

地气测量在北祁连盆地区找矿突破及其意义

汪明后¹, 高玉岩¹, 张得恩¹, 任天祥², 刘应汉²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:北祁连地区是我国最重要的块状硫化物床成矿省之一, 虽然该区分布有我国最大的块状硫化物矿床——白银矿田, 以及 200 多处中小型矿床及矿(化)点, 但除白银矿田外, 多年来在找大矿方面未能突破。原因在于缺乏必要的手段, 找矿勘探工作仅限于盆地周边的出露区。近几年, 地气测量在黑河盆地的红层覆盖区先后发现了赖都滩和白柳沟矿体, 不仅说明地气测量方法有效, 而且说明黑河盆地具有寻找大型白银式多金属矿床的潜力。建议采用地气法对整个盆地进行系统勘查, 并结合其它方法, 优选出最佳的找矿靶区。作者认为, 本区找矿突破可为整个北祁连地区其他盆地寻找块状硫化物矿床指出新的找矿方向, 将找矿重点转到盆地区, 以实现我国块状硫化物矿床勘查的全面突破。

关键词: 祁连盆地 地气测量 块状硫化物矿床

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2006)01-0007-06

北祁连地区位于华北板块与柴达木—祁连板块的对接带, 东起陕西宝鸡, 西至甘肃肃北, 呈 NWW 向延伸, 长约 1 200 km, 是我国最重要的块状硫化物矿床成矿省之一^[1]。前人对该类型矿床进行了大量研究^[2-5]。

该区虽然分布有我国最大的块状硫化物矿床——白银矿田, 以及下柳沟、下沟、湾阳河、郭米寺、红沟等二百多处中小型矿床及矿(化)点, 但是多少年来, 在找大矿方面未能获得大的突破。原因在于这些矿床或矿点分布在断陷盆地附近(从东到西: 白银—永登—天祝—门源—祁连—肃南盆地), 而盆地多被白垩纪以来各种运积物所覆盖。过去, 由于缺乏必要的手段, 无法对盆地区进行勘查, 找矿勘探工作仅限于盆地周边的出露区, 而从白银矿床赋矿部位看, 主要矿床赋存在盆地中央, 因此, 要实现全区的找矿突破, 找矿重点应转向盆地。

我国开展地气测量方法研究已经 20 余年, 先后在多金属、金矿、铜镍矿、铬铁矿等矿床上进行了有效性实验^[6-10], 积累了大量经验并在某些地区取得了寻找隐伏矿的突破。

在方法上, 随着 ICP/MS 分析技术的成熟, 使得采用液体捕集介质成为可能^[11-12], 不仅解决了早期泡沫塑料作为捕集剂空白本底高且不均匀的问题, 而且避免了泡沫塑料消解带入空白的途径, 使数据重现性大大提高, 地气测量为盆地区找矿提供了可

靠的技术保障。

近年来, 随着位于黑河盆地中的尕斯库勒矿床的发现, 盆地区找矿才受到重视。1998~2000 年, 在青海地勘局支持下, 在尕斯库勒矿床西侧红层覆盖区(赖都滩), 通过地气测量和井探, 发现了多金属块状硫化物富矿体; 2004 年 8 月, 中国地质大学(北京)和青海地调院合作, 在该盆地西北侧的白柳沟地区, 进行了 3 km² 地气测量, 目的是寻找块状硫化物多金属矿体。

1 自然地理与地质概况

测区位于青海省祁连县城西北 16 km 处崔家台一带, 黑河盆地的东段北缘。黑河盆地位于祁连盆地西侧, 为盆地之盆底, 最低海拔为 3 121 m, 为祁连山南坡高寒山区与高山草甸区过渡带中的山间盆地。区内气候为西北高原山区高寒气候, 冬长夏短, 冬季严寒, 夏季温暖多雨。

测区在大地构造上位于北祁连加里东褶皱带南缘, 测区北部与岩石裸露的高山区毗连, 属祁连山系。地表绝大部分为第四系冲洪积层、冰碛层和下白垩统新民堡群红色碎屑岩系覆盖(图 1)。下白垩统地层多直接覆盖在中寒武系地层之上, 厚数十米至 200 余米, 上部为紫红色砾岩及含砾长石石英砂岩, 下部为杂色砂岩、泥岩、泥灰岩为主, 底部为砖红色砾岩。中寒武统黑刺沟群海相火山岩, 主要分布

