

微震台网在地质工作中的应用

周立功

(地质矿产部五六二大队)

微震是指1—3级范围的地震，微震台网则是一组用于记录小于3级地震的地震仪台站。视其需要研究的内容，台网可由几个至数十个台站组成，目前，全世界范围内大约有50余个永久性的微震台网和若干临时设置的流动微震台网在日夜不停地运转。

由于微震发生率较高，微震台网可在较短时间内获得大量的地震数据，提供较多的地下信息。近二十年来，除研究地震活动和预测大地震外，微震台网已被引用到地学研究的许多领域。如研究断裂构造的活动性、重大工程场地的稳定性、地热勘探、对大型水库、水坝、核试验和矿山井下的监测，以及研究地壳和上地幔的结构和构造等，微震台网法已逐渐显示出它的有效性和具有成本低、观测周期短的优越性。为此，许多国家在地学的一些研究工作中，业已把微地震观测列为必不可少的工作程序。

地震是一种地质现象，通常大地震是不经常发生的，而微地震确是经常性的事件。地震学家古登堡(B. Gutenberg)与里克特(C. F. Richter)研究统计了世界浅源地震资料，得出地震震级(M)与频度(N)存在下列关系式：

$$\log N = a - bM$$

其中， a 表示某地区一定期间内的地震活动水平， b 表示大小地震的比例关系。我国及世界各地地震活动情况表明，上述关系式是成立的，同时 b 值近似于1。这意味着震级下降一个单位，地震数目则会增加10倍左右，为此，所能观测记录到的地震震级越小，则收录的地震数量就越多。微震台网的设计就是利用了频度—震级关系有利的一面，去收录观测那些不为人们所感觉到的微小地震的活动，借以达到研究某一课题的目的。

在确定一个微震台网应用于某种研究项目时，首先需要考虑选择正确的仪器频率特性。地震波的频率随震级的大小和距离而异。大地震的地震波频率在200~1000赫之间。应用微震台网所要研究的地震，主要是地方性的微地震，其地震波优势频谱量约为1~100赫。1965年日美地震学家联合研究，提出地方性地震之震级 M 与地震波卓越周期 T 的经验关系式为：

$$\log T(\text{秒}) = 0.26M - 1.32$$

因此，应针对所研究的课题，视需要观测记录的地震震级之大小和干扰背景，合理选择仪器的频率响应特性，以达到提高精度，既不漏记地震又能获得清晰可辨的地震波形的最佳效果。如在沿海一带布设台网，就必须考虑压掉大于1秒周期的海浪脉动干扰；若研究小于0级的极微震活动，就必须突出高频部分，并要求相应地提高记录速度。而研究地壳和上地幔结构，需记录较远的地震，则要求突出仪器的低频端部分。

