

文章编号:0258-7106 (2005) 02-0122-12

四川汉源黑区-雪区层状铅锌矿床 典型矿石组构与成因^{*}

林方成

(成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059; 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘 要 作者通过对黑区-雪区矿床深入的野外考察、典型矿石组构的显微鉴定、矿石化学成分测试研究后认为,与区域内广泛分布的 MVT 型矿床相对比,黑区-雪区矿床存在诸多明显不同的特征,主要为: 铅锌矿化与灯影组巨厚的白云岩顶部所夹的富含有机质的黑色微晶硅质岩及同生角砾岩层密切相关; 矿体呈层状与容矿围岩整合接触,延伸规模巨大,地表露头断续长 6 km 以上; 矿石内发育层状、纹层状、条纹-条带状、同沉积角砾状、同沉积滑动变形等沉积构造; 闪锌矿、黄铁矿等金属硫化物以及含矿硅质岩的粒度微细,80 % 的粒径介于 0.001 ~ 0.5 mm 之间; 围岩蚀变微弱或不发育; 含矿层状微晶硅质岩的形成温度低(80 ~ 86)。作者认为,黑区-雪区层状整合铅锌矿床属于典型的海底热水沉积成因(SEDEX 型),是川滇黔铅锌矿集区内新发现的具有重要找矿前景的矿床类型。热水喷流-沉积成矿作用与灯影晚期在碳酸盐台地内发育的近东西向汉源-峨眉次级凹陷以及位于该凹陷中心的同生断裂带的活动有内在联系。

关键词 地质学;典型组构;热水沉积;铅锌矿床;SEDEX 型;层状;超大型;汉源

中图分类号: P618.42;P618.43

文献标识码: A

位于扬子地台西缘的川滇黔相邻地区,是中国著名的铅锌矿分布区,铅锌矿床赋存于地台盖层的上震旦统、下寒武统、中-上奥陶统、中志留统、中-上泥盆统、上石炭统、中二叠统等众多层位的碳酸盐岩中。有关矿床存在一些共同的基本特征,例如:矿石的矿物组分较简单,金属硫化物以闪锌矿、方铅矿、黄铁矿为主,脉石矿物以白云石、石英最常见,部分矿床发育萤石、重晶石、方解石;围岩蚀变普遍很发育,以白云石化、硅化、黄铁矿化最常见,部分矿床见有萤石化、重晶石化;不论是金属矿物还是脉石矿物,其结晶粒度往往较粗大,主要为中-粗粒结构;金属硫化物和热液粗粒亮晶白云石、石英等脉石矿物充填于不同形态、产状的断裂构造带中,并胶结围岩的破碎角砾岩,构成脉状、网脉状、角砾状、浸染状、块状等矿石构造,后成因特征明显;矿化发生于赋矿岩石固化以后;成矿温度一般介于 90 ~ 240 之间,属于低温热液矿床。根据矿床的基本特征,有关矿床可以划归密西西比河谷型(MVT 型)矿床的

范畴(杨应选等,1994;王奖臻等,2001;林方成,2004)。

自 20 世纪下半叶,特别是 80 年代以来,众多学者对川滇黔相邻地区的铅锌矿进行了广泛的研究,提出了沉积-改造成因(孙燕等,1995;朱赖民等,1997;李连举等,1999);热液喀斯特成因(张立生,1997);容矿地层与深部岩石提供矿质的混成成因(林方成,1994;邵世才等,1996);下震旦统火成岩提供成矿金属(Zhou et al.,2001);峨眉山玄武岩提供成矿物质或成矿热动力(沈苏等,1988;曾忻耕,1990;李文博等,2004;黄智龙等,2004);燕山运动引起地下热卤水的运移并导致黔西北地区、滇东北地区矿床的形成(郑传仑,1994;赵准,1995;钱建平,2001);喜马拉雅期受到印度板块与古亚洲板块俯冲碰撞的强烈波及,川西南地区地台盖层发生全面的褶皱变形,并驱使大规模含矿热卤水的迁移和铅锌矿形成(林方成,2004)等成因观点。

20 世纪 90 年代初期,四川省地质矿产局 207 地

^{*} 本文得到国家 973 项目(2002CD412609)资助

作者简介 林方成,男,1963 年生,博士,副研究员,从事矿床地质研究及西南地区地质调查项目管理。Email: linfch@126.com。

收稿日期 2004-08-09; 改回日期 2005-01-13。许德焕编辑。

质队和汉源有色金属总公司等单位,在汉源乌斯河火车站北约 3 km 处的大渡河谷北岸,发现了黑区-雪区整合层状铅锌矿床。经过普查和 10 余年的开采,矿床的规模不断扩大,已达超大型。笔者经深入的野外观测、岩矿显微鉴定以及矿石化学成分的测试研究后认为,该矿床的地质、地球化学特征与区域内以往发现的众多 MVT 型铅锌矿床存在着显著的差异,属于海底热水沉积成因(SEDEx 型),是川滇黔铅锌矿集区内新发现的具有重大找矿前景的矿床类型。

1 区域地质背景

黑区-雪区铅锌矿床位于扬子地台西缘康滇地轴北段汉源-峨边东西向基底隆起区内。区内地质构造具有典型的地台双层结构(表 1),其中,褶皱变

质基底为中元古界峨边群。盖层地层为未受变质的沉积岩,与基底地层呈角度不整合接触,自下而上包括下震旦统、上震旦统、古生界(缺失中-上志留统、泥盆系、石炭系),不同地层之间呈整合或平行不整合接触;中生界在矿区附近未产出;第四系分布于河谷低地。在乌斯河一带有晋宁期花岗岩出露。盖层地层发育燕山期及喜马拉雅期形成的东西向、南北向、北东向、北西向等开阔短轴褶皱及断裂构造。黑区-雪区铅锌矿床位于南北向王帽山断裂东侧的万室村向斜南段。

2 含矿地层岩性

黑区-雪区铅锌矿床产于上震旦统一下寒武统灯影组上部的麦地坪段。灯影组地层在区域上的厚度约 900 ~ 1100 m,其下部在矿区内未全出露。灯

表 1 黑区-雪区铅锌矿区域地层简表
Table 1 Regional strata of the Heiqu Xuequ Pb-Zn deposit

构造层	地 层		岩 性 及 接 触 关 系	厚 度 / m
沉 积 盖 层	第 四 系		残积、坡积、冲积物 ~~~~~ 角度不整合接触 ~~~~~	0 ~ 50
	二 叠 系		粘土岩、砂岩、碳酸盐岩、峨眉山玄武岩	557 ~ 749
	下志留统		黑色页岩 ----- 平行不整合接触 -----	0 ~ 122
	奥 陶 系		海相碎屑岩、碳酸盐岩 ----- 平行不整合接触 -----	345 ~ 574
	寒 武 系		滨浅海相碎屑岩、碳酸盐岩 ----- 平行不整合接触 -----	492 ~ 512
	下寒武统	灯影组	白云岩,顶部(麦地坪段)含磷和硅质白云岩为铅锌矿含矿层位	900 ~ 1100
	上震旦统	观音崖组	滨浅海相砂页岩、灰岩、白云岩	50 ~ 160
褶皱变质基底	下震旦统		火山岩、火山碎屑岩、正常碎屑岩,主要分布于矿区西南甘洛苏雄一带 ~~~~~ 角度不整合接触 ~~~~~	< 5000
	中 元 古 界 峨 边 群		千枚岩、板岩、变质砂岩、大理岩、玄武岩、火山碎屑岩,局部有晋宁期花岗岩侵入	> 4000

据陈智梁等,1987;王汝植等,1988;●等资料编制。

● 四川省地质矿产局 207 地质队. 1993. 四川省汉源县马托乡黑区铅锌矿普查地质报告. (内部资料).

