

贵州松桃千公坪锰矿地质地球化学特征

陈 祎^{1,2}, 张 均², 刘安璐², 王中群³, 肖 欣⁴

1. 贵州省矿权储备交易局, 贵阳 550003; 2. 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074;
3. 中国科学院 地球化学研究所, 贵阳 550002; 4. 贵州省地质环境监测院, 贵阳 550001

摘 要:“大塘坡式”锰矿是南方重要的锰矿床类型之一,对其成因认识尚有较大分歧。在野外地质调查的基础上,分析了大塘坡组底部菱锰矿沉积及顶底板围岩的地质、地球化学特征,指出矿石的内碎屑结构及条带状构造、块状构造的配置规律是热水沉积的典型结构构造,是热水喷发旋回的产物。含锰岩系微量元素 Sr/Ba 值反映锰矿发育于滞留浅海环境,U-Th 相关图、Fe-Mn-(Cu+Co+Ni)三角图、Co/Zn-(Co+Ni+Cu)相关关系图上显示其明显的热沉积特征。球粒陨石标准化的稀土配分模式显示重稀土亏损、中等 Eu 负异常、弱 Ce 正异常的特点。矿区样品在北美页岩标准化稀土元素配分模式中,曲线呈基本平滑型,具弱的 Ce 正异常,反映还原的沉积环境。结论:千公坪锰矿属于海底热水沉积产物,区内找矿应沿北东向断裂及热水沉积盆地展开。

关 键 词:锰矿;热水沉积;地球化学;贵州松桃

中图分类号:P618.32 文献标志码:A 文章编号:1007-2802(2014)02-0185-08 doi:10.3969/j.issn.1007-2802.2014.02.005

Geological and Geochemical Characteristics of the Qiangongping Manganese Deposit in Songtao, Guizhou

CHEN Yi^{1,2}, ZHANG Jun², LIU An-lu², WANG Zhong-qun³, XIAO Xin⁴

1. *The Ore Rights Reserve and Trading Bureau of Guizhou Province, Guiyang 550003, China;* 2. *Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;* 3. *Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;* 4. *Geological Environment Monitoring of Guizhou Province, Guiyang 550001, China*

Abstract: The Datangpo-type manganese deposit is one of the most important types of manganese deposit, but its ore genesis remains contentious. Detailed field geological investigations and comprehensive geological and geochemical analyses of Mn-bearing rocks in the basal Datangpo Formation show that the typical ore structures are regularly distributed laminated-bands, and that the bulk ores have the intraclast texture, indicating hydrothermal sedimentation origins. Sr/Ba values suggest that the Mn-bearing rocks was deposited from backwater of shallow marine. The U-Th, Fe-Mn-(Cu+Co+Ni) and Co/Zn-(Co+Ni+Cu) diagrams of Mn-bearing rocks also present features of hydrothermal sedimentation. Chondrite-normalized REE distribution patterns of Mn-bearing rocks show right-dipping style and LREE enrichment with medium negative Eu anomaly and weak positive Ce anomaly. The NASC normalized REE curve is a horizontal line with weak positive Ce anomaly, indicating a reducing environment. Therefore, the Qiangongping manganese deposit may be a product of hydrothermal exhalative sedimentation and exploration of Mn ore bodies in this area should focus on NE-NNE direction faults and hydrothermal sedimentary basins.

Key words: manganese ore; hydrothermal sedimentation; geochemistry; Songtao, Guizhou

南华纪大塘坡期早期是中国南方重要的锰矿成矿期,黔、渝、湘、鄂、桂、赣等省(区)的大塘坡组或相当层位中都产出有锰矿,其中湖南西部和贵州东部

地区形成了大型锰矿^[1]。通常产于南华系大塘坡组底部黑色页岩系中的菱锰矿床称为“大塘坡式”锰矿。前人对“大塘坡式”锰矿的成因研究较多,尤其

收稿日期:2013-04-10 收到,06-24 改回

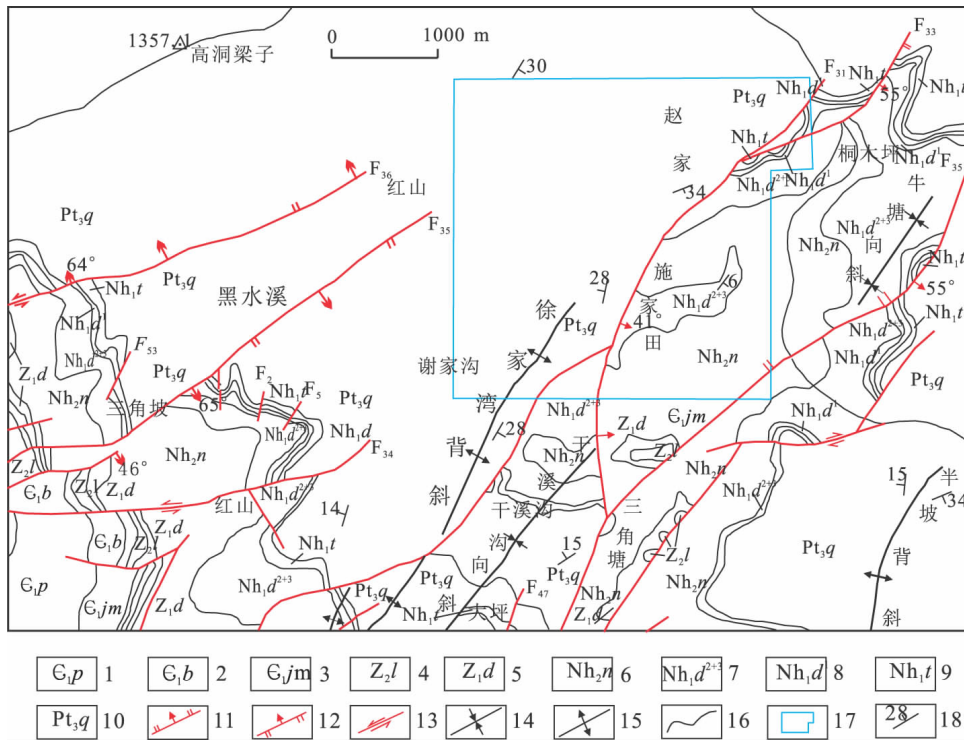
第一作者简介:陈祎(1983—),男,博士,从事成矿规律与成矿预测研究及地勘基金项目管理工作。E-mail:chyio905@163.com.

