

云南省鹤庆县小天井锰矿的地质特征及盆地控制

刘文佳, 李志群, 梁秋原, 陈明伟, 邹云达

云南省有色地质局, 云南昆明 650051

摘要: 小天井锰矿是滇西地区最大的锰矿床, 产于滇西上三叠统松桂组碎屑岩建造中, 由氧化锰矿石和碳酸锰矿石组成, 矿石成份较单一。碳和氧同位素的特征揭示了成矿物源的多来源及成矿的多阶段特征。稀土配分模式属轻稀土富集型。鹤庆锰矿形成于扬子地块西缘三叠纪诺利期盐源—丽江盆地中的丽江凹陷带之内的一个次级叠加盆地。盆地和成矿作用受控于同生断裂活动。建立了成矿模式。

关键词: 矿石成分; 稀土配分; 碳和氧同位素; 叠加盆地; 同生断裂; 成矿模式; 鹤庆小天井锰矿

中图分类号: P618.32; P611 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.s1.23

Geological Characteristic and Basin Control of the Xiaotianjing Manganese Ore Deposit in Heqing County of Yunnan Province

LIU Wen-jia, LI Zhi-qun, LIANG Qiu-yuan, CHEN Ming-wei, ZOU Yun-da

Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming, Yunnan 650051

Abstract: As the largest manganese deposit in the west of Yunnan Province, the Xiaotianjing manganese ore deposit occurs in clastic rocks of Triassic Songgui Formation. The manganese ore deposit is composed of manganese oxides and carbonate, and the ore composition is rather simple. The carbon and oxygen isotopic characteristics show that the ore-forming materials came from multi-sources and the ore-forming process was characterized by multistage evolution. The distribution model of rare earth elements belongs to enrichment type of the light rare earth elements. The deposit was formed in a secondary superimposed basin in the Lijiang depression belt within the Yanyuan-Lijiang basin of Triassic Nuoli period on the western margin of the Yangtze massif. The basin and the metallogenic activity were controlled by contemporaneous faults. A metallogenic model was established in this paper.

Key words: ore composition; REE patterns; carbon and oxygen isotopes; superimposed basin; contemporaneous faults; metallogenic model; Xiaotianjing manganese deposit in Heqing

区域地层出露有前寒武系点苍山岩群、奥陶系至二叠系海相沉积地层及中生代陆相红色碎屑建造, 此外, 尚零星分布有第四系湖相-沼泽相沉积和松散堆积层。构造较为复杂, 主要大断裂有北西向的哀牢山断裂、近南北向的程海—宾川断裂、北东向的翁水河—小金河断裂。岩浆活动频繁, 基性、超基性、碱性及中酸性岩均有出露, 有多期侵入和喷发的特点(云南省地质矿产局, 1990, 1993, 1995), 以玄

武岩分布最广。

1 矿床地质特征

1.1 矿区地质

矿区出露地层有志留系宾川组、下三叠统、中三叠统北衙组、上三叠统松桂组和新近系(图1)。含锰岩系采用云南省有色地质局三一〇队的方案, 划归上三叠统松桂组。松桂组以浅色泥岩为主, 夹有

本文由全国矿产资源潜力评价项目“云南省锰矿潜力评价”(编号: 1212011121022)资助。

收稿日期: 2013-04-24; 改回日期: 2013-05-07。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 刘文佳, 女, 1986年生。助理工程师。主要从事区域成矿预测、矿产勘查、信息处理研究。通讯地址: 650051, 云南省昆明市人民东路93号。电话: 0871-63141029。E-mail: 383798467@qq.com。

