

甘肃厂坝铅锌矿床喷气沉积成因研究^{①②}

马国良 祁思敬 李英 薛春纪

(西安地质学院, 西安)

提 要 厂坝铅锌矿床矿体为层状, 具有韵律性沉积层序, 矿体内发育喷气沉积岩, 并且在矿体下盘发育特征的网脉状矿化蚀变带, 在矿体外围有富阳起石蚀变岩。这些地质特征充分说明矿床由喷气沉积作用形成。矿床的微量元素、稀土元素及硫、碳—氧和铅等稳定同位素特征表明矿床的硫和碳来源于古海水, 成矿金属来源于矿体下伏地层柱。据此, 提出了厂坝超大型矿床的形成机制。

关键词 喷气沉积型矿床 喷气沉积岩 网脉状矿化蚀变带 稳定同位素 甘肃厂坝

在秦岭南坡, 自甘肃成县向东, 经陕西的凤县、柞水县到山阳县, 分布有数以十计的大中型铅锌矿床, 构成了一个很具特色的多金属成矿带。其中的厂坝矿床已达到超大型规模, 其地质地球化学特征在成矿带中具有典型意义。本文将综合近期工作中发现的喷气沉积岩、矿体下盘网脉状矿化蚀变带的特征及矿体沉积层序, 结合稳定同位素和微量、稀土元素地球化学特征, 论证矿床的喷气沉积成因。

1 地质概况

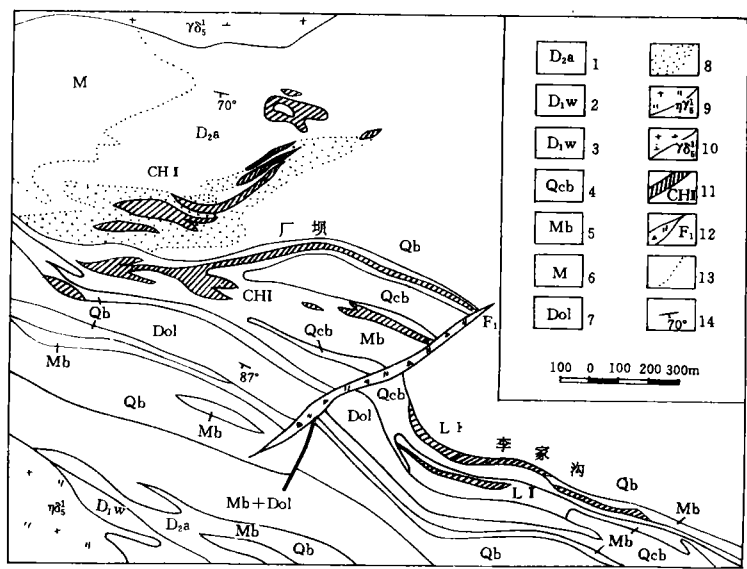
厂坝铅锌矿床位于甘肃省成县, 在天水市以南约 140Km 处。属秦岭海西造山带。矿区的构造线为近东西向, 其南、北两侧分别为人土山—江洛和黄渚关两条深大断裂。矿床位于吴家山背斜北翼东段, 地层呈总体南倾的倒转层序。主要含矿层位为中泥盆统安家岔组下部, 岩性为一套黑云石英片岩夹石英片岩和大理岩的变沉积岩系, 其原岩为具韵律构造的粉砂岩、泥质粉砂岩和石灰岩等。在矿区北部有中基—中酸性的黄渚关杂岩体。在矿区南部有厂坝黑云母花岗岩岩株。两者都晚于含矿地层的时代(Rb-Sr 等时线年龄分别为 240Ma 和 208Ma)。矿区地层总体上遭受了低级区域变质作用, 仅在岩体周围的一定范围内, 变质作用可达中级、矿区热事件研究表明, 本区从古生代到中生代一直处于高热流地带。

