

编号: (81) 005

出国参观考察报告

意大利地热研究概况

科学技术文献出版社

意大利地热研究概况

汪缉安 王 钧 樊志成

前 言

根据中国科学院和意大利国家研究委员会 (CNR) 1979年签订的中意科技交流协议, 中国科学院地质研究所于1980年1月派出汪缉安、王钧、樊志成三同志赴意大利对地热进行了考察。在历时三个月的考察中, 考察组先后和罗马、巴里、那不勒斯、卡塔尼亚、巴勒莫、米兰、比萨等地十几个科研、教学与生产单位进行了交流, 参观了拉德瑞罗、罗马北部、那不勒斯地热田和一些施工现场, 考察了维苏威、利帕里、埃特纳等近代活火山, 取得了较大的收获。在意大利逗留期间, 考察组受到了意大利朋友热情友好的接待。现将考察了解的情况整理如下, 供有关部门参考。

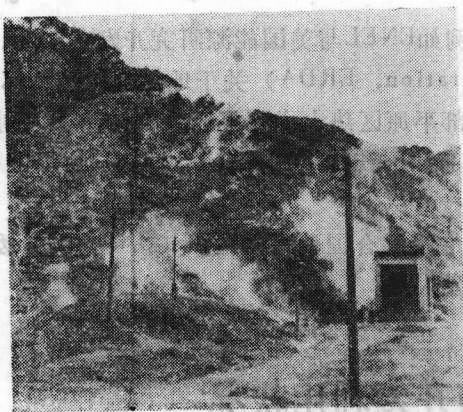


图1 那不勒斯Solfatara天然蒸气



图2 地中海上的火山岛, 蒸气在继续喷出 (火山口中间白者为喷出之蒸气)



图3 拉德瑞罗热田天然蒸气满山瀰漫

意大利是一个地热资源十分丰富的国家。亚平宁山系西缘包括托斯卡纳 (Tuscany, Toscana)、拉齐奥 (Latium, Lazio)、坎帕尼亚 (Campania) 以及西西里岛长数百公里, 总面积3万平方公里以上的广大地区, 近代火山密布, 过热天然气、沸泉、沸泥塘、高温热泉等高温地热显示遍及全区, 是世界上著名的地热区之一 (见图1.2.3)。

意大利是地热资源开发最早的国家之一。早在本世纪初, 即在拉德瑞罗 (Larderello) 建成世界上第一座地热电站而闻名于世。随着经济建设的需要和科学技术的发展, 地热研究工作与地热能的开发工作, 不断取得进展, 积累了大量的经验, 在国际地热研究领域占有一定的地位。

意大利地热研究的重点是地热能的评定、开发与利用,中心课题放在高焓地热资源的发电方面。地热电力生产是国家能源计划的重要组成部分,目前,它也是欧洲经济共同体(Economic Commission for Europe,简称ECE)地热能源计划的一部分,并得到该组织财政上的资助。地热资源开发权系国家所有。

地热研究队伍主要由三部分组成:(1)国家研究委员会(National Research Council,简称CNR)所属有关研究机构及承担CNR地热研究工作的一些高等学校,以国际地热研究所(International Institute for Geothermic Research,简称IIGR)为中心,共有二、三十个单位,百人以上队伍,主要承担地热理论研究与应用中的一些重大研究课题。(2)国家电力公司(National Electric Agency,简称ENEL),承担地热勘探、生产方面的任务,下属有一支科研队伍,着重研究地热生产区一些科研项目及日常科研技术问题。(3)碳氢公司(National Hydrocarbon Agency,简称ENI)所属机构Agip,五十年代初开始地热资源普查、勘探工作,同样有一支科研队伍,研究生产中的一些科技问题。

和地热研究直接或间接相关的还有其他一些研究机构与公私企事业单位,如国家核能局(National Nuclear Energy Board, CNEN)、国际原子能公司(International Atomic Energy Agency, IAEA)、电力咨询公司(Electroconsult, etc.)、地热发电设备公司(IRI-Ansaldo)等。

意大利的地热研究活动有广泛的国际合作。例如ENEL与美国能源研究开发局(U. S. Energy Research and Development Administration, ERDA)关于地热资源利用环境条件研究的协作,CNR与罗马尼亚关于罗马尼亚西部平原区热水资源研究的协作,意大利与希腊、埃塞俄比亚等国关于地热资源的协作,IIGR与法国在特拉瓦莱(Travale)热田进行大地电磁测深工作的协作等等。

IIGR为国际地热研究活动与情报中心之一。它受联合国教科文组织(UNESCO)委托,每年举办地热训练班,为发展中国家培训地热研究人材。

第一章 地热资源开发利用状况

本世纪初,意大利在拉德瑞罗建成世界上第一座地热电站。到第一次世界大战前夕,地热电力生产能力达到250千瓦,至1940年进一步增长到126,800千瓦。第二次世界大战中遭到毁灭性的破坏,战后进行了恢复与重建工作,并不断扩大勘探范围与地热电力生产基地。六十年代以后,地热电力生产有了迅速的发展,到七十年代前期,装机容量已经达到42万千瓦,年平均生产电力约25亿度,占全国总电力生产量1.7%(见图4.5.6.7)。

1973年以来,世界性的能源危机,进一步刺激了意大利对非传统能源的注视,地热能即其中之一。不仅在地热电力生产方面,非电力用的地热资源这一过去被忽视的领域也逐渐受到了重视。

在电力生产方面,近年来在拉德瑞罗新钻了几十口生产井,深度一般均在千米以上,获得约500吨/小时的过热蒸气,使业已开采大半个世纪、地热资源濒临枯竭的热田得到复苏,同时在改进生产技术、提高热动力效应方面获得进展,基本维持了原有的生产能力。特拉瓦莱热田亦为五十年代的老生产区之一,到1962年因蒸气产量与压力连年急剧下降,已建立的电站遂以拆除,后经细心分析研究确认仍很有前景,于是从1968年开始重新在老区附近布置了



图4 拉德瑞罗——地热电站蒸汽塔群

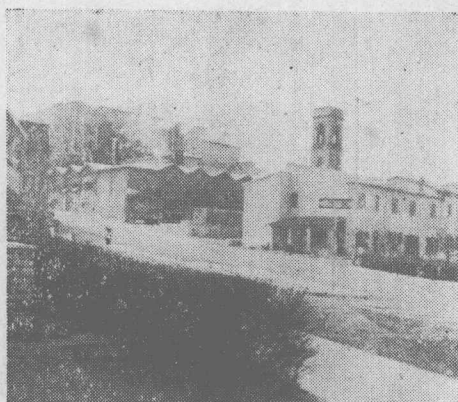


图5 拉德瑞罗——地热电站外景

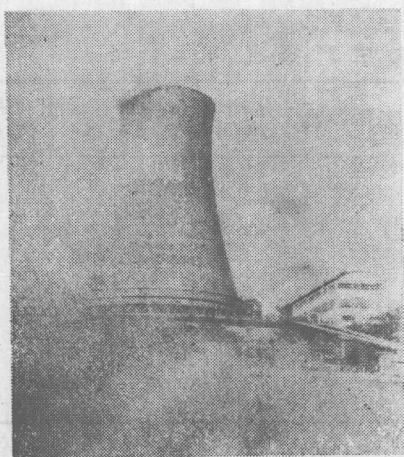


图6 拉德瑞罗——地热电站附近的蒸汽塔

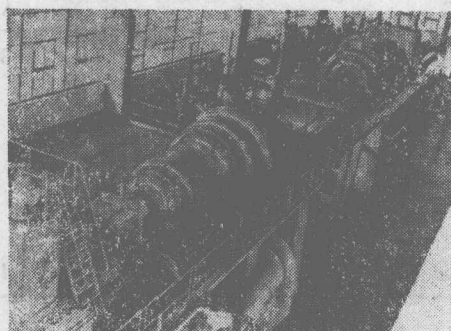


图7 拉德瑞罗——地热电站的部分发电设施

新的勘探工作，发现了新的资源。1972年一口新井得到温度为 184°C 、压力达8.3大气压、蒸气产量达到326吨/小时的世界最高产量记录，以后又陆续完成了一些生产井，并在短期内建成了功率为1.5万千瓦的电站，并计划进一步提高生产能力。

