

金属矿气体地球化学测量技术新进展

崔熙琳¹, 汪明启¹, 唐金荣^{1,2}

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质调查局 发展研究中心, 北京 100037)

摘要: 气体地球化学测量方法由于气体的强穿透性, 可将大量的与深部矿化作用有关的物质携带到地表, 可直接或间接指示各种地质成矿过程, 而受到勘查地球化学的重视。经历数十年的发展之后, 气体地球化学测量在测量指标、方法及影响因素研究方面都取得了长足进展。特别是近年来由于分析技术提高, 使得很多超微含量的气体测定成为可能, 一些新的气体测量方法相继提出, 在寻找隐伏矿或盲矿方面获得了较好的效果。笔者对气体测量发展史、气体测量方法、指标及影响因素进行了简单总结, 并重点介绍了一种新的气体测量技术(SDP)的测量原理、使用方法及应用实例。

关键词: 气体地球化学测量; SDP 技术; 深部矿

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2009)02-0135-05

随着新一轮世界矿产勘查开发热潮的到来, 向新区和覆盖区要矿的呼声越来越大, 开发大测深的勘查技术已成为世界各国政府和各大矿业公司的共识。正是在这种背景下, 气体测量方法由于气体的强穿透性, 能够用于勘查隐伏矿而受到许多勘查地球化学工作者的重视^[1-2]。尤其是近年来随着分析测试技术的发展, 以及物质迁移机理的深入研究, 使得这种方法的广泛使用即将成为现实。许多事实已证明气体可直接或间接地指示各种地质成矿过程, 能快速地向上迁移, 将所携带大量的与深部矿化作用有关的物质带到地表, 在地表形成气体晕或离子晕。该方法探测深度可超过 1 000 m^[3-4]。

但是, 由于种种原因, 在相当长的时间内, 气体测量方法的主要应用领域为能源勘查(油气和铀)、环境监测、地震预报, 而用于金属矿勘查方面应用相对较少, 因此, 了解这方面的最新动态对资源勘查人员来说非常重要。

1 气体测量发展史

气体测量主要指土壤气体测量(Soil Gas Survey), 其研究历程大致可分为萌芽、发展和变革阶段。萌芽阶段: 20 世纪 30~50 年代, 德国(劳伯梅 G, 1929)和俄罗斯学者(索科洛夫 A B, 1933)用烃类异常进行找寻油气藏的研究^[5-9]。气体测量方法用于金属矿勘查则晚的多, 早期主要应用汞气测量

(Hawkes 和 Webb, 1962)。发展阶段: 20 世纪 60~80 年代, 由于测试技术的提高, 气体地球化学测量得到较大发展, 不仅测量指标扩大至 CO₂、Rn、He、Hg 和 CH₄ 等, 而且研究深度提高, 内容包括气体的运移机制及其影响因素(Rose 等, 1979)。但由于常规的气体测量技术不仅受到较多因素的影响, 而且找矿指标间接, 在实际找矿中应用相对较少。变革阶段: 20 世纪 80 年代, 气体地球化学测量进入了一个革新的发展阶段, 国外一些勘查地球化学家已不再局限于以气态形式存在的气体组分研究, 而进入了更加微观的研究领域, 即着重对气体所携带的物质(金属元素和有机物等)的研究, 提出了地气测量方法^[10]。但该方法由于形成机理不明, 且受捕集材料本底、分析技术及外界条件等多因素的影响, 西方国家在提出后不久就放弃了研究。进入 21 世纪, 隐伏矿勘查成为主要目标, 因此, 气体测量方法研究受到更多关注, 取得了新的进展。如澳大利亚土壤热解气体测量(Soil Desorption Pyrolysis, SDP)和加拿大的土壤烃类测量(Soil Gas Hydrocarbons, SGH)。

国内一直对金属矿气体测量方法的研究很重视, 但 20 世纪 90 年代以前主要集中在汞(氢)的研究上, 其后转入研究地气测量(或纳米物质测量)方法上, 并形成了独具特色的地球化学技术^[1, 11-13]。但总体来说, 除地气测量技术外, 国内常规气体测量技术研究和应用落后于国外, 体现在测量指标少、缺