微震台网的布局，首先是取决于工作的最终目的，其次还依赖于物理学上的约束，并应兼顾到交通、后勤等事项。实践证明，以熟悉工作区的基本地质概况和构造轮廓指导台站的

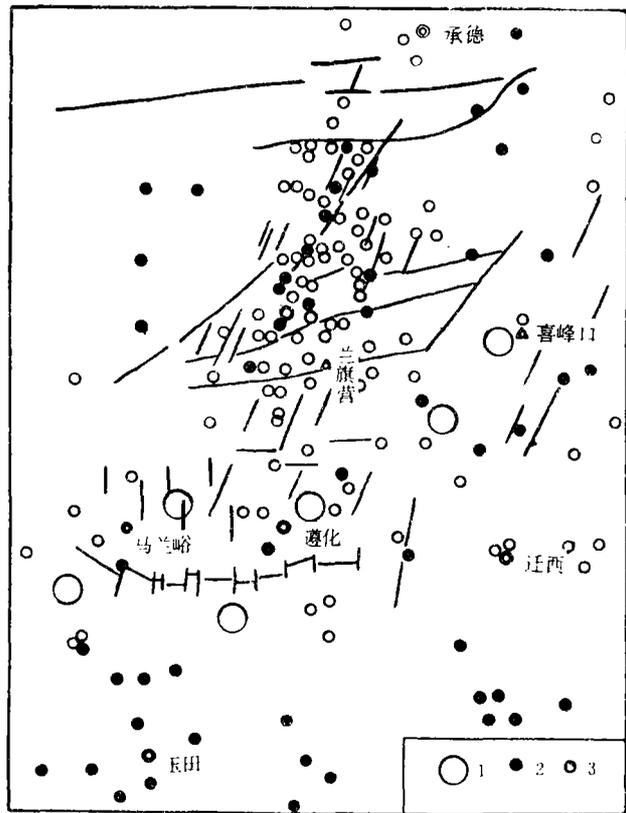
具体布设，以研究课题的内容和精度要求决定台网内台站的密度，以远距工业交通等干扰源设置台站，尽量提高仪器的放大倍率，是期望获得最佳记录效果的一个基本前题。微震台网可由若干三分向的直测台和若干单分向的直测或遥测台所组成。随着电算机的应用和新计算程序的不断提出，提高了微震的定位精度。通过研究台网内及其附近发生微地震的时、空、强特征，以及推导出来的一些参数（波速、 b 值、波速比、泊松比、震源机制解）等资料，有助于在地质综合分析上做出定性和一些量化的解释。以下对微震台网在地质工作中的实际应用做简单介绍。

一、对活动断裂的研究

在区调、矿产普查、天然气与石油勘探中常需要查清一些主要断裂的性质、现今活动方式与活动强度；在不稳定地区建设一些永久性的重大工程，需要找出相应的“安全岛”；为核电站选择合适的场址，对地质构造方面的资料要求则更为严格。上述的一些问题，均须把确定和研究活动断裂构造作为重点。

应用微震台网法探测活动断裂的展布、规模、现今活动强度等，能够给出定性与一些半定量的解释，方法比较简便，并能获得地表深处的一些信息。实验室已证实，岩石受力破裂前，会产生微裂隙并伴有微裂隙的扩展和声发射。微地震活动如在断裂附近或在需要查清的地段呈规律的发生，除少量可能带有随机性外，其多数应与断裂的活动有着直接的关系。当能够定位的地震数目较为丰富时，可用等地震线、等深线、序列、迁移速度、 b 值、小地震综合断层面解等方法，提供断裂的活动规模、延伸位置、破裂速度及活动方式等资料。有的活动断裂，在一般时间内可能发震率较低，因此就需充分利用各省区域台网的资料，选择合适的工作时间，或者加大观测周期，以能获得足够数量的微地震为理想。

1967年3月27日河间6.3级地震后，在大城断裂以北马兰峪山字型构造内，承德至遵化之间出现一微地震活动带（见图一）。微震台网曾连续观测近两年时间，记录微地震200余个，微地震沿一些断裂较小的北北东向压扭性断裂呈带状展布。而在唐山地震前后，这一现象却未再重现。这一图象，给研究断裂活动的影响场，与在统一应力场作用下，由于强地震的发生，活动性构造之间相互牵动的关系提供了佐证。



图一 承德—遵化一带微地震分布与断裂构造

1—历史地震；2—京津台网测定震中，3—临时台网测定震中
(据国家地震局地震地质大队及京津台网资料)

二、地热勘探

地热区一般都分布在活动构造带上，并伴有较频繁的微小地震活动。国外若干地热田的开发业已证实，地下热水的通道主要是沿活动断裂上涌到地表。这种“热—震”的伴生关系，恰好是应用微震活动研究热储与寻找热水通道的一条途径。

