

论罗河铁矿床地质特征及矿床成因

黄 清 涛

(安徽省地质科学研究所)

一、成矿地质背景

庐枞地区火山岩地处中朝准地台淮阳地盾和扬子准地台下扬子拗陷褶皱带的毗邻部位,北西西向桐柏—磨子潭深断裂和北北东向郟庐深断裂的交会处。后者又将该火山岩区断开,使其西侧沉陷并为下白垩统红色沉积覆盖;东侧相对抬升,保留着北宽南窄的向斜构造盆地。罗河铁矿床即位于该盆地的中部偏西、郟庐断裂与大包庄北西向断裂的交叉处(图1)。

庐枞地区火山岩是一套成层性良好、喷发旋回基本可以对比、岩性、厚度沿走向变化较大的中生代火山岩。根据安徽省区调队意见,将其分为四个旋回,即龙门院旋回(J_3l)、砖桥旋回(J_3zh)、双庙旋回(K_1sh)和浮山旋回(K_1f)。岩层中化石稀少,仅在砖桥旋回的沉凝灰岩中见有不多的陆相动植物化石,经鉴定归为上侏罗统一下白垩统。各旋回岩石同位素年龄:砖桥旋回岩石大多数数据低于135百万年,最老的为162.3百万年;双庙旋回和浮山旋回则分别在115和114—108百万年左右。根据这些数据,大致可将该火山岩系的生成年代定为晚侏罗世晚期—早白垩世早期,以早白垩世早期为主。参照砖桥旋回和双庙旋回间存在一个较大的侵蚀间断,龙门院—砖桥旋回和双庙—浮山旋回各有其独立的岩石化学成分、演变系统等地质特征(图3),暂将龙门院旋回、砖桥旋回划归为上侏罗统,双庙旋回和浮山旋回划为下白垩统。

龙门院旋回包括2—4个喷发韵律,主要由粗安质角砾岩、凝灰岩、角闪粗安岩和紫红色凝灰质粉砂岩(局部为含铁质粉砂岩)组成。该旋回沿火山岩构造盆地的边缘出露,厚度不大但很稳定,角闪石粗安岩层为其代表岩性。

砖桥旋回包括8—12个喷发韵律,早期韵律以火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩—正常沉积岩交替出现为主;晚期韵律以火山碎屑岩或火山碎屑沉积岩和熔岩交替为特征。本旋回熔岩下部以辉石粗安岩为主,上部出现较多的黑云母粗安岩,岩石的含碱率相对增高。

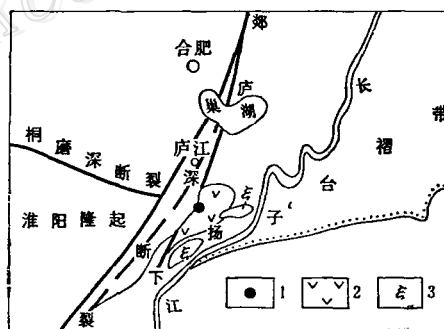


图1 罗河铁矿区域位置示意图

1—罗河铁矿位置; 2—庐枞火山岩区; 3—正长岩类

Fig. 1. Schematic map showing the location of the Luohe iron ore deposit.

1. location of the Luohe iron ore deposit;
2. Lucong Volcanic area; 3. syenite.

双庙旋回韵律较简单,下部为复屑火山角砾岩,中部为玄武粗安岩,上部出现橄榄辉石玄武粗安岩夹紫红色凝灰质粉砂岩。韵律减少和基性程度的增高是本旋回的独有特色。

浮山旋回岩石与火山机构关系密切,主要集中在火山通道附近,因而往往发育不全,岩性主要是粗面质火山碎屑岩及同类熔岩。酸度的明显增高是本旋回的典型特征。

砖桥旋回与龙门院旋回,岩性过渡,界线不易准确划分;双庙旋回与砖桥旋回呈不整合接触关系,岩性区别明显;而与浮山旋回则表现为岩性交替过渡的特征。因此将龙门院旋回与砖桥旋回、双庙旋回与浮山旋回分别划归两个地质单元是合理的。

岩石化学的扎氏数据特征表明,火山岩系岩石属 SiO_2 饱和—弱饱和、弱过碱性(少数为弱碱性)浅色岩。其扎氏自然组合(图2)界于2—5线之间,而火山岩化学成分变异线LV则偏向5线一侧,因此火山岩应属碱性岩石系列。

如果将岩石化学分析结果按层序(喷发先后)在里氏岩系指数图上投影,则可发现如下的岩浆演化规律(图3)。

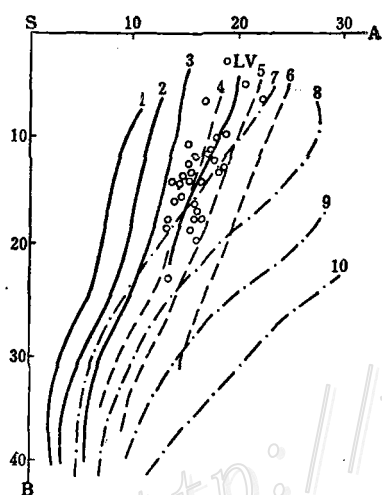


图2 岩石自然组合图

(据地质科学院地矿所第二铁矿研究队)

Fig. 2. Diagram showing natural rock assemblages.

