

国外铁矿地质 译文集

科学技术文献出版社

一九七七年八月

毛主席语录

独立自主，自力更生。

古为今用，洋为中用。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

前 言

为适应我国工业发展的需要，我们选编了本译文集。

本译文集收集了国外近期有关铁矿建造成因及矿床地质等28篇文章。内容主要介绍前寒武纪含铁建造成因及其他一些形成年代较新的铁矿地质，作为比较研究，可供从事地质工作的工人、工程技术人员及研究人员参考使用。

由于我们政治与业务水平有限，缺点和错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。

中国科学技术情报研究所

中国科学院地质研究所

目 录

1. 朝鲜殷栗矿床铁矿石形成的若干特征.....	(1)
2. 朝鲜德岷铁矿床的成因问题.....	(4)
3. 日本火山成因的褐铁矿床.....	(6)
4. 伊拉克侯赛因尼亚河区的铁矿沉积结构和成分.....	(9)
5. 印度比哈尔—奥里萨邦的辛格布姆及其邻区的富铁矿与有关岩石的地层学和构造历史	(16)
6. 马里前寒武纪沉积铁矿.....	(20)
7. 利比里亚戈耶山脉前寒武纪含铁建造及有关的变沉积岩的地质和成因.....	(23)
8. 利比里亚宁巴区铁英岩及共生岩的地质、地球化学和成因.....	(33)
9. 毛里塔尼亚珠艾拉特地区的铁矿.....	(41)
10. 南美的含铁建造.....	(47)
11. 加拿大魁北克中拉布拉多凹槽某部索科曼含铁建造的岩石学.....	(55)
12. 乌克兰地盾铁质碧玉岩建造的成因类型及其构造位置.....	(68)
13. 亚速海岸区曼古什磁异常的含铁石英岩成因问题.....	(71)
14. 克里沃罗格铁质岩风化壳形成的主要规律性.....	(74)
15. 作为某些沉积矿床物质来源的风化壳.....	(80)
16. 前寒武纪条带状含铁建造的沉积环境.....	(90)
17. 成岩作用和低度变质含铁建造中的矿物共生组合.....	(102)
18. 太平洋盆地的铁矿床.....	(108)
19. 东太平洋赤道附近的底部富铁沉积物: 深海钻探计划第16航次.....	(114)
20. 大洋: 含铁建造中铁的一个可能来源.....	(117)
21. 前寒武纪含铁建造的成因和大气氧的出现.....	(120)
22. 微体化石和前寒武纪含铁建造.....	(125)
23. 前寒武纪含铁建造的可能生物成因.....	(136)
24. 关于一些沉积铁矿床的火山—沉积成因问题.....	(143)
25. 前寒武纪含铁建造的成因问题.....	(146)
26. 关于含铁石英岩的成因问题.....	(150)
27. 关于含铁石英岩成因.....	(154)
28. 关于前寒武纪含铁石英岩成因问题.....	(157)

朝鲜殷栗矿床铁矿石形成的若干特征

殷栗矿床位于信川—安岳隆起带的北端。

矿区内发育有太古界狼林岩群的片麻岩类、上元古界祥原系的碳酸盐岩与各种片岩类、下元古界黄州系的石英岩、泥质板岩及碳酸盐岩。此外还有祥原系祠堂隅统岩石与駒岷统岩石。矿床产于祠堂隅统中部—上部层位的碳酸盐岩石中，主要围岩是层状石灰岩。

由于褶皱构造(倒转褶皱与连续褶皱)和断裂构造(逆断层与层间断层)使沉积岩层遭到剧烈变动。与成矿有关的主要构造是断裂构造。

端川岩群的花岗岩与变质了的酸基性岩脉侵入了沉积岩层。

主要矿体有原地残积矿体与异地沉积矿体、赤铁矿体与菱铁矿体等，其中具有工业意义的主要是原地残积矿体。

尽管数量上有差异，但铁矿石都是由内生矿物与外生矿物组成的。而且组成矿体的铁矿石的工业类型按形成条件大体上可分为原生矿石、氧化矿石及原生—氧化矿石，按其组合关系又可分为若干矿石类型(表1)。

表1 铁矿石的类型

序号	矿 石 类 型		主 要 矿 物 的 共 生 组 合
	基 本 类 型	矿 石 型	
1	氧化矿石	褐铁矿 褐铁矿—赤铁矿	针铁矿—水针铁矿， 针铁矿—赤铁矿—水针铁矿 针铁矿—赤铁矿
2	原生矿石	菱铁矿 菱铁矿—重晶石 赤铁矿	菱铁矿—重晶石，菱铁矿—白云石， 菱铁矿—石英，石英—赤铁矿 菱铁矿—重晶石—绿泥石
3	原生—氧化矿石	褐铁矿—赤铁矿 白云石—褐铁矿 菱铁矿—褐铁矿 褐铁矿—重晶石	针铁矿—赤铁矿，褐铁矿—重晶石 白云石—针铁矿，菱铁矿—针铁矿 菱铁矿—针铁矿—赤铁矿

矿体的主要部分是由氧化矿石组成的。分布广泛、数量上占优势的矿石类型是褐铁矿矿石、褐铁矿—赤铁矿矿石、赤铁矿矿石及褐铁矿—重晶石矿石等。

一、含铁矿物的成因特征

铁矿石的矿物组成比较简单，其主要矿物与次要矿物如表2所示。

主要组成矿物的产状与成因特征分述如下：

下：

针铁矿 它是分布最广的有经济意义的矿物，是褐铁矿矿石的主要组成部分，按其产状大体上可分为五种：①具有复杂内部组成的胶质隐晶集合体；②形如葡萄状或肾状的集合体；③构成脉或细脉的针状与放射状集合体；④由黄铁矿变化的针铁矿假晶；⑤土状集合体。

第一种针铁矿出现在具有多孔海绵状结构的褐铁矿矿石中，构成其骨架，常同水针铁

表2 组成矿石矿物的数量对比

分 类	主 要 矿 物	次 要 矿 物	极 少 矿 物
氧化矿物	针铁矿、赤铁矿	水针铁矿、软锰矿	磷铁矿、硬锰矿
原生矿物	菱铁矿、白云石、云母 赤铁矿、重晶石	赤铁矿、 石英、方解石	绿泥石、莹石、黄铁矿 磁黄铁矿、黄铜矿