影组自下而上可划分为 3 个岩性段:第一岩性段,为厚层含藻微晶白云岩、葡萄状白云岩,局部含燧石条带或团块;第二岩性段,为含硅质条带白云岩,底部为厚 10~30 m 的紫红色砂页岩,即“旧城页岩”,为区域对比层;第三岩性段(麦地坪段),厚 37~67 m,为含胶磷矿和硅质条带白云岩,并含软舌螺等小壳动物化石,其时代属于早寒武世(陈智梁等,1987;王汝植等,1988)。麦地坪段白云岩所夹的黑色硅质岩和角砾状白云岩层为铅锌矿的含矿围岩。

灯影组与下伏地层上震旦统观音崖组滨浅海相碎屑岩、碳酸盐岩呈整合接触,与上覆地层下寒武统筇竹寺组滨浅海相含海绿石砂页岩呈平行不整合接

触。矿区地层产状平缓,倾角仅 4~18°。

3 矿体产状、规模及矿石品位

矿体呈整合层状产于灯影组麦地坪段上部,延伸规模巨大,从黑区向东北方向延伸至雪区,地表露头断续长达 6 km 以上,矿体西界被王帽山逆断层错失,而东界尚未圈闭(图 1)。按工业品位要求($Zn \geq 1.0\%$ 或 $Pb \geq 0.5\%$),圈出矿体两层,上层为主矿体,顶部距麦地坪段与筇竹寺组的界线 1.47~11.76 m,矿体厚度 0.50~4.86 m,平均厚度 1.81 m;下层矿体呈透镜状,较不稳定,仅分布于矿区西南部的三

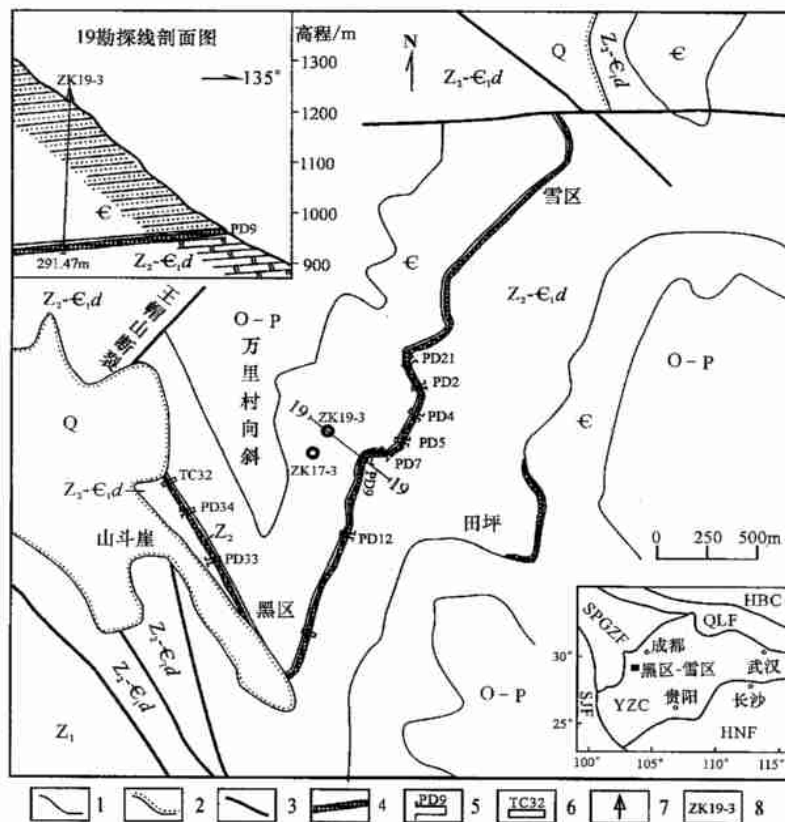


图 1 黑区-雪区铅锌矿床地质简图^①

1—地质界线;2—不整合界线;3—断层;4—铅锌矿(化)层露头;5—坑道口位置及编号;6—探槽及编号;7—钻孔;8—钻孔编号; Z_1 —下震旦统苏雄组陆相火山岩、碎屑岩; Z_2-E_1d —上震旦统-下寒武统灯影组白云岩; E —寒武系碎屑岩、碳酸盐岩; $O-P$ —奥陶系-二叠系碎屑岩、碳酸盐岩; Q —第四系; YZC —扬子地台; HBC —华北地台; QLF —秦岭褶皱系; $SPGZF$ —松潘-甘孜褶皱系; SJF —三江褶皱系; HNF —华南褶皱系

Fig. 1 Geological sketch map of the Heiqu-Xuequ Pb-Zn deposit

1—Geological boundary; 2—Unconformity; 3—Fault; 4—Outcrop of Pb-Zn bed; 5—Outlet of gallery and its serial number; 6—Trench and its serial number; 7—Borehole; 8—Serial number of borehole; Z_1 —Continental volcanic and clastic rocks of Lower Sinian Suxiong Formation; Z_2-E_1d —Carbonate rocks of Upper Sinian-Lower Cambrian Dengying Formation; E —Cambrian clastic and carbonate rocks; $O-P$ —Ordovician-Permian clastic and carbonate rocks; Q —Quaternary; YZC —Yangtze craton; HBC —North China craton; QLF —Qinling folded belt; $SPGZF$ —Songpan-Ganzi folded belt; SJF —Sanjiang folded belt; HNF —South China folded belt

① 四川省地质矿产局 207 地质队. 1993. 四川省汉源县马托乡黑区铅锌矿普查地质报告. (内部资料).

斗岩矿段,工程控制厚度 1.16 m。达不到工业品位要求的铅锌矿化体 ($Zn < 1.0\%$ 、 $Pb < 0.5\%$) 的厚度可逾 20 m。据四川省地质矿产局 207 地质队 2003 年矿区普查估算,其 333 + 334₁ 级别(现行的固体矿产资源/储量分类,333 为推断的内蕴经济资源量,334₁ 为经工程验证的预测资源量)的铅锌资源量为 370×10^4 t, 达超大型矿床的规模。

4 矿石组分及典型组构

矿石的矿物组合较简单,金属硫化物以闪锌矿为主,其次为黄铁矿、方铅矿。非金属矿物主要为微晶石英,其次为玉髓、白云石,含少量重晶石、胶磷矿、水云母、沥青等。

矿石结构构造有以下突出特征:

(1) 矿物粒度微细,结晶程度较低。根据光薄片的显微镜观测和统计(图 2):闪锌矿的粒度为 0.005 ~ 3.16 mm,其中 82% 为 0.013 ~ 0.63 mm 的他形、半自形微晶(照片 1)(图 2a);黄铁矿的粒度为 0.0063 ~ 1.58 mm,其中 82% 为 0.002 ~ 0.063 mm (图 2b),多数为他形晶、半自形晶;石英的粒度为 0.0013 ~ 2.51 mm,其中 92% 为 0.004 ~ 0.50 mm (图 2c),硅质岩中的石英以微晶石英为主,其次为具波状消光的玉髓(照片 2)。方铅矿的粒度相对较粗,一般为 0.1 ~ 2 mm;白云石一般为 0.001 ~ 0.5 mm 的微晶;重晶石为 0.004 ~ 0.45 mm 的板状、粒状、不规则状微晶;胶磷矿呈 0.04 ~ 0.3 mm 大小的次圆状、不规则状颗粒,零星分布;水云母呈 0.002 ~ 0.03 mm 的鳞片状、纤维状,常分布于同生滑动裂隙中。因此,矿物以显微颗粒占绝对优势,部分矿石用肉眼难以识别其矿物种类。

