

磁化率参数在东川铁铜矿 勘查中的方法试验与研究

邓宇涛^{1,2}, 方维萱^{1,2}, 郭茂华², 柳玉龙²

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 昆明 650093;

2. 有色金属矿产地质调查中心 北京资源勘查技术中心, 北京 100012)

摘要: 磁化率测量可以作为铁氧化物铜金型矿床勘查的辅助手段, 东川矿区磁化率是岩石重要的磁性参数, 同时也是寻找含铜磁铁矿的明显标志, 通过磁化率对比, 在因民组中, 特别是在火成岩中磁性出现异常地段, 预示着含铜磁铁矿的定位及找矿方向。因此, 测定和圈定磁化率异常对寻找含铜磁铁矿型矿床具有一定的地质找矿意义。

关键词: 磁化率; 磁铁矿; 火成岩; 含铜磁铁矿床; 东川铁铜矿; 云南省

中图分类号: P631.2; P618.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2010)02-0157-06

0 引言

东川铜矿的“四层楼”矿床组合模式已经得到了地学界的认可, 在沉积岩容矿的东川式铜矿及“稀矿山”式铜铁矿找矿方面取得了一系列新进展^[1,3]。但随着四川拉拉铁铜(钼金银)矿被认为属于铁氧化物铜金型矿床后^[4,5], 为重新认识和研究云南、四川一带的铁矿和铁铜矿床提供了新思路, 近年在东川滥泥坪深部新发现的铁氧化物铜金型矿床取得了可喜的找矿效果^[6,7]。由于危机矿山接替资源勘查投入费用较大, 为抵御勘查工作的各类风险, 需要制订合理、高效、低风险的勘探方案, 而基于风险分析的商业性找矿预测新方法^[7]研发有可能是降低各类风险的有效路径。由于东川滥泥坪铁氧化物铜金型矿床属于隐伏矿床, 找矿难度之大和各类风险复合是显而易见的技术经济难题, 这也需要重新从勘查和预测方法的技术角度进行研究。由于铁氧化物铜金型矿床中磁铁矿和赤铁矿是矿石的主要成分, 也是磁法勘探和磁化率填图的主要地质地球物理前提, 为采用这两种方法进行隐伏矿床找矿预测提供了理论基础。

磁化率在地球科学研究方面和地质找矿的应用中已经取得了良好的效果^[9-13]。利用磁化率的特征和变化规律可以快速寻找和圈定含铜磁铁矿、磁铁矿-赤铁矿化蚀变体的分布范围, 通过测定各类岩石的磁化率, 能够圈定岩石的磁化率异常、进行坑道和钻孔中磁化率填图, 发现磁性矿体, 同时可以在现场辅助识别矿化及蚀变。本文将着重论述磁化率填图技术在东川铁铜矿的试验研究效果, 以推进铁氧化物铜金型矿床隐伏矿体的找矿预测工作, 探索建立铁氧化物铜金型(IOCg)矿床勘探方法技术系统。

1 地质概况

东川矿区位于昆阳中元古代大陆裂谷中三级断陷盆地中^[1,7], 因民铁铜矿区位于东川中部落因背斜的北段, 滥泥坪矿区则位于东川中南部宝九断裂的北面, 地层倒转, 两个矿区的地层层序相反。本文测试的钻孔所揭露的地层基本为昆阳群落雪组和因民组。围岩蚀变主要有碳酸盐化、白云石化、硅化、绢云母化和石墨化。

(1) 落雪组: 岩性主要为青灰色、浅灰色、黄白色厚层-块状白云岩、藻白云岩、含叠层石和核形白云

收稿日期: 2009-07-21

基金项目: 国家科技部科技支撑项目(2006BAB01B09)、危机矿山接替资源勘查项目(200553026)、中色地科和昆明中色地科联合资助。

作者简介: 邓宇涛(1982-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业。E-mail: dengyutao0310@sohu.com