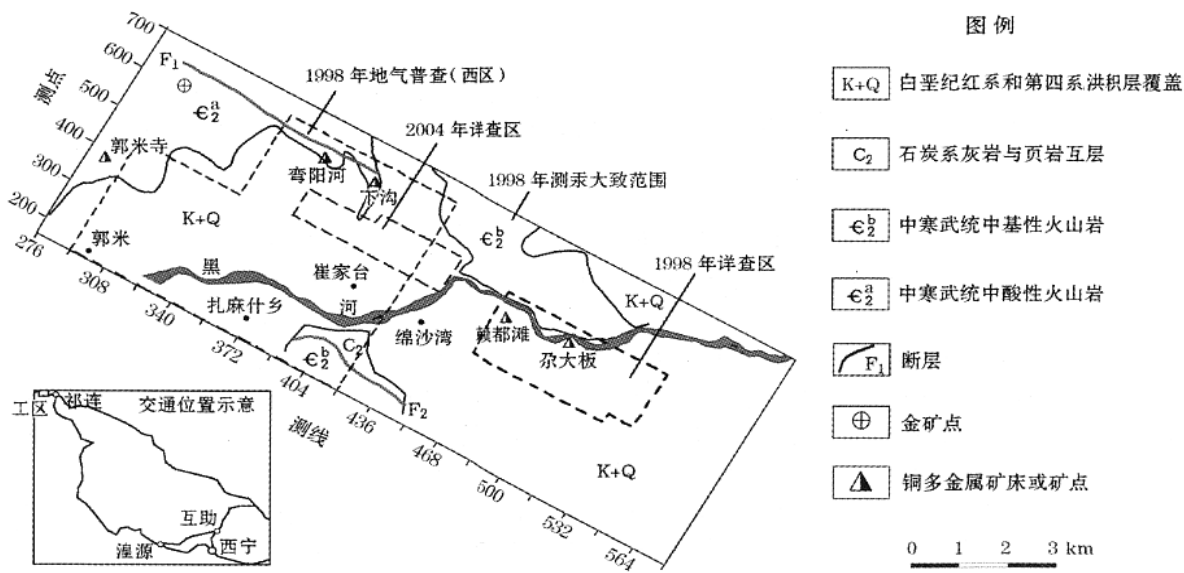


图1 研究区地质概况及工作布置示意

在测区北部和西部高山区,区内很少出露。该岩组可分为上、下两部分,下岩组主要为浅变质中酸性火山岩夹硅质岩、杂砂岩及千枚岩;上岩组主要为灰绿色变质中基性火山岩夹碎屑岩。含矿层位主要分布在下岩组上部靠中基性火山岩一侧,为一套硅质岩、复理石夹中酸性火山岩建造。

北祁连造山带有一个非常醒目的地质现象,即断陷盆地与山脉平行相间分布,这些盆地发育在古生代优地槽带上,受NW、NWW和SN向断裂严格控制。黑河断陷盆地就发育在NW、NWW向黑河深断裂带上。这种岛弧环境中的断陷盆地为块状硫化物矿床的形成提供了良好的条件:断陷盆地既是壳幔物质强烈交换区,也是地表物源补给区。盆地边界和四周断裂发育,切割深,活动时间长,既有张性、压扭性,又有走滑特性,这些断裂不仅为矿床的形成创造了条件,而且有利于热液叠加、改造和再富集成矿。

测区内及外围已发现的铜铅锌多金属矿床、矿点有湾阳河、下沟、郭米寺等多处。主要赋存在中寒武统黑刺沟群下岩组靠近中基性火山岩的蚀变破碎带和片理化带中。主要矿石矿物为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等,为海相火山岩块状硫化物矿床。含矿层和两侧普遍存在不同程度的蚀变,强蚀变以次生石英岩化为主,包括强硅化、绢云母化、黄铁矿化以及绿泥石化和碳酸盐化。目前发现的已知湾阳河、下沟多金属矿床均位于盆地边缘的岩石裸露和半裸露区,盆地区由于被白垩系和第四系覆盖,虽具找矿前景,但需要新方法新技术作为手段,才能实现找矿突破。

