



密西西比河流域铅锌矿床

密西西比河流域铅锌矿床, 包括美国中部九个州的广大地域(图1), 长期以来是美国铅、锌、萤石和重晶石最主要的产区, 地质研究程度较高, 在讨论成矿理论时经常引证其资料, 有一定参考、借鉴意义。

一 区域成矿特征

1. 上游区 面积约10000平方公里。地质上位于伊利诺斯盆地(寒武系以后地层总厚达3600米)以北, 森林城盆地(地层总厚1200米)东北, 威斯康辛弧以西, 是一个没有寒武纪以后火成岩的地区。前寒武系地层仅见于钻孔, 埋深约450~600米。区内褶皱开阔, 两翼地层倾角一般不大于 15° 。航磁显示前寒武系基底构造局部与古生界盖层构造一致, 说明后者可能是基底构造重新活动造成的。矿化见于C~S各地层中, 但主要工业矿床集中在O₂内。O₂自下而上分为皮特组、普拉特维尔组、德科拉组和加利纳组四个地层单元, 除皮特组为砂岩外, 都以白云岩、灰岩为主。大部分锌矿位于加利纳组下部、德



图 1

科拉组和普拉特维尔组中上部, 主要铅矿则仅限于加利纳组内。

矿体主要类型有二, 一为受逆断层、层面断层控制的“倾伏和平伏矿体”, 另一为

问题现在还不能作出肯定回答的话, 那么金属矿物的原始沉积性质是明显的同生成因这一点, 则可以认为是解决了。金属矿物是在有机物参与、温度很低的情况下沉淀, 同时

伴随着引起矿石特殊分带的沉积分异作用。

音宁译自: 《Геология рудных месторождений》,
1977, No 2, стр. 43~50

沿节理形成的裂隙脉；在地层位置上，后者常见于前者之上（图2）。此外还有网状脉、溶解塌陷角砾岩等次要类型。

主要矿石矿物是闪锌矿，其次是方铅矿，另外还有黄铜矿、硫砷铜矿、黄铁矿和白铁矿。部分闪锌矿含银，某些方铅矿含铋较多。脉石矿物有碧玉、白云石、方解石、重晶石等。围岩蚀变有四种类型：①碳酸盐岩石的溶蚀，造成厚度减小、上覆岩层塌陷以及部分白云岩变为易碎不胶结物质；②碧玉化；③白云石化；④粘土矿物结晶改善，K、Al、Mg、Si、Fe 和Mn 在蚀变晕外部略减，在矿带中则明显增加，钙与它们呈相反变化。

早期矿石矿物中的流体包裹物与伊利诺斯州南部岩穴区（Cave-In-Rock）类似，为Na-Ca氯化物卤水，在总盐度、D/H、Mg/Na和Cl/Na上似油田水，但具较高的Ca/Na、K/Na比值，Ca丰度是大多数油田水的几倍。晚期方解石的包裹物含盐度低得多，D/H近似雨水。

