doi: 10.11720/wtyht.2017.4.11

郭友钊,张振海,张杰,等.北山成矿带黑山铜镍硫化物矿区物性特征及其找矿意义[J].物探与化探,2017,41(4):662-666.http://doi.org/10. 11720/wtyht.2017.4.11

Guo Y Z, Zhang Z H, Zhang J, et al. The petrophysical characteristics of the Heishan copper-nickel sulfide ore district in the Beishan metallogenic belt and their prospecting significance [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(4):662–666. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.4.11

北山成矿带黑山铜镍硫化物矿区物性特征 及其找矿意义

郭友钊^{1,2},张振海^{1,2},张杰^{1,2},李磊^{1,2}

(1.中国地质科学院地球物理与地球化学研究所,河北廊坊 065000;2.国家现代地质勘查工程技术研究中心,河北廊坊 065000)

摘要:161件采自地面、1134件采自钻孔岩芯的主要岩石、矿石标本物理性质参数测量结果表明,北山成矿带黑山 铜镍矿区的矿化岩体、岩体、围岩地层具有显著的密度、磁化率、剩磁强度、极化率差异,具备良好的地球物理勘查 前提;按矿化岩体、岩体、围岩间物性差异大小及形成异常的能力,对于北山地区寻找岩浆熔离型铜镍硫化物矿床 具有如下意义:大比例尺、高精度重磁扫面圈定的块状高磁异常、高重力异常,可能是基性—超基性岩体存在的标 志;在此可能指示基性—超基性岩体赋存的块状重磁异常区开展大比例尺的激发极化法、电阻率、磁力测量,若获 得块状或筒状极化率高于 10%的异常和高阻中的低阻异常、较高或者更高的磁异常、重力异常,它们可作为岩体可 能已矿化的标志。

关键词:北山成矿带;基性--超基性岩体;铜镍硫化物矿床;物探;找矿标志

中图分类号: P631 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2017)04-0662-05

0 引言

天山—北山成矿带已发现的基性—超基性岩体 上百个,已发现了大型的黄山、中型的黑山等铜镍矿 床,整个成矿带具有找矿潜力^[1]。黑山铜镍矿与金川 铜镍矿在形成地质环境与成因方面具有相似性,都是 岩浆熔离型矿床,都可能形成贯入型富矿体,具有工 业价值^[2-3]。近年随着青海夏日哈木岩浆型熔离铜 镍硫化物超大型矿床找矿的突破,李文渊等人认为汤 中立先生建立的"小岩体成大矿"的理论^[4]在西北地 区寻找铜镍矿具有普遍意义^[5]。但由于基性—超基 性岩岩体小、具有一定的埋深,并且并非每个基性— 超基性小岩体都能形成具有工业意义的矿床,这样给 物探工作在寻找小岩体、评价小岩体带来了方法 技术上的困难。如何有效地应用物探方法技术实现 北山地区铜镍矿的找矿突破,成为该区地质工作者关 注的一个问题。

对于物探方法寻找岩浆熔离型铜镍矿,总体上基 于基性—超基性岩体"三高一低"(密度高、磁性高、 极化率高、电阻率低)的物性特征^[6]。北山地区中等 磁异常(伴有负磁异常)和深部较强的激电异常也是 有效寻找铜镍矿的找矿标志^[7]。在黑山铜镍矿普查 工作中发现,重磁方法可以较准确地圈定岩体,而岩 体内部的高极化体为矿致异常^[8]。

黑山岩体第四系覆盖严重,出露少,普查阶段的 物性调查未能较系统地开展。2008 年黑山矿区完成 详查,获得了大量的岩芯资料,为较系统地测定综合 物性参数、进一步分析物探找矿标志^[7]提供了可能。 笔者基于夏日哈木铜镍硫化物矿区综合物性研究工 作的经验与成果^[9-11]开展黑山矿区的物性调查及物 探找矿标志的研究工作。

收稿日期: 2016-06-10;修回日期: 2016-07-07

基金项目:中国地质调查局地质矿产调查评价专项"甘肃柳园地区典型矿床物化探新技术集成与应用"项目(12120113100500)