万方数据

2 工作方法

2.1 过去工作基础

由于尕斯库勒矿床的发现,青海省地勘单位重视了盆地找矿工作。1998~1999年,燕北勘查技术研究所所在黑河盆地进行了壤中气汞和地气测量(图1)。

(1)在郭米寺—龙洼沟高精度磁测工区内,用壤中气汞测量方法,按800 m×80 m测网进行了普查,测量面积约50 km²,查明了第四系和白垩系砂砾岩覆盖区隐伏含矿构造带的展布方向和分布范围,并揭示该区断裂构造分布的基本格架。

(2)在尕斯库勒矿区及外围布置了面积5 km²地气和壤中气汞测量详查(测网200 m×40 m,局部点距加密至20 m),初步圈出Cu、Pb、Zn、Ag多金属隐伏矿化带、蚀变带的范围,指出多金属矿化的主要富集地段。其中赖都滩异常经工程验证见富矿体。

(3)对郭米寺—下沟进行了地气普查,圈定了Cu、Au等元素异常。其中Cu异常分布在340~420线450~520点之间,呈线状分布,长度超过4 km,向东、向西均未封闭(图2)。从异常特征看,可能具有找矿远景,本次工作系对该异常进行详查。

2.2 工作部署与工作方法

工作布置在湾阳河—下沟南异常带浓集部位和下沟到白柳沟一带。测线垂直异常长轴和构造线方向布设,方向NE30°,线距200 m,点距40 m。野外采用罗盘定向、GPS及测绳定位量距。

本次工作采用3%硝酸(mini-Q水+新活化高纯酸)为捕集介质,主动法(抽气)进行采样^[1]。为

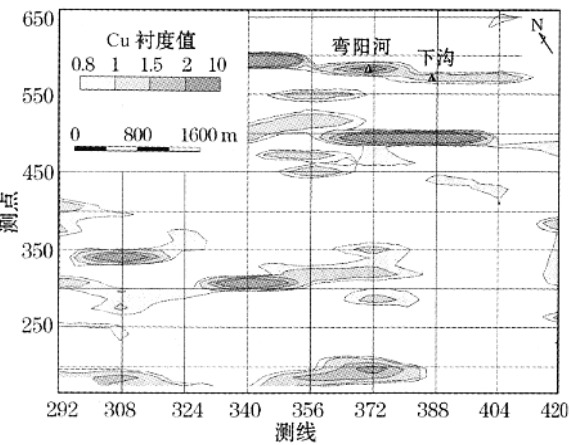


图2 1998 年尕大板西区地气普查 Cu 异常

增加样品代表性,在每个采样点上,用钢钎打 3 个孔,孔深 0.5 ~ 0.8 m,将螺旋采样器旋于孔中,拧紧使孔封闭,用硅胶管与微尘过滤器和液体捕集装置连接,用抽气泵依次在 3 个孔中各抽取气体 3 L。重复采样点另行打孔抽气,孔之间的间距也为 2 ~ 3 m。野外逐点记录线、点号,捕集器号、袋号、天气状况、气温、地表覆盖物性质、地貌特征和地质简况。全区共采集样品 419 件。

样品分析由地科院物化探所中心实验室完成。采用 ICP/MS (等离子质谱法) 测定地气样品中的 Cu、Au、Ag、Pb、Zn 等 40 多种微量和稀土元素。为监测分析质量,每条测线插一个密码空白样品同时进行分析。

3 主要成果

3.1 元素地球化学特征

使用捕集材料为空白的元素含量不仅低,而且均匀,变异系数除 Ba、Zn 外均小于 0.5。为获得可靠观测数据和提高地气测量精度提供了技术保障。

与空白相比,地气测量样品中元素含量都有不同程度的增高(测量均值/空白值 1 ~ 7.67),变异系数增大,特别是 Au、Ba、Cu、Pb、Zn 等成矿元素测量均值/空白值均大于 2,Au-Ba-Cu-Pb-Zn 元素组合与该类型矿床元素组合一致(表 1),表明该区具有寻找块状硫化物多金属矿床的潜力。