通讯作者: 方维萱(1961-), 男, 研究员, 从事矿产普查与勘探、产业经济学等研究。

岩及硅质条带白云岩,夹淡红色薄层泥砂质白云岩和钙质板岩。二段下部及底部白云岩中含有马尾丝状铜矿化。厚度 100~ 450 m。与下伏地层呈整合接触^[5]。

(2) 因民组: 下部为灰绿- 灰紫色层状砾岩、角砾岩,角砾成分复杂, 底砾岩由基性火山岩夹凝灰岩、砾岩、角砾岩; 中部为紫红色铁质板岩、凝灰质白云岩夹赤铁矿层, 是“稀矿山”式铜铁矿的主要赋矿层位; 上部以紫红- 紫灰色砂质白云岩为主, 夹板岩。中上部见斜层理、波痕及干裂等沉积构造。

2 岩心的磁化率特征

测量仪器为捷克进口的 SM- 30 型便携式磁化率仪, 测量范围: 0. 000~ 999× 1/ 1000 SI, 自动调整测量范围, 测试精度可达到 10^{- 7} SI; 测量时间: 每点不长于 5 s 数字显示。SM- 30 磁化率仪特别便于野外地质勘探和快速实验室分析, 对岩石或岩心样品进行分析和分类。能测出顺磁性、反磁性、铁磁性岩石的细微差别并精确地给出磁化率。使用了传统的传感器和新的信号处理方法保证仪器处于领先地位。

东川铜矿区共选取了 5 个钻孔岩心进行系统的磁化率填图试验, 测量间距为 2 m, 共测试了 1 471 个物理点, 采用平均模式测试, 每个点按间距均匀测试 5 次取平均值。

2.1 因民铁铜矿区

在因民铁铜矿区抽取 3 个钻孔连续进行岩心磁化率测定, 从上到下测定地层依次为落雪组、因民组和小溜口组二段, 岩石类型较多, 测得岩石磁化率特征如表 1。

从表 1 可以看出, 含磁铁矿的基性钠质熔岩磁性最高, $\kappa= 640\times 10^{-3}$ SI, 白云岩磁性最低, $\kappa= 0. 198\times 10^{-3}$ SI。两者相差 $n\times 10^3$ 数量级, 磁性变化剧烈。火成岩类表现出强弱不均的磁性, 磁性不稳定, 强度变化系数达到了 1. 68, 表明其磁性物质含量分布不均; 而变质岩和沉积岩磁性都很低, 基本不具磁性。而含凝灰质的白云岩磁性高于普通白云岩。

矿石中, 以含铜磁铁矿矿石的磁性最高 ($\kappa= 54. 9\times 10^{-3}$ SI), 具中等磁性; 铜矿石和赤铁矿矿石的磁性微弱, 赤铁矿矿石磁性略高于铜矿石 ($\kappa= 2. 04\times 10^{-3}$ SI), 铜矿石磁性基本接近围岩(白云岩)。

2.2 滥泥坪矿区

滥泥坪矿区的 ZK59-2, ZK59-3 的岩心以因民组三段为主, 落雪组只占少部分, 而且在因民组见到有 130~ 140 m 厚的火成岩。整体上看, 滥泥坪矿区岩心中的火成岩类(凝灰岩、闪长岩、辉绿岩) 都具中等磁性; 沉积岩类(各类白云岩) 为弱磁性; 含磁铁矿板岩和凝灰岩的磁性最强, 表现出明显的异常(图 2), 其磁化率变化较大。沉积岩磁化率波动平缓。

表 1 因民矿区钻孔岩心磁化率统计表

Table 1 Magnetic susceptibility results of drill core of the Yinmin mining area

编号	岩石名称	磁化率 $\kappa/10^{-3}$ SI		点数	离差	变化系数
		平均值	最高值			
Y-01	磁硅质板岩	0. 354	0. 722	16	0. 221	0. 714
Y-02	粉砂质板岩	0. 377	0. 965	49	0. 294	1. 31
Y-03	凝灰岩	57. 54	191	16	51. 9	1. 04
Y-04	含磁铁矿凝灰岩	210	556	4	13. 1	0. 004
Y-05	浆屑凝灰岩	69. 4	94. 8	5	12. 7	0. 239
Y-06	含角砾凝灰岩	6. 48	17. 6	3	22. 2	1. 21
Y-07	基性钠质熔岩	68. 7	209	87	41. 1	0. 680
Y-08	绿泥石化基性钠质熔岩	74. 04	96. 9	5	10. 6	0. 180
Y-09	含磁铁矿基性钠质熔岩	526	640	6	316	0. 616
Y-10	辉长玢岩	15. 4	32. 5	19	5. 88	0. 490
Y-11	火山角砾岩	5. 45	50. 1	47	6. 15	1. 68
Y-12	凝灰质白云岩	1. 19	7. 03	18	1. 35	1. 43
Y-13	含铜含铁凝灰质白云岩	0. 662	1. 91	7	0. 357	0. 783
Y-14	细晶硅质白云岩	0. 198	0. 913	38	0. 0745	0. 716
Y-15	铜矿石	0. 117	0. 545	48	0. 062	1. 05
Y-16	含铜磁铁矿矿石	54. 9	71. 1	5	10. 9	0. 211
Y-17	赤铁矿矿石	2. 04	4. 78	7	1. 69	0. 896