(2) 闪锌矿的颜色很浅,呈棕黄色、暗红色、褐色等。根据矿物的标型特征,浅色闪锌矿的形成温度较低。

(3) 硅质岩的颜色很深,外表多呈黑色、深灰色(照片 3,4,6)。根据显微鉴定及岩石和矿石的化学分析结果,硅质岩的颜色深浅是由有机质的含量所决定的。例如,灰白色硅质岩的有机碳含量很低(仅 0.10%, $n = 1$);而黑色、深灰色含金属硫化物的硅质岩的有机碳的含量平均达 1.32% ($n = 11$)。

典型的矿石构造有:

(1) 层状、纹层状、条带状构造 矿石中具有很发育的层状和纹层状构造,主要由微晶石英或玉髓与微细粒闪锌矿以不同比例互层构成。微晶硅质岩

层的厚度往往相对较大;而闪锌矿层的厚度相对较小,其单层厚度一般小于 5 mm,最细的闪锌矿纹层厚度不到 10 μ m(照片 3)。部分闪锌矿层含粒度相对较粗的方铅矿,构成条带状构造(照片 4)。局部地

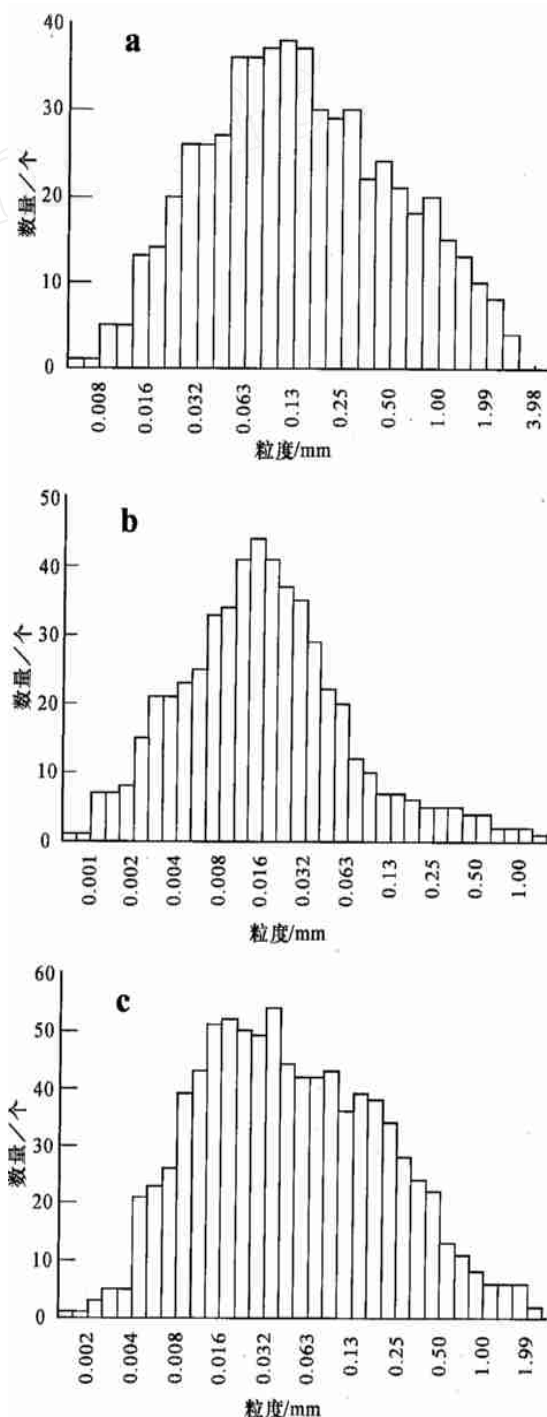


图 2 黑区-雪区铅锌矿床主要矿物组分粒度统计图

a—闪锌矿; b—黄铁矿; c—石英

Fig. 2 Statistics of mineral grain sizes in the Heiqu- Xueque Pb- Zn deposit
a—Sphalerite; b—Pyrite; c—Quartz

段由硅质岩-闪锌矿-方铅矿等构成斜层理构造(照片 5)。

(2) 层间揉皱构造 黑色微晶硅质岩-闪锌矿层局部发育层间揉皱构造,闪锌矿层在揉皱的转折端明显加厚,并有较粗粒的方铅矿分布;而在翼部则被拉长减薄,说明在塑性变形过程中物质组分发生调整位移(照片 6)。

(3) 碎裂构造 铅锌矿层底板的白云岩或硅质岩发生破碎,破碎角砾的大小自数厘米至 20~30 cm,呈长条状、不规则状,具张性角砾特征,棱角显著,角砾的长轴大致顺层分布,相邻角砾往往没有发生明显的错动,相互可以拼接。碎裂岩块的裂隙被含有机质的微晶白云质或硅质物充填,外表呈现网状特征。碎裂岩层的厚度一般为数十厘米,最厚处约 1.5 m,上覆闪锌矿-方铅矿层或硅质岩-闪锌矿层,向下过渡为正常白云岩(照片 7)。

这种碎裂岩可能属于同沉积期地震活动形成的震裂角砾岩(或称为自碎屑角砾岩(autoclastic breccia)),为已固化岩石的原地、准原地破碎堆积产物,破碎后又被碳酸盐等海相沉积物胶结,往往呈面状较大规模分布(Seilacher, 1984; Du et al., 2001; 孙晓猛等, 1995; Greb et al., 2002)。

(4) 滑塌构造 局部地段发育滑塌构造,滑塌堆积物为白云岩角砾、块状闪锌矿角砾、松散的泥质物等。滑塌角砾岩的砾径从几厘米至数十米不等。分布于滑塌角砾岩与白云岩基岩之间滑动面上的块状闪锌矿产生强烈的塑性变形(照片 8, 9)。

(5) 沉积角砾状构造 在铅锌矿层内,发育成分多样的沉积角砾,包括白云岩、硅质岩、闪锌矿石、黄铁矿石以及胶磷矿等的角砾。角砾呈不规则状、椭球状、长条状等,部分角砾呈波状弯曲变形。角砾的大小一般为数毫米至数厘米。角砾间的基质主要为微晶石英、微细粒闪锌矿,或者是石英、闪锌矿、黄铁矿、重晶石、胶磷矿、有机质等复杂成分的混杂物(照片 10, 11, 12, 13)。

(6) 胶状构造 有几种情况的胶状构造:由胶状 SiO_2 与黑色有机质混杂构成(照片 14);胶状闪锌矿呈链环状、不规则状分布于硅质岩中(照片 15);胶状黄铁矿与有机质混杂,局部发生结晶形成有一定几何形状的聚形晶,但仍可见胶状残留边(照片 16);胶状黄铁矿呈不规则的斑团产出。

5 矿石地球化学特征

由 11 件矿石样品的化学成分分析结果(表 2)可

知, Zn 是最主要的金属元素, 其次为 Fe, Pb 除了在 Hx006 号样品中含量较高外, 在其他样品中含量均低; SiO_2 是最主要的非金属组分。诸化学成分的平均含量(元素符号及分子式均代表质量分数, 下同)($n=11$)由高到低的顺序为: $\text{SiO}_2 = 45.83\%$; 硫化物($\text{Zn} + \text{Fe} + \text{Pb} + \text{S}$) = 39.12% ; 碳酸盐($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{CO}_2$) = 7.28% ; 其他氧化物($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{MnO}$) 仅占 3.74% (图 3)。 SiO_2 ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{CO}_2$) = 6.30 1。

