

# 地球化学方法控制性探测城市隐伏断层

姚道平<sup>1</sup>, 许仪西<sup>1</sup>, 张永固<sup>1</sup>, 卓群<sup>2</sup>, 张艺峰<sup>1</sup>, 付萍<sup>1</sup>

(1. 厦门地震勘测研究中心, 福建 厦门 361021; 2. 厦门市地震局, 福建 厦门 361001)

**摘要:** 隐伏断层是城市的潜在威胁, 地球化学方法探测隐伏断层是较为成熟的手段, 但是城市的环境较为复杂, 干扰因素较多, 增加了探测难度。通过实验区探测, 确定测区土壤中汞气含量异常的判断下限, 并采取一系列质量保障措施, 增强了异常的可靠性。经浅层地震探测验证, 本次化探有效异常点达 82%, 所推测的断裂分布位置与浅层地震勘探所探测的断点一致性较高。

**关键词:** 地球化学探测; 隐伏断层; 化探异常

**中图分类号:** P632

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2009)05-0548-04

大量震例表明, 地震灾害主要是由地下的活断层突然加速错动所导致的直下型地震引起的。活断层不仅是产生地震的根源, 而且地震时沿断层线的破坏最为严重, 人员伤亡也明显大于断层两侧的其他区域。随着社会的发展, 城市化进程的加快, 城市各项基础设施和重大生命工程的建成并投入使用, 以及各类工业和民用建筑物的大量涌现, 大地震给城市造成的各种损失也将成倍的增加, “5.12”四川汶川大地震巨大的能量给震中区毁灭性的打击, 震撼了全世界, 这就是最深刻的震例。随着城市建设, 大多断裂将隐伏在道路和高楼等混凝土下, 对防震减灾也提出了更高的要求。

地球化学方法应用于隐伏断裂探测已有近半个世纪的历史, 尤其是土壤中汞气含量探测, 已形成了相对成熟的野外环境条件下隐伏断裂地球化学探测技术方法和理论体系。与野外探查环境相比, 城市环境中最大的特点是存在地面和地下建筑物、回填土、垃圾(场)、废物、废水排放等, 它们不仅给地球化学探查工作的实施造成困难, 而且也是重要的干扰因素。国内外已在城市或城郊环境中进行过一些隐伏断层地球化学探查工作, 积累了一些初步的探测经验<sup>[1]</sup>。

## 1 理论依据

汞(Hg)是一种具有特殊物理、化学性质的元素, 是自然界常温下唯一呈液态的金属, 具有较高的电离势、显著的挥发性和极高的蒸汽压, 渗透性极

强<sup>[1]</sup>, 不易氧化, 却易从各种化合物中还原成自然汞。

汞气来源于地球深部, 是深部脱气的产物, 也是地幔物质长期分异过程中所发生的蒸馏作用的产物。在深部条件下形成的汞气在压力和温度梯度的作用下, 沿着断裂破碎带向上运移, 是汞气迁移的主要方式。汞在向地表扩散、运移的过程中会在土层中形成特有的吸附晕以及游离汞气晕。所以通过测量土壤中的汞气含量, 圈定其异常范围, 可以判断和确定隐伏断裂的平面位置。

国内外大量研究资料证明, 利用氩(Rn)、汞(Hg)、氦(He)的含量变化来探测断裂构造是极为有效的。氩的观测仪器较为复杂, 难以在野外操作, 其他两种气体的测量仪器较适合野外作业, 而且测量结果准确可靠<sup>[1]</sup>, 通过对比最终采用测试土壤中汞气的方法。

## 2 工程实例

漳州市区域活断层控制性地球化学探测是漳州市活断层探测与地震危险性评价手段之一。通过在目标区范围内布设垂直于断层走向的测线, 大致确定隐伏断层的平面位置, 目的是缩小地球物理探测的目标靶范围。

### 2.1 技术思路

(1) 通过对地质、地震、卫星遥感影像、航片的分析、解译, 初步了解了目标区断层分布的实际情况, 在目标区范围内布设探测测线。

(2)发现异常后布设辅助测线或加密点,辅助测线平行于原有测线,距原测线一定距离,加密点间距为5~10 m。

(3)异常值的判定采用数值分析法,分别求出各测线观察系列的均值 $\bar{X}$ 和均方差 $\sigma$ ,取 $\bar{X}+n\sigma$ 作为异常下限值,凡超出阈值者定为异常。

