

# 甘肃西成地区南北铅锌矿带矿床 成矿特征及相互关系

祝新友<sup>1</sup> 汪东波<sup>2</sup> 卫治国<sup>3</sup> 王瑞廷<sup>4</sup> 邱小平<sup>2</sup>

(1.北京矿产地质研究院,北京 100012;2.中国地质科学院地质研究所,北京 100037;  
3.甘肃有色地质勘查局 106 地质队,甘肃 兰州 730000;4.西北有色地质勘查局,陕西 西安 710000)

**摘要:**长期以来,甘肃西成地区的 SEDEX 型铅锌矿被分为南矿带沉积改造型与北矿带沉积变质型,二者容矿层位、容矿地层层序及成矿地质特征均存在较大差异。通过对二矿带成矿地质地球化学特征的对比,笔者发现,二矿带成矿的相似性远多于差异性,厂坝—李家沟矿床容矿地层层序倒转,灰岩系统在下,片岩系统在上,层序与南矿带相同。西成盆地存在多个近东西向的铅锌矿带,北矿带仅仅只是其中的一个。两个矿带成矿的差异性更多地表现在后期改造作用的方式上,厂坝—李家沟矿床的改造是在“原地”相对“干”而“封闭”的体系内完成,从而保留有完整的条纹条带状沉积特征,而南带众多的铅锌矿床的改造作用是原地的成矿物质经过迁移,“异地”、“湿”的(经历热液过程)和相对开放的条件在构造虚脱部位沉淀富集成矿,并有部分外来物质参与。而引起这种改造作用差异的根本原因则是区内印支期与酸性侵入岩浆作用有关的变质作用程度不均一。

**关键词:**甘肃;铅锌矿床;喷流沉积型;改造作用;变质作用

**中图分类号:**P618.42;P618.43 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)06-1361-10

甘肃西成是中国著名铅锌矿产地,分布于泥盆系碳酸盐岩—碎屑岩中的一批大型 SEDEX 型铅锌矿床已探明铅锌储量达 1 300 万 t<sup>[1]</sup>。传统上一直将西成矿田的铅锌矿床分为沉积变质型与沉积改造型两大类,前者主要指厂坝—李家沟—向阳山矿带,分布于西成矿田的北带,俗称北矿带;后者包括除厂坝—向阳山矿带以外的其他主要铅锌矿床,包括毕家山、邓家山、尖崖沟、洛坝等,俗称南矿带。二矿带矿石与围岩特点有较明显的差异,也有着广泛的共性<sup>[2-4]</sup>。长期以来,二者的差异性更多地被强调,尤其是二者容矿地层的差异,将沉积变质型铅锌矿床容矿地层定为下泥盆统安家岔组(D<sub>2a</sub>),将沉积改造型矿床容矿地层定为西汉水组(D<sub>2x</sub>),由此出现西成盆地存在两个重要的铅锌赋矿层位的认识。由于后者容矿地层中富含大量的化石,时代准确,但前者容矿地层变质程度高,无化石,时代存在争论。笔者的研究旨在通过比较两个矿带成矿特点的异同,指出其间的相互关系,进而促进该地区铅锌矿成矿预测。

## 1 两类铅锌矿床成矿地质特征

西成南北两个矿带分布范围是不呈比例的,北带由于厂坝—李家沟矿床的巨大规模而被重视,但仅分布在吴家山背斜北东翼较小的范围内。而南矿带几乎包括了除厂坝—李家沟—向阳山矿带的所有铅锌矿,东西横贯西成盆地(图 1)。西成盆地容矿泥盆系自下而上包括吴家山组(D<sub>1w</sub>)石英片岩、变质石英砂岩及大理岩,安家岔组(D<sub>2a</sub>)生物灰岩与千枚岩、变质砂岩,西汉水组(D<sub>2x</sub>)下部的生物碎屑灰岩与上部的绢云石英片岩,洞山组(D<sub>3d</sub>)砂岩、灰岩与千枚岩等。

自厂坝—向阳山,北矿带长约 7.5 km(图 2),容矿岩石为较深变质(石榴子石—砂线石带)的黑云石英片岩、方解石英片岩、大理岩、白云岩等。靠近吴家山背斜,附近分布有较多的印支期中酸性侵入体,如厂坝、黄渚关、沙波里、糜署岭等岩体,岩性主要为二长花岗岩、花岗闪长岩等,是西成盆地花岗岩分布较集中的地区。厂坝、李家沟矿床铅锌矿体众

收稿日期:2005-11-29;改回日期:2006-06-28

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(G1999043200)资助。

作者简介:祝新友,男,1965年生,教授级高级工程师,主要从事固体金属矿产地质工作;E-mail:zhuxinyou@tom.com。



图 1 西成矿田中部地质矿产简图<sup>①</sup>

I—西秦岭中带北亚带;II—西成泥盆系盆地;III—南秦岭南带;  
1—印支期花岗岩;2—变质相线;3—断裂;4—铅锌矿床;5—下泥盆统吴家山组

Fig.1 Simplified map showing the geology and location of major deposits in the central part of the Xicheng ore field<sup>①</sup>

I—North subbelt of the central belt of the West Qinling;II— Devonian Xicheng basin;III—South belt of the South Qinling;  
1—Granite;2—Metamorphic isograd;3—Fault;4—Lead-zinc deposit;5—Lower Devonian Wujiashan Formation

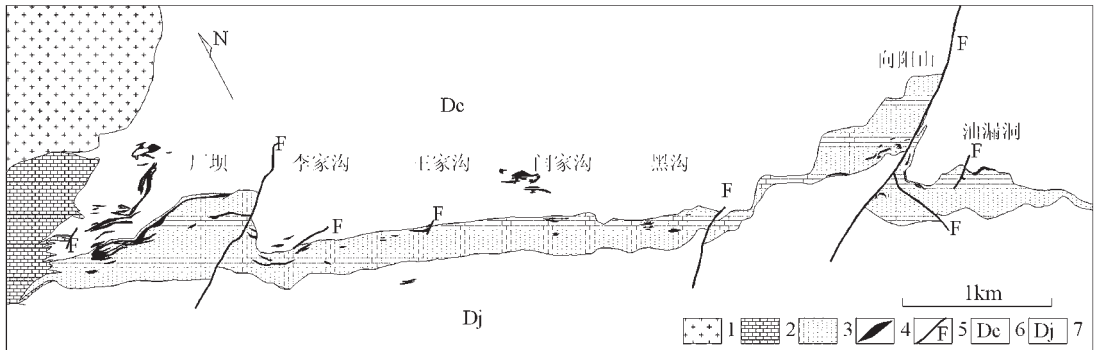


图 2 西成北矿带地质简图<sup>②</sup>

1—二长花岗岩(黄渚关岩体);2—白色厚层大理岩(石鼓子大理岩);3—灰岩系统(大理岩、白云质大理岩、钙质片岩);4—铅锌矿体;  
5—断层;6—厂坝层黑云石英片岩;7—焦沟层黑云石英片岩