不同阶段闪锌矿包裹物充填温度为121~75℃（未作压力改正），第二、三阶段方解石为78~50℃。

2. 三州区 东西长约160公里，南北宽近50公里，主要生产矿区是勘萨斯州—俄克拉何马州交界处的皮切尔矿田，东部（密苏里州）产量只占1/3左右。地质上位于奥扎

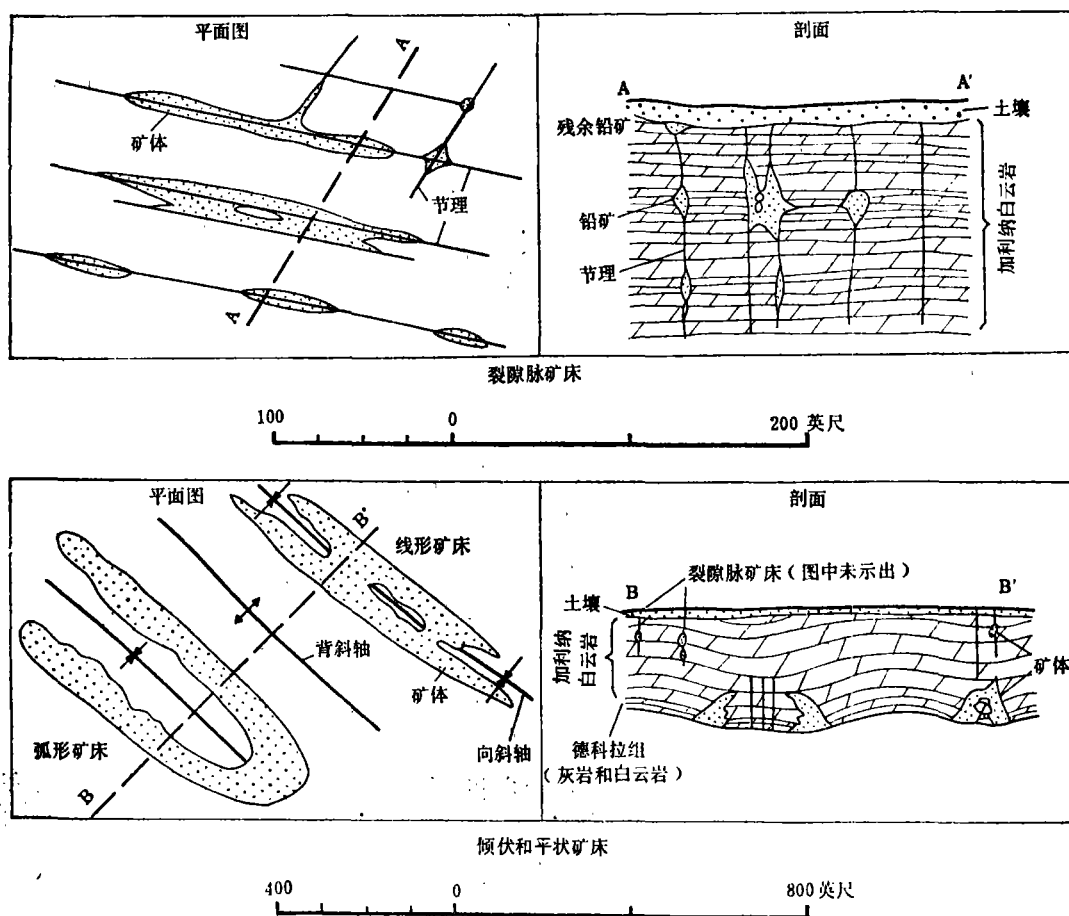


图2 上游区矿体典型产状

克隆起西北翼,由C、O、Mi(密西西比系)、Pen(宾夕法尼亚系)地层组成,倾斜平缓,约7~10米/公里。钻孔中见前C杂岩(蚀变安山斑岩、流纹斑岩、花岗斑岩),埋深90~600米。区内有三个主要断层,一个近东西向,另两个为北东向地堑一向斜复合构造。

矿化见于C至Pen各系地层中,但主要在Mi中部,这里从上到下划分了十六层(用B~R表示),其中B~J层属沃尔索组,K~Q层属基库克组,(也有人将N~Q层另划为格兰德福斯组),R层属里兹泉组,它们以石灰岩、燧石灰岩和燧石岩、“棉花岩”(cottonrock,一种白色钙质燧石岩或硅质灰岩)互层为特点。硅质层通常无矿而碳酸盐层被矿化,M层是区内最重要的赋矿层。

在M层以及K层中,可见蚀变—矿化分带现象,由中心往外为:①白云岩核;②矿带;③碧玉带;④泥质带;⑤灰岩。在矿化区域以外,M层为块状燧石灰岩,主要由化石(海百合)及其碎屑组成。泥质带主要见于K、L层因风化剥蚀(基库克组沉积后有一间断面)移去,J层(泥质灰岩)直接覆于M层之上的地方。

1907~1964年间生产的矿石,闪锌矿约为方铅矿的五倍多。闪锌矿含铁少于0.5%,含少量锗、镓和镉。共生硫化物有黄铜矿、黄铁矿、白铁矿等。脉石矿物以硅质物(碧玉等)多为特征,另有方解石和白云石。流体包裹物研究结果,闪锌矿形成温度83~120℃,矿液为Na-Ca氯化物卤水。

围岩蚀变方面有两点值得注意,一是在密西西比河流域各区里,三州区硅化最强,二是容矿地层溶失变薄最显著。M层除了原始沉积和Keokuk组沉积后风化剥蚀造成的厚度变化外,还有和成矿时溶失现象有关的变化。在皮切尔矿田,M层等厚线呈同心状分布,中心部分不到6米,最薄只有2.5米,

整个赋矿地段几乎都小于9米,往外增大到25米。

3. 伊利诺斯—肯塔基区 面积约2600平方公里。1880年以来,生产了美国80%以上的萤石。区域西北部是一个由D地层组成的穹窿,外围出露Mi和Pen地层。构造断裂复杂。有云母橄榄岩和煌斑岩岩墙、岩床及侵入角砾岩等火成岩体。

矿床有两种类型。脉状矿分布广泛,系充填正断层型陡倾断层或断层带而成。一般矿脉长75~120米,延深30~60米,宽1.5米,最大矿脉长度超过1500米,深度超过270米。从D到Pen下部各地层都有矿化,但主要集中在Mi中部路易斯组到塞普莱斯组内。层状矿仅见于岩穴区和肯塔基州卡尔斯维莱两地,是从一个小错距的断层或节理向外(一侧或两侧)交代石灰岩而成(图3),沿断裂矿体最厚,在顶部最宽。层状矿主要限于以下三个地层层位中:①唐尼布拉夫组石灰岩顶部,正位于贝瑟尔组砂岩之下;②斯特杰内维夫组,正位于罗西科拉雷组砂岩之下;③斯特杰内维夫组斯帕山砂岩段之下的石灰岩内。