矿、赤铁矿、锰的氧化物、非金属矿物复杂地混合一起，有时被赤铁矿细脉切穿或不规则交代。第二种针铁矿是以第一种集块为基质附着于其表面上或充填其孔穴与晶洞内的，它们的化学成分如表3所示，伴随矿物只有水针铁矿，这种针铁矿大部分是第一种针铁矿再结晶或水针铁矿脱水形成的。第三种针铁矿产于次生白云岩与褐铁矿矿石的裂隙中，它们是沿裂隙进入的铁的氢氧化物的结晶产物，较其它的

表3 针铁矿的化学成分(%)

样品编号	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	H ₂ O	灼 减
A—40	81.97	痕 迹	0.73	1.47	12.87

表4 赤铁矿的化学成分(%)

样 品 编 号	不同围岩中的赤铁矿	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO
A—60	菱铁矿中的脉状赤铁矿	96.03	痕 迹	0.19	0.47	0.41
A—60—1	花岗岩中的脉状云母赤铁矿	98.25	痕 迹	0.69	0.52	0.25
A—60—2	构造破碎带中的带状赤铁矿	87.50	痕 迹	0.18	1.34	3.98

赤铁矿的成因类型有两种；热液型的内生赤铁矿与由含铁矿物氧化成的氢氧化铁转化成的外生赤铁矿。热液赤铁矿在铁矿石中占的比例大，但分布面积上外生赤铁矿占得多。

水针铁矿 是同针铁矿一起组成了铁矿石的主要部分，在氧化矿石中其数量仅次于赤铁矿。它们是很难用肉眼鉴别的，在显微镜下呈稳晶质集块，偶而薄薄地盖在晶洞内的葡萄状针铁矿集块表面上。

同第一种针铁矿紧密结合的水针铁矿，常常充填于孔穴中或以非金属矿物为中心呈扇骨

针铁矿沉淀得晚。第四种针铁矿是在赤铁矿或与其共生的石英中含得较多，褐铁矿矿石中的针铁矿假晶集中发育在其中的赤铁矿脉或石英脉的边缘上，针铁矿的假晶呈五角十二面体、立方体或侵蚀了的均粒黄铁矿的结晶形状。第五种针铁矿是同第一种一起出现的，它们是菱铁矿、很少是赤铁矿与黄铁矿的氧化作用产物。

赤铁矿 其分布也是很广泛的，数量仅次于针铁矿。在花岗岩与碳酸盐岩中呈脉状、细脉状、网状脉，在褐铁矿矿石中呈细脉状与巢状。它们常充填于构造碎块间，只在构造破碎带才呈带状集块出现。随着围岩的不同，除赤铁矿的主要成分外，其它成分的含量也略有变化(表4)。

状分布，常被针铁矿不规则交代和溶蚀。同第二种针铁矿在一起的水针铁矿充填于扇骨状针铁矿间，二者界线很不规则。与针铁矿如此密切共生的水针铁矿可以认为是向针铁矿过渡的中间产物。

菱铁矿 是氢氧化铁的原生矿物，部分地区是氧化残留物，偶而也充填于石灰岩的微细裂隙与构造角砾中。出露的菱铁矿中纯的较少，大部分被铁污染呈褐色。良好的脉状、巢状菱铁矿的化学成分中除主要成分外，含有较多的Fe₂O₃与MgO(表5)，这是同氧化作用

表5 菱铁矿的化学成分(%)

样品编号	产 状	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	H ₂ O
A-63	脉 状	52.21	2.78	—	3.34	0.59	0.13
A-63-1	孔穴状	52.16	3.36	1.85	3.84	0.64	0.14
A-4	浸染状	41.41	2.56	2.00	3.10	2.90	0.13

与白云岩化作用有关的。

根据产状特征与形成时代,菱铁矿分为交代型的细粒、中粒菱铁矿和交代充填微裂隙与空洞的粗粒、巨粒菱铁矿。前者是浸染于石灰岩中,与碳酸盐矿物成带状,它们被后者交代切割,复杂地混在一起。在数量上是以后者为多。

菱铁矿在矿石中同石英、绿泥石、方解石、重晶石与赤铁矿共生,在共生集合体的薄片几乎都可见次生白云石。

菱铁矿遭受了强烈的硅化作用与绿泥石化作用,与重晶石紧密结合着,这表明热液菱铁矿是褐铁矿矿石的原生矿物,是次生白云岩之后生成的。

白云石 次生白云石的分布同原生白云岩无关,而同矿体有着密切关系。次生白云石出露的区域中部,发育有块状的纯净白色白云岩,向外,经弱褐铁矿化的褐色白云岩变至低品位的褐铁矿石。次生白云石的化学成分如表6所示,次生的白云岩是铁质的,因此在矿石形成过程中可成为铁的来源。

表6 次生白云石的化学成分(%)

样品编号	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO
A-5	1.80	2.54	29.88	18.22

野外观察与实验分析资料表明,次生白云石与菱铁矿有密切的时空关系,它们的产状也类似。次生白云石常与绿泥石、石英、重晶石相关,它们都是白云石后期产物,并后者切割前者。白云岩中发育有细脉状、网状的赤铁矿、针铁矿,晶洞与孔穴中长有重晶石、方解石与石英晶簇。此外,还含有不规则交代溶蚀

的方解石。上述资料表明,次生白云石是石灰岩交代作用的产物,但又被菱铁矿选择交代。

二、铁矿石的形成过程

该矿床是由内生矿化作用及内生矿物的氧化、富集与部分迁移的外生矿化作用形成的。

内生成矿作用按矿物成分及其共生组合关系与围岩的变化可划分为几个阶段。

在成矿早期,发生了弱硅化作用。由于作为围岩的石灰岩不利于硷性溶液中较稳定的硅酸盐矿物的沉淀,因此该作用仅限于含矿裂隙的边缘上。

以后含矿层中发生的强烈构造破碎为成矿创造了有利的地质条件。紧接着硅化作用沿破碎裂隙发生了白云岩化作用,此时富含Mg的热液在较高的温度—压力条件下发生了Mg→Ca的交代作用。随温度—压力的下降,Mg的沉淀相对减少,Fe在溶液中富集,其活动性增高,石灰岩与次生白云岩发生了强菱铁矿化作用,生成了具有工业意义的菱铁矿体。

菱铁矿化作用以后隔了一段时间,发生了赤铁矿化作用。这两个作用从含矿裂隙的方向与性质、造矿溶液的性质等方面有明显差异。赤铁矿同石英密切共生表明,它是在氧化显著增强的近地表酸性溶液中沉淀出来的。