Fig.2 Geological sketch map of the north ore belt<sup>②</sup>

1—Monzogranite (Huangzhuguan intrusion);2—White thick-bedded marble (Shiguzi marble);3—Limestone system (marble, dolomitic marble and calcareous schist);4—Lead-zinc orebody;5—Fault;6—Changba layered biotite-quartz schist;7—Jiaogou layered biotite-quartz schist

多,全部分布于灰岩系统与片岩系统界面附近,矿体的直接围岩为条带状大理岩或方解石石英片岩。主要矿体厚大、层状、稳定整合分布于大理岩与(二云)石英片岩中,矿体与围岩同褶皱。矿体中广泛发育有条纹条带状结构构造,矿物结晶细,有很多方铅矿、闪锌矿分散于重结晶的方解石中,甚至保留有微细的纹理,并发生强烈的柔皱,部分闪锌矿还保留

有“胶状”外貌,内部已重结晶。围岩变质程度较高,大理岩结晶较粗,碎屑岩为黑云石英片岩或二云石英片岩,白云母在矿体附近含量较高。矿体及近矿围岩中广泛分布有代表喷流特点的钠长石、电气石、重晶石等,在厂坝—李家沟,矿体西南盘分布有大规模的白云岩,延长达 1 km,厚 20~100 m,研究发现,它也是喷流作用过程中由喷流卤水与海水共同作用

①尹万玉. 甘肃西成铅锌富集区 1:5 万地质矿产图,2000.

②甘肃有色 106 地质大队. 甘肃省成县李家沟铅锌矿床地质勘探报告,1986.

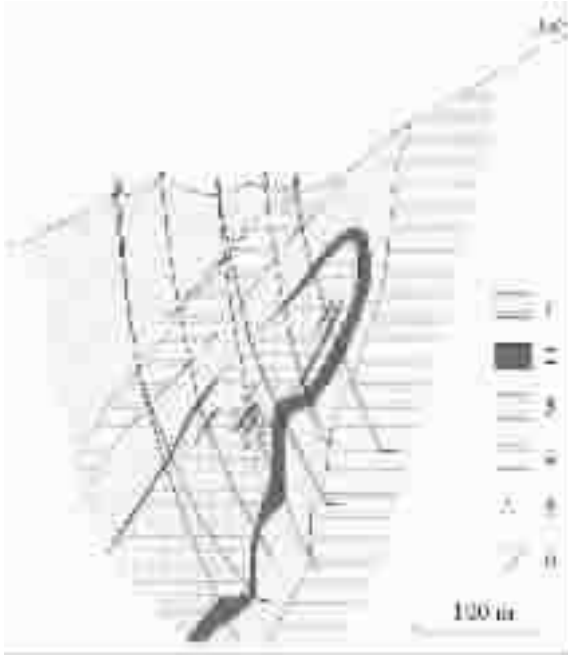


图 3 邓家山铅锌矿床 16 勘探线剖面示意图<sup>①</sup>  
 1—生物碎屑灰岩;2—铅锌矿体;3—方解石绢云母千枚岩;  
 4—绢云母千枚岩夹薄层灰岩;5—钻孔;6—石英脉  
 Fig.3 Exploratory profile No.16 of the Denjiashan  
 lead-zinc deposit<sup>①</sup>  
 1-Boiclastic limestone;2-Lead-zinc orebody;3-Calcite-sericite  
 phyllite;4-Sericite phyllite with thin limestone beds;  
 5-Borehole;6-Quartz vein

形成<sup>②</sup>。矿石中,主要矿物组合为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黝铜矿,少量硫砷铅矿、毒砂等,磁黄铁矿较少。

南矿带沉积改造型矿床以毕家山、邓家山、尖崖沟等矿床为代表,矿化赋存于西汉水组(D<sub>2x</sub>)下伏礁灰岩与上覆千枚岩间。矿体形状不稳定,厚度变化大,主要赋存在“Λ”型紧

闭褶皱转折端附近和倒转翼(图 3),聚集形成富大的矿体。矿石中很难见到具有沉积意义上的条纹条带状结构构造。与此同时,矿体中“硅质岩”遭受了强烈的改造,与矿化的石英紧密共生,常常难以区分其与矿体中石英的区别。在洛坝矿床,铅锌矿体与硅化灰岩过渡。主要矿物组合为闪锌矿、方铅矿,少量黄铁矿,脉石矿物为石英、方解石、铁白云石。主要矿物呈粗晶状,矿石更多地显示“热液型”充填的特点,沿构造虚脱的空间充填。矿石品位一般较高,与灰岩和千枚岩界线明显,围岩中缺乏明显的热液蚀变。

## 2 两个铅锌矿带容矿层位的比较

### 2.1 南矿带的容矿地层

南矿带不同铅锌矿床容矿地层特点相似,变质弱。矿体下盘为富珊瑚和层孔虫等的生物碎屑灰岩,上部为绢云石英片岩,在矿体中发育有灰黑色硅质岩,构成南部矿带的“礁硅泥”建造。由于灰岩的典型化石组合为 *Stringocephalus-Thamnopora-Desquametia*,时代确定为中泥盆世<sup>②</sup>,即西汉水组。

### 2.2 北矿带的容矿地层

北带铅锌矿容矿地层因变质强烈争议较大,目前主导观点将之划归中泥盆统安家岔组(D<sub>2a</sub>)。厂坝—李家沟—闫家沟—向阳山—油漏洞矿带是一个完整的含矿建造体系(图 2),以往的工作将容矿的安家岔组分为下部厂坝层(D<sub>c</sub>)与上部焦沟层(D<sub>j</sub>),前者包括灰岩系统及北部(下盘)的石英片岩(片岩系统),后者为分布于灰岩系统南部的黑云石英片岩。其中灰岩系统主要岩性包括条带状大理岩、白云岩、方解石石英片岩、石英方解石片岩以及绿泥方解石石英片岩等富含钙质的岩石,赋含有厂坝、李家沟矿床的主要矿体。片岩系统分布于厂坝层中灰岩系统北侧附近,主要岩性为黑云石英片岩,赋含的铅锌矿体规模相对小,品位高。

在厂坝—李家沟地区,由于地层总体南倾,灰岩系统在上,片岩系统在下,其特点明显不同于南矿带铅锌矿床,这也是导致西成二矿带存在巨大差异性认识的重要原因。

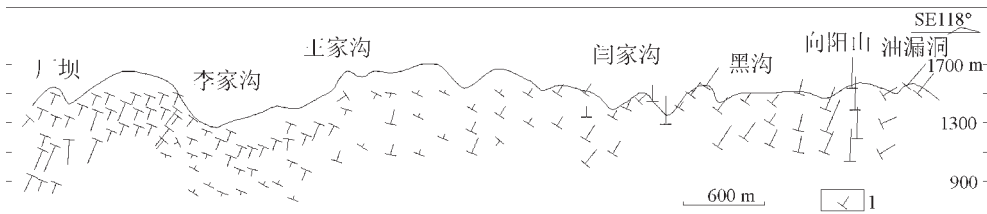


图 4 厂坝—向阳山矿带矿体产状变化图(纵投影图)<sup>②</sup>

1—产状(产状符号倾向线越长,倾角越小)

Fig.4 Attitude variation of orebodies at the Changba-Xiangyangshan ore belt<sup>②</sup>

1- Attitude of orebody (the attitude symbol: the longer the dip line, the smaller the dip angle)

① 甘肃有色地质勘查局天水总队.甘肃省西和县邓家山铅锌矿床地质勘探报告,1984.

