

全国同位素地质会议文集

第三集

地质出版社

26.07.00
223
25

全国同位素地质会议文集

第三集

全国同位素地质会议文集编辑小组



全国同位素地质会议文集

第三集

全国同位素地质会议文集编辑小组

*

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1979年12月北京第一版·1979年12月北京第一次印刷

印数1—2,690册·定价1.50元

统一书号：15038·新472

—

—

出版说明

一九七五年十一月二十日至十二月二日在贵阳市召开了全国第一次同位素地质工作经验交流会，对过去十余年的工作做了一次总结。出席这次会议的有全国生产、科研、教学各系统的代表近三百人。会议共收到了研究论文、经验介绍、技术资料、文献调研等一百二十余篇，一定程度上体现了我国同位素地质研究工作的发展情况和取得的成果。为了便于从事同位素地质工作的同志和广大地质工作者参考，并促进我国的同位素地质工作，决定将会议的部分论文汇编为《全国同位素地质会议文集》出版。

同位素地质这门新兴学科，在最近的二十多年里得到了飞速的发展。现在，不论在研究月球、陨石等宇宙空间科学中，还是在地层、大地构造、岩石、矿床、海洋等地球科学的各个领域，同位素地质都已成为解决某些重大问题的不可缺少的研究方法。它在各方面所取得的研究成果，大大丰富了人们对于天体史、地球史、生物史以及人类发展史的认识。

我国的同位素地质研究工作，解放前是空白，建国以后获得迅速发展，建立了一批同位素地质实验室，新建了一批铷-锶法、碳-14同位素年龄实验室，开展了裂变径迹法、铀钍系法年龄测定的研究。工作开展较早的钾-氩法、铀-铅法等采用了同位素稀释法、中子活化法等先进技术。原来比较薄弱的稳定同位素地质研究，最近几年也有了发展，出现了一批稳定同位素地质实验室，并开展了铅、硫、氧、碳、氢等方面的研究工作。直到会议时为止，据不完全统计，我国已积累了同位素地质年龄数据近五千个，铅、硫、碳等稳定同位素数据三千多个。这些同位素地质资料，为解决一些生产实际问题和理论问题提供了重要依据。诸如在青藏高原和西沙群岛等地的科学考察中，长沙马王堆一号汉墓等重要文物的研究工作中，同位素地质方面的研究也取得了一定的成果。特别是同位素地质这门学科已日益引起地质工作者的重视。

《全国同位素地质会议文集》共分三集出版。第一集为同位素地质年代学实验方法部分；第二集为同位素地质年代学地质应用部分；第三集为稳定同位素地质部分。

受与会代表的委托，本文集由中国科学院地质所、贵阳地化所、冶金部桂林冶金地质所、中国地质科学院地矿所、湖北地质所、北京第三研究所和成都地质学院共同组成的编辑小组进行编纂。编纂过程中出现的错误，希原作者和读者批评指正。

全国同位素地质会议文集编辑小组
一九七七年

目 录

我国若干矿床铅同位素组成的初步探讨 (摘要)	
.....中国科学院贵阳地球化学研究所 涂光炽	(1)
南岭地区某些铜、铁、铅、锌等矿床的铅同位素研究	
.....国家地质总局宜昌地质矿产研究所同位素地质研究室	(3)
铅同位素的发射光谱测定北京第三研究所四室 (14)
氦在岩溶水中分布规律的初步研究与应用	
.....煤炭研究院地质勘探研究所水文室水化学组	(19)
天然水中氡的测定中国科学院青海盐湖研究所 黄麒 钮永宁 (26)
四川泸州地区二、三叠系天然气藏的氦、氩同位素研究	
.....中国科学院地质研究所同位素地质研究室	(33)
硫同位素质谱分析样品的制备贵阳地球化学研究所同位素地质研究室 (43) 桂林冶金地质研究所同位素地质研究室
硫同位素组成的精确质谱分析方法桂林冶金地质研究所同位素地质研究室 (53) 贵阳地球化学研究所同位素地质研究室
贵州汞矿的成因问题贵州冶金地质一队 花永丰 傅良佐 李继茂 徐会山 (63)
关门山矿床的硫同位素组成长春地质学院地勘系 马振图 张贻侠 阎鸿铨 (73)
我国东北乌新地区超镁铁岩的硫同位素成分	
.....中国科学院贵阳地球化学研究所乌新地区铂矿研究组硫同位素组	(79)
河北黑山铁矿伴生硫化矿物的硫同位素特征北京大学地质系地球化学专业 (84)
红旗岭一号岩体铜—镍矿床的硫同位素组成	
.....贵阳地球化学研究所同位素地质研究室 (88) 桂林冶金地质研究所同位素地质研究室	
江西德兴斑岩铜 (钼) 矿田同位素地质特征及其找矿意义	
.....江西冶勘富家坞会战指挥部地质组、德兴铜矿地测科、 (95) 桂林冶金地质研究所同位素地质组、斑岩铜矿专题组	
东川铜矿硫同位素组成特点及其矿床成因类型	
.....桂林冶金地质研究所同位素地质研究室	(106)
我国若干类型铜矿床的硫同位素分布特征	
.....桂林冶金地质研究所同位素地质研究室	(112)
编后 (131)

我国若干矿床铅同位素组成的初步探讨

(摘要)

中国科学院贵阳地球化学研究所 涂光炽

本文根据中国科学院贵阳地球化学研究所同位素地质研究室已积累的约 100 个我国若干金属矿床所含方铅矿的普通铅同位素组成的分析资料,初步探讨了下列问题:

- 一、我国接近单阶段演化的矿石铅同位素组成;
- 二、普通铅同位素在地质计时中的应用;
- 三、与岩浆活动或火山活动有关的方铅矿铅同位素组成;
- 四、与岩浆活动无关、多半产于碳酸盐地层中,层控的多金属或铅锌矿床中方铅矿的铅同位素组成;
- 五、普通铅同位素与铅锌矿床的成因分类。

现有资料说明,自 19 亿年前到 5 亿年前左右,可以初步建立我国接近单阶段演化的矿石铅模式年龄。这些矿石铅基本上是地层铅。老于 19 亿年的矿石铅在东北南部及华北的某些矿床中有可能出现。

矿石铅的普通铅同位素组成对中、晚前寒武纪地层的计时是可用的。四川彭县马松岭含矿围岩时代,经铅同位素比值计算,应是晚前寒武纪,而不是下古生代。白云鄂博铁矿围岩的方铅矿铅同位素组成,验证了用 K-Ar, U-Th-Pb 法测定的年龄,即 15 亿年前左右。