地热田的微小地震活动一般具有下列特点：

在空间上，震中多沿活动断裂分布，震源深度一般在10公里以内，多数在2~5公里。

在时间上，呈非稳定性，频率较高，多以小震群形式密集出现。

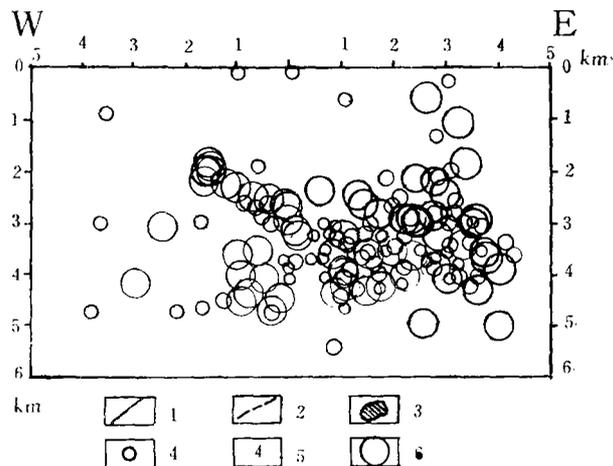
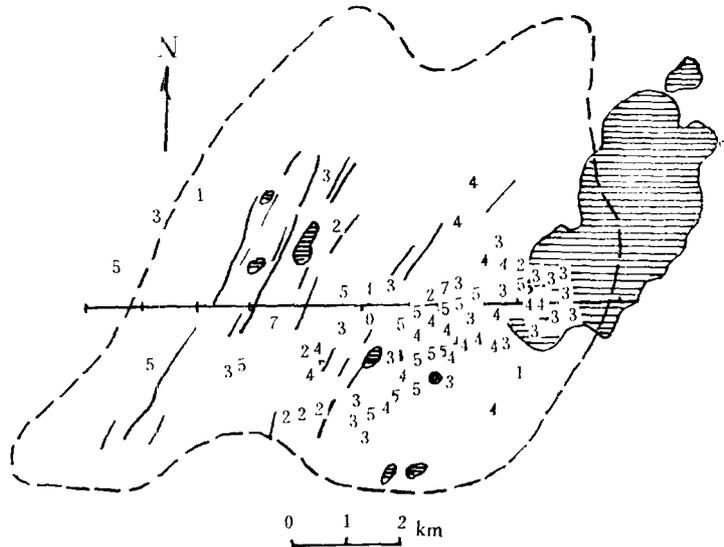
在能量上，震级偏低，多数在1级以下。

在地热田进行微地震观测，为获得较准确的震源深度，台距一般不大于6公里。台网连续运转应不少于两个月朔望周期，地壳固体潮汐的月峰谷值变化，可增加微震的次数和幅度。微震台网所观测记录到的微震震相，经一定程序的处理和计算，可运用微震的三度坐标确定热水上涌通道的部位；以波速、泊松比、地震波衰减系数等研究热储；以震源机制解和微地震信息做综合断层面解，分析热水通道活动断裂的力学性质、活动方式以及研究热田地区的应力场等。

图二为冰岛雷克亚米克半岛（Krisuvik）附近地热区的微地震在平面和深度剖面上的分布图象。

图三为日本箱根火山地热与微震群的实例。

我国与火山活动、近代岩浆活动及现今构造活动有关的地热区，如滇藏和台湾都是地震频繁活动的地带，闽粤辽等地的一些热泉密集出露区，也伴有微地震的活动。云南腾冲地热区、



图二 冰岛雷克亚米克半岛(Krisuvik)附近的微地震与震源深度

1—断层；2—地热区边界；3—地热活动区；4—井孔；5—在震中位置上的震源深度；6—在剖面上的震源位置
(据P. L. Ward)

西藏羊八井地热田都曾记录到震源较浅的微地震。研究设在闽南热泉分布区的一些地震台站的记录,也曾发现一些可疑的高频震相。这些地区应是运用地震台网勘探地热的良好的试验场地。

