

地热研究论文集

中国科学院地质研究所地热组 著

科学出版社

08

世界各國經濟發展史

—— 經濟發展史 ——



● ● ● ● ●

地 热 研 究 论 文 集

地热研究方法、大地热流、
区域地温及矿山地热

中国科学院地质研究所地热组 著

科 学 出 版 社

1978

内 容 简 介

本书初步总结了几年来我们从事地热研究工作的部分成果。内容包括：1. 钻孔测温与岩石热导率的测试，着重介绍自行设计组装的半导体热敏电阻井温仪和稳定平板热导仪。2. 矿山地温工作方法 与平顶山矿区的地温研究成果。3. 以广东丰顺地热田为例，探讨热异常区地热的控制条件。4. 公布我国第一批大地热流数据，由华北及其邻区的热流资料和浅部地温场特征，讨论与之相关的某些地质、地球物理问题。

我国大力开展地热研究工作为期很短，本书扼要介绍了国内这一工作的进展情况，并提出了发展这门学科的意见。此外，也专文简要介绍了这门学科的基础、基本内容与发展趋向，使读者对地热学有较全面而概括的了解。

本书可供地热工作专业人员，地质、地球物理科技人员和高等院校师生参考。

地 热 研 究 论 文 集

地热研究方法、大地热流、

区域地温及矿山地热

中国科学院地质研究所地热组 著

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1978 年 11 月 第 一 版 开本：787×1092 1/32

1978 年 11 月 第 一 次 印 刷 印张：12

印数：0001—5,540 字数：274,000

统一书号：13031·926

本社书号：1312·13—15

定 价：1.50 元

前 言

过去几年来,我们在毛主席革命路线的指引下,努力排除和抵制“四人帮”对科研工作的干扰和破坏,坚持理论联系实际,科研结合生产的方针,积极开展地热研究,汇集了较丰富的实际资料,获得了一些有意义的结果。本文集是我们几年来的主要成果之一。

本文集的主要内容有:发表我国第一批大地热流测定数据,初步讨论华北地区地温场与地质构造的关系;分析和讨论我国东部地区矿山地温分布的一般规律,并以平顶山矿区为例详加评述;关于地热异常区的地温场特点,也以广东丰顺地热田为例作了讨论;阐述钻孔和矿坑内测温的仪器和方法,总结研制稳定平板热导仪的经验;综述国外地热研究文献,结合我国实际情况提出开展地热研究工作的意见。

本文集是集体劳动的成果。在研究工作中,得到了煤炭、冶金、石油和地质系统的许多基层单位的协作和大力支持,于此特致感谢。

由于我们的水平不高,文内不当之处在所难免,请读者批评和指正。

目 录

前 言	iii
我国地热研究现状和任务	1
华北大地热流	12
华北平原区域地温特征	32
矿山地热研究及地温类型的划分	45
平顶山矿区地温特征	66
地热区的地温场与地质构造的关系	104
地质勘探中的钻孔测温	114
矿坑内岩石温度的测定	129
常温下测定岩石热导率的稳定平板热导仪	136
地热研究中的几个基本理论问题	159

我国地热研究现状和任务

地热学是一门正在蓬勃发展中的年青学科，是地球科学基础理论之一。地热研究大体包含两方面内容：一、在理论上，它阐明全球现代热场分布、地壳、上地幔热结构以及古地热状态和热历史；二、在应用方面，研究地热资源分布规律、形成条件及其开发利用的可能性；研究矿区地温状况、深部地温预测、致热因素和矿山热害防治的地质措施；研究各种矿产资源形成时的古地热条件和有用矿产普查、勘探的地热指标，为预测矿产分布提供理论依据。

不言而喻，地热研究的理论和应用两方面是紧密联系着的。例如，地热资源的找寻必须以大区域热场分布特点、地壳高温带的时空迁移规律作其理论基础。又如，高地温矿山类型划分、矿区深部地温预测、井下热害防治等也要以太阳辐射外热与地球内热相互作用，产生高地温的各种地质因素等地热理论研究为依据。反之，许多实际问题的深入又提出了一系列有待解决的理论课题。举例来说，目前各国十分重视高能量干热岩体甚至火山地热能的开发、利用，除一系列技术性问题外，首先要弄清地壳浅部(3—4公里)高温(350°C左右)干热岩体的埋藏条件、分布规律，这涉及地壳、上地幔热结构，地壳放射性热源分布等理论问题。各种矿产资源形成时的古地热条件则更要求恢复一个地区的热发展史，后者与地球内部热状态、热历史问题直接相关。凡此种种，足以说明地热理论研究的实际工作的基础，而实际工作又不断丰富、扩大地热理论研究内容并提出新课题。

鉴于我国地热理论研究工作开展较晚，而该项工作又十分重要，必须加快步伐，填补我国地热研究中这一空白领域，以期迎头赶上，逐步达到并超过世界先进水平。为此，本文拟就我国地热研究现状和任务谈几点粗浅看法和工作中的体会，目的在于抛砖引玉，共同摸索一条多快好省地发展我国地热研究工作的路子。

一、我国地质结构特征及热场分布若干规律

我国是一个地质上极其复杂而又丰富多采的国家。从所处大地构造部位来看，东濒太平洋西缘构造活动带，太平洋板块对整个中国大陆特别是东部地区有很大影响。我国台湾省正好处在板块交界线上，现代地壳运动强烈，岛上高温热泉广布，温度最高者达140°C，其他地表热显示，如间歇喷泉、喷气孔等也不罕见，与其他一些体现构造活动性的地质、地球物理现象，诸如现代火山、地震带、造山带一起，构成一派典型岛弧区景观。自台湾向北，日本岛弧、千岛群岛、堪察加半岛作NE向展布，往南经菲律宾、巴布亚新几内亚直达新西兰，这些都是现代地壳运动剧烈地区，也是世界上著名的地热区。

