

砂砾岩型铅锌矿床的地质特征、 时空展布规律及形成机制

张 乾

(中国科学院地球化学研究所)

讨论了砂砾岩型铅锌矿床的形成环境及其地质特征; 概述了该类矿床的成矿时代及其空间分布规律; 分析了矿床成因的地下水搬运模式、热卤水成矿模式等; 建议在古生代以前的古陆边缘及不整合面之上寻找海相砂砾岩型矿床, 在中生代以后的内陆盆地边缘的碎屑岩建造中寻找陆相砂砾岩型矿床。

关键词: 砂砾岩型铅锌矿床; 地质特征; 分布规律; 矿床成因

砂砾岩型铅锌矿床是产于海相或陆相砂岩和砾岩中的铅锌矿床。这类矿床在世界许多国家都有分布, 近年来已引起矿床学家的注意。和其他类型矿床相比, 砂砾岩型铅锌矿床数量少, 经济意义不大, 不是世界重要的铅锌来源, 但在一些国家却占有相当重要的地位。如瑞典75%、法国13%的铅都来自该类矿床。一些著名的砂砾岩型铅矿床, 如瑞典的拉伊斯瓦尔 (Laisvall)、法国的拉让蒂埃 (Largentier) 等早已为人们所熟知。在我国, 目前发现的砂砾岩型铅锌矿床数量不多, 分布不广, 因而过去的教科书及文献中没有单独论述和分类。涂光炽教授考虑到国内外这类矿床的实际情况, 在铅锌矿床成因分类中划分出了砂砾岩型矿床^①。但这类矿床作为单独的成因类型, 研究程度较低。本文试图从砂砾岩型铅锌矿床的地质及地球化学特征出发, 探讨它们的时空分布规律及其形成机制, 旨在为找寻更多的该类型铅锌矿床提供线索。

地质及地球化学特征

一、国内矿床的例子

国内已发现的砂砾岩型铅锌矿床有云南金顶、广西保安、新疆乌拉根和云南普雄砂铅矿。

1. 金顶砂砾岩型铅锌矿床 是我国本类矿床中储量最大的一个。矿床位于滇西澜沧江大断裂与金沙江—哀牢山大断裂之间、兰坪—思茅拗陷北部、中—新生代内陆断陷盆地边缘。盆地外有前寒武纪变质岩系及古生代地层分布, 盆地内堆积中、新生代海相、海陆交互相及陆相地层。按时代顺序从下往上有三叠系上统三合洞组 (T_{3s}) 和麦初青组 (T_{3m}) 砂岩、细砂岩、泥岩和灰岩; 侏罗系 (J_2h) 紫红色泥岩、砂岩、石膏质灰岩及杂色泥质粉砂岩; 白垩系下统景星组 (k_{1j}) 石英砂岩、含砾细砂岩、灰岩及石膏层; 第三系云龙组 (E_{ya}) 紫红色厚层细砂岩夹薄层灰岩角砾岩, E_{yb_1} 深灰至紫色灰岩角砾岩, E_{yb_2} 灰—紫色灰岩角砾岩、钙屑砂岩。矿区内部, 中生代地层推覆倒转于云龙组地层之上, 前者称外来系统地层, 后

① 涂光炽等: 中国的铅锌矿床, 1985年。

者称原地系统地层，其间以逆掩断层(F₂)接触(图1)。铅锌矿体产于下白垩统景星组与第三系云龙组(Ey)两套地层之间的构造接触面上下的K_{1j1}、K_{1j2}、Ey_{b1}和Ey_{b2}四个岩带内。前两个岩带称上含矿带，后两个岩带称下含矿带。

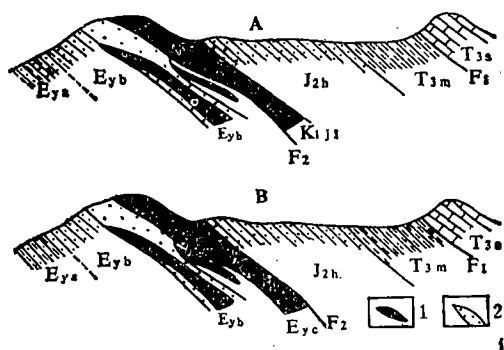


图1 金顶铅锌矿床12线剖面图

T_{3s}—白垩质灰岩；T_{3m}—细砂岩、泥岩；J_{2h}—砂岩；K_{1j1}、Eyc—石英砂岩、细砂岩；Eyb—含砾细砂岩；Eya—细砂岩、泥岩；1—铅锌矿体，2—表外矿体

上含矿带地层是否属景星组地层，长期以来一直争论不休。根据笔者观察，F₂断层两侧岩(矿)石中均未见到断层推覆形成的各种显微构造，倒是在J_{2h}与K_{1j}接触面附近有所发现，加之Ey_b与K_{1j}呈平行整合关系，K_{1j}中的灰岩角砾与Ey_b中相同，区域上K_{1j}中很少有灰岩角砾。据此，笔者认为K_{1j}应属第三系云龙组的上部层位(Eyc)，而F₂位于Eyc与J_{2h}之间，矿化发生在Ey_b及Eyc即云龙组地层中(图1B)。白嘉芬等人通过对该矿床的地质特征和成因的研究^[1]，朱上庆等人对含矿地层沉积环境的研究^[2]，也都得出了同样的结论。

