

doi:10. 6053/j. issn. 1001-1412. 2016. 01. 015

磁化率测量在沉积锰矿床中的应用

谢 华¹, 伊海生^{2,3}, 欧莉华⁴, 李 勇⁵, 赵香玲¹, 金 峰², 李启来²

(1. 成都理工大学地球科学学院, 成都 610059; 2. 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059;

3. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059;

4. 成都理工大学工程技术学院, 成都 614000; 5. 核工业 280 研究所, 四川 广汉 618300)

摘要: 为研究磁化率在沉积锰矿床中的应用, 对广西下雷锰矿床的钻孔岩心进行了磁化率测量试验。结果表明, 含锰岩系中矿层磁化率与围岩磁化率明显不同, 通常碳酸锰矿磁化率值比围岩要高出 1~2 个数量级, 而围岩中硅质岩、灰岩、泥岩的磁化率无明显差异。磁化率可作为野外快速判别含锰岩系的代用指标。通过讨论下雷原生碳酸锰矿的磁化率异常, 认为碳酸盐矿物磁性很低, 对磁化率的贡献极小, 磁化率异常高值指示与其伴生的铁质矿物; 碳酸锰矿中含有磁性矿物, 其磁性强弱决定了矿层磁化率的大小; 黏土矿物中的绿泥石可吸附含铁的强磁性物质, 绿泥石及其含量是影响碳酸锰矿磁化率的一个重要因素。

关键词: 下雷锰矿; 磁化率; 含锰岩系; 原生碳酸锰矿; 碳酸盐岩; 广西

中图分类号: P631.2; P618.32 **文献标识码:** A

0 引言

锰与铁、铬在工业上统称为三大黑色金属。锰及其化合物已广泛应用于国民经济的各个领域, 尤其钢铁工业用锰量占 90%~95%。我国锰矿地质勘查历经半个多世纪已取得巨大成就, 国内锰矿仍有较大的资源潜力, 优质锰矿主要赋存于六大含锰岩系中。广西下雷锰矿是我国目前仅有的一个锰矿资源储量超亿吨的锰矿床, 开展下雷锰矿的研究对于在我国寻找大型超大型锰矿具有重要意义^[1-5]。

通常把含有锰矿或含锰岩石的地层称为“含锰岩系”^[1-2,6]。含锰岩系除了具有一定的时代含义外, 还代表与锰矿成矿和沉积作用有关的一套岩石组合。前人虽对含锰岩系做过很多研究, 但野外判别含锰岩系一直缺乏快速而有效的方法。沉积物磁化率是衡量沉积物在外磁场作用下被磁化的难易程度的物理量, 一般分为体积、质量、频率磁化率^[6-7]。磁化率作为表征物质磁学特征的物理量, 可判断样品记载的古环境变化信息, 分析古气候变化规律。

磁化率作为古气候的一种替代性指标已广泛用于古气候对比和古全球变化研究^[8-11]。对海洋和湖泊沉积物而言, 磁化率测量也用于岩心地层对比^[8]。本文以广西大新县下雷锰矿床为研究对象, 对其 9 口钻孔岩心进行了磁化率的测量实验。实测磁化率值 5 504 个, 其中锰矿 297 个, 围岩 5 207 个。据统计, 含锰岩系磁化率值较围岩通常高出 1~2 个数量级, 围岩中硅质岩、灰岩、泥岩的磁化率无明显差异, 磁化率可作为含锰岩系判别的代用指标。

1 研究区概况

下雷锰矿区位于华南褶皱系右江褶皱带南部上映倒转向斜的西南端。整个矿区呈 NNE 向倾伏的向斜构造, 其西南端仰起, 北东端被断层切断。矿区内零星出露有小型基性侵入体。矿区分布有石炭系、泥盆系, 其中泥盆系最为发育, 分布面积最广(图 1)。该区在海西运动早期, 由于古特提斯洋裂谷作用的影响, 形成了一系列张裂构造以及右江大陆边缘裂谷盆地。盆地内发育碎屑岩、硅质岩、碳酸盐