甘洛赤普、会东大梁子等地灯影组地层 10 件样品的岩石化学成分分析结果(杨应选等, 1994)为: $\text{CaO} = 25.20\% \sim 30.98\%$, 平均为 29.15% ; $\text{MgO} = 16.65\% \sim 21.14\%$, 平均为 19.49% ; $\text{SiO}_2 = 0.62\% \sim 14.95\%$, 平均为 5.36% 。岩石的钙镁比值(CaO/MgO)介于 $1.40 \sim 1.79$ 之间, 平均为 1.50 , 接近于纯白云石的理论值($\text{CaO} = 30.4\%$, $\text{MgO} = 21.8\%$, $\text{CaO}/\text{MgO} = 1.39$), 表明岩石中 90% 以上是白云石, 方解石含量很少。

虽然黑区-雪区矿床产于厚度巨大的灯影组台地碳酸盐岩中, 但铅锌矿层的物质组分主要为闪锌矿、黄铁矿、方铅矿等硫化物以及硅质岩。硅质岩的含量与碳酸盐岩相比占绝对优势, 因此, 确定硅质岩的成因对于阐明成矿作用具有重要意义。

Bostrom (1983) 指出, 当海相沉积物的 $\text{Fe}/\text{Ti} > 20$ 、 $(\text{Fe} + \text{Mn})/\text{Ti} > 20 \pm 5$ 、 $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn}) < 0.35$

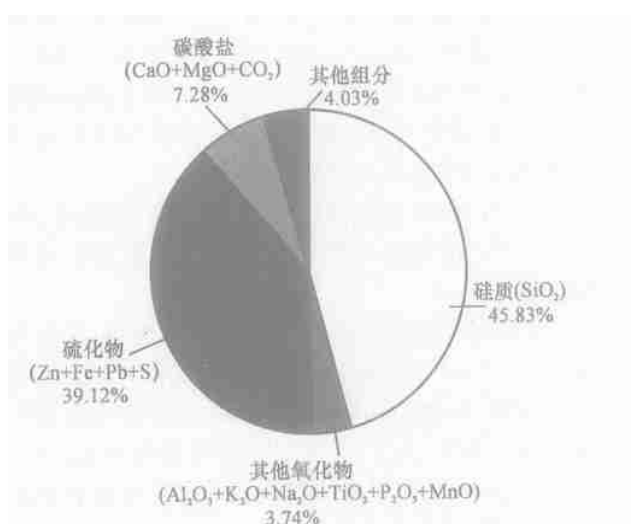
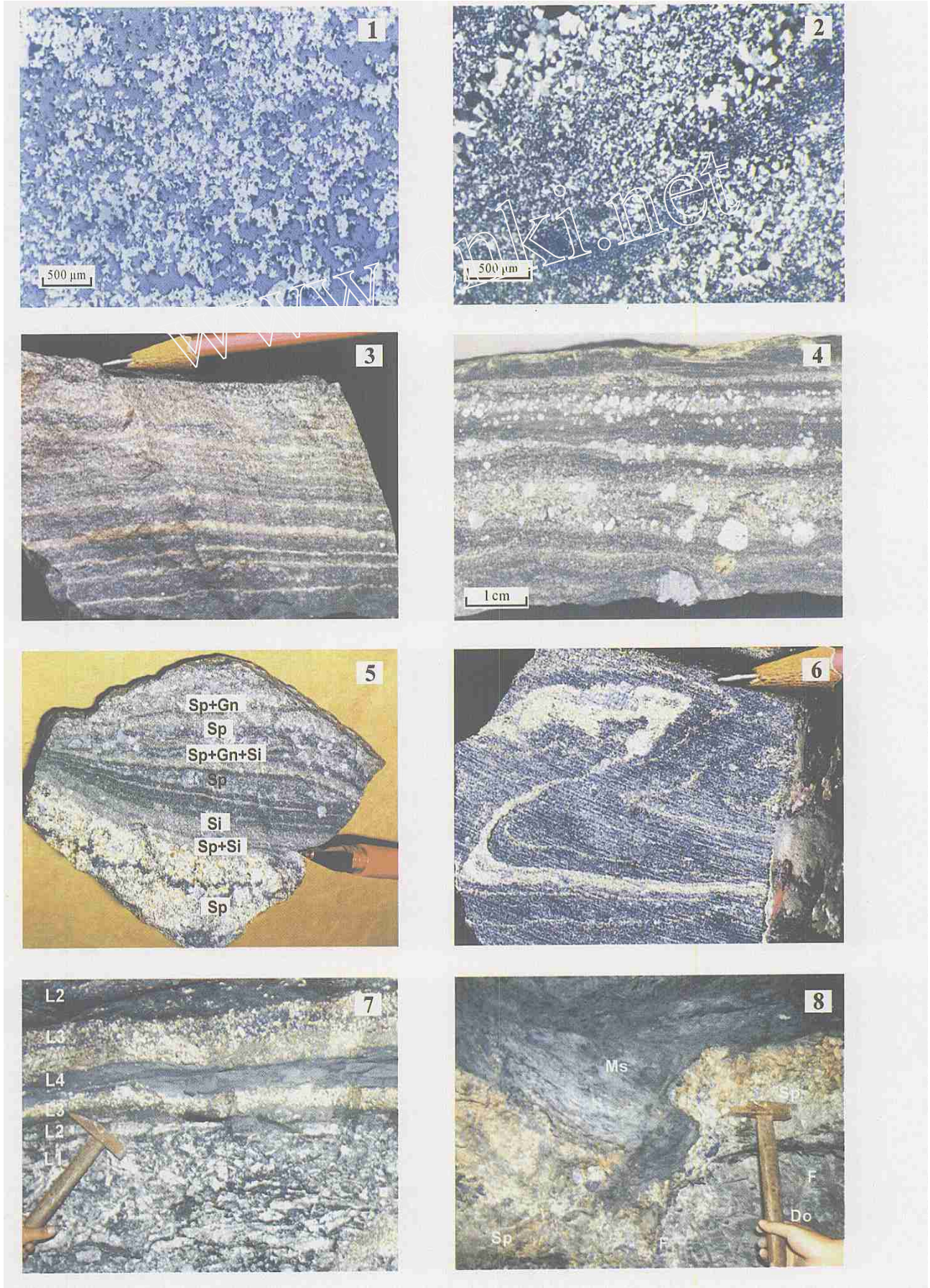
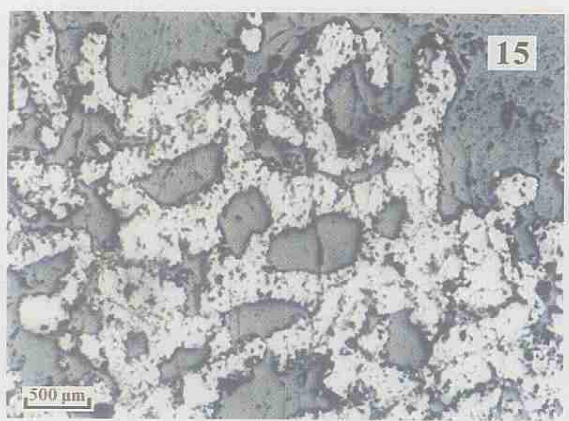
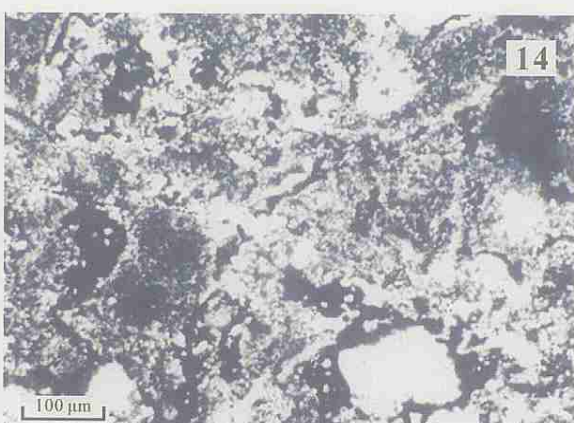
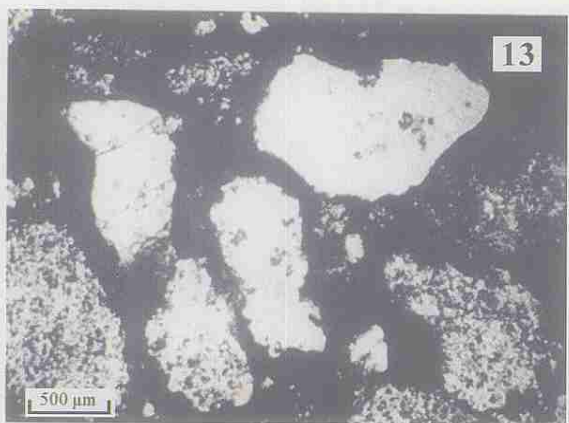
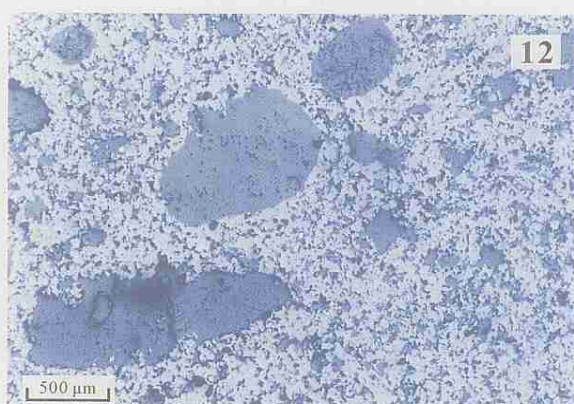
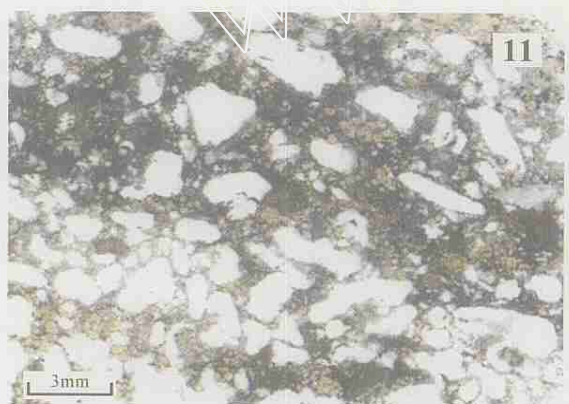


