

# 云南鹤庆锰矿控矿因素初步分析

于苏俊 杨立中 刘 丹

(西南交通大学土木学院,成都 610031)



**【摘要】** 鹤庆锰矿产出于晚三叠世诺利期剧烈下陷的一个台沟环境。力学成因上,该台沟盆地属于走滑拉张型盆地。它的生成与西缘台褶带卡尼-诺利中期区域性南北向深大断裂带的右行走滑拉张活动有直接的关系。稀土和碳、氧同位素资料表明,成矿经由以玄武岩岩浆活动为代表的地热系统对盆地基底矿源层中锰质的萃取、生物吸收以热水喷流形式进入盆地的矿质而成矿的过程。总结出区域性深大断裂、玄武岩岩浆活动、矿源层三者为扬子地块西缘卡尼-诺利成锰期的控制因素。

**【关键词】** 鹤庆锰矿;走滑拉张盆地;控矿因素;深大断裂;矿源层  
中图分类号:P611;P618.32;P542 /文献标识码 A

滇西北鹤庆锰矿位于扬子地台西缘丽江台褶带(图1)。含锰层位为上三叠统松桂组,为一套岩性、沉积构造、生物均较为特殊的组合,与区域上同时代的浅海陆棚-滨海沼泽相的松桂组迥然不同。它是晚三叠世诺利期在滇西北整体海退造陆的大格局下发生的一种异化环境下的产物。经岩相研究,已确定该套岩石组合属于深水暗色灰泥台沟相(图2)。矿区松桂组据其岩性及相特征划分为六段。锰矿层划归松桂组第四段( $T_3sn^4$ )底部。矿体呈似层状、扁豆状;顶板为薄层硅钙质岩。矿石为块状构造、角砾状构造、条带状构造。矿石成分以菱锰矿为主,见有少量钙菱锰矿石及蜡硅锰矿石,锰矿石平均品位40%,

含磷 $<0.1\%$ ,已探明储量 $400 \times 10^4 t$ 。研究该矿床的成矿控制因素,对于在扬子地台西缘深入开展优质富锰矿的找矿有重要意义。

## 1 盆地沉积学特征的初步分析

### 1.1 亚相划分

亚相的划分旨在对该台沟沉积各阶段时空特征进一步了解,以便恢复该台沟生成历史及边界条件。由岩性和相标志(图2),矿区松桂组第一段和二段( $T_3sn^1$ 和 $T_3sn^2$ )为一套陡坡型三角洲建造,时间上属于台沟形成的早期,空间上指示台沟南南西边

