人（包括炊事员），其余则是非技术工人。该队包括钻探（五台钻机）、物探（电法、磁法）、化探（包括化验室工作）和井孔测试等工作。目前在拉普里马韦拉地热田的勘探队有3名地球物理勘探工程师和35名工人，主要从事电法勘探、磁法勘探和浅孔测温。另有3名地质工程师和2名地质工人，负责热田地质填图。此外还有2名行政人员，一名管后勤供应，一名是秘书。类似这样的勘探队伍现有3个，很快再发展2个，计划发展到8个。

为适应地热资源勘探工作的发展，近三年来人员增加了3倍，投资增加10倍。投资主要用于添置钻井设备。明年将在现有5台（不包括塞罗普列托4台）的基础上增加到9台。相应地人员也大幅度增加。几年来钻井技术人员增加了6倍，地质人员增加3倍，测井和热储工程人员增加4倍，总的看来技术人员增加的幅度比其他方面的要大。这些技术人员的来源：一是靠石油院校培养，二是招聘高等学校的毕业生，在现场给以短期培训，三是到劳动力市场上招收有经验的人员。

他们对现有的技术人员通过出国（赴意大利、美国、新西兰）参观、学习，与国外合作搞研究，参加国际会议等形式继续培养提高。看来经过24年的努力，已经形成了一支包括两代人的地热勘探技术队伍。这支队伍目前不仅满足了国内发展的需要，还能做到技术出口。

第二节 普查工作现状

普查小组的主要任务是调查全国各州的地热显示。根据地热显示、地质背景和水化学取样的结果，对各水热区做出初步评价。从中选出值得进一步勘探的有远景的地区。普查小组首先依靠访问工作寻找水热区，特别提倡访问农民，其次根据地质构造和已知水热区追索未知水热区。普查报告要求描述工作区的地形、交通位置、水文、地质、火山等情况，并逐个描述水热区，内容包括交通位置、水热活动出露的地质环境、水温、流量、pH值、水化学类型和水化学分析结果。并要求附有二十万分之一的水热区分布图和二十万分之一的地质图。

墨西哥对水热区热水的温度分类标准如下：

低温的	$< 20^{\circ}\text{C}$
中温的	$21-38^{\circ}\text{C}$
	$39-42^{\circ}\text{C}$
高温的	$> 43^{\circ}\text{C}$

第三节 地质测量工作

在有远景的水热区基本的地质工作是地质测量。随着勘探工作的进展,地质测量的比例尺逐渐放大,面积渐次缩小,大体分成三个阶段。以拉普里马韦拉热田为例,第一阶段地质图的比例尺为十万分之一,面积约7000平方公里,着重点在于把握新生代以来的地质发育史。同时进行比例尺为两万五千分之一的地质填图,面积约900平方公里,着重搞清地质构造。第三阶段比例尺为万分之一,填图面积为8.5平方公里,为定孔位提供地质上的依据。

在地质填图工作中航空照片已经得到广泛的应用,卫星像片也开始使用,主要利用6、7两个“热波段”来寻找有利的断裂系统。航空热成像、航空热红外技术已开始试验。

中央新火山轴内的热田,多处于火山岩系中,地层划分较困难,目前墨西哥自己尚无钾-氩同位素分析实验室。同位素年龄样品分送美、意两个国家测定,所得数据可互相校核。

第四节 地球化学勘探工作

在普查基础上确定有远景的水热区进行专门地球化学取样,主要采集水、气样品,调查后提交专门报告。水化学分析项目除常规Na、K、Ca、Mg、CO₃、HCO₃、SO₄、Cl八项之外,还有NO₂、NO₃、PO₄、B、Li、NH₄、SiO₂、Al₂O₃、FeO、MnO等。根据分析结果进行多方面的解释。

做出HCO₃、Cl、B三角图,用来判断水热系统统一性。

做出HCO₃、Cl、SO₄三角图,表示水化学类型。

做出Na、K、SiO₂三角图,用来推测与热水作用的火山岩类型。

更重要的是运用了各种地球化学温标对地下温度做出估计。除了国际上常用的SiO₂温标,Na-K温标,Na-K-Ca温标之外,另外还运用的温标有:m_{Ca}、m_{CO₃}对m_{Na}的双对数座标图上估计温度的方法;钠长石-钙长石温标;m_{Na}+m_K及pH去估计地下温度的方法;气体中CH₄、H含量比估计地下温度的方法。

