文章编号：1004-5589（2011）01-0039-07

内蒙古西乌珠穆沁旗阿拉坦高勒钒钛磁铁矿矿床地质特征

赵华雷[1]，郗爱华[1,2]，刘俊梅[3]，王守仁[3]，龚鹏辉[1]

1. 吉林大学 地球科学学院，长春 130061；2. 西南石油大学 资源与环境学院，成都 610500；
3. 吉林昊融有色金属集团有限公司，吉林 磐石 132311

摘要：在内蒙古西乌旗阿拉坦高勒地区新发现了一个品位低、出露浅、规模大的钒钛磁铁矿矿床。其含矿母岩主体为辉长岩，其次有部分闪长岩、角闪辉长岩和橄榄辉长岩等岩石类型。钻孔岩心岩相学研究表明，基性程度高的橄榄辉长岩通常在含矿岩体的中下部，基性程度低的闪长岩通常在含矿岩体的上部及边部。矿石矿物组合主要为磁铁矿、含钒磁铁矿、钛磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿及少量金红石。其中，磁铁矿、含钒磁铁矿和钛磁铁矿通常呈海绵陨铁状、浸染状及分散星点状分布在硅酸盐矿物粒间，表现出典型的岩浆熔离和结晶分异的结构特点，与四川攀枝花铁矿有一定的相似性。与传统的岩浆矿床不同的是，新发现的富矿体通常位于岩体的上部，且普遍发育围岩蚀变。研究认为后期热液叠加对现今矿床的形成与改造起到了一定的作用。

关键词：钒钛磁铁矿；岩浆矿床；阿拉坦高勒；西乌珠穆沁旗；内蒙古

中图分类号：P618.31 **文献标识码**：A **doi**：10.3969/j.issn.1004-5589.2011.01.006

Geological characteristics of Alatan Gol vanadium-bearing titanomagnetite ore deposit in West Ujimqin Banner, Inner Mongolia

ZHAO Hua-lei[1], XI Ai-hua[1,2], LIU Jun-mei[3], WANG Shou-ren[3], GONG Peng-hui[1]

1. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China*;
2. *School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China*;
3. *Jilin Horroc Nonferrous Metal Groups Co. Ltd, Panshi 132311, Jilin, China*

Abstract: A vanadium-bearing titanomagnetite deposit with low grade, shallow occurrence and large scale has been found in Alatan Gol of Xiwuqi, Inner Mongolia. The main ore-bearing intrusion is composed of gabbro and minor diorite, evjite, olivine gabbro, etc. The core petrography of drills showed that the olivine gabbro with high basic degree always occurred in the middle and low section of ore-bearing rock, whereas the diorite with low basic degree in the upper and margin section of ore-bearing intrusion. The main ore mineral includes magnetite, coulsonite, titanomagnetite, pyrite, chalcopyrite and a little amount of rutile. Among them, magnetite, coulsonite and titanomagnetite were distributed among silicate minerals in spongy aerosiderite, dissemination and scattered star shapes. The structural characteristics are typical magma liquation and crystallization differentiation, which are similar to of the Panzhihua iron deposit in Sichuan. Compared with traditional magmatic deposits, the high-grade ore body of Alatan Gol deposit currently found in the upper intrusion and there widely developed alteration in country rock. The conclusion can be drawn that the superposition of later hydrothermal played an important role to the formation and rebuilding of the present deposit.

收稿日期：2010-11-19；**改回日期**：2011-01-06
基金项目：国家自然科学基金项目（40572058）

Key words: vanadium-bearing titanomagnetite; magmatic deposit; Alatan Gol; West Ujimqin Banner; Inner Mongolia

0 引言

基性辉长岩中常伴生岩浆型钒钛磁铁矿床，辉长岩体既是含矿母岩也是赋矿围岩。已知的典型矿床，例如河北的承德大庙、四川的攀枝花矿床，前者产在斜长岩及与之相关的苏长岩中[1-3]，后者主要含矿母岩为辉长岩[4,5]，是目前钒、钛和铁矿的重要成因类型。内蒙古西乌珠穆沁旗境内近年发现一处含矿辉长岩，以品位低、出露浅、规模大、勘探研究程度低为特点，与典型矿床在成矿地质环境、矿物成分特点和成矿作用方式上均有差别。对该类型矿床地质特征的研究，在矿产资源日益短缺的今天具有较大的工业意义和理论指导意义。

1 矿区地质背景

阿拉坦高勒位于内蒙古西乌珠穆沁旗金河乡，大地构造位置处于北部二连浩特—贺根山蛇绿岩带和南部索伦－西拉木伦河缝合带之间，相当于中亚造山带中东部的西伯利亚板块、华北板块及松辽板块的接合部位[6-8]（图 1）。