作者简介: 郭友组(1965-),男,获中国地质大学(北京)应用地球物理专业博士学位,研究员,主要从事地质—应用地球物理复合专业研究 力力数据 工作。Email:guoyouzhao@igge.cn

1 地质矿产概况

黑山地区位于古生代形成的库米什—红柳河— 洗肠井蛇绿岩带中,黑山基性—超基性岩体 U-Pb 年 龄为 374.6 Ma±5.2 Ma,是在晚泥盆世形成的小岩 体^[12]。该岩体呈"鸭梨"状,总体走向北西、倾向南 西,倾伏角 65°~85°,长约 790 m,宽约 180~520 m,垂 深超过 562 m,出露面积仅 0.257 km²。发育有斑杂状 角闪辉长岩相,橄榄角闪辉长岩相,角闪橄榄岩相等 3 个相带,其中角闪橄榄岩相构成黑山基性—超基性 岩体的主体,约占岩体总面积的 94%。3 个岩相间多 为渐变关系,且无热蚀变及岩石破碎现象。岩体侵位 于青白口系大豁落山群,直接围岩是大理岩和泥质板 岩,围岩蚀变明显,岩体上部接触面见有蛇蚊石化大 理岩,底部围岩有明显的角岩化现象。上覆于大豁落 山群的地层为寒武系,其岩性为页岩、板岩,夹少量的 大理岩、重晶石岩。

黑山铜镍硫化物矿体赋存在基性—超基性岩体 中。矿石金属矿物主要有红砷镍矿、砷镍矿、黄铜矿、 针镍矿、镍黄铁矿、磁黄铁矿、辉铜矿,其次有黄铁矿、 紫硫镍矿和自然铜。矿石结构主要有半自形—他形 粒状结构、交代残余结构、交代假象结构、浸蚀结构。 矿石构造主要有浸染状构造、胶状构造、蜂窝状构造。 矿石类型主要为含铜镍浸染状斜长方辉橄榄岩矿石, 其次为铜镍矿化角闪橄榄岩矿石、铜镍矿化橄榄岩矿 石、铜镍矿化蛇纹石化橄榄岩矿石、稀疏浸染状橄榄 角闪辉长岩铜镍矿石等。

黑山岩体中的矿体与非矿体的界线不是很明显。 铜镍矿体主要产在橄榄岩中,其次产在角闪辉长岩 中。矿体大致有两个产出部位,一是产于超基性岩体 中的悬浮矿体;二是产在超基性岩体底部接触带上的 矿体,矿体走向与超基性岩体基本一致,上陡下缓。 矿化主要分布在岩体中一下边部,即角闪橄榄岩相 中,矿化带总体呈带状,北西向展布,与岩体走向一 致。圈定矿体 105 个,其中主矿体 6 个,矿石量约 1582万 t,占总矿石量的 92.41%;镍金属量约 9.11 万 t,占总金属量的 92.17%;铜金属量约 4.59 万 t,占总 金属量的 92.34%。主矿体呈不规则的似层状、脉状、 枝叉状、透镜状,均产于角闪橄榄岩中,其规模大小 不一,长数十米到数百米,宽一米至数米^[13]。

2 物性调查方法

在金国存塑展司的协助下,物化探所物性试验

室^[14]开展了物性标本的采集、样品的加工与物性参数的测定工作。

物性标本采集自地表和钻孔岩芯。地表采集点 根据岩体及围岩露头情况随机分布,一般每个露头采 集 3~6件,每件标本大小约为 4×6×8 cm³。共采集地 面标本 162件。钻孔岩芯标本采集时,根据可利用的 岩芯确定 12个钻孔(分布见于图 1),每孔一般层位 按 5~10 m 取 1 个标本,含矿段加密采集,每件标本采 集 5 cm 长的岩芯柱。计采集岩芯标本 1 134 件。



图1 物性采样钻孔位置示意

地面物性标本加工成直径 25 mm、高 22 mm 的标准化圆柱状物性样品。采用英制 Molspin 及Minispin 测试系统进行磁化率及剩磁强度的测试。样品清水饱和 24 h 后使用 MH-600A 密度计进行密度测定,使用 RP-1 型岩矿电性测量仪进行电阻率、极化率的测定^[15]。经 10%以上的抽检,密度测定的均方误差为 0.004 4×10³ kg/m³,磁化率和剩磁强度的平均相对误差分别为 1.7%和 2.1%,电阻率和极化率的平均相对误差分别为 3.2% 和 1.4%。