Eyc砂岩全岩矿化形成砂岩型矿体，矿体大而富。Ey_b岩相变化大，矿区东部为角砾岩块带，灰岩角砾矿化，矿体成群出现，形成灰岩角砾岩型矿体。西部过渡为碎屑沉积的灰岩、细屑砂岩、含角砾细砂岩，矿质充填于砂粒孔隙中，形成砂岩型矿体。矿矿都呈层状顺层产生。

矿石物质组成简单，主要金属矿物为闪锌矿、方铅矿，次有黄铁矿、天青石等。天青石有时单独形成矿体。除Pb、Zn外，尚有Cd、Sr、Ag、Tl可综合利用。岩石、矿石含有机质，肉眼可见沥青。经分析，含矿岩石含有机炭0.05~0.5%，沥青0.01~0.2%，并含有0.01~0.3%未与金属结合的二价硫。矿石构造有条带状、层纹状、浸染状、块状等，黄铁矿、闪锌矿的胶状、环状、草莓状、球状构造；方铅矿的细粒隐晶质及胶结状结构和灰岩角砾中的交代溶蚀结构，都是特征的矿石组构。

硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值均为负值，28个样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 在-6.78~-28.2‰之间，反映陆相有机质分解硫的特征。矿石铅同位素为混合铅，模式年龄集中分布于0.2~0.85亿年之间，大致与地层沉积年代相当或稍晚。还有一组年龄在1~2亿年之间，与区内中生代地层年代相当。由此推断，铅来自两个不同的演化体系，其一为盆地周围地层中的铅经风化、搬运、重新沉积于盆地边坡云龙组砂砾岩中；其二为沉积物中的水及地下水沿断层和在沉积物中活动形成热卤水，滤取中生代地层中的铅，并带入盆地边缘，与生物成因的硫结合成方铅矿，这一结论与施加辛等人的热卤水再造成因相吻合^③。

2. 保安砾岩型铅矿床 为产于滨浅海相底砾岩层中的砾岩型铅矿床。矿床位于江南古陆西南边缘。区内地层主要为寒武系与泥盆系下统莲花山组，前者由浅变质砂岩、页岩、板岩及薄层灰岩组成；后者下部为底砾岩层，与寒武系地层呈角度不整合接触，厚0~12米，砾石一般3~6厘米，主要有石英、燧石、石英砂岩，少量长石、炭质等，底部较粗，往上变细。砾石胶结物主要为硅

② 朱上庆等：金顶铅锌矿床含矿地层的沉积相分析及沉积岩相的控矿作用，1982年。

③ 施加辛等：金顶铅锌矿床的岩矿特征及热卤水再造成因探讨，1982年。

质。底砾岩层呈南北向展布，出露 10 余公里，由南向北砾石变小变少，厚度变薄直至尖灭。砾岩层之上为绢云母石英砂岩和紫红色砂岩。再上为中泥盆统灰岩。

铅矿体产于不整合面之上 0~12 米厚的砾岩层中，砾岩层上下地层中无矿化。金属矿物呈砾石间的胶结物出现，矿体呈层状、大的透镜状，产状稳定，与砾岩层完全一致。

矿床包括银厂、沙江、长沟三个矿段。矿化地段长达数千米。主要金属矿物为方铅矿，闪锌矿和黄铁矿量少。脉石矿物为砾石及其胶结物，主要为硅质、泥质及少量有机质。方铅矿常呈隐晶质结构，颗粒细小，肉眼难以辨别晶形；黄铁矿常呈草莓状、球状等形态。矿石主要为致密块状，次有条带状、层纹状、浸染状等。区内无岩紫岩出露，无明显的蚀变现象，石英细脉顺层产出。其本身不含矿，但脉旁矿化较好。

据史周同资料^①，区内寒武纪砂岩含铅 145ppm，泥盆系底砾岩含铅 332ppm，砾岩层之上的砂岩含铅 61ppm。推断铅最初来自寒武纪地层，铅从基底地层经风化释放出，海侵早期又在泥盆纪砾岩层中富集成矿。方铅矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值均为正值，变化范围为 +6~+18‰，证明硫来源于海水硫酸盐的分解。

区域莲花山组砾岩中，除保安矿床外，还有一些铅矿点和含铜砾岩、含铜砂岩型矿体产出。

3. 云南普雄砂铅矿床 与氧化带型矿床如会泽、个旧等不同，它是原生矿体或含矿的基底岩石风化破坏后，经短距离搬运重新沉积成矿的。

矿床形成于低纬度（低于北纬 24°）地区的潮湿炎热气候条件下，赋存于第四纪残、坡积层及洪积层中。矿床规模虽不大，但可作为近代陆相砂岩型铅矿的一个范例，对研究古老砂砾岩型铅锌矿床的形成有一定帮助。