我国邻近海域，日本海热流资料比较齐全，据日本“地壳、上地幔计划”总结报告^[12]，平均热流值为 2.01 ± 0.38 微卡/厘米²·秒，南部测点可高达5微卡/厘米²·秒以上。南海据零星资料^[11]，温度及热流值也比较高。种种迹象表明，渤海湾可望见到高热流。

大陆内部,华北地区热场研究程度较好,据我组近年来结合煤炭、冶金、石化、地质等部门开展矿山地热工作所取得的实际资料,华北平原地下300米深处一般在 $20-25^{\circ}\text{C}$,地温梯度多为 $2-3^{\circ}\text{C}/100$ 米,36公里深处莫氏面温度约在 560°C 之谱。华北平原大地热流平均值为 1.5 微卡/厘米²·秒左右,与同类地质构造单元相比,不论地温、地温梯度或热流值都偏高,这与本区中、新生代以来华北断块“活化”,构造活动性增强直接相关。华南断块地质结构包括结晶基底及沉积盖层远比华北断块复杂,燕山运动时期岩浆、断裂活动更为剧烈,造成大量花岗岩侵入并组成复杂的断裂系统,由于实际资料不足,目前尚难于勾画出热场分布全貌,但从地表热显示、温泉出露及南方许多煤炭、冶金矿山井下热水涌出情况看,似应为高温地热场的一种反映。

我国西部地区,除东边太平洋板块仍对其有影响外,又迭加上南边印度板块的作用,这种作用在喜马拉雅山带表现最为明显。据我院青藏科学考察资料,西藏地热资源极为丰富,高温地表热显示,诸如沸泉、热泉、间歇喷泉、喷气孔乃至冒气穴、冒气地面、水热爆炸等,一应俱全。目前,在拉萨北面羊八井地区正进行地热电站资源勘探,浅孔64米处实测温度为 165°C ,应用地球化学温标推算,地下1000米深处温度可望达到 300°C 左右。众所周知,喜马拉雅山带是地中海构造活动带,如阿尔卑斯、喀尔巴阡、高加索的东延部分,热流量测资料^[10]表明,上述构造活动带都是高热流带。从地质结构、地壳活动程度、地表热显示等多方面情况判断,喜马拉雅山带亦很可能是一个高温、高热流带。

我国大陆地壳据张文佑同志等^[1,2]研究结果,以块断构造为主要特征,即整个中国大陆地壳由不同规模、不同级别的两组X型剪切断裂系统(NNE、NNW; NEE、NWW两组)分割成大大小小的各种断裂块体(图1)。断裂块体按其时代、活动性和形成、形变特征可分为断块、断拗、断褶三种不同类型,而分割块体的断裂系统按其规模、深度和发展特点可分为断块缝合线、深断裂和基底断裂三种。最近张文佑同志等^[4,5]又进一步根据断裂系统切穿各构造层的深度分为:岩石圈断裂,切穿整个岩石圈,到达上地幔顶部软流圈;地壳断裂,切穿整个地壳,到达莫氏面;基底断裂,切穿地壳上部整个“花岗岩质层”,到达康氏界面;盖层断裂,切穿沉积盖层,到达变质基底顶面;层间滑动断裂,深浅不一,深的多与巨型隆起和凹陷构造运动伴生,浅的多与褶皱相联系。上述不同断块边界在地表热场分布上均有显示,下面引用我组及兄弟单位历年来在郯庐断裂带上的测温结果说明这一问题。

几乎纵贯我国整个东部地区,作NNE向延伸的郯城-庐江断裂带是一条将整个地壳断开,深达莫氏面的活动性地壳断裂,该断裂带在山东半岛越过渤海湾直达辽东半岛,在沈阳附近又分成两支,分别延伸至鸡西、鹤岗一带。鸡西煤矿邻区双鸭山尖山子矿地温梯度为 $3.57^{\circ}\text{C}/100$ 米,断裂带上辽源中生代侏罗系含煤盆地地温梯度为 $3.42^{\circ}\text{C}/100$ 米,抚顺第三纪含煤盆地地温梯度高达 $4.57^{\circ}\text{C}/100$ 米,山东黄县第三纪含煤断陷盆地地温梯度为 $3.66^{\circ}\text{C}/100$ 米,南段徐州东面沭阳第三纪断陷盆地地温梯度也达 $4.28^{\circ}\text{C}/100$ 米,安徽庐江罗河铁矿西距郯庐断裂带20公里,平均地温梯度也在 $4^{\circ}\text{C}/100$ 米左右。山东境内断裂带地下300米深处地温高出邻区 $3-5^{\circ}\text{C}$ 。整个断裂带上还有众多温泉出露,所有这些都表明郯庐带是一条高温带。