但是，由于老生产区的长期开发，蒸气产量与压力的不断下降，就电力生产能力看，这些建树仅能维持原有水平。相反，由于其他能源生产的电力在与日俱增，地热电力的比重已由七十年代前期的1.7%下降到1.4%。但是应当指出，地热资源勘探工作仍在努力继续中，探明的储备在日益增加，可以肯定这方面具有高速发展的充分潜力（见图8）。

迄今为止，意大利地热电力生产仍集中在托斯卡纳地区，满足该区能源需要的35%，占该区电力生产的40%以上。拉德瑞罗、特拉瓦莱和阿迈塔（Amiata）三个热田区共有地热电站近20座，生产井约200口，平均每口井生产蒸气15吨/小时，蒸气温度 $130^{\circ}\text{—}220^{\circ}\text{C}$ ，压力3—11大气压（见图9），总装机容量42万千瓦，年平均生产电力25亿度（表1），居世界第二位，仅次于美国。此外，特拉瓦莱3万千瓦的电站也正在建设中。

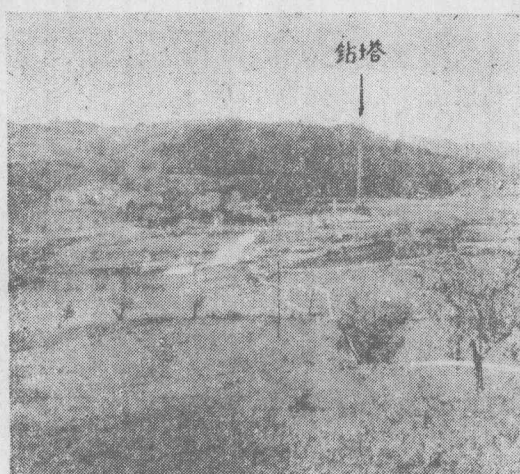


图8 拉德瑞罗热田勘探工作在继续进行



图9 拉德瑞罗热田蒸汽管道在排气

表1 意大利地热电力生产概况

热 田	电站数	机组数	设备能力 (千瓦)	工作井数	生产蒸气 (吨/小时)	生产区面积 (公里 ²)	1977年电 力(10 ⁹ 度)
拉德瑞罗(Larderello)	13	33	38 万	193	2,675	60	2.236
特拉瓦莱(Travale)	2	2	1.8万	2	230	2	0.140
阿迈塔 (Amiata)							
巴格诺里(Bagnore)	2	2	0.7万	4	90	2	0.024
皮安卡斯塔格乃奥 (Piancastagnaio)	1	1	1.5万	5	210	5	0.100
总 计	18	38	42 万	204	3,205	69	2.500

地热资源的勘探工作在积极进行。在电力生产区，它的目标是继续向纵深发展，以保证生产水平的维持并不断扩大。近年来，ENEL与IIGR合作，对电力生产区的深部进行了一系列的较深入的研究，为将来2,000—5,000米深井开发计划提供了可靠的依据。例如，阿迈塔热田一口已进深3,000米的井（低于现开发水平约2,000米），记录到330℃的温度；拉德瑞罗一口4,000米的深井，温度为380℃。可以证明，目前地热电力生产区具有进一步发展的充分潜力。

拉齐奥区和坎帕尼亚区同样是意大利具有广阔远景的地热区。近年来，由ENEL和Agip进行的地热资源勘探工作取得迅速进展。在拉齐奥地区，切桑诺（Cesano）区完成6口钻井其中一口井为热储温度达到250℃、产量250吨/小时的热卤水流体，含盐量高达35%，主要是K、Na的硫酸盐与氯化物，已对其在电力生产与其他用途方面进行了一系列试验。托雷·奥尔芬纳（Torre Alfina）现完成钻井近10口，得到CO₂饱和温度为125—150℃的高温热水，亦在研究用于电力与非电力生产方面。此外，在维科湖（Vico L.）一带发现60—80℃的低盐（2.5克/升）热水。

坎帕尼亚地区地热资源勘探工作主要集中在那不勒斯附近，包括坎皮·弗利格雷（Campi Flegrei，亦作phlegraean）热田、维苏威火山区以及卡斯特拉马雷（Castellamare）等地区。弗利格雷热田的研究工作在三十年代晚期即已开始，1939—1943年和1949—1954年两

个阶段时期内先后打过70多口井，对区域地温场作了研究，并曾在1,700—1,800米深处记录到300℃的温度，但是由于热储的渗透性、热流体产量与性质等原因，在五十年代曾给以否定的结果。近年来，ENEL和Agip以及一些科研机构重新评价了原有资料，并决定联合进行包括维苏威等区在内更大范围的勘探工作，迄今为止已完成了一些深井。在弗利格雷热田，于1,500—2,000米深处发现温度超过300℃的热流体，电站建立工作正在拟议之中。根据所获得的各方面的资料和托斯卡纳地区对比并予以演绎，乐观的估计是，坎帕尼亚区可望有三倍于托斯卡纳区的生产潜力。

除上述三大地区之外，西西里岛和撒丁岛的部分地区同样是地热资源远景区，并曾有过许多高温测量记录。西西里岛北部及邻近海岛区如利帕里群岛（包括火山岛—Vulcano、利帕里岛—Lipari、斯特罗姆博利—Stromboli等海岛），近代火山极为发育，高温地热显示十分强烈，其中火山岛在50年代初期就打过一些钻，证明了高温湿蒸气田的存在，仅由于地理条件等原因，建立地热电站的问题未能提到日程上来。

通过各方面的研究工作，证明了意大利地热资源的潜力是巨大的，在地热能利用方面有着高速发展的自然条件，从下表（表2）对托斯卡纳区的评价也就不难窥见其概貌。

表2 托斯卡纳区中、南部地热能评价（深0—3000米，面积8,660公里²）

高于年平均气温储于地下的热能	热能相当电力	187,438 × 10 ⁹ 瓦/年
>60℃不考虑经济效益的资源		
电力生产 (>130℃)	热能相当电力	1,638 × 10 ⁹ 瓦/年
其他用途 (60—130℃)	热能相当电力	2,958 × 10 ⁹ 瓦/年
符合经济效益可以提取利用的热储		
电力生产	热能相当电力	549 × 10 ⁹ 瓦/年
其他用途	热能相当电力	1,387 × 10 ⁹ 瓦/年
电能		
来自资源	电力	133.5 × 10 ⁹ 瓦/年
来自热储	电力	43.2 × 10 ⁹ 瓦/年

由于天然条件复杂，一些计算参数（如热能恢复系数和回收系数、电能转换系数等）的选择无疑会和实际有所出入，但地热资源的巨大潜力是可以充分肯定的。

由此不难看出，虽然从地热电力发展速度来看，意大利近年来是迟滞不前的，较之许多国家的发展速度是逊色的，但就其优越的地质条件以及探明的储备资源能力来讲，高速发展的自然条件无疑是具备的。

