

文章编号: 1008-0244(2001)02-0041-05

# 川滇地区密西西比河谷型铅锌矿床 成矿地质背景及成因探讨

王奖臻<sup>1,2)</sup> 李朝阳<sup>1)</sup> 李泽琴<sup>1,2)</sup> 刘家军<sup>1)</sup>

1) (中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳, 550002)

2) (成都理工学院, 成都, 610059)

**摘要** 川滇地区密西西比河谷型铅锌矿床具有明显的层控性和岩控性, 大多数矿床都赋存于灯影组白云岩中。矿床的形成温度比较低, 主成矿阶段的温度为 140~200℃, 而且各矿床的形成温度十分接近。矿床发育大规模的白云石化。本区的地质演化经历了双层基底、连续盖层, 以及前陆盆地—造山带耦合几个主要演化阶段。这些阶段分别为矿床的形成提供了物质基础、流动通道以及流体驱动力, 从而在燕山期—喜山期由于成矿流体的大规模流动, 形成了川滇地区大面积分布的密西西比河谷型铅锌矿床。

**中图分类号:** P618.4201; P618.4301

**文献标识码:** A

**关键词** 密西西比河谷型铅锌矿床、成矿作用、成矿模式、川滇交界地区

密西西比河谷型(以下简称 MVT)铅锌矿床是我国铅锌矿床的重要类型之一, 它们集中分布于川滇(黔)交界一带, 在北起四川汉源, 向南经会东, 到云南禄劝; 西起四川会理天宝山, 向东经云南巧家, 到贵州威宁。在这一狭长地带中, 分布着大、中型矿床十余处, 小型矿床百余处(图 1)。以往对这些矿床的研究多侧重于单个矿床, 而较少开展区域性成矿控制因素的研究。本文在分析川滇地区地质发展历史的基础上, 通过对 MVT 铅锌矿床的总体特征及成矿地质条件的分析, 提出了新的成矿模式。

晚太古代。康定群构成了本区的结晶基底。

## 1 川滇交界地区地质演化历史

川滇 MVT 铅锌矿床分布区主要经历了以下几个地质发展阶段:

### 1.1 双层基底形成阶段(晚太古宙—中元古代)

本区出露的最老地层为太古宙康定群, 它呈南北向断续分布于泸定、冕宁、攀枝花、永仁及元谋一线。岩性主要为斜长片麻岩、斜长角闪岩、黑云变粒岩及混合片麻岩, 局部出现麻粒岩。康定群的 Rb—Sr 等时线年龄为 2400~2950 Ma<sup>[1]</sup>, 属

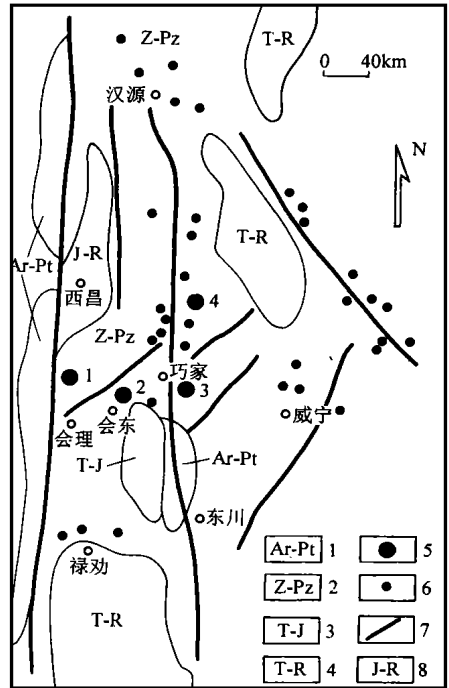


图 1 川滇(黔)MVT 铅锌矿床分布略图(据 [4])

Fig. 1. Sketch map of MVT Pb-Zn deposits of Sichuan and Yunnan provinces.