郯庐断裂带上高地温的出现有其深部地质背景。我所大地电磁测深组在山东临沂所作野外探测结果表明,该处莫氏面深度在30—35公里左右,上地幔高电导层或局部熔融

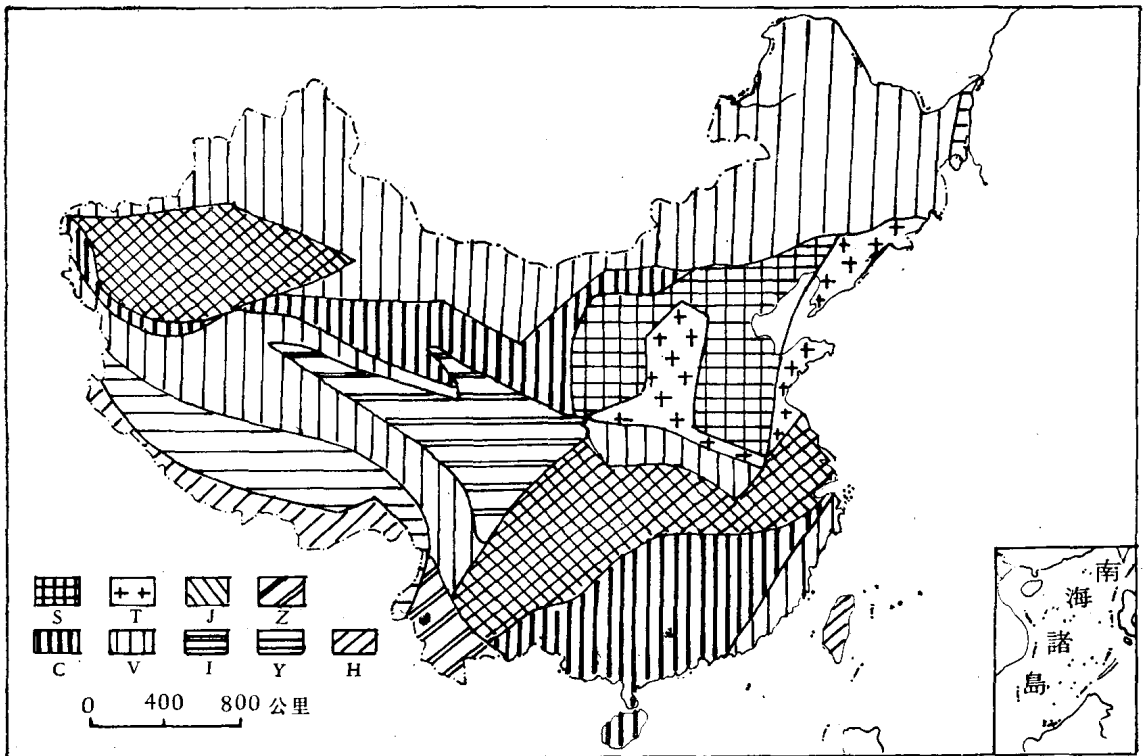


图 1 中国大地构造轮廓

(中国科学院地质研究所大地构造编图组, 1974)

S. 桑干期 T. 太行期 J. 晋宁期 Z. 震旦期 C. 加里东期 V. 华力西期
I. 印支期 Y. 燕山期 H. 喜马拉雅期

软流圈位置抬得很高,约 70 公里许(参阅“矿山地热研究及地温类型的划分”一文,图11)。这一方面促使岩浆源所在的上地幔软流圈局部熔融区物质能够沿深大断裂带上涌,将深部热源直接带至地壳浅部或携出地表,断裂带中从南到北大量分布的中、新生代侵入、喷发岩即其产物;另一方面,由于埋藏较浅的上地幔高温(约 1500°C)软流圈的“烘烤”作用,可使地壳中来自下部的传导热流分量增大,终于导致断裂带中高地温的出现。

其他几种断裂系统在地表热场分布上也有反映。1974年,我组在山东南部兖州煤田测温过程中发现,切穿沉积盖层的峰山断裂带上地温偏高,在同样深度上,位于断裂带上的钻孔地温平均比不在断裂带上的其他孔高 2°C 左右。这种实例在华北地区还很多。我组在整编华北平原地温资料时发现,高温点往往出现于分割古生代块体的盖层断裂上。岩石圈断裂即板块边界上的高地温、高热流已为国内、外大量测温实践所证实。至于基底断裂和层间滑动断裂,目前尚缺少地温量测实际材料,但从断裂带上地热场形成机理分析,若不受其他因素干扰,似亦应出现高地温。

断裂块体内部由于形成及后期形变过程中的差异运动而使结晶基底埋藏深度不一。例如,由郯庐、太行山东麓、秦岭—大别山北麓等四条地壳断裂围限起来的冀鲁断块,其古老结晶基底高低不平,这种起伏不平的结晶基底对地表热场分布有很大影响,简单说来,基底抬高处地温高,反之则低(参阅“华北大地热流”一文,图 8)。造成这种热场规律性分布的原因有两个方面:从热源上分析,由岩浆岩、变质岩构成的结晶基底其放射性元素含

量一般高于上覆沉积盖层,在同一水平上,基底抬高处就有可能提供更多的附加热源;另一方面,古老结晶基底致密岩石的导热性能优于低密度的沉积盖层,两者可差一倍左右,这就促使有更多的侧向热流集中于基底抬高部位。这种由岩石热物理性质不同及热源差异所造成的上述热场规律性分布对最小一级的构造单元背斜、向斜亦能成立,最近并有人^[9]用电子计算机进行数学模拟加以定量评定。我组以平顶山矿区为实例所作的地热场数学模拟计算,同样给出了很好的结果。

总括起来,我国地质结构特点虽很多,但从地热研究角度出发,有两点值得特别注意:一是中国地壳的块断构造性质在地表热场分布上有着明显反映,无论在断裂块体内部,或在其边界,即各种不同规模、不同级别的断裂系统上,热场分布各有其自身特点和规律性的东西;二是由我国大地构造部位所决定的中国地壳的活动性在热场面貌上刻印着深深的标记,所有这些在本文集相应部分将作详尽讨论。