对贵州松桃地区、湘西民乐地区等地的研究程度较高,目前有海底火山沉积成因^[2,3]、热水沉积成因^[4~6]、“碳酸盐岩帽”沉积成因^[1]、生物成因^[7]及天然气渗漏成因^[8]等观点,但对千公坪锰矿床的成因类型从未开展系统研究。在野外地质调查的基础上,在刘家坡露头及3号平硐采集了含锰岩系及其顶底板的岩矿石样品,分析了大塘坡组底部菱锰矿沉积及顶底板围岩的地质、地球化学特征,利用上述资料来探讨千公坪锰矿床成矿物质来源,并指出区内沿北东向古断裂及热水沉积盆地找矿远景区。

1 区域地质背景

研究区位于扬子陆块东南缘与江南造山带结合部位,梵净山穹状背斜北东缘之红石断裂东侧^[8,9](图1)。区内出露地层较简单,主要有青白口系下

江群清水江组、南华系铁丝坳组、大塘坡组、南沱组及第四系。清水江组(Pt_3q)下部为黄灰绿色中至厚层黏土质板岩、变余砂岩及凝灰岩透镜体,中部为黄灰色、灰色中至厚层变余砂岩、变余长石石英砂岩,上部为灰绿色、黄灰色板岩,底部为紫红色板岩。铁丝坳组(Nh_1t)为一套灰黄、灰色厚层岩屑杂砂岩、含砾长石石英砂岩、含砾粉砂岩、含砾黏土岩。大塘坡组(Nh_1d)为含锰岩系,可分为3段,第一段为黑色碳质页岩、含锰碳质页岩,底部见灰色薄层白云岩或白云质灰岩,为矿区内上下两层矿的分层标志,第二、三段下部为深灰—灰黑色含碳质页岩、粉砂质页岩,上部为黄灰色层纹状粉砂质页岩夹黏土质条带及薄层。南沱组(Nh_2n)下部为深灰色厚层块状(冰碛)含砾黏土岩、含砾砂岩,局部夹白云岩透镜体等,中下部为深灰色块状含砾砂岩及黏土岩薄层,上部为深灰色含砾砂岩。



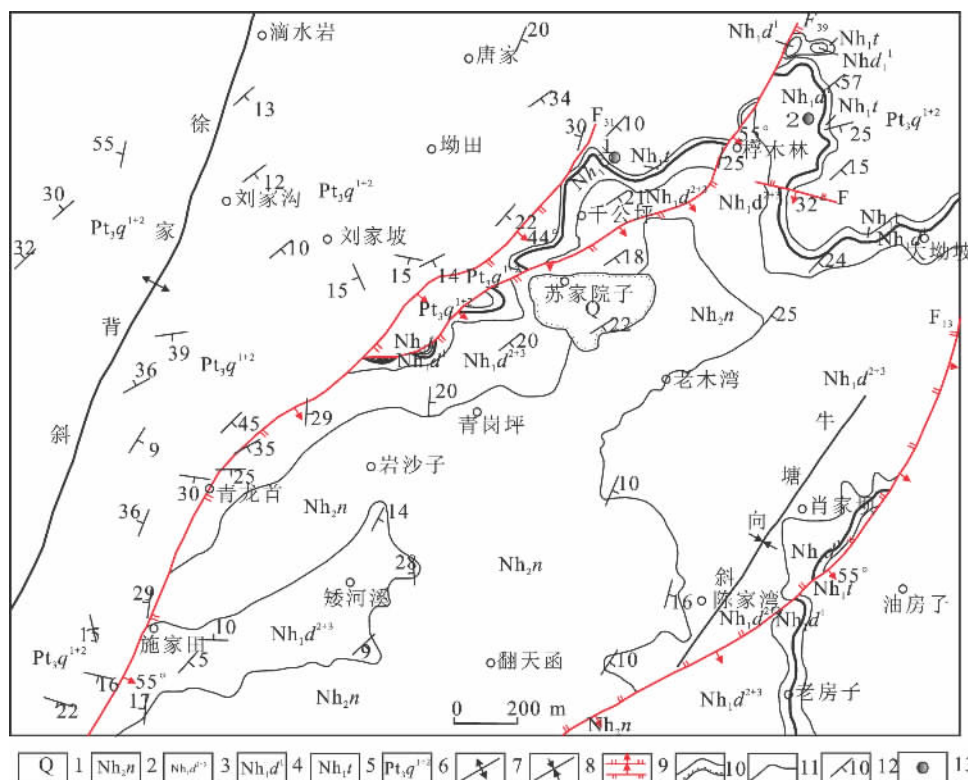
1-下寒武统榔榔组;2-下寒武统变马冲组;3-下寒武统九门冲组;4-上震旦统留茶坡组;5-下震旦统陡山沱组;6-上南华统南沱组;7-下南华统大塘坡组第二、三段;8-下南华统大塘坡组第一段;9-下南华统铁丝坳组;10-下江群上统清水江组;11-正断层;12-逆断层;13-平移断层;14-向斜;15-背斜;16-地质界线;17-矿区范围;18-地层产状