(4)为了合理地确定 $n$ 值的大小,在工作前期开展了试验测试,并根据数值分析法对断裂位置所对应的点进行异常反推,从而确定 $n$ 的取值。

## 2.2 测试仪器

(1)汞气含量采用XG-4型数字式测汞仪测试。

(2)根据冷蒸汽原子吸收原理设计而成的,利用金汞齐化技术,将大气、岩石、土壤、水中的微量汞富集于专用的金丝捕汞管中。然后将捕汞管高温加热,使吸附在金丝上的汞气化后成汞气,抽入吸收室,通过光电转换,由数字表头直接读出吸收光度 $A$ 的峰值。

(3)该仪器稳定性好,抗干扰能力强,基线漂移 $\leq 0.005 A/30 \text{ min}$ ,汞的检出限 $\leq 0.01 \text{ ng}$ ,精密度 $\leq 5\%$ 。

## 2.3 测线布置

控制性壤中汞气测量是在整个工作区范围内进行大范围的扫描,选择在较开阔、无污染、土壤性质基本一致的地段布设,测线尽可能垂直推断隐伏断层走向布设,测点间距为20 m,遇障碍可视实际情况调整间距或平移测线,以不遗漏异常为准则,漳州市区测线布设如下:测线10条,总长度40 km,其中布设在九龙江西溪断裂带( $F_1$ )上控制性测线4条,共26 km;布设在珠坑断裂带( $F_2$ )上控制性测线2条,4 km;控制岱山岩-玢坑断裂( $F_3$ )的测线有2条,4 km;控制古塘一大梅溪断裂( $F_4$ )的测线有2条,6 km。

## 2.4 质量保障

(1)野外工作前,对捕汞管进行高温净化,避免残留汞对测试值的影响。

(2)对仪器进行标定,根据饱和汞浓度和温度关系表算出注入的汞量,给出汞量与仪器 $A$ 值的标准工作曲线。

(3)为减小人员和气象误差(气温、气压、地温和湿度),野外采集的样品均由固定人员在当天完成室内测试工作。

(4)本次探测正临盛夏,不同场地条件、时间段地表温差均较大,为减小温度对测试结果的影响,对每个采样孔实测温度,分析时根据温度-汞气影响关系表进行数值修正。

(5)为避免异常受非汞因素干扰,在确定异常之前对高值点进行加密复测,并对污染源排查。

## 3 数据分析

### 3.1 试验区探测确定 $n$ 值

试验区布设在厦门地区,经过野外的数据采集、测试、计算,得到试验区的汞气含量测试数据。在已建立的模型基础上,分别取: $n_1 = 1.5$ 、 $n_2 = 2$ 、 $n_3 = 3$ 来模拟判定测区的异常点。

根据统计结果(表1)显示, $n = 1.5$ 时,异常点相对数较多; $n = 2$ 时,异常点数合理; $n = 3$ 时,异常反映较少。当 $n = 2$ 时所反映的线性异常明显,且与推断的断裂位置、走向大致吻合,因此,该区域确定 $n = 2$ 作为汞气反应异常的下限值。

表1 各测线壤中汞气含量数据统计一览

| 测线编号 | 测线长度<br>m | 均值<br>ng/L | 异常点数/个    |         |         |
|------|-----------|------------|-----------|---------|---------|
|      |           |            | $n = 1.5$ | $n = 2$ | $n = 3$ |
| XM1  | 980       | 0.057      | 1         | 0       | 0       |
| XM2  | 700       | 0.110      | 4         | 1       | 0       |
| XM3  | 1060      | 0.110      | 3         | 3       | 2       |
| XM4  | 520       | 0.057      | 4         | 3       | 1       |
| XM5  | 1040      | 0.110      | 3         | 2       | 2       |
| XM6  | 580       | 0.057      | 5         | 3       | 1       |
| XM7  | 1040      | 0.110      | 3         | 2       | 0       |
| XM8  | 520       | 0.110      | 2         | 1       | 0       |
| 合计   | 6440      |            | 25        | 15      | 6       |

### 3.2 测试数据分析

#### 3.2.1 数据分类

研究表明土壤中汞气含量与气温、地温、气压、土壤类型、土壤湿度以及各种污染源等有一定的关系,因此,判断土壤中汞气含量异常时,需要综合考虑各种因素对测试结果的影响,才能够较合理地对异常进行解释。