二、我国地热研究现状、任务

总的来看,我国地热研究程度还比较差。这主要表现在以下两个方面:第一、地热工作在生产单位各部门尚未普遍展开,许多地区在地热研究上是空白。我国群众性的地热普查工作从七十年代才开始,当时在李四光同志积极倡导下掀起了一个群众性地热资源普查热潮,北京、天津、西安等大城市为供暖、工农业用热而找寻、勘探地下热水,同时在广东丰顺、河北怀来、山东抬远等处开展地热电站资源勘探工作,前两者已分别于1971、1974年先后建成试验性地热电站,目前在西藏羊八井地区正进行大功率地热电站资源勘探,但从全国范围来看,地热资源普查、勘探工作进展仍不够快,且多局限于就热找热,即局限于那些有地表热显示出露的地方,其他地区还未普遍开展。近年来,煤炭、冶金、化工系统各矿山随着开采深度的增加,矿井高温热害问题日益突出,为此不少矿区开展了地温测量及热害防治工作,但在新开发矿区地质勘探阶段,地温测量还做得不够,未能取得矿井设计所需地温资料。第二、地热研究基础理论工作,如大地热流测试、岩石热物理性质(热导率、比热、热扩散率等)及放射性生热率测定、地壳深处温度估算等课题,还刚刚开始,其他如地壳、上地幔热结构、地热室内模拟试验,以至地球内部热状态、热历史理论计算等项目,则基本尚未触及。

据此我们认为,我国地热研究当前的主要任务如下。

(一) 紧密结合生产实际,大力开展地热工作

力争在较短时间内搞清我国热场分布全貌,为地热资源普查、勘探及矿山热害防治等实际应用方面提供理论依据。

我国群众性的地热工作自七十年代才开始,由于开展较晚,虽已积累起一批实际资料,但不论从数量上、质量上看都很不足。目前能反映我国热场分布一个侧面的只有地表热显示,即温泉资料。温泉在地表出露需要一定的地质、构造条件,由其所反映的热场也就受这些地质、构造条件的限制;另一方面,地热工作实践表明,往往在没有地表热显示的地区,地下反而有可能存在更高的温度场。为此,无论从地热能开发、利用或热害防治、

预测“利”、“害”两方面目的都迫切需要首先搞清我国热场分布全貌，而这一工作只有靠发动群众，打一场地热研究的人民战争方能奏效。迄今为止，地质、煤炭、冶金系统已做了不少工作，石化部门在各大油田，如大庆、大港、胜利、江汉、四川等，也都进行过地温测量，只要提高认识，加强领导，统一规划，在各生产单位地质勘探部门普遍开展地温测量工作，快速累积实际资料，争取在三、五年之内搞清我国热场分布全貌是完全可能的。

(二) 在密切结合生产实际基础上，逐步开展地热基础理论研究

1. 从“流”开始加速大地热流测试工作

众所周知，能全面表征地表热场并展示地球内部热状态的物理量乃大地热流。六十年代以来，各国对热流测试工作非常重视，截至1975年底止，全球共有热流数据5417个^[8]，由此展现出全球热场分布全貌，并据以讨论了一系列地质、地球物理乃至地球化学问题。我国热流测试工作始于1958年大跃进年代，由于岩石热导率测试技术未过关，始终未能取得可信的热流数据。近年来，我组自行设计、组装的“稳定平板热导仪”对坚硬岩石样品热导率测试成功，才在华北地区取得我国第一批热流数据共十八个，这只能说是一个良好的开端，对地域如此广垠，地质结构又极其复杂多样的我国来说，热流测试工作必须加快步伐，迅速积累一大批数据，方能探讨一系列理论和实际问题。我们认为，从实际应用和理论研究两方面目的出发，下列地区热流测试工作应优先考虑：

(1) 作为断块边界的活动性大断裂特别是东部的郯庐断裂带和西部的南北构造带。前者上面已经谈到，在地表热场分布上有显示，但在断裂带本身尚未取得可信的热流数据。南北构造带从地表温泉出露、岩浆活动、构造活动性、地震活动性分析，很可能也是一条高温、高热流带。必须注意，一条断裂带各段的地温状况是不尽相同的，就如郯庐断裂带自山东坊子至江苏沐阳一段，地温呈现出低—高一低—高的趋势：坊子煤矿地温梯度一般在 $2^{\circ}\text{C}/100$ 米，往南至沂南金矿，梯度高达 $4.58^{\circ}\text{C}/100$ 米，再往南至临沂，梯度又变低为 $2.28^{\circ}\text{C}/100$ 米，至徐州东边沐阳第三纪断陷盆地地温梯度复高，达 $4.28^{\circ}\text{C}/100$ 米。据张文佑同志等研究成果^[3,4]，从力学观点来看，一条大断裂带各段的活动方式是不尽相同的，往往是一段以剪切为主，另一段就以拉开或挤压为主，两者相交互出现。地热上很容易理解，拉开段岩浆、热液等热载体易于沿通道上升，从而出现高地温、高地温梯度，而剪切段或挤压段相对来说热载体不易上涌，由此出现低地温、低地温梯度，郯庐断裂带自中、新生代以来，或以剪切—拉开为主，或以剪切—挤压为主，上述观测到的该断裂带上地温呈现低—高一低—高的现象是否与各段不同活动方式有关值得作进一步深入研究。