区内基底岩石为花岗岩和三叠纪石灰岩，二者的接触带上有金属矿脉存在，规模不大，无利用价值，灰岩、花岗岩皆含矿。赋矿岩层主要为残坡积、洪积的砂、粘土层，以红、紫、褐色为主，为氧化环境的产物。矿体分布于原生矿体矿化岩石外围数公里范围内，向远处贫化尖灭，以坡积层中部最富。矿体形态随地形而异，一般呈层状、透镜状及不规则的喀斯特漏斗状(图2)。矿物以白铅矿、铅矾为主，次有彩铅矿、黄铁矿及残余的方铅矿、锡石等。矿石普遍含锰结核，很少有含锌矿物，说明锌已全部流失。脉石矿物主要为石英、粘土及基底花岗岩、灰岩碎块。

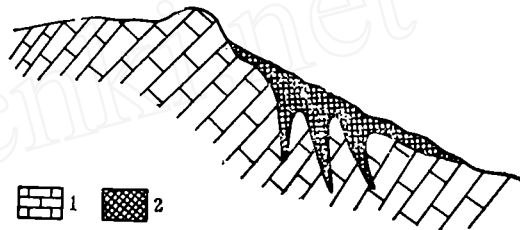


图 2 普雄矿区 7 线砂铅矿床示意图

1—三叠纪灰岩；2—矿体

另外，新疆乌拉根矿床也应属砂砾岩型铅锌矿床。矿床位于南天山中—新生代山前拗陷中，赋矿层位为上白垩统和老第三系底部地层，前者岩性为灰白色砂岩夹圆砾岩和粘土；后者岩性为白云岩、角砾岩夹石膏（据新疆冶金 702 队，1962）。也有人认为赋矿地层为石炭系^②。区内白垩系地层角度不整合于古老变质岩基底之上，为一套山前拗陷带沉积的滨浅海相地层。

下部矿体产于砂岩、砾岩中，往上产于

① 史周同：广西保安层控砾岩型铅矿的地质特征，1982 年。

② 彭守晋等：新疆喀什地区铅锌矿地质特征及成因探讨，1982 年。

表 1

国外一些砂砾岩型铅锌的主要特征

矿床名称	大地构造位置	形成时代	基底岩石	赋矿地层特征	矿体形态	矿物组成	矿石结构	同位素特征 $\delta^{34}\text{S}$	资料来源
乔治湖 (加拿大)		中元古代	太古代硅 铝质变质岩	产于沃拉斯顿组变质长石英砂岩和砾岩中, 空 间上紧靠太古代构造窗分布	层状、 透镜状	闪锌矿为 主, 次有方铅 矿、黄铁矿等	浸染状、 块状	0~8‰	D.F.Sangs- ter (1984)
拉伊苏瓦尔 (瑞典)	波罗的地盾 西部边缘海 地部区	早寒武世	元古代花 岗岩	晚太古代—早寒武世浅海砂岩, 下部为泻湖砂 岩, 25米, 中部为潮汐砂岩, 7米, 上部为海湾、 泻湖通道砂岩, 11米, 下部和上部砂岩为主要含矿 层	层状	方铅矿、闪 锌矿, 次有黄 铁矿、白铁 矿、重晶石等	浸染状、 块状、 草莓状	+18.3~ +27.4‰	[2~5]
瓦斯博 (瑞典)		早寒武世	元古代石 英斑岩	潮汐、滨海环境的粗砂岩, 厚15米, 其上为4~ 15米厚的粗粒石英砂, 铅矿化很富	层状	方铅矿为 主, 闪锌矿、 黄铁矿较少	浸染状、 条带状、 胶结状	[6]	
奥森 (挪威)		早寒武世	中元古代 花岗岩	底部为海湾环境的石英砂岩, 厚1~4米, 硅、钙 质胶结, 为主要含矿层, 向上为暗色细砂岩, 含矿 差, 再上为粉砂岩和页岩, 不含矿	层状	方铅矿为 主, 次有闪锌 矿、重晶石、 黄铁矿	浸染状、 条带状		
拉让蒂埃 (法国)	中央地块东 南部三叠纪盆 地边缘	T	海西期花 岗岩、变质 岩	基底岩石铅含量高。含矿层为三叠纪长石砂岩和 少部分砾岩, 底部为长石砂岩、砾岩, 中部为粉砂 岩, 上部为泥岩	层状	方铅矿>闪 锌矿, 次有黄 铁矿、硫酸 物等	块状、 条带状、 层纹状	+5~ -22‰	[8~9]
梅歇尔尼 希、毛巴赫 (德国)	艾弗尔山脉 北缘本德森施 泰因盆地边缘	T	早古生代 和泥盆纪浅 变质岩	含矿层为三叠纪盆地红色建造, 红色层与浅色层 互层, 均为砂岩和砾岩, 矿床产于浅色层中, 红色 层中无矿	层状、 透镜状	方铅矿、白 铅矿、闪 锌矿、黄铁 矿、重晶石等	块状、 浸染状、 条带状、 层纹状	-10~ -40‰	D. F. Sargster (1984)
布塞拉姆 (摩洛哥)	塞诺曼盆地 南缘	J ₁	古生代片 岩	上侏罗统河流相沉积, 下部为灰色、白色砂岩和 砾岩, 厚20~50米, 上部为红色泥质砂岩夹灰岩, 矿化见于下部砾岩和白色砂岩中	层状、 透镜状	方铅矿、黄 铁矿, 伴有闪 锌矿、菱锌 矿、重晶石等	层状、 条带状、 云母状	-8~ -30‰	[10]
克鲁苏 (加蓬)	加蓬盆地东 部边缘	J ₁	前寒武纪 变质岩	早侏罗世河流相角砾岩、砾岩、长石砂岩、黑色 富有机质粉砂岩, 矿化见于舌状凹地中的砂岩和粉 砂岩中, 砾岩不含矿	层状、 团块状	方铅矿、黄 铁矿, 伴有闪 锌矿、菱锌 矿、重晶石等	浸染状、 云团状、 层纹状、 条带状		

