

# 新疆磁海铁（钴）矿床磁铁矿成分及其成因意义\*

## Composition of magnetite from the Cihai Fe (Co) deposit, Xinjiang, and its genetic significance

王玉往<sup>1,2</sup>, 沙建明<sup>3</sup>, 程春<sup>4</sup>

(1 北京矿产地质研究院, 北京 100012; 2 中国地质大学, 北京 100083; 3 新疆哈密雅满苏铁矿, 新疆 哈密 839000;

4 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100101)

WANG YuWang<sup>1,2</sup>, SHA JianMing<sup>3</sup> and CHENG Chun<sup>4</sup>

(1 Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China; 2 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 Yamansu Iron Mine Company, Hami 839000, Xinjiang, China; 4 Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100101, China)

**摘要** 磁海矿床主要矿石矿物为磁铁矿, 其主元素成分中幔源组分 Ti、Ni、V 含量较高, 在磁铁矿 TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO 成因判别图解中, 样品分别落在沉积变质-接触交代磁铁矿趋势区和基性-超基性岩浆磁铁矿趋势区内, FeO 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 频率分布特征与岩浆型矿床的磁铁矿相似。磁铁矿的微量元素含量与其寄主的含矿辉绿岩或矿石全岩成分基本一致, 呈相关消长, 稀土曲线近乎与其寄主岩石平行, 表明矿床的主要矿石矿物磁铁矿来源于(矿化)辉绿岩。综合分析认为, 磁海铁(钴)矿床为一与基性-超基性杂岩有关的岩浆分异-矿浆贯入-热液交代型复成因矿床。

**关键词** 磁铁矿; 岩浆型矿床; 复成因; 矿物成分; 磁海

新疆磁海铁(钴)矿床颇具特色, 以“石榴石-透辉石-磁铁矿”为基本矿石建造, 成矿作用发生在早二叠世北山裂谷带火山活动晚期。由于覆盖和勘探程度所限, 成矿认识分歧较大。甘肃地质局四队(1983)提出矿床属于晚期岩浆型与矽卡岩型的组合<sup>①</sup>; 赵玉社(2000)也认为磁海铁矿床的成因属次火山岩-矿浆贯入-热液交代矿床; 薛春纪等(2000)则认为矿床以基性次火山岩浆期后富铁流体的(交代)充填为成矿方式, 矿床属次火山热液型。本文试图从矿床主要矿石矿物磁铁矿的化学成分入手, 探讨其可能的物质来源和成因。

### 1 磁海矿床地质概况

磁海矿区位于新疆东部哈密市, 北距雅满苏约 90 km, 为一以 Fe 为主、伴生有益组分 Co、Ni 和 Cu 的中-大型矿床。矿区由磁海、磁南、磁西 3 个矿段组成, 但主要工业储量集中在磁海矿段。

该区地处塔里木北缘北山造山带, 区内发育蓟县系平头山群长英质片岩和不整合覆于其上的下二叠统中基性火山岩和碎屑岩, 岩浆活动以华力西晚期浅成侵入岩-辉绿岩及辉长岩为特色, 其中磁海矿床 3 个矿段均产于辉绿岩中, 而矿段之间则被辉长岩体侵入。

矿区均被新生界覆盖, 据钻探揭露<sup>②</sup>, 矿床的围岩主要为黑云母辉绿岩和石榴石透辉石矽卡岩(图 1), 其次有少量长英质片(角)岩、辉绿玢岩等。矿体与辉绿岩、长英质片(角)岩、辉绿玢岩呈截然的接触界线清楚且较规则, 与矽卡岩呈不规则、且渐变过渡接触。可见矿体不受岩体与围岩接触带控制, 其形态和产状与典型矽卡岩型矿床有所不同。矿体围岩普遍发生蚀变, 围岩蚀变类型有矽卡岩化、更-钠长石化、黑云母化、次闪石化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化和碳酸盐化等。其中矽卡岩化与磁铁矿紧密共生, 早于磁铁矿形成, 与成矿关系密切, 但磁铁矿化集中分布地段, 矽卡岩却并不发育。与成矿作用关系密切的蚀变还有黑云母化和更-钠长石化, 但大部分晚于磁铁矿形成。

\*本文由国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2001CB409806)资助

第一作者简介 王玉往, 男, 1965年生, 教授级高工, 在读博士生, 现主要从事矿床学及有关岩石学方面研究

①甘肃地质局第四地质队. 1982. 新疆维吾尔自治区哈密显磁海铁矿矿区初步地质勘探报告.