我国东部与燕山期花岗岩类有关的铅锌矿床或多金属矿床中方铅矿的铅同位素组成一般接近正常铅,部分为异常铅。但若干矿床,特别是燕山晚期矿床的方铅矿,其 Pb^{208}/Pb^{204} 值常偏高。

我国西南地区(湘西、贵州、滇东)和桂北、粤北等地,产于碳酸盐地层而与花岗岩类岩浆活动无明显联系,矿石物质成分简单,蚀变微弱的层控多金属或铅锌矿床,其方铅矿的铅同位素组成常见异常铅。这些矿床的铅很可能不是一次、而是多次形成的;其物质来源可能包括原生沉积的铅和在后期地质作用中从围岩或基底经地下水热液渗滤搬运过来的铅。

利用普通铅同位素资料,结合地质条件,可尝试对铅锌矿床和部分多金属矿床作下列成因分类:

- 一、岩浆气液矿床(包括接触交代矿床),如水口山。
- 二、火山(气液或沉积)矿床,如白银厂、马松岭。
- 三、沉积矿床,如高板河、银洞子。
- 四、沉积-再造矿床:
 1. 沉积-地下水热液再造矿床,除原生沉积外,部分铅来自围岩,如西南、桂北、

粤北、黄梅等。

2. 沉积-变质热液或混合岩化热液再造矿床，如闽、浙两省产于陈蔡群和建瓯群中的铅锌矿床，山西交城铅锌矿床。

五、后成矿床。铅主要来自基底，成矿晚于围岩，如关门山。

南岭地区某些铜、铁、铅、锌等 矿床的铅同位素研究

国家地质总局宜昌地质矿产研究所同位素地质研究室

陈好寿 执笔

引 言

研究铅同位素组成不仅可以测定矿石和岩石的生成年龄，而且可以探索矿床成因、物质来源、成矿地球化学环境等矿床学中的重大问题，并可以直接用于找矿勘探和对矿床进行评价^[6,8,10,11,12,15]。近两年来，我们对南岭地区一些铜、铁、铅、锌、钨、锡、金等矿床进行了铅的同位素测定。本文试图通过对这些矿床的铅同位素分析，探讨不同矿床类型的铅同位素特征，并结合有关地质资料，着重讨论成矿与岩浆活动的关系、矿质来源和成矿时代等矿床成因问题。

一、矿床地质特征

本文所研究的矿床，主要分为两大类：一类是赋存于泥盆纪灰岩中，与岩浆活动关系不清楚而与地层关系密切，其成因尚有争论的矿床；一类是与不同时代岩浆活动关系密切的岩浆热液矿床。前者有广西泗顶铅锌矿和广东凡口铅锌矿等；后者有广西四堡铜矿、元宝山九毛锡矿、东南桃花金矿和广东阳春小南山钨矿、大宝山多金属矿以及湖南的水口山铅锌矿、铜山岭铜矿、东坡铅锌矿等。其矿床基本特征见表1。

二、铅同位素特征

对表1中各类矿床的46个样品进行了铅同位素测定，其中泗顶铅锌矿16个、东坡铅锌矿11个，四堡铜矿4个，凡口铅锌矿5个，小南山钨矿、水口山铅锌矿、大宝山多金属矿、铜山岭铜矿各2个，九毛锡矿、桃花金矿各1个。全部样品为方铅矿。用MI-1305型质谱计进行铅同位素分析。分析方法采用单带源表面电离，样品以 $Pb(NO_3)_2$ 形式，加锆硅胶发射剂以提高发射效率，并应用了国产12级电子倍增器。分析误差为1—1.5%。全部数据列入表2。从中可以看出所测样品的铅同位素组成有如下特征：

(一)不同矿床类型铅同位素组成不同

1. 泗顶铅锌矿的方铅矿含放射成因的铅比较高，其铅同位素组成表现出明显的异常性。绝大多数 Pb^{206}/Pb^{204} 比值大于18.5，部分大于19.0； Pb^{208}/Pb^{204} 比值除一个外，几乎

全部大于39, 一半以上大于40 (表2¹⁻¹⁶), 而且 $Pb^{208}/Pb^{206} + Pb^{207}$ 几乎全部大于1.13, 是明显的异常铅^[5,6,8]。如果用酒顶矿区的数据计算模式年龄, 则大多数计算的年龄为“0”或负值, 从图1中可以看出其分散性和异常性。在 $Pb^{207}/Pb^{204}-Pb^{206}/Pb^{204}$ 座标图中, 数据分布在“0”等时线附近, 一半以上在“0”等时线右边; 在 $Pb^{208}/Pb^{204}-Pb^{206}/Pb^{204}$ 座标图中, 除个别外, 则几乎全部在铅演化曲线以外 (“0”以上)。从图中还可看出样品的 μ 值 (U^{238}/Pb^{204}) 绝大多数大于9.0, 表明其富含放射成因铅。

凡口铅锌矿的铅同位素组成也表现出一定的异常性, 五个样品的 Pb^{208}/Pb^{204} 比值全部大于39, 但异常性不如酒顶铅锌矿明显。

2. 四堡铜矿、九毛锡矿和桃花金矿三个矿区的方铅矿含放射成因的铅比较低, Pb^{206}/Pb^{204} 比值除个别外, 几乎全部小于18.5, 多数在17.5左右; Pb^{208}/Pb^{204} 比值除个别外, 几乎全部小于39, 在36.11--38.89之间 (表2¹⁷⁻²²)。

图2是酒顶、四堡、九毛和桃花等矿的铅同位素组成的三角图^[5,16], 将铅同位素组成换算成 $Pb^{204}=1$, $Pb^{206} + Pb^{207} + Pb^{208} = 100$ 绘制在此图中, 可以看出酒顶矿区与其它几个矿区的数据分别落在不同区域, 表示