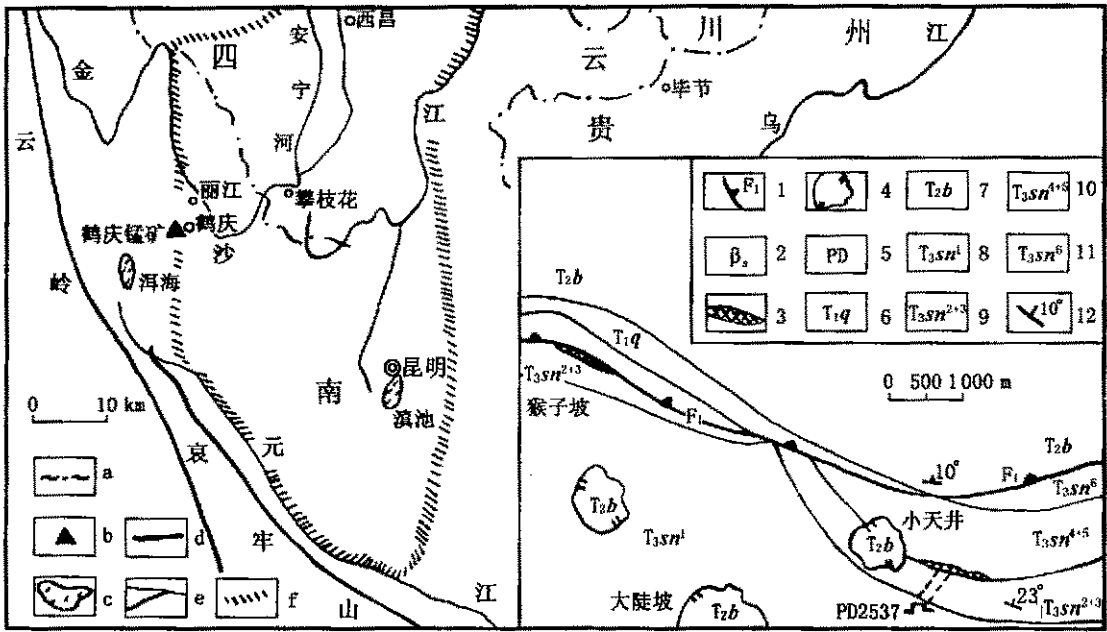


图 1 云南鹤庆锰矿地理位置及矿区地质略图(据实测)

1. 汝南峭逆掩断层; 2. 三叠世诺利期玄武岩; 3. 锰矿体; 4. 飞来峰; 5. 平洞; 6. 下三叠青天堡组; 7. 三叠统北衙组; 8. 上三叠统松桂组第一段; 9. 上三叠统松桂组第二段至第三段; 10. 上三叠统松桂组第四段至第五段; 11. 上三叠统松桂组第六段; 12. 产状

Fig. 1 Sketch of location and geology of Heqin manganese mine in Yunnan Province

1. Runansao overthrust; 2. Norian basalt late Triassic; 3. manganese orebody; 4. nappe outlier; 5. tunnel; 6. Qintianbao Formation lower Triassic; 7. Beiya Formation, middle Triassic; 8. the first member of Songgui Formation, upper Triassic; 9. the first and second member of Songgui Formation, upper Triassic; 10. the fourth and fifth member of Songgui Formation, upper Triassic; 11. Part 6 of Songgui Formation, upper Triassic; 12. attitude

界,据此将该两段岩石组合( $T_{3sn}^{1+2}$ )划分为斜坡亚相。松桂组第三段( $T_{3sn}^3$ )为一套黑色碳质泥岩(含霉状黄铁矿),其与划归松桂组第四段( $T_{3sn}^4$ )底部的锰矿层及其直接顶板薄层硅质岩和硅钙质岩一道,代表处于波基面以下较深水,较封闭、较安静的环境,可划分为沟底亚相。松桂组第四段和第五段( $T_{3sn}^{4+5}$ )由青灰色钙质泥岩,薄到中厚层泥岩与薄层灰岩、钙质岩互层组成,配合其他相标志,指示深水沉积在趋于平衡广阔之后,逐渐向海退沉积过渡;至松桂组第六段( $T_{3sn}^6$ ),已基本上与区域上的滨岸沼泽相趋于一致;故将该三段岩石组合划分为台沟上部亚相(图 3)。

1.2 古同生断裂的厘定

由该台沟盆地南缘早期发生的陡坡型三角洲沉积组合反映南缘边界在盆地开始发生时即具有较陡坡面,这种地貌可能揭示南缘边界在盆地生成初期已有古同生正断层存在;盆地南部的上部亚相(主要集中在  $T_{3sn}^{4+5}$ )中分布了大量近岸崩离岩块,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到少有 200 m(相当

于北衙组之上中窝组的地层厚度)。盆地北缘的岩相已为喜马拉雅期南北向应力场所致的汝南消逆掩断层所掩盖。沿该逆掩断裂带,呈线状分布的大量玄武质火山碎屑岩,其与下伏松桂组地层及上覆下三叠统青天堡组及中三叠统北衙组。通过断层泥及断层糜棱岩呈断层接触关系。该玄武岩同位素铷-锶等时年龄为  $238 \pm 3$  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、茂汶渭门及邻近祥云地区诺利早期的玄武岩喷发是等时事件。

由此恢复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,并通过由北各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。