萤石是最重要的经济矿物。闪锌矿数量在各矿床变化甚大,锌精矿含镉约1%,还含锗和镓。方铅矿以富Ag为特征,希克斯

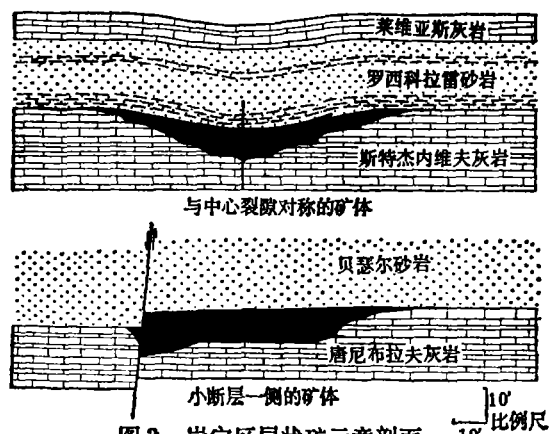


图3 岩穴区层状矿示意剖面

穹窿和罗西科拉雷的铅精矿含Ag达12盎司/吨,往南萨莱姆和马里昂的为4~6盎司/吨。东南端普林斯顿的下降到2~3盎司/吨。其他硫化物很少。脉石矿物以方解石最多,矿脉沿走向有时被60米或更多贫矿地段(几乎全由方解石组成)隔开,往深部也有方解石增多的现象,所以有“萤石矿以方解石为底”的说法。石英不多。重晶石常见但数量不多,在脉状矿内常见于中上部,在层状矿内常见于顶、底和边缘部分。层状矿局部还发现毒重石和菱锑矿。

矿物中流体包裹物研究表明,形成温度约90~140℃(包括13°压力改正,相当于成矿时上覆有900米岩层)。闪锌矿和石英形成温度略低于萤石,含盐度和 δD 也较低。

围岩蚀变表现为石灰岩重结晶、孔隙度增大和硅化,局部有白云石化。当矿体与页岩接触时,有和上游区类似的变化。

4. 密苏里东南区 累计已生产了900万吨以上生铅,近来在“老铅带”以西又发现一个巨大的近南北向的新矿带。本区位于奥扎克隆起东北部,有几处发现基性岩墙、火成角砾岩和埋藏的火山口构造。

前E侵蚀面上的E₃拉默特砂岩到O₁杰佛森城组白云岩,总厚720米的九个地层单位中,七个有矿化,但主要产铅层位是E₃邦奈特雷组(白云岩),主要产重晶石层位是E₃波托西组,比铅略高。邦奈特雷组在矿区内几乎全由白云岩组成,矿区外则为石灰岩;本组下部局部地段被前E岩石残丘“切穿”,岩相变化频繁,上部则在上千平方公里范围内全为黄褐色鲕状灰岩,显示起伏的前E地面已被填平。本组内的矿化,有以下几种类型:①前E残丘周围的尖灭带型;②与生物礁有关的矿化,据认为礁体外侧泻湖沉积的黑色页岩和暗色碳酸盐岩石在提供矿石沉积所需要的硫上起了重要作用;③受组内小不整合控制的矿化;④受隆脊构造(一种由粗粒沉积物组成的背斜状构造)控制的矿化;

⑤海底滑坡角砾岩中的矿化。以上五种里,①、②是主要类型。

在新铅带,曾见拉默特砂岩底部一种比较独特的矿化。那里前E花岗岩残丘上有砾石层,底部被砂质胶结,上部被白云质胶结;矿化交代了白云质胶结物,并充填在花岗岩砾石的裂隙中。孟宪民(1963)就是据此否定密西西比河流域铅锌矿围岩是白云岩,并作为同生说证据的。

除方铅矿和重晶石外,经济矿物还有闪锌矿(与铅共生而层位略高)、黄铜矿(层位比铅略低,多见于区域东部)以及少量含Ni、Co的硫化物。黄铁矿²、白铁矿很多,有的是沉积或成岩成因的。脉石矿物以白云石为最多,硅质物少是本区一个显著特点。

5. 其他区域

德克萨斯中部:以铅为主,也有少量锌。在银溪探区一个塌陷构造中矿化最强,但毗邻前E残丘的尖灭带型矿化最普遍。

堪萨斯西部:一些油井在1470~1930米深处见到闪锌矿,有的井品位达7~8%。矿化位于O₁杰佛森城组至考特尔组内。

密苏里中部:有许多小矿,以重晶石为主,方铅矿次之,闪锌矿又次。产于O₁、特别是杰佛森城组白云岩内。

阿肯色东北部:以锌为主,铅较少,有微量黄铜矿。产在O₁史密斯维莱组(燧石白云岩夹砂岩和石灰岩)内。

阿肯色北部:O₁至Pen都有矿化,但主要层位是O₂埃沃尔顿组。中粗粒白云岩是主要含矿岩石。除层位外,矿化情况与三州区非常类似。

肯塔基中部:主要为脉型矿,产在O₂石灰岩中,但O₃至Mi也有矿化。分带性明显,由中心往外依次是:①含少量重晶石的萤石—方解石脉;②含闪锌矿的萤石—重晶石—方解石脉;③不含萤石的重晶石—方铅矿—闪锌矿脉。

田纳西中部:产在E—O克诺科斯群最

上的马斯考科组白云岩中,以闪锌矿为主的热液矿物构成晚期角砾岩的胶结物,已公布储量约2000万吨矿石(含Zn4.5~5%),是一个有远景的地区。

二 密西西比河流域矿床的一般特征

1.地层 矿化不限于某一固定层位,但一个成矿区往往以一两个层位为主。已知主要赋矿层位,密苏里东南区是 e_3 ,密苏里中部、堪萨斯西部、阿肯色东北部以及田纳西中部是 O_1 ,上游区、肯塔基中部和阿肯色北部是 O_2 ,伊利诺斯—肯塔基区和三州区是Mi。当一个区域内同时有脉状矿和层状矿产出时,前者分布的地层范围往往比后者大,而且主要赋矿层位比后者高。有的地区不同层位的矿化在金属(或矿物)种类上显示有规律的变化。