3.2 异常特征

由于气体测量的影响因素较多,为消除系统误差,对数据进行了处理,采用衬值成图,按衬值 1.5 ~ 2.5、2.5 ~ 5、> 5 进行分级。测区圈定 Cu、Pb、Zn、Cd、Au、Ba、La、Ce、Cs、Nd、Pr 共 11 种元素异常,以下仅对 Cu、Pb、Zn 主要成矿元素异常进行讨论。

从结果看(图 3),在测区圈定了南北 2 个异常

表 1 白柳沟地区 1:1 万地气普查地球化学参数 ng/mL

元素	捕集剂空白 (N = 19)			测量结果 (N = 443)			$\frac{\bar{X}_1}{\bar{X}_0}$
	$\bar{X}_0$	S_0	C_{v0}	$\bar{X}_1$	S_1	C_{v1}	
Au	0.0003	0.0001	0.34	0.0026	0.048	18.38	7.67
Cd	0.0401	0.0161	0.39	0.0512	0.021	0.46	1.28
Ba	0.4057	0.2489	0.61	2.5795	2.799	1.09	6.36
Cu	0.5039	0.1703	0.34	1.8308	5.181	2.83	3.63
Pb	0.3700	0.1802	0.49	0.9821	2.085	2.12	2.65
Zn	6.0891	4.0047	0.66	46.2961	135.563	2.93	7.60
Ag	0.0059	0.0006	0.10	0.0083	0.006	0.70	1.41
Be	0.0107	0.0038	0.35	0.0115	0.004	0.37	1.07
Ce	0.0354	0.0111	0.31	0.0840	0.125	1.49	2.37
Co	0.0864	0.0051	0.06	0.1018	0.036	0.36	1.18
Cs	0.0032	0.0015	0.48	0.0097	0.017	1.76	3.00
Dy	0.0045	0.0015	0.33	0.0088	0.010	1.19	1.93
Er	0.0033	0.0015	0.45	0.0049	0.005	0.94	1.46
Eu	0.0021	0.0007	0.33	0.0033	0.003	0.96	1.61
Gd	0.0059	0.0016	0.28	0.0106	0.014	1.33	1.81
Ho	0.0012	0.0004	0.32	0.0019	0.002	1.06	1.57
La	0.0273	0.0061	0.23	0.0575	0.077	1.34	2.10
Li	0.1287	0.0102	0.08	0.1546	0.060	0.39	1.20
Lu	0.0009	0.0004	0.47	0.0013	0.001	0.60	1.51
Mn	1.0568	0.2088	0.20	1.8711	1.861	0.99	1.77
Mo	0.0319	0.0053	0.17	0.0353	0.015	0.44	1.11
Nb	0.0638	0.0128	0.20	0.0774	0.025	0.32	1.21
Nd	0.0180	0.0062	0.35	0.0411	0.062	1.51	2.29
Ni	2.0237	0.1165	0.06	2.3666	2.099	0.89	1.17
Pr	0.0055	0.0020	0.36	0.0126	0.019	1.50	2.30
Rb	0.0979	0.0433	0.44	0.1407	0.113	0.80	1.44
Sb	0.0920	0.0092	0.10	0.0973	0.018	0.19	1.06
Sm	0.0059	0.0027	0.46	0.0103	0.014	1.32	1.74
Sr	0.6594	0.1459	0.22	1.0346	0.752	0.73	1.57
Ta	0.0126	0.0030	0.24	0.0140	0.004	0.29	1.11
Tb	0.0011	0.0003	0.29	0.0017	0.002	1.16	1.54
Th	0.0041	0.0011	0.28	0.0058	0.003	0.61	1.41
Tl	0.0039	0.0016	0.42	0.0081	0.017	2.09	2.09
Tm	0.0012	0.0003	0.26	0.0014	0.001	0.60	1.20
U	0.0026	0.0012	0.45	0.0052	0.005	0.91	2.04
W	0.0645	0.0091	0.14	0.0746	0.030	0.40	1.16
Y	0.0276	0.0054	0.20	0.0439	0.044	0.99	1.59
Yb	0.0040	0.0010	0.24	0.0055	0.004	0.78	1.40