图1 黔东地区区域地质简图(据文献^[10]修编)

Fig.1 Geological sketch map of the east Guizhou area(modified from ref. [10])

本区先后经历了武陵期、雪峰期、燕山期、喜马拉雅期等多期次构造运动,褶皱、断裂发育,构造复杂,总体呈北东、北北东向展布(图2)。成锰盆地沿北西-南东呈雁行式排列,盆地长轴方向呈北东向展布^[11]。矿区总体为倾向南东的单斜构造,地层倾角

5°~40°,一般为10°~20°。靠近 F_{31} 断层旁侧倾角略陡。局部岩层受构造影响形成一些幅度不大的小型牵引褶皱。主要分布徐家背斜和牛塘背斜。矿区内断裂构造按其空间展布可分为北北东向、北东向和层间断层,其中以北北东向为主,北东向次之。



1-第四系; 2-上南华统南沱组; 3-下南华统大塘坡组第二、三段; 4-下南华统大塘坡组第一段; 5-下南华统铁丝垭组; 6-下江群上统清水江组; 7-背斜; 8-向斜; 9-断层; 10-不整合界线; 11-含锰岩系露头线; 12-地层产状; 13-采样位置及编号

图 2 千公坪锰矿床矿区地质图(据文献[2]修编)

Fig. 2 Geological sketch map of the Qiangongping manganese deposit(modified from ref. [2])

2 矿床地质特征

锰矿体主要沿 F_{31} 断裂呈北东向展布, 赋存于下南华统大塘坡组第一段(Nh_1d^1) 中下部黑色碳质页岩中, 总体产状与地层基本一致, 走向 $30^\circ \sim 40^\circ$, 倾向北西, 倾角平缓, 一般为 $10^\circ \sim 20^\circ$, 由地表向深部渐趋变缓, 一般为 $10^\circ \sim 15^\circ$ (图 3)。含矿层沿地表延伸 1000 ~ 2000 m, 最大倾斜延伸 500 ~ 1000 m。矿层呈整合板状体缓倾斜产出, 矿体走向上和倾向上分布较稳定, 仅局部断续产出。下层矿主要沿走向北东向呈层状、似层状产出, 沿南西向逐渐尖灭, 已相变为含锰碳质页岩或碳质页岩等。在矿区南东向深部, 产状因受牛塘背斜的影响而略有变化。

千公坪锰矿矿石矿物主要为菱锰矿和钙菱锰矿, 脉石矿物有锰方解石、锰白云石、石英、硫酸盐、硫化物、黄铁矿、黏土矿物, 以及碳质有机质、磷灰石、胶磷矿和碎屑矿物等。含锰碳酸盐矿物组合形式可分为菱锰矿-锰方解石系列和白云石系列。碳酸锰矿石的主要结构有泥晶结构、砂屑结构、碎裂结构、胶状鲕粒结构和藻屑结构等(图 4); 根据前人的

研究^[5], 这种化学沉积的内碎屑结构应属于热水喷发成因。矿石构造有条带状构造、显微层状构造、碎屑状构造、鲕粒球状构造及块状构造等。条带主要为颜色不同的菱锰矿或钙菱锰矿、锰方解石、锰白云石和黏土矿物、碳质有机质、石英等相对集中而成, 纹层可密可疏, 纹层很稀时过渡为块状矿石, 这样的结构呈现了热水喷发旋回的特征。

3 含锰岩系地质地球化学特征

3.1 含锰岩系沉积特征

区内含锰岩系断续出露于矿区北东部及东部地区, 厚度沿矿区南西部逐渐变薄。区内沉积序列由下往上可分为 9 层: ①黑色碳质页岩, 靠顶部夹含锰碳质页岩, 含细粒黄铁矿, 多呈星点状产出, 厚 2.26 ~ 4.11 m; ②黑灰色条带状菱锰矿, 夹少许含锰碳质页岩, 厚 0.60 ~ 13.04 m; ③黑色碳质页岩, 含锰碳质页岩, 含黄铁矿, 呈线状产出, 分布极不稳定, 厚 0.30 ~ 1.71 m; ④黑灰色、钢灰色条带状菱锰矿, 局部夹含锰碳质页岩, 厚 0.66 ~ 3.30 m; ⑤黑色碳质页岩、含锰碳质页岩, 偶夹泥晶灰岩薄层, 含黄铁矿呈线状、断线状产出, 厚 0.26 ~ 12.27 m; ⑥浅