② 甘肃有色 106 地质大队.甘肃省成县李家沟铅锌矿床地质勘探报告,1986.

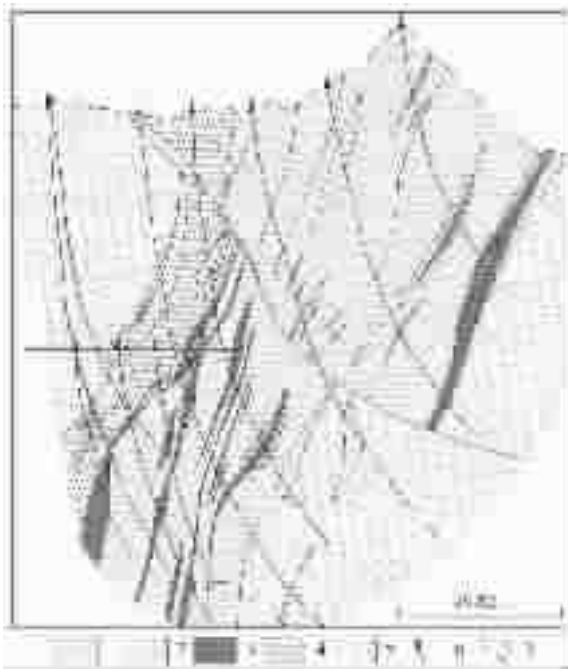


图5 李家沟矿床65线地质剖面图<sup>①</sup>

- 1—大理岩;2—方解石石英片岩、石英方解石片岩;  
3—铅锌矿体;4—白云质大理岩;5—黑云石英片岩;  
6—钻孔;7—断层

Fig.5 Geological profile No. 65 of the Lijiagou deposit<sup>①</sup>

- 1-Marble;2-Calcite-quartz schist and quartz-calcite schist;  
3-Lead-zinc orebody;4-Dolomitic marble;  
5-Biotite-quartz schist; 6-Borehole;7-Fault

矿体呈条纹带状,与围岩整合产出。矿体及矿带的总体走向 NWW280°,但倾向和倾角差别大,西北部与东南部矿体及容矿围岩倾向相反,总体呈扭曲状(图4)。厂坝矿床的矿体及围岩倾向 SW,倾角 30°~60°;李家沟矿床一般倾角 >70°,深部近乎直立;王家沟地区呈直立状,往东至闫家沟地区,矿体及石英片岩倾向 NE,倾角 50~80°,而向阳山—油漏洞地区,倾向 NE,倾角 40°~60°。这种产状的变化也导致了以往厂坝、李家沟、向阳山等不同矿床在勘探过程中对层序的不同认识,厂坝、李家沟地区被认为灰岩系统在上,片岩系统在下,而向阳山地区则相反<sup>②</sup>。

近年来,李家沟矿床的深部勘探发现矿体及围岩产状向深部逐渐变陡(图5),地表矿体及容矿地层南倾,倾角 45~70°,至 900 m 标高时矿体倾角 >70°,500~700 m 标高时近乎直立,往深部有产状反倾的变化趋势。因此,考虑到厂坝—向阳山矿带作为一个统一的含矿体系,其含矿系统的一部分产状存在倒转现象,主要倒转地区是厂坝—李家沟的上部。

另外,厂坝—李家沟矿床中,矿体的西南翼(上盘)发育有厚层块状白云岩。并在容矿的钙质石英片岩中广泛分布

层状的钠长石化。在 MVT 铅锌矿床中,大规模的白云岩化均分布于铅锌矿层的下部层位中<sup>③</sup>。在世界上很多 SEDEX 铅锌矿床的碳酸盐岩围岩或碳酸盐矿物中, MgO 含量一般都是自下而上降低的。

### 3 两矿带成矿地球化学特点的异同

分别作李家沟与邓家山矿床地球化学剖面(图6)。邓家山矿床矿体下部为生物碎屑灰岩,上部为绢云千枚岩和方解石千枚岩,李家沟矿床下部为白云岩和大理岩,上部为含方解石二云石英片岩。两条剖面反映出两个矿床的地球化学特征有较大差异。

矿化影响的规模不同。李家沟矿床  $Al_2O_3$ 、 $Fe_2O_3$  含量向上稳步增高,而邓家山矿床在 100 m 范围内有较大变化,向上稳定。邓家山矿床紧邻矿体的千枚岩中  $MgO/(MgO+CaO)$  比值有所增高,但往外迅速降低,而李家沟矿床不仅出现大规模的白云岩,而且富含钙质的片岩中  $MgO/(MgO+CaO)$  仍较高。由于李家沟矿床近矿石英片岩中存在广泛的纹层状钠长石,因此  $Na_2O/(Na_2O+K_2O)$  比值也较高。反映喷流作用的元素 B 在邓家山矿床中含量稳定,矿体边部也未见增高,而李家沟矿床围岩中赋含有大量的电气石, B 含量高,且变化剧烈。 $Au/Ag$ 、 $Co/Ni$ 、 $Zn/Cu$ 、 $Pb/Cu$  等比值反映出邓家山矿床矿体与围岩的巨大差异性,矿体或近矿围岩显示出明显的变化,而李家沟矿床矿体与围岩具有较好的一致性,二者形成于统一的成矿体系中,其近矿围岩中赋含有大量的喷流沉积矿物,如电气石、白云石、白云母、钠长石等,且矿化普遍。

这些变化规律显示邓家山矿床矿化作用影响的范围很小,更多地显现一些后生矿化的特征,而李家沟矿床喷流作用影响的范围很大,矿体与围岩的演化有一致性。

系统测定邓家山矿床与李家沟矿床矿石、围岩中岩石的 Sr 同位素组成,大部分样品中富含方解石,以 HCl 溶样,提取其中碳酸盐矿物中的 Sr 分析,在 MAT261 质谱仪上测试。分析结果如表 1。碳酸盐岩具有较低的  $^{87}Sr/^{86}Sr$  比值,矿石以及近矿围岩较高,  $^{87}Sr/^{86}Sr=0.7106\sim0.7221$ ,邓家山矿床矿石  $^{87}Sr/^{86}Sr=0.7167$ ,近矿千枚岩中增高,规律性不明显。李家沟矿床剖面中,岩石的  $^{87}Sr/^{86}Sr$  值总体较高,且自白云岩→灰岩→石英片岩和矿体,  $^{87}Sr/^{86}Sr$  逐渐增大。这种特点可能进一步显示出喷流作用在邓家山矿床中影响的范围很小,而在李家沟矿床规模很大。

南北两个铅锌矿带硫、铅同位素组成总体相似,但也存在一定的差异。厂坝—李家沟矿床矿石硫化物硫同位素  $\delta^{34}S$  值高,  $\delta^{34}S=19.1\text{‰}\sim22.9\text{‰}$ ,平均  $21.0\text{‰}$ <sup>[27]</sup>,围岩中浸染状黄铁矿  $\delta^{34}S=-5\text{‰}\sim14.7\text{‰}$ ;南矿带  $\delta^{34}S=6.9\text{‰}\sim26.9\text{‰}$ ,平均  $15.9\text{‰}$ (表 2),矿石硫同位素组成总体上介于北矿带矿石与

① 甘肃有色 106 地质大队.甘肃省成县李家沟铅锌矿床地质勘探报告,1986.