收稿日期: 2014-12-12; 责任编辑: 赵庆

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题项目(编号: 2011BAB04B10)和国家自然科学基金项目(编号: 4097208)联合资助。

作者简介: 谢华(1987—), 男, 硕士研究生, 主要从事沉积矿产方面的研究。E-mail: xieh87@sina.com

岩、泥质岩组成的槽沟沉积相^[1-2]。

下雷锰矿赋存于上泥盆统五指山组海相沉积的硅质-碳酸盐岩-泥岩建造中,该含锰岩系岩性由下而上分为 3 段:①上泥盆统五指山组下段(D_3w^1),主要为灰色、灰黑色、深灰色硅质岩、硅质灰岩、微晶灰岩以及少量灰色、灰绿色扁豆状灰岩,呈中-薄层状;②上泥盆统五指山组中段(D_3w^2),为原生碳酸锰矿段,由 2 层锰矿和 1 个夹石层组成;下部 I 矿层,为原生碳酸锰矿层,厚 0.6~4.2 m,矿石呈肉红色、浅灰绿色、墨绿色、灰黑色、浅灰色、土黄色,隐晶质结构,块状、鲕状、薄层状、豆状、角砾状、条带状构造;上部 II、III 矿层,厚 1.7~12 m,亦为原生碳酸锰矿层,II 与 III 矿层间的夹石层不发育,为连续矿层;夹石层为硅质岩、硅质灰岩的组合,厚 6.6~16.8 m,呈深灰色、灰黑色,薄层状;③上泥盆统五指山组下段(D_3w^3),为深灰色、灰黑色硅质岩、硅质灰岩、泥灰岩夹硅质条带的组合,呈薄层状。

2 测量仪器与方法

采用加拿大 KT-10 手持磁化率仪(以下简称 KT-10)对岩心磁化率进行测试,所得数据为体积磁化率。体积磁化率是物质的一种宏观磁性质,它是磁化强度(或体积磁矩) M 与外加磁场强度 H 的比

值,即 $\kappa=M/H$,是无量纲物理量,国际单位制 SI。KT-10 测量时保持仪器和岩石表面大致平行,仪器测针接触岩石直接测量。连续测量间距 10 cm。KT-10 最大测量精度为 1×10^{-6} SI,测值范围为 $0.001\times 10^{-3}\sim 999.99\times 10^{-3}$ SI。KT-10 具有测量简单、快捷、对样品无破坏性、可重复测试等优点。

3 测量结果分析

3.1 岩心剖面磁化率变化特征

为观察锰矿层与围岩的磁化率分布特征,利用钻孔 ZK1307,ZK2407 的锰矿层及其顶底板围岩岩心段资料编制了岩心—磁化率对比图(图 2)。从图 2 可见:①锰矿层对应着高磁化率,围岩对应着低磁化率;②以磁化率值 100×10^{-6} SI 为界线值,锰矿的磁化率主要 $>100\times 10^{-6}$ SI,围岩的磁化率 $<100\times 10^{-6}$ SI;③由围岩进入含锰矿层,磁化率陡增;自锰矿层进入围岩,磁化率骤减;④根据围岩磁化率变化曲线,围岩磁化率无明显差异。

分析结果表明,含锰岩系中锰矿层较围岩磁化率存在明显异常,且差距极大;通常锰矿层磁化率高出围岩磁化率 1~2 个数量级;磁化率的低值能判别为围岩,但不能区分围岩的岩石类型。由此推断,磁化率异常高指示着锰矿层的出现,磁化率异常低指示着围岩的出现。磁化率能对锰矿层和围岩进行有效区分,可作为含锰岩系判别的代用指标。