2.岩性 矿床产于各种沉积岩中,但主要是浅海沉积的碳酸盐岩石,不同区域岩性变化很大,说明主要矿化有一定层位不是矿液选择交代有利岩石的结果。矿化区域内常常主要是白云岩,矿化区域以外同一地层单位则是石灰岩,矿化常与石灰岩—白云岩界面有关。

3.盖层和底层 许多矿区主要矿体位于不透水盖层(经常是页岩)之下,如密苏里东南区位于 e_3 戴维斯组页岩之下,三州区位于切罗基群页岩之下,上游区位于 O_2 马阔凯塔组页岩之下。伊利诺斯—肯塔基区层状交代矿比较特殊,它是以砂岩作为盖层的。

和盖层有利于成矿相反,在三州区发现不透水底层对成矿有不利影响。这里有一层时代为D-Mi的查坦诺加页岩,分布零星。在这层页岩缺失的地方,Mi一般都含矿;在有它存在的地方,同样的上覆地层几乎没有矿化。三州区北部,矿化与Mi底部诺

斯维页岩也有类似关系。

4.不整合 含矿层位上下或其附近常有不整合面存在。密苏里东南区矿化地层直接位于前 e 不整合面之上。伊利诺斯—肯塔基区贝瑟尔组与唐民组之间、舍特莱维尔段与莱维亚斯段之间,三州区切斯特组之下沃尔索组之下和基库克组之下,上游区 O_2 与 S_1 之间,都有不整合存在。不整合对矿化起了三个作用:①影响到下伏岩层,由于喀斯特作用发育,落水洞和塌陷角砾岩成为重要矿捕;②影响上覆岩层,由于侵蚀面不平整,造成岩层尖灭、厚薄变化和相变,成为岩性矿捕;③不整合面本身成为矿液侧向迁移的重要通道。

5.矿化深度 格拉顿(1933)对这类矿床曾提出一个得到广泛采用的术语“远温矿床”,定义为“由上升热液在地表或近地表生成的矿床,代表热液活动的末期。”但是现有资料表明,密西西比河流域矿床远非全部形成于近地表条件下。堪萨斯西部 O_1 地层中的矿化,现在埋深为1500~1930米;德克萨斯州Webb郡一口油井,铅锌矿化见于4460~4540米深的白垩系Sligo组白云岩中,伊利诺斯—肯塔基区脉状矿体有延深270米的,这些都不是近地表矿床的特征。

6.区域构造 除伊利诺斯—肯塔基区外,都比较简单。矿化常沿较大断层排列,但断层本身并未矿化。以三州区为例,产量最多的皮切尔矿田和芬顿—瓦科矿田沿北东向的米亚米地堑一向斜复合构造分布,但单个矿床及与矿化相伴的M层溶失变薄现象则呈北西向。这和我国若干汞矿区(如万山区)有相似之处。

7.控矿构造 可分三类:①同生沉积及部分成岩构造,如与不整合及生物礁有关的各种构造。密苏里东南区最明显;②风化溶蚀构造,如溶解塌陷角砾岩及由此引起的上覆岩层的挠曲和断裂。上游区、三州区、田纳西中部最明显;③构造断裂,伊利诺斯—

肯塔基区脉状矿可作为其代表。

8. 脉状矿与层状矿的关系 在大多数情况下,前者比后者规模小但品位高。脉状矿可以直接产在层状矿上,但更常见是离开一定距离且在不同层位中。在大多数情况下二者矿物成分有区别,或同一矿物具不同习性。如伊利诺斯—肯塔基区萤石,层状矿以带紫、黄或粉红色的为普遍,脉状矿则多为白色或浅灰色。

9. 围岩蚀变 常见的是:①溶蚀;②重结晶;③白云石化;④硅化(碧玉化),其程度三州区最强,其他区均较轻,显然取决于围岩中原来硅质的含量;⑤粘土矿物结晶改善。总的说来,基本上是岩石原有成分在热液作用下重新活动、重新分配的结果。

10. 火成活动 除两个区域见有少量岩墙、岩床和火成角砾岩外,几乎都没有火成活动的痕迹。整个流域的大量采掘坑道和钻孔、包括一些相当深的石油钻孔,都未见到隐伏岩基或其他大中型岩体。

11. 矿石 具经济价值的矿物主要是闪锌矿、方铅矿、萤石、重晶石四种,其相对数量各区不同,产自不同区域的同一矿物(如方铅矿)在所含微量元素上亦互有区别。脉石矿物主要是白云石、方解石和碧玉。

12. 流体包裹物 矿石矿物中的流体包裹物主要属Na—Ca氯化物卤水,类似油田水;晚期脉石矿物中的包裹体含盐度降低,结合同位素地质资料来看可能有大量雨水掺入。萤石和闪锌矿形成温度约75~150℃;

方解石约50~80℃,这和一些油井所得的温度相当。如德克萨斯东部一些钻井,300米处为85℃,1500米处为170~180℃,3000米处为220℃;密西西比州中部26个油田2400~3900米处为86~154℃。