岩芯标本在岩芯库直接测试。采用 MH-600A 密度计测定标本的密度,使用 M-30 磁化率仪以插 值法测定标本的磁化率^[16]。抽检率为11.1%,密度 测定均方误差为 0.01×10³ kg/m³,磁化率的测定平 均相对误差为 3.1%。

3 物性统计特征

根据矿床成因,寻找基性—超基性岩体是勘查 岩浆熔离型铜镍矿床的基础。随之,评价该基性— 超基性岩体是否含矿,是否具有成为工业矿床的潜力,则是钻探前应该开展的工作。因此,笔者首先研究岩体与围岩之间是否具有明显的物性差异,其次研究岩体与岩体内的矿(化)体之间是否存在显著的物性差异,以期通过查明岩体与围岩、矿体与岩体间有明显差异的物性参数和可识别程度,探讨寻找 岩体、评价岩体含矿性的有效物探方法。

统计时,采用最小值、算术平均值、最大值以观 单元物性参数的变化范围;采用第一四分位值、中间 值、第三四分位值来观察单元物性参数的主要分布 范围。

根据 12 个钻孔岩芯 1 134 件样品测定获得密 度、磁化率的统计结果见表 1、分布示于图 2。地表 标本测定的物性数据统计结果见表 2 并示于图 3、 图 4。仅从中间值分析,具有如下特征:

 密度:围岩地层与岩体的密度差约为(0.06~0.22)×10³ kg/m³,差异并十分显著。矿化岩体与 岩体的密度差约为(0.00~0.07)×10³ kg/m³,差异 小。

2) 磁化率: 矿化岩体的磁化率比岩体的磁化率

高 2~4倍,岩体的磁化率又比围岩地层的磁化率高 出 50~500倍,差异均十分显著。

3) 剩磁强度:从表 2 所示的中间值观察, 矿化 岩体的剩磁强度比岩体的剩磁强度高约 12 倍, 岩体 的剩磁强度又比围岩地层的剩磁强度高出近 300 倍,差异均十分显著。

4)电阻率:矿化岩体的电阻率要低于岩体的电阻率约 17 倍。岩体的电阻率总体上高于围岩地层的电阻率,当围岩地层的岩性为碎屑岩时,岩体电阻率明显高于碎屑岩地层电阻率,当围岩地层的岩性



图 2 黑山铜镍矿区钻孔岩矿石密度--磁化率散点

物性 参数	地质 单元	标本数	极小值	平均值	极大值	第一 四分位值	中间值	第三 四分位值	标准 偏差
密度 /(10 ³ kg/m ³)	地层	81	2.652	2.774	2.856	2.743	2.769	2.822	0.048
	岩体	933	2.436	2.999	3.712	2.922	2.991	3.104	0.118
	矿化岩体	118	2.707	2.993	3.201	2.929	2.988	3.065	0.095
磁化素	地层	81	-162	219	7950	-12.63	141	191	881
₩24 平24平4 /10 ⁻⁶ SI	岩体	933	124	10375	76700	3960	6770	13700	9603
	矿化岩体	118	1280	16010	52700	6050	15400	22800	10870