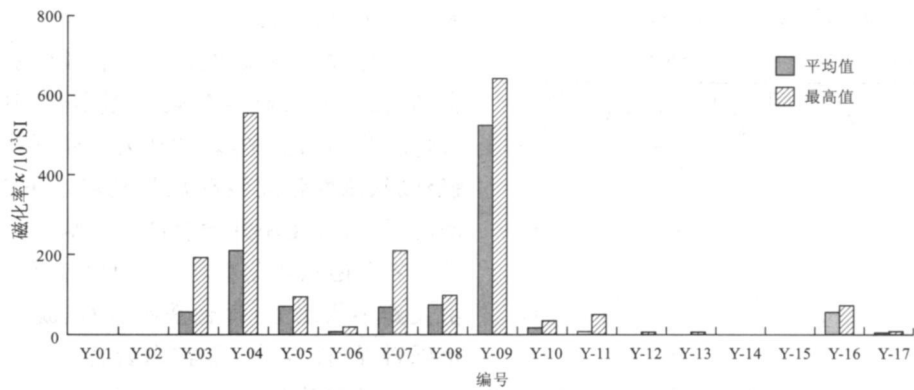


图 1 因民矿区岩心磁化率变化折线图($\kappa/10^{-3}\text{ SI}$)

Fig. 1 Line chart of core magnetic susceptibility of the Yinmin mining area

表 2 滥泥坪矿区岩心磁化率统计

编号	岩石名称	磁化率 $\kappa/10^{-3}\text{ SI}$		点数	离差	变化系数
		平均值	最高值			
L-01	凝灰质板岩	0.246	0.784	52	4.54	0.551
L-02	含黄铁矿化磁铁矿凝灰质板岩	526	912	6	203	0.443
L-03	含角砾凝灰岩	30.5	151	22	21.0	0.869
L-04	含黄铁矿、磁铁矿凝灰岩	122	156	3	43.1	0.376
L-05	含铜凝灰岩	41.8	89	4	23.6	0.689
L-06	绿泥石化闪长岩	3.20	13.4	20	2.21	1.01
L-07	角闪辉长岩	1.60	3.02	43	0.446	0.349
L-08	黑云母化辉长闪长岩	16.0	28.2	29	6.42	0.580
L-09	含铜钛铁矿黑云母闪长岩	13.5	26.2	11	8.11	0.677
L-10	含黄铁矿、钛铁矿辉长闪长岩	11.0	20.6	19	3.76	0.426
L-11	强白云石化闪长岩	7.03	16.5	11	4.56	0.168
L-12	辉绿岩	2.22	3.56	4	1.01	0.471
L-13	含黄铁矿、磁铁矿粉砂泥质白云岩	372	673	4	203	0.443
L-14	火山角砾岩	0.244	0.946	10	0.142	0.970
L-15	铜矿石	0.337	2.07	25	0.597	1.88
L-16	含铜磁铁矿矿石	140	203	6	34.4	0.286

