对石碌铁矿矿石结构构造及沉积机理的认识

广东冶金地质实验研究所岩矿组

石碌铁矿为我国重要富铁矿基地之一。解放后对该矿区矿床地质方面曾做过不少工作。本文仅就铁矿矿石结构构造、物质组分及矿床沉积变质特征提出初步认识，供进一步研究参考。

一、矿石类型及矿物组分

石碌铁矿矿石主要由石英、磁铁矿和赤铁矿三种矿物组成，氧化铁及二氧化硅合量常达95%以上。石英和赤铁矿最常见，磁铁矿相对较少。该区矿石主要有三种共生组合类型（表1），兹分述如下：

1、石英-磁铁矿-赤铁矿组合 为矿区主要的矿石类型，分布广泛，构成矿石和富矿石的主体。三种矿物含量比不定，但赤铁矿恒多于磁铁矿。矿石呈钢灰色，块状或片状构造，成赤铁矿片岩。磁铁矿呈较细小的变斑晶状或不规则状，与赤铁矿混杂共生。石英主要呈碎屑状，少数呈细脉或不规则集合体；石英碎屑含量不定，量极少时成致密块状赤铁矿矿石，增多时可成铁质胶结的粉砂岩。

2、硫化物-石英-磁铁矿-赤铁矿组合 矿物组分较复杂，后期交代蚀变现象较显著，多分布于主要矿体的边部及深部。矿石由黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿（镜铁矿）、及少量穆磁铁矿、磁黄铁矿等组成，含硫及低价铁较高。黄铁矿呈细脉状或分散浸染状。磁铁矿多呈不规则脉状、囊状、团块状等集体，且常与石英、重晶石等构成细脉，显示后期热液作用的特点。这类矿石中含有较多的石榴石、绿帘石、阳起石、绿泥石等蚀变矿物；碎屑状石英相对较少，主要构成高硫矿石。

3、锰矿物-石英-磁铁矿-赤铁矿组合 仅见于局部含矿层位，特点是含锰量较高，砂泥质较多，大部具鲕状结构及沉积层理构造。矿物组分除赤铁矿及少量磁铁矿、褐铁矿外，有硬锰矿（锰土）、少量软锰矿、水锰矿及红帘石、锰黑云母等含锰硅酸盐矿物，红帘石经常出现。矿石中之锰矿物除红帘石、锰黑云母外，多为后期风化淋滤之次生锰质，沿矿石之裂隙、节理呈黑色被膜、肾状或葡萄状产出，一般含量不甚多。

几种主要矿石与脉石矿物特征如下：

①赤铁矿 主要呈微晶状、鳞片状、片状，少数呈板条状及等轴粒状。集合体为块状、鲕状、团块状或呈碎屑物质间之胶结

各类型矿石的矿物组分 表1

	矿物组合类型	金属矿物	脉石矿物
第一类型	石英-磁铁矿-赤铁矿组合	赤铁矿、磁铁矿，很少量的黄铁矿	石英、少量重晶石、绿泥石、绢云母
第二类型	硫化物-石英-磁铁矿-赤铁矿组合	磁铁矿、赤铁矿、黄铁矿、穆磁铁矿、镜铁矿、少量黄铜矿、磁黄铁矿、褐铁矿等	石英、绿帘石、阳起石、石榴石、绿泥石、重晶石、方解石等
第三类型	锰矿物-石英-磁铁矿-赤铁矿组合	赤铁矿、磁铁矿、硬锰矿(锰土)、软锰矿、水锰矿、褐锰矿、褐铁矿、水赤铁矿	石英、绢云母、粘土矿石、红帘石、锰黑云母、阳起石、透闪石等

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

物。有时可见由应变引起之页片双晶。鳞片大小均匀，以0.05～0.1毫米（长度）者最常见。成微晶状者多分布于变质较浅之部位及鲕状矿石中。晶体纯净，无外来包裹物。按形态为α-赤铁矿。在第二类型矿石中亦见有呈等轴粒状者（粒径0.2毫米左右），故可能有γ-赤铁矿，值得注意。