白云岩及砾岩中。矿体均呈层状，除方铅矿、闪锌矿外，常含较多的黄铁矿和氧化矿物，天青石、石膏不但出现于矿体中，有时能单独形成矿体。区内无岩浆岩出露，构造控矿也不明显，50~60年代认为属热液成因，笔者认为应为沉积—热卤水改造形成的砂砾岩型矿床。

二、国外矿床的例子

国外砂砾岩型铅锌矿床主要分布于瑞典、法国、德国、挪威、加拿大、摩洛哥、加蓬等。现将其中一些矿床的主要特征列于表1。

三、砂砾岩型铅锌矿床的一般特征

由前面的叙述可知，砂砾岩型铅锌矿床按照赋矿围岩可分为海相和陆相两个亚类。含矿岩系若为海相，矿床常赋存于不整合面上海侵序列的开始，即不整合面之上不远的地方。如保安、乌拉根、拉伊斯瓦尔等矿床。含矿岩系若为陆相，常是内陆红色盆地的河流相、三角洲相及第四纪残、坡积、洪积层，如金顶、拉让蒂埃、布塞拉姆、普雄等矿床。海相砂岩的成熟度比陆相高。

一般来说，这类矿床矿体和地层产状一致，多为层状、似层状及大的透镜状。矿石物质组成简单，矿物单一，矿石富铅低锌、低镍（个别除外），黄铁矿较少，常形成以

铅为主的单铅矿床。矿石组构具明显的沉积特征，围岩蚀变微弱或无，成矿温度较低。矿石具分散的硫同位素组成，产于陆相地层中者 $\delta^{34}\text{S}$ 为负值，而海相地层中者多为正值，并且分布范围较宽。铅同位素可以是正常铅、异常铅或混合铅。矿体和赋矿地层多属同期沉积产物，后来又经受了不同程度的改造或变质。产于第四纪残、坡积层中的砂铅矿，成分更为单一，矿体完全受坡积层、溶洞等地形控制。主要矿物为铅的氧化物和风化残余的方铅矿。

时空展布规律

一、砂砾岩型铅锌矿床的时间分布特征

从国内外砂砾岩型铅锌矿床的形成时代（表2）来看，国外一些主要砂砾岩型铅锌矿床的形成时代有中元古代（加拿大萨斯喀彻温地区的乔治湖矿床）、晚元古代—早寒武世（瑞典的拉伊斯瓦尔、瓦斯博，挪威的奥森矿床）、石炭纪（加拿大的亚瓦矿床）、三叠纪（法国的拉让蒂埃、德国的梅歇尔尼希、毛巴赫）、白垩纪（摩洛哥的布塞拉姆、加蓬的克鲁苏矿床）。国内砂砾岩型铅锌矿床形成于晚古生代早期（保安）、中生代晚期—新生代早期（金顶、乌拉根），其他时代未发现有价值的矿床，虽然在云南发

国内外一些砂砾岩型铅锌矿床的形成时代

表 2

矿 床	形 成 时 代	沉 积 环 境
普 雄	第 四 纪	陆 相
金顶、乌拉根	白垩纪—第三纪	河流相（乌拉根为浅海相）
布塞拉姆、克鲁苏	白 垩 纪	河 流 相
拉让蒂埃、梅歇尔尼希、毛巴赫	三 叠 纪	河 流 相
保 安	泥盆纪早期	浅海相底砾岩
拉伊斯瓦尔、瓦斯博、奥森	晚元古代—早寒武世	浅海—三角洲相
乔 治 湖	中元古代	浅 海 相

现有第四纪砂铅矿床，但仅具地质意义。

从表2看出，随着砂砾岩型铅锌矿床形成时代变新，矿床形成环境由浅海相变为陆

相。古生代以前的矿床均形成于浅海及浅海—三角洲环境，中生代以后的矿床（乌拉根除外）均形成于内陆盆地及大陆边缘的河流

相中。

二、砂砾岩型铅锌矿床的空间分布特征

1. 所有砂砾岩型铅锌矿床都形成于古低纬度范围内的温暖干燥或半干燥的气候条件下。从现在矿床所在的地理位置来看,其分布没有什么规律可循,如果追溯矿床形成时期的古地理,可以发现,绝大多数矿床都集中分布于北纬30°—南纬30°的低古纬度范围内(表3)。

在低纬度范围内,有利于温暖干燥、半干燥的内陆咸化盆地和半封闭的海湾、泻湖等古气候条件的形成。这种条件不但有利于矿质在源区的风化转移,而且有利于在盆地边缘或浅海中形成利于矿质沉淀的还原环境。