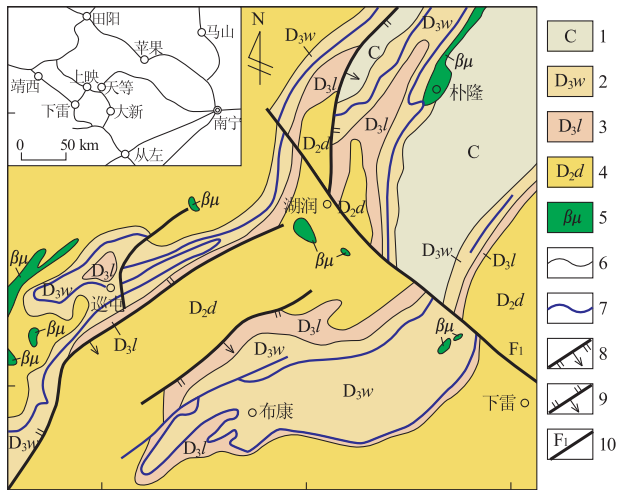


图 1 广西下雷锰矿地质图

(据文献[12]修改)

Fig. 1 Geological map of Xialei manganese deposit, Guangxi

- 1. 石炭系;2. 上泥盆统五指山组;3. 上泥盆统榴江组;
- 4. 中泥盆统东岗岭组;5. 辉绿岩;6. 地质界线;7. 锰矿层露头;
- 8. 正断层;9. 逆断层;10. 平移断层

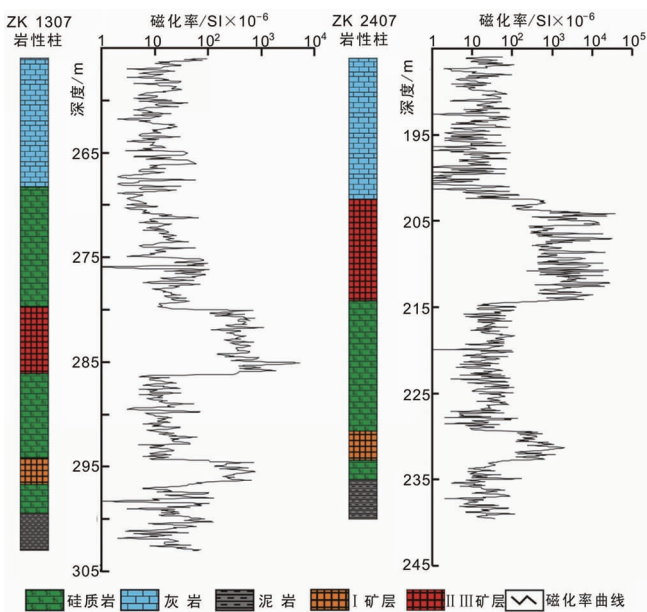


图 2 岩心-磁化率对比图

Fig. 2 Correlation map of drill core susceptibility

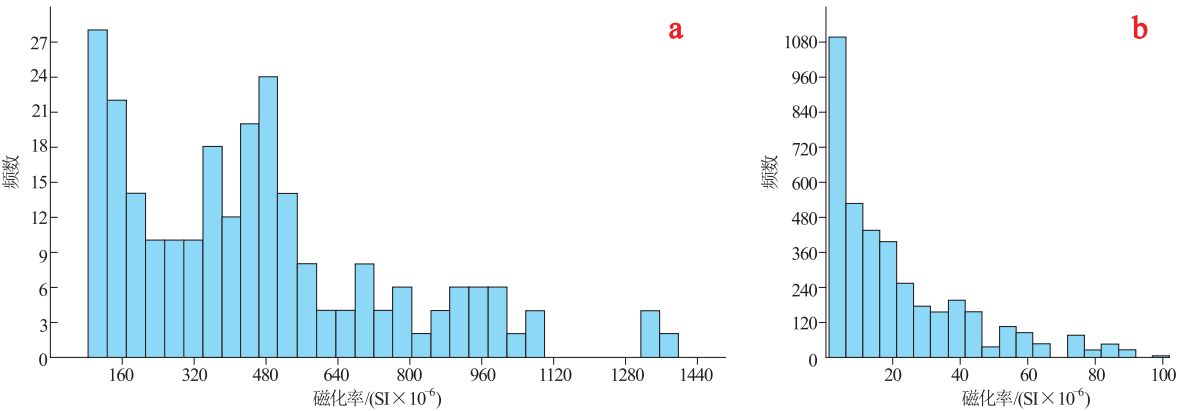


图 3 磁化率频率分布图
Fig. 3 Histogram of magnetic susceptibility
a. 锰矿磁化率频率分布图; b. 围岩磁化率频率分布图