在地热资源的非电能利用方面，早在1827年即已开始从地热流体中有工业规模的生产硼酸，本世纪二十年代开始用少量天然蒸气供暖，以后又逐步取得一些进展，并进行了一些勘探工作，例如，1954—1955年在西西里岛的塞卡（Sciacca）发现了对流型的低焓流热体，在锡耶纳等地区也发现中低温地热资源的存在等等。但是，总的说来这方面的工作一直是比较忽视的和成效不大的。迄今为止，地热资源的直接利用方面，除亚平宁山系西缘有约20余所温泉疗养所并

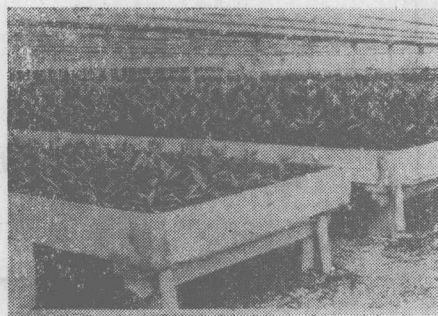


图10 帕多瓦Galzignano地热温室一角

小规模利用天然热水供暖外，较有规模的仅有：拉德瑞罗附近的卡斯特尔努奥沃（Castell-nuovo V.C.）有利用天然蒸气面积为6,700平方米的绿室，拉德瑞罗用高热蒸气（42,000公斤/小时）加热厂房35万立方米。帕多瓦用热水为面积二万平方米花卉栽培室供热和用65—87℃的地下热水为旅馆供暖（见图10）。1978和1980年在米兰先后打了两口深井，ENI机关与住宅的采暖目的正在实现之中，并考虑作综合利用。近年来的能源危机和许多国家大力发展低焓地热资源的成功经验，逐渐引起了意大利的注视。

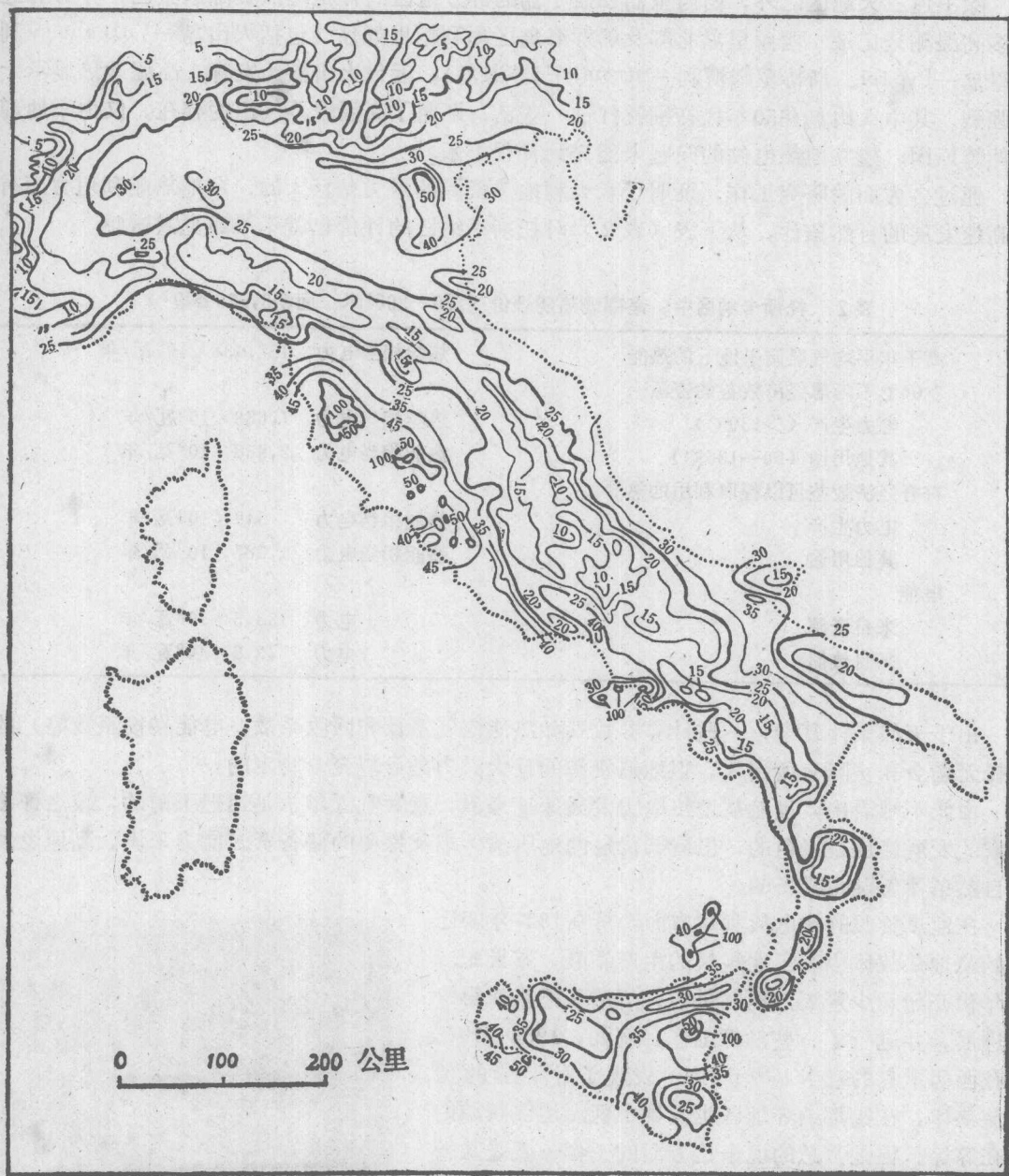


图11(a) 地面下500米深地温图

目前，中、低温地热能利用的规划工作已纳入国家能源计划的地热分计划中，波河平原的地热资源普查勘探工作也已在进行中。此外，用70—90℃热水发电3—50千瓦和用130℃热水发电500—1,000千瓦（均采用低沸点有机液作中间介质方式）的试验性工作以及相应设备的设计制造工作，亦属于该计划的一部分。

从国际地热研究所（IIGR）最近编制的意大利不同深度地温图和热流图（见图11a、b、c、d）中，我们对意大利地热资源的潜力可以得到轮廓性的了解。该所对以往由各部门取得