- 1. 太古宙—元古宙; 2. 震旦系—古生界; 3. 三叠系—侏罗系; 4. 三叠系—第三系; 5. 主要大中型矿床及编号(1. 天宝山; 2. 大梁子; 3. 麒麟厂; 4. 金沙厂); 6. 主要小型矿床; 7. 主要断裂; 8. 侏罗系—第三系。

收稿日期: 2000-08-23; 修回日期: 2000-12-18

基金项目: ZK951-B1-411 项目和 KZCX2-101 项目

第一作者简介 王奖臻 (1959—)男 博士 副教授 从事矿床学研究及教学工作

中元古代(1700~850 Ma)时大致以康定群为轴,在其东、西两侧各形成了一条南北向活动带。西带发育了一套以海相火山岩为主的优地槽组合,称盐边群;东带则发育了一套以沉积岩为主的冒地槽组合,称会理群。这两套地层经晋宁运动发生变质变形,形成了中—低级变质岩。这些地层构成了本区的褶皱基底。

上述结晶基底和褶皱基底共同构成了本区的双层基底。在双层基底特别是褶皱基底形成过程中,曾发生多期岩浆喷发,从地壳深处带来了大量铅锌等成矿物质,形成了多层铅锌含量很高的层位(表1),从而为盖层沉积时铅锌在一定层位的初步富集提供了物质基础。

表1 川滇地区各时代地层铅锌丰度值

Table 1. Lead and zinc contents of the strata in Sichuan and Yunnan provinces

地层	岩性	丰度值( $\times 10^{-6}$ )		克拉克值( $\times 10^{-6}$ )	
		Zn	Pb	Zn	Pb
第三系	砂岩、泥岩	12	40	110	20
白垩系	砂岩、泥岩	54	33	110	20
侏罗系	砂岩、泥岩	87	54	110	20
三叠系	含煤砂泥岩	16	47	110	20
上二叠统	玄武岩	135	35	100	4
二叠系	碳酸盐岩	72	19	20	5
泥盆系	碳酸盐岩、砂泥岩	50	21	65	15
志留系	砂泥岩、碳酸盐岩	97	28	65	15
奥陶系	砂页岩、碳酸盐岩	77	40	65	15
寒武系	砂页岩、碳酸盐岩	106	68	65	15
上震旦统	白云岩	100	44	20	5
	砂泥岩、灰岩	70	84	65	15
下震旦统	火山岩、火山碎屑岩	106	68	69	10
会理群	中酸性火山岩	48	112	60	10
	千枚岩、板岩	200	100	60	15

注:根据四川地矿局资料整理;克拉克值引自 J. M. Maynard (1983)。

## 1.2 不连续盖层形成阶段(早震旦世)

晋宁运动以后本区虽然进入了被动大陆边缘演化阶段<sup>[2]</sup>,但是由于地壳活动的继承性以及基底起伏较大,因此盆地内的下震旦统地层很不稳定,表现为纵向上厚度变化大;横向上岩性岩相变化大,且连续性差。例如,早震旦世时在川西的冕宁、苏雄一带发育了一套火山—沉积岩(苏雄组、开建桥组、列古六组);滇东的萝茨、澄江一带则形成了山麓冲积相沉积(澄江组);而在滇中古陆<sup>[3]</sup>则没有接受沉积。因此当时整个盆地尚未形成连续完整的沉积盖层。

## 1.3 连续盖层形成阶段(晚震旦世—晚古生代)

晚震旦世早期(陡山沱期)由于古上扬子海的海侵加之地形的夷平,本区除西昌一隅(滇中古陆)为剥蚀区外,其他地区全部被海水淹没,因而形成了连续的海相石英砂岩和长石砂岩沉积—陡山沱组。晚震旦世晚期海水进一步侵袭,本区出现了一个广阔的浅海台地<sup>[3]</sup>。形成了一套以碳酸盐岩为主,夹有蒸发岩薄层的浅海台地相沉积,

即灯影组。

陡山沱组和灯影组是本区连续性最好、分布最广的沉积盖层,其中有透水性良好的砂岩、白云岩,从而为 MVT 铅锌矿床形成时成矿流体的长距离大规模运移创造了必要条件。

从寒武纪到早二叠世,本区大部分地区接受了一套海相碳酸盐岩—碎屑沉积。但是由于滇中古陆有所扩大,本区汉源至元谋一线缺失上奥陶统一石炭系沉积。

## 1.4 陆内裂谷阶段(晚二叠世—三叠纪)

早二叠世末,由于深部地幔物质上涌及浅部的地壳拉张,本区进入了大陆裂谷发展阶段<sup>[1]</sup>。晚二叠世形成了峨眉山玄武岩;三叠纪时在几个不连续的陆内断陷盆地,如米市、江舟和姜驿盆地中形成了一套粗碎屑岩沉积。