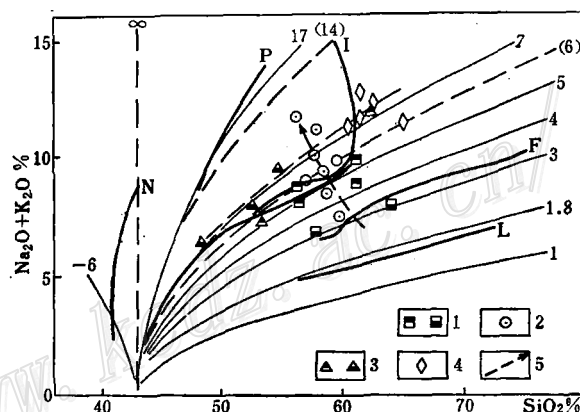


图3 岩系指数图

1—龙门院旋回上、下部熔岩; 2—砖桥旋回熔岩; 3—双庙旋回上、下部熔岩; 4—浮山旋回熔岩; 5—演化曲线

Fig. 3. Serial index diagram of rocks.

1—upper (left) and lower (right) part lava of Longmenyuan cycle; 2—lava of Zhuanqiao cycle; 3—upper (left) and lower (right) part lava of Shuangmiao cycle; 4—lava of Fushan cycle; 5—evolution curve.

1. 龙门院旋回和砖桥旋回投影点集中分布在图的中心区域,演化曲线自下而上,显示了碱度增高的演化趋势。双庙旋回和浮山旋回投影点则分布于左右两端,演化曲线与6线基本平行,显示了基性程度的变化。这说明火山岩中存在着两种不同的岩浆演化趋势,这种差异与存在的不整合面相吻合。

2. 龙门院旋回和砖桥旋回的演化途径均较陡直,表明两次演化都有较快的速度,意味着岩浆房内部处于化学上的不稳状态,通过碱度变化达到内部的均衡,是一个以化学变化为主的过程。双庙旋回和浮山旋回则是在较高的碱度基础上演化的,这基本上是龙门院旋回和砖桥旋回碱度演化的最后位置,表明它们的基性程度的变异是在岩浆完成了碱度演化之后进行的。

上述岩浆演化特征与盆地内各种重要矿产关系密切。因为已知重要矿化以及与之有关的围岩蚀变都发生在砖桥旋回以下的层位中,且多与该旋回末期的偏碱性次火山岩有空间关系。有资料表明,岩浆碱度的增加会导致挥发分增高、粘度减小,对矿质尤其对铁质的富集有极大的关系。

伴随着火山喷出作用,在火山岩系内还发育着相应的浅成侵入岩,如龙门院旋回中的角闪闪长玢岩、砖庙旋回中的粗安玢岩和辉石二长斑岩、双庙旋回中的粗面玄武玢岩、浮山旋回中的粗面斑岩和正长斑岩等。且早期旋回中之浅成侵入岩一般不出现在晚期喷发旋回的岩石中。这些侵入体在侵位上以及在岩性上与各旋回熔岩一致的特性,表现出它们在时间上、空间上的密切关系,属于典型的次火山岩。

火山岩系堆积以后,又受到继承性构造运动的作用,岩石受力应变。变形以北东向轻微褶皱为主,伴有北北西—北东东向两组直立剪切裂隙和北西向直立张性裂隙系,呈现出一个配套清楚的“米字型”构造系统,反映了岩系在北东方向上受拉张,北西方向上受挤压的应力机制。之后,郯庐断裂切割其西侧,使东盘向北西逆推,形成现在的残余构造轮廓。

二、矿床地质特征

(一) 矿床赋存位置 罗河铁矿床位于上述火山岩盆地的中部偏西,埋深在400米以下,赋存于砖桥旋回下段巨厚的粗安岩层中,是一个伴生有硫铁矿、硬石膏矿、黄铜矿等多种矿体的大型高硫高磷含钒钛的磁铁矿矿床。

矿区的地表出露部分双庙旋回岩层,它们总体向北西缓倾,至矿体上方略显波状起伏。地表之下矿化以上的砖桥旋回上部岩层亦作北西向缓倾斜。蚀变带和主矿体的产状则大都受到近似层状构造因素的控制(图4)。

(二) 矿体形态和产状 铁矿体位于矿床最下部,埋藏在-382米—-846米标高区间内,东浅西深,倾伏角 3° — 12° 。它们在平面上的投影呈椭圆形,中心剖面上呈拱桥状。磁铁矿以脉和网脉状产出为主,浸染状次之。前者多分布在矿床四周和上部,后者多在矿区的中部和下部发育。

矿石矿物组分相当稳定,分为两类:一类是以磁铁矿、硬石膏、黄铁矿和少量磷灰石为主的矿物组合,分布在矿区上部;另一类是以辉石、磁铁矿、硬石膏、黄铁矿和少量磷灰石的矿物组合,主要在矿区下部出现。后一类有时可以与浸染状矿石过渡。

