

文章编号:1001-1986(2003)04-0009-04

纳米探矿——用地气携带的纳米物质勘查隐伏矿

武 强,许爱忠,董东林,田宝霖

(中国矿业大学煤炭资源教育部重点实验室,北京 100083)

摘要:矿体周围广泛赋存着纳米物质,其可在地球排气的作用下从深部向地表迁移。在地表或地表附近可俘获这些纳米物质,这些纳米物质与矿体发出的直接信息密切相关。通过对其成分或聚集态等进行分析,可勘查隐伏矿。本文介绍了纳米探矿的应用现状和一些实例,探讨了该技术所存在的问题,并对今后的研究工作进行了展望。

关键词:地气;纳米物质;勘查;隐伏矿

中图分类号:P631 P622.1 **文献标识码:**A

1 引言

随着世界工业经济增长,矿产资源紧缺成为世界性问题。地表矿产日益枯竭,隐伏矿的勘查已日渐重要,但是隐伏矿的勘查则限于种种问题而进展不大。要改变这种状况,就必须拓展新领域^[1]。地球探测与信息技术科学在其发展过程中,不断吸收其他学科的理论和方法,并使之日臻完善且更具活力。纳米科技应用于地球探测与信息技术的前景广阔,并将促进地学的发展。通过检测分析所俘获地气携带纳米物质的信息来反演地质体(矿床),兼有物探和化探的特点。本文将对此方法作简要介绍,以供同仁参考借鉴。

2 纳米物质及其性质

纳米是一个长度单位,1纳米(nm)等于 10^{-9} m。纳米科技研究尺寸在1~100 nm范围内的物质组成

体系的运动规律和相互作用等^[2]。

按来源,纳米物质可分为天然和人工合成两种:人工合成纳米物质的尺寸分布可控,有利于研究其性质;天然纳米物质所表现出的新性质使人们更深刻了解纳米物质。纳米物质具有表面效应、小尺寸效应和量子尺寸效应等特性^[2],使地质体(矿床)中的纳米物质明显不同于宏观物质的地球物理和化学行为,从而在地质体(矿床)周围形成一种纳米物质场,分析测定这种与矿藏有关的纳米物质场中特征信息等,可用于矿产勘查,从而诞生一门新的学科——纳米探矿学^[3]。

3 自然界中纳米物质的来源及其赋存状态

纳米物质广泛赋存于自然界的各种介质中。其源于各种地质成矿或解体作用,如熔融、结晶或热液等易于形成矿物的纳米级颗粒,或与成矿组分有关的纳米级物质。章振根等^[4,5]提出了纳米矿床学的

收稿日期:2003-01-26

作者简介:武 强(1959—),男,内蒙古人,中国矿业大学教授,博士生导师,从事水文地质工程、地球探测与信息技术研究。

参考文献

- [1] 傅家谟等.煤成烃地球化学[M].北京:科学出版社,1990.
- [2] 阮天健,费琪.石油天然气地球化学勘探[M].武汉:中国地质大学出版社,1992.
- [3] 程同锦等.烃类运移的近地表显示与地球化学勘探[M].北京:石油工业出版社,1999.
- [4] 戴金星等.煤成烃国际学术讨论会文集[M].北京:石油工业出版社,2000.

Exploration geochemistry research on Dafesi Borehole D₄, Binxian, Shaanxi

XIE Guang-xin (Xi'an Branch, CCRI, Xi'an 710054, China)

Abstract: With the hydrate exploration geochemistry method, it is conducted that the vertically cross section combined indexes geochemistry research on Jurassic coal beds met by Dafesi Borehole D₄ in Dafesi coal field. The results indicate that the hydrate material in all samples collected from cross section is the preliminary stage's hydrate products from coals, being of same characteristics; from coal bed up to surface soil the hydrate material of samples showed out the up migrating indicates. It is confirmed that hydrate of underground coal bed is of geochemistry indicating, therefore, it is feasible to find coal/coalbed gas with the methods of exploration geochemistry.