2. 海相砂砾岩型铅锌矿床一般都位于大陆边缘地带。如波罗的地盾的砂岩型铅矿床,沿地盾西部边缘分布(图3)。我国广西的保安矿床位于江南古陆的西南边缘(图4)。

3. 海相砂砾岩型铅锌矿床常产于大的

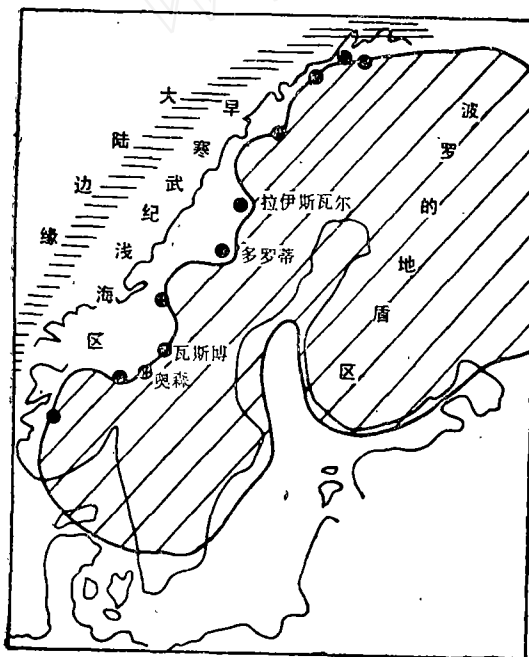


图3 波罗的地盾砂岩铅矿的分布与古地理的关系

(据A.Bjorlykke and R.I.Thorpe, 1982)

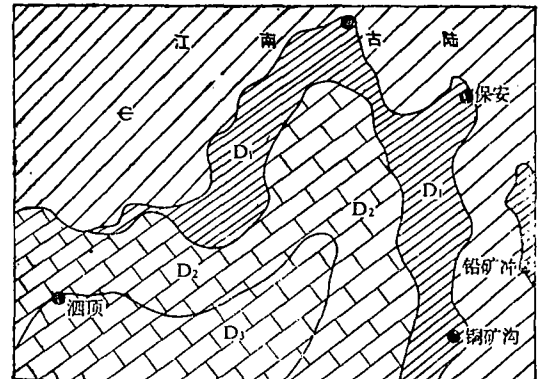


图4 保安铅矿床的古地理位置示意图

ε—砂岩、页岩互层; D₁—底部砾岩,上部砂岩;
D₂、D₃—灰岩

一些砂砾岩型铅锌矿床形成时的

古纬度值

表 3

矿床名称	形成时代	古纬度范围
拉伊斯瓦尔、瓦斯博、奥森	晚元古代—早寒武世	南纬10°~20°
梅歇尔尼希、毛巴赫	三叠纪	北纬25°~30°
拉让蒂埃	三叠纪	北纬25°
布塞拉姆、克鲁苏	白垩纪	南纬10°~15°
保安	早泥盆世	北纬20°~25°
金顶	第三纪	北纬26°~27°
普雄	第四纪	<北纬24°

构造运动之后、海侵序列的开始,常位于一个构造层的底部层位,亦即不整合面以上0到数十米的范围内。不整合面表示风化剥蚀作用的存在。矿床及赋矿地层的基底岩石常含较高的铅和锌,风化后进入砂、粘土等风化产物中,海侵的初期阶段一起沉积下来。因此,矿床常产于海侵初期的底部砂岩和砾岩中,往上沉积物变细,甚至变为碳酸盐岩,有时产生碳酸盐岩型铅锌矿床,如保安矿床,寒武系沉积后发生了大的沉积间断,缺失奥陶纪和志留纪地层,泥盆纪复又沉积,其间经历了1亿年以上的古陆剥蚀时期。加里东运动之后,该区下降,古陆边缘沉积了泥盆纪下统的莲花山组碎屑岩,产出有保安

砾岩型铅矿。往南,海水变深,沉积了泥盆纪中、上统碳酸盐岩,产出有酒顶等碳酸盐岩型沉积改造铅锌矿床(见图4)。

事实上,大多数陆相环境下形成的砂砾岩型铅锌矿床,也产在距古风化面之上不远的地方,含矿地层与下伏基底呈不整合关系。

4. 陆相砂砾岩型铅锌矿床常产于内陆湖泊、盆地的边缘,湖盆深处并不成矿。如金顶矿床位于兰坪—思茅拗陷北部的中—新生代断陷盆地的边缘;德国的梅歇尔尼希、毛巴赫矿床位于本德森泰因盆地的边缘;摩洛哥的布塞拉姆矿床位于塞诺曼内陆盆地边缘的河流相砂岩中;加蓬的克鲁苏矿床位于加蓬沿岸盆地边缘的砂砾岩中;法国的拉让蒂埃矿床位于法国东南部海西期准咸化盆地东北边缘的河流相砂岩中,等等。

陆相砂砾岩型铅锌矿床产生的内陆盆地沉积建造中多为内陆盆地红色建造,矿床产于红色建造中的浅色沉积层中,并与蒸发岩伴生。矿石中常伴生有石膏、重晶石、天青石等膏盐类矿物。因此,许多学者称之为红层矿床,并和红层铜矿相对应^[11~13]。不过,何起祥认为红层铜矿可产于海进和海退两个序列中^[14],而砂砾岩型铅锌矿只产于海进序列中。