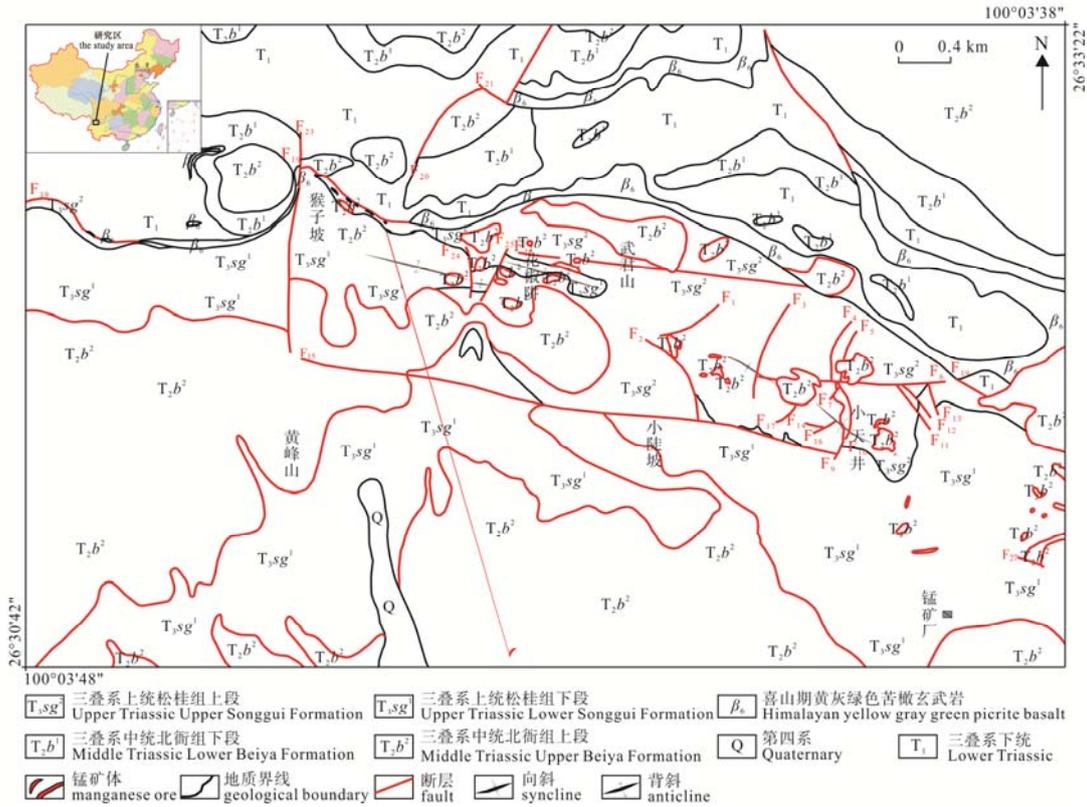


图 1 云南省鹤庆县小天井锰矿地质图
 Fig. 1 Geological map of the Xiaotianjing manganese ore deposit in Heqing County, Yunnan Province

灰岩、砾灰岩、硅钙质层及含砾泥岩，均多呈透镜状产出，岩性变化较大，短距离内即发生相变，其上段为含矿地层。矿区褶皱为小天井向斜，轴长约 700 m，宽约 500 m，长短轴之比为 3.4 : 1，系短轴向斜。其轴部总体走向北西 60°，中部略有变化，向斜轴的北西端呈 45°角向上扬起，南西端在露天采场以东约 600 m 倾没。区内断裂发育，并有强烈的推覆构造，经风化侵蚀后形成“飞来峰”。矿区北边的近东西向断裂以汝南峭断层(F₁₉)为代表，走向近东西，向北倾，倾角 50°，沿线有断层角砾岩及糜棱岩带，附近岩层受挤压，局部产生小型牵引褶曲。矿区已发现断层 18 条，按其产状可分为 4 组，即：北北西组、北北东组、北东东组和北西西组。矿区范围内未见大规模岩浆岩出露。仅在小天井露天采场南东 55°方向，平距 1400 m 处，见一小条煌斑岩脉，产状：走向北北西，倾向南西，倾角 55°。

1.2 矿体空间分布

小天井矿床位于鹤庆锰矿带的东段，其范围包括：东起小天井，西至武君山，南临小青河，北近武君山沟，东西长约 2400 m，南北宽 1080 m，面积 2.6 km²。已查明有两层矿体：下层 号矿体，厚度大、品位高，含杂质少；上层 号矿体，属盲矿体，