内生矿化作用的产物在富氧的新的物理—化学条件下遭受后期变质作用,生成了具有工业意义的褐铁矿体。

氧化作用伴随有围岩与含铁原生矿物的溶解、析出与再沉淀、再结晶作用等。一般说来,褐铁矿化的程度取决于地下水面、地形、

古气候、原生矿石破碎程度、反应持续时间与地下水的渗透深度。

矿区中发育有多种原生矿物形成的氢氧化铁矿石，即：

- ①菱铁矿的氧化物——组成矿体主要部分的褐铁矿矿石；
- ②含铁白云石的氧化物——低品位矿石；
- ③赤铁矿的水合作用产物；
- ④硫化铁的风化作用产物——针铁矿的假晶。

結 語

1. 组成矿体的具有主要经济意义的矿物有针铁矿、水针铁矿与赤铁矿，形成氧化矿石

的主要原生矿物是菱铁矿。

2. 具有矿业价值的原生矿床的形成经历了两个阶段： $Mg-Fe$ 交代阶段与石英—赤铁矿矿化阶段。交代作用的顺序是 $Ca \rightarrow Mg \rightarrow Fe \rightarrow Si$ ，溶液的性质是由硷性过渡到酸性。

3. 褐铁矿是由多种原生矿物氧化形成的，其变化过程是：菱铁矿→氢氧化铁→水针铁矿→针铁矿；含铁白云石→氢氧化铁→针铁矿；黄铁矿→针铁矿；赤铁矿→针铁矿。

4. 铁的氧化矿物是在酸性—弱酸性溶液中溶解—迁移的，是在硷性溶液中沉淀的。

摘译自朝鲜《地质与地理》，1973年，
13卷4册，4—10页（白秀福等）。
车用太译

朝鲜德岷铁矿床的成因问题

一、矿区地质概况

德岷矿床位于狼林地块西北部的义州准地槽带中。义州准地槽带在北部以鸭绿江断裂带为界与中朝地台复州拗陷的东北端相接，在南部以白马断裂带为界与熙川隆起带相邻。矿床发育在义州准地槽带的德岷隆起上。矿区广泛分布有古老变质岩系片麻岩与结晶片岩类，它们遭受强烈的构造变动与花岗岩侵入引起的深变质作用，已经无法准确恢复其原始地层层序了。矿区的这些变质岩系被称叫“义州花岗岩”与“三河里花岗岩”的利原岩群所侵入，构成了北西—南东向的线状倒转褶皱。矿区发育有三组断裂构造，第一组是北北西—南北走向、向北东陡倾的层间断层与破碎带，第二组是北东 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 走向的陡倾断层，第三组是东西或北西西走向的向南东陡倾的断层，它们之间相互切割转移，使矿体变得复杂。

矿区发育了以本山矿体为中心的西高里、

三河里、中间里、大和里等中小规模的矿体，它们的形状与规模各不相同，除三河里矿体外大体上是典型的脉状矿体，其形态特征依赖于褶皱与断裂构造及围岩的形态。特别是本山地区的磁铁矿体同构造密切相关，是发育在义州花岗岩与三河里花岗岩侵入岩体露头间的强烈错乱了的地层中。

一般说来，铁矿体具有如下的空间分布特征：①矿体离侵入体接触带300—350米远，与白云质砂卡岩与石灰质砂卡岩密切伴生；②矿体发育在利原岩群碱性交代—变质作用结果生成的长石片麻岩中；③从岩石学角度看只在花岗岩、角闪石片岩、长石片麻岩、砂卡岩与石灰岩中有磁铁矿存在，而在其它结晶片岩中是没有的。

二、作为矿床成因的利原岩群

1. 利原岩群的岩石学特征

德岷地区发育的花岗岩依其岩石学特征与

保存特征被认为是元古代地槽末期生成的利原岩群。它们是沿着先期褶皱的背斜轴侵入的。侵入体的形状在平面上是北东向伸长的椭圆形，接触带的走向同围岩的片理方向一致，并以 35° — 50° 角倾斜。

侵入岩体中分布最广泛的是发育在中部的黑云母花岗岩与乳白色花岗岩，在边缘发育的是同化—混合作用生成的斜长石花岗岩、细粒黑云母花岗岩、不均质黑云母花岗岩。角闪石黑云母花岗岩及闪长岩类。

在黑云母花岗岩中含有的主要矿物有斜长石、微斜长石（钾长石）、石英、黑云母、偶而还有角闪石，次要矿物有磷灰石、榍石、磁铁矿等，次生矿物有绢云母、绿泥石、绿帘石等。它们的含量百分比是斜长石60~60.02%、钾长石12.22%、石英24.26%、黑云母2.31%、其它矿物1.17%。花岗岩的成分表现出相当高的碱性，有色矿物较少，磁铁矿的含量达3—5%或更高些。

花岗岩使围岩遭受强烈的热变质作用与碱性交代作用（尤其是钾交代），结果在较广泛的范围内发育了交代—变质岩带，例如该区组成了第一层长石片麻岩的是结晶片岩类的碱性交代产物。闪长岩是岩浆阶段对碳酸盐岩石的碱性交代产物。这些交代岩在地球化学特征上是属于火成岩类。

2. 利原岩群与矿体的成因关系

该地区利原岩群外围发育了多种金属与非金属矿床，其中有铜、铁、铅、锌、白钨矿、金、石棉、滑石、大理岩、萤石、金云母、黄铁矿、石膏与重晶石等。

利原岩群的矿化作用有如下特征：

①以Cu、Fe、W、Ba、F及B为主要矿种，它们在整个岩浆作用过程中时间上断续地反复多次成矿，形成了重叠的矿带；

②在碱性交代作用活跃的地方生成的是磁铁矿、金云母、石棉、滑石矿带（三河里侵入岩体外围），而该作用相对弱的地方生成的是与伟晶岩有关的放射性矿物及W、F、B、Pb与

Zn矿带（义州花岗岩外围）；

③磁铁矿体常见于石英闪长岩与斜长石花岗岩为代表的交代—变质岩的接触带上，而且矿体的延长方向同花岗岩体的主要走向一致。尤其是磁铁矿体同花岗岩侵入造成的白云质砂卡岩有密切的关系。

在铁矿体中，不同矿石的单矿物与花岗岩及白云质砂卡岩的不同样品的光谱分析结果表明它们都按一定比例含有Zn、Cu、Ga、Mn、Ba等元素。

根据以上资料可以肯定，德峨地区的利原岩群就是铁矿体的生成围岩。利原岩群的义州花岗岩与三河里花岗岩是一个侵入体的两个露头，它们是深成侵入岩体的突起部，因此这两个花岗岩本身不可能供给很多铁的矿化溶液的，铁的矿化溶液是由深部富含铁质的岩基中运移上来的。