水赤铁矿 红色，土状或粉末状，见于铁矿鲕粒、石英碎屑和石英粉砂的胶结物中。个别矿石中见呈胶状小圆粒者，并略呈环带结构。

②*磁铁矿* 结晶较好的晶粒有时见平行（111）的页片双晶，磁铁矿出现形式较多：呈变斑晶状者，八面体晶形一般较完整，大小均匀，粒径以0.1～0.2毫米的居多。大部分已氧化成假象赤铁矿，在矿体中分布广泛，疏密不等地见于鳞片状赤铁矿中。呈后生脉状及不规则状者常与绿帘石、石榴石、黄铁矿、重晶石、脉石英等热液蚀变矿物及硫化物共生。在矿体中局部集中，对矿石富化起一定作用。集合体呈脉状、块状、囊状、串珠状和不规则状，亦见有沿赤铁矿片理定向分布，交代赤铁矿。这种后生磁铁矿很少氧化为赤铁矿。呈等粒镶嵌状者多为集合体，粒径可大达0.5毫米以上。在岩体接触带附近分布较多，大部氧化为微晶状赤铁矿。此外，有些可能是在成岩作用中赤铁矿不稳定形成亚铁化合物。矿石中可见磁铁矿细粒晶体沿铁矿鲕粒同心层呈环带状分布，或由赤铁矿、磁铁矿组成鲕粒同心层圈。矿石中亦常见有与赤铁矿混杂共生的磁铁矿不规则集合体。

穆磁铁矿 量少，呈似赤铁矿的细小板条状晶体，常分布于黄铁矿脉旁，见于第二类型矿石中。穆磁铁矿可能为富H_2S的溶液对赤铁矿的还原作用所致。穆磁铁矿又常复受氧化，为后期赤铁矿交代。

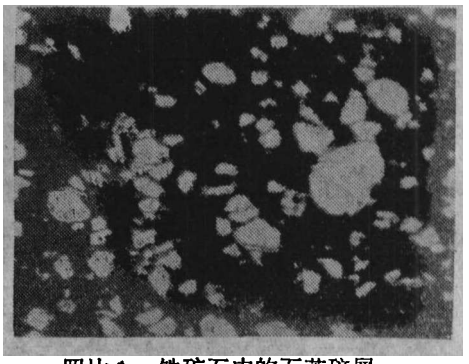
③*黄铁矿* 大部呈脉状或分散浸染状。在矿体边部及构造裂隙、破碎部位分布较多。与后期磁铁矿、绿帘石、绿泥石、重晶石、脉石英及少量磁黄铁矿、黄铜矿等共生。黄铁矿至少有两期，晚期者常呈细脉状穿插早期者。黄铁矿与后期磁铁矿一起出现表明一种较强的还原环境。铁矿石中之黄铁矿一般结晶较好，立方体和五角十二面体晶形普遍，粒度也较大。矿物中Co、Ni含量很低，未见钴、镍矿物细粒包体，与铁矿层下部铜钴矿体中之黄铁矿显然不同。

④*重晶石* 呈不规则脉状或沿铁矿石裂隙充填（可见较大之板状晶簇，且伴生有磁铁矿），也可构成铁质粉砂岩局部的胶结物。据前人资料，矿区中尚见有鲕状重晶石及似层状之重晶石矿体（位于铁矿底盘）。由上可知，重晶石可能兼有沉积、溶液充填、次生淋滤等多种成因。重晶石为富氧化合物，在区域变质过程中有较大之迁移性。它的普遍出现，表明沉积物生成于氧化环境且生成后未受深变质作用。

⑤*石英* 大部为原始沉积碎屑，少部为碎屑间的自生硅质胶结物、隐晶硅铁质碧玉及后期脉状石英。

碎屑石英 通常粒度变化不大（大部＜0.1毫米），以次棱角状为主。少数颗粒较大者趋于半滚圆或滚圆状。石英碎屑常受铁矿溶蚀，边缘圆化或受强烈溶蚀而不规则。与其共生的其他矿物碎屑极少，为成熟度较高的单矿物砂沉积。