厚度小，品位低，工业意义不大。

号矿体是本区的主矿体，赋存于三叠系上统松桂组上段(T_{3sn}²)的底部，矿体平面形态大致呈鱼形，延伸方向大体与小天井向斜轴向一致，矿体纵向形态大致呈舟形，特别是 14 线以西向上扬起，仰起角达 45°，这段矿体较为陡峻。号矿体系盲矿体，位于 I 号矿体之上，平面上呈长板状展布，剖面上呈薄层状。上、下盘围岩以砾灰岩为主，局部为含砾泥岩。因距地表较近，矿石多变成松散状的氧化矿。

1.3 矿石化学成分

矿石成份较纯，主要有用组份仅为锰、S、Ag、Co、Ni、P 等元素含量均微。

铁：本区矿石含铁 0.96%~1.29%，属低铁类矿石。大部分矿点含铁量小于 2%，个别点因风化淋滤作用局部含铁量偏高。矿层内部及上、下盘围岩中均未发现黄铁矿。含铁量较高的海绿石闭块偶见于 CK805 及 CK1402 两孔。铁质主要含于硅酸盐矿物中。

磷：本区矿石含磷 0.043%~0.05%，磷锰比 0.0008~0.001，属低磷类优质矿石。由于含磷量特低，磷质分散，未发现磷酸盐类矿物。

1.4 矿石类型及矿物组合

矿石以原生矿为主, 次生氧化矿仅在地表浅部及断裂破碎带中。矿石矿物主要有: 菱锰矿、硬锰矿、 β 、 γ 、 ρ 型软锰矿、钙硬锰矿、沼锰矿、恩苏塔矿、黑锰矿、钠水锰矿、钡镁锰矿、蜡硅锰矿等(赵天蓝, 1992)。脉石矿物主要是: 方解石、石英等。

1.5 矿石结构构造

矿石结构主要有: 斑状集晶结构、他形晶粒状结构、自形及半自形粒状结构、胶状结构、细晶混溶结构、脉状、纤维状晶体聚集结构、浸染状结构等。

矿石构造主要是: 层状及纹层状构造、块状构造、胶状构造、角砾状构造等。

2 成矿物理化学条件

2.1 元素地球化学

矿石化学成分特征(表 1): (1)矿石成份较纯, 主要有用组份为锰; (2)矿石中 S、Ag、Co、Ni、P 等元素含量均微; (3)从锰铁比看, 铁主要分布在贫锰矿中; (4)在富氧化矿中, 锰以 Mn^{4+} 为主, 次为 Mn^{3+} , Mn^{2+} 较少, 地表矿石氧化率为 92%~98.5%, 平均 96%, 向深部降低, 出现菱锰矿; (5)在氧化矿石中, 铁主要 Fe^{3+} 形式存在, 集中在矿体浅部, 深部以 Fe^{2+} 形式存在于菱铁矿或类质同象存在于碳酸盐类矿物中; (6)矿石碱度 0.445~5.11, 主要为碱性矿石; (7)矿石中 Co、Ni、Ag 等含量高于克拉克值, 与物源有关。

2.2 稀土元素地球化学

从小天井矿石及围岩的稀土配分曲线来看(图 2),

表 1 鹤庆小天井锰矿矿石化学成分表
Table 1 Chemical composition of ores from the Xiaotianjing manganese ore deposit in Heqing

| Wt% | 矿体 | |
|----------------------------------------------------------|---------|--------|
| | 小天井氧化富矿 | 小天井贫矿 |
| Mn | 45.31 | 18.66 |
| SiO ₂ | 4.24 | 21.62 |
| CaO | 4.33 | 22.61 |
| Al ₂ O ₃ | 3.12 | 1.78 |
| MgO | 1.29 | 1.72 |
| Fe | 1.87 | 1.89 |
| As | 0.018 | <0.05 |
| P | 0.05 | 0.032 |
| Co | 0.007 | <0.005 |
| Ni | 0.01 | 0.02 |
| Ag(10 ⁻⁶) | <24.56 | 3.10 |
| Mn / Fe | 24.23 | 9.66 |
| P / Mn | 0.001 | 0.002 |
| CaO+MgO/SiO ₂ +Al ₂ O ₃ | 0.76 | 1.04 |