为了更好地对数据进行分析、解释,将所有测点归纳为以下几类:①低值点,低于平均值或平均值附近;②突跳点,高出平均值许多,未超出异常值上限,且邻近测点数值较低;③高值点,高于平均含量较多,接近异常值上限,且邻近点数值相对较高;④假异常,超过异常上限值,但邻近点数值都较低,加密测试数值也较低;⑤真异常,超过异常上限值,且邻近点数值也较高,加密测试数值仍然超出异常上限值或数值较高。

对于低值点和突跳点均不予关注;对于真异常在排除受污染影响的前提下,进一步确认为异常点;对于高值点和假异常点有可能是遗漏异常点,将进一步分析并结合地质构造的情况来判断,或给出异

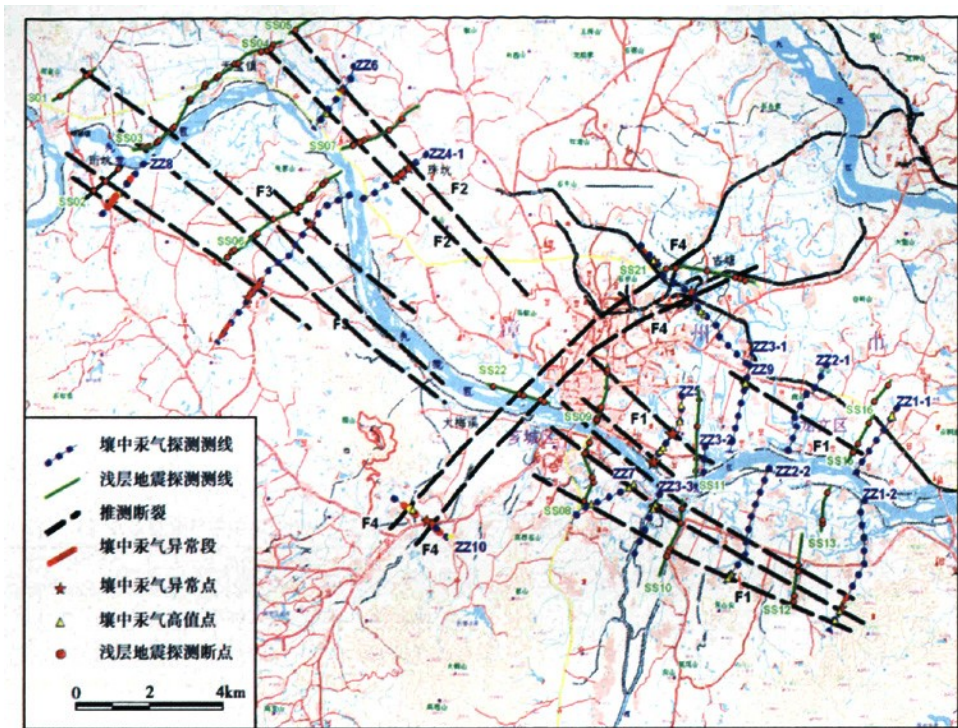


图 1 地球化学探测推断断层与浅层地震勘探断点位置

表 2 壤中汞气异常点统计

| 控制断裂         | 测线编号 | 测点数/个 | 高值点点号              | 异常段或异常点点号                              |
|--------------|------|-------|--------------------|----------------------------------------|
| 九龙江西溪断裂带(F1) | ZZ1  | 301   | 10,266,280         | 242~248,258                            |
|              | ZZ2  | 304   | 293~297            | 291                                    |
|              | ZZ3  | 301   | 49,50,217,219,224  | 51,222,223                             |
|              | ZZ4  | 400   | 4~8,18~23          | 33,45~49,62~65,290~295,301~319,368~390 |
| 珠坑断裂(F2)     | ZZ5  | 101   | 14,33,69,75,99,100 | 50,91                                  |
|              | ZZ6  | 102   | 45~48,74           | 39                                     |
| 岱山岩—疍坑断裂(F3) | ZZ7  | 100   | 1~5,14~16,66       | -                                      |
|              | ZZ8  | 100   | 58~75              | 33~35,77~88,94,95                      |
| 古塘—大梅溪断裂(F4) | ZZ9  | 200   | 95,100,162         | 122,159,185~187                        |
|              | ZZ10 | 102   | 1~5                | 22~42,59~63,70~78                      |

常可信度。

3.2.2 异常确认

对 10 条测线进行数值分析,以 2 倍均方差值作为异常下限判断标准,经实地勘察和加密探测,最终统计出符合异常标准的测点(段)达 23 个,27 个高值点(段)。对地球化学控制性探测异常点空间分布情况进行分析,异常点线性异常明显,主要呈北东向和北西向展布,成线性分布点 18 个,占 78%(表 2、图 1)。