Key words: hydrate; exploration geochemistry; migration regularity; find coal/coalbed methane; Dafesi Borehole D₄; Binxian, County Shaanxi

概念,并认为它将成为一门新兴地学分支,并用纳米科技探讨了纳米矿床的成因。

童纯茵等^[6,7]观察了地气携带物质的颗粒形态及特征等,表明与已知纳米微粒的外形表现特征一致,从而也证实了地气纳米物质存在。

4 地球排气及其作用下纳米物质的迁移

地气是地球内部产生的各种气体,其实质在地质演化中幔汁(超临界流体)自地球深部自发向上或向外排放。地球内部存在的气体大致分为烃类和氢类气体。而按来源则分为来自地球深部(地幔)的气体和来自地球浅部及地表的气体。同时,存在着与地球排气相关的物质迁移或物质的气相迁移^[8,9]。地气总的运动方向是从地核向地表,其速度主要受控于动力和通道阻力。

纳米物质界面为类气体的壳层结构,有表面层和吸附层,表面层更近于气态。正是纳米粒子表面原子的活性大,所以易于吸附气体形成吸附层。因此,矿物(或成矿物质)的纳米微粒靠自身的特殊结构和性质,可吸附于气体形成类气体结构并随地壳内上升气流迁移,因而有很强的穿透能力,可从地球深部垂直上升到地表,在深部向地表投影位置形成纳米物质分布异常^[10]。

关于纳米物质在地气作用下的迁移过程:Kristiansson 等^[11-13]认为,纳米物质以颗粒形式吸附在气泡表面随之一起上升;而 Etiope^[14,15]则认为还可有气溶胶等形式迁移;周子勇等^[8]模拟研究表明,金属元素还可以离子形式吸附于气泡表面,并随上升气流运移到地表;童纯茵等^[16]证明了上升气流对纳米物质微粒的迁移作用比物质扩散作用强的多;童纯茵等^[17,18]用实验模拟证明,随上升气流迁移的是纳米微粒,并且以上升气流垂直迁移为主。

纳米粒级物质自矿体通过围岩向外扩散并非一个异常缓慢的过程,而是相当迅速的。另外,纳米物质具有很高的地球化学活性(如扩散能力和固态迁移能力等),从而在矿床周围形成一定的纳米物质场,这种场中纳米物质数量与离矿床远近成反比。在地气等作用下这些纳米物质向上或向外迁移至地表,并向大气扩散。部分纳米物质达到近地表时可因地表条件的改变而进入土壤,部分游离于地表土壤空隙,还有一些纳米物质游离于空气中,而对这些纳米物质的地球化学测量正是在此基础上发展起来的,从而成为一种新的主要用于勘查隐伏矿的技术^[1,3]。

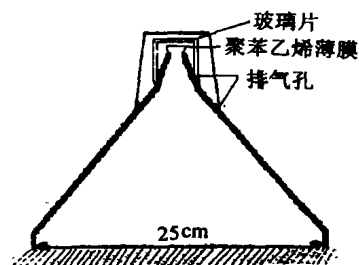


图1 被动埋置法采样装置

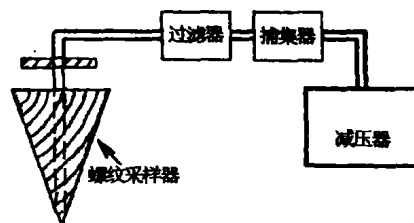


图2 主动抽气法采样装置

5 纳米物质俘获和分析方法

5.1 俘获纳米物质的方法

俘获的纳米物质主要指土壤中纳米物质。目前,俘获土壤中游离纳米粒级物质的方法可分被动埋置法和主动抽气法。

被动埋置法俘获装置如图1^[19]所示,将捕集器埋置于地表土壤(或覆雪)一定时间,然后取回捕集器,分析所俘获纳米物质元素等。被动法较简便且无需动力。野外施工过程是先挖一个小坑,然后放入一倒置漏斗形器皿以汇集气流,捕集器(吸附膜)悬挂于倒置漏斗形器皿的顶部,使上升痕量物质均通过捕集器,在漏斗形器皿顶部上覆一塑料小碗,小碗顶部有若干排气孔,以形成烟囱效应,然后填土(或雪)压实,埋置一段时间后取回捕集器进行分析。

由于被动法的野外工作周期较长,王学求^[20]等因此提出了主动抽气法。主动法是一种快速动态提取地气的技术,指利用减压装置抽取并俘获游离于土壤空隙的纳米物质。装置主要包括螺纹采样器、过滤器、捕集器和减压器,如图2所示。野外施工过程是先用钢钎打孔,然后旋入螺纹采样器,连接好过滤器、捕集器和减压器,启动开关,抽取游离于土壤空隙中的微细粒物质,使其先通过过滤器,使所俘获物质主要为纳米粒级物质,过滤器中为醋酸纤维素酯滤膜(孔径约200 nm)。