在盆地内部,一般是沉积页岩、泥岩或盆地碳酸盐岩等,因而不产出砂砾岩型矿床。

陆相砂砾岩型铅锌矿床产于盆地边缘的一个重要原因,就是Pb、Zn等矿质在搬运过程中呈氧化态,进入盆地边缘后,介质环境因有机物不断聚集而逐渐由氧化变为还原环境。因为方铅矿的溶解度比闪锌矿小6个数量级,生物及有机质只要分解出少的 S^{2-} ,就可促使方铅矿在盆地边缘砂砾质碎屑中沉积而,锌可能大部分仍在溶液中。因此,砂砾岩型铅锌矿床与碳酸盐岩型铅锌矿床及岩浆热液型铅锌矿床不同的是 $Pb/Zn \gg 1$,或形成以铅为主的单铅矿床。而在盆地深部或浅海

碳酸盐岩及深海泥岩中有可能形成的 $Zn > Pb$ 的矿床。这样的例子在国内外是很多的。砂砾岩型铅锌矿床中 $Zn > Pb$ 的例子较少,仅知金顶矿床 $Pb/Zn = 1:4.7$ 。Sangter认为这是由于基底岩石中 $Zn > Pb$ 所致。笔者认为可能和热卤水成矿及硫的供给量有关,热液矿床中一般闪锌矿先于方铅矿晶出,金顶矿床闪锌矿的形成温度大于方铅矿及有剩余的硫,正好说明了这一点。

矿床形成机制

一、砂砾岩型铅锌矿床形成的地质条件

已知的砂砾岩型铅锌矿床的形成时代主要集中于古生代、中生代和新生代早期。矿床分布于古大陆边缘内陆盆地边缘,常产于或大或小的沉积间断之后海侵序列的开始,位于不整合面之上不太远的距离内。因此,矿床的形成在大的方面受某一次大的构造运动控制,稳定的构造条件使基底岩石遭受较长时间的风化,是矿床形成的先决条件。

矿床的基底岩石常为变质岩、花岗岩及碎屑岩(表1),一般都含有较高的Pb、Zn等成矿元素。几乎所有矿床的基底岩石都经过长时间强烈风化,不但使Pb、Zn析出,而且产生相应的基底地形,矿床常位于基底相对凹陷的部位如海湾、泻湖、内陆盆地等。

二、砂砾岩型铅锌矿床的沉积环境

砂砾岩型铅锌矿床的赋矿地层为古低纬度地区温暖干燥—半干燥环境下的滨、浅海相、内陆河流相的砂岩和砾岩。海相砂岩以石英砂岩为主,成熟度较高,陆相砂岩以长石石英砂岩多见,表明搬运距离不远。

大部分矿床的含矿地层都是红层和浅色层互层,前者形成于氧化环境,后者形成于还原环境。不管是氧化环境还是还原环境,只要水流的搬运动能减小,砂、砾都可以沉积下来。但是矿质的沉积环境一定是还原环境。因此矿床产于浅色(白色、灰色、深色)砂砾岩层中,而不红色层中。总起来

说,砂砾岩型铅锌矿床的沉积至少要满足两个条件:一是水动能减小到砂砾能够沉积下来;二是还原介质。对于封闭-半封闭的海湾、泻湖,这种条件易于满足,对湖盆边缘的还原环境,起主要作用的可能是有机物质。可以推论,砂砾及Pb、Zn等矿质是在氧化环境中搬运的,一旦进入湖盆边缘的还原环境,便可一同沉积下来。

三、矿质来源

前已述及,所有砾岩型铅锌矿床附近不存在与成矿直接有关的岩浆岩及火山岩,因而可以排除矿质来自岩浆的可能性。

大部分矿床的基底为早古生代以前的浅变质岩或变质岩,以及海西期以前的花岗岩类岩石,只有金顶矿床的基底地层为中生代沉积岩。基底岩石一般含Pb、Zn都相当高,并和赋矿层位及赋矿层位上部的地层有如下关系:赋矿层位中的 $Pb(Zn) >$ 基底地层中的 $Pb(Zn) >$ 赋矿层位上部地层中的 $Pb(Zn)$,这一关系在保安矿床是极为明显的,其他矿床也有这种现象。同时,考虑到赋矿地层多属基底风化产物重新沉积而成,因此可以推断Pb、Zn等矿质来源于基底岩石。目前能证明矿质来源于基底的同位素资料较少。

根据硫同位素资料,海相矿床的 $\delta^{34}S$ 多为正值,变化范围为 $0 \sim +30\%$,陆相矿床多为负值,变化范围为 $0 \sim -40\%$,由此推断,矿床硫的来源大致有两种,即海相矿床的硫主要来自海水硫酸盐;陆相矿床的硫主要来自大陆有机质的分解。

由此看来,砂砾岩型铅锌矿床的金属和硫来自两个不同的体系,即金属来源于基底,硫来源于海水硫酸盐和大陆有机质。

四、矿床因素

关于砂砾岩型矿床的成因, Samama提出过地下水搬运模式^[8],该模式主要有以下几点:(1)基底风化;(2)机械沉积作用使风化物形成麓原建造;(3)含盐地下水渗透