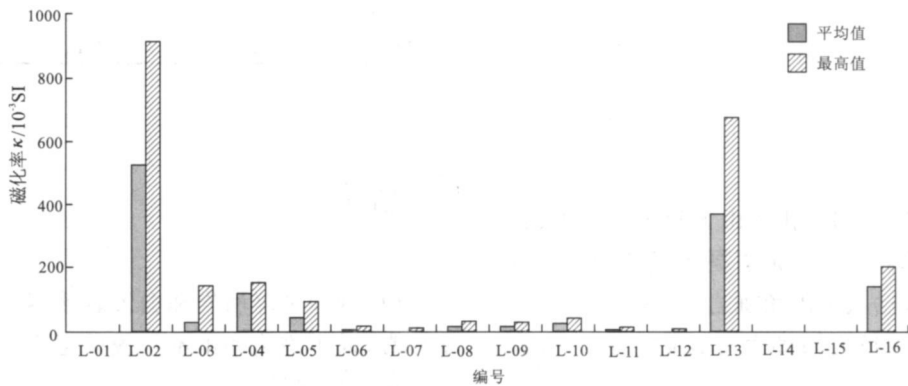


图 2 滥泥坪矿区岩心磁化率变化折线图($\kappa/10^{-3}\text{ SI}$)

Fig. 2 Line chart of core magnetic susceptibility of the Lanniping mining area

表 3 ZK280-1 岩心磁化率统计表
Table 3 ZK280-1 core magnetic susceptibility

岩石名称	磁化率 $\kappa/10^{-3}\text{SI}$		点数	离差	变化系数
	平均值	最高值			
辉长玢岩	15.4	32.5	19	5.88	0.49
基性钠质熔岩	77.4	209	78	40.8	0.641
含磁铁矿基性钠质熔岩	526	640	6	129	1.345
火山角砾岩	13	50.1	11	10.5	1.05
凝灰岩	57.5	191	16	51.9	1.04
含磁铁矿凝灰岩	210	556	4	173	0.952
凝灰质白云岩	2.28	21.9	19	2.01	1.87
浆屑凝灰岩	69.4	94.8	5	12.8	0.239

矿石中,以含铜磁铁矿矿石磁性最高($\kappa=140\times 10^{-3}\text{SI}$),具较高磁性;铜矿石磁性微弱,为 $\kappa=0.337\times 10^{-3}\text{SI}$,磁性基本接近围岩(白云岩)。

2.3 因民矿区 ZK280-1 孔

因民矿区 ZK280-1 孔中因民组有火成岩侵入,岩性复杂多变,可见有 9 层火山角砾岩,基性钠质熔岩 21 层,占钻孔厚度的 28.55%。推断此孔所在位置可能为火山高地。岩心的磁化率测定结果如表 3 所示。钻孔穿透 6 层铜矿体,从图 3 中可看出,容矿白云岩和非容矿白云岩磁性基本一致。

(1) 以含磁铁矿的基性钠质熔岩磁化率最高,可达到 $\kappa=525.5\times 10^{-3}\text{SI}$,整体磁化率强度变化平缓,说明在基性钠质熔岩中磁铁矿的分布比较均匀;含磁铁矿的凝灰岩虽然磁性也很强,但磁性矿物分布不均匀,磁化率曲线变化剧烈,最高值超出平均值 2.5 倍(图 3)。

(2) 根据平均值排序,火成岩磁性从高到低依次为:基性钠质熔岩、浆屑凝灰岩、凝灰岩、辉长玢岩、火山角砾岩,凝灰质白云岩的磁性最低($\kappa=2.279\times 10^{-3}\text{SI}$)。

3 讨论

(1) 因民矿区岩石的磁化率由大到小依次为:含磁铁矿岩石、基性钠质熔岩、浆屑凝灰岩、凝灰岩、辉长玢岩、含角砾凝灰岩、火山角砾岩、凝灰质白云岩、砂泥质白云岩(硅质板岩);即含磁铁矿岩石>火成岩>沉积(变质)岩。

落雪组和因民组的铜矿层并未表现出磁性异常,说明不能通过磁性特征来分辨铜矿层的产出位置;往往在闪长岩、凝灰岩、辉长岩中夹杂有磁铁矿、铜矿化,可通过磁性判断其产出位置,为寻找含铜磁

铁矿提供直接的证据。

(2) 滥泥坪矿区的钻孔中有较厚的火成岩,受其影响,钻孔岩心磁性变化范围剧烈,基本在 $n\times 10^3$ 数量级范围内变化,岩性从火成岩到沉积岩、磁性从强到弱、磁性强度波动从强到弱。虽然滥泥坪地层倒转,但对磁化率并没有产生影响,岩石磁性主要受火成岩和磁铁矿化程度的影响而产生变化。磁化率由大到小依次为:含磁铁矿岩石、凝灰岩、含凝灰质角砾岩、闪长岩、辉绿岩、白云岩。