① 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室资助项目。

② 收稿日期: 1996. 2. 7, 改回日期: 1996. 5. 20

2 矿床喷气沉积成因的地质证据

2.1 矿体分布及主矿体的沉积层序



1. 中泥盆统安家岔组 2. 下泥盆统吴家山组 3. 黑云石英片岩 4. 黑云方解石片岩 5. 大理岩 6. 白云石大理岩 7. 白云岩 8. 石英阳起石交代岩 9. 二长花岗岩 10. 花岗闪长岩 11. 矿体及其编号 12. 断层 13. 过渡界线 14. 岩层产状。

图 1 厂坝铅锌矿床地质简图

(据西北有色公司 706 队资料修改)

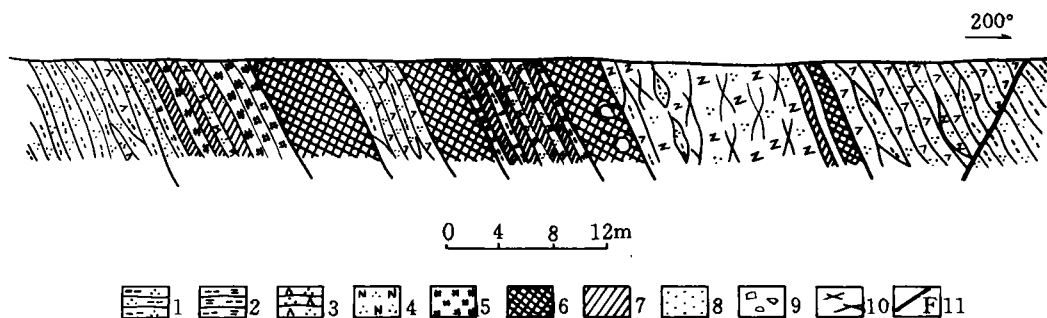
Fig.1 Sketch geological map of Changba Pb-Zn deposit

矿床包括以断层破碎带为界的厂坝和李家沟两个矿段(图 1),每个矿段各有 4~5 个含矿层位,每个层位又有若干个矿体。已发现的百余个矿体中有 20 余个重要工业矿体,以与围岩整合的层状、似层状或透镜状,集中赋存于近 500m 厚的地层柱中。含矿地层柱下部主要为大理岩,上部为黑云石英片岩和石英片岩。主矿体集中于含矿地层柱的中下部,最大的为赋存于黑云石英片岩中的厂坝Ⅱ矿体,其次为赋存于大理岩中的李家沟Ⅰ矿体,两者的金属储量占矿区总金属储量的 93%。厂坝Ⅱ矿体长 400m,平均厚 20m,最厚 41m,延深达 500m。Zn 和 Pb 的平均品位分别为 12.15%和 2.9%。

矿石矿物组成简单,金属矿物主要为闪锌矿和黄铁矿,次为方铅矿,有少量磁黄铁矿、毒

砂、硫锑铅矿和黄铜矿。非金属矿物主要为石英、方解石、钠长石和重晶石,次为黑云母、白云母、阳起石和绿帘石。矿石主要为条带状和块状构造,次为浸染状构造。矿石的条带状构造表现为富黄铁矿和贫黄铁矿的闪锌矿条带相间,或金属硫化物条带与围岩或喷气沉积岩条带相间,条带之间界线截然(照片 1)。矿石结构主要为斑状变晶结构和细微粒变晶结构。

主矿体周围,特别是矿体下盘,发育阳起石化和绿帘石化岩石。矿石的矿物成分和结构构造从矿体的底部到顶部成规律性变化。一般矿体中下部为块状矿石,富黄铁矿、闪锌矿、钠长石和石英;上部为条带状、浸染状和层纹状矿石,富闪锌矿、重晶石和方解石。厂坝矿区含矿层可以看做由数个这种韵律组成。厂坝Ⅱ矿体由底到顶的变化为:石英阳起石交代岩→网脉状矿化蚀变岩→含蚀变岩角砾的块状黄铁矿—闪锌矿矿石和黄铁矿矿石→与石英钠长石岩相间的条带状黄铁矿—闪锌矿矿石→与重晶石岩相间的条带状闪锌矿矿石→层纹状和浸染状闪锌矿矿石。矿石的整合产状和条带状构造,指示矿床为沉积形式,而每一韵律代表了成矿作用由强到弱的旋回性演化。矿石韵律之间的黑云石英片岩表明矿质沉积与正常沉积之间互为消长的关系。