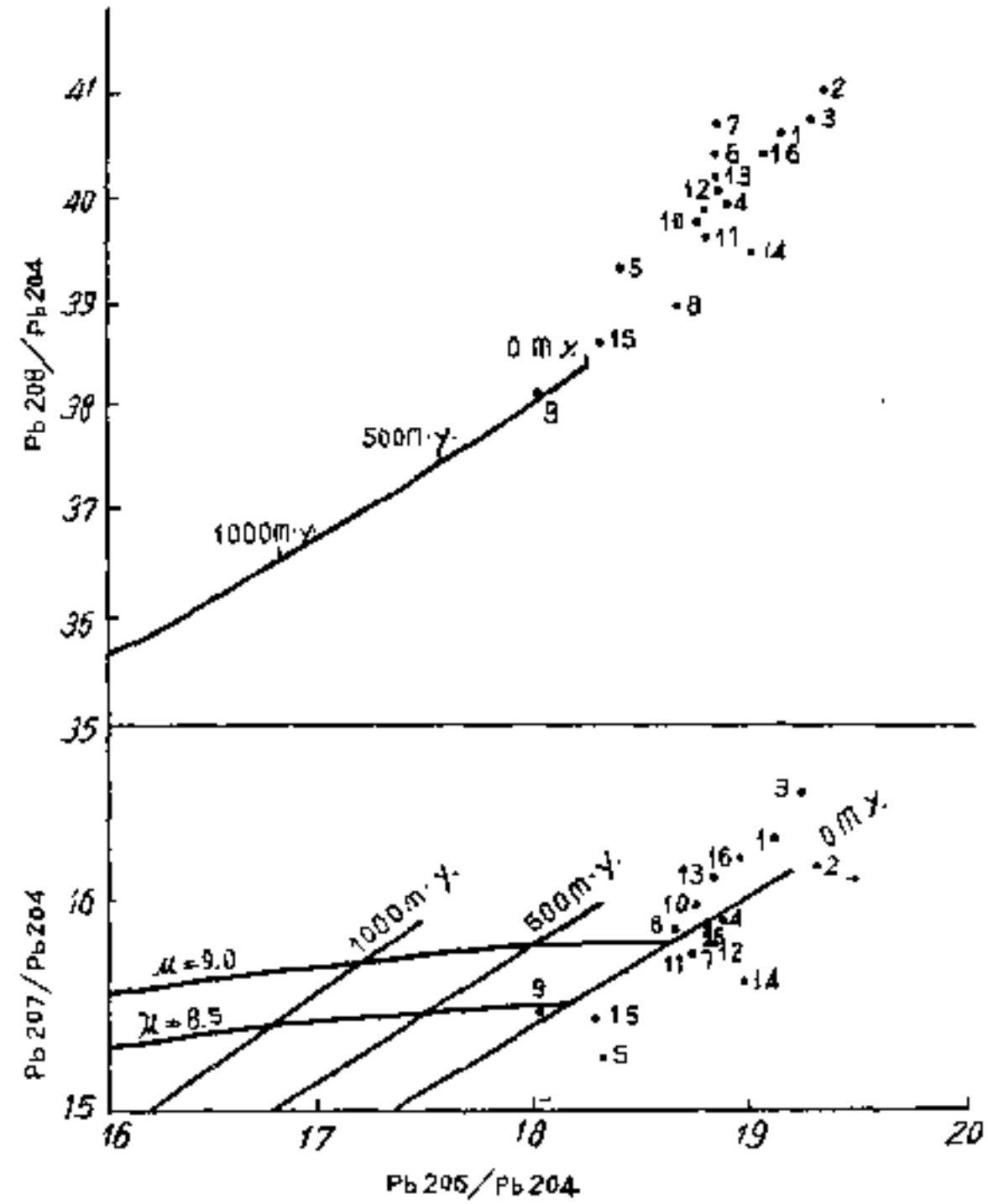


图1 广西酒顶铅锌矿铅同位素组成的座标图

属不同类型的铅同位素组成。

小南山、水口山及大宝山等与燕山期岩浆活动有关的热液矿床的方铅矿含放射成因的铅也不高, 小南山钨矿分析了两个样品, 比值变化不大, Pb^{206}/Pb^{204} 和 Pb^{208}/Pb^{204} 分别为18.44, 18.61和38.31, 38.93。大宝山两个样品在误差范围内几乎完全一致, Pb^{206}/Pb^{204} 和 Pb^{208}/Pb^{204} 比值分别为18.36, 18.51和38.82, 38.57。水口山铅锌矿两个样品, 其比值变化也不大, 分别为18.10, 18.39和39.11, 38.70。过去中国科学院还分析过一个样