图 3 黑区-雪区铅锌矿床矿石化学成分图解
(11 件样品的平均值)

Fig. 3 Chemical composition of Pb-Zn ores from the Heiqu-Xuequ Pb-Zn deposit (average of 11 samples)





照 片 说 明

1—微细粒他形闪锌矿(浅色者)较均匀地分布于微晶硅质岩(深色者)中(光片,单偏光);2—微晶-隐晶质硅质岩(薄片,斜交偏光);3—微细粒闪锌矿(浅色纹层)与含有机质微晶硅质岩(黑色层)互层形成韵律性纹层状构造;4—微细粒闪锌矿(浅色纹层)、方铅矿(白色斑点)与含有机质微晶硅质岩(黑色层)构成条纹-条带状构造;5—闪锌矿(Sp)、方铅矿(Gn)、黑色含有机质硅质岩(Si)构成斜交层理构造,底部为较粗粒的橙黄色闪锌矿层;6—微细粒闪锌矿纹层(浅色者)与含有机质的微晶硅质岩(黑色层)发生塑性揉皱变形,闪锌矿层中含有星散状的方铅矿晶体;7—白云岩角砾岩层(L1)、闪锌矿层(L2)、含有机质泥质硅质岩层(L3)、闪锌矿-方铅矿层(L4)构成互层状构造,白云岩角砾(L1)间的空隙被含有机质的黑色硅质充填和胶结;8—滑塌构造,从下往上依次为,原地厚层块状白云岩(Do)、滑塌构造面(F)、含白云岩角砾的块状中细粒闪锌矿层(Sp)、含有机质的泥质岩(Ms);9—滑塌角砾岩,角砾成分为灰色白云岩,角砾之间充填含有机质的泥质物及微细粒黄铁矿;10—沉积角砾状构造,含硅质岩碎屑的块状闪锌矿角砾(Sp)被黑色含有机质的微晶硅质岩(Si)胶结;11—沉积角砾状构造,次棱角状的硅质岩碎屑(白色者)被微细粒闪锌矿-含有机质的微晶硅质岩(色深者)胶结(薄片,单偏光);12—沉积角砾状构造,橢圆状、次棱角状的硅质岩角砾(Si)被微细粒闪锌矿-石英(Sp + Si)胶结(光片,单偏光);13—沉积角砾状-胶状构造,棱角状含有机质的微晶硅质岩角砾(白色、灰白色斑块)分布于有机质-胶状二氧化硅中(黑色者)(薄片,斜交偏光);14—胶状构造,由二氧化硅与黑色有机质混杂构成(薄片,单偏光);15—胶状构造,胶状闪锌矿(浅色者)分布于微晶硅质岩中(深色者)(光片,单偏光);16—变余胶状构造,胶状黄铁矿与黑色有机质的混合物发生结晶作用,形成黄铁矿聚形晶,两者之间残留不规则的反应边(光片,单偏光)。

表 2 黑区-雪区铅锌矿床矿石化学分析结果

Table 2 Analytical results of Pb- Zn ores from the Heiqu- Xuequ Pb- Zn deposit

成分	Hx001	Hx003	Hx006	Hx015	Hx017	Hx018	Hx037	Hx041	Hx044	Hx047	Hx048
$w_B/10^{-2}$											
Zn	18.56	14.56	9.61	39.05	30.85	26.48	11.50	0.28	19.82	15.12	0.38
Pb	0.70	0.18	17.63	0.60	0.09	0.01	0.94	0.05	0.08	0.08	0.02
Fe	1.25	1.60	1.94	2.84	1.67	2.26	14.65	32.27	3.74	1.19	4.07
SiO ₂	60.50	64.40	49.72	25.84	43.06	51.87	43.26	18.84	42.35	40.76	63.50
Al ₂ O ₃	1.12	1.30	2.82	0.34	0.38	0.60	0.90	1.47	2.39	0.54	2.39
CaO	1.86	2.25	2.94	2.86	1.63	0.87	1.78	2.89	4.22	10.49	11.30
MgO	0.29	0.46	0.61	0.91	0.52	0.13	0.27	0.60	1.74	6.54	1.54
K ₂ O	0.35	0.39	1.09	0.19	0.16	0.19	0.40	0.64	0.84	0.19	0.85
Na ₂ O	0.011	0.010	0.022	0.011	0.010	0.015	0.012	0.019	0.020	0.013	0.060
TiO ₂	0.04	0.03	0.13	0.02	0.03	0.05	0.04	0.10	0.10	0.04	0.07
P ₂ O ₅	1.26	1.45	2.10	1.18	0.79	0.61	1.24	1.85	1.76	1.18	7.06
MnO	0.02	0.02	0.01	0.60	0.02	0.01	0.01	0.05	0.02	0.08	0.03
S	9.69	7.36	8.61	21.79	15.55	13.29	20.70	35.17	12.44	8.23	3.40
CO ₂	0.34	0.50	0.28	1.88	0.88	0.18	0.17	0.40	3.01	12.88	2.88
有机碳	1.28	2.10	0.53	0.79	2.03	1.15	1.21	1.56	2.53	1.00	0.36
$w_B/10^{-6}$											
Cu	121	125	124	433	508	186	139	91	297	132	38.7
Ni	12.2	12.6	156	23.6	9.8	16.3	41.9	47.7	29.6	13.2	31.8
Co	5.9	5.2	6.5	5.4	3.9	5.6	8.1	10.2	7.9	7.8	8.7
W	1.06	0.48	0.10	1.06	<0.1	1.06	0.18	0.59	0.10	0.10	0.59
Sn	10.8	9.3	9.0	35.0	25.0	6.7	7.2	7.6	10.0	6.6	2.2
As	18.8	20.9	346.0	58.8	14.1	38.4	168.0	345.0	66.3	20.6	122.0
Sb	21.8	14.8	614.0	53.5	18.9	42.0	81.8	51.8	38.5	22.4	10.1
Hg	21.6	15.2	10.8	43.6	37.1	24.1	18.8	5.25	15.1	20.5	0.89
Ba	61.6	63.9	105.0	64.3	158.0	68.0	106.0	109.0	138.0	55.2	310.0
Y	7.82	10.00	25.60	9.90	5.56	3.42	10.60	17.20	15.40	7.78	57.70
B	19.4	22.3	41.3	23.5	20.3	22.6	18.6	29.6	36.7	15.5	47.0
Ag	35.0	26.9	69.4	204.0	114.0	29.7	42.9	0.4	29.3	41.3	2.8