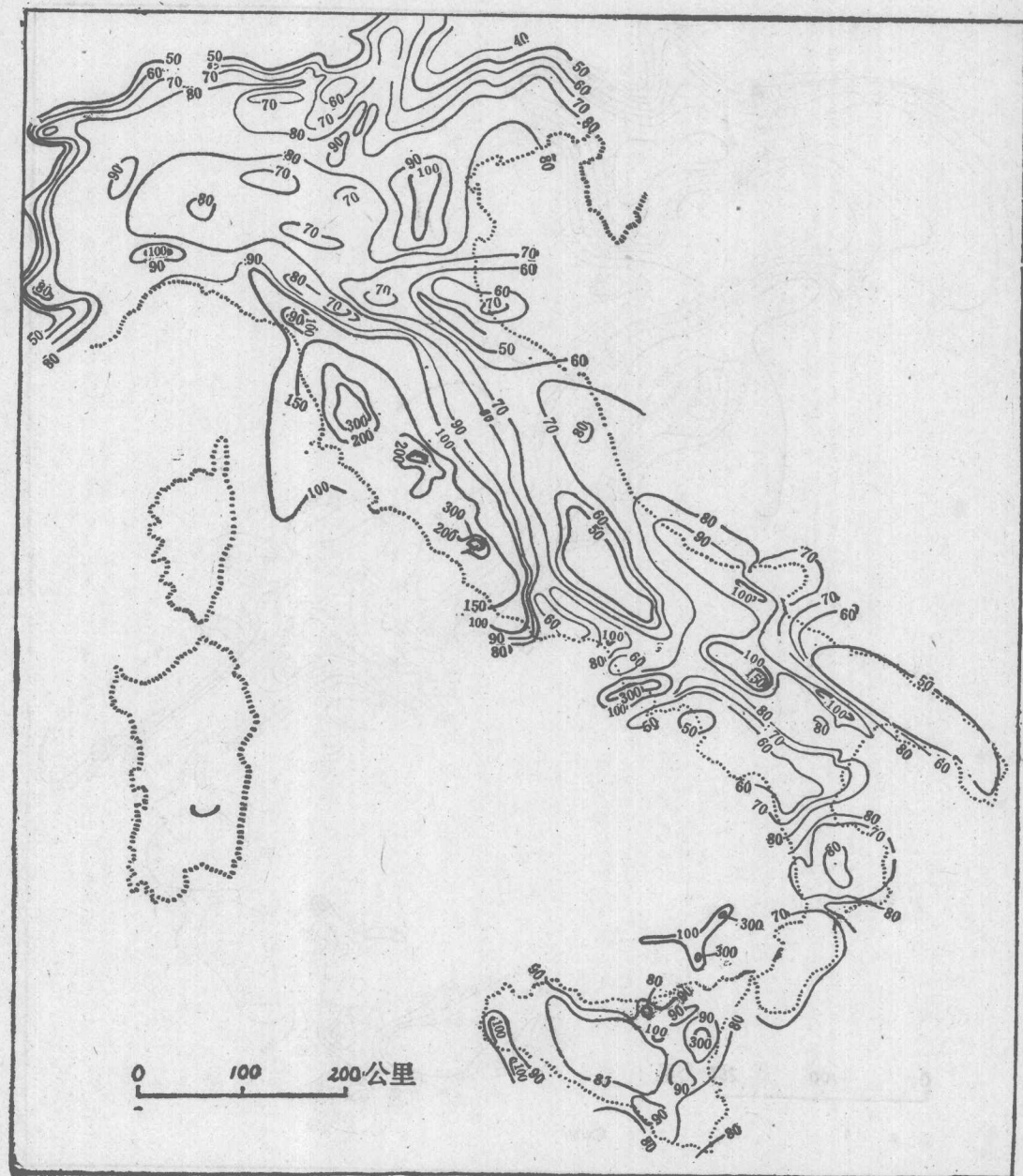


图11(b) 地面下3,000米深地温图

的地温资料进行了汇总, 根据一千多个油井井温资料和数百个地热勘探开发区及其他钻孔的测温资料与地质、地球物理资料, 编制与外推了全意大利500米、1,000米、1,500米、2,000米、2,500米、3,000米和5,000米深的区域地温图, 根据意大利大陆和东西两侧亚得里亚海、第勒尼安海为地热理论研究目的获得的100多个热流数据和地热勘探区测得的成百个热流值编制了热流图。从地温图可以看出, 在500米深度内, 可以得到 45°C 以上的热流体的区域超过二万公 里^2 ; 在3,000米深度内, 地温超过 100°C 的区域在五万公 里^2 以上。在一些高热区, 如

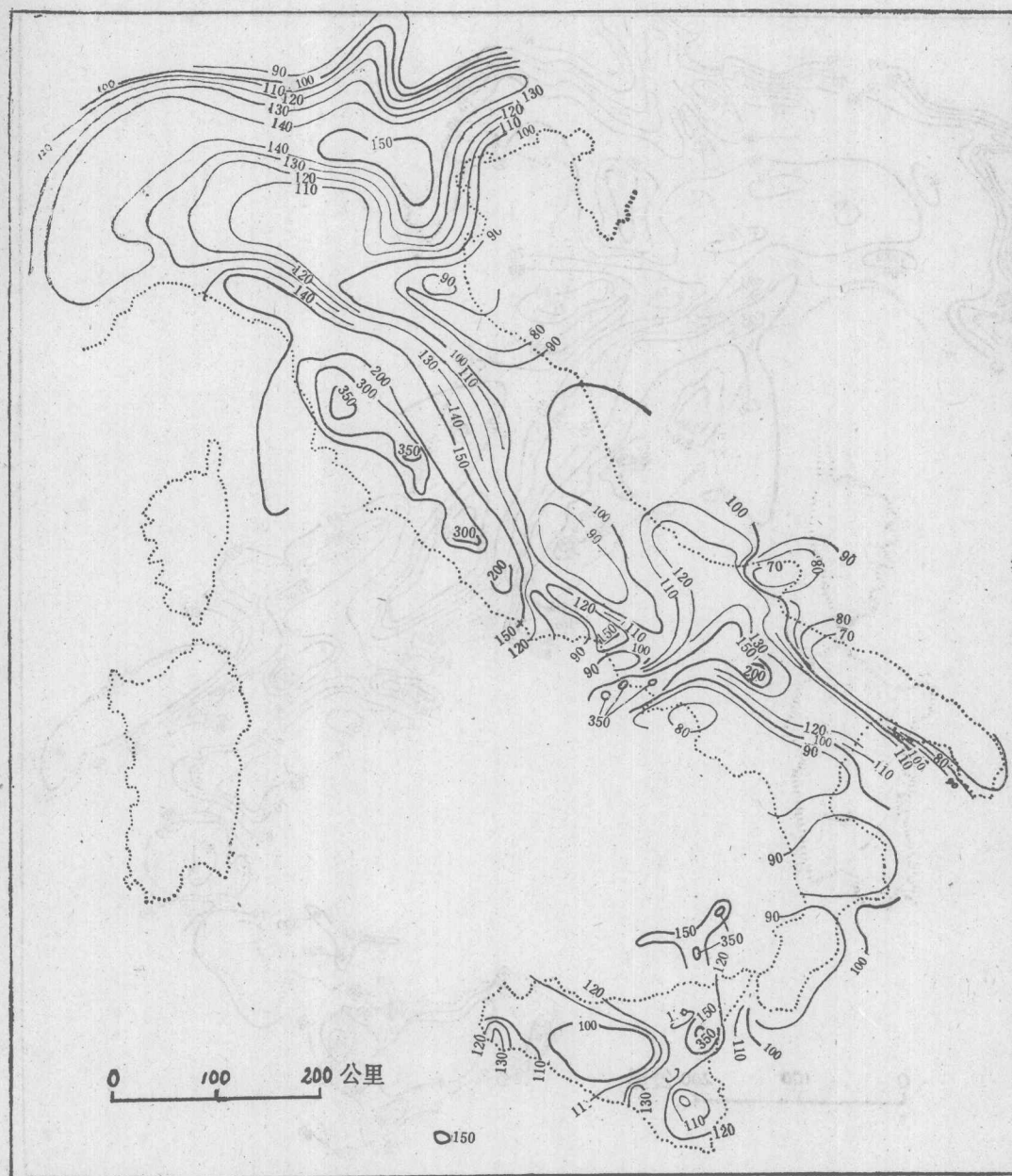


图11(c) 地面下5,000米深地温图

拉德瑞罗区、罗马北部、那不勒斯、利帕里群岛等地区，地温还要高得多。热流资料同样表明了亚平宁西侧第勒尼安海沿岸热异常带的存在，这个带上热流普遍高于全球平均值（ 1.5 微卡/厘米²·秒约相当于 63 毫瓦/米²），在极热区可以高出 $3-5$ 倍。