应该指出,他们应用的地球化学温标多样化,优点在于可以多方面互相验证结果。但对互有较大出入的结果如何处理尚存在问题,只是把同一地点上求出的各种温度值简单地加以算术平均。另外,考虑浅层冷水混入影响的求算方法尚未引入。

运用地球化学方法圈定地热田的边界。在洛斯阿索弗瑞斯地热田,采用以下几种指标作为边界的下限:

$$B = 5 - 2.5 \text{ ppm}$$

$$\text{NH}_4 = 10 \text{ ppm}$$

$$\text{SiO}_2 = 400 \text{ ppm}$$

$$\text{Cl} = 150 \text{ ppm}$$

和其他国家经验一样,墨西哥也运用热水中Cl含量的高低来判断热储中热流体的相态,凡热水中Cl含量在50ppm以下,就推测热储中有蒸汽相存在。

墨西哥已试用汞测圈定高温蒸汽热储。所用的仪器是加拿大生产的Scintrex出品的便携式气相色谱仪。由2人操作,在测区内打1米深的小孔,用手动泵把土壤中的气体自孔中抽入仪器,测定汞的含量。线孔的间距250米×250米。此法在塞罗普列托地热田四周应用后,

有的地方效果显著，有的则不显著。这一方法还在进一步试验之中。

在开采前的试井阶段，井孔定期、定深取样，地表取样在井口消音器后的堰口处进行。最有意义的结果是通过各特征值的等值面的变化来分析判断热水运动、冷地下水补给等情况，以便研究如何合理开发热田。

在勘探中他们也很重视调查水热蚀变带，注意蚀变矿物的成分、组合和分布，以便了解历史上水热活动的强度及范围。

第五节 地球物理勘探工作

浅孔测温 在墨西哥各热田得到广泛运用，使用上也有一定特点。

所用的测温仪器有两种，一种是便携式数字显示测温仪，系加拿大Scintrex产品，如图5、6照片所示。量程为0—200℃，分高、低两档，感度为0.1℃。这种仪器不够稳定。另一种由热敏电阻感温器和电桥组成仪器。

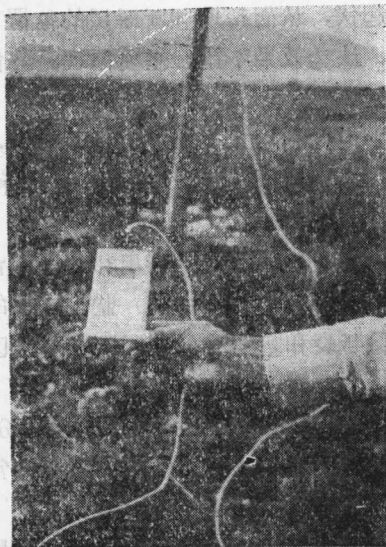


图5 便携式测温仪

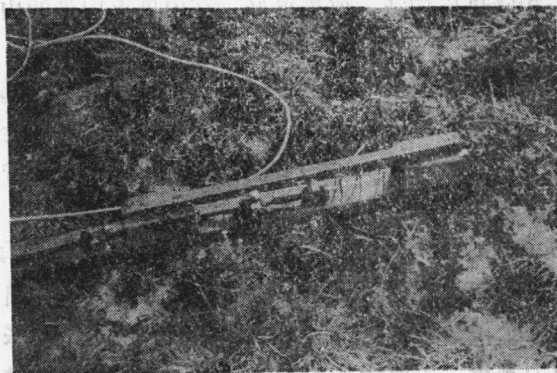


图6 便携式测温仪感温部分

墨西哥浅孔测温的孔深不等，有1米或1.5米，1.8米或3米，孔距100米，行距500米。浅孔超过1米可以免去日校正。当测区地面高差不超过200米时，不做地形校正。由于墨西哥中部地区一年内有雨季和旱季明显的区别，因之浅孔测温在旱季和雨季分两次进行，互相加以比较，这样又避免了浅孔测温的季节校正。这种方法省去了各种校正，比较简便，但因浅孔深度较大，在土层薄的地区，钻孔工作量大，困难较多。一个作业组由四人组成，1人测温，3人钻孔，5人测量定孔位。