矿区主要出露二叠系滨-浅湖相沉积的盐池北山组（P_1y）地层，以淡黄色粉砂岩、泥质板岩为主，其次为第四系全新统草原砂及坡、洪积物。区内岩浆活动频繁，基性、中性、酸性岩浆岩均有产出，主要形成辉长岩、英云闪长岩、石英闪长岩、黑云母花岗岩等各种侵入体和各种花岗岩脉、闪长岩脉、闪长玢岩脉、辉绿岩脉等脉岩。其中，与成矿关系密切的是华力西期辉长岩和印支期黑云母花岗岩。

北东向断裂构造为区内主要构造类型，控制了区域与黑云母花岗岩相关的铜、钨、锡矿产的分

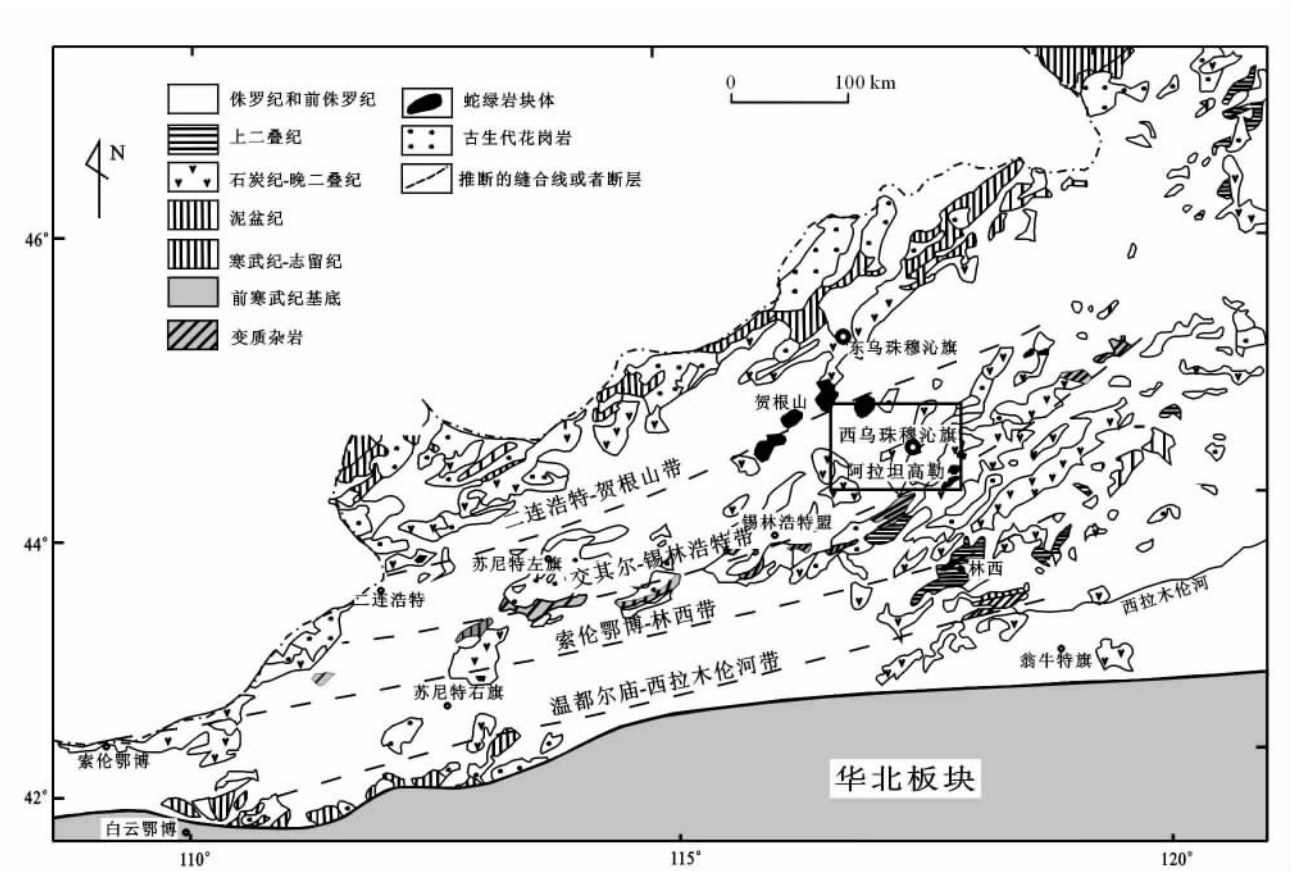


图 1 内蒙古—大兴安岭成矿带地质简图[7,8]

Fig. 1 Geological sketch map of Inner Mongolia–Daxinganling metallogenic belt

布，如西乌珠穆沁旗道伦达坝铜、钨矿。其次为北西、东西向构造，本文涉及的阿拉坦高勒钒钛磁铁矿及围岩辉长岩赋存在东西向断裂构造空间内。

2　矿床地质特征

阿拉坦高勒钒钛磁铁矿矿床是在 1∶20 万区域地质调查的基础上，2008 年经高磁异常的钻探验证发现的。含矿辉长岩体呈陡倾斜的岩墙状，北侧侵位于二叠系轻微变质的砂岩、板岩中，南侧地表为第四系全新统草原砂土，地下 20 多 m 处岩心即可见到与黑云母花岗岩及石英闪长岩呈侵入接触关系，接触带附近的辉长岩体明显发生钾化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化等热液蚀变，推测花岗质岩浆侵位晚于含矿辉长岩。