因民和滥泥坪 2 个矿区的钻孔岩心磁性呈现相似性,即磁性都受火成岩的影响,ZK220-2 和 ZK180-1 的因民组大都为白云岩,所以磁化率表现为微弱磁性;而 ZK280-1、ZK59-2 和 ZK59-3 的因民组中有厚大的火成岩,受其影响磁化率偏高,且磁化率强度波动较大。可推断出:岩石磁性高低受火成岩的影响,同时在火成岩中岩石磁性的高低和异常受到磁性物质(主要是磁铁矿)的影响。对比 2 个矿区的含铜磁铁矿矿石($\kappa=140\times 10^{-3}\text{SI}$)和铜矿石($\kappa=54.9\times 10^{-3}\text{SI}$)磁性可以看出,滥泥坪矿区明显高于因民矿区,这与容矿岩石的岩性有关,滥泥坪矿区的容矿岩石多为火成岩,火成岩中经常含有磁铁矿,从而表现出强烈的磁异常,这一特征可作为在岩体中寻找含铜磁铁矿的标志(表 4)。

表 4 因民组三段的磁化率统计表
Table 4 Statistics of magnetic susceptibility
of the third member of Yinmin formation

工程编号	磁化率 $\kappa/10^{-3}\text{SI}$	离差	变化系数
ZK220-2	0.38	0.279	0.429
ZK180-1	0.27	0.177	0.942
ZK280-1	54.7	50.1	1.49
ZK59-2	12.7	14.2	5.78
ZK59-3	2.99	3.18	4.09

4 结论

(1) 试验区碎屑岩和白云岩普遍弱磁性,无磁化率异常,采用磁化率虽不具找矿意义,但在坑道中可以快速识别岩性。

(2) 本区火山凝灰岩的蚀变较强。利用磁化率可以快速识别火成岩石类型,所测试的岩石中以基性钠质熔岩($\kappa=77.4\times 10^{-3}\text{SI}$)和凝灰岩($\kappa=57.54\times 10^{-3}\text{SI}$)磁性最高,而磁铁矿、赤磁铁矿、钛磁铁

矿即主要赋存在这两种岩石中。往往磁铁矿体与铜矿体互层产出,即磁铁矿周边赋存铜矿体,对于这种铁铜矿共生矿,可通过岩石类型和磁性异常两种标志进行圈定,利用磁性异常间接找寻铜矿。

(3) 磁化率异常主要由磁铁矿引起,根据已知共生铜铁矿——“稀矿山式”含铜(磁铁)赤铁矿矿

床、滥泥坪因民三段“稀矿山亚式”铜(赤铁)磁铁矿、白锡腊岩浆熔离改造型富铜磁铁矿、139 线含铁伴生金富铜矿联合组成的 IOCG-铁氧化物铜金型矿床的磁化率参数测定,进行坑道、钻孔磁化率立体填图,快速圈定磁化率异常,定位找矿靶区,在东川矿区取得了良好的地质找矿效果。