3.2 锰矿层与围岩的磁化率分布特征

根据 9 口钻孔岩心, 锰矿层有 I 矿层和 II、III 矿层, 矿石呈浅灰绿色、肉红色、墨绿色、灰黑色, 隐晶质结构, 块状、鲕状、薄层状、豆状构造, 属于原生碳酸锰矿。共统计了磁化率值 297 个 ($105 \times 10^{-6} \sim 38\,180 \times 10^{-6}$ SI), 平均 $2\,507.1 \times 10^{-6}$ SI。锰矿层磁化率主要 $< 500 \times 10^{-6}$ SI, 其中 $500 \times 10^{-6} \sim 1\,000 \times 10^{-6}$ SI 也占一定比例(图 3a)。

围岩岩石种类复杂, 包含硅质岩、泥质硅质岩、泥晶灰岩、硅质灰岩、扁豆状灰岩、粒屑灰岩、灰质泥岩、钙质泥岩等。根据它们之间的成因联系, 可分为硅质岩、灰岩与泥岩。共测得围岩磁化率值 5 207 个, 其中硅质岩磁化率值 1 894 个, 灰岩磁化率值 2 777 个, 泥岩磁化率值 536 个。硅质岩磁化率平均为 32.3×10^{-6} SI, 标准差为 37.7×10^{-6} SI; 灰岩磁化率平均为 26.8×10^{-6} SI, 标准差为 32.0×10^{-6} SI; 泥岩磁化率平均为 24.5×10^{-6} SI, 标准差为 24.8×10^{-6} SI。从磁化率平均值来看, 硅质岩、灰岩、泥岩的磁化率值相接近, 无明显差异。从标准差来看, 硅质岩、灰岩、泥岩各自磁化率值的分布离散程度相当, 亦无明显差异; 因此, 利用磁化率难以区分围岩的岩石种类。围岩的整体磁化率为 $1 \times 10^{-6} \sim 178 \times 10^{-6}$ SI, 平均为 27.9×10^{-6} SI, 且主要 $< 40 \times 10^{-6}$ SI(图 3b)。据统计, 锰矿层磁化率为 $(n \times 10^2) \times 10^{-6}$ SI 或更高, 围岩磁化率显然低于锰矿层, 二者不属于同一数量级; 从平均值来看, 锰矿层磁化率平均值是围岩磁化率平均值的近 100 倍; 硅质岩、灰岩、泥岩的磁化率分布区间、平均值、标准差皆无明显差异。根据磁化率值的高低可对锰矿层和围岩进行判别, 但

不能判别围岩的岩石类型。可见, 磁化率可作为含锰岩系判别的代用指标。

4 讨论

碳酸盐岩是磁性很弱的一类岩石^[6,13-14]。一般情况下, 碳酸盐岩与碎屑岩和泥岩一样, 磁化率和天然剩余磁化强度值都很小, 其磁化率的高低主要取决于副矿物的种类及含量, 如磁铁矿、磁赤铁矿、赤铁矿等。自然界中的物质按其磁性特征可分为反磁性、顺磁性和铁磁性 3 类。常见的反磁性矿物有石英、长石、方解石、岩盐等, 磁性极低, 磁化率一般为负值; 顺磁性矿物有辉石、角闪石、云母以及黏土矿物等, 磁化率大多为正值(表 1); 铁磁性矿物主要有铁的氧化物、氢氧化物以及过渡元素的化合物。笔者通过矿物成分分析, 发现研究区的含锰岩系中, 碳酸盐矿物主要有钙菱锰矿、菱锰矿、方解石、锰方解石、含锰方解石、白云石等, 因此推断, 磁化率异常高值指示的可能是与碳酸锰矿相伴生的铁质矿物。