硫铁矿体分布在铁矿体水平投影范围的内侧,垂向上则出现在铁矿体上部和硬石膏矿体下部。矿石按产状有浸染状和脉状两种,按自然类型有水云母-黄铁矿矿石、石英-黄铁矿矿石、硬石膏-黄铁矿矿石、磁铁矿-黄铁矿矿石、硬石膏-辉石-黄铁矿矿石和块状黄铁矿矿石等。其工业矿体则呈透镜状—似层状。

硬石膏矿体位于矿床最上部,其顶板主要是硅化岩,底板常为硬石膏辉石岩。矿体的平面投影位于硫铁矿体平面投影范围的内侧,成为矿床平面投影的中心。硬石膏矿体在剖面上亦呈似层—透镜状。以脉状充填为主,浸染交代次之。矿石以细粒白色硬石膏为主,板状灰色硬石膏次之,有时杂有少量含水石膏、黄铁矿、石英、高岭石、水云母等。

(三) 围岩蚀变 矿化伴随有大规模的围岩蚀变,由不同矿物组合构成的蚀变岩石大体

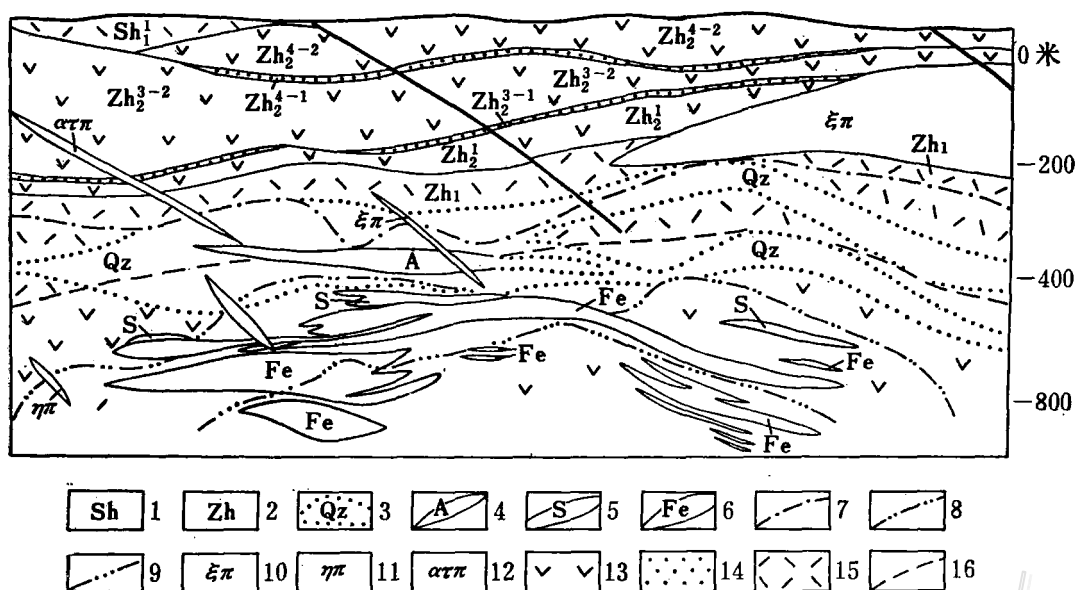


图 4 罗河铁矿床×勘探线地质剖面示意图

1~2—双庙、砖桥旋回火山熔岩及碎屑岩层；3—次生石英岩；4~6—分别为硬石膏岩、黄铁矿、磁铁矿矿体；7~9—分别为粘土化、水云母化、辉岩化、碱长岩化蚀变的顶界；10—正长斑岩；11—二长斑岩；12—粗面斑岩；13—粗安岩；14—凝灰质粉砂岩；15—凝灰岩；16—凝灰岩恢复界线

Fig. 4. Diagrammatic geological section along exploration line X, the Luohe iron ore deposit.

1-2—lava and pyroclastic formation of Shuangmiao and Zhuangqiao cycle; 3—secondary quartzite; 4,5,6. orebody of anhydrite, pyrite and magnetite respectively; 7,8,9. uppermost boundary of argillization and hydromicization, anhydritization-pyroxenitization, and alkali-feldspathization respectively; 10—syenite porphyry; 11—monzonite porphyry; 12—trachyte porphyry; 13—trachyandesite; 14—tuffaceous siltstone; 15—tuff; 16—inferred boundary of tuff.

按高度集中分布，成带出现。沿垂向自上而下可分出辉石碱性长石岩化带（包括金云母、绢石化）、硬石膏辉石岩化带（包括浸染状磁铁矿化）、黄铁矿化带、硬石膏化带、硅化带、泥化带（包括高岭石、蒙脱石化）及水云母化带。

