成因类型划分，可以说明成矿物质具有多源性，成矿作用具有多种地质作用叠加和多阶段性的特点。研究变质岩铜矿床成矿物质来源和划分矿床变质成因类型，对开阔变质岩型铜矿找矿思路是有益的。

参 考 资 料

〔1〕桂林冶金地质研究所变质岩铜矿专题组历年专题研究报告

〔2〕龚琳等：云南DC铜矿的地质特征、矿床成因及找矿方向《铁铜矿产专辑（第三集）》，地质出版社，1975

〔3〕云南冶金地质研究所任主傅：《昆阳群层控铜矿成矿地质条件》，内部，1979

〔4〕龚琳等：《论"东川式铜矿"的成因》，内部，1979

磁海式铁矿地质特征初步研究

张明书 张建中 邬介人 陈书章 金浩甲 李世强

磁海式铁矿是我国近年来勘探成功的一种富铁矿类型。以其出现在华力西地槽晚期旋回、靠近古陆边缘的火山断陷沉积盆地中，成矿与二迭纪玄武质火山—基性岩浆的深部分异和岩浆期后气液演化密切相关，矿体主要赋存在辉绿岩中，具有独特的成矿特征，故名之。

这类铁矿在国内系初次发现，与国外已知产于暗色岩或辉绿岩中的铁矿亦有所不同。研究它的形成条件不仅对预测新的成矿远景区具有重要的现实意义，而且对研究总结与基性岩浆有关的铁矿成生理论，亦将提供重要的地质依据。

本文是根据两年来参加铁矿会战，配合普查、勘探工作所积累的材料草成的。成文后，蒙李春昱、马祖望同志审阅，陈碧玉、陈美云等同志清绘图件，顺此一并致谢。

磁海式铁矿形成的地质背景

矿床位于天山华力西褶皱带东部，中天山前古隆起带与北山华力西褶皱带南带的邻接部位（图1），恰处于一个东西向、北东东向、北西西向断裂交汇的结点位置。同时，又是早二迭世火山—沉积岩系组成的复向斜的核部，显示出应力十分集中，区域地质构造复杂的背景（图2）。

区域地层由老至新有震旦界长城系绿色变质石英砂岩，蓟县系为浅海相碳酸盐建造。后者分南北两带：北带为青灰色、灰白色至淡玫瑰色中—厚层硅质条带及团块的白云岩夹白云质大理岩、结晶灰岩偶夹千枚

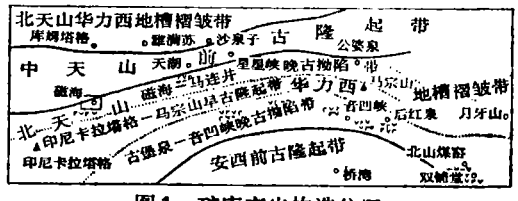
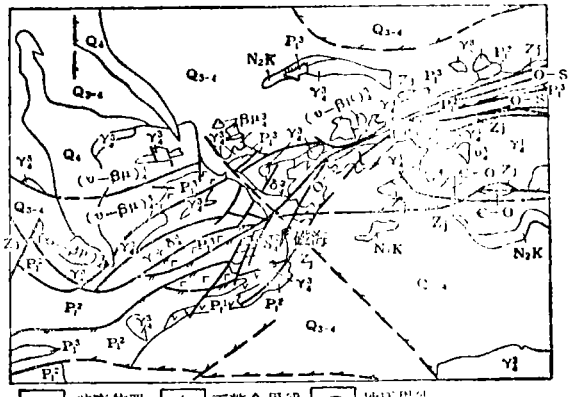


图1 矿床产出构造位置

图2位置 火山—基性杂岩发育区



Q_4—风成沙层；Q_{3-4}—冲积、洪积碎石及砂土；N_2K—第三系红层；P_1^3—早二迭世下火山岩组；P_2^2—早二迭世碎屑岩组；P_2^3—早二迭世上火山岩组；O—S—奥陶—志留系；ϵ—O—寒武—奥陶系；Zj—震旦亚界；γ_3^3—华力西期晚期花岗岩；δ_3^3—闪长岩类；$\beta\mu_3^3$—辉绿岩；$(\upsilon-\beta\mu)_3^3$—辉长—辉绿岩；υ_3^3—辉长岩；$\beta\mu_2^3$—辉绿岩；γ_2^3—华力西中期花岗岩；γ_1^3—华力西早期花岗岩