注 $\bar{X}$ 为平均值, S 为标准差, C_v 为变异系数,

下标 0、1 分别表示空白样品和测量样品。

带,长度超过 3.8 km。2 个异常带近于平行分布,走向北西,大致分布在宽度约 600 m 范围内,每个异常带宽约 100 ~ 200 m,异常带之间相距约 200 ~ 300 m。根据异常分布特征,2 个异常带应属于同一控矿构造带,在这个控矿构造带内,可能有 2 条矿化带,矿化体大小不等,雁行状分布,其中 384 线以东 Cu、Pb、Zn 等异常规模较大,矿化活动可能更强。该控矿构造带可能属于祁连断陷盆地北部断裂带的一部分,与湾阳河—下沟控矿构造带平行分布。

3.2.1 Cu 异常(图 3a)

在 I 号异常带,断续分布有 I-1、I-2、I-3、I-4、I-5 共 5 个 Cu 异常,其中 I-1、I-3 异常规模较大。I-3 异常分布在 384 ~ 400 线,长约 100 m,宽 80 ~ 200 m,在 388 线和 396 ~ 400 线 528 点形成 2 个浓集中心,异常衬值高达 17.3。I-1 号异常长度超过 400 m,也有明显的浓

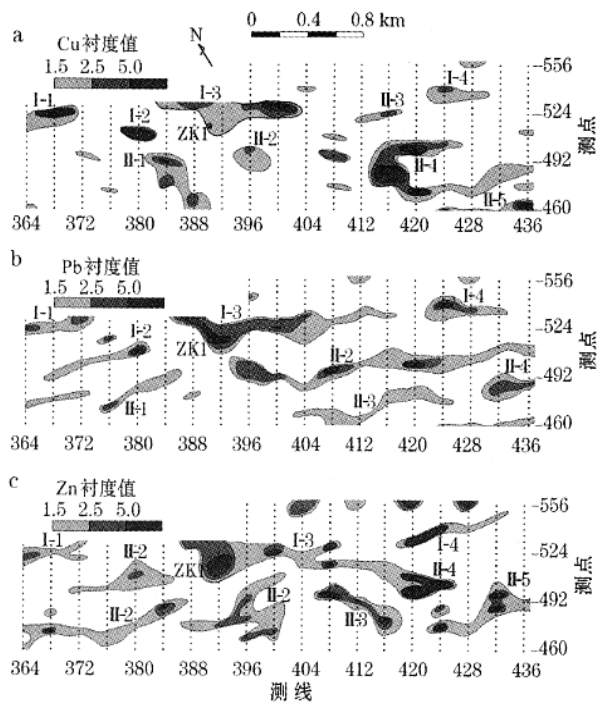


图3 工作区地气详查 Cu、Pb、Zn 异常

集中心。I-2 号异常出现在 380 线 508 ~ 512 点,异常衬值高达 5.97 ~ 27.3。

Cu 的II号异常带分布有 5 个 Cu 异常,其中规模

较大、强度高的异常为断续分布有II-1 和II-4。II-1 号异常分布在 384 ~ 388 线,在 384 线 476 点异常连续分布,宽度超过 200 m,在 492 点和 480 点附近形成 2 个浓集中心。II-4 号 Cu 异常规模最大,呈半环状分布,长达 1.5 km,并有 3 个浓集中心,异常衬值高达 22.7 ~ 40。在 416 线附近宽度达 300 m。

3.2.2 Pb 异常(图 3b)

在I号异常带,出现 4 个 Pb 异常。其中I-3 异常规模最大,长达 1.6 km,分布与 Cu 的I-3 异常分布基本一致,但规模更大,其异常内带长达 400 m,中带长达 1 km,浓集中心分布在 388 ~ 392 线 528 ~ 516 点。Pb 的I-1、I-2、I-4 号异常与 Cu 的I-1、I-2、I-5 异常对应,但规模也更大,异常长度均超过 600 m。