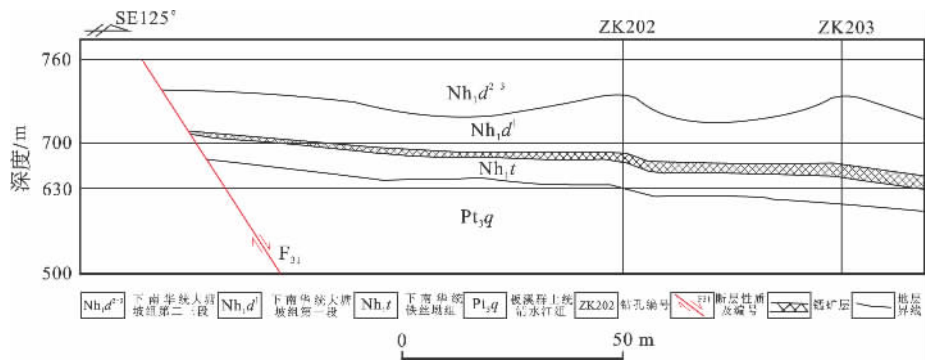
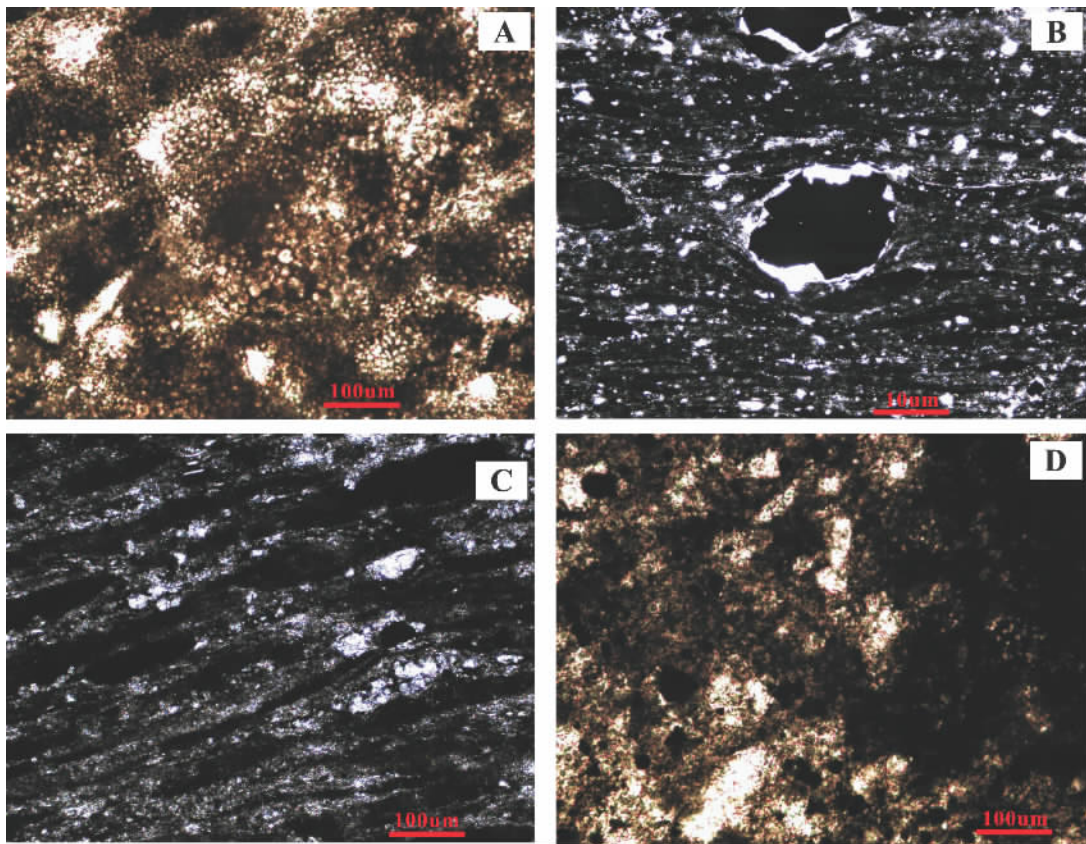


图 3 千公坪锰矿 2 号勘探线剖面图(据文献[2]修编)

Fig. 3 NO. 2 prospecting line profile map of the Qiangongping manganese deposit(modified from ref. [2])



A-菱锰矿藻屑结构,主要是蓝绿藻类的斑点或遗体被泥晶菱锰矿所取代构成的结构;B-菱锰矿颗粒结构,黄铁矿呈星点状分布于碳酸锰矿物颗粒集合体之间;C-显微层纹状结构,泥晶菱锰矿与黏土矿物、硅质、碳质等组成的条纹状构造;D-显微球粒状结构,隐晶的菱锰矿、钙菱锰矿构成球粒

图 4 千公坪锰矿矿石显微结构特征

Fig. 4 Micrograph characteristics of ores of Qiangongping manganese deposit

灰色,薄-中层泥晶灰岩或粉砂岩、粉砂质黏土岩,多呈透镜状产出,厚 0~1.49 m;⑦黑色碳质页岩,夹含锰碳质页岩,富细粒黄铁矿,厚 0.57~13.64 m;⑧浅灰-浅灰白色凝灰质砂岩或凝灰质黏土岩,含较多细粒黄铁矿及碳酸盐岩细脉,呈透镜状分布,厚 0.90~1.22 m;⑨黑色碳质页岩,含黏土质页岩及少量含粉砂质碳质页岩,厚 14.02~29.14 m。

根据含锰岩系岩性的特征,将其划分为 3 个岩

类组合:①菱锰矿-碳质页岩相主要由黑色碳质页岩、灰黑色条带状菱锰矿,以及少量含凝灰质黏土岩、凝灰质细砂岩等组合而成,具水平纹层及包卷层理等原生构造。②碳质页岩岩相为一套黑色碳质页岩,含粉砂质碳质页岩组合,具水平纹层及断续水平纹层。此岩相呈环带状分布于菱锰矿-碳质页岩相的外围。③菱锰矿-含锰白云岩-碳质页岩相主要由黑色碳质页岩、白云质透镜体以及少量菱锰矿等构

成,矿石以条带状为主,条带为泥质及粉砂质和菱锰矿构成。

何明华^[12]认为黔东北及邻区早南华世成锰期沉积环境具有自北西向南东水体逐渐加深,即由海岸逐渐过渡到局限浅海陆架至局限深水陆架的特点。根据千公坪锰矿的岩性相带特征,可以认为本区属局限浅海陆架沉积环境,这种环境受潮下陆棚隆起带的阻滞,形成了较为闭塞和宁静的特定浅海海域,有利于锰质的大量聚集。

大塘坡期该区处于拉张性边缘盆地内^[4],矿区内的凝灰岩或凝灰质岩表明属高的地热场区。研究表明,这种拉张性盆地和高的地热场区,是形成热水沉积的构造背景条件;现代热水沉积发育区,均处于这样的构造背景^[5]。