注: 小天井资料据赵天兰, 1988。

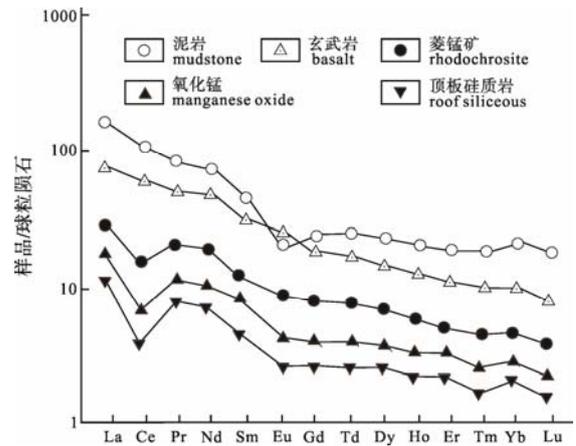


图 2 鹤庆小天井锰矿稀土配分曲线
(据于苏俊, 2000 修改)

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of the Xiaotianjing manganese ore deposit in Heqing (modified after YU, 2000)

(1)本区所有样品 $La/Yb > 1$, 曲线右倾, 为轻稀土富集型; (2)锰矿石与硅质岩的分布型式基本相似, 且都呈现 Ce 与 Eu 的负异常及 Yb 的正异常, 表明锰矿与硅质岩为同源产物; (3)泥岩的稀土分布型式与锰矿差异较大, 表明它们无成生联系; (4)菱锰矿中显著的 Ce 负异常表明矿体形成环境氧逸度较高, 致使 Ce^{3+} 变价成 Ce^{4+} , 形成 CeO_2 沉淀, 不易进入矿物晶格; (5)矿石和岩石的稀土元素配分曲线分为两组, 玄武岩与泥岩为一组, 锰矿石和硅质岩为一组, 表明成锰盆地的活动与深部岩浆活动有一定的关系, 但成矿作用与岩浆活动却没有直接联系; (6)诺利期玄武岩稀土曲线为右倾, $REE=151.58$ (平均值), La/Yb 为 14.297, $Sm / Nd=0.21$ (平均值), 与大陆拉斑玄武岩接近, 而与大洋拉斑玄武岩相甚远, 表明鹤庆锰矿盆地的拉张程度不太大, 没有出现洋壳玄武岩(于苏俊, 2000)。

2.3 碳、氧同位素特征

小天井锰矿矿石的碳氧同位素组成见表 2, 从中可以看出, 菱锰矿石 $\delta^{13}C$ 值变化于 $0.994 \times 10^{-3} \sim 8.138 \times 10^{-3}$ (PDB), 变化范围较宽。可分为变化范围较窄的两组以区分碳物质的不同来源: $-1.7030 \times 10^{-3} \sim -0.994 \times 10^{-3}$ (PDB), 平均值 -0.697×10^{-3} ; $7.584 \times 10^{-3} \sim -7.030 \times 10^{-3}$ (PDB), 平均值 -7.584×10^{-3} 。前者与海相碳酸盐 $\delta^{13}C$ 平均值大致相符, 可以认为碳来源于盆地基底的围岩(下伏基底北衙组中含锰灰岩), 后者为同位素弱分馏类型, 显系由高温岩浆作用所致。这部分碳是由玄武岩浆活动从深部带来。

菱锰矿石的 $\delta^{18}O$ 变化于 $-2.699 \sim 11.437$, 平均

表 2 鹤庆锰矿碳、氧同位素组成
Table 2 Carbon and oxygen isotopic compositions of the Heqing manganese deposit

| 序号 | 岩石名称 | 产地 | $\delta^{13}\text{C} / 10^{-3}(\text{PDB})$ | $\delta^{18}\text{O} / 10^{-3}(\text{PDB})$ |
|----|--------|------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1 | 菱锰矿 | 小天井 PD2530 | -1.328 | -6.987 |
| 2 | 菱锰矿 | 小天井 PD2530 | -7.030 | -11.437 |
| 3 | 菱锰矿 | 小天井 PD2530 | 0.994 | -7.544 |
| 4 | 角砾状菱锰矿 | 小天井 PD2530 | -1.757 | -7.232 |
| 5 | 钙菱锰矿 | 小天井 PD2530 | -8.138 | -2.699 |