收稿日期: 2008-09-17

基金项目: 863 计划“覆盖区隐伏矿地气地球化学探测技术研究”(2006AA06Z102)、中国地质调查局“覆盖区深穿透地球化学方法技术完善与标准建立”(1212010660402)项目资助

乏新思路和缺乏深度,迫切需要吸取国外经验,赶上世界先进水平。

2 气体测量指标、方法及影响因素

2.1 指标

目前,可应用常规气体测量的指标有 Hg、He、Rn、O₂、CO₂、H₂S、SO₂、COS、烃气等^[1,10,14],其中汞气测量研究比较系统,已作为各种覆盖条件下勘查多金属矿、金银矿、层状铅锌矿、斑岩铜矿、铁矿、汞锑矿等有效的找矿手段之一。氦气测量不仅在铀矿勘查中有重要的作用,在油气田、地热及工程地质勘查中也有很大的意义。苏联和美国已把甲烷、乙烷及其他烃气、烃氧化菌、土壤中的 ΔC (被土壤吸附的、在某一温度下可解吸的 CO₂ 气体)作为重要的油气找矿指标,应用这些指标已找到多处油气田。

弗里德里曾将与矿化有关的气体划分为 4 种类型:①在断裂带内与成矿物质伴生的气体——CO₂、H₂,烃类气体较少见,偶见氟氯烷和氨气;②硫化物氧化带内产生的气体——CO₂、H₂S、SO₂、少量的 CS₂ 及微量的 O₂;③由侵入体和热液对沉积物和有机物的热影响产生的气体——H₂、重烃类气体、CO₂;④由放射衰变和辐射产生的气体——Rn、He、CH₄、重轻类气体。

2.2 工作方法及影响因素

2.2.1 采样方法

从采样方法看,气体测量可分为主动式和被动式。

主动式采用人工抽气取样(土壤气),采样体积可控,是一种常用的采样方法。但由于土壤中气体含量低,直接取样分析困难,因此,一般采用浓集取样,如汞采用金丝管富集。主动法缺点是受外界条件(气候、植被、覆盖层性质等)影响较大,测量结果重现性较差。

被动式系采用某种装置让气体与捕集剂长时间接触,然后采用特殊方法,如热解释放气体,用仪器测定所捕集的气体总量。被动式采样存在取样体积无法控制、易受污染和需要 2 次野外作业,回收率难以保障等缺陷。

幸运的是,自然界存在天然捕集剂,土壤中的各种黏土矿物及有机物都是良好的天然捕集剂,因此,被动式气体测量可通过采集天然吸附剂(土壤),测定其吸附的气体来实现。这样做不仅降低了采样难度,而且可重复采样和分析,结果重现性大大提高,是目前常用的工作方法。

2.2.2 分析方法

气体地球化学测量样品分析需要专门的高精度

仪器来完成,目前常规测量指标所采用的分析仪器和分析方法见表 1。

表 1 常用气体地球化学指标测试方法

指标	仪器	常用方法
Hg	原子吸收测汞仪	土壤热解或金丝管预富集
Rn	测氡仪	主动法现场测定
CO ₂	CO ₂ 分析仪	主动法现场测定或土壤热解
碳氢化合物	GC-MS 质谱仪	土壤热解

2.3 气体异常特点

由于气体本身固有的特性有别于其他物质,故其形成的气体地球化学异常具有如下特点:

(1)穿透能力大。地下深部的各种气体由于压力和温度的驱动,在上覆岩层和疏松物中流渗和扩散,其能力是十分惊人的。例如汞、氦、烃气可以穿透几百米甚至上千米的上覆岩层和疏松层进入地表。气体良好的渗透和扩散能力是气体测量寻找深部矿产的物理基础。