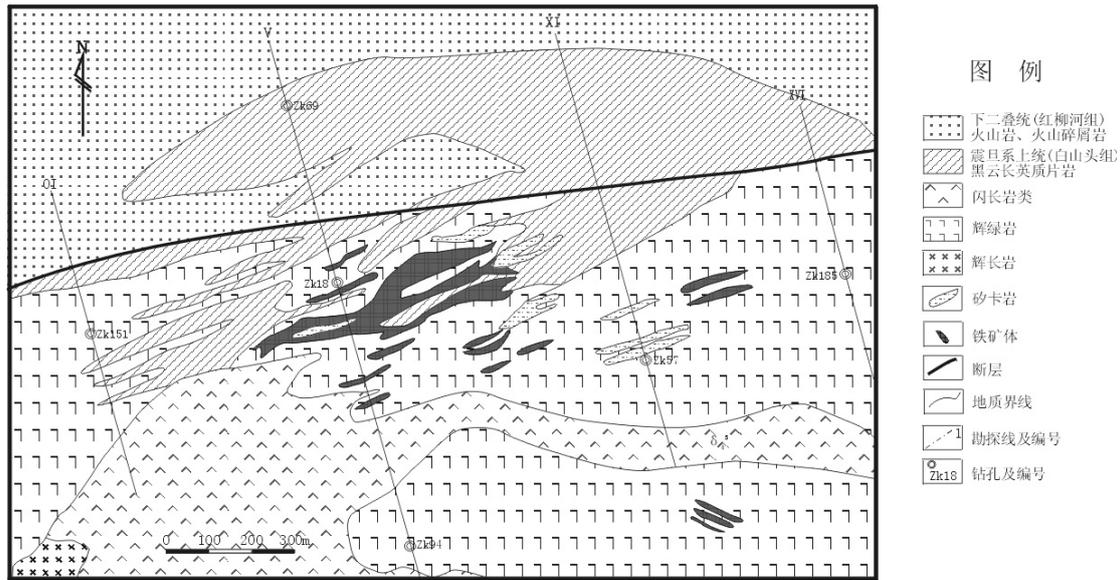


图1 磁海铁矿地质简图(据白山幅1:20万区调报告修改)

矿区已发现铁矿体73条,主要矿体有5条。单个矿体形态主要为似层状、脉状和扁豆状,受构造裂隙控制明显。矿体多呈彼此平行排列,构成矿体群(矿带),沿走向呈舒缓波状延伸。

矿石主要有呈浸染状、角砾状和条带-条纹状构造,其次有脉状、网脉状斑点状、团块状及斑染状等。主要结构类型有半自形-他形粒状结构、溶蚀结构、交代结构和文象-次文象结构等,并有固溶体分离结构及压碎结构。矿石矿物以磁铁矿为主,其次为赤铁矿、褐铁矿、磁黄铁矿、钛铁矿、黄铁矿、黄铜矿和辉砷钴矿。脉石矿物以辉石、石榴子石、闪石类为主,另有少量石英、斜长石、黑云母、绿泥石、方解石和绿帘石等。根据矿物组合,可分为4种矿石类型:无水硅酸盐磁铁矿石、含水硅酸盐磁铁矿石、硫化物磁铁矿石和氧化-半氧化磁(赤)铁矿石。根据矿脉穿插关系和矿石结构构造,可把热液成矿期分为无水硅酸盐-磁铁矿、含水硅酸盐-磁铁矿、硫化物-磁铁矿3个阶段。矿物生成的大致顺序是:硅酸盐矿物-磁铁矿-磁黄铁矿-黄铜矿-黄铁矿,反映了热液演化各阶段的特点(薛春纪等,2000)。

