

物化探综合找矿方法在冀西北大东沟钼矿床勘查中的应用效果

王 光¹,张兴康^{1*},陶光活^{1,2},孙志伟¹,刘广宇¹

(1. 河北省地质调查院; 2. 吉林大学地球科学学院)

摘要:大东沟钼矿床位于燕辽钼成矿带,为一新发现的斑岩型钼矿床,该矿床的形成与石英斑岩关系密切。本次通过在大东沟钼矿床开展1:5万水系沉积物测量、1:1万土壤地球化学测量,以及激电中梯剖面测量、激电测深等,总结了矿床地质特征、地球化学异常特征、物探异常特征。地表矿化带主要产于石英斑岩及其外接触带附近;化探工作显示,地球化学异常以Mo、Zn、Pb异常为主,以石英斑岩为中心,呈环状分布于石英斑岩及其与二长花岗岩接触带附近;激电中梯异常表现为中高阻、高极化特征,分布于石英斑岩和二长花岗岩接触带附近,且与Mo、Zn、Pb异常套合较好,同时推测了矿化带在深部的延伸特征。研究认为,矿区内物化探异常明显,与地表发现的矿化体位置对应较好,综合地质、物探、化探异常特征,有效圈定了成矿有利部位,缩小了找矿靶区。通过工程验证,共发现19个钼矿体,深部找矿潜力较好,矿床规模可达中型及以上。综合找矿方法在大东沟钼矿床勘查过程中取得了较好的找矿效果,可为区域内同类型矿产勘查提供借鉴。

关键词:综合找矿方法;矿床地质特征;物探异常特征;化探异常特征;找矿效果;大东沟钼矿床;冀西北

中图分类号:TD15 P618.2

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)04-0085-07

doi:10.11792/hj20250416

引 言

地质-物探-化探等综合找矿方法作为重要的矿产勘查手段,长期以来在金属矿床的勘查中起到了至关重要的作用^[1-9]。金属矿床深部找矿的基本技术路线是:地质研究是基础条件,物探、化探是技术支撑条件,钻探是实现条件^[10-14]。

大东沟钼矿床位于河北省张家口市崇礼区,是河北省地质调查院在冀西北地区矿产勘查中新发现的一处斑岩型钼矿床。通过在大东沟钼矿床开展地质、化探和物探工作,圈定了成矿有利部位,缩小了找矿靶区,通过工程验证,取得了较好的找矿效果,同时推断了矿体深部及外围找矿前景优越,矿床规模可达中型及以上。本文通过总结物化探综合找矿方法在大东沟钼矿床勘查中的应用效果,为冀西北地区同类型矿产勘查提供借鉴。

1 矿区地质特征

大东沟钼矿床位于燕辽钼成矿带^[15]。前人研究认为,该成矿带内中酸性小岩体是钼铅锌银多金属矿床形成的关键性控制因素,断裂交会处是找矿的重要

部位^[16]。

矿区内出露地层主要为白垩系张家口组、第四系晚更新统马兰组及第四系地层(见图1)。矿区断裂较为发育,围绕石英斑岩形成一系列环状、放射状断裂及节理。矿区出露的岩浆岩主要为晚三叠世二长花岗岩、早白垩世石英斑岩和花岗斑岩等,其中,石英斑岩与成矿关系密切,为主要成矿岩体。

矿区内围岩蚀变具较明显的面状蚀变分带特征。水平方向,由岩体中心向外依次为石英-绢云母化→高岭土化、铁锰矿化→绿泥石化、弱高岭土化;自石英斑岩向外,蚀变强度逐渐较弱,蚀变范围大小不等。

