

宣汉气田的地气测量及其机理研究

杨凤根¹ 童纯菡²

(1. 南京大学地球科学系, 南京 210083; 2. 成都理工学院三系, 成都 610059)

摘要: 地气测量在反映金矿的深部盲矿方面, 取得了很好的试验效果. 为扩大应用范围, 在已知气田进行试验, 其结果能够反映 4 000 m 深的环状断裂构造, 异常位置在构造的垂直上方. 另外, 土壤中有 2 组微量元素异常, 间接指示了含气范围. 此外, 进行了多种扫描探针显微术观测, 发现采样器上沉积的物质是以纳米微粒及其集合体形式存在的, 为地气异常形成机理研究提供了证据.

关键词: 地气测量; 纳米级微粒; 油气田; 地气异常; 微量元素.

中图分类号: P632 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2000)01-0103-04

作者简介: 杨凤根, 男, 讲师, 1963 年生, 1999 年毕业于成都理工学院, 获矿产普查与勘探专业博士学位, 现从事核技术在地学及相关学科中的应用研究.

地气法对金属矿及构造的研究均取得了成功^[1~3], 考虑到机理相通, 所以对油气田发育的深部构造的研究, 以及评价油气田的存在也应适用. 但是能否到达数 km 的探测深度, 还存在疑虑, 需要试验. 1997 年笔者在四川省宣汉县已知气田上开展探索性工作, 内容包括以中子活化分析技术为基础的地气测量, 对遥感显示的小环体构造进行地面解释, 还研究了土壤中微量元素的分布; 此外, 应用原子力显微镜(AFM)、透射电镜(ATEM)对被上升气流迁移至地表的微粒形态及微区成分进行了观测、分析. 本研究工作是把地气测量作为新的非常规方法应用到油气田勘查评价中的一次试验, 同时对地气异常形成机理进行了研究.



图 1 四川省宣汉五宝场地区构造简图

Fig. 1 Structural sketch map in Wubaochang area, Xuanhan County, Sichuan Province

1. 背斜、复背斜; 2. 隐伏大断裂; 3. 环形构造

1 研究区及工作方法简介

(1)研究区地质. 成都理工学院遥感所杨武年等人^①通过遥感方法, 在川东万源—巫山地区共解译出与油气关系较为密切的褶皱构造 47 个、环形构造 35 个. 其中在宣汉县五宝场有一直径达 25 km 的大

环形构造 H10, 这一带被认为是一级气藏远景区. 紧邻 H10 南部有一个长轴为 3.5 km, 短轴为 1.3 km 的椭圆状小环形构造 H11, 为地气测量工作区(文中称宣汉气田), 如图 1 所示. 四川省石油管理局勘探队曾于 1995—1996 年在此小环体内打了一口深度达 4 500 m 左右的钻井(渡 1 井), 发现了工业天然气流.

(2)工作方法. 在工作区共布置了 4 条测线. 每条测线长度为 3 km 左右, 背景区地段测点间距为

收稿日期: 1999-01-18
基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 49673202); 国土资源部“九五”攻关项目(No. 9505201-1).
①杨武年. 四川盆地大巴山前缘万源—巫山地区遥感图像地质解译研究及油气远景预测: [科研报告]. 成都理工学院, 1998.

150~200 m, 在环形构造带上方为 50 m, 在环形构造内部为 100 m. 1 号、2 号、3 号测线布置在环体范围内, 4 号测线布置在环体外围地区.

野外工作中, 在测点上挖浅坑, 将地气测量采样装置埋入, 同时, 在坑底取 100 g 左右土壤样品, 部分测点还安置了作其他分析用样基. 经过约一个半月时间, 回收采样装置. 在埋、取采样装置过程中, 严格防止污染.

地气样及土壤样中元素质量浓度分析采用了中子活化分析技术(INAA). 中子辐照在中国核动力研究院反应堆进行, 中子注入量达 10^{18} 个. 用半导体高纯锗探测器 γ 能谱仪获取 γ 谱, 分批获得 La, Sm, As, Au, Sb, K, Na, Cr, Zn, Fe, Co, Sc 等元素质量浓度.