(2) 新生代地堑式断陷盆地，如山西地堑带上的系列断陷盆地(图2)。大家知道，地堑即裂谷，也就是地壳拉张裂开的地方，大洋中脊即现代裂谷区，大陆上著名的大型裂谷区有莱茵地堑、东非裂谷系、贝加尔裂谷系等。这些地区都观测到高热流(>2 微卡/厘米²·秒)，地温及地温梯度也高。裂谷区地壳厚度明显减薄(20—35公里)，上地幔低速、低阻层或局部熔融软流圈位置抬得很高，它直接位于壳下或向上隆起，穿入地壳内，这些都是造成裂谷区出现高地温、高热流的深部地质背景。目前，对山西地堑带的深部地质背景还不太清楚，但从地质结构上看，山西地堑带上众多的新生代断陷盆地如大同盆地、代县

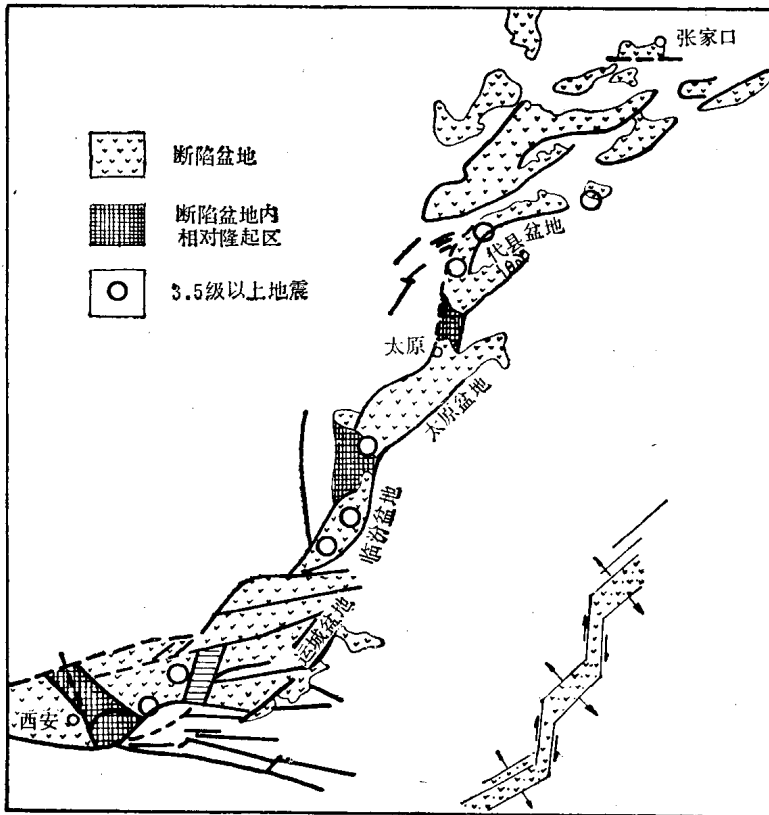


图 2 山西地堑带断陷盆地
(据张文佑等, 1975)

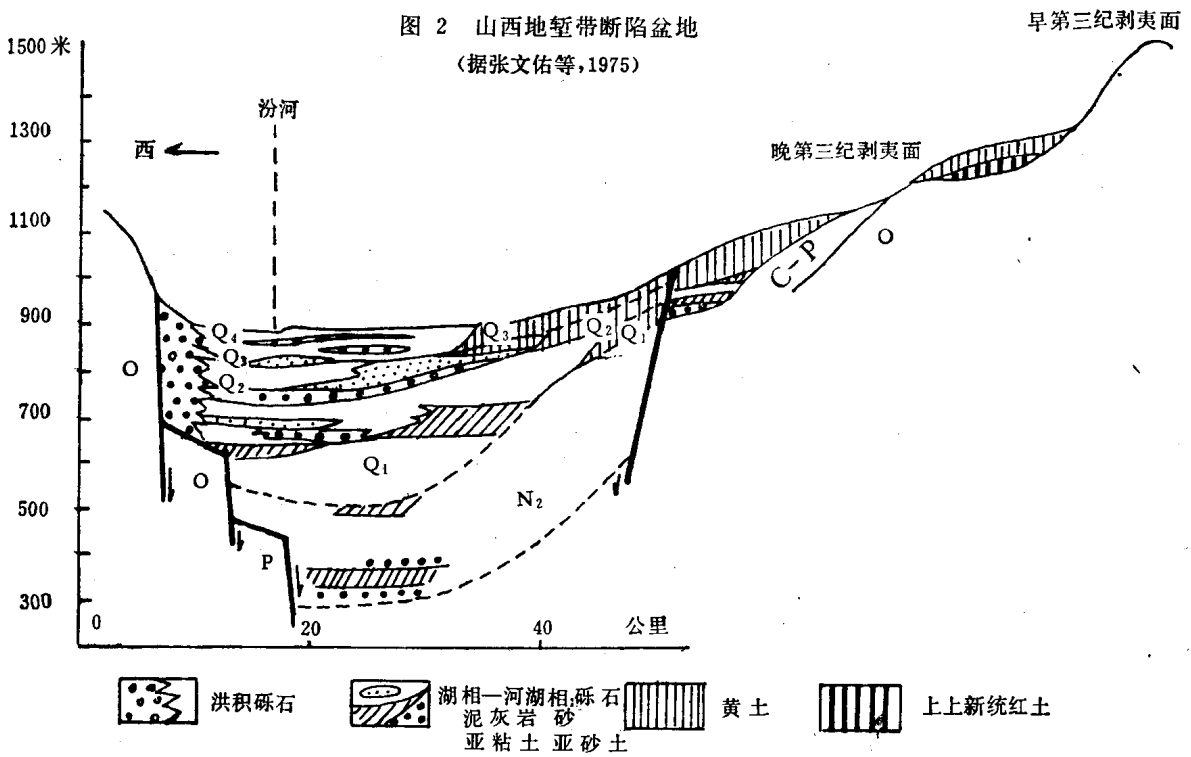


图 3 太原断陷盆地地质结构
(中国地震地质概论, 1975)