早期研究把这种垂向分带看作是在火山气液作用下元素大规模叠代迁移现象，认为矿质组分是来自围岩的蚀变分异。后来发现实际材料与上述论证有某些出入。因为磁铁矿体主要是呈脉状产出的，而且经估算，围岩在蚀变过程中铁质带入带出的数量远较矿石量为小，从而提出玢岩成矿的观点。认为在含矿围岩（玢岩）成岩后期，残余岩浆中的气液流体引起较早凝固岩石的大规模蚀变，同时有富铁流体（矿浆）自下而上贯入到围岩裂隙中。进一步的工作证实，含矿围岩有着更多的熔岩特征，而在不同蚀变带之间则出现了越来越多的复杂穿插关系。例如硬石膏矿体即主要呈脉状产出，膏辉岩也是沿裂隙交代乃至充填。并且它们都穿插了辉石粗安岩、辉石碱性长石岩和硅化岩。在膏辉岩与硅化岩毗邻的地带，甚至呈现更复杂的情况：膏辉岩可以将硅化岩或其他浅色蚀变岩包裹成角砾，而膏辉岩本身又可被再次硅化或泥化。这种现象表明蚀变作用的发生并非是一种单一的自下而上的递变，而更多表现出多期活动的特征。

按照现有资料,可将矿区内蚀变作用分为四个阶段:①早期低温无矿蚀变阶段。以硅化为主,泥化次之,分布在矿区的较高层位。②早期高温无矿蚀变阶段。包括碱性长石化蚀变和上部硅化、泥化带的一部分。③矿化蚀变阶段。包括硬石膏辉石岩蚀变、磁铁矿化、硬石膏化、黄铁矿化及与上述蚀变有关的泥化、硅化、水云母化等。④矿化后水热蚀变阶段。先期生成的矿物普遍受到改造,辉石多碳酸盐化、黄铁矿化、绿泥石化;磁铁矿有赤铁矿化和菱铁矿化;长石有水云母化、高岭土化和帘石化等等。

(四)矿化与围岩蚀变的关系 罗河铁矿床中各类矿体与矿化蚀变阶段的膏辉岩化作用紧密相关。这不仅因为浸染状铁矿化都毫无例外地出现在膏辉岩化岩石中,脉状铁矿体的分布范围也与之基本一致,还可以在岩芯上找到沿裂隙发育的膏辉岩顺走向渐变为磁铁矿细脉和从浸染状铁矿逐渐转化成流状铁矿脉的实际例证。此外,还有相当多的磁铁矿脉具有磷灰石、辉石、磁铁矿、硬石膏、黄铁矿等五种矿物组合,在这样的组合中辉石恒为早期晶出的矿物,其性质与蚀变辉石相当。根据上述地质关系及对膏辉岩生成条件的研究,可以断定磁铁矿是在含铁气液持续交代围岩并使已经生成的膏辉岩处于铁钙过饱和的情况下晶出的。

硬石膏矿体也有两种产状:脉状和浸染交代状。两者在空间同样紧密共生,也常呈现渐变接触关系。在钻孔岩芯中有时可以见到在硬石膏化岩石中硬石膏逐渐汇集成瓣状细脉,垂直向上冲入似层状缓斜裂隙形成较厚脉体的过程。硬石膏这种在富集中作短距离运移充填的特性与铁矿极其相似,其矿脉也应当是含膏热液在使围岩生成硬石膏岩后钙过饱和状态的产物。

黄铁矿的工业矿体主要有三种类型:①与硬石膏辉石岩共生的黄铁矿;②与磁铁矿矿体共生的黄铁矿;③与硬石膏矿体共生的黄铁矿。所有这些类型的黄铁矿均生成于硬石膏晶出之后,显然是属于膏辉岩化阶段中不同期次蚀变作用的最后产物。

值得指出,膏辉岩是硬石膏辉石化蚀变作用的基本成分,其矿物组成主要为辉石和硬石膏两种。但两种矿物的含量却显示出垂向上的变化,即矿区下部的膏辉岩以辉石为主体,而上部的膏辉岩硬石膏含量明显增多。膏辉岩矿物组成的这种变化与硬石膏在矿区上部的集中发育现象的成因联系是显而易见的。

综上所述,可以得出两点认识:①罗河的矿化与围岩蚀变(特别是硬石膏辉石化蚀变)有着极为密切的关系,各类矿体中有一部分实际上就是蚀变岩石,而呈脉状产出的矿体则是蚀变过程中有用组分沿裂隙充填的结果。②磁铁矿、硬石膏、黄铁矿(包括黄铜矿)组合与硅酸盐强烈膏辉岩化密切相关,因此它们有可能构成一种新矿床类型——膏辉岩型铁、硫化物、硫酸盐型矿床。

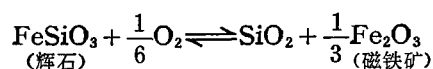
(五)控矿构造因素 罗河铁矿床的蚀变和矿化都是沿裂隙发育的,主要的工业矿体多属脉状-网脉状充填型。这些脉或网脉状裂隙在空间上呈层带状分布。它们的平面投影略呈椭圆形,剖面中略呈下大上小的梯形,其立体形态则类似一个相互套叠的压缩式旅行杯。铁矿体在最下部形成套座,黄铁矿和硬石膏矿体在上部形成杯状。下部磁铁矿脉体又具有独特形态,它的间距为60米的三个中段剖面都显示了环状分布特征。在切过矿区中心的剖面上呈拱桥式结构,整个铁矿体的立体分布有如斗笠。其间中空地段为含浸染状铁矿的膏辉岩占据。根据三类矿体的先后生成次序,可以断定控矿裂隙依次自下而上发生,至少有三期,其范围随着向上发展而逐渐向中心收缩。