注: 据于苏俊, 2004。

-7.187, 显外生来源。菱锰矿石比标准海水富集 $\delta^{18}\text{O}$, 这种氧同位素分馏是由生物地球化学过程引起的。生物(藻类)在代谢过程中吸收了海水中几乎全部的 $\delta^{18}\text{O}$, 这与菱锰矿石中已观察到的藻体生物结构是吻合的。同样的情况也适合于作为矿体顶板及夹层的硅质岩。

碳氧同位素的特征揭示了菱锰矿层物源的多来源及成矿的多阶段, 菱锰矿分子有深源的碳参加, 成矿过程至少经历了生物吸收环节。

3 同生断裂及叠加盆地

晚三叠世诺利期是鹤庆锰矿的主要成矿期(刘仁福等, 2000)。区域上, 鹤庆位于盐源—丽江三叠纪盆地的西缘, 诺利期盐源—丽江盆地沉积相为后滨—前滨滨岸砂(砾)脊—泥滩—岸后沼泽, 但鹤庆含锰盆地从盆地构造和沉积相上与区域上有很大的不同(四川省地质矿产研究所专题研究组, 1987; 官容生等, 1993)(见图 3)。

鹤庆盆地南部的松桂组上部中分布了大且近岸崩离岩块, 表明南缘边界继陡坡面之后进而发展成断层崖壁类型。崩离岩块中大部分为北衙组灰岩, 可以推测南侧边界的同生正断层系统地层断距至少有 200 m(相当于北衙组之上中窝组的地层厚度)。盆地北缘的岩相已被喜山期南北向应力场所致的汝南峭逆掩断层所掩盖。沿该逆掩断裂带, 呈线状分布的大量玄武质火山碎屑岩, 其与下伏松桂组及北衙组呈断层接触关系。该玄武质火山碎屑岩同位素铷—锶等时年龄为(238 ± 3) Ma, 大致相当于晚三叠世诺利期, 这与扬子地台西缘范围内已知的芦山坪溪、茂汶滑门及邻近祥云地区诺利早期的玄武岩喷发是等时事件, 也表明火山活动期仍有同生断裂活动。

由此推测鹤庆盆地北缘诺利期曾有一古同生正断层系统, 沿该断裂有基性岩浆侵入和喷发, 并于盆地北部形成玄武质火山碎屑岩沉积。现地表出露的汝南峭逆掩断层已使原古同生正断层面发生了反

转, 并通过由北向南的位移而掩盖了原同生断裂的相带, 同时也掩盖了盆地北部的大面积区域。

鹤庆含锰盆地规模不大, 它是扬子地块西缘三叠纪盐源—丽江盆地中的丽江凹陷带之内的一个次级叠加盆地。卡尼克期, 滇西北地区构造型式以差异性的块断运动为主, 玉龙雪山西坡深大断裂和程海深大断裂作为西缘断裂带的一部分, 在西侧松潘—甘孜强烈拗陷的影响下, 力学性质表现为张性, 扩张方向与槽区方向一致, 为北西西—南东东, 故从总体上控制了北北东—南南西走向的丽江凹陷的形成。同时, 由于扩张方向与两条近于南北向的深大断裂不垂直, 又使该两条深大断裂产生右行平移走滑, 与鹤庆盆地生成有关的是玉龙雪山西坡深大断裂的右行走滑拉张运动, 受玉龙雪山西坡深大断裂带石鼓—剑川—洱源一段向西凸出的弧形弯曲边界条件控制, 该类右行走滑剪切力派生引张分量可致生成鹤庆锰矿走滑拉张盆地。晚三叠世诺利早—中期, 西侧拗陷达到最剧烈阶段, 西缘断裂带走滑分量也达到最大值, 由此导致鹤庆盆地发生剧烈拉