1. 黑云石英片岩 2. 二云母片岩 3. 石英阳起石交代岩 4. 石英钠长石岩 5. 重晶石岩 6. 块状矿石 7. 条带状矿石 8. 浸染状矿石 9. 石英阳起石交代岩角砾 10. 黄铁矿和闪锌矿细网脉 11. 断层

图 2 厂坝Ⅱ矿体 1358—1346 台阶剖面素描图

Fig. 2 Sketch section of the 1358~1346 step of Changba orebody No 2

2.2 主矿体围岩蚀变特征

矿体的围岩蚀变分为两种类型:矿体外围的灰绿色浸染状矿化蚀变带和直接位于层状矿体下盘的灰色网脉状矿化蚀变带。

2.2.1 层状矿体下盘网脉状矿化蚀变带

在厂坝Ⅱ矿体下盘,我们发现了一个典型的网脉状矿化蚀变带。露天采场 1370m 台阶以上,该带仅少量出露。而在 1346m 台阶以下,其出露宽度可达 30M。网脉带由金属硫化物网脉和蚀变岩两部分组成。硫化物网脉的矿物组成主要为黄铁矿、闪锌矿和石英,次为方铅矿、黑云

母、方解石和重晶石,矿物粒度 0.2~0.5mm。依所含主要金属矿物可进一步将其分为黄铁矿网脉和闪锌矿网脉,宽度分别为 0.2~5cm 和 0.5~10cm。蚀变岩石为灰色、灰白色的块状石英钠长石岩。其被金属硫化物网状脉分割成菱形、长方形的块体,并在后期挤压变形的影响下,成为一系列趋于平行排列的透镜体(照片 2)。透镜体大小不等,一般长 20cm,宽 4cm。岩石主要由钠长石和石英组成,钠长石含量 30%~90%,粒度 0.05mm,少数具有卡钠复合双晶,含 CaO 极低,不含 K₂O,属斜长石岩系列的钠长石端员(表 1)。岩石的化学成分富 Na₂O、Al₂O₃ 和 SiO₂,贫 CaO、K₂O、MgO、MnO、Fe₂O₃ 和 FeO。局部可见灰白色石英钠长石岩透镜体中有灰黑色黑云石英片岩的交代残留体(照片 3),其形态与蚀变岩透镜体的形态一致,表明交代作用与网脉状矿化是同时的。

表 1 钠长石的化学成分(wt%)

Table 1 The chemical composition of albite (wt%)

样号	产 状	化学成分(%)							化学式
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	
P—6	网脉带中石英钠长石交代岩	68.88	20.95	0.00	0.00	0.00	11.48	0.00	Na _{0.97} Al _{1.08} Si _{2.95} O ₈
P—7	网脉带中石英钠长石交代岩	68.67	20.19	0.00	0.05	0.00	11.94	0.00	Na _{1.00} Al _{1.03} Si _{2.98} O ₈
Z—38	条带状石英钠长石岩	69.82	19.62	0.00	0.00	0.06	11.30	0.00	Na _{0.94} Al _{1.00} Si _{3.01} O ₈
Z—41	条带状石英钠长石岩	69.39	18.30	0.00	0.00	0.02	12.29	0.02	Na _{1.04} Al _{0.93} Si _{3.04} O ₈