表1 黑山铜镍矿区钻孔岩矿石密度和磁化率参数特征统计

表 2 地表标本测定地质单元综合物性统计

物性 参数	地质 单元	标本数	极小值	平均值	极大值	第一 四分位值	中间值	第三 四分位值	标准 偏差
के कि	地层	121	2.521	2.811	4.271	2.702	2.800	2.834	0.237
省反 (10^3 ba/m^3)	岩体	25	2.662	2.868	3.174	2.787	2.864	2.922	0.121
/(10 kg/m)	矿化岩体	15	2.839	2.932	3.025	2.911	2.935	2.951	0.043
磁化束	地层	122	0.2	65.3	475.1	2.2	11.9	74.1	112.32
磁化率 /10 ⁻⁶ SI	岩体	25	235.7	9352.6	28256	354.9	6779.9	17668.4	10071.1
	矿化岩体	15	21759.0	30074.8	35030.5	26652.6	31097.9	33366.6	4346.8
剩磁强度 /(A/m)	地层	122	0.0	2.9	264.0	0.1	0.3	0.5	23.9
	岩体	25	0.1	408.8	1706.3	0.4	89	692.6	539.1
	矿化岩体	15	296.9	1319.6	2628.8	737.6	1095.1	2029	737.1
电阻率 /(Ω・m)	地层	95	219.0	6453.1	17580.9	2668.3	6109.6	9720.8	4095.13
	岩体	21	275.5	7742.9	15374.5	973.3	11140.3	12394.9	6051.2
	矿化岩体	15	357.2	1797.4	6331.2	544.7	650.8	2736.2	1844.6
极化率/%	地层	95	0.2	5.7	73.8	0.9	1.6	2.9	12.37
	岩体	21	1.6	3.1	9.4	2.0	2.8	3.1	2.1
	矿化岩体	15	31.9	59.5	80.9	40.6	68.0	77.1	18.9

万方数据



图 3 黑山铜镍矿区地表岩矿石密度—磁化率散点



图 4 黑山铜镍矿区地表岩矿石极化率—电阻率散点

	表 3	黑山铜镍矿	'区地表沉积岩电阻率参数特征统i	t
--	-----	-------	------------------	---

		I	电阻率/(Ω・m))	极化率/%		
岩性	标本数	第一 四分位值	中间值	第三 四分位值	第一 四分位值	中间值	第三 四分位值
矿化变质砂岩	6	931.9	2033.8	5517.2	1.6	19.65	37.2
千枚岩	7	842.6	2116.4	7509.7	1.7	2.2	2.5
变质砂岩	18	2115.9	2705.0	5114.3	2.0	3.0	17.7
黑色碳质板岩	5	3119.2	4839.6	6002.6	13.7	17.3	22.5
灰黑色大理岩	5	5779.6	6337.5	7552.2	1.4	1.4	2.2
白云质大理岩	15	5155.6	6822.0	9434.0	0.73	1.5	2.0
大理岩	27	5201.1	7584.8	11925.2	0.6	1.0	1.6
硅化大理岩	12	8923.8	10131.2	10713.6	0.3	0.8	1.7

为碳酸盐岩时,岩体电阻率略低于碳酸盐地层电阻 率或者相差无几(表3)。

5)极化率:矿化岩体的极化率显著高于岩体的 极化率,约24倍。地层中,矿化变质砂岩、黑色碳质 板岩的极化率也很高(表3),具有仅次于矿化岩体 的极化率。

4 物探找矿标志

黑山铜镍矿区的岩体与围岩地层具有显著的高 密度、高磁化率、高剩磁强度、高极化率差异;矿化岩 体比岩体具有明显的高磁化率、高剩磁强度、高极化 率、低电阻率差异。以往黑山的物探工作中,已发现 大比例尺的磁法、重力的块状异常与黑山岩体对应, 岩体内部的极化率异常与矿体对应^[2,8]。因此,黑 山铜镍矿区具有利用重力、磁法、激发极化法寻找岩 体,利用磁法、激发极化率法、电阻率法评价岩体含 矿性的物性基础、物探经验。

基于"小岩体成大矿"理论,结合物性统计特征的特点,笔者认为在北山成矿带寻找岩浆熔离型铜镍硫化物矿床的物探标志为:大比例尺、高精度重磁扫面所发现的块状磁力高异常、重力高异常,可能是基性—超重冲数排本存在的标志;若对此类块状异常

开展大比例尺的激发极化法、电阻率、磁力测量,若获得块状或筒状极化率高于10%的异常和高阻中的低阻异常、较高的或者更高的磁异常、重力异常, 它们可作为岩体可能已矿化的标志。

参考文献:

