

土壤吸附相态汞量 在活断层研究中的应用

常秋君 何跟巧 郭玉英^②

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文用土壤吸附相态汞量对阿尔金、嘉峪关、龙首山、黄羊川、海原等断裂,自1986—1989年先后采样测试,其结果都是显示出断裂上方及其两侧汞量有异常高峰值,远离断层汞量迅速减低,断层活动程度不同而汞量浓度也有很大区别的特征。因此用测吸附相态汞量来研究断层活动性是可行的一种途径。

壤中吸附相态汞测量法研究活断层是近几年发展起来的一种新的地球化学方法。汞多来源于地壳深部或上地幔^[6],具有高挥发性和较强的穿透力以及垂直向上运移的特点^[6],当汞蒸气从深部沿着断裂及岩石裂隙向地表运移过程中,一部分被围岩、土壤吸收或吸附,另一部分沿断裂上升直达地表,弥散于大气中。由于断裂破碎程度、活动强弱的差异决定了汞量浓度大小,由此推断汞量浓度高低是判定断层活动性的标志(或依据)。

86—90年先后在阿尔金、龙首山北缘、黄羊川、冬青顶—土门、海原等断裂进行了活断层研究工作。并在作某些剖面壤中吸附相态汞的同时测了土壤中气汞和其他深部气体组分,经过对比其结果同步性、异常形态、范围与吸附相态汞基本吻合。主要表现在断裂带上方汞量有清晰的高峰异常值,远离断裂汞量浓度逐渐衰减降低或在异常下限上下变化。因此可根据这些特征分析断裂的强弱活动地段,从而引起了地学界的重视。

一、测试仪器及条件

用Jm—3型数字金膜测汞仪,最低检出限0.05ng Hg,最低灵敏度 2×10^{-3} ng/一个字。被测样品风干,去掉碎石、植被根茎,磨细,过160目矿样筛,称取20—50mg样进行测试。测试条件以氮为载气,压力0.25kg/cm²,流量0.15升/分,炉温260℃,加热时间5分钟。

二、测线剖面与采样点布设

测线剖面的选择条件,必须是横跨断层,测线尽可能垂直或近于垂直断层,对测线剖面布

* 地震科学联合基金资助项目

② 宋玉兰同志参加了室内部分工作

设的多少,是根据地质地貌环境和地球化学背景条件而定,一般对每条断层作2—7条剖面,可达预期目的。其剖面间距为1、3、5、4、16、18公里不等。剖面长500~4500米。采样点以断面处为起点,编号为0,跨断层走向依次向外展布,右方为2、4、6……号,左方为1、3、5……号。采样点在靠近断层附近,其间距较小,为5、10、20、30米,远离断层逐渐增大为50、100、150米,每条剖面采样15—30个,如破碎带宽可以更多些。采样深度30—50厘米,一般是50厘米。

三、背景值的确定

在资料分析的基础上,确定各区土壤吸附相态汞量的背景值和异常下限。其方法是将每一断裂剖面测试结果的低均值与远离断层两侧的工作区内各采10~15个样测试结果的均值划为基值(作为背景值),并将基值的二倍作异常下限。经上述分析处理所得各区断层吸附汞量结果是硝口地区基值为15ng/g,黄羊川地区基值20ng/g,红寺湖地区基值为28ng/g。

在几条活动断裂带上方汞量异常峰值均较突出,高出异常下限几倍甚至十几倍,而在活动弱的断层上,异常峰值显著降低仅略高于异常下限。因此作者将大于背景值几倍的峰值命为异常值,进行活断层研究。