高温的干热岩无疑是存在的。根据地球物理资料和岩石学等方面的研究推论，拉德瑞罗及其邻近的热田区，莫霍面的深度大约为 $15-20$ 公里，那不勒斯地区还要浅得多，火山岛一带甚至可能只有 $3-5$ 公里。这些条件无疑是和高温以及浅部存在高热岩体相联系的。

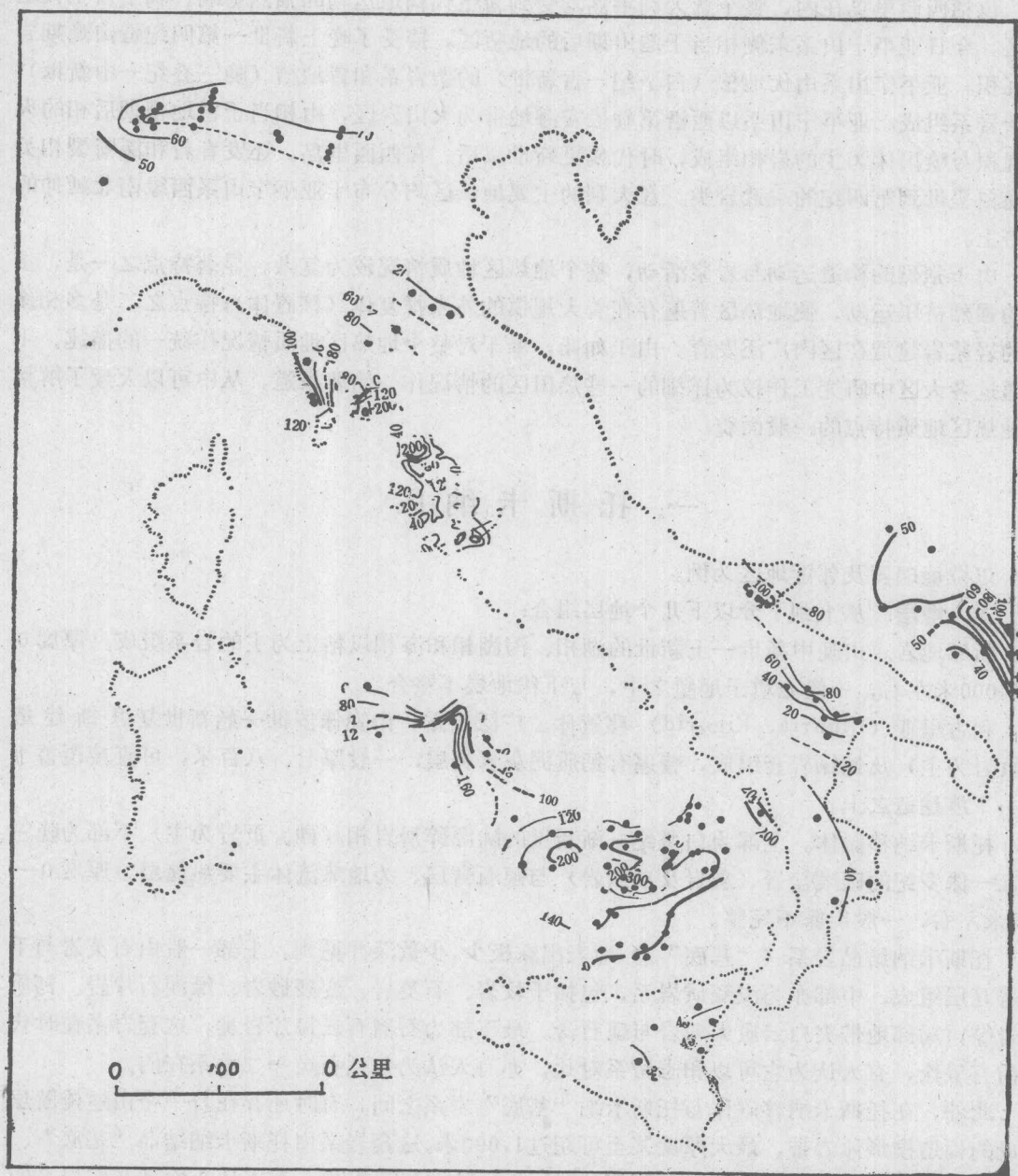


图11(d) 意大利热流图

第二章 地热区地质概况

意大利位处欧亚板块与非洲板块交接地带,亚平宁山系西侧的意大利中南部广大地区(托斯卡纳、拉齐奥、坎帕尼亚以及西西里岛的一部分)属于岛弧地带,构成高地温、高热流的地质背景(见图12)。

包括西西里岛在内,整个意大利半岛均受到新生代构造运动的强烈影响,属于新生代造山区。今日亚平宁山系东侧相当于造山期后的地堑区,接受了晚上新世—第四纪造山晚期岩相沉积。亚平宁山系由优地槽(白垩纪—古新世)的杂岩系和冒地槽(晚三叠纪—中新世)的杂岩系组成。亚平宁山系以西沿第勒尼安海地带为火山岩区,由相当于冒地槽期后相的火山沉积与喷出体为主的岩相组成,时代属更新世以后。在西西里岛,还发育着和深断裂相关的晚白垩世到第四纪的玄武岩类。意大利的主要地热区均分布于亚平宁山系西缘南北延伸的地带上。

由于强烈的构造运动与岩浆活动,整个地热区地质情况较为复杂。显著特点之一是,多期的强烈挤压运动,使地热区普遍存在着大规模的外来推复体(移置体);特点之二是多相多期的岩浆岩建造在区内广泛发育。由于如此,难于对整个地热区地质情况作统一的描述,下面通过各大区中研究工作较为详细的一些热田区的情况作一简要报道,从中可以大致了解整个地热区地质特点的一般面貌。

一、托斯卡纳区

以拉德瑞罗及邻近地区为例。

1. 地层 从上到下分以下几个地层组合:

新原地岩。由晚中新世—上新世的湖相、泻湖相和海相以粘土为主的岩系组成。厚度0—1,000米左右,一般充填于地堑之中,与下伏地层不整合。

利古里亚(Liguria, Ligurid)移置体。广泛出露,由晚侏罗世—始新世复里斯建造(页岩为主)及蛇绿岩套组成,普遍有钙质泥灰岩夹层,一般厚七、八百米,可直接覆盖于任一下述建造之上。

托斯卡纳移置体。上部为白垩纪—渐新世的陆源碎屑岩相(砂、页岩为主)。下部为晚三叠世—侏罗纪的碳酸盐岩(灰岩及白云岩)与硬石膏层,为地热流体主要热储层。厚度0—800米左右,一般出露不完整。

托斯卡纳结晶岩系(“基底”)。地表出露极少,少数深井见到。上部一般由石英岩与千枚岩互层组成。中部亦为浅变质岩系,包括千枚岩、石英岩、变硬砂岩、绿泥石片岩、钙质片岩等,局部地带夹白云质大理岩与硬石膏。最下部为石榴石云母片岩类。这套岩系在时代上尚有争论,有人认为它可以和志留系对比,亦有人认为包括石炭—二叠系在内。

此外,在托斯卡纳移置体与托斯卡纳“基底”岩系之间,有时还存在着一个由逆掩断层形成的构造楔形体岩带,最大厚度甚至可超过1,000米。这套岩系由托斯卡纳结晶“基底”、中生代碳酸盐岩建造与早侏罗世里阿斯统(Lias)陆源岩系组成,有人认为它是基底岩系的盖层。