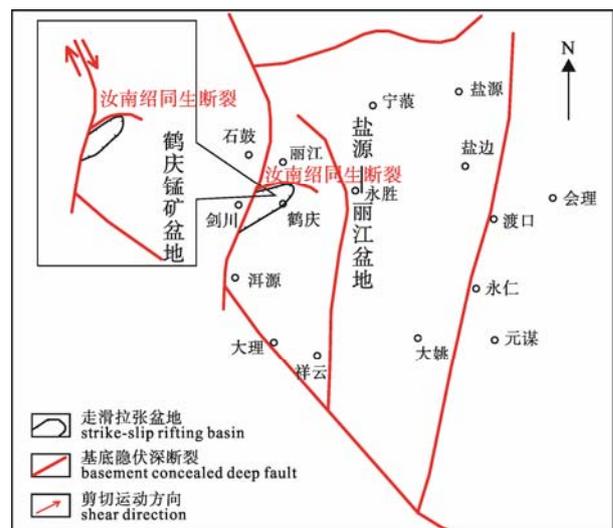


图 3 鹤庆盆地及构造控制因素示意图
Fig. 3 Sketch map of Heqing basin and structural control factors

张下陷而最终形成诺利期区域应力场主体处于引张作用, 鹤庆锰矿走滑盆地的特征还不够十分鲜明, 在整个西缘台褶带, 于卡尼克—诺利中期阶段按此种力学方式形成的盆地远不止一个, 松潘—甘孜海盆开始褶皱, 这不但从根本上改变了它自身的构造面貌, 也影响了与之相邻地块的古构造格局, 扬子地块西部边缘全部上升为陆, 形成广泛的地层假整合关系, 说明区域应力场也由引张转为挤压, 这也导致了鹤庆盆地在经历了卡尼克末期—诺利中期的短暂阶段, 未及发育成大洋拉斑玄武岩所代表的拗拉谷(鹤庆盆地只有大陆拉斑玄武岩)而中道夭折。

4 叠加盆地对成矿作用的控制

鹤庆锰矿盆地给成矿带来两条有利的构造条件: (1)在区域凹陷背景上形成的异向叠加次级洼地, 有利于摆脱区域上诺利期后滨—前滨滨岸砂(砾)脊—泥滩—岸后沼泽环境, 成为滨岸沼泽环境而聚集锰矿质; (2)异向叠加应力场的叠加, 利于使盆地负向下陷基底(此处为易于发生裂隙的北衙组灰岩)产生交叉贯通的纵张裂隙, 形成良好的通道条件, 利于热源的进入, 并带动海水垂直渗滤循环, 萃取盆地基底的矿质, 对热水沉积矿床的形成极为有利。

岩相古地理研究认为, 小天井锰矿位于滨岸沼泽相中, 它的北东边靠近陆地, 南西边是滨海相沉积。在松桂组下段顶部有一富含长石的三角州相含砾砂岩体, 中心部位厚达 100 余 m, 往两侧迅速尖灭。认为当时有一条山间河流, 在洪水期间携带大量富含长石的陆源碎屑物质, 在入海处搬运能力降低而沉积下来, 沿第一分河道形成的含砾砂岩构成水下砂堤, 以后的浅海沉积作用由于受继承性影响, 致使水下暗堤的一侧局部形成一个半封闭的地球化学环境, 为锰质的聚集提供了有利场所。

锰质来源可分为热水循环从地壳下部带来和从古陆风化而来两类。古陆风化主要是玄武岩, 热水循环主要带来下伏地层北衙组中的锰(李志群等, 2012)。

松桂组下段(T_{3sn}^1)煤系地层在温暖潮湿的气候条件下形成。这种气候条件加速古陆岩石的风化作用, 陆源碎屑物中的锰质被水流带入海洋, 造成海水中矿物质浓度增加, 以后在海陆交接的边缘地带(称为“槽形局限洼地”), 因物理化学条件改变而成矿。