盆地、忻定盆地、太原盆地、临汾盆地、运城盆地从第三纪开始先后形成并逐渐下沉,堆积了巨厚的新生代沉积,例如,大同盆地、运城盆地新生代沉积厚度可达3000米,太原盆地第四纪沉积物即厚达700米左右(图3)。松散或半胶结新生代的沉积物的导热性能很差(热导率2—3毫卡/厘米·秒·度),宛如有一巨厚的隔热保温层盖顶,使来自深部的热量不易外逸,上述断陷盆地又都位于锯齿状断裂拉开段上,因此山西地堑带很可能也是一条高温、高热流带。

(3) 活动性古老断块,如华北断块。从基底形成时代来看,我国最古老的断块有两个:华北断块中的冀鲁断块和鄂尔多斯断块,其同位素地质年龄值均大于25亿年(最近,我所在河北迁安太平寨地区,发现粒变岩相变质岩年龄为36.4亿年),为我国最古老的大陆地壳。与世界同类太古代构造如加拿大、澳大利亚、南非等古老地盾相比,其年龄值较小,但岩石变质程度高,这可能暗示着上述我国最古老大陆地壳形成时的地壳厚度较薄,地温及地温梯度较高,为此,必须通过大量岩石学、同位素地球化学等多方面的野外及室内工作并结合高温高压试验以恢复地壳形成时的古地热环境,这一问题对阐明我国大陆地壳的形成、演化、发展具有很大理论价值。另一方面,东面的冀鲁断块由于受太平洋活动构造带的影响更大,自中、新生代以来强烈“活化”,表现为断块内部的差异运动明显,岩浆活动频繁,地震活动性高等等。地热上表现为在较高热流背景值(平均—1.5微卡/厘米²·秒)基础上地壳深部及上地幔顶部热状态的不均一性,这或许亦展示出地壳、上地幔活动性的差异。据大地电磁测深现有资料,冀鲁断块内部上地幔低速、低阻层埋藏深度不一,深者80—90公里,浅者40—50公里,与深部温度状态相一致。组成华北断块的另外两个即太行及胶辽断块结晶基底的年龄为18—25亿年,属早元古代,中生代以来构造活动性增强,前者尤甚,前述山西地堑带即为新生代时期在该古老断块基础上发育起来的裂谷带。上述四大断块与具早、中元古代结晶基底(10—18亿年)的扬子、塔里木断块构成中国大陆地壳的主体。无疑,弄清这些古老断块上现今的热场分布情况并进而恢复地质历史发展不同阶段古热场面貌对了解我国大陆地壳的发生、发展、演化乃至各种有用矿产包括地热资源的形成、富集规律都有重大理论和实际意义。

(4) 中、新生代褶皱造山带。由图1可见,在上述古老断块之间及其外缘,发育着一系列古生代、中生代、新生代的褶皱造山带,如天山—阴山带、昆仑—秦、祁—大别山带、龙门山—横断山—牢哀山带、那丹哈达岭带、喜马拉雅带、台湾带等。据近年来研究结果^[4,6,7],这些造山带很可能是晚元古代以来各地质历史时期中的古板块或古断块边界,它们在不同构造应力场作用下可发生多次张开和闭合,不难想像,这种多次的构造变动对热场分布当产生很大影响。地热研究表明,年代越久远的构造运动其影响越不易辨认,我们只能从岩石介质上留下的痕迹窥其梗概,而中、新生代以来的构造运动对现今热场的强烈影响却历历在目,对这类地区应加强地热研究工作。

(5) 海洋地区。上面已经谈到,我国大陆地壳特别是东部地区中生代以来受太平洋构造活动带影响很大,但我国东部海域的地质结构,各种地球物理场,诸如重力场、磁力场包括热场,情况还很不清楚,这就难于深入探讨太平洋构造活动带对大陆地壳的具体影响。另一方面,我国东部广大海域很可能是各种有用矿产,特别是石油、天然气富集的场所。大家知道,地热条件在油、气生成、运移以至开发过程中都起着很大作用,例如,我国大庆油田原油含蜡量高、粘度大,由于地温高方能顺利开采,最近有人推测,大庆油田生油过程

中有机物之所以能够快速运移、富集,与中生代生油盆地高地温息息相关。可见,不论从理论或实际两个方面,都需要加速开展海洋热流测试工作。

2. 依“流”溯“源”,弄清我国地壳、上地幔热结构,了解地壳深部温度状况

大地热流量测是地热理论研究的第一步,但我们决不能仅仅停留在这一步上,必须依“流”溯“源”,搞清热源情况。目前几乎一致公认,放射性元素衰变生热是地球内热的主要来源,而放射性元素集中在地壳最上部十数公里范围内,据此,六十年代后期有人将地表所量测到的热流值分解为两个部分,一部分源于该放射性元素集中层,其余部分来自地壳下部及上地幔,提出了地壳、上地幔二元热结构模型,并进行地壳深部温度的合理估算。在此基础上探讨了一系列地球科学中的重大理论和实际问题,例如,板块运动驱动力、地幔热对流问题;上地幔岩浆源发生、发展、演化问题;地壳活动性的地热标志、地质历史年代中地壳高温带的变迁等等。目前这方面的工作还在不断地深入下去。