## 1.5 前陆盆地—造山带阶段(侏罗纪—第三纪)

晚三叠世末,本区以西,沿金沙江发生俯冲碰撞,掀起了强大的印支运动。由于印支运动的影响,本区的应力状态由拉张转为挤压,盆地性质

由断陷转化为拗陷, 并与四川盆地相沟通, 形成统一的大型前陆盆地。在前陆盆地演化过程中, 一直受到西面造山带发展的影响。首先是早白垩世, 由于班公—怒江缝合带的俯冲碰撞(燕山运动), 西面的甘孜陆块及盐源—丽江断块向攀西—滇中推覆碰撞, 在形成龙门山—锦屏山造山带的同时, 使得前陆盆地的规模逐渐缩小。然后是始新世时, 由于印度板块向欧亚大陆的俯冲碰撞(喜山运动), 在导致龙门山—锦屏山造山带的进一步隆升的同时, 本区受到强大的东西向挤压而结束了前陆盆地演化历史, 并发生褶皱变形。

可见, 在这一阶段本区前陆盆地的发展演化与西面龙门山—锦屏山造山带的构造活动息息相关。更重要的是造山带的隆升崛起, 引起了地下水从造山带一侧向前陆盆地内部的大规模流动, 从而导致了本区密西西比型铅锌矿床的形成。

## 2 川滇地区密西西比型铅锌矿床的共同特征

### 2.1 矿床具有明显的层控性和岩控性

据统计, 川滇地区 MVT 铅锌矿床的赋存层位主要是灯影组, 如汉源唐家及团宝山、会东大梁子、会理天宝山、宁南银厂沟、永善金沙厂等矿床赋存于灯影组, 其次是下石炭统的摆佐组地层会

泽麒麟厂赋存于摆佐组。其他容矿地层有中奥陶统大箐组、中志留统及下二叠统, 但均不占重要地位。容矿岩石主要是白云岩, 其次是灰岩。由此可见矿床的层控性和岩控性是十分明显的。

### 2.2 矿床是由大规模成矿流体的流动形成的

一些证据表明川滇 MVT 铅锌矿床是由大规模成矿流体的流动形成的。

**2.2.1 矿床的形成温度十分接近** 本区几个重要矿床的形成温度见表 2。由表可见, 这些矿床的形成温度多数在 120 ~ 200 °C 之间, 属典型的低温矿床(涂光炽, 1989)。矿床主成矿阶段的形成温度十分接近, 在 140 ~ 190 °C 之间。在从东到西约 200 km 长的距离内, 温度的变化率很小, 为 0.2 °C/km。这说明矿床形成的时候, 成矿流体的规模很大, 因为只有大规模流动的流体才有足够的热容量, 才能使矿床的形成温度如此相近。另一方面, 这些矿床的形成深度很浅, 如大梁子矿床及天宝山矿床均为 1 km 左右, 金沙厂矿床为 1.2 km 左右, 麒麟厂矿床小于 2.6 km。如果按正常地热增温率(30 °C/km)估算, 2.6 km 深处的温度才 78 °C。这一温度远比主成矿阶段的温度低, 矿床形成时又没有岩浆热流的供给。合理的解释是, 成矿的热量是由大规模流动的成矿流体带来的。

表 2 川滇地区主要密西西比型铅锌矿床形成温度

Table 2. The homogenization temperatures of major MVT Pb-Zn deposits in Sichuan and Yunnan

	大梁子		金沙厂		麒麟厂 <sup>1)</sup>		天宝山 <sup>2)</sup>
	闪锌矿	方解石	闪锌矿	萤石	闪锌矿	方解石	闪锌矿
均一温度(°C)	97~140	119~204	126~261	114~235	150~205	140~220	149~212
平均均一温度(°C)	145	143	184	178	190	179	171

注: 1) 据周朝宪(1996); 2) 温度为方铅矿—闪锌矿硫同位素温度计结果。

**2.2.2 矿床发育大规模低温热液蚀变** 成矿带内的矿床普遍发育低温热液蚀变, 并且规模很大, 如大梁子矿床、银厂沟以及金沙厂矿床的白云石化规模都很大, 很可能在空间上是联为一体的。除白云石化外硅化也很发育, 一些矿床还有重晶石化及萤石化。徐新煌等(1992)<sup>[4]</sup>曾报道, 本区的白云石化在整个矿带都有发育。大规模热液蚀变现象的存在说明成矿流体的活动范围很大。