## 2 磁铁矿主元素成分特征

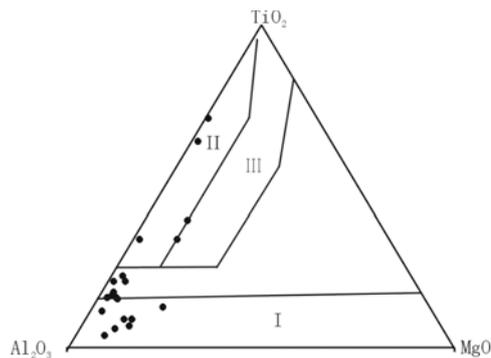
在磁海和磁南矿段分别采集不同类型的矿石,经过详细的显微镜研究,系统挑选代表性的颗粒进行磁铁矿成分研究。样品分析在中国科学院矿产资源重点实验室 Cameca-SX51 电子探针仪器上完成。分析结果见表1。

表1 磁海矿床磁铁矿电子探针分析结果(w(B)/%)

成分	磁海矿段				磁南矿段					
	块状矿石 (2)	浸染状矿 石(2)	块状矿石 (2)	块状矿石 (2)	砂卡岩中细粒 浸染状(2)	砂卡岩中粗粒浸 染状(2)	细脉状磁铁 矿(2)	团块浸染状 (3)	砂卡岩中微粒 状(2)	砂卡岩中细粒 状(2)
SiO <sub>2</sub>	0.073	0.403	0.574	0.164	1.273	0.378	1.027	0.454	0.347	0.365
TiO <sub>2</sub>	0.641	0.345	0.080	0.086	1.558	0.429	0.932	0.157	0.479	0.743
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.293	0.914	0.638	1.074	4.116	2.232	3.071	1.407	2.750	3.112
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.037	0.034	0.018	0.000	0.036	0.023	0.023	0.007	0.016	0.041
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.000	0.023	0.000	0.000	0.009	0.009	0.001	0.004	0.016	0.001
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	63.848	63.767	67.217	67.126	59.142	65.048	62.669	66.567	64.938	63.886
MgO	0.013	0.036	0.120	0.150	0.273	0.144	0.241	0.205	0.115	0.168
CaO	0.009	0.000	0.000	0.030	0.191	0.000	0.001	0.000	0.105	0.008
MnO	0.112	0.088	0.248	0.351	0.260	0.143	0.232	0.256	0.239	0.271
FeO	29.956	29.811	30.370	30.489	31.564	31.214	31.371	30.599	31.574	31.698
CoO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NiO	0.018	0.024	0.030	0.052	0.027	0.017	0.005	0.060	0.039	0.006
Na <sub>2</sub> O	0.000	0.010	0.013	0.020	0.004	0.011	0.001	0.003	0.000	0.034
K <sub>2</sub> O	0.018	0.005	0.008	0.010	0.017	0.027	0.036	0.018	0.022	0.032
总和	95.006	95.442	99.306	99.550	98.470	99.663	99.599	99.732	100.633	100.346