(2)气体浓度低,异常衬值小。例如地表壤中气汞的强异常峰值只能达到 $n \times 10^{-7} \text{ g/m}^3$ 。另一些气体如 O₂ 和 CO₂ 等,异常衬度很小,有时只有 1~2 倍。这就要求气体测量仪器具有高的灵敏度或精密度,整个操作过程要有严格的防污措施。

(3)定位。由于气体迁移的机制主要是垂直向上迁移,所以气体异常的水平位移通常不大,可用于判定深部矿体大致的空间位置。

3 SDP 气体测量方法介绍^[15]

3.1 方法原理

土壤吸附气热解技术测量的是土壤黏土颗粒上吸附的挥发性化合物的微量组分。研究者认为,轻烃类挥发物很容易穿过厚层岩石而迁移。这些化合物中的大部分物质能到达地表,多数消散在大气中,只有少量的气体被吸附在土壤颗粒的表面,可以采用特殊方法测定到这种深部来源的气体。众所周知,岩石的不断地脱气是一种普遍的自然现象,是地质体沉积、变质并与地下水相互作用的结果;矿床和形成矿床的流体在化学性质上与其周围环境明显不同。当这种脱气作用形成的气流通过不同地质体时,可将不同组分(成矿组分)载入,造成矿床上方与区域背景气体信号之间存在某种差异(图 1)。尽管这种差异很微弱,但采用一种独特的测量方法(SDP),完全可以探测到这种微弱差异的信息。

3.2 采样方法

SDP 技术是通过表层土壤并分析其中气体组分来实现的。因此,作为 SDP 技术理想的采样点必须满足 3 个条件:①代表性好;②土壤在最近 5 年内没

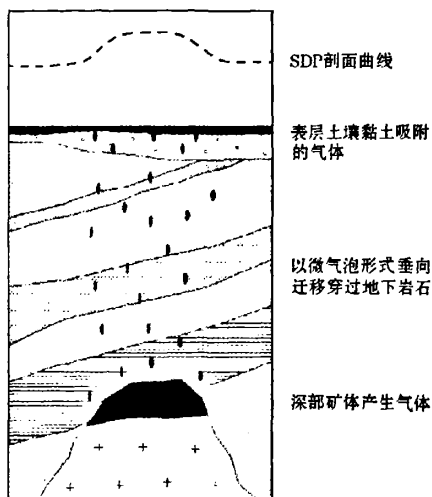


图1 深部矿体产生气体的迁移模型

有受到扰动;③没有受到污染。

每个土壤样品应该在大约 1 m^2 范围内,多点采集组合成一个组合样,以增加样品代表性。建议在采样点附近挖1条十字形的浅沟,然后在十字沟里多点取样。采样深度一般为 $10 \sim 15 \text{ cm}$ 。在干旱环境中,采样深度可稍微加深一点,为 $30 \sim 50 \text{ cm}$,但那里会出现浅层的碱性土壤结核,应避免直接采集这类土壤。采样时要特别注意,一个调查区采样深度要保持一致^[15]。

样品应收集并密封在塑料的样品袋中,最好是嵌压型的耐重型的聚乙烯型样品袋,不能使用布袋或者纸袋。采样前一定要尽可能地将袋中空气排出后密封。与过去采用的主动法或被动法相比,SDP技术不仅可以排除气候变化的影响,而且取样效率高,代表性能够控制,因为土壤作为天然吸附剂,捕集了相当长地质历史时期的深部信息,结果更稳定。

样品应该在野外预过筛,最好到 -80 目或者更细,这样有助于减小样品体积并分离有机物,如植物根系等。所需样品体积取决于黏土的成分。一般过筛之前,样品重 0.5 kg 就足够了,如果黏土贫瘠的土壤就需要加大采样量。

SDP样品制备的第一步是将土壤样品离心分离为 $0.2 \sim 2 \mu\text{m}$ 粒级。选择这样细的粒级理由有:①吸附作用与颗粒大小成反函数关系;黏土是良好的天然气体捕集剂;②细粒级黏土较之土壤本身变化小,有利于减少土壤误差。