矿石名称及采样位置: Hx001, Hx003—灰黑色层纹状硅质闪锌矿石, PD4 坑道; Hx006—灰黑色层纹状硅质铅锌矿石, PD4 坑道; Hx015—致密块状硅质铅锌矿石, PD4 坑道; Hx017—黑色层纹状硅质闪锌矿石, PD4 坑道; Hx018—角砾状硅质闪锌矿石, PD4 坑道; Hx037—块状硅质黄铁矿闪锌矿石, PD4 坑道; Hx041—灰黑色块状黄铁矿石, PD4 坑道; Hx044—黑色细粒浸染状闪锌矿石, PD5 坑道; Hx047—深灰色白云质硅质闪锌矿石, PD5 坑道; Hx048—黑色含胶磷矿硅质黄铁矿石, PD5 坑道。

测试方法: CaO, Co, Cu, K₂O, MgO, MnO, Na₂O, Ni, Pb, Fe, Zn—原子吸收光谱法; B, Sn—电弧发射光谱法; As, Hg, Sb—原子荧光法; P₂O₅, TiO₂—分光光度法; W, Al₂O₃, CO₂, S—容量法; Ag—石墨炉原子吸收光谱法; SiO₂—重量法; Ba, Y—电感耦合等离子体发射光谱法; 有机碳—燃烧-非水滴定法。测试单位: 宜昌地质矿产研究所。

时,一般为热水沉积物。黑区-雪区矿床的富硅质矿石及硅质岩的 $\text{Fe}/\text{Ti} = 24.91 \sim 611.44$, $(\text{Fe} + \text{Mn})/\text{Ti} = 25.01 \sim 611.76$, $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn}) = 0.01 \sim 0.43$ ($n = 11$)。现代远洋沉积物和成岩含金属层的 As、Sb 含量低,分别为 10×10^{-6} 和 $2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$,而热水沉积物富集 As、Sb,分别为 200×10^{-6} 和 7×10^{-6} (Marchig et al., 1982);沉积物中 Ba 的富集和重晶石的产出是热水活动的重要标志(周永章, 1990;彭军等, 1999)。黑区-雪区矿床的矿石及硅质岩中, Cu、As、Sb、Ba、Ag 等元素富集程度高,平均含量为: Cu 184.8×10^{-6} , As 101.7×10^{-6} , Sb 80.9×10^{-6} , Ba 114.9×10^{-6} , Ag 49.6×10^{-6} ($n = 11$)。这些特征说明,该矿床中富含硅质的矿石及容矿硅质岩为热水沉积产物。

层状微晶硅质岩中的流体包裹体很微小,一般小于 $3 \mu\text{m}$,为单一的液相包裹体,反映出其形成温度较低。硅质岩的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 为 $20.9\% \sim 21.8\%$ ($n = 3$)。根据 Knauth 等(1976)的硅质岩-水的氧同位素地质温度计方程式 ($1000\ln\alpha_{\text{硅质岩-水}} = 3.09 \times 10^6 T^{-2} - 3.29$) 的计算,硅质岩形成时的古海水温度为 $80 \sim 86$ 。

6 讨论与结论

(1) 黑区-雪区矿床与川滇黔铅锌矿聚区内广泛分布的具有明显后生热液成因特点的 MVT 型铅锌矿床的矿石结构、构造特征明显不同。MVT 型矿床中的闪锌矿、黄铁矿、石英、白云石等矿物的结晶粒度粗大,一般为数毫米,矿物晶形以肉眼清晰可见;闪锌矿的颜色较深,多数呈棕褐色,色深者呈黑色;石英、白云石、重晶石呈粗大的亮晶;围岩伴有较强烈的热液蚀变;矿体受切层断裂或层间断裂破碎带控制,矿体形态呈大脉状、复脉状或层间脉状。而黑区-雪区矿床的矿物结晶程度低,微细颗粒占绝大多数,微细粒的闪锌矿和微晶石英用肉眼难以辨别;闪锌矿以浅色者为主;微晶硅质岩因含丰富的有机质而呈黑色;矿体呈层状延伸且规模巨大,与地层呈整合产出;矿石发育纹层状、层状、条纹-条带状构造以及层间塑性滑动变形构造。因而,该矿床具有非常典型的沉积特征。结合硅质岩的地球化学研究,笔者认为,该矿床属于海底热水沉积成因 (SEDEX 型),含矿热液与海水混合后矿石的沉淀温度为 $80 \sim 86$ 。

(2) 根据川西南地区晚震旦世—早寒武世灯影期岩相古地理的研究(杨应选等, 1994),含矿地层灯影组属于碳酸盐台地潮坪环境的沉积产物,成矿的岩相古地理环境与含矿地层相同。在灯影期,汉源-峨眉一带形成近东西向的沉积凹陷,凹陷中心的沉积厚度逾 1200 m ,黑区-雪区铅锌矿床即位于该凹陷带西段的中心部位(图 4)。

(3) 黑区-雪区铅锌矿床的局部地段发育同生断裂带,沿断裂带出现大规模的滑塌沉积构造,其附近的矿体厚度大,最厚处近 5 m 。由同生断裂带向外,矿石构造呈现规律的分带性:滑塌角砾状构造 → 碎裂构造 → 层状角砾状构造 → 分散的和较细粒的沉积角砾;相对应的矿石依次为:块状矿石、脉状矿石 → 与层状角砾岩互层的层状矿石 → 层状、条带状、纹层状矿石,其中,层状、条带状、纹层状矿石的分布较广。根据这些矿化分布特征,可以认为,位于汉源-峨眉沉积凹陷带中心的同生断裂,可能是含矿热液向上运移和喷发-沉积的通道及成矿的中心地带。

(4) 矿体底板碎裂岩以及矿体内部沉积角砾岩的发育,说明在成矿前和成矿过程中,具有明显的构造活动。韵律性纹层的发育,可能反映了构造活动的周期性和含矿热液喷溢的间歇性特征。

(5) 根据矿石的结构构造,可鉴别出胶体化学沉积、化学沉积、机械沉积等 3 类沉积产物。块状矿石中由硅质、有机质、黄铁矿、胶磷矿等多种成分混杂而成的复杂的胶状物(照片 14, 16),推测是喷口附近类似于现代海底“黑烟囱”的高浓度喷出物,因化学条件的急剧改变而呈胶状物迅速沉积,不同组分未能进行有效的分异沉积。层状、纹层状硅质岩、富硅质的金属硫化物属于化学沉积物,分布最广,可能是海底喷出物被水流搬运后,在较大范围内发生沉积,其形成的水动力条件相对较弱。成层产出或零星分布的由硅质岩、白云岩、铅锌矿石、黄铁矿石等构成的大小不一的沉积角砾或碎屑,是在成矿过程中含矿围岩或矿石经过破碎,由水体搬运到异地再沉积,即为“碎屑流”机械沉积物,形成于强大的水动力条件。