经过麓原建造而使金属富集;(4)金属在浅海盆地边缘的地下水与海水接触地带沉淀。这一模式尚不能解释所有的砂砾岩型铅锌矿床的形成。因为一些陆相矿床并不是产在地下水与海水的接触地带;即使是海相矿床,目前还未发现确切的地下水搬运的证据;按照这一模式,金属经历了三个场所才到达产地,基底 $\rightarrow$ 麓原建造 $\rightarrow$ 地下水搬运到地下水与海水界面处,该界面处的沉积建造也可能不是砂岩建造,况且搬运距离与机理也是很难确定的。Sangster (1984)用三个步骤描述了盆地热卤水模式:(1)盆地内沉积物脱水,这种水含有很高的盐度和呈氯络合物的金属;(2)含金属的卤水通过渗透性良好的砂岩向上、向外运移到盆地边缘;

(3)随温度压力的降低或遇到含硫的地下水并与之结合而沉淀。Dunham^[15]、White^[16]等人也都提出过热卤水模式。姜齐节等人^[17]把富含重晶石、硫同位素分散、成矿溶液为高纯氯化物卤水的矿床,称之为渗流热卤水形成的矿床。这一模式可以解释一部分矿床的形成,如金顶矿床。热卤水和地下水相比,前者搬运金属更为优越,且更易于从岩石中提取金属并具有更强的溶解能力。事实上,具热卤水成矿特点的大部分砂砾岩型铅锌矿床,沉积作用已经初步地富集了金属,甚至已经成矿,热卤水成矿只是对其进行改造,因而涂光炽教授的沉积-改造学说^[18]能更好地解释它们的形成。如果不强调矿床形成的沉积作用,只强调热卤水成矿,那么矿床和赋矿地层相比多少应有后成的特点,然而大部分矿床的形成与赋矿地层是同期的产物。

近年来,人们对于沉积特征和非沉积特征并存的矿床成因的解释,在不断探寻新的模式,而对于描述得较少的砂砾岩型铅锌矿床,常常忽视其沉积成矿作用。至少有一部分砂砾岩型铅锌矿床的形成,是以沉积作用为主导的。因此笔者认为有必要重新强调和

提出矿床形成的沉积作用。在这一点上, Samama^[19]在描述拉让蒂埃矿床的形成时认为, 首先基底岩石中的钾长石和铁镁矿物在风化时被破坏, Cu、V、Zn淋失, 而Pb、Ba仍集中在钾长石残余物中, 然后风化盖剥蚀, 剥蚀物沿盆地边缘沉积, 风化作用继续进行, 钾长石中的Pb被渗透水淋滤出来带入盆地边缘, 作为碎屑相的胶结物沉淀下来。保安矿床的形成也类似于这种方式, 所不同的是其硫来自海水硫酸盐。

戴闻天认为陆源沉积物中金属的富集成矿和金属的成岩活化作用有关^[20], 沉积物中有机质的分解造成还原环境, 使金属还原溶解, 因上覆盖层厚度不大且疏松, 因而金属向上转移在沉积物—水界面处氧化而重新沉积。以这种富集机理, 如果沉积物不断稳定沉积, 金属即可在沉积物与水界面处不断富集。这时如果沉积物被快速覆盖、金属便能被固定下来。金属在沉积物表面富集的现象, 在黑海及太平洋都有发现^[21]。不过活化因素是否为还原溶解, 在水—沉积物界面处是否因氧化而沉淀值得怀疑, 因为还原环境有利于Pb、Zn沉淀。因此, 在海相还原环境中Pb、Zn是很难发生还原溶解的。笔者认为促使Pb、Zn等金属从沉积物中活化并向上运移的主要因素, 是沉积物的压实脱水。这一模式可由图5表示。首先陆源或其他来源的Pb、Zn等金属, 在海水—沉积物界面处沉积继而被埋藏, 之后因压实脱水而使金属离子活化并向上运移, Mn及一部

分Fe向浅海氧化环境运移并在陆棚区以氧化物沉积, 而Pb、Zn等在水—沉积物界面处复又沉积, 周而复始, 金属便富集成矿。

云南普雄砂铅矿床是现代陆相沉积成矿的一个很好的例子。这里我们可以假定, 该矿床的含矿残坡积层、洪积层及矿体, 如果其上能被新的沉积物覆盖的话, 有机质的分解便会造成还原环境, 铅的氧化矿物则被破坏并与有机质分解的硫结合成铅的硫化物, 使其变成砂岩型硫化物矿床。这一假定矿床的特征, 将与布塞拉姆等矿床无大的差别。如果这一事件能发生, 我们还可以推论, 残余的方铅矿的铅同位素, 可能仍反映源区的某些特征, 新生成的方铅矿, 铅同位素极有可能代表新的形成时代, 这也可以作为某些矿床的铅同位素为混合铅、模式年龄可分成几组的一种可能的解释。

结 论

1. 砂砾岩型铅锌矿床与其他类型铅锌矿床相比, 有其独特的形成环境。海相砂砾岩型矿床赋存于滨浅海相的石英砂岩及砾岩中; 陆相矿床赋存于内陆河流相的长石石英砂岩及砾岩中, 两者都是温暖干燥或半干燥气候条件下的产物。