13. 碳氢化合物 是流体包裹物常见的成分,有的地方容矿岩石里也见沥青物质。在流体包裹物研究较详的伊利诺斯—肯塔基区,沥青物质除在萤石晶体内形成球粒状包裹体外,还在围岩裂缝、孔隙以及萤石、方解石晶体表面形成黑色覆膜。在希尔矿,发现了一个面积3×0.9米、高0.3~0.45米的石灰岩洞穴,从底往上大约有一半充填了沥青岩。田纳西中部亦见沥青并有液态碳氢化合物,闪锌矿中偶尔可见较大(达1~2毫米)的包裹体。

三 稳定同位素研究

1. 铅 密西西比河流域矿床,以明显富含放射成因铅为特征,Pb206/204为20或更大,J-型铅就是以三州区卓普林命名的。图4、5示各区(包括邻近一些地区)铅的同位素组成。可以看出,两个没有火成活动的区域(三州区和上游区)变化最大,放射成

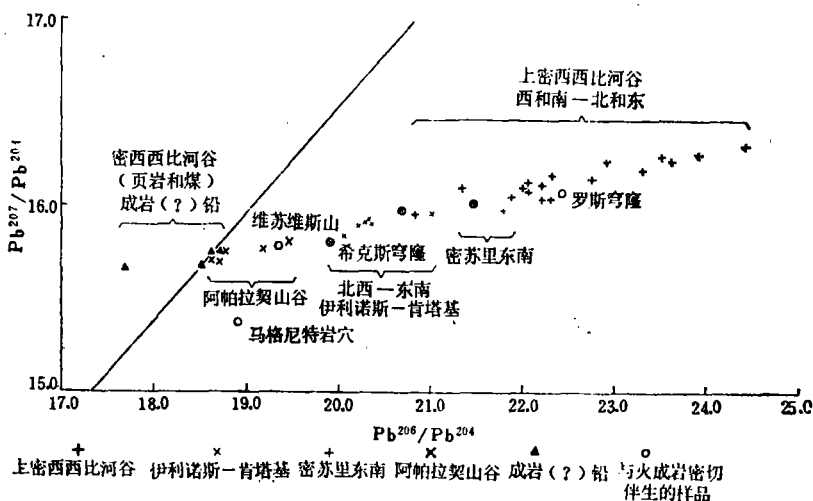


图4 密西西比河流域矿床铅同位素组成: Pb^{207}/Pb^{204} — Pb^{206}/Pb^{204}

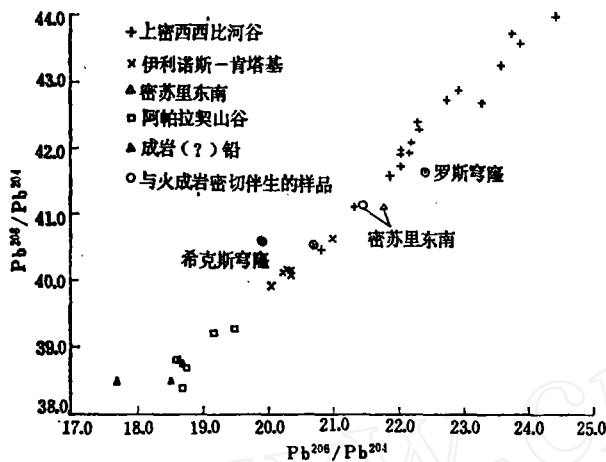


图5 密西西比河流域矿床铅同位素组成: Pb^{208}/Pb^{204} — Pb^{206}/Pb^{204}

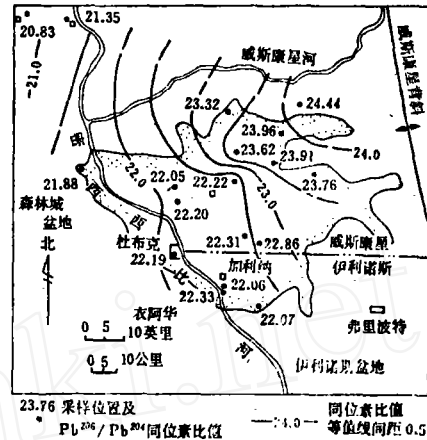


图6 上游区 Pb^{206}/Pb^{204} 等值线图

因铅含量最高。有的区域显示一定的铅同位素分带型式,表明可能有两种铅混合,这在上游区(图6)最明显,其分带型式可用两种方式解释:①来源于森林城盆地或伊利诺斯盆地的普通铅与本地铅混合,本地铅推测系选择溶滤自砂岩层或下伏花岗岩基底,含放射成因同位素较高;②两种成矿溶液混合,含普通铅的来源于西南部沉积盆地,含异常铅的来源于东北部基底隆起。伊利诺斯—肯塔基区(图7)在希克斯穹窿附近铀源铅最少,往东南方向增多,正好与方铅矿含Ag量变化相反。Hicks穹窿钍源铅(Pb^{208})富集,这与该地角砾岩富含Th、TR矿物是一致的。

多伊等(1972)研究了密苏里东南区铅的来源,其结果可综合为表1。在所研究的四个地层单位中,只有拉默特砂岩可作为矿石铅的主要来源。从所得年龄数值来看,拉默特组、邦奈特雷组铅都来源于当地前C基底,戴维斯组铅年龄太大,可能经过长途搬运来自上湖区(?)更老岩石。

铅同位素研究还发现某些方铅矿形成时间很长,如坎诺等(1963)研究的三州皮切尔矿田一个大晶体,

可能是在1亿年中形成的,密苏里东南区也发现一个晶体 Pb^{206}/Pb^{204} 变化很大(20.71~21.91)。但在同位素组成变化最大的上游区,海尔等和坎诺等分别分析过方铅矿大晶体,发现铅是均匀的。