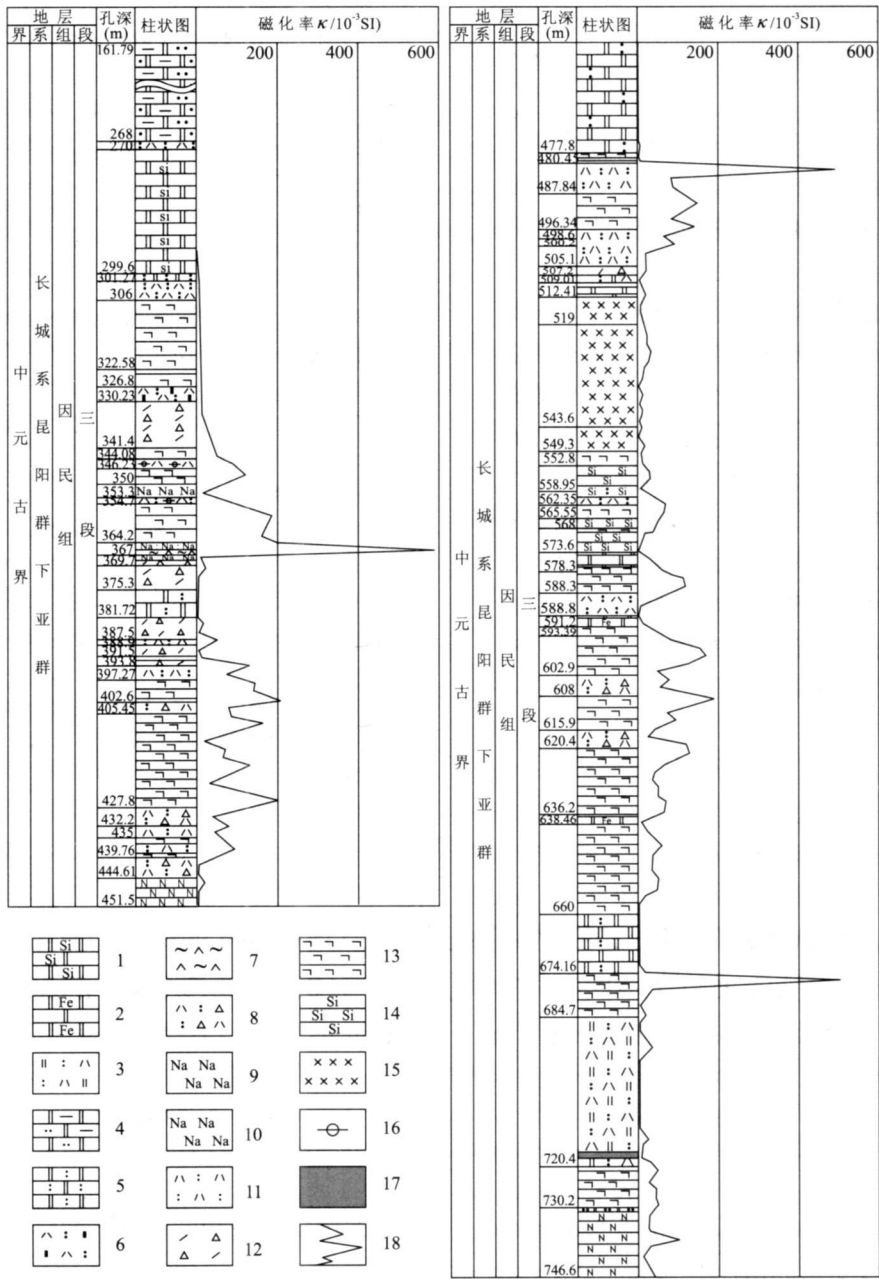


图 3 ZK280-1 中因民组三段磁化率测试综合柱状图

Fig. 3 Stratigraphic column VS magnetic suseptibility measurement of Yinmin formation in ZK280-1

1. 硅质白云岩
2. 铁白云岩
3. 白云质凝灰岩
4. 砂泥质白云岩
5. 凝灰质白云岩
6. 含碎屑凝灰岩
7. 构造角砾岩
8. 含角砾凝灰岩
9. 钠长石
10. 钠长岩
11. 凝灰岩
12. 火山角砾岩
13. 基性钠质熔岩
14. 硅质岩
15. 辉长玢岩
16. 绿帘石
17. 表外铜矿
18. 磁化率曲线

(4) 含铜磁铁矿矿石的磁性表现明显, 在进行地质勘查工作中可在坑道编录工作中做出快速评价, 确定矿体的大致范围。

(5) 比较井中三分量高精度磁法测量, 发现的磁异常不但具有直接找矿意义, 还具有间接找矿价值。井中三分量高精度磁法测量不仅可以测量钻孔中岩性的磁性, 也可感应到钻孔周围的磁性体, 推测盲矿体, 对寻找隐伏矿体提供间接标志。但还需要依据钻孔岩心地质特征与和具体的成矿环境进行具体分析, 以便进行矿成预测。