三、铁矿床的成因

该地区的磁铁矿体可以划分为下列类型：

①与砂卡岩无关的铁质石英岩型的层间磁铁矿体；

②岩浆阶段形成的复交代型砂卡岩矿体；

③岩浆期后渗透与扩散—交代型砂卡岩矿体；

④高温热液裂隙充填—交代矿体。

这四类矿体的矿物成分及其共生组合是不同的，有时还出现不同成因类型的矿体重叠的复杂情况。

1. 岩浆交代作用与矿化作用

岩浆阶段的岩浆熔体使围岩发生热变质作用。

交代反应带被划为复交代反应带与渗透—扩散—交代反应带，前者是沿侵入体外围发育，而后者是发育在与侵入体一定距离的大断层裂隙构造中。

交代形成的岩石是以有色矿物含量少为特征，说明在具有硷金属活性很高的岩浆或岩

浆渗滤溶液中发生了结晶分异作用。在初期高温条件下,活动性低的铁元素没有参与早期矽卡岩的矿物中,因此没有形成铁透辉石而形成了不含铁的硅灰石。铁的成分是到后期才单独沉淀下来的,在长石质片麻岩与结晶片岩的接触带上形成了无工业价值的第一代铁的浸染带。

2. 岩浆期后交代作用与铁矿体的形成

岩浆期后交代作用是同沿裂隙活动的岩浆后期溶液相关的,表现为“接触渗透—交代”。第一阶段是高温条件下发生了强烈的纹长石化与微斜长石化作用,表明当时的硷性特别是K的活动性很高。从而,交代—变质岩中钾长石增多,形成硷性变晶。

随着岩石中的斜长石被交代为钾长石,溶液中逐渐富集了钠(局部钙),引起钠交代作用,但较微弱,只生成了钠长石与硷性角闪石。由于局部钠交代作用,结果又使钾略微富集,沿裂隙产生了黑云母化作用。

此后,沿着岩石的裂隙在宽广的范围内沉淀了第二代的磁铁矿。溶液中硷的活度明显下降、氧的含量相对地增多的条件下, Fe^{2+} 与 Fe^{3+} 离子以磁铁矿形式游离出来后在适当的氧化环境中以比较广泛的磁铁矿形式沉淀。这时有利于矿物沉淀的裂隙是北西向的沉降裂

隙。

随着氧的活动性增高,硷性交代阶段逐渐过渡到酸性交代阶段,在围岩中发生微弱的白云母化作用,生成了电气石。

最后,在裂隙构造中交代了电气石,结晶出了硫化物与第三世代磁铁矿。第一矿区中交代与浸染了石灰岩或充填裂隙了的锰矿体就属此类。

結 語

1. 德岷地区的磁铁矿是在早元古代利原群的岩浆活动时期、经几个不同阶段、造矿溶液性质不同的不同地质环境中形成的不同类型的磁铁矿,其中有工业意义的是铁质石英岩型的沉积—变质磁铁矿体与岩浆期后阶段的渗透交代型矽卡岩矿体。但其余两类磁铁矿体也可能形成巨大富集,因此勘探时必须都要给予注意。

2. 在德岷地区利原岩群就是铁矿体的成矿围岩,因此勘探的方向应放在该岩群的浸入接触部位上,而且首先要注意指明利原岩群分布区中对成矿有利的前提。

译自朝鲜《地质与地理》1971年,
11卷,6册,27—31页(朴希锡),
车用太译

日本火山成因的褐铁矿床

日本许多地方已经开采和正在开采相当大量的褐铁矿,提供了部分国内铁矿。大多数褐铁矿来源于第四纪火山活动区的山坡和河谷的矿床。这些矿床的形成,过去是,有些地方现在仍然是铁和磷沉淀的结果。这种铁和磷在一定程度上是来自酸性含铁的泉水,后者的形成则与安山岩和玄武岩的火山活动有关。本文论述火山型褐铁矿床形成的一些成因特征。

分类和地质

根据铁的来源及矿石中次要元素组合和成分,日本的层状褐铁矿床可分成以下几种类型:

1. 深成型,生成于火山活动过程:
简单深成型(如鸟海褐铁矿床),

- 复杂深成型（如虻田褐铁矿床）；
2. 浅成型，由风化作用形成的：
次生富集的浅成型（如上喜多矿），
浓集的浅成型（如比荣褐铁矿床）。

深成型

日本的绝大部分层状褐铁矿床属于这一类型，它是由含有硫酸亚铁和碳酸盐的酸性泉水形成的，出现在更新世和近代火山活动地区。这类矿床可再分为两个亚型：简单深成型褐铁矿床与黄钾铁矾共生，较少与黄钾铁矾和磷酸铁共共生；而复杂深成型的褐铁矿床经常在其下部或附近伴有硫化铁矿体产出。

浅成型

这类矿床是由风化作用形成的。可以把它再分为两个亚型。次生富集的浅成型起源于含有硫酸铁的浅成酸性溶液，这种硫酸铁是原先存在的硫化物矿床的氧化形成的，以上喜多矿山的褐铁矿床为代表。浓集的浅成型矿床是由富含铁和腐殖酸的地表或地下水形成的，铁和腐殖酸是由土壤、岩石和植物风化产生的。在浅成型矿床附近，没有取得火山活动的证据。

乌海褐铁矿床的地质

乌海矿山的褐铁矿床位于秋田县西南部，是乌海火山带中出现的最大矿床，也是最具有代表性的简单深成型矿床。

地层的最下单元是中新世建造，主要由泥岩和流纹火山岩组成；上覆为中单元由橄榄石—紫苏辉石安山岩熔岩和火成碎屑物组成，其年代未定，但是这些岩石复盖在第三纪建造之上，而它又被近代乌海火山的火山岩所复盖。在近代火山岩的最上单元中，至少可以辨认出两种熔岩和火成碎屑物，即含橄榄石的普通辉石—紫苏辉石安山岩和紫苏辉石—普通辉石安山岩。

产在第三纪建造或更老的乌海火山岩上的褐铁矿床，其地形和地质情况表明：这种矿床在成因上是同最近代火山活动有关的。最大的

褐铁矿床，其长度沿河流约为800米，宽度从40米到100米，厚度从10米到15米，最大为25米，其形状因河谷剖面的变更而有变化。

痕量元素地球化学

乍一看来，区分褐铁矿床的类型似乎是不容易的，因为所有矿石主要由针铁矿组成，具有类似于植物的假象构造。但是，这种矿石中痕量元素的性状，是一种很有用的标志，不仅表明其成因，而且还可以探明与褐铁矿床有关的硫化铁矿床。