电子探针分析由中国科学院矿床地球化学开放实验室完成

在网脉带中除金属硫化物网脉外,还见到少量白色—灰白色的重晶石网脉(照片 4)。脉宽 1~3cm,矿物成份主要为重晶石,有少量钠长石和石英。其中重晶石成不规则粒状,粒度 0.2mm 左右。网脉状矿化蚀变带的矿物成分与层状矿体各部分矿物成分相似,指示两者为同一成矿过程的不同表现形式。成矿流体在喷口附近交代围岩形成网脉状矿化蚀变带;同时,喷流出的成矿流体在海底沉淀出层状硫化物矿体和喷气沉积岩。晶石较多时,钠长石和石英的粒度明显增大,可达 0.5mm。石英钠长石岩与硫化物矿石条带互层,并稳定延伸,岩石的主要构造为层纹状构造,表现为宽 0.5mm~5mm 钠长石和少量黝帘石构成的层纹与石英构成的层纹相间。另外还常见同沉积变形构造和粒序构造。石英钠长石岩的矿物组合比较稳定,没有交代残余构造及对称条带状构造等交代特征,且该岩石只限于矿体中。石英钠长石岩的这些特征排除了其为热液交代的可能性,而指示其为沉积作用形成。此外,岩石的成分与网脉带中蚀变形成的石英钠长石岩成分一致,指示两者具有共同的来源,是富 Na、Al 和 Si 的热液分别沉积和交代围岩形成。因此,条带状石英钠长石岩为喷气沉积岩。这类岩石在东秦岭的银洞子和桐木沟等铅锌矿床也很发育,构成秦岭泥盆系 Pb-Zn 矿床的典型性特征之一。

灰白色、白色的重晶石岩以整合的层状产于矿体上部,层厚 5~50cm 等粒结构,块状构造。其构成矿物除重晶石外,还常有较多的钠长石、石英、阳起石和金属硫化物等。岩石中含重晶石 30%~90%,他形粒状,粒度为 0.1~0.5mm,聚片双晶和解理发育,有时晶体沿层理方向

有一定拉长、颗粒边界不规则,多成齿状。其化学成分中含锶、钙极低。石英含量5%~30%,不规则粒状,粒度明显小于重晶石,为0.05~0.1mm,颗粒边界不平直。闪锌矿(0~20%)和黄铁矿(0~10%)成粒状浸染分布于岩石中,粒度0.1mm左右,有时可见闪锌矿和黄铁矿在重晶石岩中相对聚集成层纹。重晶石岩的层状、层纹状构造表明其为同生沉积形成,考虑到网脉带中有热液交代形成的网脉状重晶石岩,并且条带状重晶石岩中含浸染状金属硫化物及钠长石,认为其与矿石及条带状石英钠长石岩成因相同,也是喷气沉积作用形成的。

3 矿床喷气沉积成因的地球化学证据

3.1 微量元素及稀土元素特征

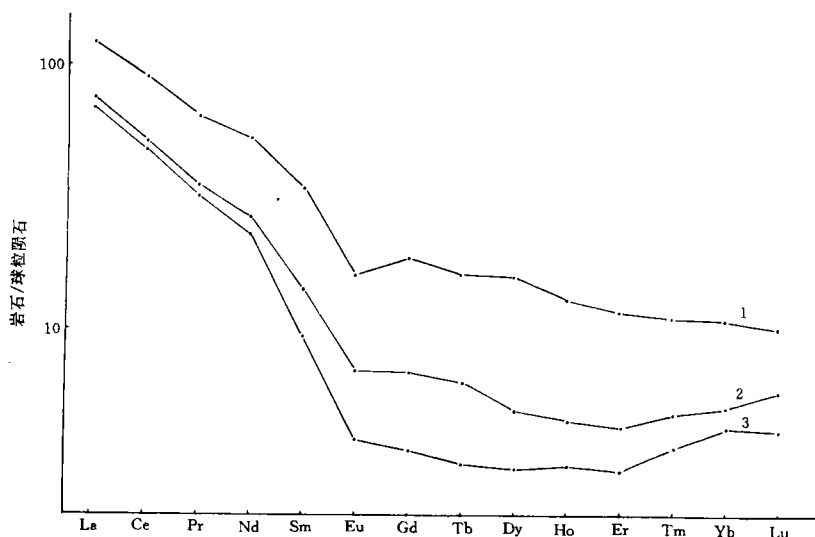
成矿元素Pb、Zn、Cu及与成矿关系密切的Hg、Sb、Ag和Au等在含矿岩系的黑云石英片岩和大理岩中的含量接近造山带相应岩石微量元素含量的平均值,甚至在矿体附近岩石中成矿元素的含量也无显著浓集。因此,含矿地层不是矿源层。金属硫化物的堆集只是在相对短的时间内迭加在正常沉积之上,而没有干扰正常的沉积过程。条带状的石英钠长石岩和重晶石岩中,常含有浸染状的或层纹状的金属硫化物,所以其中的成矿元素及其相关元素的含量较高,且所含的典型喷气元素B和As的含量比正常沉积岩高出几倍到几十倍。另外,闪锌矿中Cd为0.1%, $Zn/Cd \gg 300$,黄铁矿中Co含量小于 100×10^{-6} , Co/Ni 为0.2~0.8,也指示金属硫化物为同生沉积形成。