碳酸盐岩的载磁物质有自生磁性矿物和外来磁性矿物 2 种。自生磁性矿物主要受微观沉积环境因素的控制, 如海水的温度、盐度、光度、氧活化度及海水循环形式等, 自生磁铁矿和赤铁矿等氧化型矿物磁性较强, 磁黄铁矿、菱铁矿等还原型矿物磁性较弱^[15-16]。前人对铁磁性矿物具强磁性的特征已进行了广泛的研究和探讨^[8-11,14-16]。研究结果表明, 铁磁性矿物的磁化率常高几个数量级于其他矿物, 尤以磁铁矿、磁赤铁矿最高, 被称为强磁性矿物; 与之相比, 赤铁矿、针铁矿、纤铁矿的磁化率显得很低(表 2)。

表 1 常见造岩矿物磁化率

Table 1 Susceptibility of common rock-forming minerals

矿物	磁化率	矿物	磁化率
石英	-0.6	橄榄石	1~130
长石	-0.5	角闪石	16~100
方解石	-0.5	辉石	5~100
高岭石	-2	黑云母	5~95
蒙脱石	约 5	白云母	4~20
伊利石	约 15	石膏	-1
绿泥石	20~90	绿帘石	约 30

注:引自文献[14];量的单位:κ/(10⁻⁸m³/kg)

表 2 常见铁质矿物磁化率

Table 2 Susceptibility of common ferruginous minerals

矿物	磁化率	矿物	磁化率
磁铁矿	5×10 ⁴	纤铁矿	70
磁赤铁矿	4×10 ⁴	针铁矿	70
磁黄铁矿	约 5×10 ³	赤铁矿	60
钛铁矿	约 200	黄铁矿	约 30
菱铁矿	约 100		

注:引自文献[15];量的单位:κ/(10⁻⁸m³/kg)

笔者在测量岩心磁化率时,采集了碳酸锰矿段和围岩段的岩心样品各 18 件。通过对此岩心样品的矿物成分,发现碳酸锰矿样品中含 2%~3%的铁质磁性矿物,以磁铁矿为主,次为赤铁矿、褐铁矿、针铁矿,而围岩段样品中只含有极个别的磁黄铁矿、菱铁矿颗粒。由此判定,碳酸锰矿石中磁铁矿的强磁特征对磁化率大小起着决定性作用,这造成矿层出现磁化率异常高值。

最常见的黏土矿物属层状铝硅酸盐矿物,如高岭石、绿泥石、多水高岭石、蒙脱石、水云母、海绿石等,化学成分以 SiO₂、Al₂O₃ 和 H₂O 为主。Stage^[17]在对北海 Mastication 期白垩系中不溶残渣的磁学性质研究中指出,黏土矿物含量的多少与磁化率大小呈线性关系。黏土矿物为层状铝硅酸盐,单个矿物颗粒十分细小,具有很大的比表面积,对某些特定的矿物颗粒有较强的吸附力,如铁、铝的氧化物以及离子钙、铁、镁、铝^[18]。为了确定碳酸锰矿中黏土矿物是否存在及其含量,笔者对碳酸锰矿亦进行了扫描电镜分析,发现绿泥石与碳酸盐矿物形成集合体,广泛分布于锰矿石中。可见,由于绿泥石的广泛存在,吸附了含铁的强磁性物质,使碳酸锰矿层较围岩出现明显的磁化率异常。

5 结论

下雷原生碳酸锰矿中的钙菱锰矿、菱锰矿、方解

石、锰方解石、含锰方解石、白云石等碳酸盐矿物磁性很低,对磁化率的贡献极小,磁化率异常高值可能来自与碳酸锰矿伴生的铁质矿物;碳酸锰矿中的强磁性矿物对磁化率大小起着决定性作用,造成矿层出现磁化率的异常高值;黏土矿物中的绿泥石可吸附含铁的磁性物质,绿泥石的聚集是影响碳酸锰矿磁化率的一个重要因素。

参考文献:

[1] 和平贤. 广西大新锰矿区矿床地质特征及成因探讨[J]. 中国锰业,2012,30(3):8-12.

[2] 王荣庚. 广西大新下雷锰矿沉积环境特征及成矿物质来源分析[J]. 中国锰业,2012,30(4):8-10.

[3] 范娜,田凤鸣. 广西锰矿资源的可供性分析[J]. 中国矿业,2009,18(6):90-92.