2. 硫 已有资料见图8,总的说来全为地壳起源硫,各区有其一定的变化范围。

平克尼等(1972)对上游区矿床形成过程中硫的同位素分馏作过比较详细的研究。图9表明,早期(条带号1~7)矿物 δS^{34} 数值十分恒定,方铅矿约9.5‰,闪锌矿约

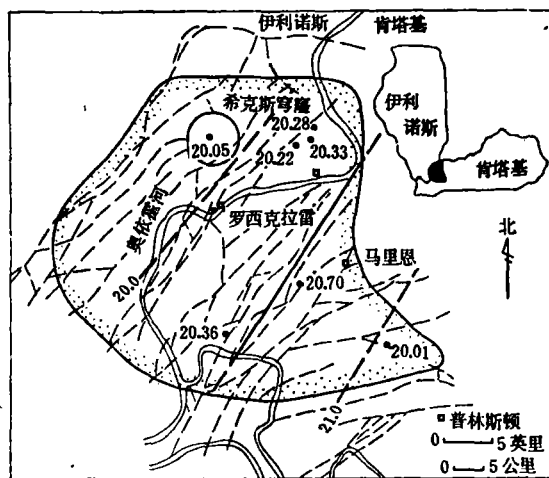


图7 伊利诺斯—肯塔基区 Pb^{206}/Pb^{204} 等值线图

密苏里东南区各地层铅同位素资料之比较

表 1

样 品	Pb208/204 - Pb206/204		Pb207/204 - Pb206/204	
	Δ	Th/U	Δ	t, 百万年
方铅矿	古生代岩石中的 (即矿石铅)	1.151	0.0864	1370
	前C岩石中的	1.07	0.099	1630
全 岩	前C基底 (霏细岩)	1.720	0.0893	1435
	Lamotte砂岩: 新铅带和Texas郡	1.16	0.0824	1280
	" : Laclede郡	0.808		
	Bonnetterre白云岩: Texas郡页状白云岩	1.742	0.0857	1350
	" : 其他地方	0.63		
	Davis 页岩	2.0	0.148	2365

13%。条带8~10 沉积时, 两种矿物 δS^{34} 值都逐步降低。从条带11开始的晚期矿物, 方铅矿稳定在8%左右, 闪锌矿则变到较高值且变化很大。各条带共存闪锌矿一方铅矿 δS^{34} 值之差, 最小也超过1.8%, 一般都在4%以上, 分馏系数为1.0030~1.0073。按Hulston理论曲线计算, 早期条带形成温度150~260℃, 晚期条带50~100℃; 如按查曼斯基与拉伊(1974)的实验曲线计算, 则为34~226℃。条带10到11的突变, 反映了温度和热液中硫存在形式的变化: 早期矿物大约是在与 H_2S 平衡的条件下沉淀的, 晚期矿物则可能与 HS^- 达到平衡。

根据矿物 δS^{34}

值推算成矿流体中硫的 δS^{34} 值, 布提矿按所有条带计算为10.5%, 按早期和晚期条带分别计算则各为11%和8%, 显示溶液在时间上的变化。布莱克斯通矿和埃尔默矿分别为14.5%和13.5%。各矿 δS^{34} 值之差大于同一矿床早晚条带之差,

说明硫同位素组成的地区性变化大于同一矿区时间上的变化。

3. 氢 霍尔和弗莱德曼(1963)发现伊利诺斯一肯塔基区早期矿石矿物中的包裹体在化学成分和同位素组成上与附近一口油井的卤水相似, 而且萤石中石油包裹体很普遍。晚期矿物中包裹体含盐度、 δD 均降低。石英沉积阶段可能还有第三种水加入, 它含钾较高而 δD 低(-43‰), 推测是岩浆来源的。上游区也发现卤水被雨水稀释, 但未发现第三种水存在的证据。