以ICP方法分析了矿床中正常沉积变质的黑云石英片岩、网脉状矿化蚀变带中的石英钠长石交代岩和条带状石英钠长石岩的稀土元素组成。由图3可见,正常沉积岩、交代岩积喷气沉积岩的稀土配分型是相似的,Eu的异常程度也基本一致,但稀土总量有较大差异。由正常沉积岩、交代岩到喷气沉积岩的 ΣREE 分别为 186.9×10^{-6} 、 124.8×10^{-6} 和 106.3×10^{-6} ,配分曲线也越来越陡倾。这些岩石的稀土配分型与北美页岩的基本一致,表明热液中稀土元素的来源是其所流经地层柱中稀土元素的均一化,与页岩的稀土元素来源一致。但由于粘土矿物富含稀土元素,所以喷气沉积岩的稀土元素总量不及正常沉积岩的高,而网脉带中的交代岩受热液和原岩稀土组成的共同影响,其稀土元素组成特征介于喷气沉积岩与原岩之间。

3.2 稳定同位素特征

矿石中金属硫化物的硫同位素组成绝大多数为正值,且变化幅度较大。硫化物之间为平衡共生结构,并有 $\delta^{34}S_{PY} > \delta^{34}S_{SP} > \delta^{34}S_{GA}$ 的特点,因此硫化物基本上达到了硫同位素平衡。20个闪锌矿的硫同位素组成为 $+11\text{‰} \sim +22\text{‰}$ (CD),30个黄铁矿为 $+8\text{‰} \sim +28\text{‰}$,19个方铅矿为 $-2\text{‰} \sim +22\text{‰}$ 。每一种金属硫化物的 $\delta^{34}S$ 值具有正态分布特征,说明成矿过程以一种成矿作用为主,其它成因的硫的混入是不重要的。利用共生矿物对计算出系统总硫值为 $+22\text{‰} \sim +25\text{‰}$,稍轻于泥盆纪海水硫酸盐的硫同位素组成,表明其来源于海水硫酸盐在较高温度的无机还原。四个重晶石的 $\delta^{34}S$ 为 $+22\text{‰} \sim +32\text{‰}$,指示其硫直接来源于泥盆纪海水。

对于矿石和条带状石英钠长石岩中7个方解石的碳—氧同位素组成进行了测定,结果



1. 黑云石英片岩 2. 网脉带中石英钠长石交代岩 3. 条带状石英钠长石岩

图3 厂坝矿床中岩石的稀土元素配分型

Fig. 3 Chondrite—normalized REE patterns of rocks from Changba ore deposit

$\delta^{13}\text{C}$ 为 $+0.39\text{‰} \sim +2.87\text{‰}$ (PDB), $\delta^{18}\text{O}$ 为 $+16.75\text{‰} \sim +22.23\text{‰}$ (SMOW)。而邻近矿体的8个大理岩样的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 分别为 $-1.79\text{‰} \sim +4.51\text{‰}$ 和 $+16.30\text{‰} \sim +22.98\text{‰}$ 。由此可见, 两者的碳—氧同位素组成非常接近, 表明成矿热液中的碳和氧来源于海相碳酸盐矿物。