图2 矿床区域地质图

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

岩、肝红色变质粉砂岩、粉砂质板岩等，厚大于873米。白云岩或白云质大理岩中产Tielingella sp.(1)与下伏长城系呈整合接触，组成连续的背、向斜构造；南带亦以碳酸盐建造为主，可分三个岩组。下岩组为白色厚层大理岩夹白云石大理岩及石英岩，厚大于390米。中岩组为黑云母石英片岩、角闪片岩夹硅质岩、硅质板岩、石英岩等，厚大于700米。上岩组为灰白色、青灰色大理岩、白云石大理岩夹白色、烟灰色石英岩，厚大于1074米。薄层大理岩中产有Praeosolenopora sp.(2)。南北两带震旦界地层未见直接接触，在层位上南带偏高，可能相当于南方震旦系灯影组。寒武—奥陶系为灰黑色薄板状石英岩夹黄色石英岩、黑色硅质板岩，底部为灰—灰绿色粉砂质板岩、炭质板岩、硅质粘板岩夹大理岩、角砾状大理岩，局部见含磷岩系，总厚大于661米。奥陶—志留系，分两个岩组，下岩组为灰色、黄褐色、黑灰色薄板状和片状变质砂岩夹硅质岩、含碳硅质岩和石英岩，厚大于220米。上岩组为暗紫红色流纹斑岩，英安岩及凝灰岩、变质砂岩，厚大于850米。下二迭统出露较广，是含矿基性杂岩体的主要围岩，可分三个岩组，下岩组为灰绿—紫红色安山岩、英安岩及其凝灰岩、凝灰角砾岩夹层凝灰砂岩，含Spiriferella sp.，Schellwienella sp.，Neospirifer sp.Phricodothyris sp.，厚大于960米。中岩组为灰、灰绿色、黑色千枚状板岩、灰岩及变质砂岩、砂砾岩、砾岩偶夹硅质岩。灰岩中含：

Spiriferella rajah (Salter)，
Kochiproductus porrectus (Katorge)，
Spinomarginifera jisuensis (Chao)
Marginifera morrisi Chao，
Linoproductus lincotus (Waagen)，
Spiriferella cf salteri Tschernydchew，
Aulosteges sp.，Leptodus nobilis (Waagen)(3)等，厚大于1000米。上岩组为绿色安山玄武岩、玄武岩及凝灰岩、凝灰质砂岩等，厚大于1000米。三个岩组为连续沉积，与下伏老地层间为断层接触。第三系上新统苦泉组为桔红—砖红色粉砂岩、粉砂质粘土岩及砂砾岩、砾岩，厚大于10米。第四系为冲、洪积、淤积砂土及碎石以及风成沙丘、沙垄等。

区域岩浆活动在时间和空间上与构造作用密切相关。古生代以前，在强大的南北向水平挤压力作用下，形成一些东西向凹陷区，沉积了巨厚的震旦界地层，局部还伴随有火山活动。之后，局部隆起，尤以中天山为甚，成为分隔南北天山的屏障。从古生代开始，天山南北，此起彼伏，各处活动强度不等，凹陷区接受了早古生代沉积，各地火山活动强度不一，但以奥陶—志留纪火山活动强烈。早华力西期构造变动使早古生代及其以前的地层复又褶皱隆起，并伴之大量酸性岩浆活动，出现同褶皱期东西向花岗岩基，表现出岩体与地层残留体之间呈“互层状”，并保留原来褶皱形态特征。此后，至早石炭世，中天山北侧强烈凹陷，火山活动强烈，而南侧活动性小，只在局部接受了浅海相碎屑沉积，岩浆活动亦较微弱。此时期以前，区域应力场主要是南北向挤压，形成东西向构造岩相带和受东西向构造控制的长条形岩体。此时期以后，区域应力场除南北向挤压外，还有力偶作用，产生扭动，安西前古隆起带向北推挤，形成弧形断陷带和隆起带。在断陷带内接受了晚期石炭和二迭纪沉积，断陷深处，火山活动和继之侵入的中基性岩浆岩亦十分发育。之后，花岗岩类的侵入结束了地槽阶段的岩浆活动。

这些弧形断陷带内的火山沉积盆地，在构造控制下，促使岩浆深部分异，产生富铁残余岩浆气液，经过多次活动，在适宜的构造部位，形成矿床。

矿床形成时代及基性杂岩体特征

与成矿有关的基性杂岩体穿切了早二迭世地层的各个岩组，使震旦界蓟县纪、寒武纪地层呈巨大的岩块状产出，大量早二迭世及其以前地层的捕虏体分布在基性杂岩的内接触带。基性杂岩体与围岩接触所产生的接触变质作用比较微弱，除穿切现象外，一

(1) 李耀西发现并鉴定。
(2) 张明书发现，曹瑞骥鉴定。
(3) 早二迭世化石组合由西北地质所、甘肃八队联合研究组采，丁培棣、王清光鉴定。

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

般仅出现很窄的接触变质带。根据蚀变矿物角闪石钾氩法年龄测定为196.6百万年，215.0百万年和260.3百万年，其形成时代应为二迭纪。此外，根据本区区域构造发展历史特点，是一个华力西期褶皱带，二迭纪末全面褶皱回返，趋向稳定。二迭纪以前的地层普遍遭受强度不一的变质作用，岩浆活动发育，沉积厚度大，褶皱断裂均较强烈，而二迭纪以后的地层，均未变质，沉积厚度小，产状平缓，多系内陆湖相沉积，岩浆活动极其微弱，迄今尚未发现具一定规模的侵入体。因此，这些侵入在含化石的早二迭世地层中的基性杂岩被认为属华力西晚期，代表着地槽晚期旋回的产物，当无疑问。同时，根据成矿作用发生在辉绿岩体上侵以后的残余气液阶段，成矿时代属二迭纪，亦是适宜的。