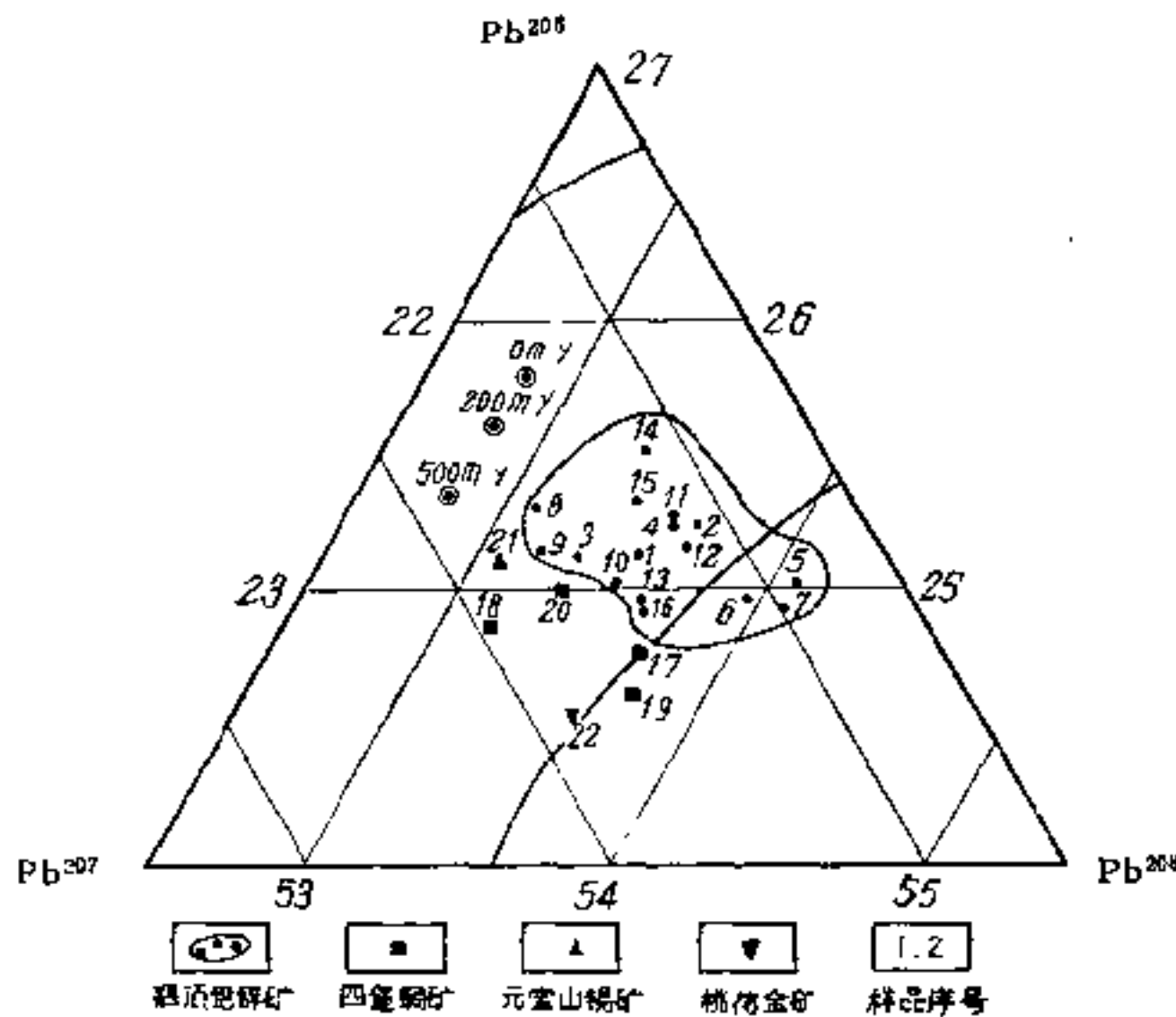


图2 酒顶等矿区铅同位素组成的三角图

品, 其 Pb^{206}/Pb^{204} 和 Pb^{208}/Pb^{204} 比值分别为 18.35 和 38.88^[1], 与我们的分析在误差范围内是一致的。

3. 东坡铅锌矿区的铅同位素组成比较复杂, 我们分别测定了东坡山、柿竹园和横山岭三个矿床中的铅同位素组成。前两个矿床为高中温热液矿床, 后一个为中低温热液矿床。东坡山三个样品, 其中两个近于正常, 一个含放射成因的铅较高; 柿竹园两个样品, 分别取自灰岩和煌斑岩中的矿体中, 其同位素组成基本一致, 但 Pb^{208}/Pb^{204} 比值偏高; 横山岭六个样品, 有正常的也有异常的, 多数 Pb^{208}/Pb^{204} 比值也偏高。

(二) 铅同位素组成在矿床内部的变化特征

泗顶铅锌矿铅同位素组成的分析表明, 该矿的铅同位素组成除含放射成因的铅相对较高外, 并在矿体内部可看出一些超出目前分析误差范围的某些有规律的变化趋势, 即铅同位素组成从矿体内部向矿体外部同位素比值有增高的趋势, 如 IV 号矿体较为明显

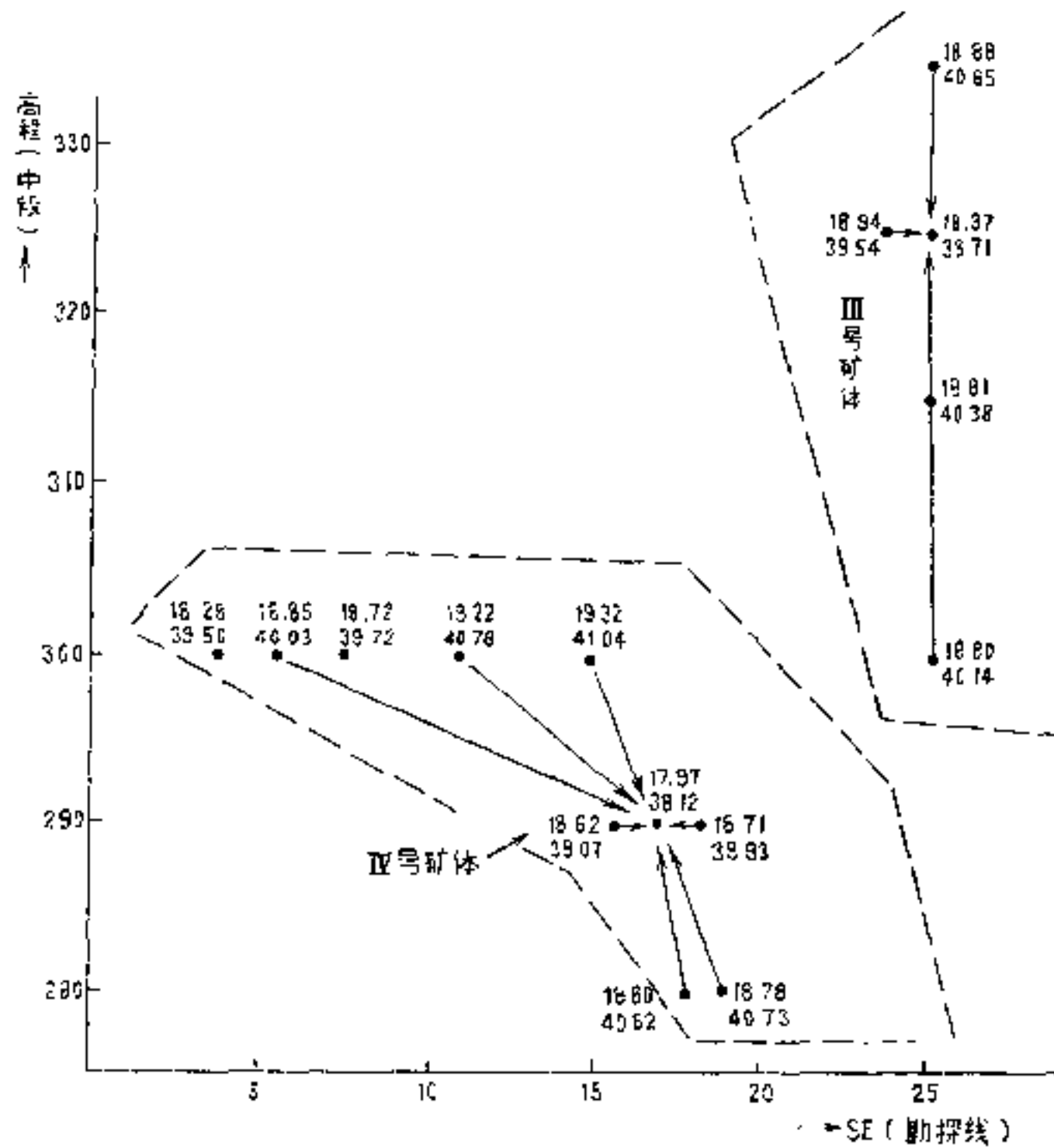


图3 泗顶铅锌矿 III、IV 号矿体中铅同位素组成变化示意图
箭头表示 Pb^{206}/Pb^{204} - Pb^{208}/Pb^{204} 减少的方向, 数值为比值