四、活断层及其活动段的基本判据

Fursov等(1968)发现1966年塔什干地震区沿断层土壤气的汞气含量比无断层的基岩区高15倍。McCarthy等(1968)在内华达的Sheep Creek山脉的断层和断裂上发现空气中汞浓度较高。Netreba等(1971)在北高加索断层和断裂上发现土壤气中的汞最高。沿活断层富含着各种地球气体,这说明地壳内活断层可能有大的漏隙,那里地壳的物质多孔隙(容纳的流体多),且渗透率高便于气体向大气中散逸。另一方面,老断层带中流体的迁移路径可能由于变质作用、胶结和再结晶“愈合”过程被部分地关闭,从而没有显著的气体释放。活断层还可能是应变集中增强水与岩石的互相作用而产生某些大量气体的地方^[4]。汞具有高挥发性和强烈的迁移能力,沿着断裂和岩石裂隙向地表迁移,因而造成活动强烈的断层上汞浓度高,反者则低。无断层上的汞浓度接近基值。作者通过对土壤吸附相态汞地球化学背景场特征的测试研究,根据汞异常浓度高低把断层活动性分成4个等级。高峰异常值是基值的2—3倍为弱活动度,4—7倍为中强活动度,8—13倍为强活动度,14倍以上为最强活动度,并在判定活断层及其活动段方面获得了一些初步认识,这些认识对研究活断层及地震危险性分析有一定作用。现举几例:

1. 海源断裂—老虎腰岷至硝口

该段断裂由数条大致平行的逆断层和正断层组成,破碎带宽400—500米,总体走向北西,第四纪以来活动强烈,断层两侧地层均被挤压褶皱。晚更新世以来,以左旋水平滑动为主,导致山脊、沟谷均同向左旋肘状弯曲,微地貌变形现象十分普遍,并多处错断了全新世地层,因此它是一条全新世的活动断裂带,且现今仍有弱震频繁活动。

由于地形条件限制,沿该段断裂只作了三条吸附相态汞(又称热释汞)的测试剖面(图1)。剖面间距9及48公里,这里仅描述二条。

1线剖面8号测点及15号测点可能是断裂带的边沿,以此向外汞量测值迅速衰减变低接近基值(15ng/g)。由断裂影响带边沿向断层方向汞量急剧增高,断面及其两侧汞量异常峰值为40—270ng/g,最高峰值在断面上达270ng/g高出基值18倍,异常清晰,幅度大(图2—a)。