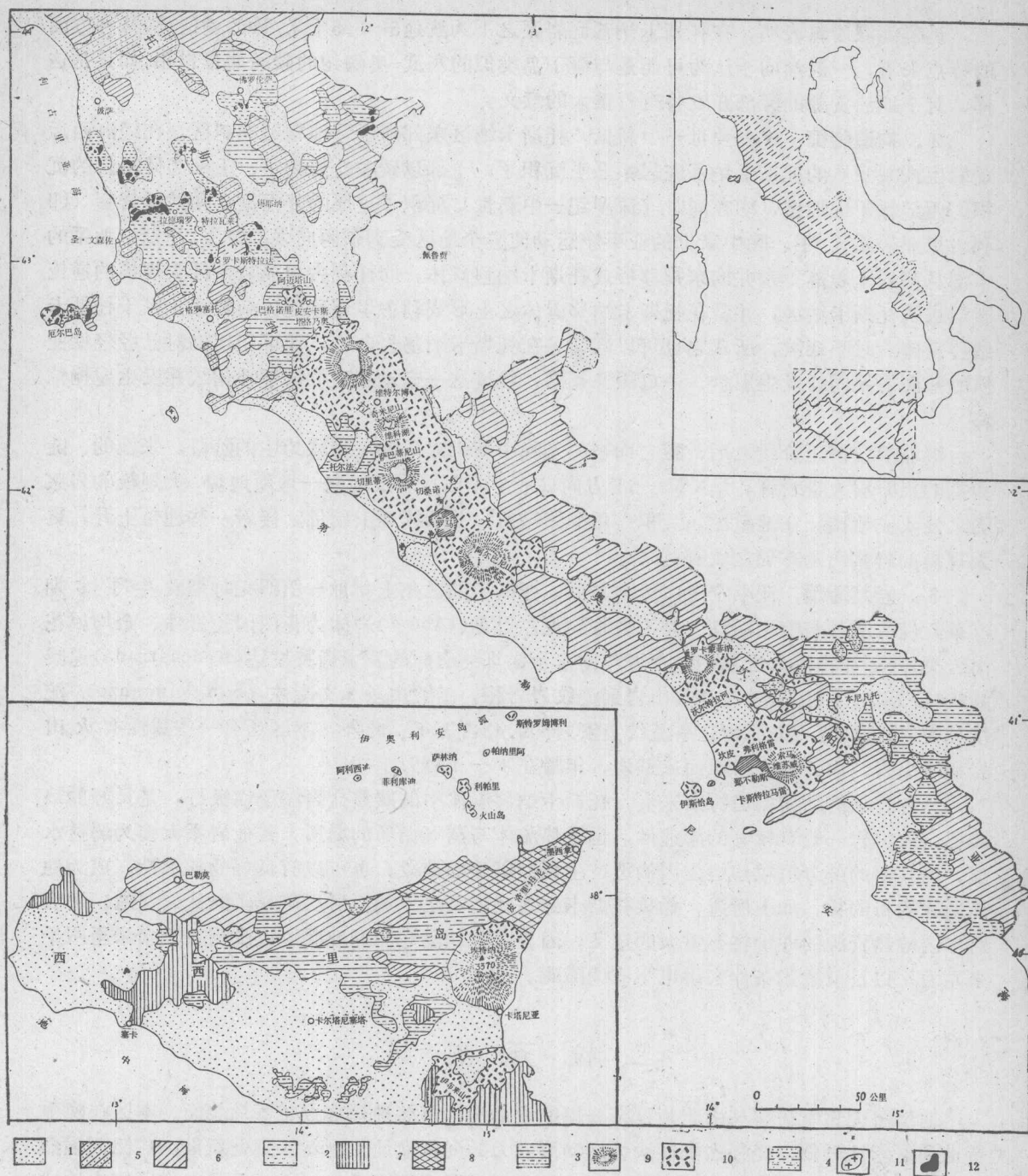


图12 意大利地热区地质略图

1. 中新世—全新世造山期后陆、海相沉积；2. 利古里亚杂岩，晚侏罗—渐新世复里层夹钙质岩；3. 西西里杂岩。白垩—中新世杂色泥质建造夹钙质层及凝灰岩；4. 利古里亚杂岩与西西里杂岩推复体（移置体）5. 托斯卡纳杂岩移置体、碳酸盐岩为主、主要是中生界；6. 碳酸盐岩为主及复里层、中生代—新生代早期。托斯卡纳区并包括部分古生代浅变质岩。7. 外造山带地台型碳酸盐岩为主，侏罗—白垩纪；8. 卡拉布里亚变质杂岩，石英岩、千枚岩、片岩等，白垩纪—新生代；9. 火山及熔岩流；10. 造山后火山岩、火山碎屑岩。新第三纪—第四纪；11. 新第三纪深成岩，花岗岩为主。12. 蛇绿岩。

地震测深资料表明,在托斯卡纳基底岩系之下为波速5—5.5千米/秒的构造层。从各方面的特点来看,一般倾向于认为可能是与撒丁岛类似的寒武-奥陶纪的碳酸盐岩岩相,如果是这样,对于地热资源的深部开发将有着重大的意义。

2. 构造特征 中三叠世—中新世,托斯卡纳区东部属于冒地槽地向斜区,在经海西运动发生褶皱变质的托斯卡纳基底岩系之上沉积了,下部以碳酸盐岩为主、上部为碎屑岩的沉积。西部属于优地槽,约在同时(侏罗纪—中新世)沉积了巨厚的复里斯层和蛇绿岩套(即利古里亚岩系)。中、晚中新世的亚平宁运动使整个地区受到东西向强烈挤压,托斯卡纳系的上部从基岩上脱落下来并向东推移形成托斯卡纳移置体。同样利古里亚岩系经大规模的逆掩断层进入托斯卡纳区,并常在托斯卡纳移置体之上形成利古里亚移置体杂岩系,由于托斯卡纳移置体有时不连续,所以它也可以直接盖在托斯卡纳基岩之上。亚平宁运动对已经轻度变质的基底岩系同样发生影响,一口深井揭露,经过这一运动基底形成平卧褶皱并发生逆掩位移。

继亚平宁挤压阶段之后,随之而来的是晚中新世以后的以膨胀为主的阶段,张性的、陡角度的正断层大量发育,呈NW—SE方向(亚平宁向),形成地垒—地堑地貌,大规模的岩浆随之侵入或喷出。在地堑区,沉积作用继续进行,并延续至上新世,接着一些地带上升,更大规模的岩浆活动亦随之发育起来。

3. 岩浆活动 亚平宁造山运动之后,托斯卡纳区在上新世—第四纪时期发生了多期(幕)侵入活动与喷出活动。侵入岩相除厄尔巴岛(Elba I)岩体为花岗闪长岩外,余均属花岗岩类,年龄亦由厄尔巴岛的7百万年向东至锡耶纳南面的罗卡斯特拉达(Roccastrada)递减为2.6百万年。喷出岩为二长安山岩到流纹岩岩相,年龄由圣·文森佐(San Vincenzo)流纹英安岩的4.7百万年到阿迈塔流纹英安岩的0.43百万年。此外,本区还有一些基性次火山岩和喷出岩,如云煌岩与粗面玄武岩,年龄在1—4百万年间。

从各岩系的结构构造特点来看,托斯卡纳移置体中的碳酸盐岩渗透性极好,是良好的热储层。火山岩一般有较好的渗透性,也是热流体与蒸气循环的场所。其他岩系大多为弱透水层,但其中的部分粗粒建造或因构造产生强烈破碎的地段,也可以有良好的导水性,成为地热勘探的目的物。如上所述,如果托斯卡纳基底岩系之下的反射层确属碳酸盐岩建造,那么对本区地热资源的评价将有重大的意义,因为有些地段它们的埋深可以浅到三千余米至四千米左右,以目前技术条件来讲也不成为障碍。