3.2 含锰岩系地球化学特征

作者沿3号平硐采集了含锰岩系及其顶底板的岩矿石样品 YPH1-YPH8,其中 YPH1 为灰黑色薄层状含碳质粉砂质页岩,YPH2 为黑色碳质页岩,

YPH3 为含锰碳质页岩,YPH4 为含黄铁矿碳质页岩,YPH5 为灰黑色菱锰矿,YPH6 为灰色岩屑杂砂岩,YPH7 为黏土质砂砾岩,YPH8 为灰绿色板岩。另在区内刘家坡露头采集了含锰岩系底板岩石样品,其中 YPD5 为紫红色岩屑杂砂岩,YPD6 为灰绿色板岩,作为微量元素的对比研究。常量元素分析数据主要取自贵州省地矿局 103 地质队的勘查地质报告(1985 年)。微量元素分析由中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室 ICP-MS 测试,实验仪器型号为 ELAN DRC-e。

3.2.1 常量元素地球化学特征 千公坪锰矿含锰岩系样品中 MnO 含量为 13.33%~16.25%(表 1)。含锰岩系岩石样品的常量元素相对富集 Al、Fe,贫 Mg、Ti,SiO₂ 的含量普遍较低,介于 26.71%~34.41%之间。样品中 CaO+MgO 含量较高,达 4.74%~9.02%,表明岩石在成因上与海相碎屑沉积有关。K₂O 含量低于 Na₂O,这与中国南方如湘西等地该类型岩矿石特征一致。

表 1 千公坪锰矿含锰岩系常量元素成分^[2]

样品	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
YP1	30.11	0.23	7.06	2.93	16.25	5.81	2.60	0.50	0.43	0.32	1.74
YP2	33.18	0.23	6.72	3.16	14.75	2.18	2.56	0.32	0.47	0.25	1.30
YP3	35.37	0.30	7.32	3.40	14.83	3.78	1.94	0.44	1.18	0.24	1.25
YP4	26.71	0.31	12.15	3.49	14.80	4.91	3.02	0.36	1.61	0.33	1.74
YP5	32.94	0.40	6.38	3.11	14.93	3.99	2.07	0.35	1.84	0.32	2.08
YP6	30.69	0.15	6.43	2.91	15.07	6.05	2.97	0.16	0.50	0.25	1.54
YP7	37.41	0.39	10.59	3.21	13.33	4.83	2.63	0.34	1.97	0.21	1.29

注:据贵州省地矿局 103 队分析资料(1985),分析方法为常规湿化学分析

Talor 等^[13]指出, $n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 是区分岩石物源的重要标志,陆壳中 $n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 3.6,与此值接近的岩石物源以陆源为主,超过此值的多系由生物或热水作用造成。本区内 $n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值为 2.20~5.16。由此推断,本区含锰岩系岩石与生物或热水作用关系比较密切,其物源可能来自洋壳深部。

3.2.2 微量元素地球化学特征 千公坪锰矿岩矿石微量元素分析结果见表 2。由表 2 可知,含锰岩系样品中微量元素 Ba、Rb 富集,其中 Ba 含量高达 $(174\sim 758)\times 10^{-6}$ 。V、Co 含量高于黏土岩丰度值,平均为黏土岩丰度值的 2.12~14.38 倍,Ni 的变化特征总体与 Co 类似。Cr 含量变化较大,最大值为 105×10^{-6} ,最小值为 9.42×10^{-6} 。Nb 含量 $(6.57\sim 21.1)\times 10^{-6}$ 高于黏土岩。Cu、Pb 含量较黏土岩值略高,平均含量为黏土岩值的 1.03~5.26

倍,Zn 含量平均为黏土岩值的 4.78~12.5 倍,其余微量元素含量值低于或接近于黏土岩中的值。

Sr 含量常随海水盐度的变化而异,因而常可作为海水含盐度的标志^[14,15]。施春华^[16]认为热液成因的岩石 Sr/Ba 值小于 1,沉积成因的岩石 Sr/Ba 值则大于 1,盛吉虎^[17]认为深海至滞留浅海环境的 Sr/Ba 值小于 1。千公坪锰矿区含锰岩系 Sr/Ba 值为 0.12~0.83,表明本区锰矿沉积环境为滞留浅海环境,这一特征与研究区的岩性岩相古地理特征基本一致,也反映了热水沉积作用的特征。

千公坪锰矿岩矿石的 U、Th 含量在 logU-logTh 的直角坐标图(图 5),除一个投影点外,其余均落入石化的热水铁锰沉积区。这一特征亦表明,千公坪锰矿属于热水沉积成因。本矿区 U/Th 值为 2.08~6.11,表明锰沉积时为缺氧环境。