松桂组下段顶部地层中夹有玄武质凝灰砂岩团块(据光谱分析, 含 $Mn2000 \times 10^{-6}$, Co

120×10^{-6} , $Ni 400 \times 10^{-6}$)。稀土研究也认为, 诺利期有玄武岩浆热源作用, 这些现象从一个侧面说明, 成矿前期在矿床附近曾有玄武岩浆活动, 而近东西向的汝南峭断层(同生断裂)距离本矿床一公里左右, 部分锰质来源可能与沿同生断裂带活动的海底含锰热水活动有关。

成矿时海水中富含锰质, Mn^{2+} 随着富氧、碱性、动能大的海水, 在海流、波浪、潮汐的共同作用下, 越过水下暗堤, 源源不断地进入比较安定、酸性、动能小的陆缘浅海槽形局限洼地, Mn^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 SiO_2 胶体能在这里较好地进化学沉积分异作用, 从而分别形成锰矿体及硅钙质互层。

在槽形局限洼地内繁殖着大量生物, 不但生存时汲取锰质有助于成矿, 而且在死亡后由于有机质分解而造成的还原条件有利于锰质的聚集。

在特定的沉积构造环境中, 有着较高的 PH 值和 Eh 值, 对锰的富集来说, 是有利的沉积条件, 但对铁、磷来说, 却是不利的因素。这可能是矿床锰高、铁低, 硫和磷含量均微的原因。

5 矿床成因机制

小天井锰矿成矿有利的构造条件: (1)在区域凹陷背景上形成的异向叠加次级洼地, 有利于摆脱区域上诺利期后滨—前滨滨岸砂(砾)脊—泥滩—岸后沼泽环境, 成为滨岸沼泽环境而聚集锰矿质; (2)异向叠加应力场的叠加, 利于使盆地负向下陷基底(此处为易于发生裂隙的北衙组灰岩)产生交叉贯通的纵张裂隙, 形成良好的通道条件, 利于热源的进入, 并带动海水垂直渗滤循环, 萃取盆地基底的矿质, 对热水沉积矿床的形成极为有利(见图 4)。

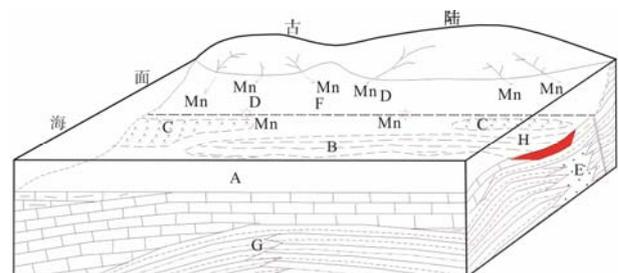


图 4 云南省鹤庆县小天井锰矿成矿模式图

Fig. 4 Metallogenic model of the Xiaotianjing manganese ore deposit in Heqing County, Yunnan Province
A-陆缘碳酸盐台地; B-水下洼地; C-水下岸堤; D-含锰喷流口;
E-三角洲相砂砾岩; F-同生断裂; G-砂泥岩互层; H-锰矿层
A-epicontinental carbonate platform facies; B-underwater depression; C-underwater levees; D-manganese spout;
E-delta facies sandy conglomerate; F-syngenetic fault; G-sandstone interbedded with mudstone; H-manganese ore bed

成矿机制为:

(1)小天井锰矿位于滨岸沼泽相中,它的北东边靠近陆地,南西边是滨海相沉积。在松桂组下段顶部有一富含长石的三角州相含砾砂岩体,中心部位厚达 100 余 m,往两侧迅速尖灭。认为当时有山间河流,在洪水期间携带大量富含长石的陆源碎屑物质,在入海处搬运能力降低而沉积下来,沿第一分河道形成的含砾砂岩构成水下砂堤,以后的浅海沉积作用由于受继承性影响,致使水下暗堤的一侧局部形成一个半封闭的地球化学环境,为锰质的聚集提供了有利场所。