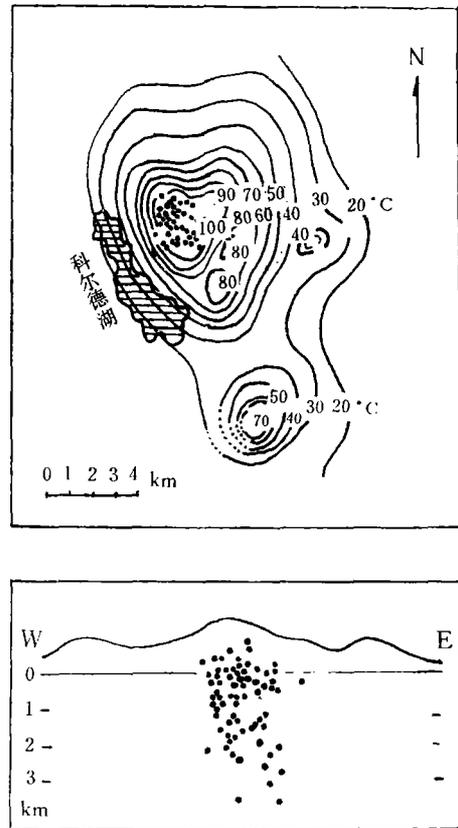
三、地壳和上地幔结构研究

对地壳和上地幔的研究,以往常采用人工地震波法,精度较可靠,但人工爆炸源投资较大。近年来发展起来的天然地震波法得到了较多的应用。此法是在研究区将微震台网按测线布设,利用各种天然地震波(体波和面波)探测深部地质结构和构造,具有经济简便的特点。

天然地震法测深又分反射波法(P_{11})、折射波法(P_n)和转换波法(PS)。反射波法多为区域地震台网和在地震活动区附近设置流动台网所利用。当震中距为80至120公里时,可见到地壳界面的地震反射波。在临界角附近的反射波具有能量大、振幅强的特点,对反射点附近的地壳界面反映灵敏,图纸记录清晰易辨。因此可用于测定平均速度(V)和地壳的厚度(H)。在有人工地震波速资料使用时,计算的精度可提高。用反射波法计算出的地壳厚度,北京地区为38.7公里,邢台地区为40公里,晋中南地区为38公里,闽东南地区为34公里,与人工地震波法所得结果近于一致。

天然地震转换波法测深,是利用远震,其对震源参数的依赖性较小。远区的地震发生后,地震体波入射到不同速度的界面,可产生波型的转换,如由 P 波转换成 PS 波,或由 S 波转换成 SP 波。地震仪既能记录到初至 P 波,同时也能记录到迟后的 PS 转换波。显然,初至波与迟后的转换波的时差与界面的深度是正比关系,与虚波速度成反比关系。对同一界面,当虚波速度不变时,时差的变化直接反映了界面的起伏。为获得较清晰的 PS 波,通常多选用 P 波较强的远距离的深震记录。野外探测剖面线设置一系列三分向的地震记录仪,台距一般为5至10公里,每个台点能获得3至5个清晰的震相记录即可使用。

转换波法比反射波法等尚具有分层较细,探测深度大的特点,还有可分能分辨出断距为数公里的深部断裂等。该法的主要技术工作,在于正确地辨认转换波 PS 震相,并要求获得工作区的速度参数(V_p 、 \bar{K} 值)。通过资料处理,得出各测点附近地区各转换界面的深度,经对比追踪相邻测点上各个界面,可得出沿线的剖面。分析从不同方位记录到的远震资料,又可得出一定范围内转换界面深度在面上的变化。图四为在京津地区,沿密云—宁河所作的转换波法测深构造剖面实例。