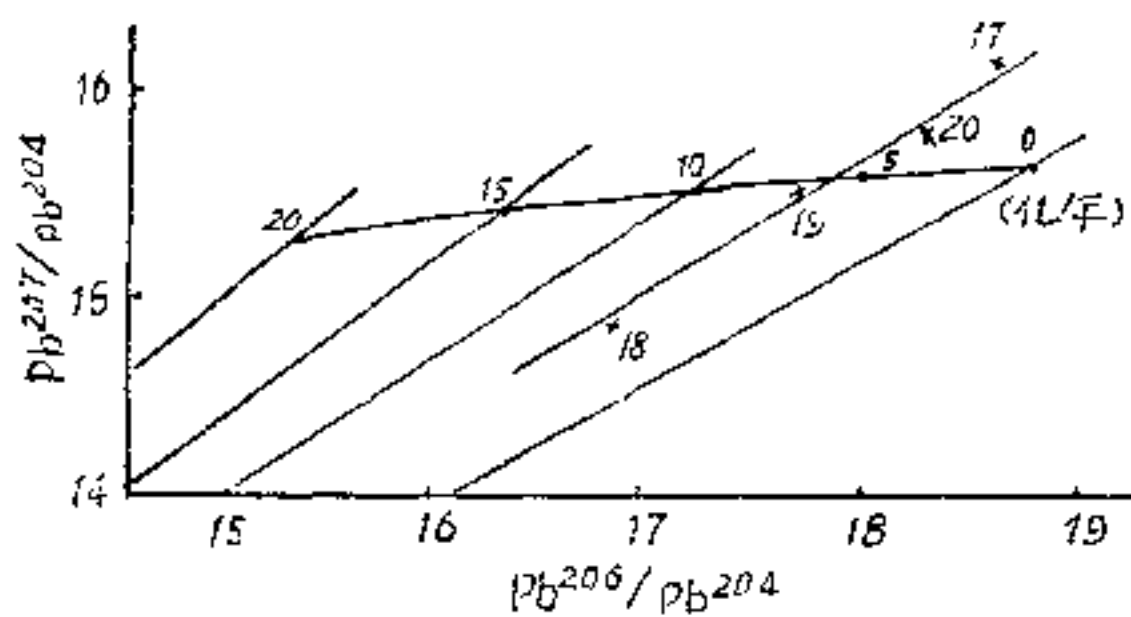


图4 四堡铜矿铅同位素组成的座标图

(表 2²⁻¹¹, 图 3)。

四堡铜矿和东坡铅锌矿的铅同位素组成尽管也有变化, 但变化特征与泗顶铅锌矿不同, 四堡铜矿的四个样品在 Pb^{207}/Pb^{204} - Pb^{206}/Pb^{204} 座标图中呈近似的直线展布 (图 4); 东坡山和横山岭矿床的铅同位素变化跟样品的出露深度有关, 即从矿体下部到上部中段同位素比值有增高的趋势。如东坡山三个样

表 2 南岭地区某些铜、铁、铅、锌和钨、锡、金等矿床中方铅矿的同位素组成

序 号	样品号	采样位置及地质特征	铅同位素组成					锌同位素组成				
			Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸	Pb ²⁰⁹	Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸	Pb ²⁰⁹
			(%)									
			铜					锡				
			顶					矿				
1	73051 C-I	I号矿体317米中段16线 铅锌矿石 结晶粗大	1.30	24.81	21.09	52.80	19.08	16.22	40.62			
2	73052 CIV-1	IV号矿体300米中段15线 铅锌矿石 星散状	1.29	24.92	20.83	52.95	19.32	16.15	41.04			
3	73053 CIV-3	IV号矿体300米中段11线 块状矿石 结晶粗大	1.29	24.80	21.30	52.61	19.22	16.51	40.78			
4	73054 CIV-6	IV号矿体300米中段5-6线 块状矿石 中细粒	1.32	24.88	20.95	52.85	18.85	15.81	40.03			
5	73055 CIV-7	IV号矿体300米中段4线 块状铅锌矿石	1.35	24.68	20.64	53.32	18.28	15.29	39.50			
6	73056 CIV-8	IV号矿体280米中段18线 线粒状铅锌矿石	1.31	24.63	20.86	53.21	18.80	15.92	40.62			
7	73057 CIV-9	IV号矿体280米中段19线 接近砂页岩矿石	1.31	24.61	20.73	53.36	18.79	15.82	40.73			
8	73058 CIV-10	IV号矿体290米中段16线 铅锌矿石	1.34	24.96	21.34	52.36	18.62	15.93	39.07			
9	73059 CIV-11	IV号矿体290米中段17线 铅锌矿石	1.38	24.80	21.22	52.61	17.96	15.38	38.12			
10	73060 CIV-12	IV号矿体290米中段18线 块状粗粒铅锌矿	1.32	24.70	21.16	52.83	18.71	16.03	39.93			
11	73061 CIV 14	IV号矿体300米中段7-加7线 砂页岩中方铅矿	1.33	24.90	20.95	52.83	18.72	15.75	39.72			
12	73062 CIV-15	III号矿体300米中段25线 铅锌矿石	1.32	24.82	20.88	52.98	18.80	15.82	40.14			
13	73063 CIV-18	III号矿体315米中段25线 块状粗粒 铅锌矿石	1.31	24.64	21.15	52.90	18.81	16.16	40.38			
14	73064 CIV-21	III号矿体325米中段24线 块状粗粒 铅锌矿石	1.33	25.19	20.90	52.59	18.94	15.71	39.54			
15	73065 CIV-22	III号矿体325米中段25线 块状粗粒 铅锌矿石	1.36	24.98	21.01	52.64	18.37	15.45	38.71			
16	73066 CIV-25	III号矿体335米中段25线 块状粗粒 铅锌矿石	1.29	24.36	21.01	53.34	18.88	16.29	40.65			
			铜					锡				
17	73067 P 02-1	四堡群变质泥质粉砂岩中方铅矿	1.31	24.43	21.28	52.96	18.66	16.21	40.43			
18	73068 P 02-4	同上	1.45	24.52	21.68	52.36	16.91	14.95	36.11			
19	73069 P 02-3	同上	1.37	24.29	21.32	53.02	17.73	15.56	36.70			
20	73072 P 02-5	四堡铜矿花岗岩闪长岩硅化带中方铅矿	1.35	24.78	21.36	52.50	18.36	15.82	38.89			