该台沟盆地西侧边界皆一致地受古同生正断层系统控制。两侧古同生正断层系统的差异是:从深度上,北侧的切割地壳较深,直至玄武岩浆喷溢;南侧的切割较浅,只切穿盆地基底的上部,显然北侧的断裂系统对盆地的生成起着主导作用。从时间上,由南





2.2.1 稀土配分组合图式(图4) (1)本区所有样品  $La/Yb > 1$ , 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的完全不同,表明它们无亲缘关系。

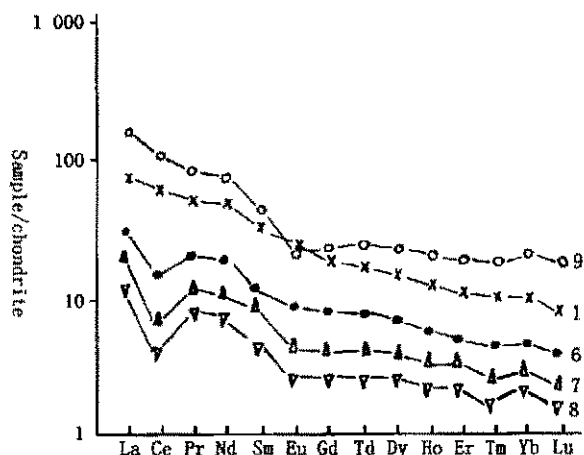


图4 鹤庆锰矿矿石与近矿围岩稀土元素组成比较

1. 玄武岩; 6. 菱锰矿石; 7. 氧化锰矿石; 8. 矿体顶板硅质岩; 9. 泥岩

Fig. 4 REE distribution patterns of manganese ore and surrounding rock in Heqin manganese mine

1. basalt; 6. reddingite; 7. oxidized manganese ore; 8. silicestone on the top of ore; 9. claystone

2.2.2 有关稀土元素的比值 (1)  $Sm/Nd$  是反映物源的重要参数,球粒陨石为 0.33,大洋玄武岩为 0.244~0.425,而源于地壳的花岗岩及各类沉积岩一般远小于 0.25,据一些例子看,典型的冷水沉积岩  $Sm/Nd$  分布于 0.04~0.19 之间。矿区菱锰矿  $Sm/Nd=0.22$ (平均值),反映了其不属于正常的沉积岩,同样作为矿体围岩的泥岩具明显的 Eu 负异常及  $Sm/Nd=0.20$ ,表明为一种热液沉积岩类型。(2)  $La/Sm, Eu/\Sigma REE$  是指示物源深度的参数。矿区玄武岩的  $La/Sm=3.76$ (平均值)比菱锰矿的  $La/Sm=4.70$ (平均值低);  $Eu/\Sigma REE=1.62 \times 10^{-2}$ (平均值)比菱锰矿的  $Eu/\Sigma REE=0.89 \times 10^{-2}$ (平均值)高,反映玄武岩为一种深部来源,而菱锰矿的来源则相对较浅。可见,菱锰矿石的锰不是由玄武岩浆活动直接提供的。菱锰矿石锰质的来源则相对较浅,极有可能在拉丁期,锰质已初步富集于盆地基底的北衙组中,至诺利期,在玄武岩浆热源作用下,成矿物质由热卤水萃取而以热水喷流的形式进入盆地,旋即被生物吸收而形成热水沉积矿床。由于菱锰矿体占据了矿体总体的 70%,此作用当为主导的成矿作用。这与北衙组含锰富集率达 50~100(倍),远远高于含锰富集率仅为 3(倍)的玄武岩是一致的。(3) 菱锰矿中显著的 Ce 负异常表明矿体形成过程中氧逸度较高,致使  $Ce^{3+}$  变价成  $Ce^{4+}$ ,形成  $CeO_2$  沉淀,不易进入矿物晶格。这与菱锰矿形成过程中大量的藻

表2 鹤庆锰矿稀土元素含量一览表.  $w_B/10^{-6}$

Table 2 REE data for Heqin manganese mine (in  $[ \times 10^{-6} ]$ )