千公坪锰矿岩石和矿石样品的 Fe、Mn、Cu、

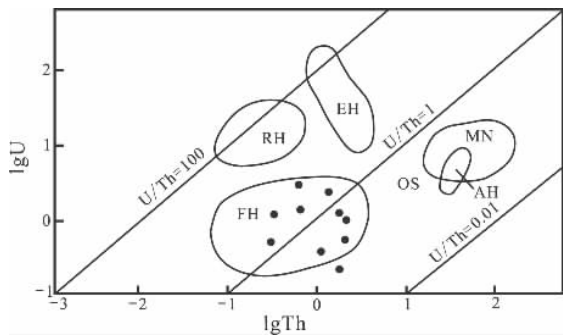
表 2 千公坪锰矿含锰岩系微量元素分析结果

$\times 10^{-6}$

样号	YPH1	YPH2	YPH3	YPH4	YPH5	YPH6	YPH7	YPH8	YPD5	YPD6
Ba	703	758	501	602	702	174	366	655	257	465
Rb	170	181	106	140	166	33.7	66.6	99.1	50	124
Sr	133	108	160	169	88	144	178	115	110	67.5
Nb	15.2	15.9	11.5	17.4	18	6.57	12.5	21.1	12.1	15
Pb	33.67	22.90	6.13	27.21	26.42	27.55	5.35	8.88	9.92	11.90
Zn	87.8	97.8	78.3	87.9	102	23.5	110	122	101	108
Cu	25.99	13.56	24.63	34.24	33.90	1.64	19.77	22.60	18.31	27.46
Ni	29	25.2	25.2	45.1	34	33.9	36.5	52.6	51.1	45.8
V	69.6	74.5	57.1	81.3	97.9	16.7	63.3	89.1	67	104
Cr	46.3	49.3	34.8	83.1	50.7	9.42	80.4	105	88.3	101
Co	35.8	59.8	32	26.9	28.6	26.1	47.1	46.1	52.5	60.2
Mo	1.513	2.231	1.708	8.194	8.803	2.111	0.495	0.520	0.520	0.090
Th	3.1	3.03	2.2	2.76	3.04	2.51	1.32	2.12	1.18	1.91
U	17.5	19.8	13.2	17.1	17.1	5.22	8.06	11.2	7.13	10.7
Sr/Ba	0.19	0.14	0.32	0.28	0.13	2.56	0.49	0.18	0.43	0.15
Co/Zn	0.41	0.61	0.41	0.31	0.28	1.11	0.43	0.38	0.52	0.56
U/Th	5.65	6.54	6.00	6.20	5.63	2.08	6.11	5.28	6.04	5.60

注:样品由中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室 ELAN DRC-e Y 型号的 ICP-MS 测试

Co、Ni 含量在 Fe-Mn-(Cu+Co+Ni)三角图(图 6)上,所有样品均落入洋底热水沉积区,并趋于 Mn 端员,显示其明显的热热水沉积特点^[18]。



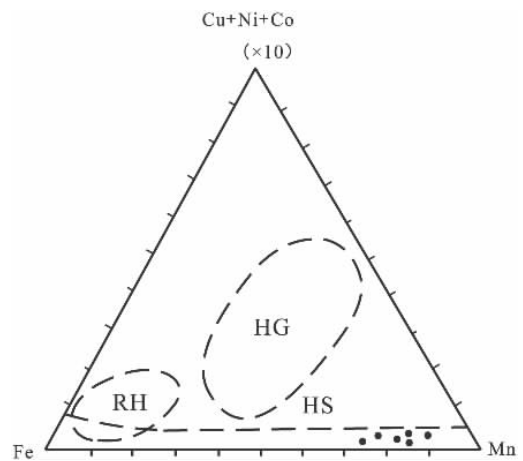
RH-红海热卤水沉积区;EH-东太平洋隆热水沉积区;FH-石化的热水铁锰沉积区;OS-普通远洋沉积区;MN-锰结核沉积区;AH-铝土矿区

图 5 千公坪锰矿含锰岩系 U-Th 关系图
(底图据文献[19]修改)

Fig. 5 U-Th diagram of Mn-bearing rocks in the Qiangongping manganese deposit(modified from ref. [19])

3.2.3 稀土元素地球化学特征 表 3 为矿区含锰岩系样品的稀土元素分析结果。由表 3 可见,样品总体表现为稀土总量较高,为 $169.16 \times 10^{-6} \sim 274.46 \times 10^{-6}$,较大塘坡、松桃锰矿的 Σ REE 值高。本区 Σ LREE/ Σ HREE 值一般为 6.18~11.04,平均值为 6.93,轻、重稀土元素的比值说明在整个锰矿床形成过程中都优先富集轻稀土元素。

本区样品在球粒陨石标准化的稀土元素分布模式图(图 8)上显示重稀土元素亏损的特点,均为右倾斜,中等 Eu 负异常,弱 Ce 正异常;在北美页岩标准化稀土元素配分模式图(图 9)上,曲线呈基本平滑型,具弱的 Ce 正异常,反映还原的沉积环境。



RH-红海热卤水沉积;HG-大洋水成沉积;HS-洋底热水沉积
图 6 Fe-Mn-(Cu+Ni+Co) $\times 10$ 三角关系
(底图据文献[19]修改)

Fig. 6 Triangle diagram of Fe-Mn-(Cu+Ni+Co) $\times 10$ (modified from ref. [19])

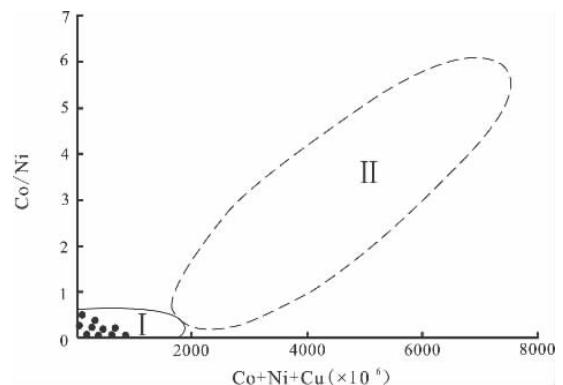


图 7 千公坪锰矿含锰岩系 Co/Ni-(Co+Ni+Cu) 相关性图(底图据文献[19]修改)

Fig. 7 Co/Ni-(Co+Ni+Cu) diagram of Mn-bearing rocks in the Qiangongping manganese deposit (modified from ref. [19])

表 3 千公坪锰矿含锰岩系稀土元素元素分析结果

Table 3 Rare-earth element analysis of Mn-bearing rocks in the Qiangongping manganese deposit $\times 10^{-6}$