通过槽探工程揭露、钻孔工程验证,矿体主要产于石英斑岩及其外接触带的二长花岗岩中。辉钼矿主要以细脉状、细脉浸染状、网脉状产出。

2 地球化学特征

2.1 1:5万水系沉积物地球化学特征

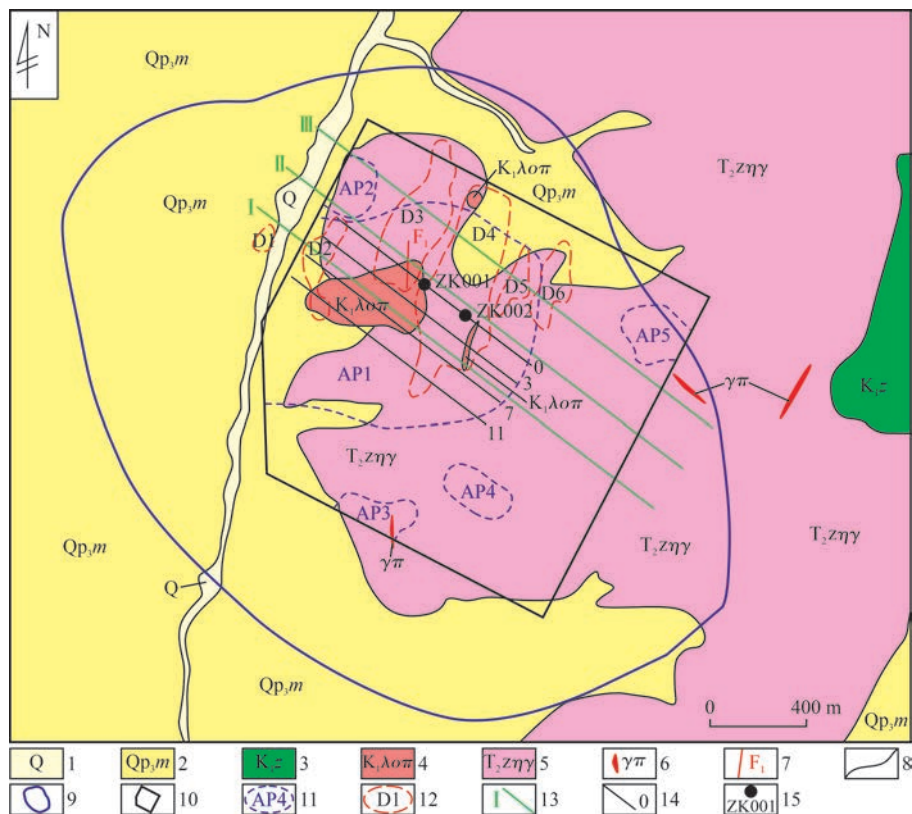
矿区位于1:5万水系沉积物测量圈定的AS33-乙1综合异常中^[17]。AS33-乙1综合异常组成元素为Mo、W、Zn、Cd、Pb、Ag、Bi、Sn(见图2),其中,Mo、Zn、W具有三级浓度分带,8种元素异常浓集中心较为一

收稿日期:2024-10-15; 修回日期:2025-01-20

基金项目:河北省自然资源厅地勘专项资金项目(4540401YBNZ62D,13000022P00F2D 410128F,3000024P00F2D410499Y)

作者简介:王 光(1986—),男,高级工程师,从事矿产勘查工作;E-mail:498533208@qq.com

*通信作者:张兴康(1988—),男,高级工程师,硕士,从事矿产勘查和地球化学研究工作;E-mail:xingkangzhang8023@163.com

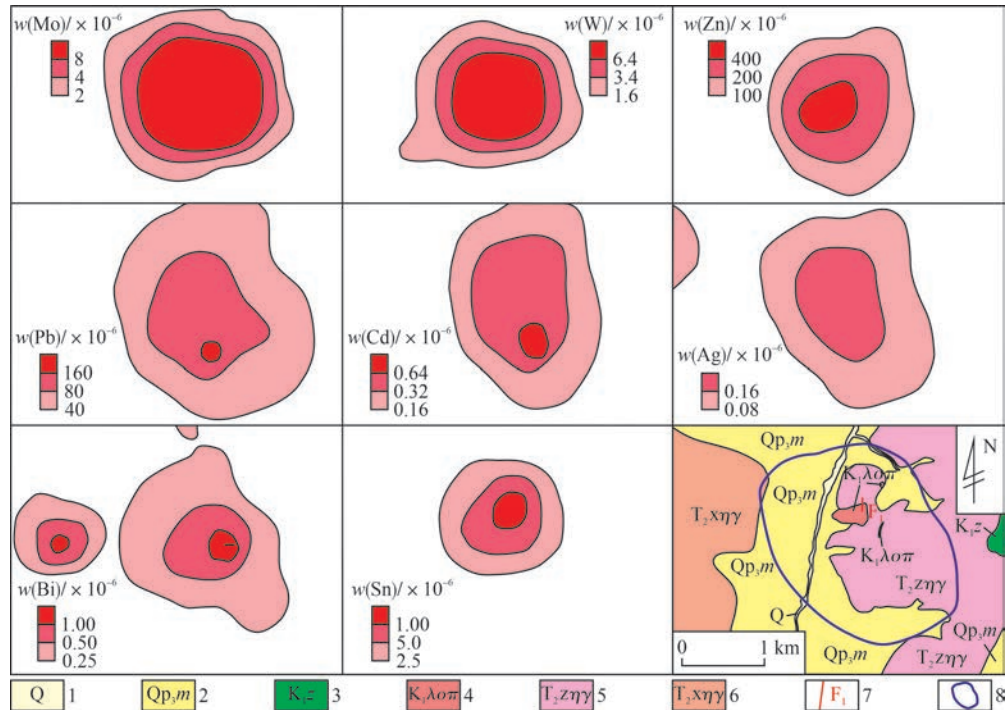


1—第四纪 2—马兰组 3—张家口组 4—早白垩世石英斑岩 5—晚三叠世二长花岗岩 6—花岗斑岩 7—断裂
8—地质界线 9—AS33-乙1综合异常 10—土壤地球化学测量范围 11—土壤综合异常及编号 12—激电异常及编号
13—土壤剖面及编号 14—勘探线及编号 15—钻孔及编号