注:括号中为样品数。

从磁铁矿主元素成分（表 1）可以看出，本区磁铁矿成分明显的特点是幔源组分 Ti、Ni、V 含量较高，TiO<sub>2</sub> 一般>0.1%~1.56%，接近徐国风等（1979）统计的岩浆型铁矿的下限（0.58%），而高于矽卡岩型铁矿（0~0.23%）和热液交代型铁矿（痕量~0.49%）；NiO 多数高于 0.01% 的检测限，最高为 0.06%，与岩浆型铁矿（0.02~0.04%）相当，高于矽卡岩型铁矿（0.013%）；V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 亦多数高于 0.01% 的检测限，最高为 0.04%，与矽卡岩型铁矿（0~0.05%）和热液交代型铁矿（0~0.61%）相当。将磁海矿床磁铁矿电子探针的测试结果投点到陈光远（1987）的磁铁矿 TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO 成因图解（图 2），可见样品分别落在沉积变质-接触交代磁铁矿趋势区和基性-超基性岩浆磁铁矿趋势区内。林师整（1982）对磁铁矿的中主要化学成分做概率分布发现，其与磁铁矿成因类型有密切关系（图 3）。磁海矿床的主要成分（重新换算为%）为 FeO=30.40%~33.10%，极为集中，其频率分布特征与岩浆型矿床的磁铁矿相似，而与接触交代型等差别较大；Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=57.54%~68.15%，后者较为分散，其频率分布特征与副矿物型磁铁矿相似。



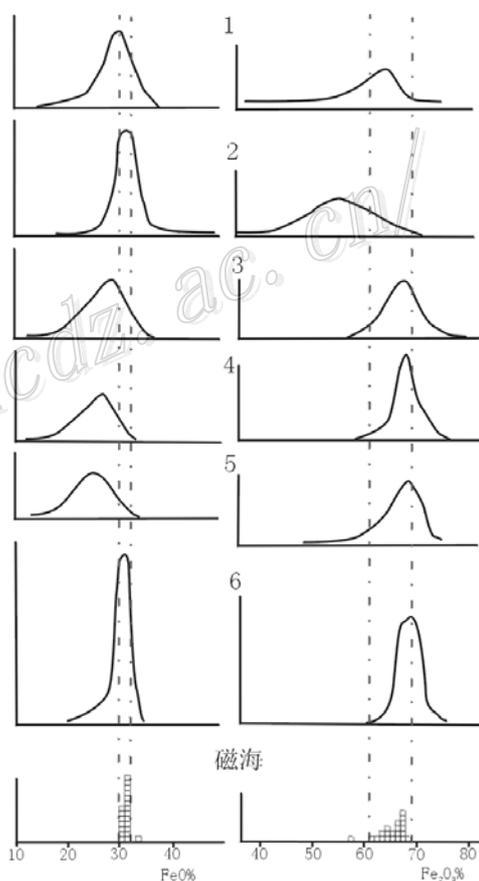
I、沉积变质-接触交代区；II、超基性-基性-中性岩浆区；III、酸性-碱性岩浆区

图 2 磁海矿床磁铁矿 TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO 成因图解  
(据陈光远, 1987)

表 2 磁海矿床含矿岩石、矿石和磁铁矿成分

	含矿辉绿岩 矿石 磁铁矿 磁铁矿			
	CH06	CH02	CH02	CH06
w <sub>B</sub> /%				
SiO <sub>2</sub>	43.92	12.17		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.21	47.49		
FeO	7.86	26.36		
TiO <sub>2</sub>	0.62	0.18		
w <sub>B</sub> /10 <sup>-6</sup>				
La	7.609	29.119	14.627	5.647
Ce	19.171	49.760	25.902	12.134
Pr	2.988	4.712	2.352	1.575
Nd	12.938	13.545	6.781	6.099
Sm	2.963	1.756	0.823	1.177
Eu	0.671	0.351	0.189	0.260
Gd	3.350	0.900	0.545	1.230
Tb	0.511	0.101	0.061	0.187
Dy	3.505	0.574	0.310	1.189
Ho	0.709	0.097	0.064	0.245
Er	2.110	0.285	0.188	0.748
Tm	0.315	0.040	0.026	0.113
Yb	2.031	0.238	0.168	0.747
Lu	0.299	0.036	0.028	0.123
Y	18.207	2.991	1.614	6.674
Rb	18.954	1.414	0.572	1.747
Sr	74.301	31.856	11.032	23.861
Ba	153.42	12.390	5.778	9.968
Nb	4.843	1.561	1.840	18.864
Zr	103.01	4.931	4.342	20.910
Hf	2.999	0.118	0.115	0.676
Th	4.312	6.125	4.298	3.123
U	0.951	1.343	0.989	2.582
Cs	0.340	0.085	0.056	0.389
Ga	9.448	25.163	29.582	19.244
V	84.842	154.03	123.47	465.67
Cr	45.493	20.192	3.298	109.75
Co	37.755	76.397	53.324	92.137
Ni	28.448	74.208	53.947	56.618
Cu	26.169	228.76	14.423	176.80
ΣREE	59.171	101.513	52.064	31.474
ΣLR/ΣHR*	3.611	43.705	36.466	5.869
δEu	0.649	0.764	0.813	0.656
Co/Ni*	1.327	1.029	0.988	1.627