3.2.3 汞气异常点与浅震勘测断点比较

近年来随着城市区隐伏断裂勘探和地下空间开发的需要,城市的高分辨率浅层地震勘探技术已得到较大发展<sup>[1]</sup>,并在国内外得到广泛的应用。笔者

通过对比汞气测量和浅层地震探测的结果,对汞气测量的可靠性进行分析。

本次浅勘测线的布设是在分析、处理和解译高分辨率遥感信息及区域地球化学探测等基础上布设的,主要为查明地下断裂的位置、性质和上断点埋深,为各隐伏断裂综合定位和活动性鉴定提供依据。在初勘阶段进行区域控制性探测时,共布设了 22 条浅层地震探测测线,总长度 42 km,经地震剖面解释,获得解释断点 150 个<sup>[1]</sup>。

漳州市活断层探测中,浅震和化探方法主要应用在控制断裂的走向和位置。由于浅勘测线为连续探测线,受到地形、地貌和地物的影响较大,一般尽量选择平直的路线,而汞气测量是单点测试,测线布

置较灵活,因此两类测线布设路线较少重叠。在对比2种方法探测结果时,主要对2种探测手段所判断出的异常点和断点走向和位置对比。

利用浅层地震探测断点对壤中汞气异常点进行对比验证,经统计有效异常点达82%,即汞气异常点所推测的断裂分布位置与浅震断点一致性较高,利用壤中汞气探测城市隐伏断层可满足要求。

图2截取了壤中汞气探测测线与浅层地震探测测线重合段进行比较,化探测线ZZ8的77、82、83、84、86号测点出现异常,所对应为浅勘测线SS02的断点,表明汞异常出现在基岩断裂的两侧,根据断裂的规模、倾向和断裂两侧土壤富集汞气条件不同,异常点分布会有所差别,有时可以在断裂的规模较大,则两侧将连续出现高值点或异常点。

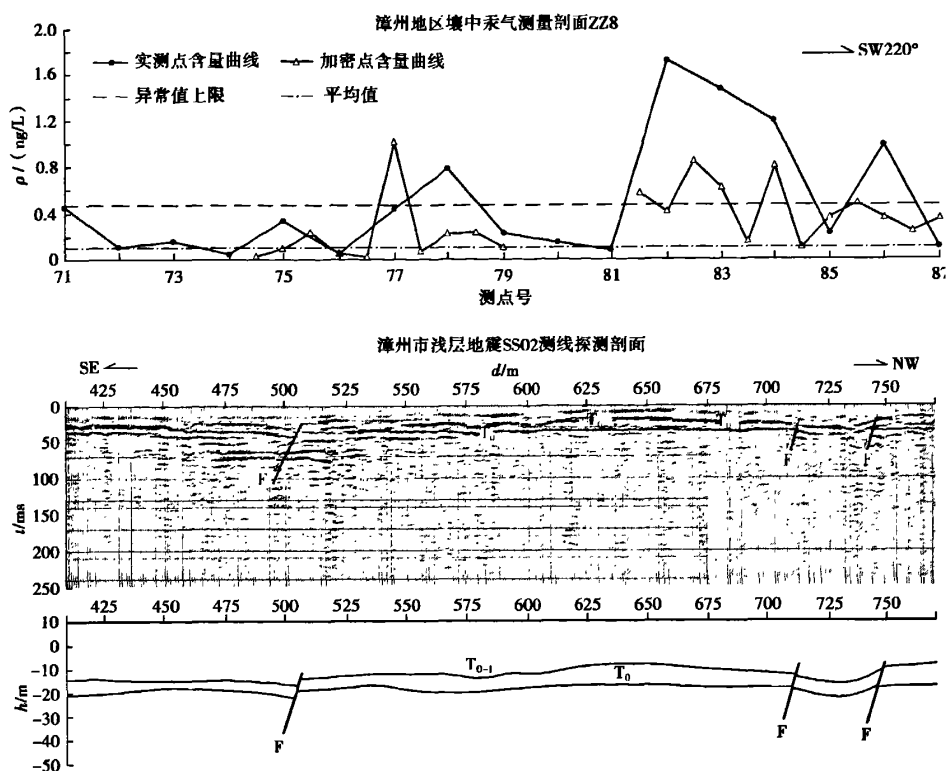


图2 壤中汞气异常点与浅层地震勘探成果比较

排查,结合地质构造的特征,合理确定异常。

#### 4 结语

(1)测量土壤中汞气含量的方法灵活、简易,成本低,经广泛实践验证表明,该方法用于掌握隐伏断层分布是有效可行的,可以缩小探测目标范围。

(2)在人类活动较为频繁的城镇地区利用地球化学方法等干扰因素增多,因此在探测城市隐伏断裂时应采取合理的分析方法,测线应尽可能避开新扰动场地,采取必要质量保障措施。