(6) 在川滇黔铅锌矿集区内,像黑区-雪区那样具典型沉积特征的超大型层状矿床的发现,尚属首次,具有重大的理论和实际意义。该矿床未受变质改造,矿层保存完好,堪称认识和理解古代喷流-沉积成矿的理想的“天然展厅”,对其进行深入的研究将有助于丰富有色金属的成矿理论。另一方面,目

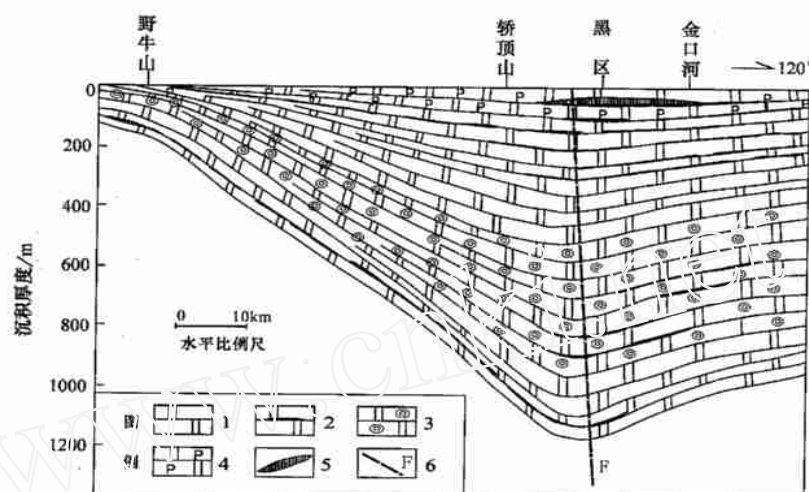


图4 四川泸定野牛山-金口河晚震旦世-早寒武世灯影期岩相剖面图^①

1—白云岩;2—硅质白云岩;3—含藻白云岩;4—含磷白云岩;5—铅锌矿层;6—推测同生断层

Fig. 4 Lithofacies-paleogeographic section of Upper Simian-Lower Cambrian Dengying period from Yeniu Shan of Luding to Jinkouhe, Sichuan Province

1—Dolomite; 2—Siliceous dolomite; 3—Algae-bearing dolomite; 4—Phosphate dolomite; 5—Pb-Zn ore bed; 6—Inferred contemporaneous fault

前正在进行的勘查实践证明,该类矿床的找矿潜力大,蕴藏着巨大的经济价值。

致谢 本文在撰写过程中得到成都理工大学郑明华教授的悉心指导。文中引用了四川省地质矿产局207地质队矿区普查的部分成果资料;李光明研究员、谢仲全教授级高工、游学军教授级高工、陈华安高级工程师,给予了帮助;在矿山考察期间,汉源有色金属总公司提供了便利。在此向有关人员和单位表示衷心的感谢!

Reference

- Bostrom K. 1983. Genesis of ferromanganese deposits-diagnostic criteria for recent and old deposits[A]. In: Rona P A, et al., ed. Hydrothermal processes at seafloor spreading center[M]. New York: Plenum Press. 473~483.
- Chen Z L and Chen S Y. 1987. The tectonic evolution of the west margin of the Yangtze Block[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House. 1~172 (in Chinese with English abstract).
- Du Y, Zhang C, Han X, et al. 2001. Earthquake event deposits in Mesoproterozoic Kunyang Group in central Yunnan Province and its geological implications[J]. Science in China (Series D), 44(7): 600~608.

~608.

- Greb S F, Ettensohn F R and Obermeier S F. 2002. Developing a classification scheme for seismites[Z]. Abstracts with Programs - Geological Society of America, 34(2): 102.
- Huang Z L, Li W B, Zhang Z L, et al. 2004. Several problems involved in genetic studies on Huize superlarge Pb-Zn deposit, Yunnan Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 24(2): 105~111 (in Chinese with English abstract).
- Li L J, Liu H T and Liu J S. 1999. A discussion on the source bed of Pb-Zn-Ag deposits in northeast Yunnan[J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 8(6): 333~339 (in Chinese with English abstract).
- Li W B, Huang Z L, Wang Y X, et al. 2004. Age of the giant Huize Zn-Pb deposits determined by Sm-Nd dating of hydrothermal calcite[J]. Geological Review, 50(2): 189~195 (in Chinese with English abstract).
- Knauth I P and Epstein S. 1976. Hydrogen and oxygen isotope ratios in nodular and bedded cherts[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 40(9): 1095~1108.
- Lin F C. 1994. Some new opinions on the Daliangzi lead-zinc deposit, Huidong County, Sichuan Province[J]. Mineral Deposits, 13(2): 126~136 (in Chinese with English abstract).
- Lin F C. 2004. Genetic types and evolution of Pb-Zn deposits on western margin of the Yangtze Craton[A]. In: Liu J M, et al., eds. Theories and practices of mineral deposits[C]. Beijing: Science Press. 105~118 (in Chinese).

^① 杨应选, 柯成熙, 林方成, 等. 1992. 康滇地轴东缘铅锌矿带主要矿床类型、成矿富集条件、找矿标志及靶区预测研究. (地质矿产部定向基金项目成果报告资料).