4. 氧和碳 矿床围岩蚀变过程中, 氧、碳同位素组成发生有规律的变化。图10示上

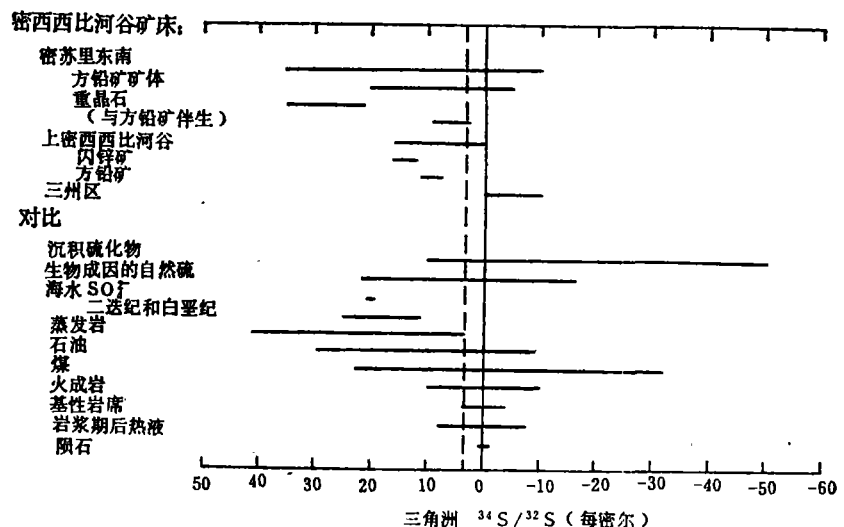


图 8 密西西比河流域矿床硫同位素组成

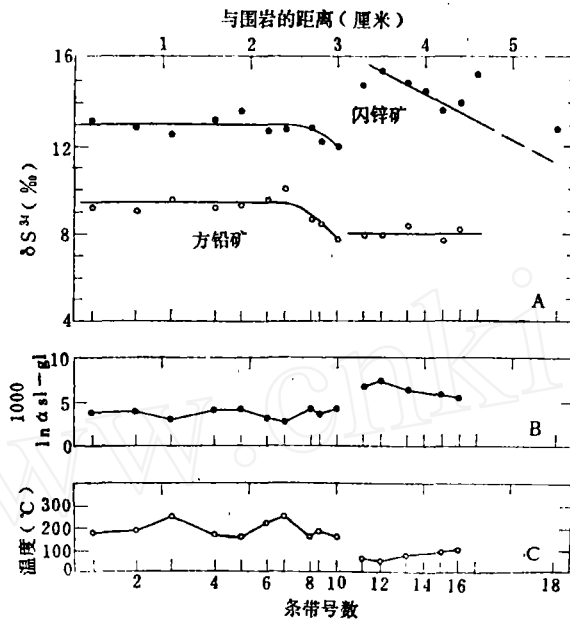


图9 上游区布提矿床矿石沉积过程中硫同位素组成的变化

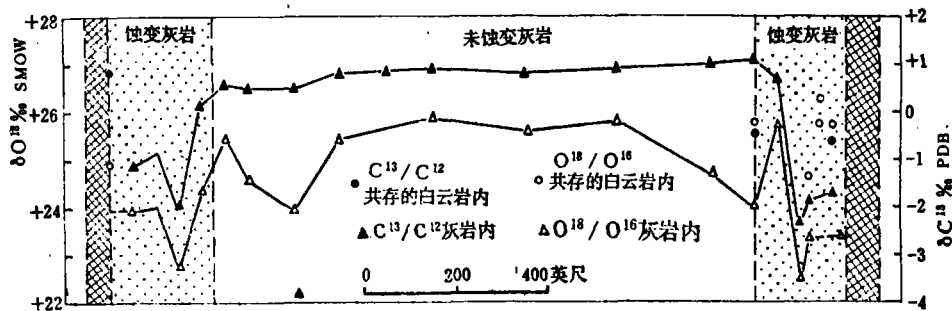


图10 上游区两矿体间同位素变化

游区两矿体间变化情况，图11示肯塔基西部一萤石矿变化情况。

平克民等(1972)研究了“岩穴”区希尔矿，这里热液作用分为四期。第一期石灰岩溶解塌陷，未发生蚀变。第二期沉积黄色萤石、闪锌矿及部分石英，石灰岩发生白云石化，此时 δO^{18} 降低4~5‰， δC^{13} 则大致保持原数值(2~3‰)，说明溶液富镁而贫碳。第三期沉积紫色、白色萤石和闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、石英，石灰岩因溶蚀

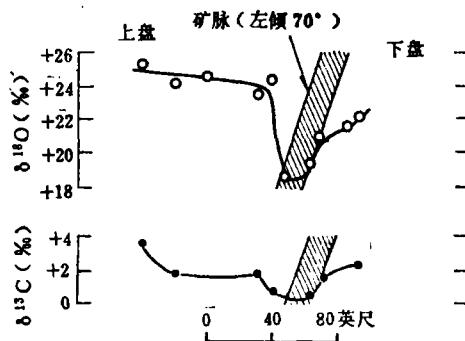


图11 戴尔希尔萤石矿同位素变化

而孔隙度增大并发生重结晶、硅化。在重结晶过程中 δO^{18} 、 δC^{13} 有规律地降低(表2)。

这期溶液显然含Mg较少而含碳较多。第四期沉积方解石,围岩无变化。

灰岩重结晶过程中 δO^{18} 、 δC^{13} 的变化

表 2

重 结 晶 阶 段	δO^{18}	δC^{13}	平均粒径
1. 蠕粒放射状、同心状构造保存完好, 边缘局部被微晶方解石交代	25.6	3.2	<0.00125mm
2. 蠕粒构造大部分因微晶方解石交代而消失	24.2	1.5	0.003
3. 完全被交代, 具蠕核幻影和晶簇状方解石边缘	22.3	0.2	0.005
4. 几乎完全被粗粒透明方解石交代, 蠕状构造仅存幻影边缘	19.0	-1.5	1.5

在同一取样地点不同岩层之间, δO^{18} 相差可达5.7%, δO^{13} 相差可达2.9%, 几乎和蚀变岩石与未蚀变岩石之差一样大。在块状石灰岩中系统取样后还发现, 距晶洞1英尺内 δO^{18} 、 δC^{13} 就有显著变化。这些现象说明不同岩层同位素交换的难易是有区别的, 薄层岩石比厚层岩石易, 垂直层面比沿层面难。

5. 铈 扎特曼(1967)分析了肯塔基州一个云母橄榄岩岩墙和伊利诺斯州一个云母橄榄岩岩床所含的磷灰石, Sr^{87}/Sr^{86} 分别为0.7030和0.7019, 为地幔铈所具的数值。