(3)采用数值统计方法来判断异常下限是可行的,由于区域地球化学背景值因地而异,判断异常的下限应根据该区域的实验数据获得。

(4)由于地球化学探测方法受外界干扰因素较多,在判断异常时,除了对高值点或异常点进行补测排除干扰外,还应该对异常点周边土壤进行污染源

#### 参考文献:

- [1] 朱金芳,谢志招,曲国胜,等. 闽南地区城市活动构造与地震[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [2] 王道,张元胜,张洪斌. 乌鲁木齐市城区隐伏断层地球化学探测[J]. 内陆地震,1999,13(2):143.
- [3] 王广才,王基华,刘成龙,等. 福州市隐伏断层地球化学试验探测及研究[J]. 地震地质,2002,24(4):593.
- [4] 汪成明,李直翔,魏柏林. 断层气测量在地震科学中的应用[M]. 北京:地震出版社,1991.
- [5] 蔡仲琼. 富蕴地震断裂带的气体地球化学探测[J]. 内陆地震,2000,14(4):209.
- [6] 赵琦,陈桐君,沈前斌,等. 涪陵、万州隐伏断裂的物化探异常特征[J]. 物探与化探,2008,32(8):247.

下转 568 页

## THE DISTRIBUTION OF NUTRITIVE ELEMENTS AND POLLUTION ELEMENTS IN THE CHONGQING SECTION RIVER CHANNEL OF THE YANGTZE RIVER AND AN ANALYSIS OF THE PALEOGEOMORPHOLOGY

ZHAO Qi<sup>1</sup>, CHEN Tong-jun<sup>2</sup>, SHEN Qian-bin<sup>3</sup>, LI Yan-long<sup>4</sup>

(1. Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Chengdu 610081, China; 2. No. 404 Geological Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Xichang 615000, China; 3. Geophysical Exploration Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Chengdu 610072, China; 4. Panxi Geological Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Xichang 615000, China)

**Abstract:** Multi-objective geochemical researches of the Chongqing economic zone along the Yangtze River show that the Yangtze River channel is a fertile soil and a "gold river channel" with the enrichment of meta-alkaline plant nutritive elements and the development of famous and high-quality special local products. Nevertheless, the water system of this river section has high content of pollution elements (especially Cd). In ancient time, the river water in this section was once flowing backwards. In the Three Gorges and Zhenxi area of Fuling, there exist ancient dams, and in north of Wanzhou, ancient river channels are well developed.

**Key words:** plant nutritive elements; pollution elements; paleogeomorphology of the Yangtze River; Changshou-Wushan section of Chongqing City

作者简介: 赵琦(1943 -), 男, 汉族, 天津市人, 教授级化探高级工程师, 目前从事化探多目标应用的研究。

上接 551 页

## THE APPLICATION OF GEOCHEMICAL METHOD TO SURVEYING URBAN CONCEALED FAULTS

YAO Dao-pin<sup>1</sup>, XU Yi-xi<sup>1</sup>, ZHANG Yong-gu<sup>1</sup>, ZHUO Qun<sup>2</sup>, ZHANG Yi-feng<sup>1</sup>, FU Ping<sup>1</sup>

(1. Xiamen Research Center of Earthquake Reconnaissance, Xiamen 361021, China; 2. Xiamen Seismological Bureau, Xiamen 361001, China)

**Abstract:** Concealed faults constitute a latent threat to the city, and the application of geochemical method to surveying concealed faults has already become a relatively mature means. Nevertheless, the urban environment is rather complex, and the disturbance factors are numerous, which increases the detection difficulty. The authors determined the threshold of the anomaly through the surveying work in the experimental area, and raised the anomaly reliability through a series of quality guarantee mechanisms. The effective anomalous spots reach 82% in the geochemical survey, and there exists fairly high consistency between the inferred faults and the broken points detected by shallow seismic prospecting.

**Key words:** geochemical survey; concealed fault; geochemical anomaly

作者简介: 姚道平(1973 -), 汉族, 福建晋江人, 高级工程师。一级地震安评工程师, 主要从事地震安评、工程抗振等研究。