在II号异常带,出现 4 个 Pb 异常。其中 Pb 的II-2 规模最大,长度超过 2 km,有 3 个浓集中心,向东未封闭,异常带宽度约 80 m 左右,并与 Cu 异常浓集中心对应。Pb 的II-3、II-4 异常分布在 Pb 的II-2 异常的南测,相距 100 ~ 150 m,呈平行分布,但异常较弱。近II-4 号异常出现中带浓度。

3.2.3 Zn 异常(图 3c)

在I号 Zn 异常带,其异常分布基本与 Pb 一致,且浓集中心基本对应。其中Zn的I-3号异常在396线

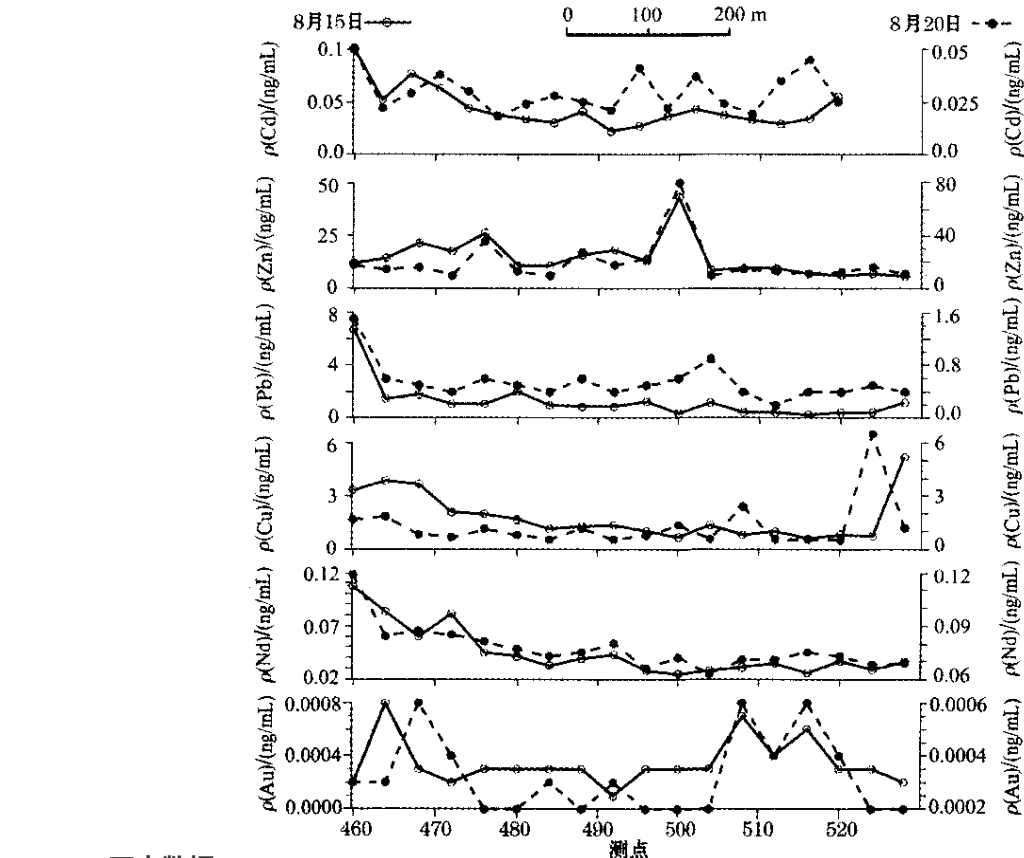


图4 地气野外重复样测量结果

508 ~ 520 点形成更大的浓集中心,异常内、中带的宽度超过 250 m。

Ⅱ号异常带断续出现叠瓦状分布的 5 个规模较大的 Zn 异常,近似等间距分布着 9 个浓集中心,其中Ⅱ-3、Ⅱ-4、Ⅱ-5 异常浓度高,规模大,分布比较集中。

3.3 重复测量结果

由于气体测量影响因素多,样品重现性差,因此,本次重复样采样按线进行。选择 388 线进行重复采样,第 1 次采样时间 2004 年 8 月 15 日,第 2 次采样为 2004 年 8 月 20 日,结果见图 4。

可以看出,虽然 2 次测量某些元素含量存在差异(如 Pb、Zn 第 2 次采样含量高),但是多数元素 2 次采样结果具有一定的重现性,其变化趋势基本一致,特别是 Au、Ba、Zn、Pb,表明主要成矿元素异常可靠,近几年地气测量方法取得了突破性进展。