与成矿有关的基性杂岩体是由不同岩石类型组成的，主要有橄榄辉长岩、辉长岩、辉长辉绿岩、辉绿岩或辉绿玢岩，局部出现辉石闪长岩、闪长岩、二长岩和花岗闪长岩等。不同岩石组合在生成时间上略有先后，其顺序大致先是辉长岩类，其后为辉绿岩类，最后是中酸性岩类。岩浆演化从基性向中酸性转化。辉长岩类中见有浸染状、小脉状晚期岩浆分异型钛磁铁矿化；中酸性岩类伴生的矿化不明显，而辉绿岩类是形成磁海式铁矿的母岩，亦是含矿的主要围岩。辉绿岩类多呈岩株、岩床出现在辉长岩中，两者界线清楚，略有穿插，一般无蚀变现象。辉绿岩绝大部分侵入部位较高，冲破围岩，出露地表，而含矿辉绿岩侵入部位低，致使围岩呈顶盖状覆在辉绿岩床之上。含矿辉绿岩，具清晰的辉绿结构，含较多的透石和磷灰石，斜长石多为更—中长石（An=16～40），常以大的板条出现，形成少斑结构，且其边部具有钠化净边，基质中亦可见少量钠长石颗粒、辉石的黑云母化比较普遍，它的存在往往改变了岩石的特征。个别岩石的结构与基性熔岩十分接近。含矿辉绿岩在岩石化学成分上，无论与戴里或美国二迭纪辉绿岩相比，具有多钛、高钙、低镁、含铁总量略低，二价铁明显偏低，富碱尤其是富钾的特征（表1、2，图3）。在含矿辉绿岩以北出现的同期基性杂岩体（北岩体）中辉绿岩分布范围很广，却不含矿，其特征与含矿辉绿岩亦有明显不同（表3）。含矿辉绿岩与北岩体辉绿岩中的钾、钠总量与氧化硅含量的比值表明，前者属碱性系列，后者为高铝系列。这些差异表明两个岩体的生成条件和分异演化过程是不同的。北岩体产出在前古隆起带边缘的断裂带中，侵入部位高，受东西向构造的牵制和北北西向张性断裂的影响较大，使上侵的岩浆占据很大的空间，内

磁海式铁矿外围不含矿辉绿岩岩石化学成分表　　表1

样号	H—1	H—2	Q—102	Q—104	Kb—154	Kb—127	Kb—251	Kb—347	平均值
SiO_2	52.87	50.41	51.56	50.35	49.32	50.13	46.34	48.90	49.96
TiO_2	2.74	1.76	1.51	2.58	1.14	2.28	1.32	1.69	1.88
Al_2O_3	12.69	14.73	14.55	13.68	16.75	15.16	14.82	14.63	14.63
Fe_2O_3	3.11	1.70	2.45	3.34	2.02	5.59	2.13	8.80	3.64
FeO	9.79	8.35	7.54	8.45	6.73	5.32	7.35	2 68	7.03
MnO	0.20	0.11	0.14	0.20	0.18	0.28	0.16	0.16	0 18
MgO	4.16	7.20	7.11	5.95	7.10	5.01	9.68	8.09	6.79
CaO	4.77	8.77	10.91	9.79	11.15	8.72	10.14	9.18	9.18
K_2O	0.10	0.18	0.44	0.45	0.40	0.44	0.22	0.28	0.31
Na_2O	4.45	2.93	2.75	3.15	2.76	3.26	3.08	2.98	3.17
P_2O_5	0.56	0.37	0.375	0.554	0.12	0.33	0.08	0.18	0.32
H_2O^+	2.28	1.78	0.92	1.10	1.83	2.72	4.30	2.75	2.21
H_2O^-	0.14	0 08	0.08	0.08	0.00	0.28	0.12		0 10
CO_2	1.70	1.02	0.20	0.09	0.15	0.28	0.08	0.07	0.45
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.072	0.004	0.174	0.00	0.03
总和	99.56	99.39	100.54	99.76	99.72	99.80	99.99	100.39	99.88
$\frac{K_2O}{Na_2O}$	0.02	0.06	0.16	0.14	0.14	0.13	0.07	0.09	0.10