根据王治强等(罗河铁矿床构造研究报告)对矿区内构造裂隙的统计分析,主要的控矿裂隙是似层状分布的缓倾斜共轭节理系,它不仅发育在含矿层位中,也贯通于矿区范围内含矿层上覆的双庙旋回中。根据我们对区域节理统计资料,在赤平极射投影图上将地层复平并求主应力方位的对比研究结果,表明区域中只发育一组共轭轴近于直立的共轭剪性裂隙系,从而表明上述控矿的缓倾斜共轭裂隙是在区域构造背景上发展的异常裂隙系统。这一发现证实罗河铁矿床的控矿构造并非区域构造运动所造成,而是某种中心式构造要素起作用的结论。

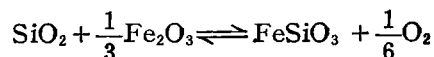
系统的剖面研究所圈定的膏辉岩呈现为中部蓬起的蘑菇形。在野外,我们不仅找到膏辉岩是经由含矿溶液对硅酸盐岩蚀变交代形成的大量证据,也发现许多具有脉状特征的膏辉岩。这些脉体有着清楚的脉壁和沿壁呈梳状生长的辉石晶体。这些脉一般发育在较强烈的膏辉岩化地段,有的还可以追溯到由交代脉发展为贯入脉的过程,即由具花岗变晶结构的膏辉岩过渡为具筛孔状结构的膏辉岩而后发育为脉状膏辉岩。在筛孔状结构的膏辉岩中,只有辉石和硬石膏两种矿物,辉石呈自形粒状有如斑晶均匀散布,硬石膏呈他形板状如基质。在脉状膏辉岩中,辉石呈自形巨晶沿脉壁向中心生长,形成梳状结构,硬石膏则作他形填充其间。两种结晶作用都明显受到温度的控制。这些事实说明,罗河的膏辉岩化不同于一般的蚀变交代,而是在强烈交代成岩过程中,先由气液交代并分解围岩,逐渐使溶液具有膏辉岩成分,而后在产生裂隙过程中发生移动充填的。这样的情况也见于硬石膏岩化和硬石膏脉的相互关系中。在硬石膏化的岩石中硬石膏发育成脉的过程,是硬石膏首先局部浓集,而后成为辫状直立细脉,并向上冲碎围岩充填在平缓裂隙中,形成缓斜大脉。其特征是下部为交代产出与围岩呈过渡关系,向上脉壁愈来愈清楚,在大脉中则出现硬石膏晶体垂直脉壁生长的梳状结构。尤其值得指出的是,硬石膏在由直立细脉转入平缓大脉时,产生了冲碎作用,使先前沿平缓裂隙发育的黄铁矿化细纹成为三角形碎块冲入脉体内。这不仅表明了脉体有着巨大的内压,同时也表明脉体和裂隙的张启具有同时的特性。

膏辉岩的主要组成矿物辉石为单链硅酸盐类,我们把这种由隙间溶液交代产生活动脉体又贯入围岩结晶的过程称为膏辉岩的类岩浆动态过程。它对围岩产生的构造效应,称为类岩浆动态效应。而最显著的效应之一便是由它产生的并为后期矿脉充填的穹状裂隙系统。

H. P. Eugster曾提供过下述实验结果



而我们则在罗河矿区的岩芯中找到磁铁矿脉包裹石英岩角砾,在石英岩一侧产生辉石反应边的实例。这样H. P. Eugster的实验便十分近似地描写了罗河铁矿床膏辉岩中辉石产生的化学过程,从而为膏辉岩的热力学研究建立起理论反应式,因为依照逆反应则有



$$\text{其焓变} \quad \Delta H_{1800\text{K}} = \Delta H_{298} + \left[\Delta aT + \frac{\Delta b}{2} \times 10^{-3}T^{-2} - \frac{\Delta C \times 10^5}{T} \right]_{298}^{800} = 18.96 \text{ 千卡}$$

这意味着热液辉石的生成为吸热反应。计算表明,每生成一公斤辉石约需吸取热量68千卡,或者说要生成矿区内约0.2立方公里体积的膏辉岩约需吸热相当于1800万吨煤的发热量。

考虑膏辉岩的体积变化较为困难,只能根据一些零星的热力学材料做初步的估算。D. M. Carmichel曾指出,对大多数硅酸盐来说,膨胀系数 α 值在 $1-4 \times 10^{-5} K^{-1}$ 的范围内变化,并且提供了钙铝榴石在1个大气压时的热膨胀率图。由于罗河矿床东部的膏辉岩与膏榴岩呈相变关系,故试参照D. M. Carmichel提供的数据作大体推算:

$$\text{已知 } T=500^{\circ}\text{C}, \text{ 故 } \frac{\bar{V}-\bar{V}^0}{\bar{V}^0} \approx 0.01$$