简单深成型矿石中的次要元素，种类很少，通常发现的有Cu, Ti, V, K和P。在一些情况下，后两种元素的数量略为可观；而在复杂深成型的矿石中，则有相当数量的As, Cu, Pb, Ti, 和Zn。

次生富集浅成型的特点是，其中存在着多种的金属元素如Ag, As, Cu, Ge, Mo, Pb, Ti, Zn等，它们来自原先存在的单金属硫化物矿床，而浓集浅成型仅含有可观数量的Mn, Ti和V，它们生成于风化的岩石和土壤中。次生富集浅成型矿石中痕量金属元素的丰富种类和较高含量，使得有可能分辨出这种类型和复杂深成型。

乌海矿山的矿石，其特点为磷的含量较高，原矿石中平均为1.51%P，高于日本的其他褐铁矿床。褐铁矿层中磷的含量在上游和矿层的底部有所增加，有时达百分之几，它同黄钾铁矾的产出有密切相关。在乌海矿山的高磷和低磷矿石之间，看不出次要元素的含量有显著

表1 乌海矿山褐铁矿石的次要元素

元素	高磷矿石 (7.5% P ₂ O ₅)	低磷矿石 (1.0% P ₂ O ₅)	褐铁矿石中 的黄钾铁矾
Si	++	++	+
Al	++~++++	++~++++	++~++++
Mg	+~++	+~++	++
Cu	+~++	(+)	-~(+)
V	++~++++	(+)~++	+
Ca	-~+	-~+	-
Co	+	+	-
Hg	0.38ppm	0.13ppm	

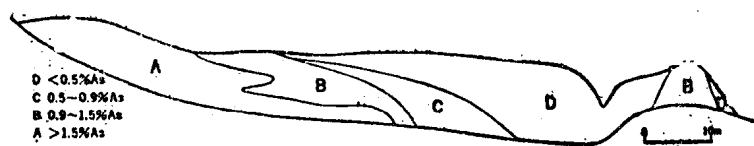


图1 纵向剖面,表示北海道Kuttchan矿山二号褐铁矿床中磷的分布。

的差别(表1)。鸟海矿山褐铁矿床磷含量的分布模式,同北海道Kuttchan矿山褐铁矿床的磷含量模式十分相似,后者是复杂深成型的最大矿床(图1)。

谱线强度: $+++ > ++ > + > (+) > -$
样品加碳(1:1),是在标本用 HNO_3 (3 ml)和 HF (10ml)溶解之后。

矿物学特征

褐铁矿石主要由结晶的和(或)隐晶的水合的氧化铁集合体组成,具有类似于藓苔、植物的茎、叶、干等的假象结构。已经鉴定了以下一些水合的氧化铁矿物种类:含水赤铁矿 hydrohematite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$),水赤铁矿 turgite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$),针铁矿 goethite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$),水针铁矿 akaganeite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$),纤铁矿 lepidocrocite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$),黄针铁矿 xanthosiderite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),以及胶褐铁矿 stilpnosiderite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)。一水氧化铁矿物有更确切的定形:针铁矿 goethite ($\alpha\text{-FeOOH}$),水针铁矿 akaganeite ($\beta\text{-FeOOH}$),纤铁矿 Lepidocrocite ($\gamma\text{-FeOOH}$),还有一种合成化合物($\delta\text{-FeOOH}$)。

日本层状褐铁矿床所有矿石的铁矿物,从显微镜观察和X射线以及差热分析看来,都是针铁矿($\alpha\text{-FeOOH}$)。在鸟海矿山,红磷铁矿($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)呈薄膜状复盖在褐铁矿石的表面和裂缝上,给出了清晰的X-射线衍射图型。含磷高的矿石,通常没有产生含水磷酸铁矿物那样清晰的X-射线衍射图型,但是在某些情况下,出现了也许是胶磷铁矿($\text{Fe}_4(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)的弱峰。产在同一类型的须

磨矿山褐铁矿石中的其它含水磷酸铁矿物,例如多铁蓝铁矿,黄蓝铁矿和 cocoxenite,还没有在鸟海矿石中鉴定出来。

铁的固定

在日本矿床中最常见的褐铁矿石,其宏观和微观的假象结构和构造类似各种植物。曾经观察到:坏死植物的落叶、茎和干,漂流到含铁的沼泽泉水后,就发生褐铁矿化。对于褐铁矿床的形成,下述的铁的固定过程和机理是可能的。

- (1) 与植物的代谢及其所产生的腐殖酸有关的生物化学过程。
- (2) 植物对铁的吸附。
- (3) 由中和作用引起的化学沉淀。

生物化学过程

褐铁矿化实际上发生在河流和沼泽中生长的植物之内,这些河流和沼泽中有含铁的酸性泉水。这种例证有堀高松矿山 *Jungermannia phallida* STEPH, 以及虻田矿山的 *Sphagnum* 和 *hairmoss* 的褐铁矿化。植物细胞中的褐铁矿质(椎川, 1960)表明原生质为铁所取代,可能表明从腐殖酸引起了腐酸铁的形成。腐殖酸的存在,似乎对铁吸附固定不起重要的作用,而对铁取代细胞才起作用。

铁的吸附

根据重金属为有机物质所固定的野外和实

表2 最大的金属吸附和它们电离势的关系

阳离子	吸附的最大量金属 (重量百分数)	电 离 势
Fe^{2+}	1.84	2.7
Cu^{2+}	2.22	2.8
Ni^{2+}	2.34	3.0
Cr^{3+}	2.39	4.7
Fe^{3+}	2.51	4.7

实验室研究资料,表明在正离子(此处是铁离子)和负电荷表面(此处是植物)(ONG和SWANSON, 1966)之间,可能存在着强烈的吸力,其吸附能量似乎与电离势成正比,如表2所示。在有植物存在的情况下,吸附确实加速了铁的固定。

化学沉淀

在许多褐铁矿床中发现的没有假象结构的黄土,主要是由细针铁矿晶体集合体组成的(椎川, 1957)。它肯定是由于含有硫酸铁溶液的酸性水的中和所形成的。

铁和磷的共同固定优先发生在较低的pH值,也许是pH值2至3(石乡, 1966)。以下资料表明,含水氧化铁可在相当贫磷的褐铁矿石形成时,于pH 3至3.5下发生沉淀。

(1) 在乌海矿山,植物的褐铁矿化是在pH值为3.0至3.2(10°~12°C)的酸性泉水中进行的;在堀高松矿山,pH值为3.0至3.5(10°~11.5°C);在虻田矿,pH值为2.9(10°~11°C);在松尾矿山,pH值为3.0至3.2(16°~17°C)。