② 甘肃有色 106 地质大队.向阳山矿床勘探报告,1979.

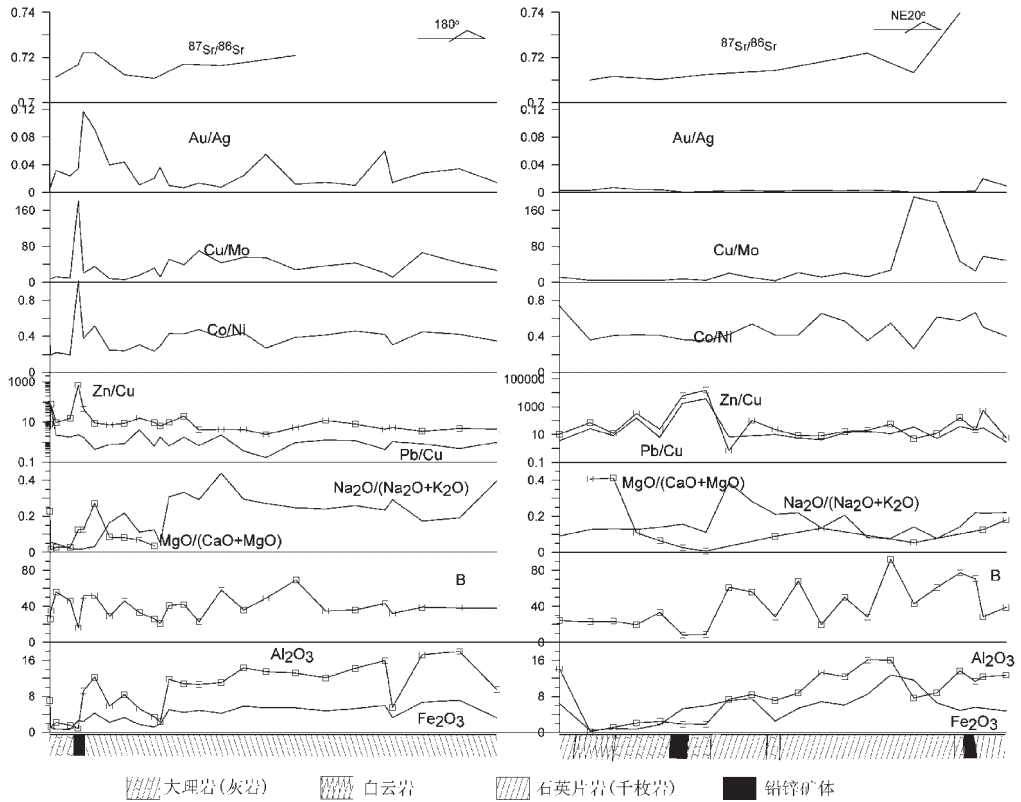


图 6 李家沟矿床与邓家山矿床地球化学横剖面图

左图邓家山矿床,剖面长 600 m;右图李家沟 900 m 中段,剖面长 290 m

Fig.6 Geochemical section across the Lijiagou and Denjiashan deposits

Left:Denjiashan deposit;section length=600 m;right:900 m level of the Lijiagou deposit;section length=290 m

表 1 李家沟、邓家山铅锌矿床 Sr 同位素分析  
Table 1 Sr isotope analysis of the Lijiagou and Dengjiashan deposits

样号	取样位置	岩性	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	精度
XC-53	邓家山 1606 中段	结晶灰岩	0.711182	$\pm 0.000096$
XC-55	邓家山 1606 中段	闪锌矿石英脉(矿石)	0.716723	$\pm 0.000048$
XC-56	邓家山 1606 中段	石英绢云母千枚岩	0.722122	$\pm 0.000043$
XC-57	邓家山 1606 中段	方解石绢云母千枚岩	0.722104	$\pm 0.000236$
XC-59	邓家山 1606 中段	绢云母方解石千枚岩	0.712332	$\pm 0.000086$
XC-61	邓家山 1606 中段	绢云母方解石千枚岩	0.710645	$\pm 0.000102$
XC-64	邓家山 1606 中段	石英绢云母千枚岩	0.717022	$\pm 0.000249$
XC-66	邓家山 1606 中段	石英绢云母千枚岩	0.716294	$\pm 0.000110$
XC-69	邓家山 1606 中段	石英绢云母千枚岩	0.720892	$\pm 0.000105$
XC-101	小厂坝 1200m57 线	二云方解石石英片岩	0.719877	$\pm 0.000184$
XC-104	小厂坝 1200m57 线	铅锌矿石	0.739754	$\pm 0.000253$
XC-106	小厂坝 1200m57 线	石英方解石片岩	0.713197	$\pm 0.000116$
XC-108	小厂坝 1200m57 线	黑云方解石石英片岩	0.721880	$\pm 0.000355$
XC-112	小厂坝 1200m57 线	方解石石英片岩	0.714172	$\pm 0.000077$
XC-115	小厂坝 1200m57 线	条带状铅锌矿石	0.712429	$\pm 0.000020$
XC-117	小厂坝 1200m57 线	大理岩	0.710143	$\pm 0.000031$
XC-119	小厂坝 1200m57 线	白云质大理岩	0.711565	$\pm 0.000053$
XC-120	小厂坝 1200m57 线	白云岩	0.709925	$\pm 0.000038$

注:由核工业地质研究院测试中心分析,2005.