$\bar{V}^0$ 为 $K=298^{\circ}\text{C}$ 时的摩尔体积

$\frac{\bar{V}-\bar{V}^0}{\bar{V}^0}$ 为体膨胀率

即膏辉岩的体膨胀率约为1%。如以膏辉岩的冷却收缩有同等效果判断,则矿区内全部膏辉岩的冷缩体积约为0.002立方公里,这相当用储量计算法所求硬石膏矿体积的1/7。如除去其中交代成因的非脉部分并考虑到硬石膏脉形成时的巨大辟入能力,就可以认为发育在膏辉岩顶部,成因上与之密切相关,且时间上明显晚于它的似层状硬石膏脉的充填空间明显与之有关。

这种推测从表面上看可能要冒一点风险,因为一般认为在交代作用过程中不产生体积变化。但是有必要指出,D. M. Carmichel关于封闭体系的热力学定义^[1]表明它可以存在,也许在地壳深部,由于增温引起的体积膨胀可以因巨大的围限压力而得以平衡。然而在近地表条件下,尤其是火山作用区,热膨胀引起的体积效应是无可怀疑的,火山穹窿、火山凹陷等构造都与之有关。罗河铁矿蚀变作用发生在砖桥旋回末期,依现有地质剖面推算,距当时地表不到一公里深。而根据不同方法测得的成矿流体压力则在600—1700巴之间^①,远大于上覆地层压力,有可能引起地层变形。而实际观察到的膏辉岩的筛孔构造以及由蚀变交代作用转化为流动脉体的现象都使人深信,交代作用不仅限于固态,而发生由固态变为液态并重又结晶固结的过程。单就这种过程而言,可以类比于岩石局部熔融产生岩浆的过程,其体积变化是显然存在的。根据里查德理原理^[2]和一些简单推算,可以估计,在近地表条件下,膏辉岩化作用将随温度增高而发育,随体积的增大而受到抑制。膏辉岩在高温气液交代下变为流体的反应,必将引起体积的膨胀效应,而膨胀的结果又抑制了它本身的发育,达到能动平衡。

三、矿床成因

用多种方法对蚀变矿物和矿石矿物的测温证明,碱性长石岩的生成温度为330—550℃,膏辉岩的生成温度为350—520℃,磁铁矿一般为405—420℃,早期黄铁矿体为380—410℃,硬石膏矿体为220—270℃,即蚀变岩石按垂向分带规律自下而上形成温度递减。如果结合其生成期次的先后,则一个很明显的事实是,引起蚀变矿化的交代作用是自下部开始、愈向上形成时间愈晚、生成温度也愈低;从成矿作用来说,表现了一个从气成高温—中低温热液连续演变过程。

辉石粗安岩是矿区内蚀变岩石最主要的原岩,使用巴尔特法对蚀变岩石的化学成分变化

① 魏家秀、张荣华 1980年资料。

的研究表明(见表1),在下部早期碱性长石化阶段,钠的作用虽有所突出,但碱总量却只有微弱增加,铁总量也只略有降低,而钙、硫的带入和硅的带出则较为明显。至膏辉岩—膏榴岩化阶段,铁、镁、钙的成分大增,钾、钠、硅、铝的成分大减,呈现出明显的差异。至硬石膏化阶段,钙和硫成为主要组分,而其余组分则有了普遍的降低。在次生石英岩化和高岭石化阶段,是以硅和铝的分别增长和其他组分的普遍降低为特征的。直至水云母化阶段,各组分才开始逐渐恢复正常。

表1 1600氧单位中阳离子数变化比较表

岩石名称	样品数	标准分子
辉石粗安岩	9	$K_{57}Na_{49}Ca_{49}Mg_{26}Fe_{28}^{2+}Fe_{21}^{3+}Mn_2Al_{162}Ti_5Si_{446}P_3C_{38}S_{12}[O_{1452}(OH)_{148}]$
辉石碱性长石岩	1	$K_{18}Na_{97}Ca_{74}Mg_{30}Fe_{21}^{2+}Fe_7^{3+}Mn_{0.6}Al_{154}Ti_4Si_{408}P_4C_9S_{51}[O_{1431}(OH)_{169}]$
膏辉岩	5	$K_1Na_{11}Ca_{219}Mg_{109}Fe_{52}^{2+}Fe_{31}^{3+}Mn_3Al_{28}Ti_4Si_{360}P_1C_{38}S_{51}[O_{1437}(OH)_{163}]$
膏榴岩	3	$K_2Na_2Ca_{269}Mg_{15}Fe_{34}^{2+}Fe_{38}^{3+}Mn_4Al_{21}Ti_4Si_{331}P_2C_{33}S_{81}[O_{1478}(OH)_{122}]$
石英硬石膏岩	1	$K_{38}Na_{41}Ca_{162}Mg_{29}Fe_5^{2+}Fe_9^{3+}Mn_2Al_{128}Ti_4Si_{288}P_1C_{25}S_{120}[O_{1430}(OH)_{170}]$
次生石英岩	1	$K_6Na_1Ca_{51}Mg_{16}Fe_{30}^{2+}Fe_9^{3+}Mn_1Al_{14}Ti_{0.4}Si_{592}P_{0.9}C_{57}S_{30}[O_{1529}(OH)_{71}]$
高岭石岩	1	$K_{0.4}Na_{0.2}Ca_{0.8}Mg_{0.8}Fe_1^{2+}Fe_4^{3+}Mn_{0.03}Al_{208}Ti_4Si_{381}P_2C_{0.8}S_6[O_{1114}(OH)_{486}]$
高岭石水云母岩	1	$K_{97}Na_{14}Ca_{24}Mg_{25}Fe_{12}^{2+}Fe_8^{3+}Mn_{0.3}Al_{147}Ti_5Si_{44}P_3C_{35}S_6[O_{1249}(OH)_{351}]$