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

磁海式铁矿含矿辉绿岩岩石化学成分表　　表2

样　号	Kb—75	Kb—144	Kb—204	Kb—208	Kb—211	Kb—167	Kb—168	Kb—171	Kb—190	Kb—164	Kb—165	Kb—166	平均值
SiO_2	49.59	47.97	46.90	48.51	50.60	52.56	49.25	51.07	49.52	51.48	50.47	50.13	49.84
TiO_2	1.39	1.39	1.59	2.49	2.60	2.13	2.67	2.28	2.26	2.77	2.63	1.39	2.13
Al_2O_3	14.24	15.17	15.29	15.02	13.24	14.06	13.36	13.66	13.47	13.19	13.43	15.79	14.16
Fe_2O_3	0.84	1.15	1.26	1.11	0.76	1.26	2 59	0.96	2.30	1.64	0.76	0.93	1.30
FeO	8.37	6.72	8.62	7.26	6.36	10.08	11.61	7.40	10.62	9.81	4.78	6.63	8.19
MnO	0.24	0.20	0.24	0.18	0.16	0.18	0.22	0.14	0.32	0.31	0.17	0.14	0.21
MgO	6.53	6.95	6.37	6.68	3.99	4.70	5.43	5.22	5.07	4.33	4.45	7.68	5.62
CaO	11.66	12.23	10 15	10.65	14.96	6.42	6.85	9.50	8.86	7.14	12.97	8.72	10.01
K_2O	1.52	1.44	0.78	1.28	0.46	0.94	1.70	0.86	0.78	1.88	4.44	1.96	1.50
Na_2O	2.72	2.54	3.34	2.98	3.70	4.70	3.34	4.70	4.04	4.34	1.96	3.08	3.45
S	0.006	0.004	0.035	0.082	0.012	0.10	0.121	0.067	0.004	0.17	0.004	0.018	0.05
P_2O_5	0.15	0.31	0.17	0.12	0.60	0.37	0.34	0.34	0.47	0.47	0.39	0.25	0.33
H_2O^+	2.52	2.52	2.72	2.68	2.02	2.12	2.50	2.46	2.40	1.72	1.60	2.56	2.32
H_2O^-	0.00	0.04	0 00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.10	0.02	0.00	0.03
CO_2	0.05	0.53	2.39	0.23	0.70	0.20	0.12	1.45	0.48	0.62	1.66	0.28	0.73
总　和	99.83	99.16	99.86	99.09	100.16	99.82	100.10	100.23	100.59	99.96	99.73	99.56	99.87
$\frac{K_2O}{Na_2O}$	0.56	0.57	0.23	0.43	0.12	0.20	0.50	0.18	0.19	0.43	2.27	0.64	0.43

基性杂岩体对比表　　表3

岩体名称	含矿基性杂岩体	北　岩　体
形成时代	华力西晚期	华力西晚期
产出构造部位、规模、形态及其特征	产于褶皱带内的火山盆地中。岩体平面呈纺锤形，东西长约8公里，南北最宽3公里，受北东东向断裂控制，总体产状向北北西方向陡倾。东段以辉长辉绿岩为主，西段全由辉长岩组成，显示西深，东浅的特征	产于隆起带边缘的断裂带中。岩体平面呈墨鱼状，长约20公里，南北最宽10公里，受北东东，北北西和东西向三组断裂联合控制，形态复杂。中心部位以辉长岩类为主，边缘为辉长辉绿岩、辉绿岩
岩石组合特征	由中粗粒橄榄辉长岩、辉长岩、辉长辉绿岩、辉绿岩、辉绿玢岩等组成。派生有闪长岩、石英闪长岩、二长岩、花岗岩、辉绿岩岩株及岩脉	主要由中粒—中粗粒辉长岩、辉长辉绿岩、辉绿岩、辉绿玢岩组成。派生脉岩少见
成矿特征	在辉绿岩体中形成富磁铁矿体，并伴生铜、钴及菱铁矿化。辉长岩中有含钛磁铁矿小矿体	辉长岩中有稀疏浸染状钛铁矿、钛磁铁矿化
其　他	辉绿岩中热液蚀变发育，斜长石牌号低，一般均小于An40，属更—中长石	除辉绿岩、辉绿玢岩中的斜长石有微弱钠化，并显净边结构外，无其他蚀变。斜长石牌号大于An40，为拉—倍长石

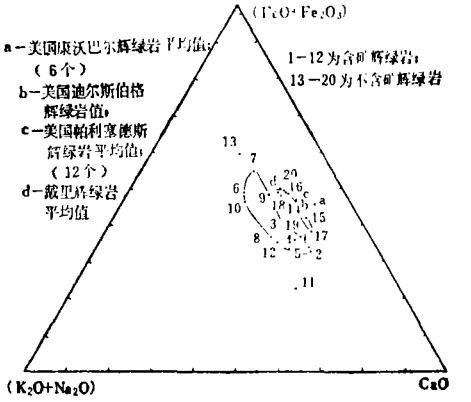


图3　辉绿岩化学成分（$FeO+Fe_2O_3$）、K_2O+Na_2O）、CaO变异图

应力很快消失，深部积聚的残余热液迅速上逸分散，不利于岩浆的分化和成矿。在岩浆演化上，表现出分异作用不强，钠化极弱，不具钾交代特征。辉绿岩中的斜长石基性度高，属拉—倍长石。