续表 2

序号	样品号	采样位置及地质特征	铅同位素组成 (%)							
			Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸	$\frac{Pb^{206}}{Pb^{204}}$	$\frac{Pb^{207}}{Pb^{204}}$	$\frac{Pb^{208}}{Pb^{204}}$	成
九 毛 锡 矿										
21	73070 Y04-1	53矿带51号矿体中方铅矿	1.41	24.74	21.54	52.31	17.55	15.28	37.10	
东 南 金 矿										
22	73071 T01	桃花矿区200米中段34*	1.39	24.21	21.58	52.81	17.42	15.35	37.99	
小 南 山 钨 矿										
23	74248 LK15	110中段 (16号矿) 沿2交叉口V8-3矿体	1.35	25.13	20.96	52.56	18.61	15.53	38.93	
24	74249 LK16	110中段 (16号矿) 沿26点V8-3矿体	1.37	25.26	20.89	52.49	18.44	15.25	38.31	
大 宝 山 多 金 属 矿										
25	74247 D3	南采区16线720高程	1.36	25.17	21.02	52.45	18.51	15.46	38.57	
26	74250 K69	大宝山花岗岩闪长岩中方铅矿	1.36	24.97	20.89	52.79	18.36	15.36	38.82	
水 口 山 铅 锌 矿										
27	74240 水2	老鸦地V8矿体Pb-Zn-Pe矿石	1.36	24.61	20.84	53.19	18.10	15.32	39.11	
28	74242 水4	鸭公塘V9矿体Pb-Zn-Pe矿石	1.36	25.01	21.01	52.63	18.39	15.45	38.70	
东 坡 铅 锌 矿 东 坡 山 矿 区										
29	74219 东4	3号矿体510中段方铅-闪锌-黄铁矿体	1.35	25.18	21.08	52.41	18.65	15.61	38.82	
30	74222 东8	3号矿体460中段细粒状晶体	1.35	25.25	21.15	52.25	18.70	15.67	38.70	
31	74220 东5	3号矿体560中段细粒状晶体	1.29	24.02	20.47	54.22	18.62	15.87	42.03	

续表 2

序 号	样品号	采样位置及地质特征	铅 同 位 素 组 成						
			Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸	$\frac{Pb^{206}}{Pb^{204}}$	$\frac{Pb^{207}}{Pb^{204}}$	$\frac{Pb^{208}}{Pb^{204}}$
东 坡 铅 锌 矿 柿 竹 园 矿 区									
32	74233 柿4	燧石中矿脉的方铅矿659中段	1.34	24.75	20.83	53.07	18.47	15.54	39.00
33	74235 柿11	V18矿体605中段	1.34	24.86	20.88	52.92	18.55	15.58	39.49
东 坡 铅 锌 矿 横 山 岭 矿 区									
34	74224 横2	11号矿体640中段铅锌矿矿体 结晶粗大	1.35	24.96	21.13	52.44	18.49	15.65	38.84
35	74225 横5	零号矿体640中段 方铅矿结晶粗大	1.36	24.81	20.72	53.11	18.24	15.24	39.05
36	74227 横4	1号矿体640中段 方铅-闪锌矿矿石	1.36	25.18	20.94	52.52	18.51	15.40	38.62
37	74228 横7	1号矿体670中段 方铅-闪锌矿矿石	1.31	24.64	21.11	52.94	18.81	16.11	40.41
38	74229 横8	1号矿体690中段 方铅-闪锌矿矿石	1.30	25.11	21.09	52.50	19.32	16.22	40.38
39	74230 横10	5号矿体690中段 方铅-闪锌矿矿石	1.34	24.90	20.86	52.92	18.58	15.57	39.49
铜 山 岭 铜 矿									
40	74244 铜2	大理岩中铅锌矿细脉	1.31	24.87	20.92	52.91	18.98	15.97	40.39
41	74245 铜3	大理岩中层状砂卡岩中的铅锌矿脉	1.35	25.04	20.87	52.74	18.55	15.46	39.07
凡 口 铅 锌 矿									
42	75001 V2	金星岭矿区2号矿体(-80)4线方铅矿-闪锌矿-黄铁矿矿体	1.34	24.86	21.15	52.66	18.55	15.78	39.30
43	75002 V28	狮子岭矿区6号矿体(-102)8线黄铁矿矿体	1.33	25.02	21.08	52.57	18.81	15.85	39.53
44	75003 V121	狮子岭矿区27号矿体(-160)9线矿体中小脉	1.34	24.28	20.79	53.58	18.12	15.51	39.99
45	75004 V132	狮子岭矿区23号矿体中Pb-Zn小脉	1.35	24.78	21.14	52.74	18.36	15.66	39.07
46	75005 V70	狮子岭(-200)5线PY-Pb-Ca小脉	1.33	24.45	20.73	53.50	18.38	15.59	40.23

注: 样品号栏中前者为实验室编号后者为野外编号

品,其中640中段和510中段的两个样品,其铅同位素比值较低,而560中段(接近地表)的样品则表现出明显的异常性(表2²⁹⁻³¹,图5),横山岭矿床640中段的三个样品的同位素比值(表2³⁴⁻³⁶)也比670和690中段的三个样品(表2³⁷⁻³⁹)相对要低一些(图6)。