2线剖面在7、11、12测点汞量出现较大异常峰值,分别为195、95、76ng/g,断面上0号测

点及邻侧 1、3 测点出现更大的异常值,最高值达 210ng/g 为基值的 14 倍,异常高峰相当醒目(图 2—b)。

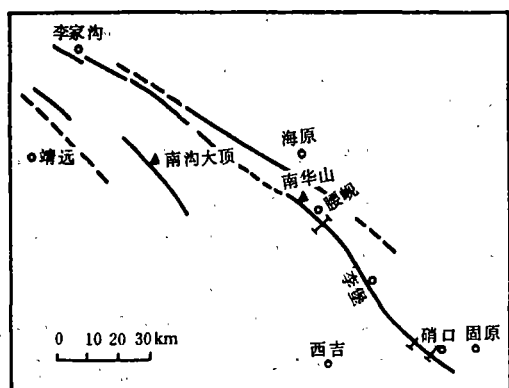


图 1 固原硝口测线剖面位置示意图 I—测线

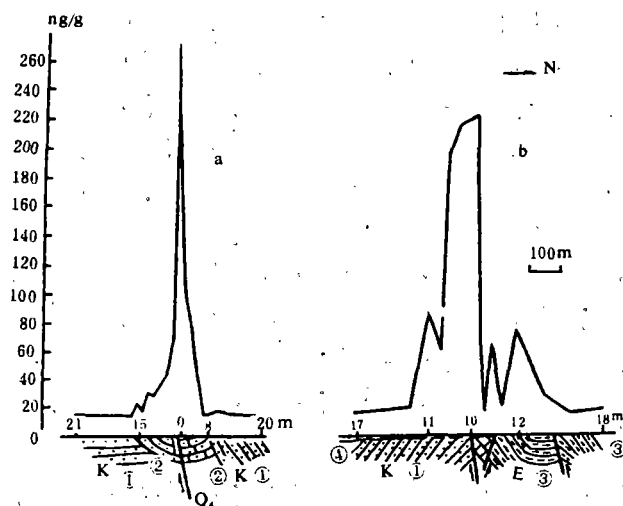


图 2 固原硝口 1、2 测线吸附汞量剖面

a—1 测线 b—2 测线

(1)—砂岩 (2)—砂砾石 (3)—泥岩 (4)黄土

断层是地球气体向大气运移阻力最小的路径,因而在断裂带上方汞蒸气异常浓度被地表土壤大量吸附而富集,使 1 线剖面最高,异常峰值大于基值 18 倍,2 线剖面大于基值 14 倍,因此该段断裂属于最强活动度。二剖面相比 1 线剖面(老虎腰峁)显然比 2 线剖面(香水泉)处活动性更强,这与微地貌现象的反映是相吻合的。

2. 黄羊川断裂—新开路弯至哈溪

黄羊川断裂西起冷龙岭向东可能与中卫—同心断裂相接,由一系列平行雁行的断层组成,总体走向北东东。该断裂活动强烈,切割了不同时期的地层、山脊、黄土丘陵及冲沟被错断的现象普遍,断头河、断层泉屡见不鲜。

该段断裂东起新开路弯西至哈溪长 50 多公里,黄土覆盖层较厚,局部地方达数十米,自 1 线剖面为起点向东布设了 4 条测线,剖面编号依次为 2、3、4、5,剖面距为 4.5、3.5、3.5、6 公里,向西布设了 2 条测线,编号 6、7,剖面距为 18、15 公里,

共 7 条吸附态汞量测线剖面(图 3)。现将代表性剖面分叙如下:

1 线剖面测试结果,4 号测点到 7 号测点为汞量异常区。4 号测点汞量比所有测点都高,测值为 280ng/g ,高于基值(20ng/g)14 倍,异常清晰、幅度大,而设在断层上方的 0 号测点汞量仅有 76ng/g 。经过地质证实离 1 测线东约 100 米处有明显的断面,经探槽揭露在 4 米深处断面呈阶梯状并通过 4 号测点,所以是异常值高的主要机制,其他远离断层的测点汞量几乎接近基值

(图4-a)。

2线剖面汞量测试结果其异常形态、范围与1线剖面相似,断裂上方汞量异常峰值高达226ng/g,高出基值11倍,远离断层的测值在基值中变化(图4-b)。

6线剖面,在断层两侧加密测点,点距为5米,测试结果,汞量异常值集中在5至10号测点之间的狭窄范围。断层上方0号测点汞量达126ng/g,是基值的6倍,断层两侧汞量迅速衰减变低,在基值线的上下波动(图4-c)。

