

地热勘探的新进展及地热能利用

北京大学 沈敏子

武汉地质学院

李大心

1972年的能源危机促使人们去寻找非常规能源,地热能作为非常规能源正在为改变人类的能源结构作出贡献。随着地热的开发利用,地热的勘探方法、开采技术和利用程度都得到了相应的发展和提高,本文重点介绍综合地球物理和地球化学方法在地热勘探中的应用以及地热在欧洲的非发电利用现状。

一、地热勘探的新进展

(1) 对热田次生裂隙带的研究

在地热勘探区地热分布常受到与深部地质构造有关的地热流体循环的影响。在碳酸盐、变质岩和火成岩等硬岩储集层中,地热流体的循环又与岩层中的次生渗透性即裂隙发育程度有关,因此发展一种能直接探测次生裂隙带的综合勘探方法对寻找高温地热田至关重要。

在意大利的契沙诺地热田,通过对火山与构造现象分析,圈出了裂隙发育区。由于老火山活动分布于该区的东部,近期火山活动活跃于西部,火山喷发与水热爆炸有逐步往西发展的趋势,这似乎与东西向裂隙的张性构造有关。

由卫星照片和航空照片获取了大量线性构造特征,通过数理统计分析,确定了与深大断裂有关的热液循环发育方向。然后按一定密度建立测站,测定每个测站处的断裂的频数,方向及开放程度,进一步搞清了断裂的最发育方向。

用地球物理方法进一步确定深部断裂带的空间分布。由重力异常图和剩余重力异常图勾划出了与深部构造有关的异常体的边界。电法勘探给出了良导体发育方向的信息,由于裂隙带内常充有高矿化度的流体,因此良导带的发育方向往往预示着储集层的次生断裂发育带。用大地电磁或垂直电测探明深部电性的不连续性,这种不连续性往往是由裂隙和横向孔隙率的变化而引起的。用微地震观测推测出了震中的深度,它与不连续带的位置相一致。

对钻孔进行的温度测量表明,沿NW-SE方向存在着温度正异常,从而进一步证实了次生裂隙的存在及其发育方向。在“活跃”的生产裂隙发育区

中,钻井的成功率达50%,大大地高于其它地区的29%。

(2) 对热储性能及其变化的研究

对热水地球化学的研究已由地面采样发展到对井孔地热流体的综合分析。因此在地热勘探和开采中,采用了一种新的地热流体采样器。该方法用“探管”在井中采集流体样,通过管线送到分离装置进行汽(气)、水分离,分离后的水溶液在环境温度下冷却后收集起来,而汽(气)送到冷凝器冷却,进行汽、气分离。利用这套装置可在野外就地进行流体的热焓测量、气/汽质量比等测试,并把分别得到的水、汽、气样品储集起来,送实验室进行分析。

研究井孔的地热流体有助于探讨水、气的成因,热储的性能,流体开采机制及开采引起的汽化和冷水入侵等问题。

在墨西哥的塞罗普列托热田,钻孔中水样的分析进一步验证和完善了原有的热田模式。Na/K比值给出了流体流运动的信息。已知热水的Na/K比值为3,上部热储层混入的冷水的Na/K值为100,下部热储混入冷水的Na/K为30,根据不同钻孔不同深度热水Na/K值在空间的分布,推测了热流体上升、运动和混合的复杂途径。此外,根据井内不同深度的Na/K值,指出了在某些井内存在着多个含水层以及由于开采后压力变化而产生的含水层互补现象。

热水化学组分的变化,还帮助人们认识和研究河水对热水的补给作用。热储层的压力下降引起了科罗拉多河水的入侵,同时也说明热储是一个缺少盖层的“漏含水层”。从三个钻孔中热焓、Cl值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化,计算了岩石的有效孔隙率并推算了科罗拉多河水对热水的补给量。在热田边缘的井中,热焓、Cl值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化较小,河水的补给量为20%,而在热田的中心,三者的变化是同步稳定的减少,冷水的稀释量最大达到了75%。 $\delta^{18}\text{O}$ 的等值线图还表示出了河水的补给来自于北东方向。目前,对塞罗普列托热水和盐的成因的比较公认的看法

法是：塞罗普列托的水来自于科罗拉多河的河水，这些水通过深循环与超咸的大洋卤水相混合，此混合物在高温下失去镁、钙和硫酸根，得到锂、钾、硅及一些稀有元素，在上升过程中它又与科罗拉多河河水相混合和冷却，与岩石再平衡达到目前的状态。