序号	岩性	采样地点	稀 土 分 量															$\Sigma REE$
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	
1	玄武岩	猴子坡	21.73	48.65	6.08	26.49	5.08	1.68	5.07	0.82	4.02	0.76	1.94	0.30	1.54	0.22	18.05	142.43
2	玄武岩	武君山	23.52	53.51	6.47	28.98	6.55	2.82	5.39	0.80	4.39	0.80	2.83	0.29	1.62	0.23	19.69	157.89
3	玄武岩	武君山	22.09	52.51	6.31	29.88	6.29	2.88	5.32	0.81	4.30	0.78	1.96	0.29	1.55	0.22	19.24	154.43
4	菱锰矿	猴子坡	6.72	13.02	1.37	6.96	1.57	0.35	1.31	0.25	1.10	0.23	0.61	0.11	0.56	0.08	3.94	38.18
5	菱锰矿	小天井	5.81	3.44	0.37	3.08	0.68	0.18	0.98	0.14	1.18	0.24	0.73	0.09	0.61	0.10	9.09	26.72
6	菱锰矿	小天井	9.36	11.78	2.65	11.45	2.41	0.56	2.43	0.37	2.13	0.40	0.99	0.14	0.78	0.11	12.39	57.95
7	氧化锰	武君山	6.03	5.40	1.43	5.98	1.26	0.28	1.23	0.19	1.21	0.24	0.64	0.08	0.53	0.07	7.63	32.20
8	硅质岩	小天井	3.56	3.08	0.94	3.92	0.85	0.17	0.78	0.12	0.78	0.15	0.42	0.05	0.38	0.05	4.39	19.64
9	泥 岩	小天井	44.31	84.31	9.51	41.30	8.09	1.53	7.19	1.19	6.78	1.33	3.69	0.58	3.42	0.51	34.73	248.47

类活动所需要的好氧环境相符合,揭示了至少有一个火山喷发活动后的氧化环境时期,为生物成矿作用的佐证。(4) 本区诺利期玄武岩稀土曲线为右倾型。 $\Sigma REE=151.58$ (平均值),  $La/Yb=14.297$ ,  $Sm/Nd=0.21$ (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,三件玄武岩样品在  $La/Yb-\Sigma REE$  图上(图5)全部落入大陆拉斑玄武岩区,而菱锰矿体则落入同水平高度的沉积岩区。不能期望鹤庆锰矿盆地具有由洋拉斑玄武岩所代表的拗拉谷

性质和规模,同时也说明菱锰矿与玄武岩浆活动关系密切。

### 3 鹤庆锰矿盆地生成的区域构造背景

#### 3.1 叠加异向盆地

鹤庆锰矿盆地位于扬子地块西缘三叠纪盐源-丽江盆地中的丽江凹陷带内<sup>[3]</sup>。该带受挟持于晋宁

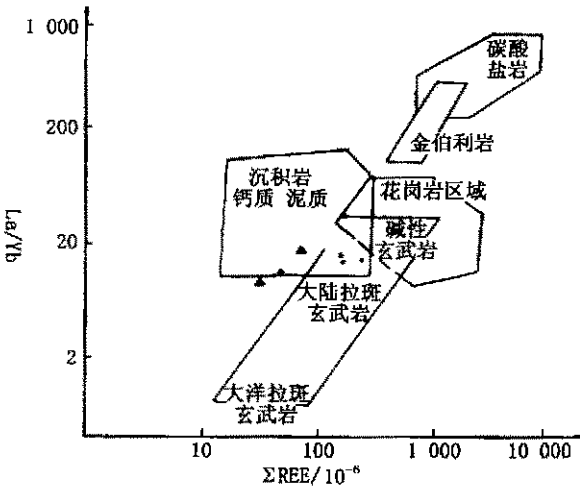


图 5 地球岩石的 La/Yb-REE 含量图解(据 Jochen 方案)