(2) 表示酸液中pH值和含水氧化铁溶解度的关系的实验曲线,表明对于铁的沉淀,pH值的下限约为3。

(3) 粘土矿物诸如高岭土和水合的多水高岭石,通常是和褐铁矿床有关。在褐铁矿石中出现的黄钾铁矾中, K_2O 和 Na_2O 对 SO_3 的比例小于0.23,而在乌海矿山的褐铁矿石中,也发现有数量可观的硫酸盐存在。

译自Volcanism and ore genesis 295—300

(椎川实)

伊拉克侯赛因尼亚河区的铁矿 沉积结构和成分

侯赛因尼亚河地区沉积铁矿发现于1964年。以后地质工作完成于1965年。在这个期间共打了15个钻孔并利用许多槽从露头部分获得了矿样。

本文综合岩石和化学研究的成果并叙述铁矿的组成和成因。这个铁矿或许同世界范围的侏罗纪成矿时代有广泛联系。

位置和地层关系

侯赛因尼亚河铁矿位于距鲁特巴城约25公里的西伊拉克沙漠上(图1)。沉积铁矿产于沿着毗连侯赛因尼亚河的陡

崖,呈南西西—北东东走向15公里长的地带。钻孔、探槽和露头的位置见地质图(图2)。

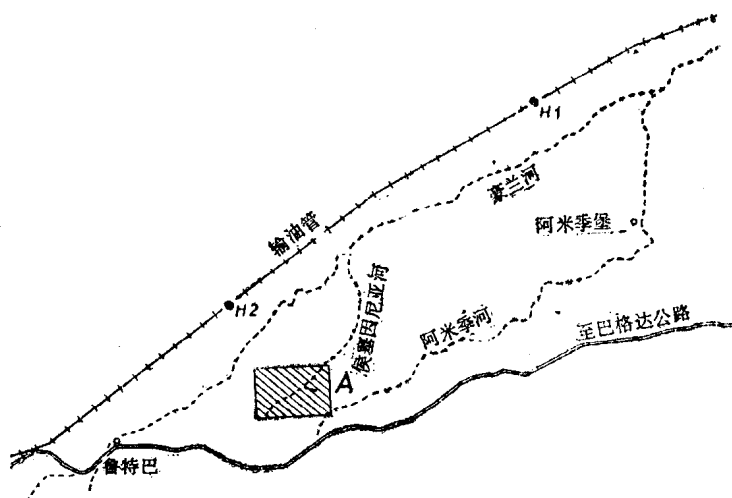


图1 研究区的位置

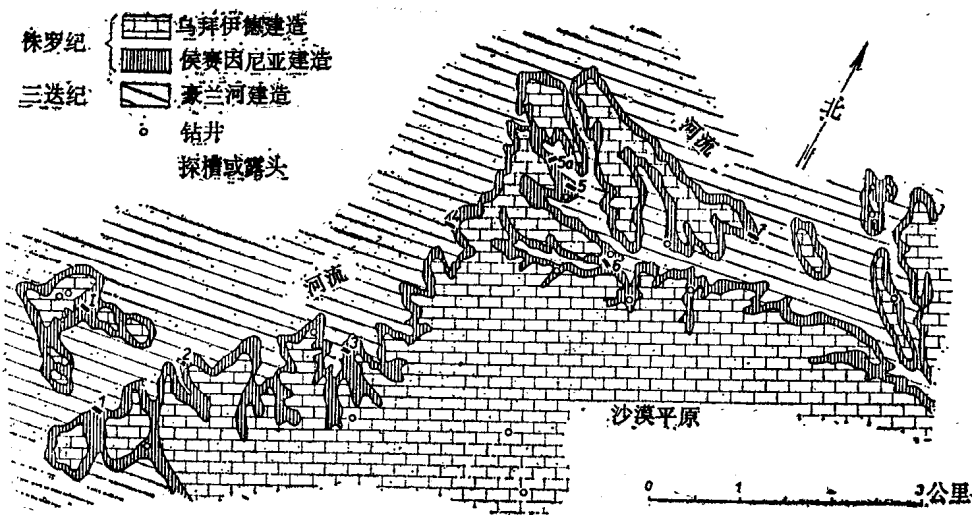


图2 侏罗系和三叠系岩石的示意地质图、图上表示侯赛因尼亚河岩系露头 and 钻孔的位置。

在研究地区，由沙漠土和残积砾石复盖的豪兰组岩层组成河床底部。乌拜德组的灰岩出露于陡崖坡上。这两组地层被粘土、粘土岩、砂岩和铁质沉积物的地层分开。这一套地层称为侯赛因尼亚建造，地层柱状图（图3）。

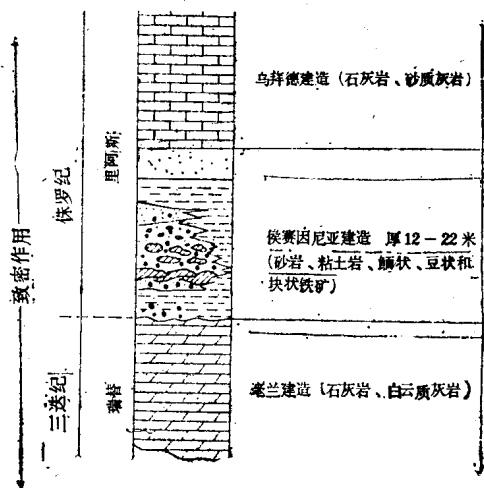


图3 综合地层柱状图，表示不整合位置 and 主要地层单位

豪兰组由白云岩化的灰岩和泥灰岩夹层组成。1951年 Dunnington 把此组定为瑞蒂阶（三叠世晚期），虽然渐变的整合接触遍及豪兰组 and 上复沉积之间，但本区也确实有不整合现象。

上复组的粘土，砂和铁质沉积可认为是乌拜德组的最下部或单独的地层单位。因该组易与上复的和下伏的地层分开，故有人认为侯赛因尼亚组应包含这些地层。侯赛因尼亚组的厚度在10—24米之间，就岩性来说，下部是杂色的致密粘土，有时随所含的砂量而变化；中部的特征是含氧化铁的粘土质或砂质沉积物的扁豆体。砂岩为中或粗粒，主要由石英颗粒组成。砂岩因氧化铁浸染而呈现黄色、粉红色、红色或紫色。本组的最上部有2—4米厚的由方解石胶结的粉红色、块状、粗粒的砂岩层，其典型结构特征是出现由白色方解石晶体的粗大集合体填充的球状透镜体。与上复乌拜德组接触很明显。侯赛因尼亚组的年代从它位于已知年代的上下地层之间可以确定，可能属于下里阿斯统（早侏罗世）。