[4] 薛友智. 中国锰矿地质特征与勘查评价[J]. 四川地质学报,2012,32(增刊):14-19.

[5] 胡德文,冯丹丹. 我国锰矿产业问题分析[J]. 中国矿业,2011,20(6):1-4.

[6] 欧莉华. 桂西南地区上泥盆统锰矿沉积特征与成矿机理研究[D]. 成都:成都理工大学,2013.

[7] 宋华颖,伊海生,马雪,等. 柴达木盆地西部典型剖面磁化率特征及其意义[J]. 勘探地球物理进展,2009,32(4):275-279.

[8] 张世红,王训练,朱鸿. 碳酸盐岩磁化率与相对海平面变化的关系:黔南泥盆-石炭系例析[J]. 中国科学:D 辑,1999,29(6):558-566.

[9] Bychkov Y A, Rashba E I. Oscillatory effects and the magnetic susceptibility of carriers in inversion layers[J]. Journal of physics C: Solid state Physics, 1984, 17(33): 6039-6045.

[10] Kukla G, Heller F, Ming L X, et al. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility[J]. Geology, 1988, 16(9): 811-814.

[11] Isobe M, Ueda Y. Magnetic Susceptibility of Quasi-One-Dimensional Compound α'-NaV₂O₅-Possible Spin-Peierls Compound with High Critical Temperature of 34K[J]. Journal of the Physical Society of Japan, 1996, 65: 1178-1181.

[12] 赵东军,鲁安怀,王丽娟,等. 广西下雷锰矿床中锰钾矿的矿物学特征[J]. 北京大学学报:自然科学版,2005,41(6):859-868.

[13] 白凌燕. 宜昌陡山沱组碳酸盐岩岩石磁学研究[D]. 北京:中国地质大学,2008.

[14] 刘成英,李仕虎,邓成龙,等. 扬子地块奥陶系碳酸盐岩重磁化机制探讨[J]. 地球物理学报,2013,56(2):579-591.

[15] 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.

[16] 李志文,李保生,孙丽,等. 影响中国黄土磁化率差异的多因素评述[J]. 中国沙漠,2008,28(2):231-237.

[17] Stage M. Magnetic susceptibility as carrier of a climatic signal in chalk[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 188

(1/2): 17–27.

[D]. 长春: 吉林大学, 2007.

[18] 王燕萍. Cu 和 Zn 在表层沉积物中黏土及黏土矿物上的吸附

Application of magnetic susceptibility measurement in
sedimentary manganese deposits

XIE Hua¹, YI Haisheng^{2 3}, OU Lihua⁴, LI Yong⁵,
ZHAO Xiangling¹, JIN Feng², LI Qilai²

(1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Chengdu University of Technology Institute of Sedimentary Geology, Chengdu 610059, China;

3. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu 610059, China;

4. The Engineering & technical College of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

5. The 280 Institute of Nuclear Industry, Guanghan 618300, Sichuan, China)

Abstract: In order to investigate the application of magnetic susceptibility in sedimentary manganese deposit susceptibility test measurement on the drill core of Xialei manganese deposit in Guangxi has been carried out. The results show that susceptibility of ore layer in the manganese-bearing sequence is obviously different from that of surrounding rocks. Generally, the susceptibility value of manganese carbonate ore is overtopping 1 to 2 order of magnitude compared with surrounding rocks, and there is no significant difference between the susceptibility value of siliceous rocks and limestone, or mudstone. This paper points out that susceptibility can be used as an index to rapidly distinguish manganese-bearing sequence in field. Details of Mn carbonate ore susceptibility anomaly in Xialei manganese deposit show that carbonate minerals are magnetically low and contribute very small to susceptibility, that high susceptibility anomaly is indication of accompanying iron minerals, that high or low susceptibility of Mn ore depends on strong or weak magnetism of magnetic minerals in the Mn carbonate ore, that chlorite absorbs Fe-bearing materials and its content is a key factor to influence susceptibility of Mn carbonate ore.

Key Words: Xialei manganese deposit; susceptibility; manganese-bearing sequence; primary carbonate manganese ore; Guangxi