(6) 利用磁化率进行地质勘查找矿可以大大节约勘查成本, 降低商业勘查风险, 对于评价 IOCG 铁氧化物铜金型矿床是快速、有效的地质勘查手段之一。

两个矿区的岩心磁化率测定可以得出相似的结论: 落雪组含铜白云岩和无铜矿化的白云岩磁性接近, 二者均未见磁性异常。因民组中由于火成岩的出现, 岩石普遍表现为弱-中等磁性, 局部受磁铁矿化的影响, 磁化率出现峰值, 此类含磁铁矿的岩石主要以钠质熔岩、凝灰岩、闪长岩为主, 而且磁铁矿化往往伴随有铜矿化, 铁铜具有共生关系, 因而磁性异常也是探寻含铜磁铁矿的重要标志。因此在以后的找矿工作中, 应把磁性测量作为在因民组火成岩中寻找含铜磁铁矿的技术方法。

参考文献:

[1] 龚琳, 何毅特, 陈天佑, 等. 云南东川元古宙裂谷型铜矿[M].

北京: 冶金工业出版社, 1996: 1-252.

- [2] 王国泰, 包昌良. 论云南东川昆阳古裂谷型铜矿的成矿模式与找矿方向[J]. 矿产与地质, 2003, 17: 342-344.
- [3] 华仁民, 阮惠础. 东川式层控铜矿中非层状矿体的形成机制初议[J]. 地质找矿论丛, 1993, 8(4): 1-8.
- [4] 李泽琴, 胡瑞忠, 王奖臻, 等. 中国首例铁氧化物铜金铀-稀土型矿床的厘定及其成矿演化[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(4): 258-260.
- [5] 李泽琴, 王奖臻, 刘家军, 等. 拉拉铁氧化物-铜-金-钼-稀土矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(1): 39-42.
- [6] 方维萱, 柳玉龙, 郭茂华, 等. 云南东川滥泥坪铁氧化物铜金型(IOCG)矿床发现与找矿方向[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2009, 28(增刊): 199.
- [7] 方维萱, 柳玉龙, 张守林, 等. 全球铁氧化物铜金型(IOCG)矿床的三类大陆动力学背景与成矿模式[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 404-412.
- [8] 方维萱, 郭玉乾. 基于风险分析的商业性找矿预测新方法与应用[J]. 地学前缘, 2009, 16(2): 209-226.
- [9] 徐海军, 金振民, 欧新功. 磁化率和密度对中国大陆科学钻探主孔 100~2000 m 岩石类型的判别[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(4): 513-519.
- [10] 许庆刚, 刘麟书, 高明远, 等. 中国某些地区岩石密度及磁化率资料的初步分析[J]. 地球物理学报, 1960, 5(2): 9-2.
- [11] 朱永刚, 于长春. 湖北省大冶铁矿区矿石磁性特征分析[J]. 地质找矿论丛, 2006, 21(增刊): 155-159.
- [12] 张世红. 论岩石磁性地层学的概念、方法和应用[J]. 地学前缘, 2002, 7(2): 498.
- [13] 刘青松, 邓成龙, 潘永信. 磁铁矿和磁赤铁矿磁化率的温度和频率特性及其环境磁学意义[J]. 第四纪研究, 2007, 27(6): 955-962.

THE RESEARCH AND TRIAL OF MAGNETIC SUSCEPTIBILITY PARAMETERS ON THE IRON-COPPER EXPLORATION IN DONGCHUAN

DENG Yu-tao^{1,2}, FANG Wei-xuan^{1,2}, GUO Mao-hua², LIU Yu-long²

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Beijing Technological Centre of Resource-Exploration, China Nonferrous Metals Geological Survey, Beijing 100012, China)

Abstract: Magnetic susceptibility measurements can be used as iron oxide copper-gold deposit exploration aid. Magnetic susceptibility of Dongchuan is an important ore and rock magnetic parameters, and also a clear indication of magnetite. Through the comparison of magnetic susceptibility, especially in Yinmin Formation, the anomaly magnetic properties of igneous rocks indicates the positioning of cuprous magnetite ore and the ore-searching direction. Therefore, the determination and delineation of anomaly magnetic susceptibility is important to search for copper-bearing magnetite deposit.

Key Words: Magnetic susceptibility; magnetite; cuprous magnetite ore; igneous rock; Dongchuan Fe-Cu deposit; Yunnan province