侯赛因尼亚组的上复地层是乌拜德组。该层由浅灰色致密灰岩组成。在最下部，灰岩含有各种砂质混合物。本组年代定为里阿斯期。

主要铁矿类型

铁以铁的氧化物方式出现。其余含铁矿物数量微不足道。在矿体中、铁氧化物作为鲕粒、豆石、碎屑、团块、薄壳及薄层而聚集成

块状或层状矿石。较少量铁氧化物构成矿石中聚集的粘土质的色素和某些砂岩透镜体中的胶结物色素。粘土、砂和碳酸钙呈废石出现。纯高岭土聚合物常见于风化矿石中。按照它们的结构特征，矿石的颗粒分级似有：a. 鲕状和豆状矿，b. 碎屑矿，c. 结核状和团块矿，d. 块状矿，e. 复合矿。

鲕状和豆石矿 是以铁氧化物的豆石和鲕粒为特点。一般认为直径2毫米是鲕粒和豆石的分界线。该矿的典型特征是几乎所有矿样的豆石多于鲕粒。超过1厘米（最大2厘米）的豆石占多数。大部分鲕粒和豆石有发育完好的同心圆结构，薄片中能看见交替出现含有或多或少的铁氧化物的同心层。按照Carozzi所提的术语。它是标准的鲕粒和豆石。薄片显示同心层呈周期性排列。一般认为这种特殊排列是鲕粒形成过程的周期性或在成岩阶段鲕粒内氧化物色素重新排列所致。鲕粒和豆石的颜色或为黄褐色或为暗褐黑色。在许多情况下，褐黑色水赤铁矿填充的较小同心体构成褐色豆石的核部。X—射线分析所见，这些豆石外壳含有针铁矿。一般认为颜色或同心层是风化或豆石生成时的初始变化所致。前者似乎更有可能。

多数鲕粒和豆石中，外来物质的痕迹在核部已无法辨认。较少数的鲕粒和豆石核部是无结构碎屑或叠层的铁质沉积物或结核，或先前鲕粒的碎块。很少见到由二个或多个鲕粒或细鲕状矿石碎屑构成核部的豆石。表层的鲕粒和豆石表明，在它们的聚集地区继续其生成过程。砂质沉积物中鲕粒和豆石的核心含有少量碎屑石英，这提出了如下理论：鲕粒和豆石生成于相当远的贫石英地区并搬运到最终沉积区内。鲕粒和豆石与碎屑和粗砂质物质共生意味着铁质鲕粒产于搅动的浅水中。这种理论无法应用于散布于在沒有碎屑颗粒的铁质粘土中的小鲕粒。这种粘土沉积物沉积于静水中，鲕粒则可能生成于强水化的铁质淤泥沉积物的最上层。

鲕粒和豆石多数为球状体。沒有变形现象是因为在未受褶皱的地层中有矿石以及鲕粒和

基质的可塑性均低的缘故。具砂质基质的矿样中鲕粒和豆石的分叠性很差。最大的鲕粒直径通常约为最小的鲕粒的15倍。鲕粒和豆石的垂向粉级层理仅在两处见到（5和6区）而且不明显。

碎屑矿石 这些矿石与鲕状和豆状矿石密切相关。碎屑含量比鲕粒和豆石更高。铁质碎屑大部分直径约为3毫米，而更大的碎屑也见到（6厘米或更大）。小碎屑常是浑圆形。浑圆形而无内部同心结构的被称为卵形体，以别于鲕粒。除了圆形的碎屑外，稜角状和次稜角状的也广泛分布。大量的碎屑之所以丰富产出是因其浅水中沉积或因出现侵蚀的和再沉积的水流。

少量磷酸盐和粘土质岩石的圆形颗粒通常带有铁质碎屑。碎屑矿的基质由粗砂质物质一些鲕粒和方解石胶结物组成。

结核状或小结节矿石 铁质结核和小结节产于多半由粘土质物质兼微量砂质颗粒和铁质鲕粒组成的很细基质中。结核和小结节由针铁矿、水赤铁矿和高岭土构成。其外套层或空隙填料见有碳酸盐、高岭土、石英和稀罕的黄铁矿。小结节和结核具有不同的内部结构；小结节系块状体，而结核是部分或完全是叠层状的。它其中常见孔洞或有充填物的次生内孔隙。结核外部和内核差异不大。小结节和结核的大小差别很大，直径可从1.5至80厘米。它们形状多数为不规则的，而球形和次球形是个别的。结核面常为环抱状。常见的有舌状和葡萄状。某些同心结核的表面构造例如有中心孔道的小管状和具规则小坑的细构造（二者结构鲜明）。这些构造与充填有铁氧化物的细脉共生的现象（长度达3.5厘米，直径6毫米）以及很薄的叠层结构（类似藻类结构或沉淀结构，如叠层石，薄灰结核）是铁矿沉积区可能有有机生命的最好证据。

块状矿石 块状矿石取自钻孔和1区山麓堆积。这些矿多半呈扁豆状体产出（厚度在0.45米以下）并且在成因上与结核有关。在块状矿层上部，常见有类似于薄叠层结核的叠层

壳。块状矿石由针铁矿和水赤铁矿（铁含量达56%）构成，通常含有明显的方解石层。

块状层顶部的薄叠层和不平的、有时为葡萄状的表面，类似于藻类丛生、长时间形成的结构。Roeder 将沉积球状矿石的类似叠层，解释为“年纹泥”并归因于水化学年变化。另一简单解释是：这种胶体结构的产生是原生胶体物脱水作用造成的。薄片研究表明块状矿石的原生结构是松散的。这点却与矿石结构的胶体成因理论不符。生物化学过程在块状矿石叠层的生成过程中可能起过作用；块状的叠层矿层可能复盖在一个不平的盆地底部并使早期生成的小结节或碎屑包含其中。

块状矿层下部没有叠层，可能因为它是无机沉积作用或因原生结构已被湮灭。该层下部缺乏叠层的另一种成因假设是因为存在着侵染状小鲕粒和石英碎屑颗粒，而这些在上部是没有的。

复合矿石 (Composite) 复合矿石分布最广泛。除鲕粒和豆石外（15—50%），它们含有同心状小结节或无结构铁质沉积物和自生的或再沉积的小结节（共达25%）。基质是方解石胶结的石英砂（30—80%）。