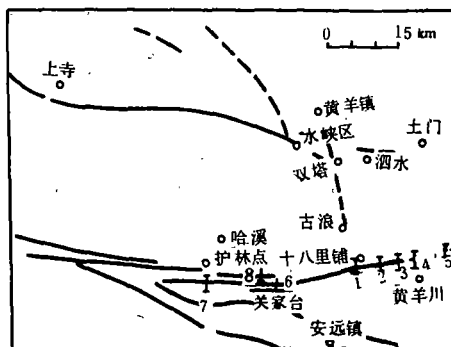


图3 古浪地区测线剖面位置示意图 I—测线

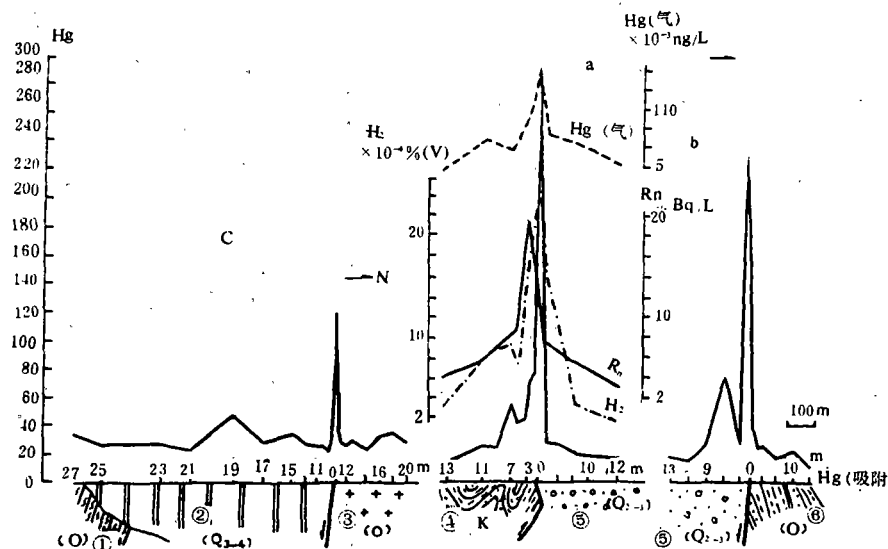


图4 古浪黄羊川断裂1、2、6测线吸附汞量剖面

a—1 测线

b—2 测线

c—6 测线

- ①灰黑色板岩 ②黄土 ③黄红色花岗岩、硅质岩 ④暗紫色泥岩、砂岩
⑤砾石层 ⑥灰绿色板岩、砂岩及火山岩

1线剖面现场还测试了壤中气汞量,采样送实验室测试了 R_n 、 H_2 ,其结果和吸附态汞有同样异常形态,均在断面上的4号测点出现高值,远离断层逐渐变低(图4-a)。这些特征显然与

断层活动有着一定的关系。

黄羊川断裂 1—7 剖面汞量异常高值依次为 280、226、83、76、70、116、46ng/g, 高于基值 14、11、4、3.8、3、6、2 倍, 将 7 条剖面异常高值和低值作纵座标, 测线距作横座标, 由西向东划图作比较, 1 测线汞量异常值最高, 向东向西两侧逐渐减低, 而几条剖面汞量最低值相差甚小(图 5)。由此可见 1、2 测线是断层活动最强地段, 5、7 测线地段活动明显减弱。活断层研究结果支持了本文的分析。这表明, 同一条断裂的不同地段具有活动强烈程度的不同, 也说明在有覆盖层的断裂地带汞浓度同样随断裂活动强弱而变化, 活动强的断裂比活动弱的断裂及非断面上的土壤中含有更多的 Hg_0 、 Hg_2Cl_2 、 H_4CL_2 。

3. 龙首山北缘断裂—山丹红寺湖段

该断裂由数条大致平行的断层组成, 总体走向北西 $60-70^\circ$, 倾向南西。震旦系由南向北冲覆于第四纪砾石层上, 断裂破碎带宽达数十米, 断层南侧的山地与北侧的小盆地高差 300 米, 沿线多有泉水溢出。东段断层切割了全新世地层, 1954 年山丹 $7\frac{1}{4}$ 级地震发生在此断裂附近。

沿该段断裂布设了二条测线剖面, 测线距 1000 米(图 6)。1 线剖面汞量测试异常值集中在 3、4 测点之间, 最高异常值在 0 号测点南 20 米处的 1 号测点, 为 243ng/g 比基值(28ng/g)高 8.7 倍, 同时该剖面现场测试了壤中气汞, 实验室测试了气 R_n 、 H_2 。除 H_2 外, R_n 、气汞异常高值均在 1 号测点(图 7-a)。经探槽揭露在 1 号测点下方有明显的断面, 导致汞量比其他测点高, 表明断面处地裂缝最利于断层气向地表运移。

2 线剖面汞量测试结果异常峰值集中在 5、8 测点之间, 并形成明显的双峰型, 高峰异常值为 244、226ng/g 高出基值 8.7 倍和 8 倍, 异常值位于断层上方(图 7-b)。上述二剖面汞量异常峰值大于基值的 8—8.7 倍, 证实该段断裂活动性强, 这一结果与前人龙首山断裂带研究十分一致。

4. 长期以来无明显活动的断层

作者通过吸附态汞量测试结果, 认为汞浓度在 2 倍基值(异常下限)上下波动是属于无明显活动断层。如: 阿尔金断裂东北段赤金峡段(图 8), 进行汞量测试结果, 异常峰值略高于 2 倍基值, 其他测点汞量与基值基本一样(图 9)。说明汞没有丰富来源, 证实该段断层无明显活动。