### 2.3 矿床的形成时代新

迄今为止本区 MVT 铅锌矿床仍然没有同位素年龄数据, 这给精确确定矿床的成矿时代造成

了一定困难, 但是根据以下地质现象, 可以推断矿床形成于燕山—喜山期。

首先, 矿带中的重要矿床受北东向或北西向断裂控制, 如大梁子矿床产于两条北东向正断层所夹持的地堑型断块内; 天宝山矿床产于北东向背斜和北西向断裂的交汇部位; 金沙厂矿床则位于北东向巧家—莲峰大断裂旁侧。根据 Lithgow-Bertlioni 和 Richards<sup>[5]</sup>所做的力学分析, 燕山期印度板块向欧亚大陆俯冲碰撞, 对本区所造成的应力效应即为北东—南西向的挤压和北西—南东向的拉张, 在此应力场作用下所形成的构造形迹

主要为上述两个方向。

其次,会泽麒麟厂矿床受北东向褶皱控制<sup>[4]</sup>,而且矿区外围中侏罗统遂宁组地层也卷入了褶皱,因此矿床的形成应晚于中侏罗世(燕山早期)。此外,汉源唐家矿床充填于燕山期形成的北东向断层中,形成之后又被喜山期构造所破坏<sup>[6]</sup>。

根据上述事实推断,本区 MVT 铅锌矿床形成于燕山期—喜山期。

### 3 矿床形成条件分析及成矿模式

前已述及,本区的 MVT 铅锌矿床是因大规模成矿流体活动而形成的。那么,这些流体发生大规模迁移的驱动机制又是什么呢?大量研究表明<sup>[7-12]</sup>,驱动盆地流体迁移的机制主要有 4 种。第一种是压实作用,即当盆地沉积柱逐渐加厚时,由于上覆沉积物的重力而使存在于沉积物空隙中的流体被挤出,并向盆地边缘迁移。这种机制驱动的流体流动的速度为  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  m/a。业已证明,由于流速太慢,这种机制驱动的流体流动难以在成矿所需的时间内搬运大量成矿物质而形成 MVT 铅锌矿床<sup>[7]</sup>;第二种是热对流,即当地质体内部因受热不均而出现温度差以及由此而引起流体密度差时,就会出现流体的对流。由于盆地在垂直方向上的岩性差别很大,透水层和隔水层相间分布,渗透率变化很大,因此使得流体的对流局限性很大,并且流速很慢。因此对流也不是本区密西西比型铅锌矿成矿流体的主要驱动机制<sup>[10]</sup>;第三种是构造驱动,即在汇聚板块边缘或逆冲推覆带由于构造挤压作用而使流体发生定向迁移<sup>[11]</sup>;第四种机制是重力梯度驱动的流体流动<sup>[7-9]</sup>,即在造山带和盆地之间存在巨大的地形高差,以及由此所引起的两者之间潜水面的海拔高度的差别,而造成地下水在重力驱动下从地形高的造山带一侧向地形低的盆地一侧流动。业已证明,重力梯度驱动的流体的流速一般为  $1 \sim 10$  m/a,流动的距离可达数百甚至上千公里<sup>[12]</sup>。因此目前一般认为重力梯度驱动下的流体流动是形成 MVT 铅锌矿的主要机制,同时构造驱动力也

起一定辅助作用<sup>[13]</sup>。

在重力梯度驱动流体流动机制中,一个关键性的问题就是必须要有地形高差。因此只有当造山带隆升形成山脉与盆地之间巨大的地形高差时,才会产生重力梯度驱动下的大规模流体流动。从这个意义上说,龙门山—锦屏山造山带的隆升就成为形成本区 MVT 铅锌矿床的大规模成矿流体流动的的必要条件,因而也是成矿的必要条件之一。这就是为什么成矿作用与龙门山—锦屏山造山作用峰期在时间上具有耦合性的原因。

大规模流体流动不仅要有驱动力,而且需要有渗透性能良好的透水层才能作有效的长距离迁移,这就要求盆地内必须有大面积分布的透水层。由前述可知,扬子地台在晚震旦世形成了一个广阔的碳酸盐岩台地,在川滇交界地区形成了陡山沱组和灯影组。前者以砂岩为主,砂岩是良好的透水层,后者中的白云岩也是较好的透水层。它们为成矿时大规模成矿流体的流动提供了良好的通道。

本区从元古宙到古生代的地层,尤其是灯影组成矿元素的背景值很高(表 1),并且在这些地层中有蒸发岩存在。因此为成矿时地下水向成矿流体的转化提供了大量的成矿元素及矿化剂元素,亦即为成矿奠定了物质基础。

综上所述,可以将川滇地区 MVT 铅锌矿床的形成过程概括为:在双层基底形成时,大量的火山喷发给本区带来了丰富的铅锌等成矿物质,为盆地演化阶段成矿物质的初步富集以及最终成矿准备了物质基础。在晚震旦世时形成了透水性良好、全区分布的沉积盖层,为成矿流体的流动提供了必要条件。燕山—喜山构造运动期间,龙门山—锦屏山迅速隆升崛起,为地下水的大规模流动创造了动力条件。当从造山带一侧(补给区)下渗的地下水在透水层中流动时,不断从地层中汲取矿化剂和成矿元素,并从地热增温中获得热量,最终转化为成矿热液。当成矿热液遇到断层或隔水层尖灭的地方,成矿热液便向上运移,并在合适的成矿空间沉淀成矿。

### 参 考 文 献

[1] 袁海华,康滇地轴结晶基体的时代归属.成都地质学院学报,1986,(4):26~32.