元素	YPH1	YPH2	YPH3	YPH4	YPH5	YPH6	YPH7	YPH8
La	50	52.4	33.9	41.9	49.9	41.9	40.7	50.1
Ce	108	125	71.3	94.6	103	73.2	81.5	97.7
Pr	11.3	13.9	7.34	10.2	11.2	8.36	9.31	11.5
Nd	40.1	50.5	27.7	37.3	40.7	32.1	35.4	45.1
Sm	6.82	8.2	6.5	7.22	6.35	7.12	6.76	9.68
Eu	1.54	1.66	1.11	1.22	1.11	1.59	1.54	2.28
Gd	6.37	7.06	5.63	5.93	5.76	7.45	6.21	8.58
Tb	0.956	1	0.988	0.94	0.945	1.36	1.06	1.48
Dy	5.18	5.38	5.74	5.09	5.69	7.62	5.75	8.16
Ho	1.13	1.16	1.19	1.17	1.31	1.57	1.19	1.6
Er	3.42	3.68	3.46	3.41	4.02	4.17	3.23	4.25
Tm	0.541	0.566	0.549	0.531	0.607	0.552	0.476	0.578
Yb	3.52	3.38	3.25	3.29	3.63	3.33	2.75	3.55
Lu	0.564	0.571	0.506	0.526	0.587	0.518	0.408	0.559
Y	31.0	33.8	33.9	31.5	36.8	50.5	34.2	48.5
Σ REE	239.44	274.46	169.16	213.33	234.81	190.84	196.28	245.12
LREE/HREE	10.04	11.04	6.94	9.21	9.41	6.18	8.13	7.52
δ Eu	1.10	1.02	0.86	0.87	0.86	1.02	1.12	1.17
δ Ce	1.08	1.10	1.07	1.09	1.03	0.92	0.99	0.96
La _N /Yb _N	1.34	1.46	0.98	1.20	1.30	1.19	1.40	1.33

注:样品由中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室 ELAN DRC-e Y型号的 ICP-MS 测试

Ce 的异常被认为与构造环境有一定关系,靠扩张脊的近源区 δ Ce 约为 0.29,而大洋盆地为 0.55 左右,大陆边缘区 δ Ce 为 0.9~1.3^[20]。本区含锰岩系样品具弱的正 Ce 异常和弱的正 Eu 异常, δ Ce 为 0.92~1.10,表明本区下南华统大塘坡组含锰岩系

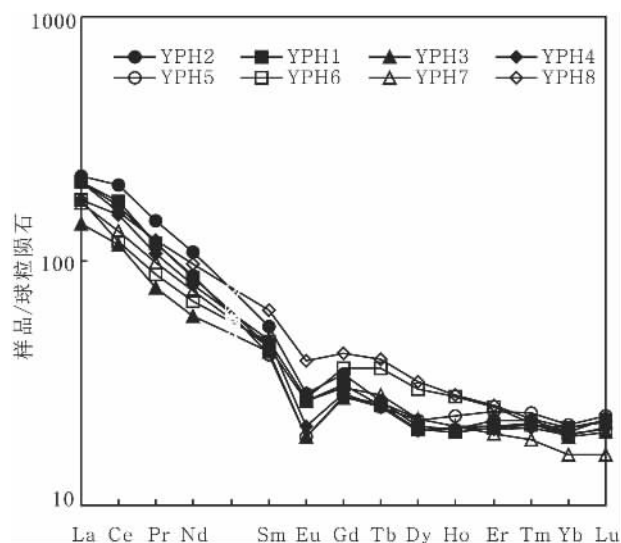


图 8 含锰岩系稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(据文献[27]修改)

Fig. 8 Chondrite-normalized REE distribution patterns of Mn-bearing rocks (modified from ref. [27])

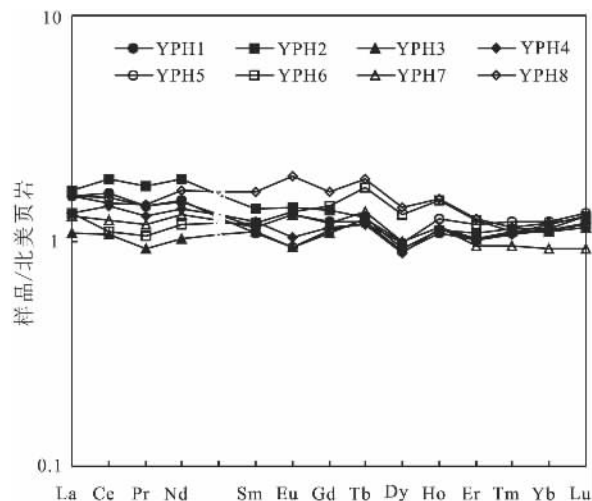


图 9 含锰岩系稀土元素北美页岩标准化配分模式图(据文献[27]修改)

Fig. 9 NASC-normalized REE distribution patterns of Mn-bearing rocks (modified from ref. [27])

主要形成于大陆边缘区。这种特征与前人提供的非热水沉积和热水沉积稀土特征之间的过渡状态相似^[22],反映其成岩成矿属正常沉积与热水沉积的混合作用。周琦等^[23-26]认为其中非热水成因的比例远大于热水沉积,反映其冷泉沉积的特点;陈多福等^[5]认为松桃锰矿的热水沉积比例约为 70%,非热水沉积的比例约 30%。虽然学者们对热水沉积与非热水沉积的比例有分歧,但都确认在成矿过程中的热水沉积与正常沉积的混合作用。

4 结 论

(1)千公坪锰矿赋存于下南华统大塘坡组底部,包括沉积作用形成的碳酸锰矿和经后期氧化作用形成的氧化锰矿;含矿岩系一般为菱锰矿-碳质页岩组合、碳质页岩及菱锰矿-含锰白云岩-碳质页岩组合;大塘坡组底部的含矿层厚度,自矿区北东地区向南西方向逐渐减薄。