电法勘探 这是墨西哥使用得最普遍、也是较有成效的一种物探方法。最常用的是视电阻率测量，布极方法则有电测剖面 and 电测深两种。也应用自然电位测量。

在电法勘探中所采用的极距较大，有时 $AB/2$ 达到4000米，这样可以保证测量地下3—4公里深处的视电阻率。极距加大就要求有相应的强大的电源，他们引进了加拿大Scintrex

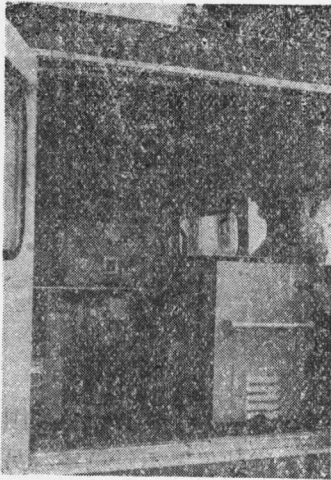


图7 电测电源车内部设备

出产的电测电源车,如图7所示,一辆吉普车上装一台功率为15千瓦的交流发电机,一台整流器,可以获得的最大直流电压5000伏,电流20安培。电位差计最小读数3微伏,最大1000伏,可以自动倒极。操作时,一名操作员,一名助手,25名工人。

测量的结果,以编绘某一 $AB/2$ 值下视电阻率的平面等值图来表示,分析中注意低值区的位置、形态和面积,在 $AB/2$ 加大的情况下,低值区的移动、变化,以此来寻找深部热流体上升通道,为钻井孔位的确定提供依据。

自然电位测量,也可以反映地下高温热流体上升地段的位置,因为热流体的高温和高离子的高浓度,使离子向四周地区扩散,导致一个异常的自然电位。

磁法勘探 一般认为这种方法在地热勘探中作用不大,但在墨西哥也运用得比较广泛,主要是因为中央火山带内地质体多为中、基性火山岩,可以充分利用磁法勘探了解基底起伏,从而帮助判断断层的位置和规模。在塞罗普列托热田还用磁法勘探直接圈定热异常区,认为效果不错,主要原理是热储中铁磁性矿物水热蚀变后失去磁性,可反映出一个负异常区。

地震勘探 塞罗普列托地处科罗拉多三角洲,地势平坦,利用人工地震折射法勘探,了解基底和储热层构造,效果很好。在中央火山带的山区,地形切割较深,没有使用这种方法。

由于塞罗普列托地处圣安德烈斯大断裂的延续部分,地震比较频繁,利用23个地震台站(包括10个区域性地震台站、5个热田附近的永久性台站和8个临时性台站)监测这里的天然地震活动。1971年—1975年地震震中集中分布在帝国谷断裂和塞罗普列托断裂之间地区,经分析认为地震属于岩浆侵入活动所致。

1979年进行的天然地震监测表明,热田内 $M_r > 1$ 的地震活动每天一、两次。震中分布所指示出的断裂系统与重力、磁法、电阻测量所指出的断裂系统能互相印证。如重力异常解译出的两个地堑构造,得到了由地震机制解得出的张性应力场的佐证。

重力测量 主要任务是了解区域构造。也曾做过精密重力测量,一年间的差异在测量误差之内,即没有出现可解译为地热流体开发所造成的质量亏损的现象。

第六节 钻井技术

正如墨西哥方面所说的,大口径的地热钻井的成功是地热资源开发技术发展的一个标志。墨西哥已打成大口径地热钻井大约80口(塞罗普列托60口,洛斯阿索弗瑞斯14口,再加帕蒂等地的钻井不少于80口)。在塞罗普列托平均井深1454米,每口1300米的井需投资50万美元,平均工期(由安装钻机起到完井)为70天。在塞罗普列托只有3口井报废,成井率在90%以上。

为保证成井率高,一方面需要精良的钻井技术,另一方面要正确选择井位。墨西哥在确定井位时,要参照地质、地化、地球物理等各种资料。一般是找断裂,找热流体上升通道。这种通道往往与视电阻率的低值带,磁法、自然电位法所测等值图上陡梯度带,浅孔测温的