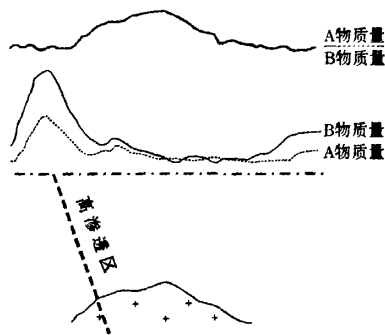
3.3 分析方法

黏土样品在 40°C 条件下烘干后,取 250 mg 于坩埚中,采用卤素灯加热至 450°C 热解 20 min ,采用

质谱仪同时测定 44 种化合物指标。包括脂肪烃和芳香烃、卤素及卤合烃、有机硫、羰基硫化物、 He 、 Ar 、 SO_2 、 H_2S 、 CO_2 。

3.4 数据处理

由于气体测量受到影响因素较多,其测量精度相对较低,直接采用含量表达结果效果不佳。因此,SDP测量结果采用比值表达。这样不仅可以消除环境影响的噪音,而且可以过滤掉断裂上方的渗出异常(图2),强化矿化体或目标体异常。



据 SDP Pty Ltd. 修编

图2 SDP测量结果比值表达示意

SDP研究者认为,任何一种单一的化合物很少能有效地指示矿(化)体的分布。这是因为在表层观察到的气流是经历过许多不同地质作用后的叠加,并不存在一种“魔弹”或单一化合物来识别隐伏矿。通过同时观察多种化合物,有可能确切地区别来自矿石的气体异常信号和无矿的背景信号。因此,SDP测量采用了一种特殊方法来处理数据,获得多指标的综合地球化学信息。因此,SDP测量采用了一种特殊方法来处理数据,即总量(SDP Sum)与计数(SDP Count),以更好地表达多指标的综合地球化学信息。

SDP总量是指一定模板条件下,所有指标异常衬值的和,具体计算方法:

$$\text{Sum}_{\text{SDP}} = \sum \left(\frac{C_p}{C_q} \cdot \frac{C_r}{C_s} \right),$$

其中, C_p/C_q 、 C_r/C_s 分别为 2 种化合物含量的比值。

SDP计数是指相同模板下,某个样品占总异常衬值比例,具体计算方法为:

$$\text{Count}_{\text{SDP}} = 1000N_i/m,$$

其中, N_i 为超过最大值的比值乘积的个数, m 为含量大于异常下限的样品个数。

广义地讲,SDP计数反映一个大的普查区是否存在异常,而SDP总量反映这个区域总体异常特征,如异常强度、规模等。

3.5 应用实例

勘查技术有效性可以通过在实际找矿中的应用效果来检验。对于研究隐伏矿的勘查技术来说,直接采用钻探方法来找矿成本非常昂贵。

3.5.1 实例 1——智利斯潘赛铜矿

该矿床为一斑岩型铜矿床,位于智利北方的安托法加斯塔东北 120 km 处,海拔 1 700 m,气候干旱。斯潘赛矿床掩埋在地下 40~100 m 富含盐地下水的运积砂砾岩中。矿床具有经典的氧化剖面:从下到上,硫化物→氧化硫化物→淋滤铁帽。

土壤气体地球化学测量在智利斯潘赛斑岩铜矿能够很好地指示出深部隐伏矿体(图 3)^[16]。从图中可以看到,SDP 总量较好地指示浅层氧化矿体分布,异常位置和范围与氧化带范围完全对应。东边的异常强峰值可能受到近地表物质的影响所致,这些物质包括烃、卤素、二氧化碳等一套气体物质。