由于自然中纳米物质的含量很低,无论何种方法,采样中必须严格控制各个环节以防污染。

5.2 分析测试方法

地气携带纳米物质的分析测试主要包括成分、尺寸分布和聚集态等。

纳米物质样品成分的分析测试方法很多,目前主要有粒子激发X射线发射光谱分析方法(PIXE)^[19]、中子活化分析(INAA)和原子吸收光谱法(AAS),检测极限约为 $10^{-13} \sim 10^8$ g,多用于金属矿勘查。其他分析方法还有X射线光电子光谱法(XPS)、原子荧光光谱法(AFS)和激光痕量分析等^[21,22]。

关于纳米物质粒子尺寸分布和聚集态分析,目前主要采用原子力显微镜(AFM)、扫描电子显微镜(SEM)和透射电子显微镜(TEM)等。

6 纳米探矿的应用现状和实例

广义的纳米探矿基本上有两个方向:一个是 Klusman 等^[23,24]开发的 K-V 指纹法(K-V-Fingerprint),主要用于寻找油气藏;另一个 Boliden 矿业公司^[21]开发的地气法(Geogas),主要用于寻找金属矿。geogas 这个概念到现在仍然难以被接受,但是由于寻找厚覆盖层隐伏矿的需要,瑞典、德国、捷克、新西兰、俄罗斯和中国等国的研究人员先后进行过研究,但这些工作还多限于小规模矿区^[25]。

20世纪80年代,瑞典的 Boliden 公司推出了一种寻找隐伏矿的新技术——地气法:采用被动法,捕集器为聚苯乙烯膜,在实验室用 PIXE 分析薄膜上粘附纳米微粒的元素,据此通过圈定异常地带来寻找隐伏矿。该法因其探矿的直接性和可测深度大等特点,引起国内外勘查界的广泛关注。

童纯茵等^[26-29]研究了寻找深部隐伏金矿的地气法,并采用 INAA 分析收集的样品,开创了全新的纳米探矿方法。Wang 等^[30]提出并使用主动法来俘获地气携带的纳米物质以提高效率,并开展了寻找巨型隐伏矿的试验。

刘应汉等^[31]在厚层黄土覆盖区进行地气测量,用附着活性炭的聚氨酯泡沫塑料作为捕集材料,明显提高了俘获能力;用 AAS 进行分析以降低成本,表明在覆盖厚度达 40~200 m 的多金属矿体上方出现明显元素异常。在青海拉水峡以红土覆盖层为主的矿区,也发现极明显的元素异常。据此不仅能圈出矿化体位置,还能初步确定矿化体的分布和走向。而在这些隐伏矿区用常规的地球化学测量方法则无上述异常显示。

杨凤根等^[32,33]将纳米探矿技术应用于油气田勘查及评价工作中,试验表明该技术可反映出 4 000 多米的深部构造所形成的弱异常。

鹿先国等^[34]对川西北团结金矿进行了研究,采用被动法,用 INAA 分析地气携带纳米物质,表明该

法可有效识别成矿流体地球化学界面。

隐伏断裂也可看作广义的“隐伏矿”。葛良全等^[35,36]研究了双流—成都—德阳断裂带和映秀断裂带,表明在隐伏含矿破碎体含有矿体元素、与矿化密切相关的成矿元素及其伴生元素的地气异常主要出现在隐伏断裂的上方,地气异常的宽度与碎裂带的宽度一致。伍宗华和金仰芬等^[37,38]将该技术用于地质勘探,在引黄工程洞线和库区勘查中的应用效果与钻探或浅层地震检验结果基本一致,在叶县—邓县—南漳地质剖面研究中表明,该法是勘查隐伏断裂的有效手段之一^[39]。

7 存在的问题和展望

矿产勘查有着巨大的风险,也有着丰厚的利润,隐伏矿勘查更是如此。有效地减小风险与不确定性,有赖于新概念的提出和新技术的发展^[40]。纳米探矿正是一项应运而生的新的勘查技术,该法在地表采样,用高精度仪器进行分析,适于地表有厚层覆盖区,具有深穿透特点。纳米探矿是利用地表的介观信息直接找矿,有人侧重形成金属气溶胶的研究,也有人侧重纳米微粒研究,还有人侧重战略战术研究^[41,42]。但目前该技术几乎处于停顿状态,因为用捕集膜俘获地气携带的纳米物质,捕集膜主要起粘附作用,其俘获能力有限,且野外工作周期一般较长,PIXE 等分析方法价格昂贵。所俘获的物质究竟是什么及其上升至地表的机理不大清楚,其中,尤其是捕集材料和迁移机理等问题妨碍该技术的发展。俘获地气携带纳米物质材料的纯度,分析测试中使用试剂的纯度,以及在野外采气作业与室内分析时可能受到的污染等,也是影响这一新技术推广的关键^[43]。