[2] 张云湘,骆耀南,扬崇喜等.攀西裂谷.北京:地质出版社,1988.1~320.

- [ 3 ] 夏文杰、杜森官、徐新煌等, 中国南方震旦纪岩相古地理与成矿作用。北京: 地质出版社, 1994, 1~120.
- [ 4 ] 柳贺昌、林文达, 滇东北铅锌银矿床规律研究。昆明: 云南大学出版社, 1999, 90~98.
- [ 5 ] Lithow-Bertelloni and Richards M. A., Cenozoic plate driving forces. *Geophysical Research Letters* 1995, 22, 1317~1320.
- [ 6 ] 徐新煌、刘文周、王小春, 康滇地轴东缘震旦系层控铅锌矿床地球化学特征及成因。见: 夏文杰主编, 中国南方震旦纪岩相古地理论文集。成都: 成都科技大学出版社, 1992, 128~149.
- [ 7 ] Garven G. Ge S. and Person M. A., Genesis of stratabound ore deposits in the mid continental basins of North America. I. The role of regional ground-water flow. *American Journal of Science*, 1993, 293: 497~568.
- [ 8 ] Garven G., Continental-scale ground-water and geological process. *Annual Review of Earth and Planet Science*, 1995, 23: 89~117.
- [ 9 ] Apppld M. S. and Garven G., The hydrology of ore formation in the Southeast Missouri District: Numerical Models of topography-driven fluid flow during the Ouachita Orogeny. *Economic Geology*, 1999, 94: 913~936.
- [ 10 ] Bjorlukke K., Fluid flow in sedimentary basins. *Sedimentary Geology*, 1993, 86: 137~158.
- [ 11 ] Oliver J., Fluids expelled tectonically from orogenic belts: Their role in hydrocarbon migration and other geological phenomena. *Geology*, 1986, 14: 99~102.
- [ 12 ] Garven G., The role of regional fluid flow in the genesis of the Pine Point deposit, Western Canada Sedimentary basin. *Economic Geology*, 1985, 80: 307~324.
- [ 13 ] Bethke C. M. and Marshak S., Brine migration across North America? the plate tectonics of ground water. *Annual Review of Earth and Planet Science*, 1990, 18: 287~315.

## THE GEOLOGICAL SETTING, CHARACTERS AND ORIGIN OF MISSISSIPPI VALLEY-TYPE Pb-Zn DEPOSITS IN SICHUAN AND YUNNAN PROVINCES

Wang Jiangzhen<sup>1, 2)</sup> Li Chaoyang<sup>1)</sup> Li Zeqin<sup>1, 2)</sup> Liu Jiajun<sup>1)</sup>

1) (Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

2) (Chengdu University of Technology, 610059)

### Abstract

Along the border of Southeast Sichuan and East Yunnan (Fig. 1) there are numerous Mississippi Valley-type Pb-Zn deposits. Some characteristics of the deposits are: (1) the deposits are hosted in Late Proterozoic and Mississippian rocks, especially in dolomite; (2) fluid-inclusion studies of the deposits show that the homogenization temperatures fall predominantly between 140—200 °C; (3) around the deposits the Proterozoic limestone has altered to dolomite. Regional dolomitization covers a large area; (4) there are some aquifers in the region. The most important one for the ore fluids is Late Proterozoic sandstone, named the Doushantuo Formation.

It has been suggested that all the deposits were formed by regional migration of ore-forming brines. Hydrologic modeling of regional brine migration is that when the Longmenshan-Jingpingshan orogenic belt, situated west of the area, uplifted in the Yenshanian and Himalayan movements (Jurassic to Eogene), the gravity drove the ore-forming fluids from the orogenic belt to the locus of mineralization and resulted in the formation of the deposits.

**Key words:** Mississippi Valley-type Pb-Zn deposit; deposit model; Sichuan and Yunnan provinces