图1 大东沟钼矿区地质简图

Fig. 1 Geological sketch of the Dadonggou molybdenum mining district

致,位于花岗斑岩出露处。Mo元素含量高,最大值为 值为 840.00×10^{-6} 。该异常具有较好钼找矿前景。
 100.27×10^{-6} ,规模大;W最大值为 31.86×10^{-6} ,Zn最大



1—第四系 2—马兰组 3—张家口组 4—早白垩世石英斑岩 5—晚三叠世二长花岗岩 6—晚三叠世细粒二长花岗岩 7—断裂 8—综合异常

图2 AS33-乙1综合异常剖析图

Fig. 2 Comprehensive anomaly analysis diagram of AS33-B1

2.2 1:1 万土壤地球化学特征

矿区内开展了 1:1 万土壤地球化学测量。分析元素为 Cu、Pb、Zn、W、Mo、Sb、Cd、As、Ag、Au, 共计 10 种元素。采用四酸溶样-电感耦合等离子体原子发射光谱法测定样品中 Cu、Pb、Zn、W、Mo、Sb、Cd 元素; 采用原子荧光光谱法测定 As 元素; 采用原子吸收光谱法测定 Ag 元素; 采用泡塑富集-电感耦合等离子体质谱法测定 Au 元素。

根据样品分析结果, 利用 GeoChem Studio 地球化学勘查一体化专业软件绘制 R 型聚类分析谱系图, 以了解研究区元素相关性^[18], 结果见图 3。由图 3 可知: Mo、Zn、Pb、Cd 关系密切, 具有同一起来源的特征; Au、Cu 相关系数极高, 反映它们与区域内的太古代地层有一定关系, 可能是由富含 Mo、Zn、Pb 的热液途经变质地层萃取而来; W 与其他元素相关性均较差, 说明来源不同。

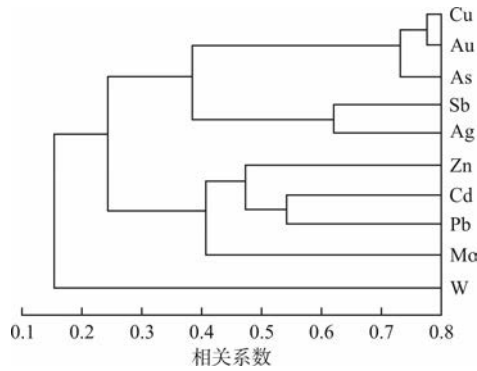


图3 R型聚类分析谱系图

Fig. 3 R-type cluster analysis dendrogram

矿区内圈定了 5 处土壤综合异常 (AP1 ~ AP5) (见图 4)。其中, AP2 土壤综合异常呈椭球状, 直径约 900 m, 以 Mo、Zn、Pb 为主要异常元素, 成矿元素为一套中高温元素组合。Mo 异常居中, 呈环状围绕石英斑岩分布; Pb、Zn 异常在外围形成不规则近环状主异常。异常与石英斑岩套合较好, 反映了矿化的连续与稳定, 规模较大, 矿体赋存位置与石英斑岩及局部断裂关系密切。

2.3 土壤剖面异常特征

为了更好地查证土壤综合异常与矿化、石英斑岩的关系, 进一步缩小找矿靶区, 平行于勘探线部署了 3 条 1:1 万土壤剖面, 分别为 I 剖面、II 剖面 and III 剖面 (见图 4), 线距 200 m, 点距 20 m, 剖面长 2.0 km, 总长 6.0 km。

对土壤剖面测量获得的样品分析了 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Mo、Bi、Sn、Cd 等元素。3 条剖面均出现了异常, 且位置比较一致, 异常元素为 Zn、Mo、Pb、W、Sn, 且以 Mo、Zn、Pb 强异常为主, 异常明显分布于地