自生石英 构成石英碎屑间少量的隐晶或微晶状硅质胶结物，碎屑周围亦常见次生增大现象（照片1）。自生石英较纯净，无包裹物。



照片1 铁矿石中的石英碎屑
（大者呈浑圆状，石英有次生加大现象）

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

脉状石英及后生石英 在矿体中可与镜铁矿、磁铁矿、重晶石、绿帘石等一起构成各种细脉。矿体边部黄铁矿化强烈处之较显著的硅化现象，构成带褐红色的坚硬致密的硅铁质岩或穿插矿石的硅铁质细条纹。在铁矿体及其旁侧的透辉透闪岩中，有不规则团块状、条纹状、星点状之红色-红褐色碧玉，由致密隐晶质石英及赤铁矿组成。碧玉为后期镜铁矿脉及石英细脉切穿。在南六矿体见碧玉团块排列方向斜交围岩层理，其附近并常伴有黄铁矿化及硅化。

二、矿石结构构造

矿石的结构构造研究表明，该区矿石具有某些沉积成因的特点，以后又叠加了复杂的变质作用影响，致使矿石成分及结构发生了较广泛的变化，但变质深浅不一，有些仍保留着原生结构。

1、矿石构造 可见的有：

①片状构造 矿石与围岩一起受区域变质作用影响，赤铁矿鳞片变晶定向排列，矿石具明显的片理构造。片理与矿体围岩层理产状一致。在剪切力集中的部位，片理显著有揉皱褶曲现象。

②块状构造 这种构造没有前一种常见。见有微晶质块状赤铁矿矿石及结晶较粗的磁铁矿为主的块状矿石。

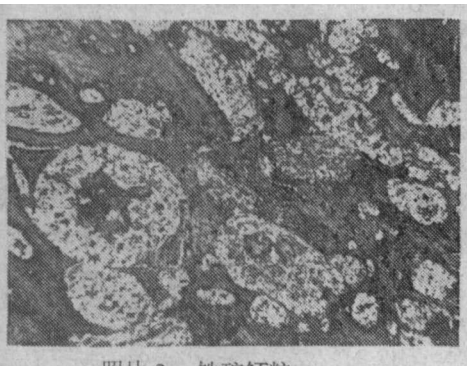
③条带状及薄层状构造 含砂泥质多的矿石此类构造较多，常为贫矿。或是砂泥质岩石中铁矿呈不规则细条带（条纹），或是铁矿物及石英碎屑薄层相间（即贫、富铁矿薄层相间），或是铁质千枚岩及韵律性铁质粉砂岩矿石。有些条带状矿石为后期石英细脉沿铁矿石片理平行穿插而成，但较为少见。

④浸染状构造 很少见。局部有些黄铁矿或磁铁矿分散浸染于矿石中。

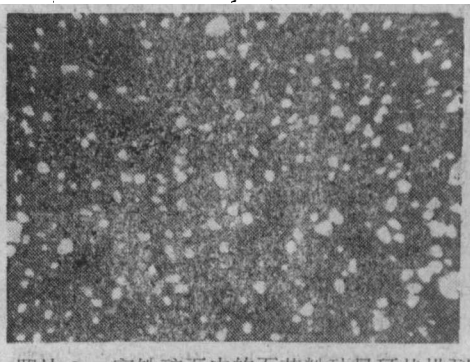
2、矿石结构 主要有：

①鳞片斑点变晶结构 在矿石中最为常见，赤铁矿呈细鳞片状，其中散布有磁铁矿变斑晶。

②微晶结构 结晶程度差的赤铁矿呈极



照片2 铁矿鲕粒



照片3 富铁矿石中的石英粉砂呈环状排列

照片4 铁质胶结的石英粉砂

照片5 铁矿凝块式胶结石英粉砂

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

微细致密的集晶体，鳞片状晶体定向性不显著。初步认为这种微晶质赤铁矿是在成岩过程中由铁质胶溶体或凝胶早期阶段脱胶化而成，代表成岩后受变质程度最浅的矿石，见于某些致密块状赤铁矿石及鲕状赤铁矿石中。

③鲕状结构　见于多砂泥质的贫矿中。鲕粒大至2～3毫米，小至显微状，圆形或椭圆形-长轴常平行岩石层理。鲕粒分有核或无核。有核者，核心为石英粉砂或铁质，同心层一般为3～4层。部分为实心鲕及表面鲕，即无同心层状构造或鲕环只有一个，表明局部水的振荡较弱，鲕粒发育不全。鲕粒成分一般为赤铁矿、粘土、绢云母、石英粉砂等。铁质由于脱胶重结晶常成为微晶质赤铁矿。鲕粒间的物质与鲕粒成分相似（照片2）。