纳米探矿尚有一些问题需要解决,如纳米物质的类气体性质(包括强的迁移能力和穿透能力)、纳米物质(天然)的赋存形式、不同地气对不同纳米微粒的吸附性、来自隐伏矿的纳米物质在向地表或近地表迁移中的变化,野外作业标准化,与其他勘查方法的结合等。尽管如此,纳米科技与探矿结合,将有可能推动两大学科向前发展并促使新边缘学科的诞生。纳米探矿技术不仅用于隐伏矿勘查,也可用于断裂构造,防止掩埋污染物扩散等研究。纳米科技的发展将有助于该技术从试验阶段走向实用阶段。

参考文献

- [1] 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].科技导报,1998,8:18-19.

- [2] 张立德, 牟季美. 纳米材料和纳米结构[M]. 北京: 科学出版社, 2001, 2-67.
- [3] 刘应汉, 任天祥, 汪明启. 纳米物质在矿产勘查中的应用[A]. 中国材料研究学会: '96 中国材料研讨会论文集 I 功能材料 2 低维材料[C]. 北京: 化学工业出版社, 1997: 194-198.
- [4] 章振根, 姜泽春. 纳米矿床学——一门有前途的新学科[J]. 矿产与地质, 1993, 7(3): 161-165.
- [5] 章振根. 纳米科技与地质研究的思考[J]. 大地构造与成矿学, 1995, 19(1): 77-82.
- [6] 童纯茵, 李巨初, 葛良全等. 地气物质纳米微粒实验观测及其意义[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(2): 153-156.
- [7] 童纯茵, 李巨初. 地气测量寻找深部隐伏金矿及其机理研究[J]. 地球物理学报, 1999, 42(1): 135-142.
- [8] 周子勇, 陶澍. 地气作用下物质的迁移[J]. 应用基础与工程科学学报, 2001, 9(4): 311-315.
- [9] 杜乐天. 地球排气作用——建立整体地球科学的一条统纲[J]. 地质前缘, 2000, 7(2): 381-390.
- [10] 姜泽春, 章振根. 金的气相迁移探索[J]. 地质地球化学, 1996, 2: 23-26.
- [11] Kristiansson K, Malmqvist L. Experiment evidence for an ascending microflow of geogas in the ground[J]. Earth Planet Sci Lett, 1984, 70: 407-416.
- [12] Kristiansson K, Malmqvist L. Trace elements in the geogas and their relation to bedrock composition[J]. Geoexploration, 1987, 24: 517-534.
- [13] Kristiansson K, Malmqvist L, Persson W. Geogas prospecting: a new tool in the search for concealed mineralizations[J]. Endeavor (new series), 1990, 14(1): 28-33.
- [14] Etiope G. Transport of Radioactive and toxic matter by gas microbubble in the ground[J]. Environmental Radioactivity, 1998, 40(1): 11-13.
- [15] Etiope G, Lombardi S. Laboratory simulation of geogas microbubble flow[J]. Environ Geology, 1996, 27(3): 226-232.
- [16] 童纯茵, 李巨初, 葛良全等. 地壳内上升气流对物质的迁移及地气测量原理[J]. 矿物岩石, 1997, 17(3): 83-88.
- [17] 童纯茵. 元素迁移的模拟模型实验[J]. 核技术, 2001, 24(6): 449-455.
- [18] 童纯茵, 李巨初, 葛良全. 一种新的元素迁移形式及其地球化学环境效应[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(5): 567-570.
- [19] Malmqvist L, Kristiansson K, Kristiansson P. Geogas prospecting—an ideal industrial application of PIXE[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 1999, 150(1-4): 484-490.
- [20] 王学求, 谢学锦, 卢荫麻. 地气动态提取技术的研制及其在寻找隐伏矿的初步试验[J]. 物探与化探, 1995, 19(3): 161-171.
- [21] Ma W, Hui Q, Xue M, et al. Determination of the gold content in geogas by resonance ionization mass spectrometry[J]. J Anal Atomic Spectr, 1997, 12(1): 57-59.
- [22] Ma W, Xue M, Zhang J, et al. Ultrasensitive determination of gold in geogas by laser excited atomic fluorescence spectrometry[J]. Spectrochimica Acta B, 1998, 53B(10): 1421-1425.
- [23] Klusman R W, Voorhees K H. A new development in petroleum exploration technology[J]. Mines Magazine, 1983, 73(8): 6-20.