矿床的铅同位素组成具有两个明显特征。其一是具有均一性, 10个方铅矿和黄铁矿的铅同位素组成一致, 且与矿区重熔型的黄渚关杂岩体的铅同位素组成一致, 暗示两者具有相同的铅来源。其二, 在多伊(Doe, 1974)的显生宙铅同位素演化图解中, 矿石铅投于造山带演化曲线附近(图4), 相当于古生代远洋沉积物。且用H—H法求得其模式年龄为386~404Ma, 老于含矿岩系的年龄, 相当于矿体下伏地层的年龄。考虑远洋沉积物是由地表不同岩石风化形成的粘土矿物均匀混合沉积的产物, 黄渚关杂岩体也是下伏岩层重熔形成, 推想本矿床矿石铅的组成是由于热液淋滤矿体下伏地层柱中不同岩石发生均匀混合的结果。

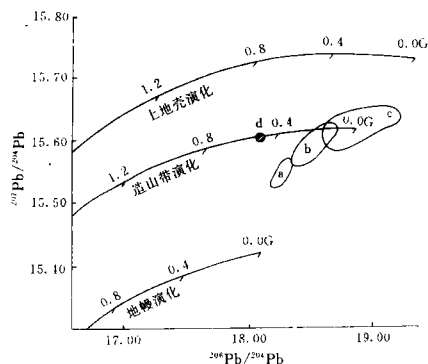
4 讨论

4.1 厂坝铅锌矿床的喷气沉积成因

厂坝矿床矿体为整合层状,且矿石组构和矿物组合从矿体底部到顶部呈韵律性变化,表明矿床为同生沉积成因。矿体中喷气沉积岩的确定,矿体外围以阳起石为主的蚀变岩,特别是矿体下盘网脉状矿化蚀变带的发现,进一步说明矿质是从热液中沉积出来的、矿床为典型的喷气沉积矿床。硫和碳—氧同位素特征表明其分别来源于海水硫酸盐和海水碳酸盐。铅同位素组成和稀土元素特征指示成矿元素来源于矿体下伏的巨厚地层柱。由于下伏地层柱中没有膏盐层,因此推断成矿流体以下渗海水为主。据此,矿床的形成机制为:区域地热异常导致裂谷型断陷盆地的形成,同时引起海水的下渗对流,并淋滤流经地层形成含热卤水。当热液喷流出海底时,在海底沉积出层状矿体,同时交代充填喷口附近的岩石,形成网脉状矿化蚀变带。这种作用在较长时间内反复发生,从而形成厂坝巨厚的具韵律沉积特征的层状矿体。

4.2 超大型矿床的形成

本矿床是秦岭多金属成矿带中唯一的一个超大型矿床。其矿体规模大,矿石品位高,说明喷气沉积成矿作用的强度非常大。另外,标志热液喷口的网脉状矿化蚀变带与层状矿体共存,说明矿质喷流到海底后没有发生长距离迁移,避免了矿质的散失。与其它矿床相比厂坝矿床突出的特点是:本区热异常持续、稳定地作用,使得热液系统发育完全,形成完整的旋回。因此,热液系统的释放既有代表早期突发性喷流特征的含围岩角砾的块状矿石,又有代表中后期持续稳定沉积的条带状矿石,分别与陕西桐木沟矿床及柞水银洞子矿床特征一致。但这后两个矿床由于热液系统发育不完全,仅形成中型 Pb-Zn 矿床。不仅如此,厂坝矿床由多个自下而上的块状矿石、条带状矿石、正常沉积岩石的沉积旋回组成,表明厂坝海底热液喷气沉积成矿作用不仅持续时间长、矿化强度高,而且没有发生沉积空间的转移。由于以上的有利因素,形成了厂坝这一超大型铅锌矿床。



a. 东太平洋洋脊含金属沉积物 b. 黑矿 c. 远洋沉积物 d. 厂坝矿床

图4 矿石铅同位素组成图解(据 Doe, 1974)