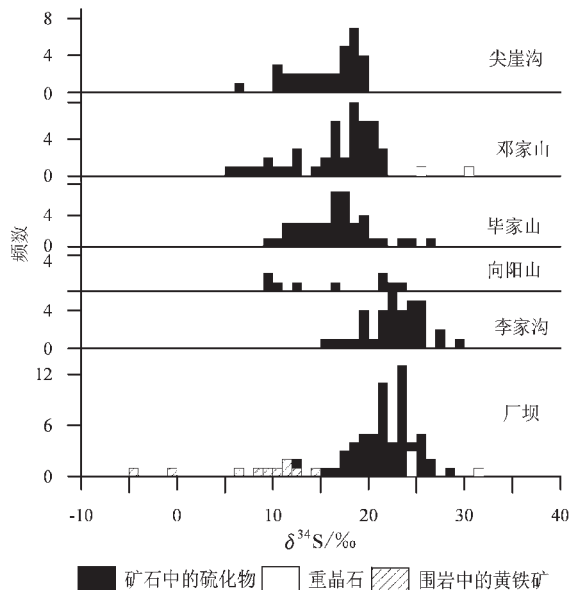


图 7 西成主要铅锌矿床硫同位素组成直方图解

Fig.7 Histograms of the sulfur isotopic composition in major Pb-Zn deposits in the Xicheng area

表2 西成部分铅锌矿床硫化物硫同位素分析  
Table 2 Sr isotope analysis of sulfides in some Pb-Zn deposits in the Xicheng area

原样号	矿床	岩矿石名称	矿带-类型	矿物名称	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}(\%)$
TXC-04	小厂坝	条带状闪锌矿	北矿带-SEDEX	闪锌矿	20.2
TXC-05	小厂坝	胶状闪锌矿	北矿带-SEDEX	黄铁矿	21.2
TXC-05	小厂坝	胶状闪锌矿	北矿带-SEDEX	闪锌矿	19.1
TXC-62	小厂坝	条带状铅锌矿	北矿带-SEDEX	闪锌矿	20.8
TXC-20	王家沟	含闪锌矿黄铁矿	北矿带-SEDEX	黄铁矿	21.3
TXC-20	王家沟	含闪锌矿黄铁矿	北矿带-SEDEX	闪锌矿	21.7
TXC-14	向阳山	方铅矿石英脉	北矿带-SEDEX	方铅矿	22.9
TXC-29	薛家沟	方铅矿闪锌矿	南矿带-SEDEX	闪锌矿	26.9
TXC-29	薛家沟	方铅矿闪锌矿	南矿带-SEDEX	方铅矿	24.7
BXC-130	陈家庄	石英闪锌矿	南矿带-SEDEX	闪锌矿	14.0
BXC-133	陈家庄	含细粒浸染状闪锌矿硅质岩	南矿带-SEDEX	闪锌矿	14.7
BXC-136	陈家庄	块状闪锌矿	南矿带-SEDEX	闪锌矿	14.8
TXC-32	邓家山	含石英英脉(硅质岩)	南矿带-SEDEX	闪锌矿	19.8
TXC-91	花桥子	含硅质条带粗晶闪锌矿	南矿带-SEDEX	闪锌矿	17.4
TXC-83	王坝	含粗晶闪锌矿方解石石英脉	南矿带-SEDEX	闪锌矿	19.0
TXC-89	三羊坝	粗晶闪锌矿	南矿带-SEDEX	闪锌矿	20.7
TXC-16	洛坝	块状闪锌矿方铅矿	南矿带-SEDEX	方铅矿	6.9
TXC-72	洛坝	粗晶闪锌矿	南矿带-SEDEX	闪锌矿	9.6
TXC-73	洛坝	粗晶闪锌矿	南矿带-SEDEX	闪锌矿	9.3
TXC-75	洛坝	方铅矿闪锌矿	南矿带-SEDEX	闪锌矿	9.2
TXC-08	朱安沟	含铅闪锌矿	热液型	闪锌矿	24.7
TXC-08	朱安沟	含铅闪锌矿	热液型	方铅矿	22.7
TXC-99	小峪河	方铅矿	热液型	闪锌矿	16.7
TXC-99	小峪河	方铅矿	热液型	方铅矿	15.9

注:由中国地质科学院矿产资源研究所分析。

围岩中浸染状黄铁矿之间(图7)。北矿带中自厂坝→李家沟→向阳山,硫同位素重硫含量逐渐减少,向阳山矿床 $\delta^{34}\text{S}=9\text{‰}\sim 23\text{‰}$ ,大体上与南侧的南矿带毕家山—薛家沟矿床相当。两个矿带铅同位素组成接近,但南矿带相对富含放射性成因铅。系统的硫、铅同位素研究表明,西成铅锌矿带北带在后期的改造是在相对封闭的环境下实现物质的内部重组,而南带铅锌矿在改造过程中有部分外来物质的参与,但并未发生明显的分异(另文专述)。

## 4 讨论

西成两个铅锌矿带在地质地球化学上存在相似的特征,成矿特征的差异也很明显(表3)。

### 4.1 两个矿带具有相似的容矿地层,但喷流沉积环境不同

厂坝—李家沟矿床容矿地层层序整体倒转,除前述的一些产状变化等证据外,也表现在改造(变质)程度的逐渐变化等多方面,同时,厂坝、李家沟、向阳山、毕家山等矿床的容

矿地层的确定经历了一个逐渐深入的认识过程,存在较大的不确定性。20世纪70年代,在向阳山、毕家山矿床勘探过程中,将厂坝、李家沟、向阳山、毕家山同归于西汉水群第六岩性段( $D_{2x}h^6$ )第三层<sup>①②</sup>。20世纪80年代李家沟矿床<sup>③</sup>及毕家山—薛家沟矿床<sup>④</sup>勘探时,将厂坝—李家沟—向阳山矿带全部归入安家岔组,并将整个厂坝—李家沟—向阳山矿带容矿层位整体定为安家岔组上岩组( $D_{2a}^2$ )。同一时期,在尹万玉编制的1:5万西成铅锌富集区地质矿产图中<sup>⑤</sup>,厂坝—李家沟—向阳山—毕家山一带泥盆系仍定为下泥盆统安家岔组( $D_{2a}$ )。至20世纪90年代,在大量找矿实践工作基础上,人们将毕家山矿床定为西成盆地沉积改造型矿床的典型,其容矿层位确定为西汉水组( $D_{2x}$ )<sup>⑥,7-8</sup>。这种认识的不确定性也从侧面反映出将北矿带容矿地层定为安家岔组( $D_{2a}$ )、南矿带定为西汉水组( $D_{2x}$ )的观点更多地受到地层变质程度的影响,实际情况未必如此。

另外,国内外大多数SEDEX铅锌矿床容矿碳酸盐岩地球化学研究发现,碳酸盐岩中 $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{CaO})$ 比值均存在自下向上降低的规律,如青海锡铁山铅锌矿床<sup>⑨</sup>、古巴Castellanos铅锌矿床<sup>⑩-10</sup>。李家沟矿床剖面也反映这一特点(图6),并在矿体SW盘形成厚层白云岩。因此,厂坝—向阳山矿带容矿体系的正常产状应倾向NE,在厂坝—李家沟地区的上部倒转。两矿带的容矿层序总体有相似之处,南矿带矿体下部为生物碎屑灰岩,上部为泥质千枚岩,矿体及硅质岩位于其间,构成“礁硅泥”建造;厂坝—向阳山矿带,下部是灰岩系统,上部是片岩(碎屑岩)系统,铅锌矿体及各种喷流沉积岩位于碳酸盐岩与上部碎屑岩之间。

虽然如此,两个矿带含矿建造的差异也较明显,北矿带含矿建造厚度大,碳酸盐岩较少,炭质含量低,缺乏化石等,构造位置更靠近黄涛关断裂,其喷流沉积的环境为深水滞流相<sup>⑩</sup>;相比之下,南矿带地层厚度小,矿层下部为生物碎屑灰岩或礁灰岩,喷流沉积作用与浅海相生物活动有密切的成因联系,这一点笔者将另文讨论。

综合两个矿带的地质地球化学特征,二者具有相似的SEDEX矿床成因,相当的容矿层位,以及相似的成矿元素组合与矿物组合、同位素地球化学等,其差异性一方面是由于喷流沉积的不同,另一方面因后期改造作用的差异而不同。

### 4.2 厂坝—李家沟—向阳山矿带

西成盆地南带的铅锌矿化受近东西向的背斜构造控制,矿田西部的尖崖沟—邓家山—页水河地区,同属南带成矿特点的铅锌矿床分布于3个近东西向的背斜构造中,组成3个次级的铅锌矿化带,即王坝—尖崖沟—三羊坝—庙沟背

① 甘肃有色106地质大队. 甘肃省成县向阳山铅锌矿床勘探报告, 1979.