化学和矿物学分析

对于矿石组成和与矿石共存的沉积物（下伏、上复的沉积物和基质）已作了化学、差热、X-射线和重矿物的分析研究。

化学分析 1964年作的化学分析表明，矿石组成变化很大，这可能与铁氧化物和岩屑成分的数量变化有关。矿样的主要成分见表1。化学分析说明矿石组成变化大。

不溶残渣（经过HCl处理）的总量和铁含量已从可溶物质的数量算出（假定所有铁以针铁矿方式出现）。表2说明小结节、结核和块状矿石的铁含量比豆石和鲕状粒的高。原子吸收分光光度计得出较精确的化学分析，表明它们含有Fe、Mn、Ca、Mg、K、Na、Pb、Zn、Cu、Cr、Co。P₂O₅和TiO₂的含量用比色法测

表1 侯赛因尼亚铁矿样的平均化学成分

成 分	变化范围 (%)	平均含量 (%)
SiO ₂	18.3—53.8	31.9
Al ₂ O ₃	11.5—38.4	21.2
Fe	18.3—53.8	23.6
TiO ₂	0.4—2.3	
CaO	1.0—3.2	
MgO	0.2—1.9	
P	0.01—0.16	0.03

表2 不同矿的可溶性铁和不溶残渣的含量

	铁总量 (%)	不溶性残渣 (%)
鲕粒、豆石	35.1—28.5	23.8—29.0
小结节、结核	48.6—32.6	10.0—21.6
块状矿	61.2—56.2	1.5—5.6

出。标准法 (Standard procedure) 用于测定SiO₂、Al₂O₃和水。结果列为表3。

在四个矿样中测定了SiO₂和Al₂O₃的含量。除块状叠层矿的以外，SiO₂和Al₂O₃含量一般均高。这与小结节、碎屑、鲕粒和豆石中含有的大量高岭土是相符的。

表3表示铁总量从块状矿石的43.74%变化到铁质碎屑的14.63%。粘土中铁含量为1.15—6.83%。块状的叠层矿石和结核中铁含量最高，鲕粒和豆石和带粘土质基质的鲕粒铁含量较低，而碎屑中的铁含量却变化不定。

TiO₂含量在所有样品中都很高，为0.74—5.21%。最低的TiO₂含量也比兰卡玛和萨哈玛描述的页岩中的铁平均含量高一倍。Landergrén认为，TiO₂含量高是残留红土铁矿和沉积鲕状矿石特有的。Harder报道TiO₂通常富集于深化学风化源区的悬浮液或溶液形成的沉积铁矿中。与此相反，Hegeman和Albrecht认为Lahn-Dill型火山喷气铁矿中TiO₂含量很低。因而粘土TiO₂含量很高可证明粘土产于残留粘土或红土土壤中。

所分析的样品中P₂O₅含量均较低。这与Harder所见的一般鲕状矿石中很高的P₂O₅含

表3 侯赛因尼亚铁矿和沉积物的化学平均数百分比成分

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	22.05	6.42	25.41	—	—	22.62	—	—	—
Al ₂ O ₃	18.80	5.02	21.24	—	—	19.13	—	—	—
Fe (总量)	31.20	43.74	29.60	14.63	32.80	34.10	1.15	6.83	4.52
P ₂ O ₅	0.18	0.23	0.09	0.13	0.14	0.13	0.18	0.08	0.07
TiO ₂	1.61	0.96	3.22	2.42	0.74	1.53	2.20	5.21	1.21
CaO	1.22	8.85	0.35	1.62	21.03	0.36	0.98	0.43	10.72
MgO	0.53	0.45	0.43	0.17	0.37	0.28	0.29	0.46	1.53
N ₂ O	0.91	0.08	0.16	1.42	0.07	0.28	0.74	0.52	0.56
K ₂ O	0.28	0.19	0.08	0.38	0.29	0.29	0.19	0.03	0.25
H ₂ O ⁻ (潮解)	0.81	0.26	1.30	—	—	1.30	—	—	—
H ₂ O ⁺ (化合)	7.80	6.42	6.69	—	—	6.87	—	—	—
Mn (ppm)	106.80	120.90	180.55	59.70	178.50	143.90	16.90	18.31	90.41
Pb	122.86	80.14	62.50	125.00	99.26	30.30	27.71	63.50	34.61
Zn	115.66	62.35	31.26	42.17	8.70	64.35	10.93	30.07	12.14
Cu	16.80	21.50	6.94	12.71	23.80	8.33	7.60	24.86	88.50
Co	13.10	28.22	16.66	1.20	15.08	—	—	4.67	—

样品说明

1. 单独的豆石
2. 块状叠层矿
3. 稍微风化鲕状矿
4. 小结节碎屑

5. 由方解石同心充填的结核
6. 块状鲕状矿、粘土质填质
7. 矿石底部杂色粘土
8. 矿石底部杂色粘土
9. 矿石上的红色粘土

量形成鲜明对照。在带白色方解石细脉的结核中CaO含量最高。块状叠层矿石(样品№2)中含CaO含量很高,呈方解石形式。在样品№9中CaO作为石膏出现。鲕粒有最高的Mg含量。

碱总量较低,且Na₂O/K₂O的比率大部分超过2。钾一般超过钠,这在粘土沉积和鲕状铁矿中是不常有的。Na₂O/K₂O比率很高意味着Na未完全淋滤或源区物质的钾含量特别低。

铁矿石中Mn含量一般很低。将所获资料与Turekian和Wedepohl得出的各类沉积物中Mn含量和Rankama和Sahama的铁矿石中Mn含量数据对比表明,在侯赛因尼亚河区沉积物中Mn大量亏缺是很明显的。Lepp提供的沉积物平均Mn/Fe的比率是0.022。该值对于两种成分的分度来说,要比分析样品高得多。观测到的0.00028—0.002的范围表明铁和锰明显分离。

在与所测到的页岩中的Pb含量对比时,发现分析样品中Pb含量略高。一般认为,正如Krauskopf和Kee和Bloomfield所述那样,Pb的富集是由于Pb吸附到粘土颗粒或铁的氧化物上所致。

矿样中Zn一般比粘土岩中的丰富。正如Rankama和Sahama认为,这是由于Zn首先吸附到铁氧化物上。Krejci-Graf认为,Zn含量低是喷气沉积成因铁矿所特有的。分析样品中Zn含量较高又意味着铁来源于风化岩。

分析样品中Cu的含量一般低于Turekian和Wedepohl和shaw对各类沉积物所测的值。分析矿样中Cr含量介于71.45—190.5ppm,而粘土中介于76.9—162.5ppm。Landergrén认为海相鲕状铁矿中Cr的平均含量是240ppm。粘土和矿石中Cr含量类似,可能是因为这两种沉积物产于同一源区。