· 本区玄武岩; ▲ 本区菱锰矿

Fig. 5 Diagram of La/Yb-REE of earth rocks

· basalt in Heqin manganese mine; ▲ manganese spar in Heqin manganese mine

期及早古生代就已形成,经历了多次力学性质转化的玉龙雪山西坡深大断裂、哀牢山深大断裂、程海深大断裂之间,平面上呈一长轴南北向的菱形。从早三叠世至晚三叠世晚期,该凹陷带基本上保持了继承性的负向凹陷,沉积海相地层厚度大于 3 000 m。

据 1:20 万区测资料作出三叠纪各阶段沉积等厚图,可知丽江三叠纪凹陷内经历了两次大规模的

海侵。第一次发生在早、中三叠世(图 6A,B),凹陷呈南北向展布,沉积物的厚度保持由南往北递增的特点。拉丁期由于相邻的宁蒗-永胜隆起带强烈的上升作用,使凹陷带范围明显由哈巴雪山往南至丽江迁移(图 6C)。海岸线大幅度的推进造成鹤庆以南地区大幅度的上升,停止沉积,并遭受不同程度的剥蚀。随之而来的第二次海侵始于卡尼期。海岸线向南迁移,而沉降中心向北偏移到玉龙雪山以北地区(图 6D)。在鹤庆至洱源一带,沉积等厚线发生近东西向的圈闭,可能揭示一些发生在南北向沉降带上局部的叠加小凹陷。诺利期(图 6E)丽江凹陷的南北向沉降中心往东迁到永胜,沉积厚度逾 1 000 m,而在鹤庆地区,近东西叠加小凹陷发生剧烈的拉张下陷最终发生成鹤庆含锰盆地。

### 3.2 走滑拉张盆地

从以上分析也可知丽江凹陷内第二次海侵比第一次规模更大,且盆地内部的分化也比第一次海侵时期更明显。丽江凹陷的两次海侵皆受玉龙雪山西坡深大断裂和程海深大断裂扩张作用的控制,而后者又受西侧松潘-甘孜地槽区活动的制约。与第二次海侵规模增大一致,两深大断裂带东侧罗家大山组(卡尼-诺利早期)下段出现一套以安山玄武凝灰岩为主,兼有火山角砾凝灰岩和火山碎屑岩岩石组合,玉龙雪山西坡大断裂的分支断裂汝南哨古同生断裂(鹤庆锰矿盆地北缘边界)也产出有大量诺利期玄武岩。

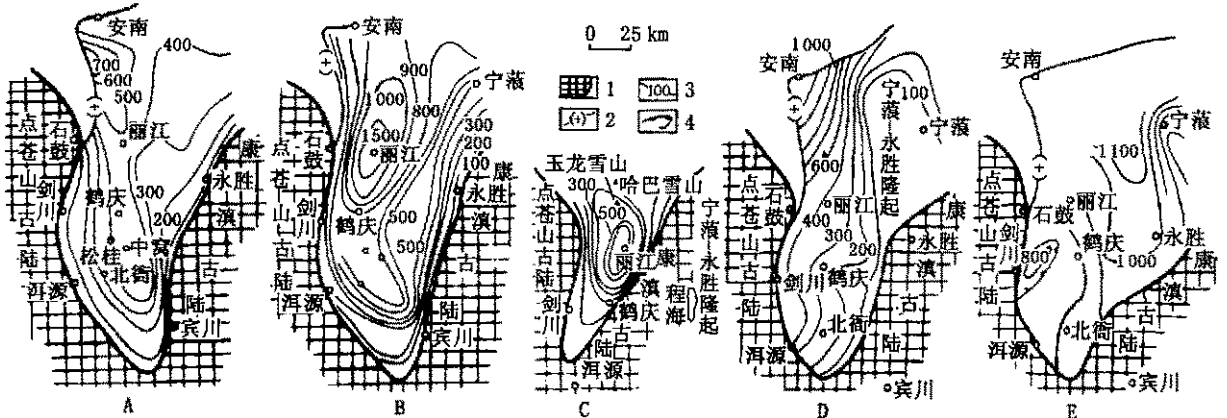


图 6 丽江凹陷三叠纪奥伦-诺利阶沉积等厚图(据去南省地质志修改)