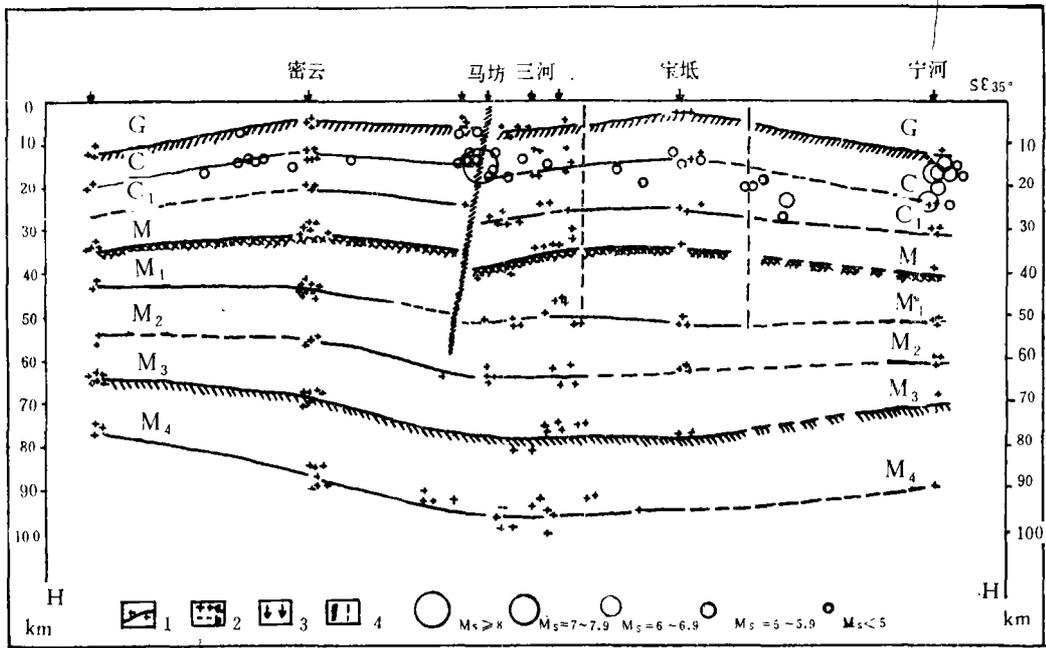


图三 箱根火山的群震

上图:震中分布与海拔0米上的地温分布,

下图:震源深度分布

(据:平贺)



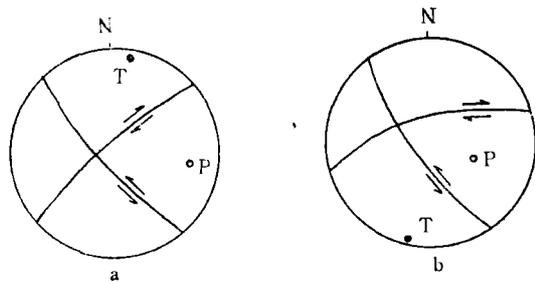
图四 京津地区密云至宁河转换波法测深构造剖面图
 1—转换界面；2—转换点（a 极性正常；b 极性异常）；3—测点；4—推测深部断裂
 （据邵学钟等资料）

四、应力场探讨

地震的发生，主要是地应力活动与组成地壳岩石抵抗能力之间矛盾激化的结果，是现今地壳运动的一种表现。地震发生前，地应力有一个逐步加强的过程，当其打破某一地区的岩石受力平衡状态时，应力的变化就通过这一地区的微地震表现出来。如果这种应力作用继续加强，达到足以控制一定范围的断裂活动，便可能形成这一地区的区域应力场。微震台网所记录到的若干微地震，将会带有该区应力场的作用信息。

应用地震波的动力学方法，做震源机制解并求出主应力作用方向，是研究震源机制的方法之一。震源机制解得出的主应力方向，与震前构造应力场的主应力方位，是否完全一致，早已为人们所争论。在现今技术条件还无法对较深部位进行地应力实测的情况下，以安艺敬一和李钦祖提出的方法，使用微震台网所获得一定范围内的地震资料，求综合断层面解，作为近似给出这一地区主应力的方向与断裂的活动方式，这对探讨工作区深部地壳的应力状态，研究构造应力场与重大工程场址的稳定性，尚是一项十分有益的工作。