我们在华北地区十八个热流测试点上也同时取样作了放射性元素U、Th、⁴⁰K的含量测定,确定出各岩层生热率,结合实际地壳分层剖面估算了深部温度值,但工作还只是刚刚开始,许多问题有待深入。

3. 开展室内模拟试验,再现野外观测结果

地热研究中常用的模拟试验可分作物理模拟与数学模拟两大类,前者利用相似物理场(如电场)以模拟热场野外实际分布情况或地热作用过程,后者利用数理方程(如拉普拉斯热传导方程)在给定边界、初始条件下直接求解所欲结果。物理模拟比较直观、逼真,但需要一整套试验装置和设备,筹备试验时间也较长,且不易改变初始、边界条件。数学模拟通常多用电子计算机进行,运算速度快,改变边界或初始条件容易,可获得相似情况下的一整套结果。最近,我们根据河南平顶山矿区实际地温状况及地质结构,用电子计算机运算加以数学模拟,清晰地再现了野外观测到的由于基底抬高、岩石导热性能差异而造成的矿区高地温这一情况,并给出定量评价,对矿区深部地温预测很有助益。数学模拟缺点在于受本身各种条件限制(如方程求解困难,电子计算机容量不足等)往往对复杂情况或过程作过多简化,在一定程度上影响到试验结果。为此,物理模拟与数学模拟两者应结合起来,相互取长补短,相得益彰。

(三) 完善测试手段,引用新技术、新方法,加快地热研究工作步伐

回顾国内外地热研究工作历史,其发展快慢在很大程度上取决于测试手段的完善及新技术、新方法的引用。拿地温测量仪器来说,最早用一般水银温度计,逐渐发展到最高温度计,电阻温度计以至今日的半导体热敏电阻井温仪及石英晶体频率测温装置,每一次改进,都使地热研究工作向前跨进一步。但总的来看,地热探测手段、装备还比较落后,新技术、新方法尚未广泛采用,为此,必须急起直追,迎头赶上,才能加快地热工作步伐。

1. 完善现有测试手段

包括三个方面:一是地温量测仪器、装备;二是岩石热物理性质测试装置;三是岩石放射性元素含量测定设备。

(1) 地温量测仪器、装备。目前各单位所用地温量测仪器极不统一,从普通水银温度计到半导体热敏电阻井温仪都有。过去在煤炭、冶金、石化、地质部门多用仿苏电阻温度计或井温仪进行钻孔地温测量,该仪器用铜丝作感温元件,精度差($\pm 1^{\circ}\text{C}$),操作不便,不能满足地热研究工作要求。70年后在一些科研、生产部门逐步采用半导体热敏电阻温度计,我组安装的“半导体热敏电阻井温仪”精度可达 0.1°C ,据近年来在煤炭、冶金系统使用情况,效果较好,但精度尚需提高,仪器本身也有待改进。目前各国在热流测试工作中多采用石英晶体频率测温装置,精度可达 0.001°C ,为地热理论研究必不可少的装备,我组正与兄弟单位共同研制中。

海洋测温装置多采用热敏电阻作感温元件,将数个(一般为3个)热敏电阻装在长1.5—5米的钢管内构成测温“探针”,靠自重“探针”即可插入洋底松软沉积物内,记录各热敏电阻温度值即可求出地温梯度。海洋测温装置原理示意图4。

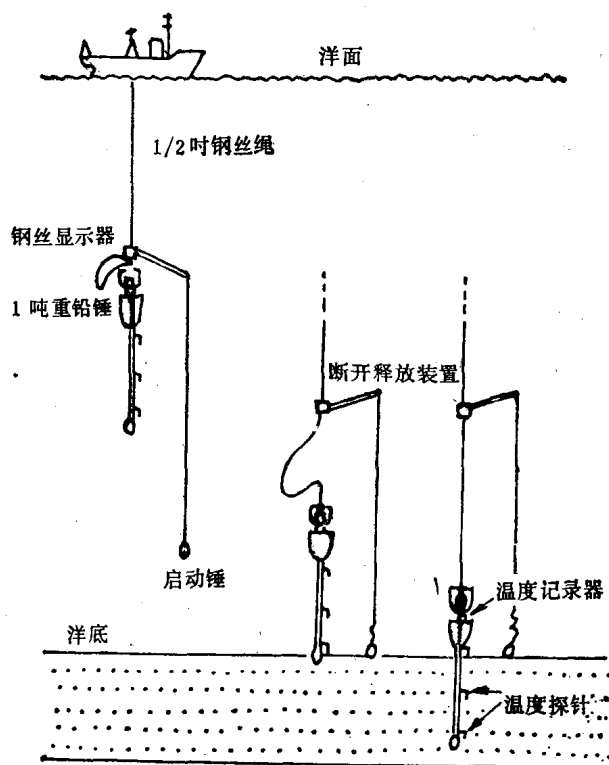


图 4 海洋测温装置原理示意图

(2) 岩石热物理性质测试装置。我组自行设计、组装的“稳定平板热导仪”测试精度达10%,合乎地热理论研究工作要求。但目前只能对坚硬岩石样品进行测定,而我国平原地区的大量钻孔,特别是油田区钻孔,往往只能取到中、新生代松散或半胶结状态的岩样,海洋现代沉积物则更为松软,为此必须在近期内突破松散及半胶结沉积物样品热导率测试技术,方有可能在平原地区及邻近海域取得一大批热流数据。岩石热导率除“稳态法”外尚有“非稳态法”、矿坑或钻孔中“原位测定法”等,在此不一一列举。另外,随着工作的逐步深入,应考虑结合高温高压室内试验,测定在地壳深部温、压条件下(如莫氏面附近10000巴、 800°C)的岩石热导率。