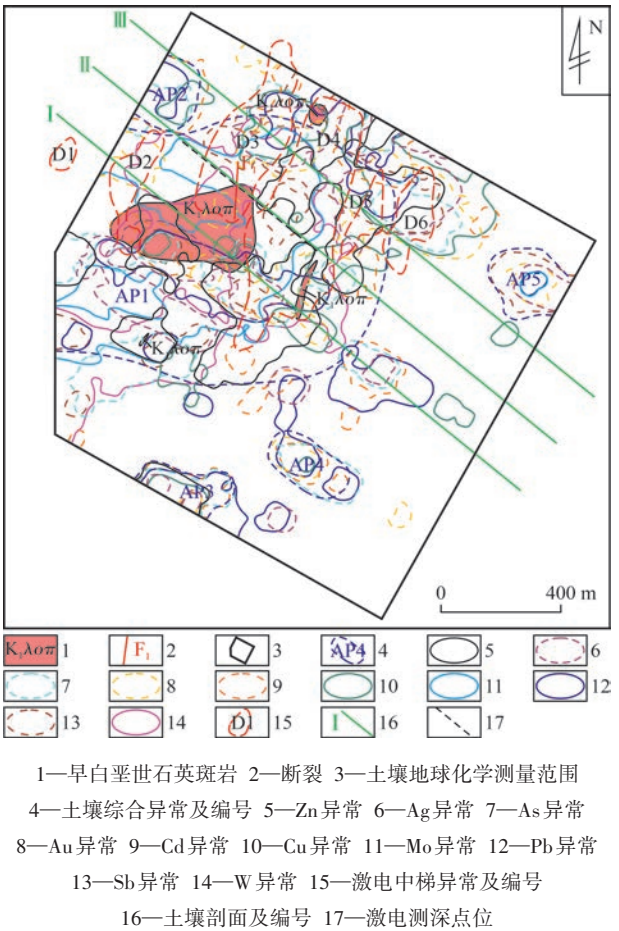


图4 土壤、激电综合异常套合图

Fig. 4 Overlay map of soil and IP anomalies

表石英斑岩及其与二长花岗岩接触带附近, 反映了异常与石英斑岩关系密切。

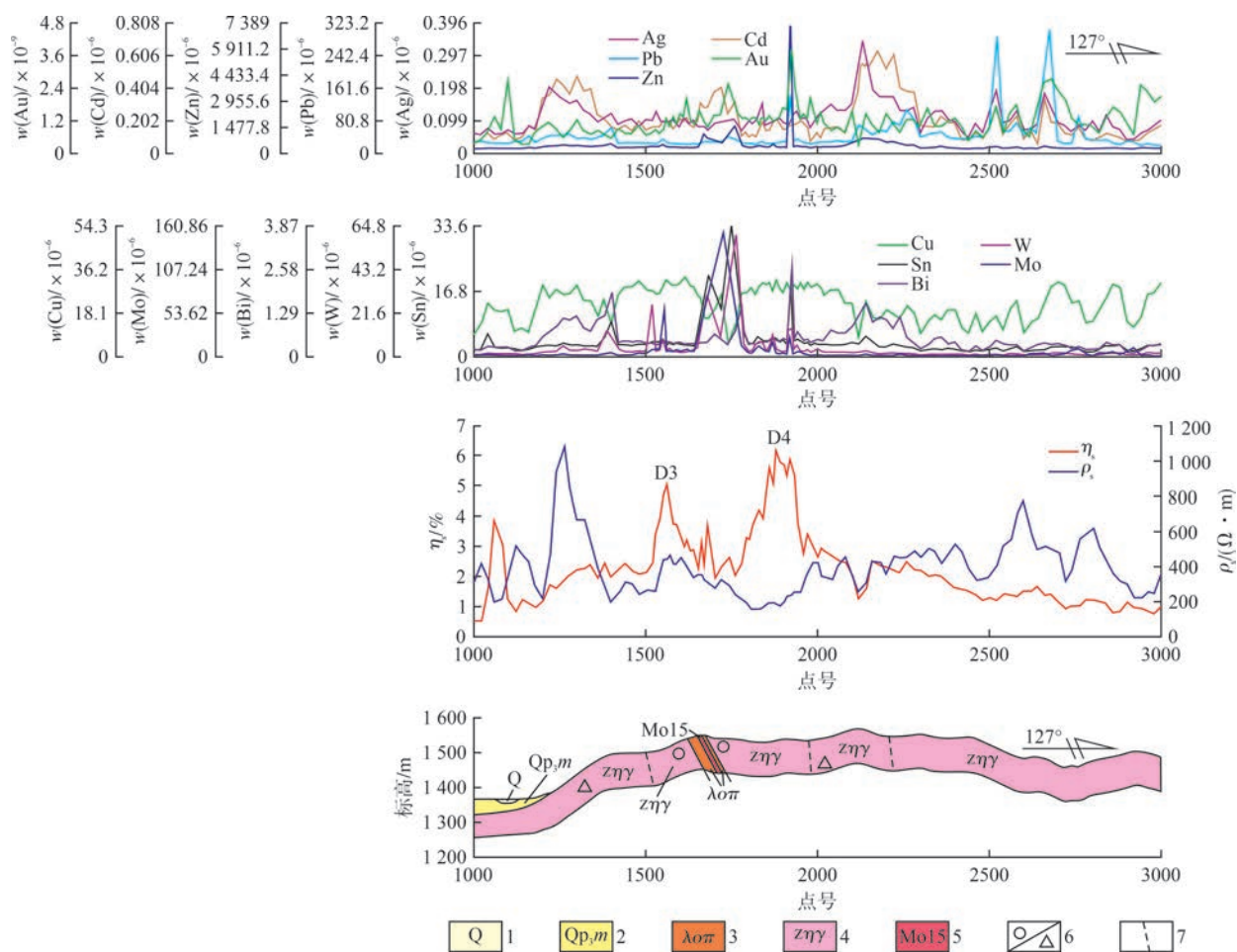
II 剖面异常显著, 以 Mo、Zn 异常为主, Mo 异常分布于 1500 点至 1950 点 (见图 5), 宽约 300 m, Mo 质量分数集中于 $10.9 \times 10^{-6} \sim 93.1 \times 10^{-6}$, Mo 最大值为 131.0×10^{-6} ; Zn 异常分布于 1660 点至 1930 点, 宽约 270 m, Zn 最大值为 7368.0×10^{-6} 。Mo、Zn、Pb 异常主要分布于石英斑岩与二长花岗岩接触带附近, 与地表钼矿体位置较吻合, 矿化蚀变有硅化、高岭土化、褐铁矿化、铁锰矿化。