④团粒或团块结构　主要由赤铁矿构成滚圆形的集合体，周围由极微小的石英粉屑组成有规律的环带（照片3）铁矿团粒和石英粉屑间为水红色的氧化铁（水赤铁矿或褐-赤铁矿）胶结。这种结构不具固定的明显的形态，薄片观察较为清楚。初步认为其成因与鲕状结构相似，即一种胶体沉淀物。

⑤变余粉砂状结构　见于贫矿石中。铁矿物在石英粉砂（或其他砂粒）间呈胶结物（照片4）这些胶结物大部为细鳞片状赤铁矿，胶结物多时构成基底式或凝块式胶结（照片5）。

三、含铁岩系的沉积建造特征及变质现象

矿区地层为一套浅变质的类复理式建造的砂泥质岩及碳酸盐类岩石，岩相、厚度变化均较大。这套地层统称为石碌群，时代现暂定为寒武-奥陶纪。石碌群自下而上分为七层，第二、六层为海相碳酸盐类岩层，第六、七层为沉积条件不同的两个含铁层位。第六层是主要含矿层。第四至六层为一套较完整的浅海相海进岩系，矿体主要赋存于海进层序顶部向海退层序转变的过渡带。含铁岩系是在化学和机械沉积两种地质作用交替环境中形成的。铁矿本身以胶体化学沉积为主，但有多量陆源碎屑物质参加。第七层中的铁矿为砂泥质岩层中的薄矿层，含锰铁矿少而贫。

1、矿体的沉积特征　铁矿产于一定的层位及特定的岩性中，基本形态为层状或似层状。主矿体大部位于石碌群第六层的透辉透闪岩中，但紧靠铁矿体的边部和铁矿体中常为含铁粉砂岩、千枚岩或板岩、石英岩等，构成一套韵律性较强的细碎屑沉积物，厚薄不一，有时厚仅几十厘米。在开采面上可见较清晰的水平层理及微斜层理。

根据钻孔及地层剖面资料，第六层层序自下而上为：

①下部为白云岩，底部成分较纯，有蚀变现象。在铜钴矿化处透闪石化显著，白云岩多处渐变为透辉透闪岩，靠近矿体以透辉透闪岩为主。

②含铁岩系包括铁矿体及含铁粉砂岩、千枚岩、石英岩、板岩等，具明显韵律构造。

③上部为白云岩、透辉透闪岩及石英岩、炭质板岩、粉砂岩等的夹层。

铁矿体的沉积韵律　一般矿体中央品位较富，矿体外部总有一宽窄不等的贫矿带。矿体中贫富矿相间，构成多层富矿带，矿石品位呈韵律式变化，显示沉积序律性的特点。矿石中除石英粉砂外，并可见明显呈水平状的粒级层，每一粒级层底部都含有滚圆的较大的石英颗粒。

由矿石结构构造特点所反映的矿体沉积特征已如上述。要补充的是在紧邻矿体的铁质千枚岩中，椭圆形铁矿团块（或实心假鲕）亦甚多见。鲕粒或团粒的长轴按一定方向排列，显示水的动荡方向和胶体沉积特征。

2、矿体及其周围地层的变质情况　矿区地层由绢云母石英片岩及石英绢云母片岩（千枚岩）、石英岩、白云石大理岩、透辉透闪岩等组成。片岩与铁矿普遍具结晶片理或其他定向构造。每类地层中主要造岩矿物共生组合及变质特点，在一定成分的变质岩

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

中都很稳定，在较大空间范围内往往保持不变，显示区域变质的特点。在接触变质和后期热液蚀变显著的地方，对矿体的改造起了较重要的作用。

①*矿石的变晶结构及变质交代* 与赤铁矿共生的石英碎屑除普遍具较强的波状消光外，变形、粒碎化、重结晶等现象并不显著，可见矿体受变质程度并不很深。特别是有些鲕状及致密微晶状赤铁矿矿石，赤铁矿呈极微细的鳞片集晶体，结晶化程度不很高。变质相相当于绿片岩相，与铁矿围岩变质程度相当。