由上可见，辉绿岩与早二迭世上岩组的玄武岩有许多相似之处，它们可能是不同产态的同源产物。

矿床地质特征

1.矿体的空间分布、形态及产状　磁海式铁矿矿体几乎全部赋存在辉绿岩内，在形态上可分为似层状、透镜状、复合透镜体等。矿体规模越大，形态越复杂（图4，5）。每

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

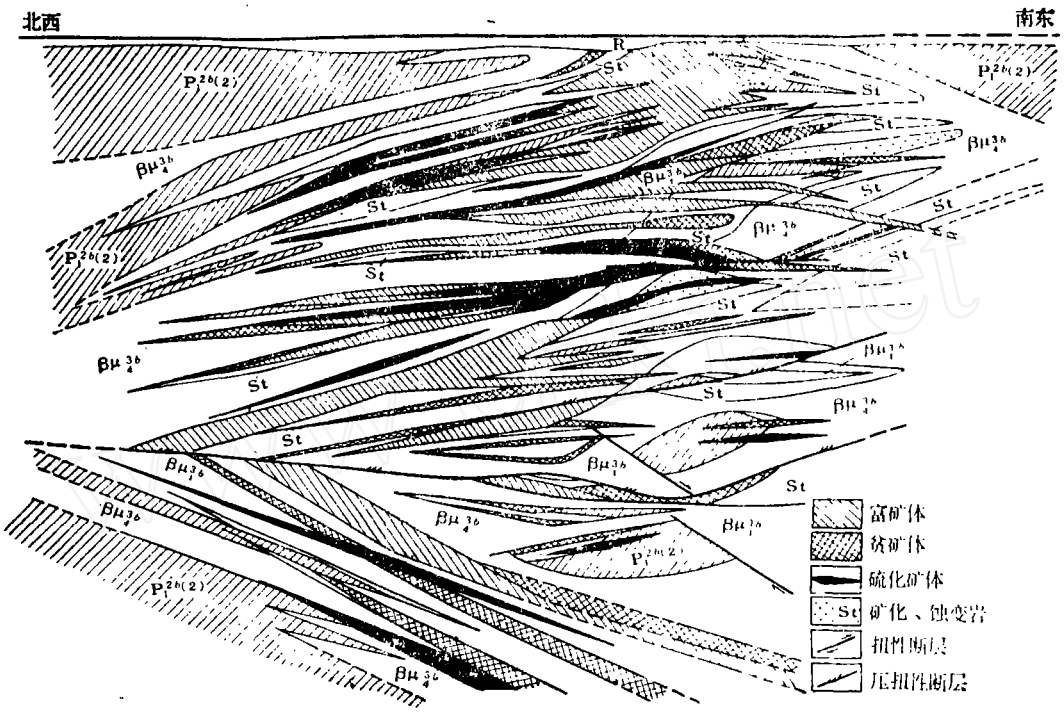


图4 矿床纵剖面图

R—第三系红层；$P_1^{2b(2)}$—早二迭世碎屑岩；$\beta\mu_4^{3b}$—辉绿岩、辉绿玢岩

个主矿体的主体部位厚大膨胀，两端及上下延伸部位呈须状分叉。因此，在分叉部位上，呈现出彼此靠近的似层状平行排列的特征。整个矿床由大小不等、贫富不一的一系列矿体群组成，大致分为三个带：上部贫矿带；中部为富矿集中部位；下部仍以贫矿为主。矿体群的主体延展方向为北东东向，倾向北，倾角中等至陡。伴生的含铜钴磁黄铁矿化在矿带、岩体以及围岩捕虏体中均有分布，而以下贫矿带出现的规模较大，品位亦相应较高。

2.矿石的物质成分和结构构造 整个矿床以富矿石为主，矿物成分比较简单，以磁铁矿为主。近地表因氧化作用出现少量假象赤铁矿、褐铁矿；局部出现菱铁矿。伴生金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉砷钴矿，偶见方铅矿、白铁矿。脉石矿物有透辉石、次透辉石、普通辉石、阳起石、角闪石、钙铝榴石、绿帘石、斜长石、绿泥石、葡萄石、方解石、磷灰石、榍石等。

矿石结构有自形、半自形、他形、嵌晶以及似海绵陨铁结构。粒度由细至中粒以及粗粒，局部出现粗粒至伟晶状矿石。矿石构造主要有致密块状、浸染状、斑杂状、网脉状、角砾状等，局部出现条带状、条纹状。富矿体主要是致密块状和角砾状构造，贫矿构造以浸染状、条带状、条纹状、网脉—斑杂状为主。同一矿化部位常因交代作用性质或构造裂隙发育程度不同，矿物组合、脉石特征有别，并出现不同的构造类型。

磁铁矿的生成主要有两个世代，第一期以贫矿为主，是继钙镁交代作用后的产物；第二期是深部积聚的含矿气液，上升交代充填的富铁矿。它们的单矿物化学分析结果列于表4，表明浸染状矿石中含钛略高，其他杂质比例不定，单位晶胞 a_0 值从8.393～8.400，粗粒矿石单位晶胞值偏大。

3.围岩蚀变特征 磁海式铁矿的热液蚀变作用主要表现在早期的碱交代作用及其后的钙镁交代作用。主要蚀变类型有钠长石化、黑云母化、透辉石—次透辉石化、钙铝榴石化、阳起石—角闪石化、葡萄石化、绿泥石化、碳酸盐化等。