2. 矿体呈层状, 与地层产状一致, 矿物组成简单, 常以铅为主, 存在大量显示沉积特征的矿石组构, 基底和赋矿地层都含有相当高的Pb、Zn, 为金属的来源。矿床硫同位素组成弥散, 海相矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 为正值, 陆相者为负值, 表明硫的两种不同来源。金属和硫不是同源的。

3. 矿床形成于从中元古代到新生代各个时期, 但集中于古生代、中生代和新生代早期, 随着时代变新, 矿床由海相转变为陆相, 古生代以前的矿床多为海相, 中生代以后的矿床皆为陆相。

4. 矿床在空间上分布于古低纬度(北30°到南30°)地带; 海相矿床常位于古大陆

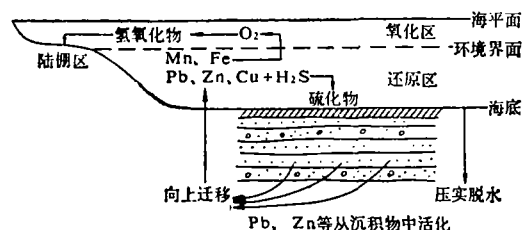


图5 Pb、Zn等金属在水—沉积物界面处的富集机理

边缘,形成于海侵序列的开始,因而常分布于不整合面之上不远的地方;陆相矿床分布于内陆红色盆地的边缘。

5. 矿床成因有地下水搬运模式、热卤水成矿模式等。有些矿床属多种成因,用沉积一改造理论更能合理地解释它们的形成机制,有些矿床以沉积(或沉积成岩)成矿的主导,因而应强调其沉积成矿作用。不管是哪种模式,基底岩石含高的成矿元素并有足够长的时间在温暖干燥、半干燥气候条件下强烈风化、有含盐的蒸发盆地和浅海泻湖、海湾和稳定的构造条件等,是形成矿床的必要条件。

6. 我国存在许多内陆红色盆地及相应的沉积建造,也存在许多构造运动之后的海侵初期的底砾岩和砂岩建造,有希望在这些地方发现新的砂砾岩型铅锌矿床。在今后的找矿勘探工作中,应注意在古生代以前的古陆边缘及不整合面之上寻找海相砂砾岩型铅锌矿床,在中生代以后的内陆盆地边缘的碎屑岩建造中寻找陆相砂砾岩型铅锌矿床。同时,弄清楚古地理位置,对寻找该类铅锌矿床也是有益的。

参 考 文 献

- [1] 白嘉芬等:矿床地质,1985,第4卷,第1期。
- [2] Rickard, D. T. et al.: Econ. Geol., 1979, v.74, №5, p. 1255—1285.
- [3] Rickard, D. T. et al.: Econ. Geol., 1981, v. 76, p. 2042—2046.
- [4] Rickard, D. T. et al.: Econ. Geol., 1981, v.76, p.2052—2060.
- [5] Lindblom, S.: Econ. Geol., 1986, v.81, №1, p. 46—64.
- [6] Christofferson, H. C. et al.: Econ. Geol., 1979, v.74, №5, p. 1239—1249.
- [7] Bjorlyke, A. et al.: Econ. Geol., 1979, v. 77, №2, p. 430—440.
- [8] Samama, J. C.: In Wolf, K. H. (editor), Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits, Amsterdam, Elsevier, 1976, v.6, p. 1—20.
- [9] Bernard et al.: Sci. Terre, 1970, v.15, p. 209—264.
- [10] Caia, J.: Econ. Geol., 1976, v. 71, №2.
- [11] 尹汉辉:中科院地质所年报——成立20周年专集,1986年。
- [12] Samama, J. C.: Miner. Deposita, 1968, №3, p. 187—195.
- [13] Bernard, A. J. 等:《层控矿床和层状矿床》(K. H. 乌尔夫主编),第1卷,第7章,1976年。
- [14] 何起祥:《沉积岩和沉积矿床》,地质出版社,1978年。
- [15] Dunham, K. C.: Trans. Instn. Min. Metall., Sect. B, 1970, v. 29, Bull., №765.
- [16] White, D. E.: Econ. Geol., 1968, v. 63, №4, p. 301—331.
- [17] 姜齐节等:地质与勘探,1980,第1,2期。
- [18] 涂光炽等:《中国层控矿床地球化学》,第1卷,科学出版社,1980年。
- [19] Samama, J. C.: Ores in Sediments, 1971, p. 247—266.
- [20] 戴闻天:地质与勘探,1985,第6期。
- [21] Degens, E. T. et al.: Time-and Strata-bound Ore Deposits, 1977, p. 25—45.

Sandstone-Conglomerate Type Pb-Zn Deposits: Their Geological Features, Temporal-Spatial Distribution Regularities and Metallogenic Mechanism

Zhang Qian

This paper deals with the metallogenic environment and geological features of the sandstone-conglomerate type Pb-Zn deposits. In addition, their mineralogenetic epoches and temporal-spatial distribution regularities as well as mineralization models (groundwater transportation and hot brine activity) are also discussed. It is concluded that the pre-Paleozoic ancient continental margin and the unconformable contact elastic are the favourable localities for marine sandstone-conglomerate Pb-Zn deposits and the rock formation at the margin of the inland basin of an age later than the Mesozoic is favourable for hosting terrestrial deposits.