(2)锰质来源可分为热水循环从地壳下部带来和从古陆风化而来两类。古陆风化主要是玄武岩,热水循环主要带来下伏地层北衙组中的锰。

(3)成矿时海水中富含锰质, Mn^{2+} 随着富氧、碱性、动能大的海水,在海流、波浪、潮汐的共同作用下,越过水下暗堤,源源不断地进入比较安定、酸性、动能小的陆缘浅海槽形局限洼地, Mn^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 SiO_2 胶体能在里较好地进化学沉积分异作用,从而分别形成锰矿体及硅钙质互层。

(4)在槽形局限洼地内繁殖着大量生物,不但生存时汲取锰质有助于成矿,而且在死亡后由于有机质分解而造成的还原条件有利于锰质的聚集。

参考文献:

- 官容生,刘智光,汪西鸣,马俊,寇林. 1993. 云南鹤庆—丽江地区锰资源量预测——资源量模型法的应用[J]. 矿物岩石, 13(13): 91-97.
- 李志群,梁秋原,刘文佳. 2012. 云南省鹤庆县锰矿的矿床地球化学及其盆地控制[J]. 地球科学进展, 27(增刊): 225-228.
- 刘仁福,魏振环,樊秉鸿. 2000. 云南鹤庆锰矿的成矿条件及成矿远景[J]. 矿产与地质, 14(3): 170-171.
- 四川省地质矿产研究所专题研究组. 1987. 盐源—丽江地区三叠纪地层及沉积相[M]. 北京:地质出版社.
- 于苏俊,杨立中,刘丹. 2000. 云南鹤庆锰矿控矿因素初步分析[J]. 矿物岩石, 20(1): 30-37.
- 于苏俊. 2004. 云南鹤庆式锰矿成因研究[J]. 中南矿业大学学报, 33(1): 109-114.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 云南省地质矿产局. 1993. 云南省区域矿产总结[R]. 昆明:云南省地质矿产局.
- 云南省地质矿产局. 1995. 云南岩相古地理图集[M]. 昆明:云南科技出版社.

赵天兰. 1988. 云南鹤庆锰矿物质组成及矿物分布特征[J]. 中国锰业, (3): 13-16.

赵天蓝. 1992. 云南鹤庆蜡硅锰矿的矿物学特征[J]. 矿物岩石, 12(3): 13-16.

References:

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1990. Regional and geological annals of Yunnan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1993. Summary on Area Mineral Resources in Yunnan[R]. Kunming: Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province(in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1995. Atlas of the sedimentary facies and palaeogeography of Yunnan[M]. Kunming: Yunan Science and Techonology Publishing House(in Chinese).
- GUAN Rong-sheng, LIU Zhi-guang, WANG Xi-ming, MA Jun, KOU Lin. 1993. Manganese Resources Assessment In Heqing-Lijiang Area, Yunnan——Application of resource model method[J]. J Mineral Petrol, 13(13): 91-97(in Chinese with English abstract).
- LI Zhi-qun, LIANG Qiu-yuan, LIU Wen-jia. 2012. Deposit Geochemistry and Basin Control of Heqing Manganese Deposit [J]. Advances in Earth Science, 27(Supplement): 225-228(in Chinese with English abstract).
- LIU Ren-fu, WEI Zhen-huan, FAN Bing-hong. 2000. The metallogenetic condition and metallogenetic prospect of Yunnan-Heqing Manganese ore deposit[J]. Mineral Resources and Geology, 14(3): 170-171(in Chinese with English abstract).
- Special Research Group of Sichuan Provincial Geological and Mineral Research Institution. 1987. Stratum and sedimentary facies in Triassic in Yanyuan—Lijiang region[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- YU Su-jun, YANG Li-zhong, LIU Dan. 2000. Analysis of Ore-controlling Factors of Heqing Manganese Deposit[J]. J Mineral Petrol, 20(1): 30-37(in Chinese with English abstract).
- YU Su-jun. 2004. Genesis of Heqing Manganese Deposit[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 33(1): 109-114(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Tian-lan. 1988. Material composition and characteristics of mineral distribution of Manganese ore in Heqing Yunnan[J]. China Manganese Industry, (3): 13-16(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Tian-lan. 1992. The Mineralogic Characteristics of Bementite In Yunnan Province, China[J]. J Mineral Petrol, 12(3): 13-16(in Chinese with English abstract).