微震台网所记录到的若干微地震，就某一个地震来讲，它的发生可能是一种随机现象。若将每个地震的震源参考球投影到一个震源参考球上，符号具优势分布，有一定



图五 微地震综合断层面解（上半球投影）
 a—鹏大半岛一带；b—大鹏至海陵一带；
 P—主压应力轴；T—主张应力轴

规律可循,采用双力偶震源模型,可得到节面解。那么,这种结果是有代表意义的,它的解即可代表研究区的应力场。

图五为微震台网在广东大鹏半岛工作期间,用微地震资料得出的综合断层面解,两个作法主压应力轴均为近东西向,反映出工作区断裂的现今活动方式,北东向断裂呈右旋顺扭,北西向断裂呈左旋反扭,这与广东东南沿海一带六个地震的震源机制结果一致,与附近矿山坑道的岩爆现象反应出来的主压应力作用方向相符。

除上述所介绍的几个方面外,微震台网在监测矿区勘探和矿山开采中巷道的塌陷,大型工程的山地滑坡及石油开采回灌注水而触发的浅源地震等方面,均有一定的成效。期望我国地质矿产工作在向地球深部发展的过程中,微震台网将会得到更广泛的应用。

(上接第30页)

市、区地质局都抓紧安排落实由区调队完成此项任务。截止目前统计资料:除江苏省及上海市区域地质志外,江西省于1982年10月完成;广西、福建、安徽、天津等四省、市、区计划一九八三年完成并提交公开出版审查验收;广东、湖南、陕西、吉林、甘肃、山西等六省计划一九八四年完成,其中大部分可提供审查验收;辽宁、贵州、湖北、浙江、河南、河北、北京、上海等八省、市,预计一九八五年以前完成;云南、青海、宁夏、内蒙等四省(区)分别计划于一九八六年至一九八八年完成;预计一九八九年底以前,全国二十九个省、市、区(不包括台湾)绝大部分均可完成并提交进厂出版。

系统地公开出版各省、市、区区域地质志在我国还是首次,建国以来,已经完成全国大多数地区的一比一百万至一比二十万区域地质调查工作,资料十分丰富。但是由于工作时间延续较长,不论在工作方法上、认识水平上和新理论、新技术的运用上都存在一定的差异,为适应国民经济建设、国防建设、科研教学等方面对区域基础地质的需求以及便于国际上的科学技术交流,促进地质科学的发展,都有必要对三十多年来的各种比例尺的区域地质调查成果进行系统地总结、分析研究,编制一套全国性的系统的区域基础地质的综合性著作。为了更好地全面反映各省、市、区现时地质研究程度及区域地质特征,在编制中除以本省、市、区一比二十万至一比一百万区域地质调查成果为基础外,要广泛收集各有关生产、科研、地质院(校)等单位的资料和研究成果。内容可大体包括:地层、沉积岩及沉积作用、岩浆岩及岩浆作用、变质岩及变质作用、地质构造、区域地质发展史及主要成果等部分。鉴于我国幅员辽阔,地质情况差异较大,在编制中各省、市、区可根据实际情况酌情增减和突出本区的地质特色,以文字著作为主,附必要的地质图件加以说明。因此,这套公开出版系列著作也可以说是我国广大地质工作者共同劳动成果的结晶,是反映建国以来地质工作重大进展和成就的著作,必将对国内外产生重大影响。

地质矿产部要求各省、市、区地质局认真抓紧抓好区域地质志的编制出版工作,不断吸取兄弟省、区的编制经验,在现有资料及当前认识水平的基础上提高质量,保证按时或提前全部完成任务,向建国四十周年献礼。

(简人初)