区域变质过程中的内生氧化作用主要表现为磁铁矿的假象赤铁矿化。这种现象在矿体中相当普遍，并不依深度和水平方向不同而变化，而后期脉状磁铁矿则常无变化。

在矿体及围岩中均有与一定岩性、矿物组合有关的小变质脉，其成分与围岩相似。铁矿石中多为石英-镜铁矿脉，在透辉透闪岩中多为石英-透闪石脉，在白云岩中多为碳酸盐脉。物质成分的继承性，可能是变质副热液作用的结果。矿体某些部分多重晶石、磁铁矿等矿物，可能部分与变质过程中分泌出的带还原性的弱碱性溶液有关。这种溶液促使赤铁矿不稳定，局部变为磁铁矿。

②*矿体与围岩的热力变质* 由于矿区附近岩浆活动的影响，使矿区的各种岩石及矿体较普遍而广泛地遭受热力变质作用。

矿体的热力变质：表现为铁矿石中普遍有细粒变斑晶状磁铁矿（大部分已变为假象赤铁矿），类似于泥质岩石在热力变质中生成的变斑晶。这种磁铁矿有时可见少量赤铁矿鳞片包裹在其中，亦可见磁铁矿斑晶截切赤铁矿鳞片结晶片理，有时被包裹的赤铁矿鳞片还保持有原来的片理方位。

近花岗岩区的及深部的铁矿体中磁铁矿明显增多。镜下观察近花岗岩区的各矿体中大量赤铁矿重结晶为粒状相嵌的磁铁矿；同时矿体中FeO、S、P的含量明显高于主矿体，深部矿体中FeO含量亦明显升高。所有这些都表明岩浆岩对矿体的热力影响，亦证明铁矿形成于岩浆活动之前。

泥质岩石的热力变质：离花岗岩体较远的石英绢云母片岩，经热力变质出现由云母及铁质组成之斑点状构造，斑点轮廓模糊，为未成形的红柱石和堇青石雏晶。近花岗岩体处绢云母片岩中有多量晶形完整的红柱石变斑晶及堇青石、黑云母、电气石等变质矿物出现。

碳酸盐类岩石的热力变质：矿区内碳酸

透辉透闪岩化学成分　　表2

样号	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	TiO_2	Fe_2O_3	FeO	H_2O^+	H_2O^-	P_2O_5	CO_2	烧失量	总量	备注
Si-7	15.39	7.30	16.00	10.01	2.70	1.03	0.102	0.36	3.80	1.35	0.82	0.05	0.066	1.752	2.97	97.68	化学分析
Si-8	57.56	4.99	16.00	10.35	1.80	1.93	0.123	0.44	2.82	2.10	0.52	0.00	0.062	0.336	1.05	99.35	〃
412-74	52.81	8.23	15.29	12.75	3.00	0.35	0.23	0.48	0.87	3.00	1.90	0.31	0.101		2.33	101.65	〃
C-210	51.83	6.83	18.68	11.42	2.80	0.45	0.25	0.33	0.43	4.74	0.82	0.10	0.07	0.69	1.56	101.00	〃
400-13	62.77	10.75	8.01	6.69	4.62	0.29	0.135	0.60	1.27	2.10	1.04		0.098	1.06	1.96	102.00	〃
400-14	59.23	2.91	21.16	11.52	2.05	0.11	0.17	0.14	2.80				0.14			100.23	〃
400-30	56.18	7.00	18.31	12.55	3.42	0.19	0.17	0.46	2.55				0.12			100.95	〃
355-76	62.19	7.76	10.04	4.87	3.29	0.11	0.23	0.56	9.58							98.81	电子探针分析
355-79	60.22	6.44	13.45	8.11	4.02	0.28	0.19	0.58	5.45				0.08			98.82	〃
355-82	56.96	18.42	13.28	1.64	7.17	0.56	0.04	0.73	1.33				0.42			100.55	〃
355-18	55.35	13.85	8.99	5.32	6.03	0.20	0.10	0.93	7.41				0.24			98.18	〃

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

盐类岩石为白云岩，含SiO_2等杂质较多。成分较纯的白云岩变质后形成含透闪石、透辉石、镁橄榄石、尖晶石（后两种较少）等矿物的结晶质碳酸盐类岩石或大理岩。此外，与铁矿密切相关的有一种钙硅酸盐角岩——透辉透闪岩。此类岩石出现在矿体上下两侧，矿体中有时亦见夹层；其主要矿物为透辉石、透闪石、钾长石，次要矿物有石英、榍石、绿帘石、黝帘石、金云母、镁橄榄石、滑石、蛇纹石、斜长石、绿泥石、阳起石、绢云母、葡萄石、黑云母和磁铁矿等。