由于采样器上这些元素质量浓度很低, 大部分为 $10^{-8} \sim 10^{-11}$ g/cm³. 因此此次测量提高了测量灵敏度和精确度, 大于检出限的为有效数据. 同时, 为保证每批测试数据的一致性, 进行了质量监控. 将所得数据, 按每个元素绘制剖面图, 以便进行解释.

2 地气异常特征分析

2.1 地气异常特征分析

(1)地气异常反映了环状断裂带. 通过 INAA 分析得到了多元素地气异常, 把这些元素绘制成综合



图 3 宣汉气田地气法及含气指示元素研究成果

Fig. 3 Positive result of geogas prospecting and gas-bearing indicating elements, Xuanhan gas field
1. 钻井; 2. 环形构造; 3. 测线及测点; 4. 地气异常范围; 5. 含气范围

剖面图. 图 2 是 1 号测线多元素地气综合剖面图. 下面以 1 线为例进行解释. 首先求出剖面各元素的平均值($\bar{X}$)和均方差(σ), 将大于 $\bar{X} \pm 2\sigma$ 的值定为异常点. 在图 2 中可以看出, 在 50—52 点范围内, 出现了 As, Sb, Cr, Fe 等元素的增高异常; 在 36—41 点范围内出现 Au, As, Sb, Cr, Fe, Na 等元素增高异常(图中阴影区), 衬度为 2~3 倍. 同样的方法在 2 线的 46—50 点, 61—64 点; 3 线的 5—6 点, 15—20 点出现了多元素异常, 衬度为 2~3 倍或 2~5 倍. 4 线位于环体外, 各元素间数值没有一致的增高, 而是杂乱地起伏. 将这些异常区连接起来, 形成图 3 中的阴影区, 反映出与遥感解释小环体的边界近一致而范围稍宽的一个环状地气异常. 此异常反映了深部 4 000~4 500 m 的小穹隆张性断裂带.

(2)多次研究得到的资料表明, 地气异常与土壤中元素分布是不同的. 图 4 是 1 号测线土壤中与地气异常相应元素的质量分数分布, 可明显看出它们二者分布截然不同; 所以, 地气异常反映的是深部信息而不是地表土壤信息.

2.2 土壤中 2 组元素异常与含油气的关系

通过分析地表土壤中微量元素剖面(图 5), 可以看到, 有 2 组元素呈现不同的分布, 以 As, Hf 元素在气田内表现负异常; Fe, Sc, Zn 等元素在气田内表现为正异常. 异常边界是根据正异常的最低点及负异常的最高点, 统观几个元素后综合确定的, 它可能反映了油(气)水边界. 异常峰值只比背景值增高



图 2 四川省宣汉气田 1 线地气异常综合剖面

Fig. 2 Geogas anomaly in the prospecting line 1, Xuanhan gas field, Sichuan Province



图 4 四川省宣汉气田 1 线土壤中与地气异常相应元素质量分数分布

Fig. 4 Distribution of mass fractions of trace elements in soil with geogas anomaly in the prospecting line 1, Xuanhan gas field, Sichuan Province



图 5 四川省宣汉气田 1 线土壤中微量元素异常剖面
Fig. 5 Trace elements anomaly of soil in the prospecting line 1, Xuanhan gas field, Sichuan Province

或降低 20%~40%，是很微弱的，使用高精度的测试技术才得以将其分清。在 2 线、3 线同样存在这样的异常，而 4 线则是不规则的跳跃。因此，这 2 组元素实际上为含油气的指示元素。图 3 中用反斜线表示其含油气范围。

2.3 地气中微量元素存在形貌及成分观测
地气中的微量元素质量浓度已用中子活化分析



图 6 地气物质的形貌和微区成分微观观测

Fig. 6 Microscopic observations for features and compositions of geogas substance

测到，但它们呈什么形式存在，对研究机理而言是一个很重要的问题^[3]。为此，采用原子力显微镜 (AFM) 和透射电镜 (ATEM)，对地气中微量元素的形态、大小及微区成分分布进行研究。图 6a 是 3 线 4 号采样点的 AFM 照片，可以见到 $1\mu\text{m}\times1\mu\text{m}$ 范围上几十 nm 及合并成为几百 nm 的微粒。图 6b 是另一视域的情况，分布着几十 nm 及纳米颗粒首尾相联形成的纳米线。图 6c 是 1 线 34 号点的 ATEM 照片，见到 20~30 nm 颗粒串接又叠合的现象。图 6d 是 ATEM 的微区成分分析，显示出成分有 Si, Al, Fe, Ca 等元素。从这些照片中可以得出，地气中微量元素是以 20~30 nm 微粒形式被地壳中上升气流迁移。