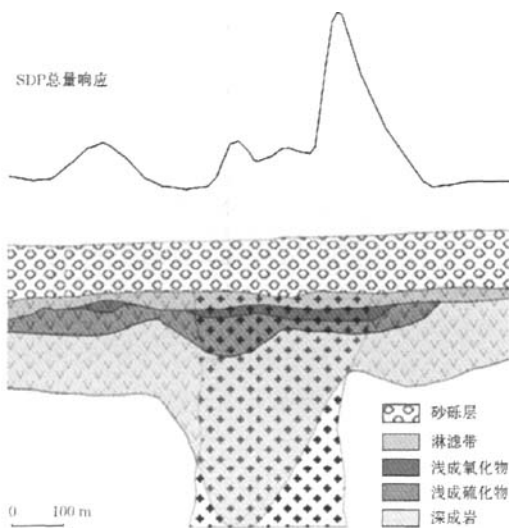
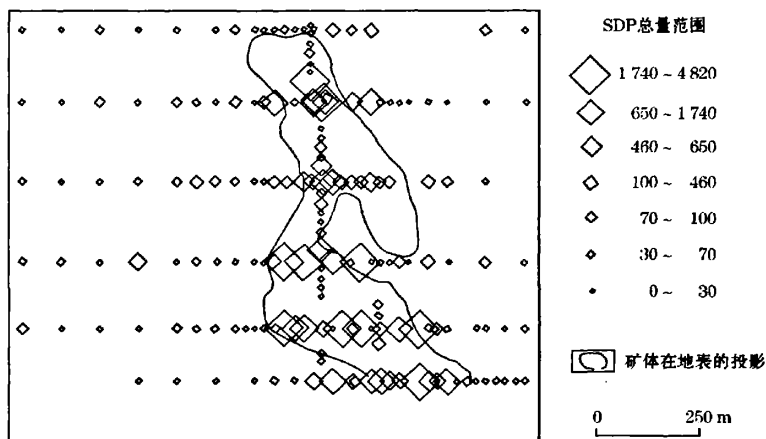


图 3 智利阿塔卡马沙漠斯潘赛铜矿上 SDP 剖面示意



据 Forrest M 修编,2006

图 4 利用普通模式对 Osborne 矿床上的 SDP 调查的数据处理

斯潘赛矿床最终是通过系统的反循环浅钻工程发现的。虽然新的地球物理和地球化学方法不能代替钻探,但是这些技术相对费用低、快速,因此,对于更快速地准确地确定钻孔位置有很大帮助,另外,这些技术的应用,可大大减少隐伏矿勘查的成本。

3.5.2 实例 2——澳大利亚 Osborne 铜金矿

该矿位于澳大利亚 Isa Block Eastern Succession 山的南端,为一铜金矿床,围岩为中元古代的石英岩和铁石,岩层被 30~40 m 厚的中生代沉积物所覆盖。矿区的西部和北部是含硫化物的薄层硅质矿带,并带有磁铁矿-黄铁矿这些与铁石有关的蚀变。东部主矿体是高品位、富含磁黄铁矿的硅质矿体。矿体覆盖层总厚度在东边约 300 m。

SDP 土壤调查点位分布见图 4^[15]。采样间距不规则,背景区为 100 m,接近矿化和在矿化上方分别为 50 m 和 25 m。气体测量结果采用斯潘赛床的标准模板处理,在 Osborne 矿床也得到良好的异常显示,说明在干旱地区,SDP 技术能够具有较强勘查铜金矿床的能力。

SDP 技术除了在上述干旱地区应用有效外,在温带气候条件下应用也获得了成功。尤其是在加拿大北极地区,SDP 技术被成功地用于金刚石的勘探。据 BHP Billiton 公司公开资料,使用 SDP 技术,结合选择性提取技术,将不含矿的金伯利岩与含金刚石的金伯利岩区分开的成功率达到 80%。

4 认识与建议

(1) 由于气体具有穿透性的特征,因此,气体测量具有寻找深部隐伏矿的独特优势,成为近期研究热点。特别是近年来随着分析技术的进步,国外出现了许多新方法(如 SPD)、新指标(烃类),并在应用方面获得了良好的找矿效果,值得国内学者借鉴。