3 地球物理特征

3.1 岩(矿)石电性特征

矿区内共采集并测定了岩(矿)石电性标本 181 件。使用 DWJ-3B 微机激电仪, 采用面团法对电性标本进行测定, 测量参数包括极化率 (η_s)、电阻率 (ρ_s), 结果见表 1。

由表 1 可知: 地表岩石蚀变较强, 极化率较低; 钻孔内岩石硫化物含量较高, 激电异常与硫化物有着密切的关系, 故具有黄铁矿化的岩(矿)石视极化率较高, 能够引起明显的激电异常。



1—第四系 2—马兰组 3—石英斑岩 4—二长花岗岩 5—钼矿体及编号 6—褐铁矿化、铁锰矿化 7—岩相分界

图5 II剖面综合异常图

Fig. 5 Comprehensive anomaly diagram of Profile II

表1 大东沟钼床岩(矿)石标本电性参数

Table 1 Electrical parameters of rock (ore) samples from the Dadonggou Molybdenum Deposit

序号	岩性	样本数	取样位置	极化率/%			电阻率/(Ω·m)		
				最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
1	蚀变石英斑岩	30	地表	0.27	3.57	0.76	157.31	1 697.77	648.62
2	蚀变二长花岗岩	30	地表	0.25	3.99	1.69	33.19	4 138.50	694.30
3	中粒二长花岗岩	30	地表	0.79	2.61	1.73	187.83	2 106.75	797.89
4	石英斑岩	30	地表	1.35	2.81	2.04	298.55	3 187.80	1 018.12
5	硅化褐铁矿化石英斑岩	30	地表	0.57	3.84	1.69	566.84	3 376.80	1 810.13
6	含角砾黄铁矿化石英斑岩	6	钻孔	1.51	10.21	3.85	839.84	35 181.28	11 895.65
7	含辉钼矿隐爆角砾岩	3	钻孔	2.74	5.42	3.89	5 695.79	10 768.99	8 866.89
8	黄铁矿化隐爆角砾岩	3	钻孔	4.94	10.39	7.90	15 170.75	16 781.28	16 167.60
9	黄铁矿化二长花岗岩	6	钻孔	0.80	12.00	6.92	179.56	15 163.10	3 209.33
10	含辉钼矿黄铁矿化二长花岗岩	10	钻孔	2.09	11.22	5.49	483.54	14 924.50	5 543.52
11	含辉钼矿黄铁矿化石英斑岩	3	钻孔	1.65	15.76	6.63	140.34	5 448.57	3 580.83

3.2 激电中梯异常特征

本次激电工作采用DWJ-3B微机激电仪、TXU-30发射机(电流源)。供电周期16 s,供电脉宽4 s。供电极距为1 500 m。测量极距为40 m,测点点距为20 m。

激电中梯异常的圈定主要依据极化率,极化率整体呈现中心高、四周低的趋势。综合最新地质认识、激电异常形态、地表矿化与激电中梯异常的对应性等因素,将极化率异常下限确定为2.60 %。本次共圈定6处激电中梯异常,分别为D1、D2、D3、D4、D5、D6(见图4)。

D3激电中梯异常在平面上呈条带状,北北东向展布,宽约220 m,长约650 m,极化率为2.4%~5.11%,电阻率为56~971 $\Omega\cdot\text{m}$,表现为中高阻、高极化特征。该异常位于石英斑岩与二长花岗岩接触带附近,且与Mo、Zn异常套合较好(见图5)。经地表探槽及ZK001钻孔验证,该异常由石英斑岩、隐伏的钼、黄铁矿等金属硫化物沿石英斑岩与二长花岗岩接触带的薄弱面及局部富集共同作用所引起。