3 地气异常形成机理的讨论

对于金及金多金属矿的地气异常形成机理，已有过一些讨论^{[4]②}。主要论点是地壳中存在上升气流^[5]，其成分主要为 N_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 等，在温度差、压力差的作用下垂直上升迁移。在成矿的熔融、结晶、热液活动等过程中，易生成成矿物质的纳米微粒，甚至成矿后的地热增温也可造成纳米微粒。这些微粒具有一系列特殊的物理化学性质，尤其是具有很强的表面活性和类气体结构，它们与上升气流相结合，形成垂直迁移。上升气流是载体，反映矿体元素富集的纳米微粒被迁移至地表甚至空气中。因此，可以通过地气测量来发现深部矿体或矿化。

②童纯菡,李巨初.地壳上升气流中痕量元素迁移机理研究:[科研报告].成都理工学院,1998.

油气田环形构造上方形成的地气异常,其机理与金属矿是一致的.不过金属矿是因为成矿元素纳米微粒的富集,而油气构造则是由于断裂构造与周围岩层之间存在压力差,这种压差使断裂带中上升气流流速加大,流量也随之增加,造成纳米微粒迁移数量也增加,从而在地表形成造岩元素及部分微量元素增高异常.它的衬度一般为 2~3 倍,而金属矿上的地气衬度可达 3~4 倍甚至 10 多倍.

钻探证实的宣汉气田埋深有 4 000 m,它的环状构造能被地气测量清晰反应,说明纳米微粒的迁移是长距离的,而且是在一个大深度中的积累效果.地表土壤中也可以产生纳米微粒,但相对大深度中积累的量而言是微小的,因此地气异常不会反映地表土壤情况而反映的是深部信息.至于土壤中微量元素出现了 2 组元素的异常,这与烃类物质微渗漏在土壤中次生蚀变有关,对于它们的形成过程还应作进一步研究.

最后,对热心帮助过我们的杨武年教授、秦会斌教授、顾宁教授、李巨初副教授、葛良全副教授表示衷心感谢.

参考文献:

[1] 童纯菡,李晓林.地气测量寻找深部金矿及金多金属矿的研究[A].见:贺振华编.理工科技新进展[C].成都:四川科技出版社,1996. 124~131

[2] 葛良全,童纯菡.隐伏断裂上方地气异常特征及其机理研究[J].成都理工学院学报,1997, 24(3): 29~35

[3] 童纯菡,李巨初.地气物质纳米微粒的实验观测及其意义[J].中国科学(D辑),1998, 28(2): 153~156

[4] 杨凤根,童纯菡.地气测量在宣汉气田上的应用[J].矿物岩石,1998, 18(3): 99~105

[5] Kristiansson K, Malmqvist L, Persson W. Geogas prospecting: a new tool in the search for concealed mineralizations[J]. Endeavour (New Series), 1990, 14 (1): 28~33

GEOGAS ANOMALY AND MECHANISM IN XUANHAN GAS FIELD

Yang Fenggen¹ Tong Chunhan²

(1. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210083, China; 2. Department No.3, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Geogas prospecting is an effective method for the location of the concealed gold deposit. In order to popularize this method, many experiments have been made in the known gas fields. The geogas prospecting has thus revealed the ring fracture structure 4 000 m deep and the location of the geogas anomaly above the ring fracture structure perpendicular to each other. In addition, two groups of trace element anomalies in the soil, indirectly indicate the gas-bearing range. Finally, several kinds of high-resolution scanning-probe microscopes have been employed to observe the geogas anomaly. The results show that the substance deposited on the collectors occurs in the forms of nano-scale particles and their aggregate, providing us with the evidence for the research into the mechanism of the geogas anomaly.

Key words: geogas prospecting; nano-scale particle; oil and gas field; geogas anomaly; trace element.