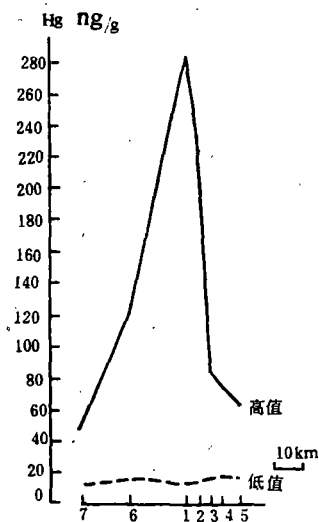
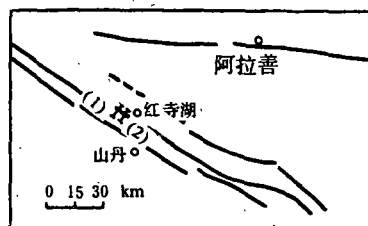


图 5 黄羊川断裂各测线吸附汞量高值比较图



⑥

图 6 红寺湖段测线剖面位置示意图

I — 测线

这与地震地质分析结果是一致的。又如与黄羊川断裂平行的抑条沟南断裂,进行化探测试,在长 4500 米,点距 100 米的剖面上(图 3—测线 8),除 20 号测点出现汞量异常值略高于 2 倍基值,其余测点汞量都小于 2 倍基值,总的趋势是汞量浓度低、异常幅度小(图 10)。显然该断裂活动程度弱或处于稳定状态,这一结果与地质解释表现出了明显的一致性。