- [1] 王小红,杨建国,王磊,等.甘肃北山大山头铜镍矿化基性—超
 基性岩成矿潜力研究[J].高校地质学报,2014,20(2):222 229.
- [2] 张新虎,冯军,殷勇,等.甘肃肃北黑山铜镍矿床产出特征及对 比研究[J].西北地质,2012,45(4):134-144.
- [3] 王平,刘文周,李娟.金川与黑山铜镍硫化物矿对比及找矿预测 [J].云南地质,2012,31(2):267-271.
- [4] 汤中立.中国的小岩体岩浆矿床[J].中国工程科学,2002,4
 (6):9-12.
- [5] 李文渊,张照伟,陈博.小岩体成大矿的理论与找矿实践意义——以西北地区岩浆铜镍硫化物矿床为例[J].中国工程科学,2015,17(2):29-34.
- [6] 姚卓森,秦克章.造山带中岩浆铜镍硫化物矿床的地球物理勘探:现状、问题与展望,地球物理进展[J].2014,29(6):2800-2817.
- [7] 谢燮,杨建国,王小红,等.甘肃北山大头山—黑山一带基性— 超基性岩成矿条件与找矿前景[J].西北地质,2016,49(1):15 -25.
- [8] 李百祥,腾汉仁,辛承奇.黑山铜镍矿重磁电异常解释[J].甘肃 地质学报,1999,8(2):65-71.
- [9] 郭友钊,郭心玮,王兴春,等.东昆仑夏日哈木 HS26 异常勘探

方向的极化率研究[J].物探与化探,2016,40(2):353-359.

- [10] 郭友钊,郭心玮,李磊,等.东昆仑夏日哈木铜镍硫化物矿床岩 矿石的密度特征与重力勘探问题[J].工程地球物理学报, 2016,13(1):1-6.
- [11] 郭友钊,郭心玮,王兴春,等.东昆仑夏日哈木铜镍硫化物矿床成矿作用的磁参数Q值试研究[J].物探与化探,2015,39(6):
 1278-1283.
- [12] 杨建国,王磊,王小红,等.甘肃北山地区黑山铜镍矿化基性— 超基性杂岩体 SHRIM 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J].地质

通报,2012,31(2-3):448-454.

- [13] 邵小阳,孙柏年,李相传,等.甘肃肃北黑山铜镍矿成矿地质特征及成因探讨[J].甘肃地质,2010,19(3):19-25.
- [14] 杨辟元.物性工作手册[M].北京:地质出版社,1994.
- [15] 李磊,陈晓东,郭友钊.RP-1 型岩矿石电性测量系统研制[J]. 物探与化探,2013,37(3):529-532.
- [16] 李磊.SM-30 磁化率仪的实用性研究[J].物探与化探,2015,39 (3):585-588.

The petrophysical characteristics of the Heishan copper-nickel sulfide ore district in the Beishan metallogenic belt and their prospecting significance

GUO You-Zhao^{1,2}, ZHANG Zhen-Hai^{1,2}, ZHANG Jie^{1,2}, LI Lei^{1,2}

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China; 2. State Research Center of Modern Geological Exploration Engineering Technology, Langfang 065000, China)

Abstract: Based on physical property parameter measurements of main rock and ore specimens from 161 surface samples and 1 134 drilling core samples in the Heishan copper-nickel ore district, the authors found that the mineralized rock body, rock body and wall rock strata all exhibit obvious differences in density, magnetic susceptibility, residual magnetization and polarizability, thus possessing favorable prerequisite for geophysical exploration. The study based on physical property difference degrees of mineralized rock body, rock body, rock body and wall rock strata and capability for forming anomalies has the following meaning: Massive high magnetic anomaly and high gravity anomaly delineated by large-scale high-precision gravity-magnetic regional sweeping survey might indicate the existence of mafic-ultramafic rock body; If large-scale IP, resistivity and magnetic survey is carried out in such a massive gravity and magnetic area and massive or pipe-like anomaly whose polarizability is higher than 10%, low resistivity anomaly in the high resistivity anomaly, relatively high or higher magnetic anomaly and gravity anomaly, the rock body in this area might have been mineralized.

Key words: Beishan metallogenic belt; ultrabasic rock; Cu-Ni sulfide deposit; geophysical exploration; prospecting criteria

(本文编辑:王萌)