② 甘肃有色106地质大队. 甘肃省成县毕家山铅锌矿床勘探报告, 1979.

③ 甘肃有色106地质大队. 甘肃省成县李家沟铅锌矿床地质勘探报告, 1986.

④ 甘肃有色103地质大队. 甘肃省成县毕家山—徽县薛家沟铅锌矿床地质勘探报告, 1985.

⑤ 尹万玉. 甘肃西成铅锌富集区1:5万地质矿产图, 2000.

⑥ 祝新友,等. 锡铁山喷流沉积矿床卤水与海水的相互作用, 2006.

表 3 西成两个铅锌矿带地质地球化学特征对比

Table 3 Comparison of the geological and geochemical characteristics of two ore belts in Xicheng

地质地球化学特征	北矿带(厂坝—向阳山)	南矿带
容矿地层	中泥盆统西汉水组	中泥盆统西汉水组
含矿建造	下部为钙质石英片岩、大理岩,上部为黑云石英片岩	下盘为生物碎屑灰岩,上盘为泥质千枚岩
喷流沉积环境	深水滞流相	浅海—陆棚相
变质程度	十字石-石榴子石相	绿泥石相
矿床规模	超大型	大型—中小型
矿体形态	层状,少量呈脉状	透镜状,脉状
赋矿构造	单斜	紧闭背斜鞍部及倒转翼,部分位于灰岩或千枚岩中
主要结构构造	条纹状、条带状	块状,浸染状
硫化物矿物粒度	细,很多硫化物矿物<0.1mm	粗,硫化物矿物通常>1mm
矿物组合	黄铁矿-闪锌矿-方铅矿,少量毒砂、脆硫锑铅矿、磁黄铁矿	闪锌矿-方铅矿-黄铁矿
喷流沉积岩	钠长(石)岩、白云石(岩)、重晶石、电气石	硅质岩、硅化灰岩、(铁)白云石、重晶石
硫同位素( $\delta^{34}\text{S}$ )	19.1‰~22.9‰(平均 21.0‰)	6.9‰~26.9‰(15.9‰)有围岩中硫的混入
后期改造方式	热变质与动力变质作用,保留有矿体形态和矿石结构	动力变质时的热液改造,原始沉积特征几乎消失

斜、上卷—邓家山—唐家沟背斜以及杜家庄—页水河背斜(图 8)。在背斜转折端及倒转翼上均分布有铅锌矿床。这种特点与陕西凤太矿田的铅锌矿分带特点是相似的,凤太地区,4 个 NWW 向的复背斜控制了该区 4 条较大规模的铅锌成矿带,即长沟—崖房湾、尖端山—八方山、张家湾—银母寺—大黑沟、铅硐山—苇子坪—铜牌沟铅锌成矿带。

在西成中部的厂坝—毕家山地区,也存在多条近东西向的矿带,如毕家山—薛家沟、天子山—陈家庄、厂坝—向阳山等,只是由于吴家山等基底构造的影响以及后期强烈的构造岩浆活动,这些矿带保存不完整。厂坝—李家沟—向阳山为代表的北矿带仅仅只是西成多条近东西向铅锌矿带中的一个。

#### 4.3 变质作用程度的不同是引起二矿带差异的重要原因

有关两个矿带喷流沉积方式的差异将另文讨论,笔者重点讨论后期变质-改造作用方式的不同。根据 20 世纪 80 年代完成的西成地区 1:5 万地质矿产图,以泥质岩石中变质矿物组合的变化将西成泥盆系变质程度分为绢云母带、黑云母带、十字石-石榴子石带(图 1),其碳酸盐岩的变质程度相应为微晶灰岩、结晶灰岩和大理岩。这种变质作用的分带与印支期酸性侵入体的分布有密切的空间关系,表现为接触变质作用的特点。在厂坝—李家沟矿区,泥质岩石不仅被变质为石英片岩,其中广泛出现石榴子石,碳酸盐岩转变为大理岩,缺乏南矿带近矿岩石中广泛出现的炭质<sup>[1]</sup>,而且,在厂坝岩体接触带以及厂坝—李家沟矿床中均发育大量的与热变质有关的矽卡岩化,包括透辉石、透闪石化等。

厂坝—向阳山矿带属于西成盆地印支期岩体集中出现

的地区,这些酸性侵入岩多形成于幔源基性岩浆与壳源酸性岩浆的混合<sup>[2]</sup>。西成北矿带的现有地质认识主要是由厂坝—李家沟矿床总结出来的,实际上,自厂坝—李家沟—向阳山—油漏洞,伴随着变质程度自西向东的逐渐减弱,矿石特征、容矿地层的重结晶程度与变质特点均有系统的变化。在王家沟,二云石英片岩与黑云石英片岩中云母片粒度较厂坝—李家沟小,至向阳山地区,石英片岩常显示出千枚岩的特点,碳酸盐岩以结晶灰岩为主。

乳白色粗晶的含矿方解石石英脉是南带铅锌矿床的主要矿石类型,其中广泛出现交代结构为主的粗晶的方铅矿、闪锌矿与石英。这种含矿乳白色石英脉在厂坝—李家沟矿床中很少见,至王家沟、李家沟地区明显增多,是向阳山矿床铅锌矿床的主要矿石类型,矿石特征多与南矿带相似,仅部分表现为条带状。

虽然厂坝—李家沟矿床明显较南带的铅锌矿富集重硫,但向阳山矿床  $\delta^{34}\text{S}$  值较低,与毕家山—薛家沟矿床相当。两个矿带硫化物铅同位素的组成非常接近,在厂坝—毕家山地区,自北往南,铅同位素组成呈有系统的变化,放射性成因铅逐渐增多,单阶段模式年龄逐渐降低,且反映铅同位素演化的参数  $\mu$ 、 $\kappa$ 、 $\omega$  值也出现有规律的变化(表 4)。这也正反映出北带与南带间密切的成因联系,由北向南,成矿过程中外来物的参与逐渐增多。