D4激电中梯异常在平面上呈条带状,沿北北东

向展布,宽约220 m,长约700 m,极化率为2.4%~6.34%,电阻率为61~851 $\Omega\cdot\text{m}$,表现为中高阻、高极化特征。该异常由隐伏的钼、黄铁矿等金属硫化物所引起的可能性较大。经ZK002钻孔进行验证,该异常由隐伏的钼、黄铁矿等金属硫化物所引起。

3.3 激电测深

为了解激电中梯异常的垂向地电分布特征,有效指导钻探工程布设^[19-20],在横穿D3、D4激电中梯异常中心布设了激电测深剖面,测量结果见图6。

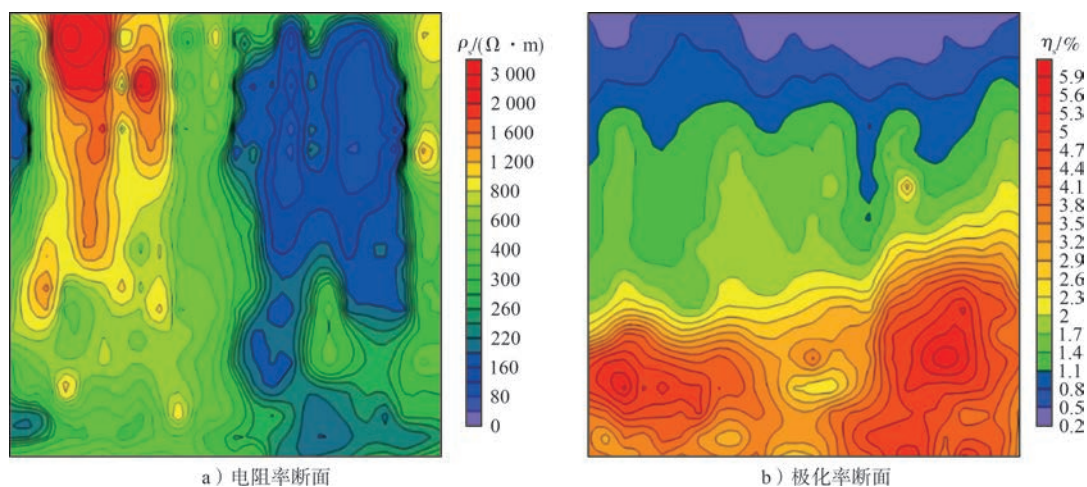


图6 大东沟钼矿床激电测深等值线图

Fig. 6 IP sounding contour map of the Dadonggou Molybdenum Deposit

在1530—1690点(此处发育D3激电中梯异常),激电测深等值线近圆形垂向展布,向深部有一定延伸,电阻率为256~1544 $\Omega\cdot\text{m}$,极化率最大值为5.69%,浅部表现为高阻、高极化特征,深部表现为中高阻、中等极化特征,推断该极化体的顶板埋深为90~110 m;300~500 m深度的高阻体呈近锥状垂向展布,深部未圈闭,极化率为2.60%~3.50%,说明其金属含量较高,推断可能为含钼、黄铁矿等金属硫化物的硅化带。该异常由隐伏的金属硫化物沿石英斑岩与二长花岗岩接触带的薄弱面及局部富集共同引起。

在1770—1930点(此处发育D4激电中梯异常),激电测深等值线近直立展布,略向北西倾,底部未圈闭,电阻率为110~420 $\Omega\cdot\text{m}$,极化率最大值为5.91%,表现为中低阻、高极化特征,推断该极化体的顶板埋深为60~80 m。该激电异常中心深度约200 m,说明其金属含量较高、激电场衰减较慢、均匀性较好,推断其为含钼、黄铁矿等金属矿物的富集区。深度200~500 m,电阻率为110~260 $\Omega\cdot\text{m}$,极化率最大值为4.61%,说明其金属含量减少、激电场衰减变快、均匀性差,推断其为含钼、黄铁矿等金属矿物所致,但金属含量较上部明显减少,其高极化异常可能是受上部金属矿物富集的影响。

4 找矿效果

4.1 成矿条件分析

石英斑岩与二长花岗岩接触带附近岩石矿化强烈,临近该接触带的二长花岗岩矿化较为均匀连续,分布在石英斑岩侧上方。由此认为,矿区赋矿岩体以石英斑岩和外围接触带二长花岗岩为主。

1:5万水系沉积物测量、1:1万土壤地球化学测量结果显示,矿区内高温元素Mo、W、Bi、Sn与中低温元素Pb、Zn、Ag在同高程、同位置富集,反映了岩浆、热液活动呈多期性^[8-10];各异常元素浓集中心套合较好,反映引起异常的地质目标单一,异常源明确且位置集中,以石英斑岩为中心,呈环状分布于石英斑岩及其与二长花岗岩接触带附近。