地表气体组分和井孔气体组分的不同有助于解释热田在开采后热储温度和化学组分的变化，以及汽化和冷水混入等情况。地热气体可来自于热储中的高温反应或由冷水带入，在塞罗普列托热水中 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值较大气中的比值高了6.3倍，表明了地幔氦的侵入，由于年青火山岩可能含有地幔氦，所以还不能肯定，氦是直接来自于地幔还是通过岩石淋漓而来的。

对勘探井所作的化学温标和热焓随时间的变化，有利于解释含水层温度的变化以及井附近的局部汽化问题。由于 SiO_2 温标平衡得很快，反映的是近井底的温度以及井内的汽化情况，而 $\text{Na}-\text{K}-\text{Ca}$ 温标平衡得很慢，在塞罗普列托的卤水中尤慢，它反映的温度是远离井内汽化区，不受干扰的温度，这样通过不同温标随时间的变化，可以区分出那些井主要为流体补给，并且在井附近几乎没有汽化产生，那些井有井附近的汽化，并确定出汽化和稳定的时间，这对生产井的合理开采利用具有指导性的意义。

二、热田开发期间的研究工作

(1) 结垢问题

在试生产期间通过对热储温度、压力、流量、气体、水化学和结垢等的观测，以确定每口井的最佳开采量。在土耳其某热田，井的结垢相当严重，所以首先研究了压力、流量和结垢三者之间的关系，在滤定管中测定生产井一周的结垢速度，结果发现井口压力高、结垢速度慢，但产量减低。而井口压力低、则产量高，但结垢速度又太快。试验表明，井口压力存在着临界值，高于此临界值，结垢速度下降很快，因此可作为最佳的井口压力，在该区这压力大致为1.5个大气压。

(2) 建立热田的数学模式

从地热流体的热力学守恒定律即能量守恒与质量守恒定律出发，应用数值模拟方法，能快速地对热田的生产能力进行评价。如意大利的特拉瓦莱热田，在1973~1979年开采期间压力迅速下降，头两年井口压力以指数下降然后趋于平衡并按线性规律下降，热田的这种情况可以用钻孔通过无限导

水裂隙进入以常压为底界的平行管状模式加以分析，并根据热动力模式进行计算，所得结果与实际压力监测结果吻合良好。

三、地热的非发电利用及其经济效益

冰岛是一个天冷地热的国家，一年中有300多天需要供热，地热能的89%用以采暖和管道热水，全国人口中的75%由地热供热，首都的采暖几乎全部取自于热水，并建有世界上最大的地热供热系统，地热利用相当于每年节约50万吨石油。

意大利的地热利用始于1913年，地热除用于发电和生产化工产品外，还注意了地热的直接利用，

非发电利用	项目数	温度(°C)
采暖	13	60~100
农业(暖房、养殖、烘干)	11	55~120
工业(供热、脱盐)	9	65~90
医疗	2	40~80

目前有三个重要的利用中心：拉德瑞罗、蒙塔米塔和阿巴诺盆地，三处的供热量分别相当于1万、3万5千和1万5千石油当量吨，如果将它们与正在建设的其它城市的地热供热项目加在一起，到1990年每年将节省85000石油当量吨的高级燃料。

法国正在勘探和开发的有巴黎盆地和其它沉积盆地，目前有42个民用供应项目，用35~76°C的地下热水，由地下热水供热的房间总共有10万标准套，每年可节省10万石油当量吨。

英国在可再生能源中给地热能以优先权，正在进行热水的开发和干热岩体的探索性试验工作。

欧洲经济共同体自1979年开始向地热能部门的示范项目投资，示范项目是指已经通过了研究阶段，但因技术和经济等问题而踌躇不前的项目。至1983年止，已有78项得到了3200万美元的资助，其中的80%用以民用供热，温室及其它非发电项目。

法国政府为地热经营者提出一些有吸引力的鼓励措施和津贴，包括政府拨款资助地热可行性研究，最多可达总费用的50%；政府拨款资助第一口井投资费用的20%，如果这口井没有结果，则另外追加投资的70%，地方当局还可能提供另外的补助；为开采所固有的风险提供中期和长期保证金，这些津贴与特别贷款相结合，最多可达到地热项目初投资总数的80%。在法国1千卡地热能的销售价格为1.5~1.8美分，而1千卡电能量的销售价格为4.7美分，1千卡石油为2.8美分。地热能已作为一种清洁的便宜的能源进入市场。