Fig. 4 The lead isotope composition of ore

参考文献

- 1 李英,任名华. 秦岭热水沉积地带热状态的变迁与喷流成矿热液探索. 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室年报, 1990: 15~20

- 2 祁恩敬,李英等. 秦岭泥盆系铅锌成矿带. 北京:地质出版社,1993
- 3 Large D. E. 沉积岩中的海底喷出矿床—地质特征和成因评述. 层控矿床与层状矿床. 北京:地质出版社,1981
- 4 Barnes H. L. 热液矿床地球化学. 北京:地质出版社,1979
- 5 Sangster D. F. Short course in sedimentary-hosted stratiform lead-zinc deposits, Springer, N. Y. 1983
- 6 Hoefs J. Stable isotope geochemistry 3rd edition Springer, Berlin, 1983

A STUDY OF THE EXHALATIVE ORIGIN OF THE CHANGBA LEAD-ZINC DEPOSIT, GANSU PROVINCE

Ma Guoliang Qi Sijing Li Ying Xue Chunji

(Xi'an College of Geology, Xi'an 710054)

Abstract

Changba Pb-Zn deposit, located in Cheng County, Gansu Province, is the only superlarge ore deposit in the Devonian polymetallic mineralization belt in the Qinling Ranges. The stratiform orebodies show Characteristics of rhythmic sedimentation, varying upward from massive, banding to laminated structure. In the orebodies, there are such sedimentary exhalative rocks as quartz albitite and baritic rock interbedded with banded metallic sulfide ore. At the footwall of the orebody was found a typical network mineralized alteration zone which is composed of lenticular quartz albitite and sulfide networks. Around the orebodies, especially in the rocks underlying the orebodies, there are also actinolite-dominated altered rocks which are more extensive than the network zone. These characteristics fully demonstrate that the ore deposit was formed through sedimentary exhalation. In addition, the S and C-O isotopic composition shows that the S and C of the ore came from the sea sulfate and carbonate respectively. And the REE distributive pattern and Pb isotope composition indicate that the metal elements of the ore were derived from the strata column underlying the orebodies.

Based on these geological and geochemical characteristics, the following metallogenic mechanism is suggested. The heat anomaly in Changba area caused the sea water to seek downward and formed a convection cell. During its convection, the heated sea water leached the metal elements out of the strata it passed through to form ore-bearing fluid. When the fluid exhaled to the sea floor, it deposited sulfides and felsic minerals to form ore bed and sedimentary exhalative rocks respectively. At the same time, the fluid replaced the rocks around the outlet to form the network mineralized alteration zone and the actinolite-dominated altered rock. Because this process occurred periodically within a relatively short time and there were no geologic process to ruin the formed orebodies, Changba became a superlarge exhalative ore deposit.



照片1 灰白色石英钠长石岩条带与原褐色闪锌矿—黄铁矿条带互层



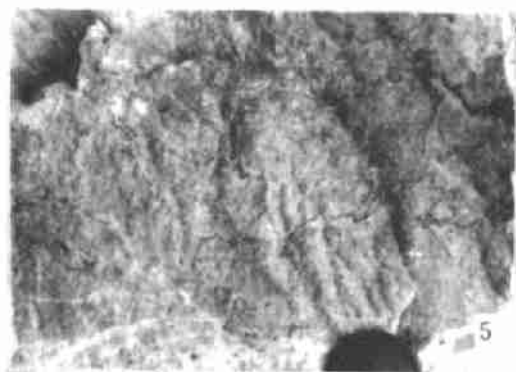
照片2 网脉带中灰白色石英钠长石交代岩透镜体之间为褐色闪锌矿网脉



照片3 网脉带中灰白色石英钠长石交代岩内有灰黑色黑云石英片岩的交代残余



照片4 白色重晶石网脉状灰白色石英钠长石交代岩分割成不规则状



照片5 灰绿色蠕虫状构造的石英阳起石交代岩



照片6 条带状石英钠长石岩中以钠长石为主的层纹(灰色)与以石英为主的层纹(白色)互层。(一)×40