其他一些常用的岩石热物理性质参数有：比热、热容、热扩散率等。热扩散率在作矿井深部气温预测及降温效果计算中乃必不可少的参数，一般根据岩石热导率及比热、密度间接推算，岩石比热可用经典方法或差热分析仪测定。热容在数值上等于比热、密度的乘积。

(3) 岩石放射性元素含量测定设备。U、Th 可用能谱或化学分析法测定， ^{40}K 用火焰光度计或原子吸收光谱测 K 总量后换算得出。根据岩石样品 U、Th、 ^{40}K 含量可计算出岩石放射性生热率。

2. 引用地热探测新技术、新方法

主要指地球物理探测新技术、新方法，地球化学方法，如硅地温计，Na/K 温标等在地热田普查勘探工作中已广为应用，不作阐述。

(1) 红外探测技术。众所周知，常用光谱段中的近红外段(波长 3—5 μ) 及远红外段(8—14 μ) 对温度反应敏感，是地热探测中的一种重要工具。世界上一些著名地热异常地区，如美国黄石公园、日本、新西兰、冰岛、墨西哥地热区，采用地面及航空红外摄影均已取得良好结果。最近，我国地质部门在广东、福建东南沿海地区进行航空红外测量对探测硫化矿床、油气田区特异地温场也很有效。红外探测技术具有速度快、探测面积广等许多优点，在排除一些干扰因素，如地形、植被、地表水体，特别是太阳辐射外热影响后，可作为大面积地热资源普查及了解热场分布概貌的有效手段。

(2) 卫星遥测、遥感技术。这是六十年代中期兴起的一门综合性技术。卫星飞行高度大(约 1000 公里)、视野广，可作全球性探测。将红外探测装置放到卫星上，不但能作更大面积观察，而且可连续量测，掌握热场变化动态。另外，在极短时间内，甚至可以说几乎一瞬间，即能“捕捉”大面积图象，理论上可消除太阳辐射外热影响，更精确显示出地表热场。

(3) 大地电磁测深。这是六十年代发展起来的一种利用不同周期天然磁场以定量了解地下深层介质的电性分层，藉以推断温度状况的方法。它能确定上地幔高电导、低速、低阻层，即软流圈局部熔融区的位置，提供地表热场的深部地质背景，对地热研究有很大裨益。若能与天然地震转换波法等配合使用，当可收到更好效果。

(4) 微震探测。在地热异常地区由于热水、气上涌途中使地面产生极微小颤动或震动，用高精度微震仪探测可圈定出热水上涌通道，分布范围等，实践表明，在地热田普查、勘探中也可作为一种有效手段。

(5) 其他地球物理探测方法。如电法勘探、重力勘探和磁力勘探，在地热调查中也已广为采用，效果良好。

三、展 望

地热学是一门正在蓬勃发展着的年青学科，具有强大的生命力。我国是一个地热资源极其丰富的国家，又具有许多独特的地质特点，随着社会主义建设事业的发展，提出了一系列地热研究课题。但我国地热工作开展较晚，基础较为薄弱，必须发动群众，打一场人民战争，在生产单位各部门普遍开展地热工作，方能在较短时期内弄清我国热场分布全貌。地热理论研究必须紧密结合生产实际。当前，应以地热资源评价、地热能开发利用及

矿山热害防治为重点,深入实际,解决问题。在此基础上,逐步开展大地热流量测及其他理论性工作。一些地球科学重大基础理论(如青藏高原形成、演化;中国海地质结构等)课题中的地热研究也应优先考虑,重点突破。

总之,各项地热研究工作应当本着有远有近,有主有次,根据具体情况,分别轻重缓急,群策群力,有计划、有步骤地陆续展开。我们相信,只要坚定地沿着毛主席的革命科研路线前进,在华主席、党中央领导下,一定能够在不久的将来,把我国地热研究工作推向一个新高度,实现赶超世界先进水平的宏伟战略目标。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地质研究所大地构造编图组,1974,中国大地构造基本特征及其发展的初步探讨。地质科学,第2期,1—17页。
- [2] 张文佑,1960,中国主要断裂构造系统的应力分析。科学通报,第19期,604—608页。
- [3] 张文佑、钟嘉猷、叶洪、从柏林,1975,初论断裂的形成和发展及其与地震的关系,地质学报,第1期,17—28页。
- [4] 张文佑、钟嘉猷,1977,中国断裂构造体系的发展。地质科学,第3期,197—209页。
- [5] 李春昱,1975,用板块构造学说对中国部分地区构造发展的初步分析。地球物理学报,18(1),52—74页。
- [6] 王荃、刘雪亚,1976,我国西部祁连山的古海洋地壳及其大地构造意义。地质科学,第1期,42—55页。
- [7] Jessop, A. M., Hobart, M. A. and Sclater, J. G.,1976,The world heat flow data collection-1975, Geothermal Service of Canada, Geothermal Series No. 5, Ottawa, Canada.
- [8] Kappelmeyer, O. and Haenel, R.,1974, Temperature and thermal processes in the crust, In: Geothermics with Special Reference to Application.51-122.
- [9] Lubimova, E. A. and Polyak B. G., 1969,Heat flow map of Eurasia, In: The Earth's crust and Upper Mantle, Geophys. Monogr., V. 13,82-88.
- [10] Sclater, J. C.,1972,New perspectives in terrestrial heat flow. *Tectonophysics*,13(1-4),257-291.
- [11] Uyeda, S.,1972,Heat flow, In: The Crust and Upper Mantle of the Japanese Area. Part 1, Geophysics, Chap.5,97-105.