透辉透闪岩化学成分（表2）特点是K_2O含量明显高于Na_2O，$K_2O+Na_2O=4.22\%$，SiO_2平均含量大于55%，$CaO>MgO$，Al_2O_3平均含量8.70%，TiO_2相对较高（平均0.52%）。这说明与岩浆岩来源的钙硅酸盐角岩有较大的差别，而较符合副变质岩的化学成分。

透辉透闪岩大多具条带、条纹状构造，为原始薄层理及韵律层的反映。各层条带的矿物组合有：细粒状透辉石-钾长石+榍石-微晶状透闪石-绢云母+榍石-微晶状透闪石+石英+少量铁矿小点-绿帘石或黝帘石等，其中钾长石+榍石及绢云母条带代表原岩中富泥质部分，粘土质对钾及钛酸有选择亲合力，故在这些条带中出现榍石等矿物较多。

透辉透闪岩呈层状产出，与碳酸盐类岩石呈明显的渐变过渡，同时与片岩、石英岩等整合互层；很大部分可能是由不纯碳酸盐类岩石、含泥质很高的白云岩变来。此外，铁矿体边部有时亦有含钙质的千枚岩或钙泥质粉砂岩等经变质后形成含绿帘石、透闪石、透辉石、长石等的类似岩石，但分布较少。

透辉透闪岩在空间分布上与铁矿关系较为密切，但分布范围广泛得多，不大可能由局部接触交代作用或近铁矿的热液蚀变所成，而是区域性热力变质的产物。

3、热液蚀变 铁矿体的边部及构造裂隙发育处，有多量的钙铁榴石、阳起石、绿泥石等，并有后期磁铁矿、黄铁矿、镜铁矿等矿化。愈向矿体深部这种后期穿插的矿脉愈发育，并对矿体加富起一定作用，但不是形成富矿体的主导因素。从整个矿区来看，在矿体附近未出现与铁矿规模相适应的蚀变。铁矿边部蚀变的部分一般为贫矿或次贫矿石，而中央富矿带常无后期叠加、蚀变现象。此外，矿石组成元素较简单，钾、钠及F、Cl、B、CO_2等挥发分含量较低，与一般接触交代夕卡岩型矿床或火山沉积矿床亦不相似。

综上所述，我们认为石碌铁矿主要是通过沉积-成岩作用形成，其后，复经不同程度的热液蚀变-交代作用。

（江龙图执笔）

铅同位素的研究

对地表铁帽或矿石矿物的铅进行铅同位素分析，可以找到矿床並查明其成因。成果的推断解释取决于异常铅与普通铅的识别及其成因关系与空间分布。在研究矿床成因方面，主要用途是确定矿石中铅的来源并估计成矿年代。例如，同位素铅证明：密苏里州西南部巫生古方铅矿矿石的铅来自寒武纪砂岩含水层，部分可能来自前寒武纪基底和古生代碳酸岩母岩；爱达荷州克达伦地区的矿石年代是前寒武纪，并非过去认为的新生代。铅有三种放射性同位素，具有高的原子量（对天然的、依赖质量的分馏方法不灵敏），而且对硫化矿物有天然亲合性。这些特性使铅成为一种灵敏的指示天然成矿作用元素。世界大多数主要硫化物矿床具有特征的铅同位素比值，许多矿床似乎具有在单阶段条件下（持续时间内保持化学上的均一性）离析的铅同位素组分。在这种条件下，地球形成以后除由铀、钍放射性衰变引起的以外，矿石的物质来源中不发生铀—铅和钍—铅的变化。

同一地区的铅同位素比值相同，所以远景区的铅同位素分布可与相邻的生产矿山的铅同位素分布进行对比。在美国的密西西比河谷地区，用这种方法来评价含异常铅的主矿体附近的远景矿区。

铅同位素测量虽然在某些地区详细采样可能是合适的，但用于区测比用于小范围更有效。

就已知矿床上累积的经验来看，可归纳出以下几条指导找矿的准则：铅同位素组分均匀；放射成因铅的含量比同一地区有关样品中其它成因的低；同位素比值接近矿石铅生长曲线。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net