二、拉 齐 奥 区

地热研究集中在罗马南北长百余公里的地带上,目前勘探重点在罗马北面。本区在晚中新世到更新世时期,经强烈张性构造运动形成大的沉积盆地。更新世到全新世,广泛而强烈的火山活动持续发生,覆盖面积超过5,000公里²,厚度可达千米以上。于是,本区广大地域为新的沉积与火山岩系分布,其他岩系仅在边缘山地有出露。根据深井揭露、火山构造分析和地球物理研究所得资料,本区简要地质特点如下。

1. 地层 层序大体如下:

碱性钾质火山岩与火山碎屑岩。分布于罗马南北广大地区,覆盖面积约5,000公里²,包括维科、萨巴蒂尼(Sabatini)和阿尔巴尼(Albani)三个火山岩区,厚度一般三、五百米,有时超过1,000米。此外,罗马北郊还广泛分布着酸性火山岩,呈岩丘形地形。

晚更新世—全新世海相与陆相沉积和上新世—更新世海相沉积，属造山期后产物。前者主要分布于第勒尼安海沿岸，后者分布于其东的亚平宁西缘山麓区及特维雷河 (Tevere R., 亦作 Tiber R.) 沿岸。本岩系厚度变化较大。

泥质、钙质岩系移置体 (称 “Argille scagliose”)。系经逆掩断层推复而来的移置体 (约相当于托斯卡纳移置体)，时代为晚白垩世—晚中新世。在切桑诺地区，厚200—900米，由页岩、泥灰岩、砂岩和灰岩交替层组成。有的地区厚可达千米以上。

中生代碳酸盐岩建造。由上而下包括晚中生代—新生代泥灰岩与灰岩，早侏罗世里阿斯灰岩，三叠纪灰岩、白云质灰岩的硬石膏岩。本层厚度一般较大，所有深钻孔均未穿透。仅亚平宁山麓地区有其出露。

古生代基岩。维特尔博 (Viterbo) 附近有局部出露，为轻度变质岩。

2. 构造特征 亚平宁造山期的强烈挤压运动导致大规模的移置体进入本区，接着本区进入以块断运动为主的地质发展时期。整个地区经断裂发展为一系列地堑与地垒构造，主要呈NW—SE向，次一级构造线为NE—SW向 (反亚平宁向)。在相对沉降区，由中新世—更新世沉积充填，与此同时规模巨大的岩浆活动发生，开始是酸性岩，接着是碱性钾质岩系。

3. 岩浆活动 本区岩浆活动形成两大类岩相。第一类属酸性岩，主要出露于罗马北部的维特博及其以西，年龄1—3.7百万年，如奇米诺山 (Cimino Mt) 的流纹英安岩 (1—1.35百万年)、托尔法 (Tolfa) 的流纹岩 (2.3—3百万年) 与切里蒂 (Cerite) 的流纹岩 (3.7百万年)。第二类是碱性钾质岩系，此岩系在北起托斯卡纳南部南至维苏威长300公里的地带广泛分布，主要属第四纪产物。在本区它可以分为三个亚期：阿尔巴尼丘陵区，0.4—0.7百万年，萨巴蒂尼区，0.4百万年；维科湖区，0.06百万年左右。在北拉齐奥，其岩性为富钾的粗面岩到富钾的英安岩、火山碎屑岩与熔岩流，萨巴蒂尼区还有大量 SiO_2 不饱和的白榴石碱玄岩类。在南拉齐奥，阿尔巴尼地区主要是富白榴石的岩相，如白榴石碱玄岩与白榴石岩，并常含黄长石。钾质岩系的 K_2O 含量一般均在5%以上，甚至达9%以上。属于碱性系列的浅成侵入体如石英正长岩、二长正长岩、霞石正长岩等，在本区亦有发现。

三、坎帕尼亚区

以那不勒斯附近为例。

1. 地层 由上而下：

近代熔岩。如伊斯恰岛 (Ischia I) 的阿尔索山 (Arso Mt) 1302年喷发，弗利格雷的努奥沃山 (Nuovo Mt) 1538年喷发和索马—维苏威 (Somma-Vesuvius) 1944年的喷发，均属富钾碱性岩系列。

第四纪冲积层。出露于河谷地区及第勒尼安海沿岸低地。在沃尔特拉河 (Volturno R.) 河谷厚度可达3,000米，粘土为主，夹火山岩。

第四纪—上新世火山碎屑岩系。包括熔结凝灰岩、凝灰岩、层凝灰岩等夹沉积层，厚一、二百米至千米以上，广泛分布于那不勒斯及其周围地区，可覆盖于任何较老地层之上。

中新世沉积。复里斯建造为主，部分钙质层，主要出露于平原边缘地区。

早侏罗世里阿斯—古新世碳酸盐岩建造。托斯卡纳移置体。由灰岩、生物灰岩、白云岩等组成。

2. 构造特征 近代构造运动始于早中新世。随着亚平宁造山运动的挤压运动和冲断层

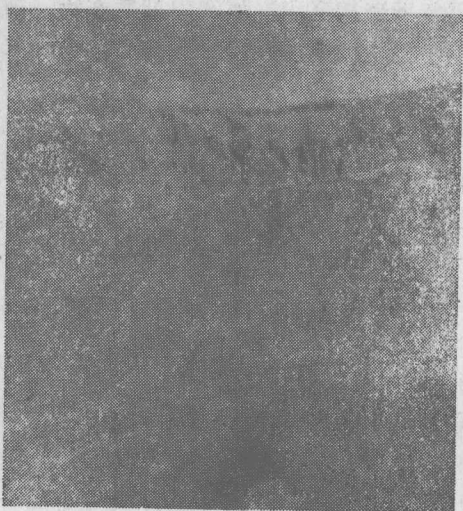


图13 维苏威火山口东壁
熔岩流层清晰可见

的发生，中生代—古新世的碳酸盐岩由第勒尼安海北面与东北面移置入本区。继之是晚中新世开始的明显的垂直运动，这一运动使得NE—SW向的地垒—地堑构造横切移置体建造，在地堑区沉积了上新世—第四纪沉积。随着垂直运动的发生，碱性钾质火山岩活动持续强烈发生，许多火山中心均位于亚平宁与反亚平宁两组构造交切地带。

3. 岩浆活动 可分为四组火山杂岩系：

罗卡蒙菲纳（Roccamonfina）、弗利格雷、伊斯恰岛和索马——维苏威四个地区的火山杂岩系（见图13）。从时代看，开始于早中新世——晚上新世伊斯恰岛的喷发，为夹凝灰岩的巨厚的陆源火山碎屑建造；最新的火山活动是上述的历史时期的几次喷发。从岩性看，四个

大区的火山杂岩基本上可以分为高钾与低钾两大系列。高钾的如石榴石碱玄岩、石榴石岩等， K_2O 含量6.7—8.6%，主要分布于维苏威区和罗卡蒙菲纳区。低钾的是粗面玄武岩—二长安山岩—粗面岩系列，以粗面岩为主，主要分布于弗利格雷区与伊斯恰岛。其实，此两大岩类常常在同区发育，并常在同一火山相叠。坎帕尼亚区的火山活动在近50万年以来实际上