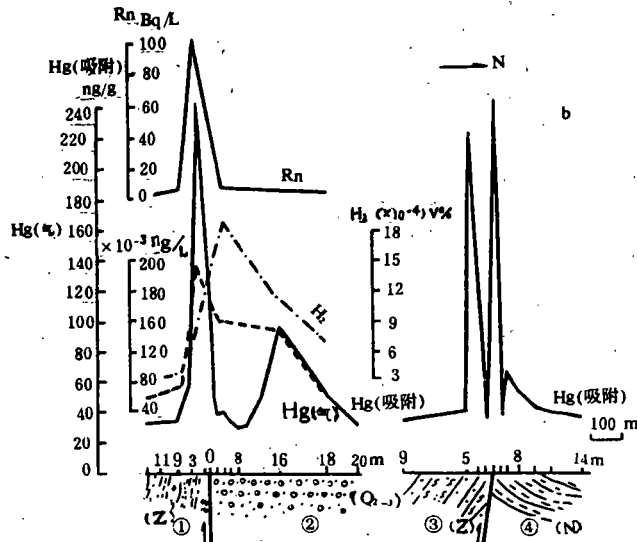


图 7 龙首山北缘断裂山丹红寺湖 1、2 测线吸附汞量剖面

a—1 测线

b—2 测线

①灰白色大理岩夹黑色泥岩 ②砾石层 ③灰色变质砂岩夹片岩 ④灰绿色、紫色泥岩

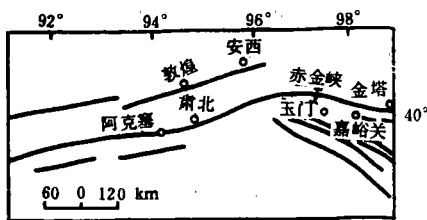


图 8 赤金峡段测线剖面位置示意图

I—测线

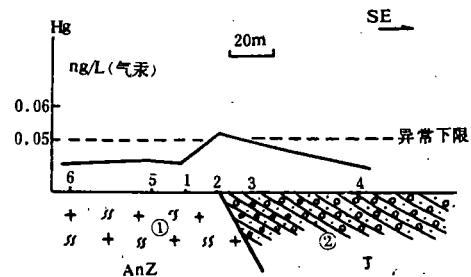


图 9 阿尔金断裂东北段赤金峡测线汞量剖面

①混合花岗岩 ②砾岩

苏联学者 B. 3 富尔索夫提出深断裂带上方有汞蒸气的异常浓度,在地震活动频繁的深断裂带上方,汞蒸气浓度最高,汞蒸气浓度随断裂带地震活动的变化而变化^[1]。经对海原断裂,黄羊川断裂、龙首山断裂带上方汞浓度高的研究,表明它们现今活动强烈,这与地震地质分析,地震活动性分析结果完全一致。考虑到在其他条件大体一致情况下,根据吸附汞量与变化梯度对上述三条断裂作一比较(表 1),海原断裂老虎腰岷段汞含量大于基值 18 倍,1920 年发生 8.5 级地震,现今仍有弱震频繁活动。黄羊川断裂十八里堡段、龙首山断裂红寺湖段汞含量分别大于基值地震,现今仍有弱震频繁活动。黄羊川断裂十八里堡段、龙首山断裂红寺湖段汞量含

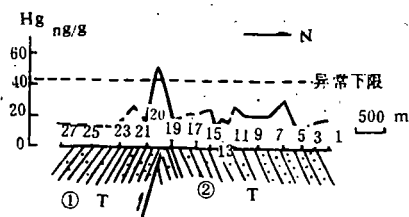


图 10 古浪地区晚更新世断裂 8 测线吸附汞量剖面

(1)——灰黄色砂岩

(2)灰黄夹白色硅质较高的砂岩

量分别大于基值 14 和 8.7 倍,两断裂分别于 1927 年和 1954 年发生过 8 级、7 $\frac{1}{4}$ 级地震。从而可以得出海原断裂带其中以老虎腰岷段活动性最强,其次是黄羊川断裂十八里堡段和龙首山断裂红寺湖段。按照 B. 3. 富尔夫的观点反推,上述三条断裂较深应是地震危险性较大的区段。

表 1 活动断层汞量异常值比较

断裂名称	汞量异常高值	断层滑动速率 mm/年	地 震
海原断裂老虎腰岷段	大于基值 18.倍	Q.5—7	1920 年海原 8.5 级
黄羊川断裂十八里堡段	大于基值 14 倍	Q.3.5—4	1927 年古浪 8.0 级
龙首山断裂红寺湖段	大于基值 8.7 倍		1954 年山丹 7 $\frac{1}{4}$ 级

五、几点认识

1. 同一条断裂的不同地段具有活动强弱的差异。从上述剖面测试也明显的得到证实,活动强的地段汞量有清晰的异常高峰值,活动度弱的地段异常幅度有微弱显示。

2. 长期以来无明显活动的断裂段汞量异常值低、幅度小。

3. 在断裂面上的土壤比非断裂的土壤含有更多的 Hg^0 、 Hg^+ 、 Hg^{2+} ,因此可以借助这一方法对隐伏断裂的存在进行判断性的研究。

利用土壤吸附相态汞量研究活动断层,我们做了点工作,目前还存在些问题需今后实际工作中加以提高和完善,但用该方法研究断层的活动性经地质验证是可行的一种途径。

廖元模、万夫领、王多杰同志参加了野外考察。本文在撰写过程中得到了廖元模、万夫领同志的支持,在此一并致谢。

参考文献

- [1]金仲芬等,汞量测量监测预报地震的前景,地震,NO. 5. 1987.
- [2]魏柏林等,从测定壤中的气汞量来研究活动层,地震地质,V01. 10,NO. 2. 1988.
- [3]张必敖、何跟巧等阿尔金断裂东北段断层气体的初步研究,西北地震学报,V01. 9,NO. 2. 1987.
- [4]金继宇著,郭永昌译,应用于地震预报的气体地球化学,世界地震译丛,NO. 5. 1989.
- [5]张伟等,水文地球化学地震前兆观测与新与灵敏组分的探索,地震,NO. 5. 1987.
- [6]朱炳球等,汞量测量在地热勘查中的应用,勘查地球物理勘查地球化学集,地质出版社,第 7 集(中国地热物化探专辑)
- [7]汪成民、李宣瑚,我国断层气测量在地震科学研究中的应用现状,中国地震 V01. 7. NO. 2. 1991.