\*单位为 1。



1、副矿物型；2、岩浆型；3火山岩型；  
4、接触交代型；5、矽卡岩型；6、沉积变质型

图 3 磁海矿床磁铁矿主成分 FeO 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的频率分布 (据林师整, 1982)

### 3 磁铁矿微量元素特征

为了探讨矿床的成因,选择磁海矿段主要含矿岩石辉绿岩和浸染状矿石,挑选出单矿物磁铁矿,并与寄主岩(矿)石一起进行微量元素示踪研究。分析由中国科学院地质与地球物理研究所 ICP-MS 实验室在“ELEMENT”分析仪上采用 In 内标溶液、ICP-MS 法完成。

从表 2 可以看出,磁铁矿的微量元素含量与其寄主的含矿辉绿岩或矿石全岩成分基本一致,呈相关消长,特别是稀土元素特征更为相似(图 4),磁铁矿的稀土曲线近乎与其寄主岩石平行,表明矿床主要矿石矿物磁铁矿来源于(矿化)辉绿岩。

磁铁矿单矿物 V、Cr、Co、Ni、Cu 含量较高的特点,反映出成矿物质来源较深。前人曾将磁铁矿的 Co/Ni 比值大于 1 作为矿床热液成因的依据之一(赵玉社,2000),但本文测得磁铁矿的 Co/Ni 比值可大于 1,亦可小于 1(ch02\*)。

#### 4 讨论和结论

从上述磁海矿床磁铁矿成分看,磁铁矿来源显然与辉绿岩有关。其主要元素成分显示出与接触交代型和热液型矿床有一定相像,但更接近岩浆型矿床,至少说明存在岩浆分异形成的磁铁矿。

磁海矿床为与基性-超基性杂岩有关的矿床,含矿岩石组合为辉长岩-辉绿岩杂岩体,矿体虽产于辉绿岩中,但含矿辉绿岩外围接触带即为辉长岩。另外,矿床属 Fe-Co 组合类型,由于 Co 的地球化学性状,可以肯定其与基性-超基性岩有关,这在以往研究中并未得到重视。据前人同位素资料(赵玉社,2000;薛春纪等,2000),矿床中 3 种主要硫化物(磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿)的  $\delta^{34}\text{S}$  变化于 -1.36‰~4.14‰ 之间,与陨石的  $\delta^{34}\text{S}$  (-1.68‰~3.36‰) 变化范围基本重叠,说明矿床中 S 来亦自于幔源。

国内外与基性杂岩有关的铁矿,除钒钛磁铁矿外其他类型亦不鲜见,如俄罗斯的巴卡尔、美国的康沃尔、捷克的巴兰典内等(沈城珩等,1995),均为亿吨以上的大型铁矿,但其成因类型多有争议或非单一成因。巴卡尔(矽卡岩型)和巴兰典内(热液型)铁矿主要以菱铁矿为主,显然与磁海铁矿不同。康沃尔磁铁矿矿床的元素组合为以 Fe(磁铁矿)为主,伴生有 Co、Cu、Au、Ag,与磁海矿床有类似之处,矿床产于辉绿岩上方,并与灰岩发生接触交代,有接触交代型火山岩型成因之争。