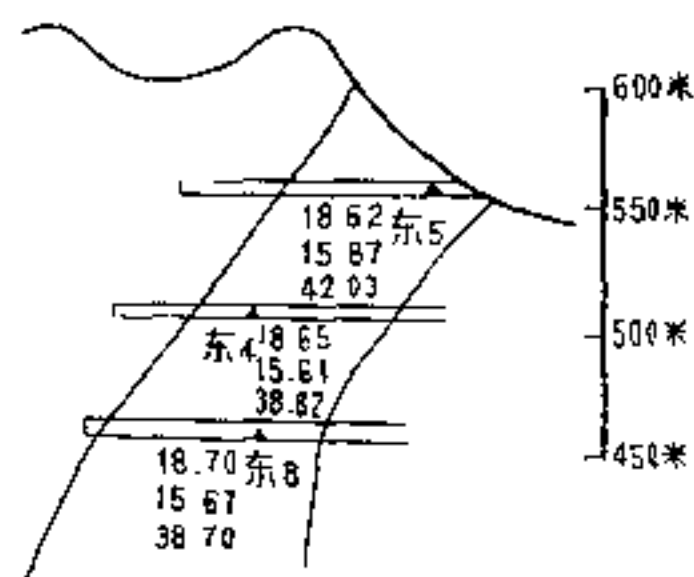


图5 东坡山铅锌矿三号矿体铅同位素采样位置图

(三) 四堡铜矿、九毛锡矿和桃花金矿的铅同位素年龄

我们根据上述矿区的铅同位素组成,运用不同公式进行了模式年龄的初步计算。用Houtermans计算 Φ 值的公式计算四堡铜矿的年龄在500—690百万年范围内,如果把样品的铅同位素比值绘到 $Pb^{207}/Pb^{204}-Pb^{206}/Pb^{204}$ 座标图上,则四堡矿区的四个点所

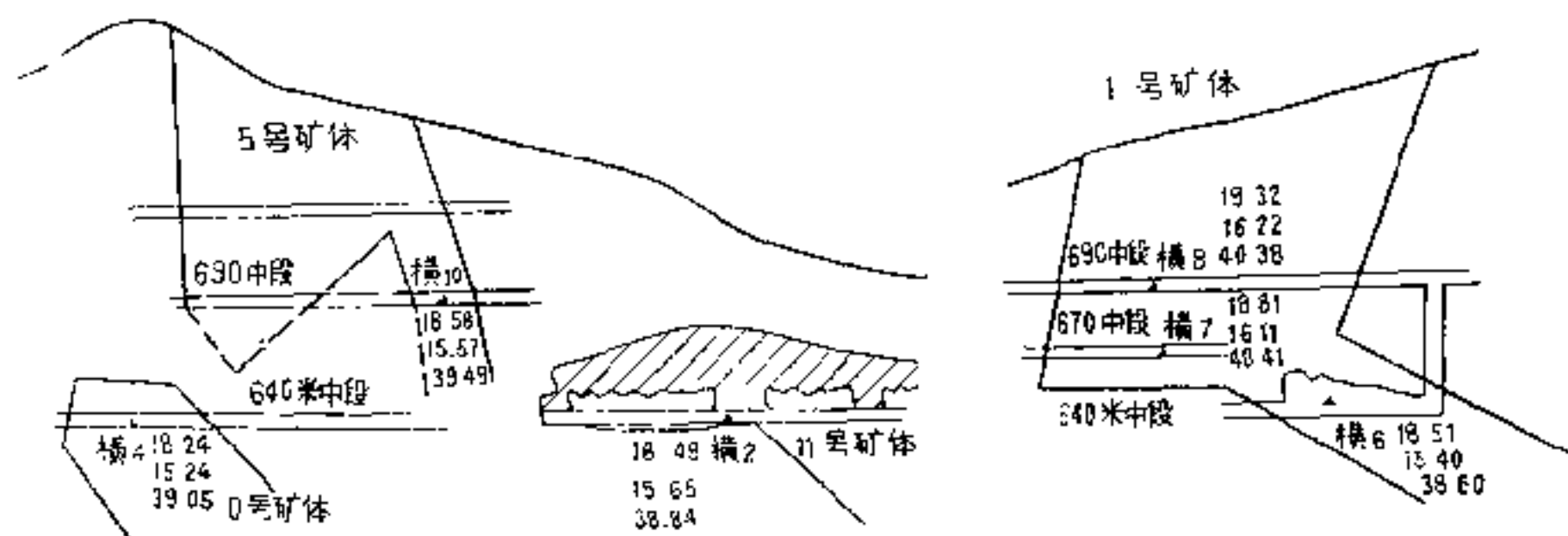


图6 横山岭铅锌矿中铅同位素采样位置图

联成的一条直线与单阶段演化曲线交于一点,根据最近Doe提供的资料^[8]所绘制的增长曲线,其交点在5—6亿年之间(图4);九毛锡矿的 Φ 值年龄为398百万年,根据Russell公式^[11],用 Pb^{206}/Pb^{207} 计算的年龄为391百万年,两种方法计算的年龄大致吻合;桃花金矿的 Φ 值年龄为785百万年,用 Pb^{206}/Pb^{204} 比值计算的年龄为778百万年,用 Pb^{206}/Pb^{207} 比值计算的年龄为729百万年,三种方法计算的年龄基本一致。

三、讨 论

根据上述矿床的铅同位素组成特征,结合有关地质资料,初步讨论如下几个问题:

1. 泗顶铅锌矿的铅同位素组成比较异常,铅同位素组成有一定的变化范围,如 Pb^{206}/Pb^{204} 为17.97—19.32, Pb^{207}/Pb^{204} 为15.29—16.51, Pb^{208}/Pb^{204} 为38.12—41.04,并且多数含放射成因的铅都较高,接近或高出 $t=0$ 时的比值^①,多数为异常铅。

① 不同作者所取 $t=0$ 时的同位素比值:

Pb^{206}/Pb^{204}	Pb^{207}/Pb^{204}	作者
18.66	39.06	Kanasevich (1968)
18.51	38.44	Doe (1962)
18.549	39.06	Stacey等 (1969)
18.773	38.736	Doe等 (1973)

类似泗顶铅锌矿这种远离火成岩体，产于碳酸盐中，矿石成分简单，矿体呈层状、似层状或脉状的矿床，在我国云南、贵州等地也有产出，这类矿床的成因过去多认为是低温或超低温岩浆热液矿床。近几年来，主要是根据国外大量的稳定同位素的研究，证明不是岩浆成因的，其矿质不是来源于地幔，而是来源于地壳岩石，或是同生沉积成矿，或是由于地下水或卤水的深部环流活动，把围岩中的矿质溶解出来，再在附近的裂隙或层理中沉淀为矿脉或矿层。美国密西西比河谷型铅锌矿是这类矿床的典型例子^[4,6,10]，泗顶和云南、贵州一些铅锌矿与密西西比式铅锌矿铅同位素组成有某些相似之处（表3）。