四 密西西比州富铅锌油田水及其意义

在密西西比州中部, 有5000平方公里以上面积在2400~3900米深处有富Pb(最高含量110毫克/升)、Zn(最高含量360毫克/升)油田水存在, 这是1971.1~1973.6研究该区26个油田的81口油井时发现的。

1. 油田水性质 26个油田除一个被淡水稀释的(含Cl 293mg/L)以外, 全为Ha—Ca氯化物卤水(见表3), SO_4 含量低, HCO_3 也低(几乎全小于30mg/L)。三个油田含B较高, 平均为50mg/L。

值得注意的是油田水化学成分与地层位置之间的关系(表4), 当通过上侏罗统考顿山谷群一个页岩段时, Cl含量大体稳定,

Pb、Zn剧增而K骤减, 说明钾转移到页岩中使粘土矿物内吸附的或层间的贱金属离子释出, 进入溶液。

2. 井垢 有三种类型。(1)由板状重晶石(单个晶体长达0.5毫米、厚达0.1毫米)、金属铅(直径达3毫米、厚达0.2毫米的小片)和方铅矿(粒径达20 μ)组成, 见于博尔顿油田;(2)由重晶石组成, 含少量方铅矿, 但不含金属铅。见于拉雷油田, 卤水在井下不与机械泵接触, 在地表油水分离后用泵打入地下进行处理, 这时有相当数量金属铅产生;(3)皮斯加油田的井垢, 全由金属铅组成, 并有少量小钢屑。这

油田水性质 表 3

	变 化 范 围
Pb	< 2~111mg/L
Zn	< 2~575
Mg	574~3920
Ca	13200~74800
Sr	412~3340
Na	29200~82800
K	243~10100
Cl	71520~207400
Br	226~2340
SO_4	1~362
压力, 巴	197~571
温度, $^{\circ}C$	86~154
溶解固体总量	117700~337100
密 度	1.116~1.229

不同地层单位水质的变化

表 4

元素含量, mg/L		Pb	Zn	K	Cl
地层单位					
K ₁	Washita—Fredericksburg	8	45		120,000
	Paluxy	25	130	400	140,000
	Rodessa	40	220		160,000
	Sligo—Bailey	50	225		160,000
	Hosston	65	285	800	190,000
J ₃	L.Cotton Valley	5	20	6000	200,000
	Smackover	<2	<10	8000	205,000

个油田所有油井都用井底泵生产。金属铅X射线为析 $a_0 = 4.96 \pm 0.002 \text{ \AA}$, 同位素分析 $Pb\ 206/204 = 18.885 \pm 0.05$, $Pb\ 207/204 = 15.642 \pm 0.05$, $Pb\ 208/204 = 38.834 \pm 0.05$ 。

3. 意义 油田水中铅锌的存在, 起初认为和井底设备的腐蚀有关, 但许多油井每年带出地表的金属数量之大, 超过了污染的可能范围。如拉雷油田有一口井, 1972年带出了2.4吨Pb和8.6吨Zn, 整个油田(面积约5平方公里)1966~1971年间带出了85吨Pb、372吨Zn。重晶石井垢起初也认为和钻探泥浆的污染有关, 但其数量之大和许多井生产六年后井垢仍继续沉积, 说明应该还有别的来源。现在看来, 卤水形成和J₃下部鲁安组蒸发岩(岩盐夹少量硬石膏)有关, 其厚度超过1500米, 若干油田产在它所形成的盐丘构造附近。金属来源于J₃页岩段。这一地区局部见煌斑岩、细粒霞石正长岩岩墙, 但其近旁卤水含金属并不增多, 说明不是金属的来源。油田水温度(86~154℃)与密西西比河流域矿床形成温度相当。

五 结束语

长期以来密西西比河流域矿床被当作典型的“远温”矿床, 现在看来岩浆不但不是成矿流体和金属的来源, 而且也不是主要的

热源。同生说能解释矿化具一定地层层位的事实, 但不能解释现存工业矿体的大量后生特征。本文介绍的资料表明, 这些矿床最可能是在同生沉积矿源层或贫矿的基础上, 经热液(大概是深处的油田卤水)改造、富集而成的。密西西比州中部富铅锌油田水的发现为此提供了一个有力的证明。

(戴问天编写)

主要参考文献

1. Ore Deposits of the United States, 1933~1967, pp.257~286, 327~358, 370~459.
2. Daniel, M.E., Hood, W.C, Econ. Geol., Vol.70, 1975, pp.1062~1069.
3. Leach, D.L.等: 同上, pp.1084~1091.
4. Doe, B.R., Delevaux, M.H, Econ. Geol., Vol.67, 1972, pp.409~425.
5. Gerdemann, P.E., Myers, H.E, 同上, pp.426~433.
6. Pinckney, D.M., Rye, R.O, 同上, pp.1~18.
7. Pinckney, D.M., Rafter, T.A, 同上, pp.315~328.
8. Collahan, W.H, Econ. Geol., Vol.69, 1974, pp.123~124.
9. Hagni, R.D., Desai, A.A, Econ. Geol., Vol.61, 1966, pp.1436~1442.
10. Heyl, A.V.等, Econ. Geol., Vol.69, 1974, pp.992~1006.