1. 古陆及其边界; 2. 沉积盆地边界; 3. 沉积等厚线; 4. 叠加异向走滑拉张盆地; A. 奥伦阶沉积等厚图; B. 安尼阶沉积等厚图; C. 拉丁阶沉积等厚图; D. 卡尼阶沉积等厚图; E. 诺利阶沉积等厚图

Fig. 6 Sedimentary isopach of Triassic in Lijiang Sunkland

1. palaeo-continent; 2. boundary of sedimentary basin; 3. isopachyte; 4. Heqin strike-slip tensional basin; A. sedimentary isopach of Orionian stage; B. sedimentary isopach of Anshian stage; C. sedimentary isopach of Latinian stage; D. sedimentary isopach of Camian stage; E. sedimentary isopach of Norion stage

卡尼期,本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-甘孜槽区强烈拗陷的影响下,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。与鹤庆锰矿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

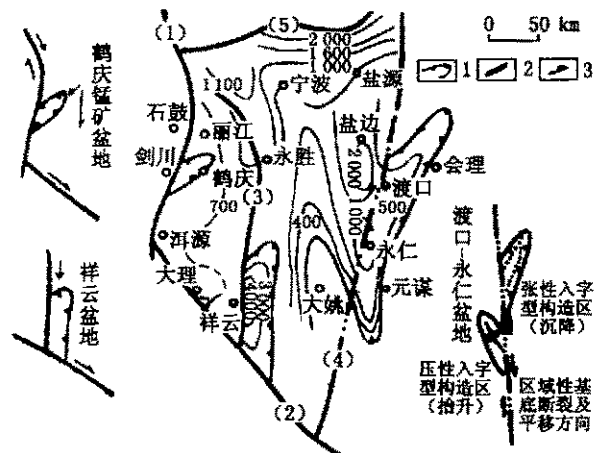


图7 鹤庆、渡口地区晚三叠世安尼-诺利中期沉积盆地、沉积等厚图及构造控制因素示意图

1. 走滑拉张盆地; 2. 基底隐伏深断裂; 3. 剪切运动方向; (1). 玉龙雪山西坡深大断裂; (2). 哀牢山深大断裂; (3). 程海断裂; (4). 渡口-永仁基底隐伏断裂; (5). 小金河深断裂

Fig. 7 Sketch of strike-slip basin, isopach and tectonic control factors of Late Triassic in Heqin, Xiangyun and Dukou areas

1. strike-slip tensional basin; 2. basement rift; 3. shear movement orientation; (1). Yulongxishan Deep Fault; (2). ailaoshan Deep Fault; (3). Chenghai Fault; (4). Dukou-Yongren basement rift; (5). Xiaojinhe Fault

拉张盆地(图7)。晚三叠世诺利早-中期,西侧槽区拗陷达到最剧烈阶段,西缘断裂带走滑分量也达到最大值。由此导致鹤庆锰矿盆地发生剧烈拉张下陷而最终形成,按照应力椭圆规则,盆地的走向应为北东东-南西西向,与已恢复了的鹤庆盆地岩相带延伸方向北西西-南东东有一个锐角偏差,这可用走滑拉张盆地古水流常与盆地边缘斜交的特征来解释。不过,也应看到,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-诺利中期阶段按此种力学方式形成的盆地远不止一个。在程海断裂东侧生成的祥云盆地和受渡口-永仁基底隐伏断裂控制生成的渡口-永仁盆地均为一些典型的例子。大致在诺利中期

以后,松潘-甘孜槽区开始褶皱,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,这也导致了鹤庆锰矿盆地在经历了卡尼末期-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(鹤庆锰矿盆地只有大陆拉斑玄武岩)而中道夭折。