钠长石化发育在辉绿岩中，主要表现为

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

斜长石净边结构和少量钠—更长石的形成，反映出岩浆结晶晚期残余气液中碱组分增高，而钠离子先进入晶格，交代斜长石。这种钠化现象在不含矿辉绿岩中亦较普遍，表明与铁矿成生的联系并不密切。继之而来的黑云母化是一种主要的钾交代作用，在矿体两侧的近矿围岩，尤其是上盘围岩中比较发育，与成矿关系比较密切。伴随黑云母往往有磁铁矿生成，磁铁矿集合体有的穿切了黑云母，有的则沿黑云母解理充填。镜下常见黑云母穿插具钠长石净边的斜长石，标志着黑云母化是发生在钠化以后，磁铁矿化之前。此种蚀变不仅反映出是成矿前的先导，而且是很好的找矿标志。透辉石—次透辉石化是很普遍的一种蚀变，形成各种透辉石蚀变岩。它既出现在辉绿岩体内，也发育在围岩地层中，而且不同岩石类型的围岩均可遭受程度不等的蚀变，出现一系列过渡性岩石。根据少量样品分析，蚀变形成的辉石主要是次透辉石，$C\wedge Ng42\sim46°$，$Ng=1.7205\sim1.7130$，$Np=1.7050\sim1.6905$。依其化学成分计算了矿物的化学式的。葡萄石化、钙铝榴石化常伴随着透辉石—次透辉石化出现，前者仅在部分透辉石化强烈的地段见到；后者呈小脉状、斑块状，不规则集合体分布在透—次透辉石蚀变岩中，其生成晚于

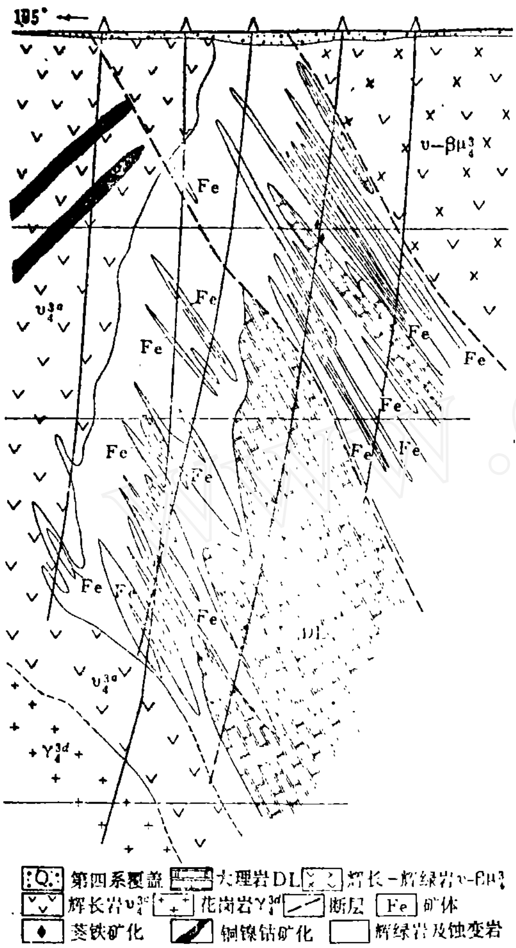


图5　矿床南剖横剖面图

磁铁矿单矿物化学分析及X光粉晶分析结果表　　表4

样号	1	2	8	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
项目	Kb—50	Kb—101	Kb—202	Kb—212	Kb—213	Kb—221	Kb—229	Kb—240	Kb—366	Kb—98	D—01	D—02	Kb—371
矿石类型	磁铁矿化蚀变岩石	地表浸染状矿石	细粒富铁矿石	细粒富铁矿石	粗粒磁铁矿石	角砾状矿石	中粗粒矿石	中细粒矿石	稠密浸染状矿石	斑块状矿石	细粒磁铁矿石	粗粒磁铁矿石	钛磁铁矿石
SiO_2	1.95	0.72	1.15	0.50	1.07	0.93	0.71	0.43	1.44	0.69	1.85	2.93	0.24
TiO_2	1.31	0.95	0.14	0.20	0.33	0.24	0.05	0.06	0.32	1.05	0.14	0.66	48.75
Al_2O_3	1.57	2.47	1.53	0.85	1.05	1.08	1.50	2.00	1.44	2.81	1.65	1.36	0.36
Fe_2O_3	64.17	74.20	66.19	67.71	66.20	67.82	66.70	67.32	68.23	74.83	64.96	63.33	8.24
FeO	29.31	20.69	29.89	30.61	30.46	29.60	30.46	30.03	27.73	19.69	30.36	29.76	41.53
MnO	0.31	0.18	0.19	0.04	0.10	0.18	0.08	0.23	0.20	0.18	0.21	0.20	0.36
MgO	0.15	0.51	0.55	0.17	0.27	0.33	0.45	0.45	0.30	0.54	0.00	0.60	1.28
CaO	0.11	0.11	0.27	0.10	0.16	0.16	0.13	0.07	0.11	0.13	0.38	0.75	0.24
P_2O_5	0.003	0.005	0.005	0.000	0.000	0.003	0.004	0.003	0.002	0.007	0.03	0.03	0.000
S	0.009	0.003	0.004	0.006	0.005	0.006	0.003	0.003	0.004	0.004	0.037	0.014	0.004
NiO	0.018	0.024	0.010	0.010	0.024	0.024	0.018	0.024	0.025	0.010	0.01	0.01	0.010
$H_2O\pm$	0.96		0.34		0.56				0.40		0.48	0.50	
总和	99.870	99.862	100.269	100.196	100.229	100.373	100.105	100.620	100.201	99.941	100.440	100.144	101.014
a_0值 ±0.02Å		8.393	8.397	8.398	8.400	8.400	8.395	8.394	8.395	8.394			8.397