激电中梯异常表现为中高阻、高极化特征,分布于石英斑岩和二长花岗岩接触带附近,且与Mo、Zn、Pb异常套合较好;激电测深显示,浅部表现为高阻、高极化特征,深部表现为中高阻、中等极化特征,与地表石英斑岩的分布套合较好。与石英斑岩与二长花岗岩接触带附近碎裂甚至粉碎的二长花岗岩相对应,推测深部矿化连续而且稳定,矿化规模巨大。

矿区内物化探异常明显,与地表发现的矿化体位置对应较好,综合地质、物探、化探异常特征,物化探

异常套合明显,套合程度较好,反映矿区具有寻找钼多金属矿的潜力。综合找矿方法有效圈定了成矿有利部位,缩小了找矿靶区。

4.2 工程验证

通过地质、物化探综合勘查工作,选择在穿过D3、D4激电中梯异常中心、低阻高极化率异常降低过渡段、矿化蚀变出露地段的0号勘探线布置钻孔ZK001、ZK002进行工程验证(见图7)。结果显示,矿

区内圈定钼矿体19条。其中,由钻孔ZK002控制的Mo16矿体规模最大,控制矿体厚度169.06 m,推测矿体沿倾向延伸约50 m,延长约50 m,呈厚层状产出,矿体倾角约14°,钼品位为0.030%~0.330%,平均钼品位为0.103%。深部见矿潜力较大,矿床规模可达中型及以上。此外,矿区内的多个物化异常有待进一步开展验证工作。

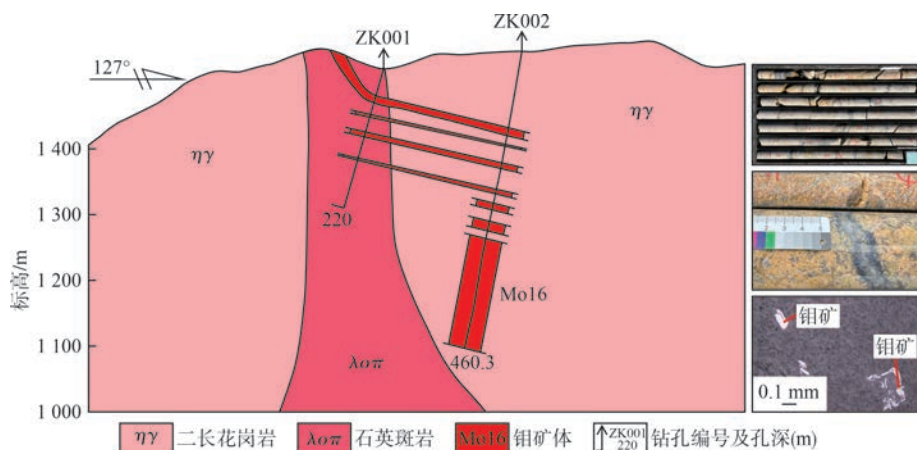


图7 大东沟钼矿床0号勘探线剖面简图和典型照片

Fig. 7 Simplified profile and typical photographs of Exploration Line 0 in the Dadonggou Molybdenum Deposit

5 结论

1)大东沟钼矿床共圈定土壤综合异常5处,成矿元素为一套中高温元素组合,异常置于石英斑岩及其与围岩接触带处。

2)激电中梯测量共圈定激电中梯异常6处,整体表现为中高阻、高极化的激电特征。激电测深推测异常为隐伏的金属硫化物沿石英斑岩与二长花岗岩接触带的薄弱面,以及局部富集共同作用引起。

3)物化探异常明显,套合程度较好,通过槽探、钻探工程验证,发现了19条钼矿体,深部找矿潜力较好,矿床规模可达中型及以上。

【参考文献】

- [1] 叶天竺,肖克炎,严光生. 矿床模型综合地质信息预测技术研究[J]. 地学前缘, 2007, 14(5): 11-19.
- [2] 施俊法,唐金荣,周平,等. 隐伏矿勘查经验与启示——从《信息找矿战略与勘查百例》谈起[J]. 地质通报, 2008, 27(4): 433-450.
- [3] 刘志远,徐学纯. 辽东青城子金银多金属成矿区综合信息找矿模型及找矿远景分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(3): 437-443.
- [4] 杨晓勇,古黄玲,严志忠,等. 安徽贵池地区燕山期岩浆岩与铜金钼成矿关系:来自地质-地球化学-地球物理证据[J]. 地球科学与环境学报, 2016, 38(4): 444-463.
- [5] 韩雷,郑岩,李雪梅,等. 内蒙古敖汉旗窑沟金矿床综合信息特征及找矿意义[J]. 黄金, 2022, 43(2): 15-21.
- [6] 韩晓涛,陈军典,李伯男,等. 辽东宋家堡子地区物化探综合信息

与铅锌找矿前景[J]. 黄金, 2021, 42(11): 27-32.