(2)锰矿体主要受北东-北东向断裂的控制,赋存于裂隙带内的次级地堑或半地堑盆地中,且沿北西-南东向呈雁行式排列。

(3)矿石的内碎屑结构及条带状构造、块状构造的配置规律是热水沉积的特征结构构造,是热水喷发旋回的标志。

(4)含锰岩系中 CaO+MgO 含量表明岩石成因与海相碎屑沉积成因有关, $n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值表明含锰岩系与热水沉积关系密切。微量元素 Sr/Ba 值反映锰矿沉积环境为滞留浅海环境,U-Th 相关图、Fe-Mn-(Cu+Co+Ni) $\times 10$ 三角图、Co/Zn-(Co

+Ni+Cu)相关图上显示具热水沉积特征。含锰岩系岩石稀土元素属 LREE 富集型。球粒陨石标准化的稀土配分模式图显示重稀土亏损的特点,均为右倾斜、中等 Eu 负异常、弱 Ce 正异常;在北美页岩标准化稀土元素配分模式中,曲线呈基本平滑型,具弱的 Ce 正异常,反映还原的沉积环境。

总之,千公坪锰矿的矿床地质地球化学特征显示为海底热水沉积产物,区内沿北东向断裂及热水沉积盆地为找矿远景区。

参考文献 (References):

- [1] 杨瑞东, 欧阳自远, 朱立军, 王世杰, 姜立君, 张位华, 高慧. 早震旦世大塘坡期锰矿成因新认识[J]. 矿物学报, 2002, 22(4): 329—334.
- [2] 高兴基. 松桃地区早震旦世大塘坡期锰矿成矿地质条件及找矿方向[R]. 1985.
- [3] 杨绍祥, 劳可通. 湘西北锰矿床成矿模式研究:以湖南花垣民乐锰矿床为例[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 22(6): 72—80.
- [4] 王砚耕, 王兴来, 朱顺才. 贵州东部大塘坡组地层沉积环境和成锰作用[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1985.
- [5] 陈多福, 陈先沛. 贵州省松桃热水沉积锰矿的地质地球化学特征[J]. 沉积学报, 1992, 10(4): 35—43.
- [6] 解启来, 陈多福, 陈先沛. 贵州松桃锰矿沉积有机质特征研究[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 280—283.
- [7] 刘巽锋, 王庆生, 高兴基. 贵州锰矿地质[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1989.
- [8] 周琦, 杜远生, 颜佳新, 张命桥, 尹森林. 早贵州松桃大塘坡地区南华纪早期冷泉碳酸盐岩地质地球化学特征[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2007, 32(6): 339—346.
- [9] 张建忠. 松桃举贤锰矿床地质特征及找矿方向[J]. 西部探矿工程, 2007, 24(2): 153—156.
- [10] 贵州省地矿局 103 地质大队. 贵州省松桃千公坪锰矿普查地质报告[R]. 贵阳: 2005.
- [11] 覃英, 周琦, 张遂. 黔东北地区南华纪锰矿基本特征[J]. 贵州地质, 2005, 22(4): 246—251.
- [12] 何明华. 黔东北及邻区早震旦世成锰期岩相古地理及菱锰矿矿床[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 9(3): 39—47.
- [13] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: Its composition and evolution[M]. London: Blackwell, 1985: 57—72.
- [14] 谢建成, 杜建国, 许卫, 杨晓勇. 安徽贵池地区含锰岩系地质地球化学特征[J]. 地质论评, 2006, 52(3): 396—408.
- [15] 范德廉. 锰矿床地质地球化学研究[M]. 北京: 气象出版社, 1994.
- [16] 江纳言, 贾蓉芬, 王子玉. 下扬子区二叠纪古地理和地球化学环境[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [17] 施春华, 胡瑞忠, 王国芝. 贵州织金磷矿岩稀土元素地球化学特征研究[J]. 矿物学报, 2004, 24(4): 71—75.
- [18] 盛吉虎, 陈中新. 硅质岩沉积地球化学研究现状[J]. 地域研究与开发, 1998, 17(S1): 117—121.
- [19] Toth J R. Deposition of submarine rich in manganese and iron [J]. Geological Society of America Bulletin, 1980, 91(1): 44—54.
- [20] Bostrom K. Genesis of ferromanganese deposits - diagnostic criteria for recent and old deposits[A]. Rona P A, Bostrom K, Laubier L. Hydrothermal process at seafloor spreading centers[C]. New York: Plenum Press, 1983.
- [21] Choi J H, Hariya Y. Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokoro Belt, northeastern Hokkaido, Japan[J]. Economic Geology, 1992, 87(5): 1265—1274.
- [22] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [23] Fleet A J. Hydrothermal and hydrogenous ferromanganese deposits[A]. Rona P A, ed. Hydrothermal Process at Seafloor Spreading Centers [C]. New York: Plenum Press, 1983.
- [24] 杨瑞东, 高军波, 程玛莉, 魏怀瑞, 许利群, 文雪峰, 魏晓. 贵州从江高增新元古代大塘组锰矿沉积地球化学特征[J]. 地质学报, 2010, 84(12): 1781—1790.
- [25] 夏文杰, 雷建亮. 贵州松桃地区早震旦世大塘坡期沉积环境及锰矿成因[J]. 成都地质学院院报, 1989, 18(1): 67—78.
- [26] 周琦, 杜远生, 王家生, 彭加强. 黔东北地区南华系大塘坡组冷泉碳酸盐岩及其意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2007, 32(3): 339—345.
- [27] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts, 1989: 313—345.