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

辉石，同属于钙镁交代作用的一部分。石榴石化亦可做为直接找矿标志。阳起石一角闪石化，晚于辉石、石榴石的生成，分布不普遍，常聚集成晶簇状，是气液交代不均的产物。碳酸盐化是钙镁交代作用晚期的一种蚀变，几乎各种岩石中均能见到，多以脉状、网脉状出现。绿泥石化是伴随磁黄铁矿化、黄铁矿化的一种蚀变，凡硫化物矿化作用强的地段，绿泥石化亦较显著。

此外，矿床中常见的含铜钴磁黄铁矿、黄铁矿是继磁铁矿化阶段以后的硫化物成矿阶段的产物，它既叠加在铁矿体之上形成高硫富矿，也单独形成一些小矿体。从黄铁矿、磁黄铁矿等九个样品的硫同位素分析结果看，磁黄铁矿均富集硫的重同位素 S^{34}，而黄铁矿既富集硫的重同位素，也富集硫的轻同位素。S^{32}/S^{34}的平均值为22.181，一般为22.15～22.25，标志着来源于深部岩浆，且代表着高硫低氧与高氧低硫之间的过渡性形成条件。

上述各种蚀变都是在同一气液作用下形成的，是辉绿岩体上侵之后，残余气液活动的结果。它既作用于岩体本身，也使岩体的围岩遭受与岩体相同的蚀变。而成矿作用发生在这些蚀变的晚期阶段。这一特征是区分晚期岩浆分异和夕卡岩型铁矿的关键所在。

4.控矿因素 控制磁海式铁矿形成的决定因素是一定的构造—岩浆活动。含矿岩体以东，震旦界地层广泛出露，连续性很好，而岩体以西则零星分布，呈巨大断块出现。早二迭世地层在岩体两侧亦有明显不同，岩体以东火山岩厚度小，线形延伸明显，出现许多红色砂砾岩层等氧化较强，属浅海滨岸的沉积物。岩体以西火山岩发育，厚度大，没有红色氧化环境下形成的砂砾岩，且水平挤压的短轴拖拉褶皱极为普遍，表明这个地区在岩体侵入以前，是一个构造活动带，东部隆起，西部拗陷较深，两者之间存在着一个近于南北向的强烈挤压断裂带，将基底拉开，并与北东东向断裂带汇合，形成结点，成为岩浆活动的通道。目前推测通道的主体部分位于矿床的中部，它也可能是早二迭世火山喷发的中心，大致相当于主矿体膨大部位。

基性岩浆的深部分化和多次活动，尤其是残余气液的上升和继之而来的矿液作用是控制成矿的内在因素。

残留围岩顶盖的存在，为矿液的活动、储存起了良好的遮挡作用。

不同构造因素决定了岩浆和矿液的运移方式，控制了各个部位的矿体形态、产状。北东东向压扭性断裂的密集分布，平行排列，既控制了岩体的形态、产状，也控制了一些主要矿体的形态产状。北东、北西向扭断裂与北东东向压性断裂系统联合控制了矿体的形态，使之在交汇部位膨大，延伸部位分枝复合。围岩残留体与岩体接触带附近，一方面围岩体冷凝收缩产生裂隙带，另一方面围岩的垂向压力产生密集的层节理以及派生的斜切节理，使矿液利于渗透、充填、交代，产生各种构造类型的矿体。岩体中部的节理系统和原生破碎带控制了富矿的生成，并出现较多的角砾状构造的矿石。

总之，矿床是受多种构造联合控制的，主矿体集中分布在岩体边部和中部。

5.成矿作用过程分析 磁海式铁矿的形成具有长时间的、多阶段的、连续复杂的作用过程。

当辉绿岩浆继辉长岩而上侵后，通道以西被辉长岩占据，只能往东发展，故使辉绿岩体在东部分叉较多，而在西部则呈波状圆滑的界线。更晚出现的富碱气液，沿辉绿岩体边缘逐渐向内交代，在围岩盖层的遮挡下，携带着大量挥发分，保持着很强的活动能力，形成钠化和黑云母化等碱交代作用蚀变带，成为成矿的先导。随着钠钾的消耗，出现钙镁交代，产生一系列蚀变岩石，改变了岩石的物理化学性质。同时，随着岩体冷凝固结产生的裂隙系统，为磁铁矿的晶出和扩散交代提供了有利条件，形成贫矿体。在这一过程中，由于深部逐渐富化的气液不断上升，扩大交代范围，一方面渗进原来的空间，产生多层状矿体，另方面使部分矿液，被挤向压力差大的地段，形成一些分散的小透镜状矿体，如岩体西缘。