4 结论

从统计结果看,地气捕集材料空白与测量样品元素含量差异明显,表明经过近几年的不懈研究,地气捕集材料空白控制和测试技术取得了突破性进展,为覆盖区矿产勘查提供了可靠的技术保障。

在测区范围内,圈定出南北Ⅰ号、Ⅱ号 Cu、Pb、Zn、Au、Cd、Ba 等元素综合异常带。从元素组合看,应是 2 个隐伏(或掩埋)多金属矿化带的反映。通过对Ⅰ-3 号异常钻探验证,发现该处白垩系红层覆盖 77 m,在 150 m 孔深以下发现多层铅锌矿化体,其中在孔深 255.17 ~ 255.40 m 发现金矿体,金品位 3.99 g/t 说明该异常由多金属矿(化)体引起,获得了找矿突破。

重复采样结果表明,虽然在不同时间采样,地气样品元素含量不同,但不同元素表现出一定的一致性趋势,为地气测量走向生产应用做好了技术准备。

根据多年来地气测量在该区应用成果看,特别是在红层覆盖区先后发现了尕大板、赖都滩和白柳沟矿体,说明黑河盆地具有寻找大型白银式多金属矿床的

潜力,建议对整个盆地进行系统勘查,优选出最佳的找矿靶区,以实现盆地找大矿的突破。

本区找矿突破为整个北祁连地区其他盆地寻找块状硫化物矿床指出新的找矿方向,从而拉开盆地矿产勘查序幕,以实现我国块状硫化物矿床勘查全面突破,因此,本次发现具有重要的战略意义。

参加本次工作的还有中国地质大学(北京)地球化学专业研究生张得恩,本科生王丽丽、刘敏涛、赵君、陈烈锰。工作中得到了青海地调院吴正寿主任、祁正林、曹德智工程师大力帮助,在此表示衷心感谢!

参考文献:

[1] 张新虎,苟国朝,展积宝. 北祁连地区主要金属矿床成矿系列及区域成矿作用[J]. 地球科学进展,1997,12(4) 331.

[2] 郭介人,于浦生,黄玉春. 北祁连清水沟—白柳沟地区铜、多金属成矿地质条件分析[J]. 西北地质科技,1995,16(1) 50.

[3] 王焰,张旗,许荣华,等. 北祁连白银矿田火山成因块状硫化物矿床成矿金属来源讨论[J]. 地质科技情报,2001,20(4) 43.

[4] 蒋敬业,李方林,王萃,等. 北祁连山火山成因块状硫化物矿床的金属来源研究[J]. 地质科技情报,1999,18(2) 57.

[5] 汤中立,白云来. 北祁连造山带两种构造基底岩块及成矿系统[J]. 甘肃地质学报,2001,10(2) 2.

[6] 刘应汉,任天祥,汪明启,等. 隐伏矿区地气测量实验及效果[J]. 有色金属矿产与勘查,1995,4(6) 355.

[7] 刘应汉,任天祥,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.

[8] 童纯函,李晓林,李巨初,等. 地气法——找深部金矿的新方法[J]. 物探化探计算技术,1996,18(增刊) 13.

[9] 刘应汉,任天祥,汪明启. 应用于矿产勘查的地下纳米物质[J]. 矿物岩石地球化学通报,1997,16(4) 250.

[10] 刘应汉. 青海拉水峡铜镍矿纳米物质地球化学异常特征及找矿模型[J]. 地质与勘探,2003,39(3) 11.

[11] 刘应汉,孔牧,孙忠军,等. 纳米物质测量的液态捕集剂研究[J]. 物探与化探,2003,27(6) 455.

[12] 唐金荣,杨忠芳,汪明启. 地气测量方法研究及应用[J]. 物探与化探,2004,28(3) 193.