根据上述资料可以得出如下方面的推论:①碱性长石化阶段带出的铁不能构成上部铁矿化的主要来源。②膏辉岩化—膏榴岩化作用与碱性长石化作用有很大的差异,表明它们不是一种连续的演变。③硫和钙元素在碱性长石化、膏辉岩化—膏榴岩化和硬石膏化的过程中都是增加的,而在上部的石英岩化、高岭石化和水云母化过程中都是降低的。说明在硬石膏化前后溶液性质有了根本的改变。④因此可将本区蚀变分为钠交代、铁—镁交代、钙—硫交代、Si—Al交代等四个类型和相应的阶段,这与野外观察的资料是吻合的。

关于有用组分铁、硫、钙的来源问题也已经获得可以探讨的资料。

硫同位素研究资料不仅指出同位素分馏与深度成线性关系^①,从而从侧面印证了热液演化的连续性,同时还测定出热液的总硫同位素组成为+14.1‰,估算出罗河铁矿成矿热液的硫有33—56%来自地层沉积硫,而有67—44%来自岩浆所携带的地幔硫。并依据对邻近三叠纪周冲组海相硬石膏的 δS^{34} 值测定,判定罗河热液硫源可能是深部岩浆硫与周冲组海相沉积硫进行同位素交换后的混合硫^②。

对硬石膏矿物包裹体的镜下观察及对磁铁矿中包体成分化学分析的计算研究表明,成矿热液有很高的含盐度,变化在8.01—21.10%之间,其主要成分为NaCl,也见有NaCl的子矿物,因而可能有含盐卤水存在。其来源可能也与海相沉积层有关。

罗河蚀变岩中钙组分是从蚀变带的最下部即开始增加的,蚀变岩带下部的硫酸钙矿物成为罗河矿化的典型特征。钙组分既不是围岩自身分解的产物,也不可能是上部蚀变带分解回流的结果,因此无疑也应来自深部。如结合硫同位素研究资料,最合理的推断也是来自下伏

① 中国科学院陈锦石、赵瑞等的资料。

② 中国科技大学研究生院储雪蕾的资料。

膏盐层。

铁的来源,就罗河矿区具体条件而言,是高温热液成因的。因此,所涉及到的问题只是究竟来自早先的沉积层抑制或来自同生的侵入体。于学元对庐枞地区火山熔岩中的副矿物磁铁矿及罗河铁矿床中的磁铁矿石做了铅同位素分析,发现它们都投影在 $Pb^{207}/Pb^{204}-Pb^{206}/Pb^{204}$ 座标图上中央海岭拉斑玄武岩铅的范围内,后者代表了地幔铅同位素组成。又根据陈毓蔚提出的二阶段模式计算出它们的混合 Pb^{204} 中地幔 Pb^{204} 的百分比为74—83%。这表明铁质主要来自地幔。野外观察铁脉或浸染状铁矿体的两侧不是出现浅色蚀变,证明铁质并非直接来自含矿围岩。铁矿的高温成因和它与黄铁矿、硬石膏等矿体的空间分布关系也排除了铁质是自上部浅色蚀变地带向下回流聚集的途径。因此,它的来源只能来自下方深部的一种可能了。

我们得出罗河矿床的成因设想如下:深部岩浆在上升运行通过晚三叠世地层时,高温使部分膏盐层分解,岩浆中 SO_2 、 Cl_2 、 HCl 、 H_2O 、 F_2 等挥发分和 Na 、 Ca 等离子的增加,使之粘度减小,熔点下降,加剧了岩浆分异和铁的熔离作用,而使砖桥旋回末期的次火山岩体含碱质和挥发分,以及铁的相对富集。引起外接触带的早期碱性长石化蚀变。次火山岩上侵外推的最小主应力轴平行于岩体的外接触面^①,它冷却形成的穹式裂隙系统是气液运移的良好通道,岩浆体中晚期气液携带钠铁络合物进入围岩裂隙,产生了大规模的膏辉岩化蚀变和铁矿脉的充填。膏辉岩在类岩浆动态过程中产生的冷缩裂隙,又引起了其上部硫铁矿和硬石膏矿体的交代和充填,形成多层塔式的发育构型。整个过程伴随着温度下降,硫的价态和作用随之逐渐变化:温度 $> 400^\circ C$ 的磁铁矿阶段,硫以 SO_2 形式为主,黄铁矿是极次要的成分;当温度 $< 400^\circ C$ 后; H_2S 的浓度增大,黄铁矿占据优势;而当温度低于 $250^\circ C$ 时,硫主要以 SO_4^{2-} 形式出现,造成上部巨大的硬石膏矿体。中国地质科学院原地矿所成矿实验组提供的斜长石蚀变实验,得出了硬石膏+钙铁辉石+磁铁矿+(石榴石)的矿物组合,并推导出硬石膏-钙铁辉石-磁铁矿共生的 $lgPo_2-T$ 图,指出上述矿物组合的氧逸度条件是 $f_{O_2} = 10^{-31} - 10^{-19}$ 大气压^②。储雪蕾也根据“Ohmoto模式”原理推算了不同温度下的 f_{O_2} 和 f_{S_2} , $f_{O_2} = 10^{-41} - 10^{-16.5}$ 大气压, $f_{S_2} = 10^{-14.2} - 10^{-2}$ 大气压。