图14 维苏威火山北部Somma火山，山麓为1944年
维苏威火山熔岩流，现草木丛生



图15 从维苏威观测站望维苏威火山

是持续不断的，伊斯恰岛、弗利格雷热田和索马——维苏威区的喷出活动一直延续至今。例如索马——维苏威，从公元79年巨大灾难性的喷发算起，到1944年的喷发为止，中间就有将近10次的喷出，一次又一次毁灭了周围一些地区，在其北部山麓的熔岩流已草木丛生（见图14），从维苏威观测站可以看到维苏威火山的雄姿（见图15）。弗利格雷的凝灰岩及火山碎屑建造，从3万年前以来也可以分为三期，每次喷发都覆盖了很大的地域。并喷发后的火山口有些则变成了火山湖（见图16）。

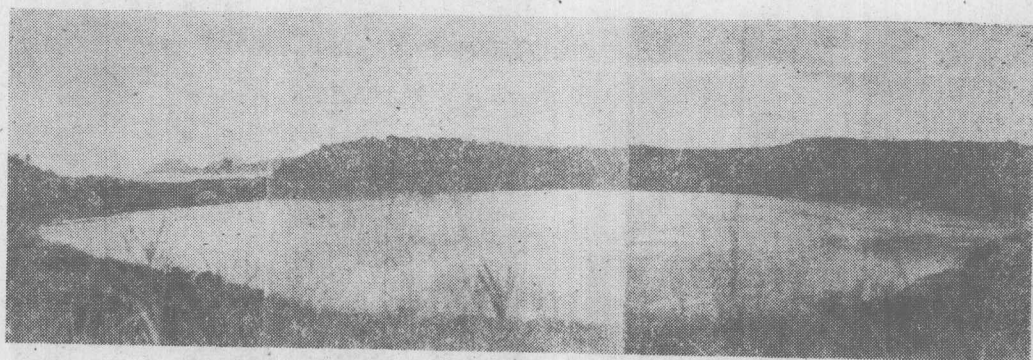


图16. 那不勒斯弗利格雷热田Averno火山湖

四、西西里岛区

西西里岛可以分为四个地质构造单元：（1）岛东北角皮洛里坦尼（Peloritani）结晶地块，属于加拉勃利亚（Calabria）变质岩带的延续部分。（2）岛东南角腊古扎—伊布莱（Iblei）地台，属碳酸盐岩建造区。（3）岛中部中—上新世沉积盆地（卡尔塔尼塞塔盆地），东南部以深断裂与腊古扎地台分开，沉积层厚度约3,000米。（4）岛北部移置体分布区，由白垩纪—中新世的复里斯建造夹火山碎屑物质岩系组成，系经阿尔卑斯运动推复到本区的一些移置体。此外，西西里岛东部几个构造区还发育着大规模的火山岩建造，包括卡塔尼亚北面的埃特纳火山区和其南面的伊布莱火山区。

根据古地磁等方面的研究，西西里岛至少在晚白垩世以前尚属于非洲板块的一部分，中生代末随着两个大陆之间的海洋地壳的消灭，两大板块相互碰撞叠合。中—上新世时期，阿尔卑斯运动导致中部沉积盆地的形成，北部地区更因强烈挤压运动大规模的移置体移入本区。从上新世开始，整个西西里岛已逐步进入上升时期，因而今日的晚上新统与第四系常位于标高数百米处。

中生代开始，西西里东部随着张性构造的发育就伴有大量碱性玄武岩的喷出，这种岩相的喷发活动一直延续到第四纪，其中也包括部分拉斑玄武岩或其它变种。从北向南，包括伊奥利安岛弧区（Eolian）、埃特纳区和伊布莱区三个火山区。伊奥利安岛弧由七个火山岛组成，除利帕里岛和火山岛（Vulcano）位置稍靠南外，其它五个岛（斯特罗姆博利—Stromboli、帕纳里阿—Panarea、萨林纳—Salina、菲利库迪—Filicudi、阿利西迪—Alicidi）构成完整的岛弧地形。伊奥利安岛弧的火山活动主要是第四纪产物，可以分为三个大的旋迴：（1）第一期，年龄不超过50万年，钙碱性岩系，由高铝的玄武岩到英安岩，分布最广的是富硅的安山岩岩相，阿利西迪、帕纳里阿、菲利库迪和萨林纳的大部分属于这一建造。利帕里岛亦有少量分布。（2）第二期属富钾安山岩系列，但成分变化较大，主要分布在火山岛、利帕里

岛和斯特罗姆博利岛，萨林纳岛也有部分出露。(3)第三期属于典型的橄榄安粗岩类，仅见于火山岛、利帕里和斯特罗姆博利。在火山岛包括粗面玄武岩、安粗岩、富钾粗面岩和白榴石碱玄岩。在利帕里，并有很近期的碱性流纹岩，其中包括著名的泡沫岩(Pumice)与黑曜岩岩流。伊奥利安岛弧区有历史记载的喷发活动有三：利帕里可以追溯到公元6世纪(见图17)，火山岛在1980年尚有喷发，斯特罗姆博利至今仍在活动中。



图17 地中海上的利帕里岛

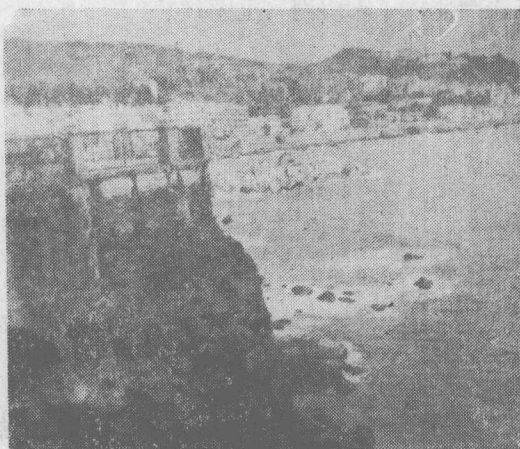


图18 埃特纳火山熔岩流海岸峭壁

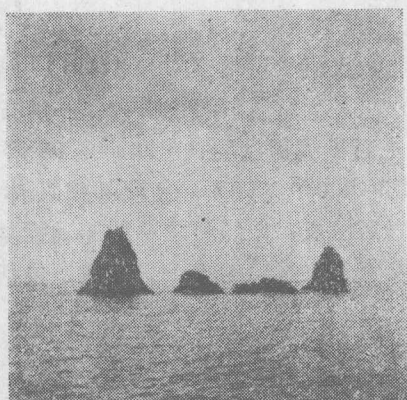


图19 埃特纳火山熔岩在海岸附近形成的小孤岛

埃特纳火山为欧洲最大的、喷发次数最多的活火山，火山岩覆盖面积达1,500平方公里并构成卡塔尼亚海岸熔岩流峭壁及海中孤岛(见图18、19)，火山岩主要是第四纪时期产物。最早的喷发属于碱性玄武岩类系列，仅有少量橄榄玄武岩与拉斑玄武岩。最近的喷发含钾较少而富 SiO_2 。最大特征是埃特纳火山岩橄榄石含量少而相对富于钠质斜长石(主要是中长石)。

伊布菜区火山岩时代较早，从中三叠世即已开始，晚白垩世开始(年龄71—81百万年)有大量海底裂隙式喷发，此后处于间隙期。再次的重要喷发期由晚中新世持续到更新统，年龄由5.4—1.7百万年。整个火山岩覆盖面积超过400公里²，平均厚度500米左右，主要是碱性岩系的碱性玄武岩，往往含钛辉石，有时有橄榄石和含超基性岩结核。也包括有拉斑玄武岩类。

第三章 地 热 研 究

意大利地热工作重点在应用研究。一些理论课题或探索性课题，其工作重心也大多直接或间接围绕地热资源这个中心议题进行。

按工作目的与深度的不同，地热研究大体可以概括为如下三个方面(三个阶段)的工作，研究方法与重点也有所不同。