世界上大多数矿床,特别是大型、超大型矿床,很少仅存在单一的成矿方式,矿床的最终形成往往是多种成矿作用的结果。岩浆矿床也不例外(王玉往等,2006),如岩浆铜镍矿床,除岩浆熔离和贯入成矿外,人们相继发现岩浆深部液态重力分异、岩浆同化混染、矿浆成矿、岩浆分离结晶作用,以及热液作用对铜镍硫化物成矿均具有一定的影响(刘凤山,1993;宋谢炎等,2004);某些钒钛磁铁矿矿床亦发现有岩浆热液型矿化(王玉往等,2005)。同样,磁海矿床的地质特征和磁铁矿成分均表明,该矿床亦属是多成因形成的矿床,不能否认岩浆分异作用对矿床的贡献,成矿可能经历了深部岩浆房的分异、矿浆贯入和后期热液交代 3 个阶段。其成矿作用与二叠纪基性岩浆活动有关,含矿辉绿岩样品的 Rb-Sr 等时线年龄为(268±7) Ma(薛春纪等,2000),蚀变矿物角闪石 K-Ar 法年龄测定为 260.3 Ma(张明书等,1980),与东天山地区后碰撞基性幔源岩浆活动形成的铜镍硫化物矿床(黄山矿带)和钒钛磁铁矿矿床(尾亚)密切相关,应属于与幔源岩浆有关的岩矿床系列中的一个端员。

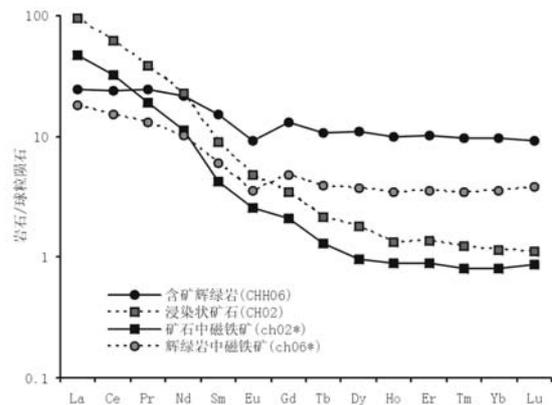


图 4 磁海矿床含矿岩石、矿石和磁铁矿的稀土配分曲线

#### 参 考 文 献

- 陈光远. 1987. 成因矿物学与找矿矿物学[M]. 重庆: 重庆出版社.
- 林师整. 1982. 磁铁矿矿物化学、成因及演化的探讨. 矿物学报, (3): 166~174.
- 刘凤山. 1993. 铜镍硫化物矿床成矿理论的新进展[J]. 地质科技情报, 12(2): 77~81.
- 沈承珩, 王守伦, 陈森煌, 等. 1995. 世界黑色金属矿产资源 [M]. 北京: 地质出版社.
- 宋谢炎, 曹志敏, 罗辅勋, 等. 2004. 四川丹巴杨柳坪铜镍钼族元素硫化物矿床成因初探[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 31(3): 256~266.
- 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 2005. 新疆尾亚钒钛磁铁矿——一个岩浆分异-贯入-热液型复成因矿床[J]. 矿床地质, 24(4): 349~359.
- 王玉往, 王京彬. 2006. 与镁铁-超镁铁质岩石有关的矿床类型[J]. 中国地质, 33(3): 656~665.
- 徐国风, 邵洁莲. 1979. 磁铁矿的标型特征及其实际意义[J]. 地质与勘探, (3): 30~37.
- 薛春纪, 姬金生, 杨前进. 2000. 新疆磁海铁(钴)矿床次火山热液成矿学[J]. 矿床地质, 19(2): 156~164.
- 张明书, 张建中, 邬介人, 等. 1980. 磁海式铁矿地质特征初步研究[J]. 地质与勘探, (8): 25~32.
- 赵玉社. 2000. 新疆磁海铁矿地质特征及矿床成因[J]. 西北地质, 33(1): 31~38.