- Marchig V, Gundlach H, Moller P, et al. 1982. Some geochemical indicators for discrimination between diagenetic and hydrothermal metaliferous sediments[J]. *Marine Geology*, 50(3): 241 ~ 256.
- Peng J, Yi H S and Xia W J. 1999. Origin and geochemical characteristics of Late Precambrian bedded silicalites in Hunan, Guizhou and Guangxi[J]. *Geology-Geochemistry*, 27(4): 33 ~ 39 (in Chinese with English abstract).
- Qian J P. 2001. Tectono-dynamic mineralization in Weining-Shuicheng Pb-Zn ore belt, northwestern Guizhou[J]. *Geology-Geochemistry*, 29(3): 134 ~ 139 (in Chinese with English abstract).
- Seilacher A. 1984. Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events[J]. *Marine Geology*, 55(1): 1 ~ 12.
- Shao S C and Li Z Y. 1996. Metallogenetic rules of the stratabound Pb-Zn deposits in Dengying Formation of the west margin of Yangzi Massif and its possibility of forming super-large ore deposit[J]. *Yunnan Geology*, 15(4): 345 ~ 350 (in Chinese with English abstract).
- Shen S, Jin M X and Lu Y F. 1988. Mineralization laws and prospect for main ore deposits in the Xichang-Central Yunnan area[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House. 1 ~ 251 (in Chinese with English abstract).
- Sun Y, Xiao Y F and Li C D. 1995. Isotope geochemistry and its geological implication of Tangjia Pb-Zn deposit, Hanyuan[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 16(3): 211 ~ 215 (in Chinese with English abstract).
- Sun X M, Liang D Y and Nie Z T. 1995. Seismite sequence in continental margin —Take seismite in middle region of Jinsha River as an example[J]. *Geoscience-Journal of Graduate School, China University of Geosciences*, 9(3): 271 ~ 278 (in Chinese with English abstract).
- Wang J Z, Li C Y, Li Z Q, et al. 2001. The geological setting, characters and origin of Mississippi Valley-type Pb-Zn deposits in Sichuan and Yunnan Provinces[J]. *Geology-Geochemistry*, 29(2): 41 ~ 45 (in Chinese with English abstract).
- Wang R Z, Xu X Q, Zhao Y T, et al. 1988. The sedimentary cover and its history of geological development in Xichang-Central Yunnan area[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House. 1 ~ 301 (in Chinese with English abstract).
- Yang Y X, Ke C X, Lin F C, et al. 1994. Metallogeny of lead-zinc deposits on the eastern margin of Kang-Dian Axis[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Publishing House. 1 ~ 175 (in Chinese with English abstract).
- Zeng X G. 1990. Platform mobilization and stratabound lead and zinc deposit[J]. *Minerals And Rocks*, 10(1): 43 ~ 51 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z. 1995. Mineralization models for lead-zinc deposits in eastern and northeastern Yunnan[J]. *Yunnan Geology*, 14(4): 350 ~ 354 (in Chinese).
- Zhang L S. 1997. Hydrothermal karst genesis of stratabound Pb-Zn-(F-Ba) deposits in northeast Yunnan[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(1): 41 ~ 52 (in Chinese with English abstract).
- Zheng C L. 1994. An approach on the source of ore-forming metal of lead-zinc deposits in northwestern part, Guizhou[J]. *Journal of Guilin College of Geology*, 14(2): 113 ~ 124 (in Chinese with English abstract).
- Zhou C X, Wei C S, Guo J Y, et al. 2001. The source of metals in the Qilinchang Zn-Pb deposit, northeastern Yunnan, China: Pb-Sr isotope constraints[J]. *Econ. Geol.*, 96: 583 ~ 598.
- Zhou Y Z. 1990. On sedimentary geochemistry of siliceous rocks originated from thermal water in Nandan-Hechi basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 8(3): 75 ~ 83 (in Chinese with English abstract).
- Zhu L M, Hu R Z, Yuan H H, et al. 1997. Hydrothermal reworking genetic mechanism of Disu Pb-Zn deposit, Sichuan[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 17(3): 182 ~ 190 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈智梁, 陈世瑜. 1987. 扬子地块西缘地质构造演化[M]. 重庆: 重庆出版社. 1 ~ 172.
- 黄智龙, 李文博, 张振亮, 等. 2004. 云南会泽超大型铅锌矿床成因研究中的几个问题[J]. *矿物学报*, 24(2): 105 ~ 111.
- 李连举, 刘洪滔, 刘继顺. 1999. 滇东北铅、锌、银矿床矿源层问题探讨[J]. *有色金属矿产与勘查*, 8(6): 333 ~ 339.
- 李文博, 黄智龙, 王银喜, 等. 2004. 会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义[J]. *地质论评*, 50(2): 189 ~ 195.
- 林方成. 1994. 四川会东大梁子铅锌矿床成因新探[J]. *矿床地质*, 13(2): 126 ~ 136.
- 林方成. 2004. 扬子地台西缘铅锌矿床成因类型及成矿演化[A]. 见: 刘建明等, 编著. *矿床学理论与实践*[C]. 北京: 科学出版社. 105 ~ 118.
- 彭军, 伊海生, 夏文杰. 1999. 湘黔桂地区晚前寒武纪层状硅质岩的地球化学特征及成因[J]. *地质地球化学*, 27(4): 33 ~ 39.
- 钱建平. 2001. 黔西北威宁-水城铅锌矿带动力成矿作用研究[J]. *地质地球化学*, 29(3): 134 ~ 139.
- 邵世才, 李朝阳. 1996. 扬子地块西缘震旦系灯影组层控铅锌矿床的成矿规律及形成超大型矿床的可能性[J]. *云南地质*, 15(4): 345 ~ 350.
- 沈苏, 金明霞, 陆元法. 1988. 西昌-滇中地区主要矿产成矿规律及找矿方向[M]. 重庆: 重庆出版社. 1 ~ 251.
- 孙燕, 肖渊甫, 李承德. 1995. 汉源唐家铅锌矿床同位素地球化学特征及地质意义[J]. *四川地质学报*, 16(3): 211 ~ 215.
- 孙晓猛, 梁定益, 聂泽同. 1995. 大陆边缘震积岩序列——以金沙江中段震积岩为例[J]. *现代地质*, 9(3): 271 ~ 278.
- 王奖臻, 李朝阳, 李泽琴, 等. 2001. 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[J]. *地质地球化学*, 29(2): 41 ~ 45.
- 王汝植, 徐星琪, 赵裕亭, 等. 1988. 西昌-滇中地区沉积盖层及其地史演化[M]. 重庆: 重庆出版社. 1 ~ 301.
- 杨应选, 柯成熙, 林方成, 等. 1994. 康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律[M]. 成都: 四川科技出版社. 1 ~ 175.
- 曾忻耕. 1990. 地台活化与层控铅锌矿[J]. *矿物岩石*, 10(1): 43 ~

51.
赵 准. 1995. 滇东、滇东北地区铅锌矿床的成矿模式[J]. 云南地质, 14(4): 350~354.
张立生. 1997. 滇东北地区层控 Pb-Zn-(F-Ba) 矿床的热液喀斯特成因[J]. 地球学报, 18(1): 41~52.
郑传伦. 1994. 黔西北铅锌矿的矿质来源[J]. 桂林冶金地质学院学报, 14(2): 113~124.
周永章. 1990. 丹池盆地热水成因硅质岩地球化学特征[J]. 沉积学报, 8(3): 75~83.
朱赖民, 胡瑞忠, 袁海华, 等. 1997. 热液改造成矿机制——四川底苏铅锌矿床成矿作用研究[J]. 四川地质学报, 17(3): 182~190.

Typical ore fabrics of Heiqu-Xuequ stratiform lead-zinc deposit in Hanyuan, Sichuan, and their genetic implications

L IN Fang-cheng

(Geoscience College, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract

Numerous Pb-Zn deposits hosted in Upper Sinian-Lower Paleozoic-Upper Paleozoic carbonate strata were discovered in the last half century along the well-known Pb-Zn ore belt in the Sichuan-Yunnan-Guizhou border area, tectonically the western margin of the Yangtze craton. With typical epigenetic characteristics, these deposits are commonly classified as MV T-type deposits.

Within the ore belt, the Heiqu-Xuequ deposit, a super-large (2.6 million tonnage of Pb-Zn) stratiform Pb-Zn deposit, was discovered in Hanyuan, Sichuan, in early 1990s and has been mined over ten years. It is conformably hosted at the dolomite top of the Upper Sinian-Lower Cambrian Dengying Formation. Based on detailed field and microscope observation as well as geochemical analysis of the ores, the author holds that geological and geochemical characteristics of the deposit are significantly different from those of the MV T-type deposits in the Pb-Zn ore belt in that Pb-Zn mineralization is spatially confined to the intercalated blackish microcrystal silicalite rich in organic materials and brecciated dolomite at the top of the Dengying Formation, the outcrop of the stratiform orebodies extends over 6000m, typical sedimentary fabrics, such as stratiform, laminated, banded, syndimentary brecciated, and interbedded softly folded structures, are well developed, the mineral grain sizes of sphalerite, pyrite, dolomite, and quartz in the ore are very fine, 80% statistically ranging from 0.001 to 0.5mm, alteration is very weak or not developed, and the ore-bearing silicalite was formed at low temperature (80~86℃). The deposit is considered to be genetically of the SEDEX-type, a new type with large Pb-Zn resource potential in the ore belt. The hydrothermal activities and Pb-Zn mineralization were probably related to the development of the EW-stretching Hanyuan-Emei subdepression within the carbonate terrace and the activities of the contemporaneous faults in the middle of the depression during the Upper Sinian-Lower Cambrian Dengying period.

Key words: geology, typical ore fabrics, hydrothermal sedimentation, Pb-Zn deposit, SEDEX-type, stratiform, super-large, Hanyuan