(2) 应用上的成功并不能掩盖机理研究的不足。特别是金属矿床上方烃类等有机指标的形成机理及与矿体的关系需要深入研究。

(3) 我国在地气方面做了大量研究,但对常规气体研究缺乏创新。而国外气体测量关键技术目前仍处在严格保密状态,因此,建议国内研究机构应联合有机和无机气体分析实验室,借鉴国外的研究思路 and 成功经验,尽快开展这方面探索,为覆盖区矿产勘查提供新的方法和技术。

参考文献:

- [1] 汪明启,高玉岩,张得恩.地气测量在北祁连盆地找矿突破及其意义[J].物探与化探,2006,30(1):7.
- [2] 吴传璧,施俊法.上置晕与物质的“类气相”垂向迁移[J].地学前缘,1998,5(1-2):185.
- [3] 曹建劲.地气测量研究现状及其影响因素[J].物探与化探,2001,20(2):154.
- [4] 谢学锦,王学求.战术性与战略性的深穿透地球化学[J].地学前缘,1998,5(1-2):171.
- [5] 尹冰川.综合气体地球化学测量[J].物探与化探,1997,21(4):241.
- [6] Malmqvist L, Kristiansson K. Experimental evidence for an ascending microflow of Geogas in the ground[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1984, 70:407.
- [7] Kristiansson K, Malmqvist L. Evidence for nondiffusive transport of Rn in the ground and a new physical model for the transport[J]. Geophysics, 1982, 27:1444.
- [8] Kristiansson K, Malmqvist L. Trace elements in Geogas and their relation to bedrock composition[J]. Geoexploration, 1987, 24:517.
- [9] Kristiansson K, Malmqvist L, Persson W. Geogas prospecting: A new tool in the search for concealed mineralizations[J]. Endeavour, New Series, 1990, (1):28.
- [10] 施俊法,吴传璧.金属微粒迁移新机制及期意义综述[J].地质科技情报,1998,17(4):81.
- [11] 王学求.深穿透勘查地球化学[J].物探与化探,1998,22(3):166.
- [12] 任天祥,刘应汉,汪明启.纳米科学与隐伏矿藏——一种寻找隐伏矿的新方法、新技术[J].科学导报,1995,(8):18.
- [13] 刘应汉,汪明启,赵恒川,等.寻找隐伏矿的“地气”测量方法原理及应用前景[J].青海国土经略,2006,(3):41.
- [14] 张承亮.气体地球化学测量[J].地质科技情报,1986,5(3):187.
- [15] SDP Pty Ltd. Soil Desorption Pyrolysis——A new tool for exploration in covered terranes. [EB/OL] <http://www.sdpsoilgas.com/sdp/tech/Technology.html>, 2008-09-18.
- [16] Forrest M. Completely buried [M]. Material world, December, 2006.

NEW ADVANCES IN GAS GEOCHEMICAL EXPLORATION FOR METALLIC ORE DEPOSITS

CUI Xi-lin¹, WANG Ming-qi¹, TANG Jin-rong^{1,2}

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: A great challenge to economic geologists is the effective and quick locating of mineralization and the supply of basic areas for scientific drill hole arrangement. Great attention has been paid to gas geochemistry because gas can easily migrate through different overburdens and gas anomalies can indicate underlying mineralizations directly or indirectly. After decades of development, a significant improvement has been made in gas geochemical survey in such aspects as indicators, analytical and sampling methods, and data processing and interpretation. With the utilization of GC-MS as a routine analytical tool for gas analysis, the determination of a suite of ultra-trace level compounds with extremely low detection limits has become possible. In recent years, several new gas geochemical approaches have been developed in the Western Countries, which prove to be effective for exploring concealed or blind ore bodies. This paper has briefly summarized the development of gas geochemical survey, sampling and analytical methods, main indicators and factors related to gas survey. A new gas geochemical survey (SDP) technology is emphatically discussed in this paper in the aspects of the principle, applying and analytical methods, and case studies.

Key words: gas geochemistry survey; SDP technology; blind ore bodies

作者简介: 崔熙琳(1981-),女,在读硕士研究生,主要研究方向:勘查地球化学。