## 4 鹤庆锰矿盆地成矿控制因素初步分析

### 4.1 构造控制

叠加异向走滑拉张盆地给成矿带来两条有利的控制:①形成负向叠加的洼地,有利于摆脱区域上滨海或潮坪高能环境而聚集矿质;②两个洼地的叠加意味着两组应力场的叠加,利于使盆地负向下陷基底(此处为易于发生裂隙的 $T_2b$ 、 $T_3x$ 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。

然而,深大断裂起着最主导的成矿控制作用。叠加走滑拉张盆地的发生、规模以及热源条件的产生无不与深大断裂的运动方式及强度有关。

### 4.2 矿胚层控制

在西缘台褶带,于卡尼-诺利期发育的较大型走滑拉张盆地有祥云盆地、渡口-永仁盆地及鹤庆锰矿盆地。其中只有鹤庆锰矿盆地含锰,这预示了除深大断裂之外,还有某种独立的因素在起作用。渡口-永仁盆地受基底隐伏断裂右行走滑控制生成,盆地发育一套厚约2000m的陆相沉积,地层为卡尼期的丙南组和大弄地组。祥云盆地受程海断裂拉张控制生成,盆地宽不过20km~30km,厚度则有4000m~5000m,为一套安山玄武质凝灰岩和火山角砾凝灰岩,以及由砂页岩韵律互层指示的浊流沉积。地层为卡尼期的罗家大山组和云南驿组。渡口-永仁盆地为非海相沉积,且不具备热源条件,其不含锰容易得到说明,而祥云盆地具有热源条件又为海相也不成锰,说明玄武岩浆热源只是成锰的必要条件。据目前资料,作为鹤庆锰矿盆地基底的中三叠统北衙组上段有一含锰量很高的层位,局部含锰量可达5%~10%。祥云盆地及渡口-永仁盆地为发育于康滇古陆上的新长生盆地,缺失盆地基底矿胚层,即使有玄武岩浆热源条件也不会成锰。而鹤庆锰矿盆地发育于连续负向凹陷的丽江凹陷之中,盆地基底中有锰胚

层的存在,再配合玄武岩浆热源及其它构造控制条件而致生成锰矿。

## 5 鹤庆式锰矿的区域扩矿方向

综上所述,可以认为,鹤庆式锰矿为发生于深大

断裂旁侧,与卡尼-诺利期玄武岩浆热源及盆地基底矿胚层有关的叠加走滑拉张盆地中的层控矿床。

在扬子地台西缘,卡尼-诺利期无疑是一重要的成锰期。找矿方向应首先放在深大断裂带旁侧部位。目前应重视洱源-剑川一带,因其处于玉龙雪山西坡深大断裂向西凸出的弧形带内。

## 参考文献

- 1 Bluck B T. Evolution of a Strike-Slip Fault-Controlled Basin, Upper Old Red SandStone [C]. In: Spec Pule Int. Ass. Sediment. 1980. 63~78.
- 2 Jochen Hoefe. Isotopes and Mineral Genesis. In: Barnes, L (Ed). *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits* [C]. 1976, 176~500.
- 3 陈智梁等. 扬子地块西缘地质构造演化[M]. 重庆:重庆出版社, 1987. 32~207.

# ANALYSIS OF ORE-CONTROLLING FACTORS OF HEQIN MANGANESE DEPOSIT

YU Su-jun YANG Li-zhong LIU Dan

(College of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

**Abstract** Heqin maganese deposit which was formed in an intensely decending platform trough environment during Norian of late Triassic, was closely related to the pull-apart basin induced by dextral strike slip of N-S trending deep fault zones in the western margin of Yangtz platform. The analysis of rare-earth elements and isotopes of C and O revealed that the mineralization experienced such processes as the extraction of manganese from the source bed in the basement by means of basaltic lava activity, the biological absorption of manganese and the migration of thermal solution into the basin. As result, the activity of basaltic magma, the regional deep faults and the source bed were considered to be the major factors controlling the manganese mineralization in the western margin of Yangtz platform during Carian-Norian of late Triassic.

**Key words** strike-slip induced pull apart basin; ore-controlling factor; deep fault; source bed