- [24] 吴传璧译. “指纹”技术在断裂探测和地热勘查中的应用[J]. 地质科技动态, 1989, 9: 30-31.
- [25] 王学求. 地气的研究现状与未来[J]. 国外地质勘探技术, 1996, 5: 12-18.
- [26] 童纯茵, 李巨初, 梁兴中等. 某金矿床地气异常初步研究及其地质意义[J]. 成都地质学院学报, 1991, 18(3): 116-120.
- [27] 童纯茵, 李晓林, 葛良全等. 地气法—找深部金矿的新方法[J]. 物探化探计算技术, 1996, 15(增): 13-16.
- [28] Tong C, Li J, Liang X, et al. Application of INAA technique to research on the geogas anomaly in a gold deposit[J]. Nuclear Science and Techniques, 1991, 2(2): 116-120.
- [29] 童纯茵, 梁兴中, 李巨初. 地气测量研究及在东季金矿的试验[J]. 物探与化探, 1992, 16(6): 445-451.
- [30] Wang X, Cheng Z. Nanoscale metals in earthgas and mobile forms of metals in overburden in wide spaced regional exploration for giant deposits in overburden terrains[J]. J Geochem Explor, 1997, 58(1): 63-67.
- [31] 刘应汉, 任天祥, 汪明启等. 隐伏矿区地气测量试验及效果[J]. 有色金属矿产与勘查, 1995, 4(6): 355-360.
- [32] 杨凤根, 童纯茵, 王鹤年等. 油气田上地气物质迁移机制研究[J]. 地球化学, 2000, 29(5): 442-446.
- [33] 杨凤根, 童纯茵. 宣汉气田的地气测量及其机理研究[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2000, 25(1): 103-106.
- [34] 庾先国, 滕彦国, 程瀚等. 地学校技术识别成矿流体地球化学界面的研究[J]. 物探与化探计算技术, 2002, 24(1): 12-15.
- [35] 葛良全, 童纯茵, 沈松平等. 地气测量技术寻找隐伏断裂带的研究[J]. 核技术, 1998, 21(4): 238-241.
- [36] Ge L, Tong C, Li J, et al. INAA and ATEM study of geogas materials from concealed faults[J]. Trace Microprobe Techniques, 2000, 18(1): 51-60.
- [37] 伍宗华, 金仰芬, 古平等. 地气测量的原理及其在地质勘查中的应用[J]. 物探与化探, 1996, 20(4): 259-264.
- [38] 金仰芬, 伍宗华. 气体测量在引黄工程勘查中的应用[J]. 物探与化探, 1996, 20(3): 173-179.
- [39] 伍宗华, 金仰芬, 郭英杰等. 地气测量在叶县—邓县—南漳地质剖面研究中的应用[J]. 岩石学报, 1995, 11(3): 333-342.
- [40] 谢学锦. 矿产勘查的新战略[J]. 物探与化探, 1997, 21(6): 402-410.
- [41] 伍宗华. 近十年来新方法新技术研究进展[J]. 物探与化探, 1997, 21(6): 411-417.
- [42] 王学求. 寻找隐伏大矿巨矿的勘查地球化学新理论新方法研究[D]. 长春: 长春科技大学, 1998.
- [43] 卢荫麻, 白金峰. 地球气测量的若干问题[J]. 物探与化探, 1999, 23(6): 401-407.

Prospect for minerals by nanoscale minerals: the prospecting of hidden mineral resources with the carried nanoscale minerals by geogas

WU Qiang, XU Ai-zhong, DONG Dong-lin, TIAN Bao-lin

(The Key Laboratory of Coal Resources Ministry of Education, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The nanoscale minerals extensively existing around orebody can be transported from depth of hundreds to thousands meters to the surface by the geogas, and it can be seized near the earth's surface. Therefore nanoscale minerals are closely related to direct information from orebody. By analyzing constitution and aggregation situation et al of nanoscale minerals, the results can be used to prospect hidden minerals. The research progress and some applied examples in prospecting minerals are introduced, and the existing problems are discussed, and the further studies are predicted in this paper.

Key words: geogas; nanoscale minerals; exploration; hidden minerals