#### 4.4 喷流作用的规模与印支期改造作用的方式

在北矿带的沉积变质型矿床中,从宏观—微观上均存在大量的条纹条带状结构构造,矿体与围岩整合产出,矿物结



图 8 西成盆地页水河—庙沟地区地质矿产简图

$D_{2x^1}$ —西汉水组灰岩; $D_{2x^2}$ —西汉水组石英绢云千枚岩; $D_{3d}$ —洞山组碎屑岩; $D_{1w}$ —吴家山组大理岩和石英砂岩;  
1—印支期花岗岩;2—断层;3—铅锌矿床

Fig.8 Geological sketch map of the Yeshuihe-Miaogou area in the Xicheng basin

$D_{2x^1}$ —Limestone of the Xihanshui Formation; $D_{2x^2}$ —Quartz-sercite phyllite of the Xihanshui Formation;  
 $D_{3d}$ —Clastic rocks of the Dongshan Formation; $D_{1w}$ —Marble and quartz sandstone of the Wujiashan Formation;  
1—Indosinian granite;2—Fault;3—Lead-zinc deposit

表 4 厂坝—毕家山地区矿床中硫化物的铅同位素特征

Table 4 lead isotope analysis of sulfide in Pb-Zn deposits in the Changba-Bijiashan area

矿床	样品数	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	年龄/Ma	$\mu$	$\kappa$	$\omega$
厂坝	4	17.9572	15.6084	38.1075	502	9.54	4.12	39.25
李家沟	3	17.9148	15.5787	38.0472	498	9.48	4.11	38.94
向阳山	2	17.9399	15.5729	37.9948	473	9.47	4.07	38.48
薛家沟	1	17.9929	15.5764	38.0242	440	9.47	4.05	38.32
毕家山	11	18.0479	15.5705	38.0533	393	9.45	4.03	38.05

注:毕家山资料引自毕家山矿床勘探报告<sup>①</sup>,其他数据为 2005 年测定。分析单位为 中国地质科学院地质研究所,分析仪器:MAT-261。 $\mu = ^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ ,  $\kappa = ^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ,  $\omega = ^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ 。

晶粒度细并重结晶,矿体、矿石结构构造整体保留有广泛的沉积特点。南带沉积改造型矿床则不然,矿体主要赋存于紧闭背斜转折端和倒转翼,主要矿体总体呈层状产于灰岩与千枚岩之间,部分矿体产于下侧灰岩或千枚岩中,受 S2 面理控制。矿体中直接反映沉积特点的条纹条带状结构构造大多难觅踪迹,常出现大规模的粗晶状乳白色石英与方解石,硫化物结晶粒度也很粗,更多地显示出热液作用的特点。同时,南矿带铅锌矿床中,除矿体中少量硅质岩<sup>[13-15]</sup>和部分白云石或铁白云石外,反映喷流沉积的地质现象很少,而在北矿带中,矿体附近出现大规模的钠(更)长石、电气石、白云岩(岩)等。反映出两个矿带喷流沉积规模存在有巨大的差异。

与此同时,大量的地质地球化学特点也显示出两个矿带在后期经历的改造方式明显不同,变质作用对北带的改造作用并未从根本上改变矿床的整体架构,包括矿体类型、结构

构造、矿物组合等,同位素地球化学的研究也说明厂坝—李家沟矿床的改造作用是在相对封闭的体系内完成的,没有大量的外来物质的参与。南矿带在改造过程中的特点显然不同,不仅直接反映沉积特点的条纹条带状结构构造荡然无存,而且很多矿床矿体与围岩界线截然,矿物结晶粗,与硫化物共生的方解石石英脉是通过热液过程后生形成的,即在印支期的改造过程中原始沉积的成矿物质经过热液作用再造,经过一定距离的迁移后在构造虚脱部位充填形成矿床,这一过程中有部分外部物质的参与。

综上所述,厂坝—李家沟矿床的改造是在“原地”相对“干”的和相对“封闭”的体系内完成,而南带众多的铅锌矿床的改造作用是喷流沉积初步富集的成矿物质经过迁移,“异地”、“湿”的(经历热液过程)和相对开放的环境下、有部分外来物质参与下进行的。

①甘肃有色 103 地质大队. 甘肃省成县毕家山—徽县薛家沟铅锌矿床地质勘探报告, 1985.



#### 4.5 对成矿预测的意义

重新认识厂坝—李家沟—向阳山含矿系统的产状与层序,有利于深部及近外围地区的找矿评价。以往以倾向 SW 向产状认识厂坝—李家沟矿带,以“干鱼郎向斜”的观点,对“向斜”南翼的徐明山铅锌矿投入了大量的勘探工程,收效甚微。以 NE 倾向的产状观点,位于矿带 NE 翼的大岭铅锌矿及 NW 向分布的碳酸盐岩—片岩界面附近之找矿前景就更具有重要意义。

西成南、北两个铅锌矿带的成矿地质地球化学特点具有很多相似性,其含矿层位与容矿体系可比,厂坝—李家沟—向阳山矿带只是西成多条近东西向铅锌矿带中的一个。因此,在南矿带深部有大规模喷流作用的地区,也有形成巨大规模铅锌矿床的条件。

南矿带的铅锌矿床是成矿物质经“热液作用”改造、迁移,在异地富集成矿的产物,若如此,则矿床深部一定范围内可能存在第二赋矿空间,在那里保留有更大规模的层状铅锌矿。

## 5 结论

西成矿田南、北两个铅锌矿带的地质地球化学特征存在一致性,赋矿层位相同,均为中泥盆统西汉水组碎屑岩夹碳酸盐岩。厂坝—李家沟矿床赋矿层位倒转,灰岩系统在下,片岩系统在上,含矿系统与西成南矿带相当。

厂坝—李家沟—向阳山矿带(北矿带)是西成盆地多个近东西向铅锌矿带中的一个,只是由于后期改造方式的不同,造就了二者间成矿地质地球化学特点的差异。

除喷流作用方式的不同外,两个铅锌矿带地质特征的不同更多地由于印支期变质作用程度的差异以及改造方式的不同,厂坝—李家沟矿床的改造是在“原地”相对“干”的和相对“封闭”的体系内完成,而南矿带众多的铅锌矿床的改造作用是原地的成矿物质经过迁移,“异地”、“湿”的(经历热液过程)和相对开放的条件在构造虚脱部位沉淀富集成矿,并有部分外来物质参与。

#### 参考文献(References):

- [1] 中国矿床发现史甘肃卷编委会. 中国矿床发现史(甘肃卷)[M]. 北京:地质出版社,1996.83~97.  
Editorial Commission on Gansu Province Volume of Discovery History of Chinese Mineral Deposits. The Discovery History of Chinese Mineral Deposits—Gansu Province Volume [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996(in Chinese).
- [2] 王集磊,何伯堉,李健中,等. 中国秦岭型铅锌矿床 [M]. 北京:地质出版社,1996.  
Wang Jilei, He Boxi, Li Jianzhong, et al. Qingling-type Lead-zinc Deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996(in Chinese with English abstract).
- [3] 陈光. 西成铅锌矿化集中区热水沉积成矿作用的岩矿证据 [J]. 甘肃地质学报, 2002,11(1):32~43.