至于不同期次的蚀变交代出来的 K 、 Na 、 Al 、 Si 等组分,则都在矿区上部得到沉淀。粘土化、硅化和水云母化等浅色蚀变虽然与溶液的 pH 值有很大关系,但在罗河,似乎温度条件更为重要。上述这些蚀变过程,终因不断降温 and 上覆火山碎屑岩的吸收能量而停止。

因此,结论就清楚了,对罗河这种与硅酸盐岩膏辉岩化有关的矿床来说,从钙碱性火山岩向碱性火山岩的演化,以及与此种演化有成因联系的次火山岩穹是矿质的岩浆来源和构造裂隙的动力来源,古盆地中的膏盐沉积是矿化物质的层控来源,侵入体上部厚大的碎屑岩层是造成热力学封闭体系不可缺少的条件。这些条件的综合,会造成罗河膏辉岩型矿床的有利聚集部位。这样的地段应当在庐枞火山岩区中部,砖桥旋回上部火山碎屑岩以下的构造隆起部位中去寻找。由于北东东向和北东向断层的破坏,罗河—善后集断裂以西的构造沉陷区将会有更大的找矿远景,应当注意开辟那一带的深部找矿工作。

本文使用资料除注明者外均为罗河铁矿典型矿床研究组提供。

① E.M.Anderson资料。

② 中国地质科学院原地矿所四室斜长石蚀变实验——辉石硬石膏磁铁矿组合的生成条件。

参考文献

- 〔1〕 H.J. 格林伍德 1979 热力学在岩石学和矿床学的应用 地质出版社
〔2〕 饶纪龙 1979 地球化学中的热力学 科学出版社

A BRIEF DISCUSSION ON GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LUOHE IRON DEPOSIT IN ANHUI PROVINCE

Huang Qingtao

(*Institute of Geological Sciences of Anhui Province*)

Abstract

The Luohe iron deposit, a polycomponent magnetite deposit buried at a depth of more than 400 m, lies in volcanic rocks of the Lujiang-Zongyang area in Anhui Province. These volcanic rocks are a suite of Mesozoic eruptive rocks of continental facies characterized by well-defined bedding, basically correlatable eruptive cycles and remarkable variations in lithological characters and thickness along the strike.

On the basis of the regional geology, four eruptive cycles may be distinguished, i. e., the Longmenyuan cycle (J_1l), the Zhuanqiao cycle (J_3zh), the Shuangmiao cycle (K_1sh) and the Fushan cycle (K_1f).

Isotopic ages of rocks of various cycles are from 162.3 m. y. to 108 m. y. According to the regional correlation, the sediments underlying and overlying the Zhuanqiao cycle are tentatively assigned to the Upper Jurassic and Lower Cretaceous respectively.

With the volcanic eruption, the corresponding hypabyssal intrusive rocks were developed which were obviously closely related to the eruptive lava in time, space and composition, suggesting that they were derived from the same source.

Petrochemical characteristics indicate that volcanic rocks in this area are a suite of approximately SiO_2 -saturated, slightly alkaline intermediate rocks with $\sigma=3.3-14$. The increase in alkalinity from bottom to top both in Longmenyuan and in Zhuanqiao cycle implies that during this period chemical evolution process intimately related to mineralization of this area took place in magmatic chamber. The Luohe iron deposit, for example, was produced in high-alkaline phase of the Zhuanqiao cycle.

The Luohe iron deposit has three sorts of genetically related orebodies, they are in upward succession magnetite orebody, pyrite orebody and anhydrite orebody. Ores mostly take the shape of vein or stockwork while orebodies occur in stratoid or lenticular forms. Orebodies dip gently; their projections in plan look like three concentric circles gradually getting smaller upward, thus assuming the form of a truncated cone in three dimensions.

Mineralization is accompanied by extensive wall rock alterations with apparent vertical zoning, they are in downward order of hydromicazation→argillization→silicification→anhydritization→pyritization→anhydrite-pyroxenization→pyroxene-K feldspathization. Temperature determinations show that formation temperatures for both alterations and mineralization decrease in upward direction, varying in the range of 500°-200°C.

An investigation into the ore-controlling structure reveals the existence of a domed fracture system developed progressively in upward direction.

The sulfur isotopic study and lead isotopic study of iron ore support the derivation of iron mainly from the mantle and partly from the overlying sediments—probably the Triassic anhydrite bed. This also accounts for the source of calcium.

The ore-controlling structure, temperature distribution, isotopic data and thermodynamic calculations all imply the probable presence of a domed intrusive body beneath the alteration zone of the Luohe iron deposit.