BREAKTHROUGH IN MINERAL EXPLORATION USING GEOGAS SURVEY IN THE BASIN AREA OF NORTHERN QILIAN REGION AND ITS SIGNIFICANCE

WANG Ming-qi¹, GAO Yu-yan¹, ZHANG De-en¹, REN Tian-xiang², LIU Ying-han²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China ;2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Langfang 065000, China)

Abstract : Northern Qilian region, in which more than two hundred ore deposits or spots, including Baiyin, have been discovered, is an important VMS mineralization province in China. Except for Baiyin, however, no remarkable breakthrough has been made in exploration of large deposits. This is attributed to the fact that these ore deposits or spots occur in outcrop areas around the basin and no effective technique could be used to explore the covered area. After the geogas survey was adopted in ore exploration in Heihe basin in 1998, Laid-

outan and Bailiugou orebodies were found under thick overburden. These results indicate that geogas survey, as a useful means for VMS deposit exploration, can play an important role in mineral exploration in the covered basin, and that Heihe basin is likely to have potential in finding a superlarge Baiyin-type VMS deposit. The authors suggest that further geogas survey should cover the whole basin to delineate the prospect areas in combination with other techniques such as geophysical exploration and soil mercury survey. It is hoped that the discovery of VMS deposits in Heihe basin will lead to a series of considerable breakthroughs in looking for VMS deposits in other basins such as Subei, Menyuan and Tianzhu in Northern Qilian region.

Key words : Qilian basin ; geogas survey ; VMS deposit

作者简介:汪明后(1958 -),男,高级工程师,2002 年获中国地质大学(北京)博士学位,主要从事区域地球化学和地球化学勘查方法技术研究。

上接 6 页

注 ①数据采集采用三分量传感器和相应的处理解释软件应是一个方向。②深入研究不同条件下,不同面波的生成、分解和传播的规律,为探测复杂构造寻找新的方法。③在开发研究新方法的同时,也没法用先进的数据处理软件、先进的震源和数字采集器,使老方法不断改善。

参考文献 :

[1] 冉伟彦,王振东. 长波微动法及其新进展[J]. 物探与化探,1994, 18(1) 28.

[2] 王振东,冉伟彦. 微动探查新技术在北京热水井勘查设计中的成功应用[A]. 地球物理与中国建设[C]. 北京 地质出版社,1997, 189 - 190.

[3] 刘云祯,王振东. 瞬态面波法的数据采集处理系统及其应用实例[J]. 物探与化探,1996,20(1) 28.

[4] 王振东. 关于双源面波勘探系统的若干研究设想[A]. 中国地球物理学会年刊[C]. 西安 西安地图出版社,1998,137.

[5] 王振东. 双源面波勘探构想[J]. 中国地质,1998(4) 47.

[6] 日本物理探查学会. 物理探查[J]. 1993 - 2003,46 - 56.

[7] 肖柏勋,凡友华,刘家琦. 我国瑞利波勘探方法研究现状分析[J]. 工程物探,2000,(1) 9.

[8] 丁连靖,冉伟彦. 天然源面波频率-波数法的应用与研究[J]. 物探与化探,2005,29(2) 138.

[9] Kohji Tokimatsu. Effets of multiple modes on Rayleigh wave dispersion characteristics [J]. Journal of Geotechnical Engineering,1992, 118(10) 1529.

[10] 包石耀霖,金文. 非线性地球动力学问题的遗传算法反演[A]. 中国地球物理学会年刊[C]. 北京 地震出版社,1993,170.

[11] 冈田广,凌甦群. 微动利用的地下构造探查に関する最近の研究について[R]. 北海道大学大学院研究报告,1994.

ESSENTIALS AND RECENT ADVANCES OF THE
SURFACE WAVE EXPLORATION TECHNIQUE

WANG Zhen-dong
(China Geological Survey,Beijing 100035,China)

Abstract :Based on a brief review of the development history of he surface wave exploration, this paper deals emphatically with the essentials of the surface wave exploration technique and the advances in the natural source surface wave exploration and artificial source surface wave exploration in the past ten years, and points out some problems which deserve much attention in future utilization and development of this technique.

Key words : surface wave exploration ; advance ; artificial source ; natural source

作者简介:王振东(1941 -),男,1964 年毕业于安徽大学,曾在地质部物化探研究所从事物探科研工作,后调地质部从事科研管理工作,现任中国地质学会桩基检测分会理事,公开发表学术论文数篇。