- Chen Guang. Rock and ore evidence of thermal-water-sedimentary metallogenesis in Xi-Cheng lead-zinc metallogenic provinces[J]. Acta Geologica Gansu, 2002,11(1):32~43.
- [4] 王靖华,张复新,于在平,等. 秦岭金属矿床成矿系列与大陆造山带构造动力学背景[J]. 中国地质, 2002,29(2):192~196.  
Wang Jinghua, Zhang Fuxin, Yu Zaiping, et al. Minerogenetic series of metallic ore deposits in the Qinling Mountains and tectonodynamic background of the continental orogenic belts [J]. Geology in China, 2002,29 (2):192~196 (in Chinese with English abstract).
- [5] 祝新友,汪东波,卫治国,等. 西成地区碳酸盐岩的 REE 特征及厂坝矿床白云岩的成因[J]. 矿床地质, 2005,24(6):613~620.  
Zhu Xinyou, Wang Dongbo, Wei Zhiguo, et al. The characteristics of rare earth elements of carbonate, Xichen Devonian basin, Gansu province—The origin of dolomite in Changba giant lead-zinc deposit [J]. Mineral Deposits, 2005,24(6):613~620(in Chinese with English abstract).
- [6] 祝新友,汪东波,王书来. 新疆阿克陶县塔木—卡兰古铅锌矿床矿床地质及硫同位素特征[J]. 矿床地质, 1998,18(3):204~214.  
Zhu Xinyou, Wang Dongbo, Wang Shulai. Geology and sulfur isotope geochemistry in Tam-Kalangu lead-zinc deposits, Akto, Xingjing[J]. Mineral Deposits, 1998,18(3):204~214(in Chinese with English abstract).
- [7] Ma Guoliang, Beaudoin G, Qi Sijing, et al. Geology and geochemistry of the Changba SEDEX Pb-Zn deposit, Qinling orogenic belt, China[J]. Mineralium Deposita, 2004,39:380~395.
- [8] 马国良,祁思敬,李英,等. 甘肃厂坝铅锌矿床喷气沉积成因研究 [J]. 地质找矿论丛, 1996,11(3):36~44.  
Ma Guoliang, Qi Sijing, Li Ying. Genesis of albitites in Changba Pb-Zn ore deposit [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1996,11 (3):36~44 (in Chinese with English abstract).
- [9] Whitehead R E, Davies J F, Valdes-Nodarse E L, et al. Mineralogical and Chemical variations:Castellanos Shale-hosted Zn-Pb-Ba deposit, northwestern Cuba [J]. Econ. Geol., 1996,91: 713~722.
- [10] Davis J F, Prevec S A, Whitehead R E, et al. Variations in REE and Sr-isotope chemistry of carbonate gangue, Castellanos Zn-Pb deposit, Cuba[J]. Chem. Geo., 1998,144:99~119.
- [11] 祁思敬,李英,等. 秦岭泥盆系铅锌成矿带[M]. 北京:地质出版社,1993.  
Qi Sijing, Li Ying, et al. Lead-Zinc Metallogenic Belt of Devonian System in Qinling Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993(in Chinese).
- [12] 朱弟成,朱利东,林丽,等. 西成矿田泥盆系铅锌矿床中的有机成矿作用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2003,28(2):201~208.  
Zhu Dicheng, Zhu Lidong, Lin Li, et al. Organic mineralization of lead-zinc deposits in Devonian system, Xicheng ore field [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2003,28(2): 201~208(in Chinese with English abstract).

- [13] 薛春纪, 蒋少涌, 李延河. 秦岭泥盆纪硅质岩硅、氧同位素地球化学研究[J]. 西安工程学院学报, 1998,20(1):10~13.  
Xie Chunji, Jiang Shaoyong, Li Yanhe. The study on silica and oxygen isotope geochemistry of Devonian cherts in Qinling [J]. Journal of Xi'an Engineering University, 1998,20 (1):10~13 (in Chinese with English abstract).
- [14] 孙省利, 高兆奎, 魏晓辉. 西成铅锌成矿带泥盆系硅质岩地质地球化学特征与热水沉积成矿[J]. 西北地质, 2000,33(2):1~7.  
Sun Shengli, Gao Zhaokui, Wei Xiaohui. The geological and geochemical characteristics of the cherts in the Xicheng and hydrothermal sedimentary ore-forming [J]. Northwest Geology, 2000,33(2):1~7(in Chinese with English abstract).
- [15] 孙省利, 曾允孚. 西成矿化集中区热水沉积岩物质来源的同位素示踪及其意义[J]. 沉积学报, 2002,20(1):41~46.  
Sun Shengli, Ceng Yongfu. Isotopic trace of material origin for hydrothermal sedimentary rocks and significance in Xicheng mineralization area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002,20(1):41~46(in Chinese with English abstract).

## Metallogenic characteristics and relationships of ore deposits in the north and south lead-zinc zones in the Xicheng area, Gansu

ZHU Xin-you<sup>1</sup>, WANG Dong-bo<sup>2</sup>, WEI Zhi-guo<sup>3</sup>, WANG Rui-ting<sup>4</sup>, QIU Xiao-pin<sup>2</sup>

(1. Beijing Institute of Geology and Mineral Resources, Beijing, 100012, China;

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China;

3. No. 106 Party, Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration, China National Nonferrous Metals Industry Corporation (CNNC), Lanzhou 730000, Gansu, China;

4. Northwest Bureau of Geology and Mineral Exploration, China National Nonferrous Metals Industry Corporation (CNNC), Xi'an 710000, Shaanxi, China)

**Abstract:** SEDEX lead-zinc deposits in the Xicheng (Xihe-Chenxian) area, Gansu, have long been divided into the reworked sedimentary type of the south ore belt and the metamorphic sedimentary type of the north ore belt. The two types show appreciable differences in host horizon, sequence of host strata and geological characteristics. Comparing the geological and geochemical characteristics of the two ore belts, the authors find that the two ore belts have much more similarities than differences. The sequence of the host strata in the Changba-Lijiagou deposit in the north ore belt is inverted, with limestone lying below and schist above, being similar to that in the south ore belt. In the Xicheng basin, there are several nearly E-W-trending lead-zinc ore belts, and the north ore belt is only one of them. The differences of the two ore belts are mostly manifested in the manner of late-stage reworking. The reworking of the Changba-Lijiagou deposit occurred in a relatively "dry and enclosed" system and thus the intact striped-banded sedimentary character may be found. By contrast, the reworking of many lead-zinc deposits in the south ore belt occurred after the in-situ ore-forming material was transported and precipitated and concentrated in a structural saddle in an "allochthonous", "wet" (through hydrothermal processes), relatively open environment, with some exotic material introduced into it. The cause for the difference in the manner of reworking is the difference in the metamorphic grades related to acid intrusive magmatism in the study area in the Indosinian period.

**Key words:** Gansu; lead-zinc deposit; reworking; metamorphism; SEDEX deposit.

**About the first author:** ZHU Xin-you, mail, born in 1965, senior engineer, mainly engages in the geological work of solid metallic mineral resources; E-mail: zhuxinyou@tom.com.