在贫铁矿形成以后，岩体已基本固结，向刚性体递变，垂直压力不断作用，地下积聚的内应力迫使更加富集的矿液继续上升。此时，由于膨胀—冷缩—膨胀—再冷缩的反复变化，加上外动力作用，引起岩石破裂，层节理系统的张开、闭合的连续作用，造成的空间比贫矿形成时更大，甚至出现断裂，

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

使矿液挤进充填，形成富铁矿体。

在主要富矿体形成以后，残余富矿液更为聚集，沿裂隙形成脉状磁铁富矿。同时，残余热液中氧离子大量消耗，硫离子丰度不断增加，铁离子与硫结合形成磁黄铁矿，进而出现黄铜矿、辉砷钴矿。

含铜钴磁黄铁矿形成以后的气液，硫离子浓度更大，形成高硫硫化物——黄铁矿。此时气液中二氧化碳分压增高，出现菱铁矿化。至此，矿化阶段基本结束，外动力条件继续活动，使分异出的中酸性岩浆继续上侵，并出现新的断裂，对矿床产生一定的破坏作用。

综上所述，磁海式铁矿的形成大致可划分为下列阶段：1）气成热液早期碱交代阶段；2）气成热液晚期钙镁交代阶段；3）高温热液阶段，早期形成贫磁铁矿，晚期形成富矿；4）中高温硫化物成矿阶段；5）中低温菱铁矿化成矿阶段；6）表生氧化作用阶段。属于与玄武质火山—侵入的辉绿岩浆深部分异有关的上升式热液交代充填型矿床。与晚期岩浆分异型或贯入型矿床在形成时间、物质组分及其他特征上完全不同，与夕卡岩型铁矿在成矿作用的方式和蚀变特征上有相似性、但矿物组合、成矿部位、成矿机理有明显区别。

6.找矿标志 可总结为下列几点：

（1）构造标志 天山东段、华力西晚期形成的断陷沉降带，特别是早二迭世火山沉积盆地中分布的基性杂岩体，是找矿的有利部位。同时，在这些地区要注意寻找不同规模、不同方向交叉部位的岩体，对成矿更为有利。

（2）岩浆岩标志 分布在上述构造带内的基性杂岩体，凡具有明显分异和富碱，特别是富钾、高钙、低铁等特征的辉绿岩，可做为找矿的直接标志。

（3）围岩蚀变特征 钠化、黑云母化是该类铁矿的重要蚀变，尤其是黑云母化，是成矿的先导，可做为直接找矿标志。透辉石—次透辉石以及钙铝榴石化等蚀变带的出现，部分地段因蚀变作用加强，表现出一定的褪色现象，也是找矿的重要标志。

（4）地球物理标志 该类铁矿主要是磁铁矿，形成规模不等、深浅不一的磁性矿体，具有很强的磁性，常形成明显的磁异常。因此，磁异常的存在亦是重要的标志。

根据初步研究，磁海式铁矿具有下列主要特征：

1.矿床产于北东东向断陷带内，是基性火山—侵入岩浆残余气液阶段的产物；

2.成矿时代为二迭纪，是华力西地槽褶皱带晚期旋回的产物；

3.成矿与富碱尤其富钾、低铁、高钙、低镁、多钛的辉绿岩浆有着成生联系；

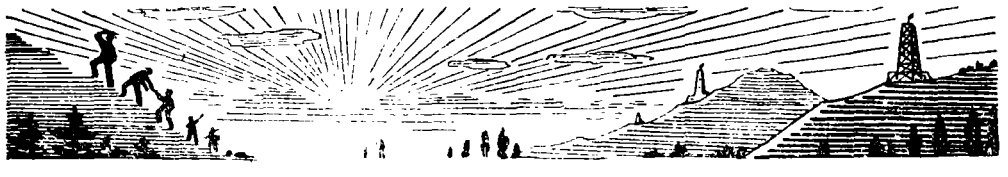
4.围岩与辉绿岩遭受相同的交代蚀变作用，且出现透辉石—次透辉石、钙铝榴石等似夕卡岩化矿物组合，然成矿作用性质与夕卡岩矿又有所不同；

5.岩体内不同部位有不同的矿石结构构造类型。岩体顶部出现脉状、网脉状、条带—条纹状，不均匀浸染状等构造，岩体中部出现角砾状、块状构造；

6.富铁矿具有原生性质，是深部分异出的矿液上升，沿构造裂隙充填交代而成，矿体与围岩间具有平直清楚的接触界线；

7.含铜钴硫化物普遍，含钴量高，是该矿床的重要特征之一；

8.成矿的末期，还有中低温热液菱铁矿化出现，它既可在主矿的边缘产出，亦可形成独立的矿化体。



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