表 3 泗顶、云贵地区某些铅锌矿与密西西比式铅锌矿铅同位素组成

地 区	Pb^{206}/Pb^{204}	Pb^{207}/Pb^{204}	Pb^{208}/Pb^{204}	资 料 来 源
泗顶铅锌矿	17.97—19.32	15.29—16.51	38.12—41.04	本 文
云南东部、贵州西部	18.65—19.05	15.91—15.63	39.59—39.96	[1]
密苏里东南铅锌矿 平 均 (131个)	19.69—21.46 20.81	15.65—16.19 15.97	39.10—41.02 40.08	[6]

凡口铅锌矿产状和矿物成分与泗顶铅锌矿基本相同（见表1），其成因问题近几年来争论很大，不少人倾向于其物质来源与地层有关，并非岩浆热液矿床。现有少量样品的铅同位素组成表现出一定的异常性，表明其矿质有可能来源于地壳，或者不是单一来源。

东坡矿区的铅也有一定的异常性，表明其形成历史比较复杂。矿体的产状在空间上主要与石英斑岩或花岗斑岩关系密切，富放射成因的铅多出现在矿体的上部中段。铜山岭铜矿的两个样品分别采自大理岩和矽卡岩中，均为铅锌矿细脉，两个方铅矿中的铅均表现出一定的异常性。上述两个矿床在成因上与矿体附近的酸性岩体有关，铅同位素的异常性可能反映其铅的形成受地壳岩石的影响。

2. 水口山铅锌矿、大宝山多金属矿、小南山钨矿等与燕山期岩浆活动有关的矿床，其同位素组成比较正常，变化不大。中国科学院地球化学所也曾在该地区测定了不同矿区的四个样品（包括一个水口山样品），其结果在误差范围内也是很稳定的，平均比值 $Pb^{206}/Pb^{204} = 18.32$ ， $Pb^{208}/Pb^{204} = 38.84$ ，模式年龄为 160 百万年^[1]，与有关燕山期岩浆岩的年龄相吻合，与我们的测定是基本一致的。在地质上这些矿床无论在空间上或时间上与燕山期岩浆活动均有密切的关系，加之矿床形态、矿石结构、矿物组合均很复杂，具明显的岩浆热液矿床的特征。

四堡铜矿的四个样品尽管本身也有一些变化，个别比值较高，但其变化沿一直线展布，此直线与铅同位素的单阶段演化曲线有一个交点，说明它们具有相同的发展历史和相同年龄，证明它们是同源的。按方铅矿的模式年龄为 600 百万年左右。据研究，小于 10 亿年的样品，其模式年龄比用其它方法（如铀-铅法、铷-锶法、钾-氩法等）测定的年龄值要偏低^[15]。因此，本区铜矿的矿化时间可能在 6 亿年以前。九毛锡矿产在元宝山花岗岩体的外接触带，方铅矿模式年龄为 390—400 百万年左右，和我们最近测定的这个矿床矿石中黑云母的 K-Ar 年龄（434 百万年）比较接近。

3. 关于桃花金矿的形成时代和成因问题。以往资料认为金矿形成与加里东期的岩浆岩有关，但缺乏直接的证据，作为金矿脉围岩的寒武系水口群下亚群也未发现化石，是否

有更老的地层存在值得怀疑。根据金矿中方铅矿的铅同位素测定结果,从其组成上看,含放射成因的铅不高,不属现代铅(古生代以后)的范畴。如前所述,用不同公式计算的模式年龄都在7亿年以上,从这个年龄数据来看,金矿中铅的来源比寒武纪地层或加里东岩浆岩更老,据Gray (1958)研究 Witwatensrain 的金矿是由变质成因的热液所造成的,矿质既可以来源于比围岩老得多的下伏古老基底岩石,也可以来源于比围岩年轻的新地层。世界上有很多地区的非岩浆成因的金矿常与围岩时代不一致,因此桃花金矿也有可能是变质成因的。当然,对于该金矿的成因和形成时代还值得今后进一步研究。

4. 在泗顶铅锌矿中,铅同位素组成在空间上有一定的变化规律,表现出一定的方向性。这种方向性变化在上密西西比河谷区、密苏里东南、不列颠哥伦比亚以及澳大利亚 Queensland 东北等铅锌矿床中都有发现^[8,10,14],而且有的还与硫同位素比值的变化一致^[4]。我们也作了几个硫同位素,发现同一矿体或矿床中,铅同位素比值 Pb^{206}/Pb^{204} , Pb^{208}/Pb^{204} 增高, S^{32}/S^{34} 比值也增高 ($\delta S^{34}\%$ 减小),如泗顶矿 III、IV 号矿体,四堡矿 P02-1、P02-3 等(表4)。同位素比值(包括硫同位素)在矿床中的方向性变化,可能与含矿水溶液的流动方向、沉淀的先后以及流经途中围岩的放射性污染等有关。所以研究矿床的同位素(包括硫同位素)变化不但有可能指出矿体的位置,追索矿质来源及运移方向,同时也可能指出成矿的物理化学环境。在不少矿区,铅同位素的变化还与矿床的规模和储量有关,因此还可用于对矿床进行评价^[8,10,14]。泗顶铅锌矿铅同位素的方向性变化可以为我们进一步研究此矿床的成因、物质来源、形成过程和环境等提供参考和线索。

表 4 泗顶和四堡矿区中铅和硫同位素对比

样品号位置及编号	铅同位素组成			硫同位素组成	
	Pb^{206}/Pb^{204}	Pb^{207}/Pb^{204}	Pb^{208}/Pb^{204}	S^{32}/S^{34}	$\delta S^{32}\%$
泗顶铅锌矿					
C III-18	18.81	16.15	40.38	22.198	1.0
III号矿体					
C III-22	18.37	15.45	38.71	22.167	2.4
IV号矿体					
C IV-3	19.22	16.51	40.78	22.192	1.3
C IV-12	18.71	16.03	39.93	22.160	2.7
四堡铜矿					
P 02-1	18.66	16.24	40.43	22.287	-3.0
P 02-3	17.73	15.56	38.70	22.249	-1.3

四、结 语

综上所述,可以得出如下几点初步认识:

1. 不同时代、不同来源的矿床,其铅同位素组成是不同的。泗顶铅锌矿的铅同位素组成表现出明显的异常性,反映其成矿环境和形成历史的复杂性。结合该矿矿石成分简单、无火成岩活动等矿床地质特征,认为此矿不属岩浆热液矿床,其矿质来源于非均一的