- [7] 衣欣,陈军典,郑伟,等. 辽东水泉地区物化探异常特征、探矿效果与找矿前景[J]. 黄金, 2022, 43(5): 22-27.
- [8] 王学阳,李慧,郭延峰,等. 吉林夹皮沟金矿田二道沟矿区地球物理特征、地球化学特征及找矿效果[J]. 黄金, 2022, 43(12): 26-32, 38.
- [9] 王学阳,杨言辰,刘志宏,等. 长江中下游成矿带大金山地区综合信息找矿效果及深部找矿潜力分析[J/OL]. 吉林大学学报(地球科学版), 1-16 [2024-05-29]. <https://doi.org/10.13278/j.cnki.jj-ues.20230239>.
- [10] 李效港,杨继峰,杨言辰,等. 吉中地区新安屯钼矿综合地质、物化探特征及找矿潜力分析[J/OL]. 吉林大学学报(地球科学版), 1-20 [2024-06-01]. <https://doi.org/10.13278/j.cnki.jjuese.20230184>.
- [11] 安国英. 青海省东昆仑地区地球化学异常特征及金矿靶区筛选与评价[J]. 物探与化探, 2013, 37(2): 218-224.
- [12] 戴慧敏,代雅键,马振东,等. 大兴安岭查巴奇地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 1 043-1 050.
- [13] 俞初安,司马献章,唐永香,等. 内蒙古阿巴嘎旗塔拉地区地球化学异常特征及成矿潜力分析[J]. 地质找矿论丛, 2014, 29(2): 278-283.
- [14] 彭翼,何玉良,曾涛,等. 河南省Mo矿区域成矿模式与综合信息预测模型[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2013, 43(4): 1 262-1 275.
- [15] 代军治. 燕辽成矿带钼(铜)矿床成矿作用及成矿动力学背景[D]. 北京: 中国地质科学院, 2008.
- [16] 李随民,焦雪红,韩玉丑,等. 冀北两种类型钼矿床地质特征与

- 控矿因素差异性分析[J].地球学报,2023,44(6):967-982.
- [17] 樊玉朋,李思伟,王子洋,等.张家口崇礼小西湾侵入岩成矿条
件及矿化机制研究[J].物探与化探,2018,42(1):111-117.
- [18] 范宗福,徐沛斌,魏万鸿,等.甘肃北山斜沟—红柳丘井地区土
壤地球化学特征及找矿远景[J].黄金,2024,45(6):77-84.
- [19] 刘志远,张雪娟,刘国辉.宝格德乌拉隐伏多金属矿勘探中综合
找矿模式的研究[J].西北地质,2015,48(1):109-116.
- [20] 李冰,尚建阁,刘清泉,等.综合物探方法寻找斑岩型钼矿床的
应用试验研究——以姚冲钼多金属矿床为例[J].黄金,2015,
36(1):21-26.

Application effectiveness of integrated geophysical-geochemical prospecting methods in the exploration of the Dadonggou Molybdenum Deposit, Northwestern Hebei

Wang Guang¹, Zhang Xingkang¹, Tao Guanghuo^{1,2}, Sun Zhiwei¹, Liu Guangyu¹

(1. Hebei Geological Survey; 2. College of Earth Sciences, Jilin University)

Abstract: The Dadonggou Molybdenum Deposit, located in the Yanliao molybdenum metallogenic belt, is a newly discovered porphyry-type molybdenum deposit genetically associated with quartz porphyry. This study integrates 1:50 000 stream sediment survey, 1:10 000 soil geochemical survey, induced polarization (IP) gradient profiling, and IP sounding to systematically analyze the deposit's geological, geochemical, and geophysical anomaly characteristics. Surface mineralization zones are predominantly hosted within quartz porphyry and its outer contact zones. Geochemical anomalies, dominated by Mo, Zn, and Pb, exhibit a concentric distribution around the quartz porphyry and its contact zone with monzogranite. IP anomalies display moderate-high resistivity and high polarizability characteristics, spatially coinciding with the quartz porphyry-monzogranite contact zone and overlapping well with Mo-Zn-Pb anomalies. These features further delineate the extension of mineralization at depth. The study indicates significant geophysical and geochemical prospecting anomalies within the mining area and a good correlation between them and the locations of discovered surface mineralization. By synthesizing geological, geophysical, and geochemical data, the study effectively identifies favorable metallogenic areas and narrows prospecting target areas. Drilling verification confirmed 19 molybdenum orebodies, showing promising deep prospecting potential and the prospect of a medium to large-scale deposit. The success of integrated prospecting methods in the Dadonggou Molybdenum Deposit provides a valuable reference for exploring similar deposits in the region.

Keywords: integrated prospecting methods; geological characteristics of deposits; geophysical anomaly characteristics; geochemical anomaly characteristics; prospecting effectiveness; Dadonggou Molybdenum Deposit; Northwestern Hebei