2.1　含矿辉长岩岩相学与矿相学特征

阿拉坦高勒含矿辉长岩地表出露长约 5 km，最大宽度为 1 km，近东西走向。岩石类型主要包括中粗粒辉长岩、角闪辉长岩、橄榄辉长岩和辉绿岩脉等。

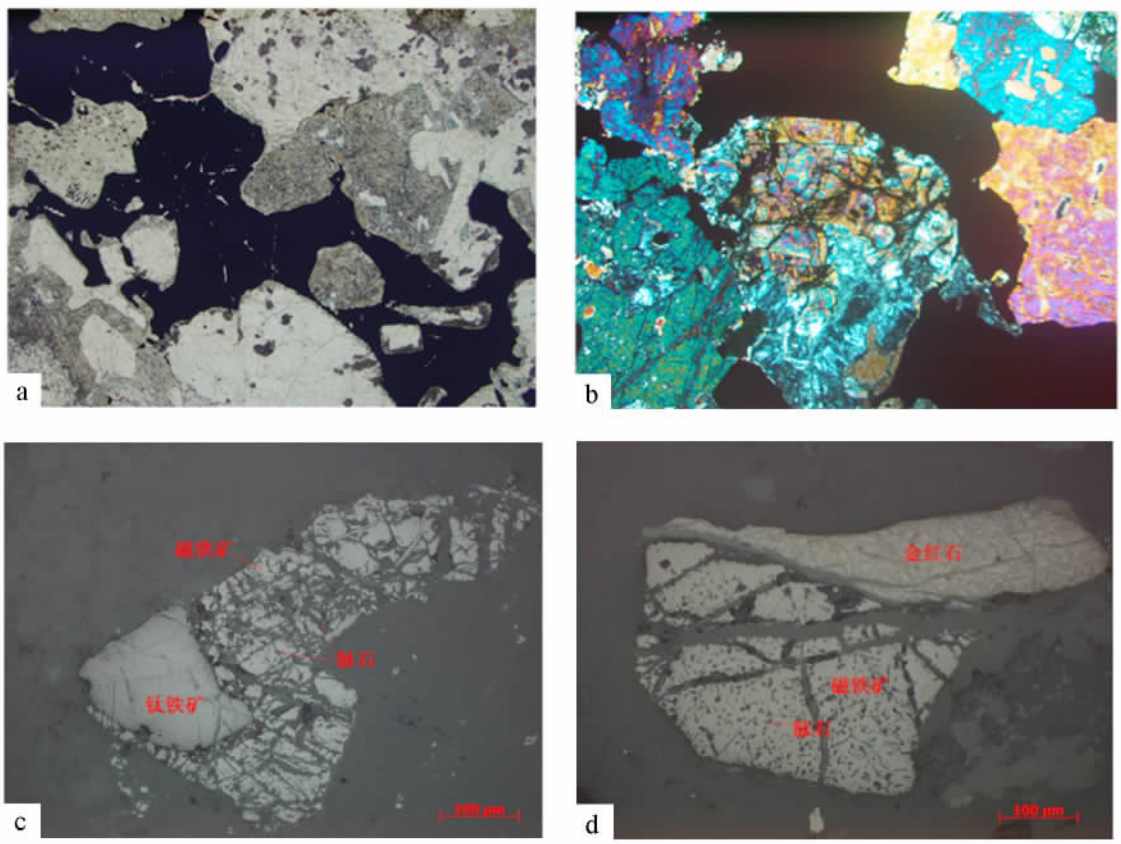
辉长岩　依据暗色矿物的含量，可以分为浅色辉长岩和暗色辉长岩两种类型。浅色辉长岩一般位于岩体上部，肉眼观察岩石呈灰白色，斜长石含量一般 >60%，磁铁矿含量一般较少，偶见磁铁矿薄层；暗色辉长岩一般位于岩体中下部，肉眼观察岩石呈深灰 – 灰黑色，斜长石一般 <40%，磁铁矿含量 >30%。矿物组合主要为斜长石、辉石、角闪石、磷灰石和不透明矿物磁铁矿、黄铁矿及少量黄铜矿。其中，角闪石和辉石通常发生不同程度的绿泥石化蚀变，斜长石普遍发生绢云母化蚀变，斜长石和辉石通常形成共结的半自形辉长结构；局部暗色矿物以角闪石为主，与基性斜长石形成角闪辉长岩，此时的角闪石晚于斜长石结晶，呈它形粒状填隙于半自形斜长石粒间。副矿物磷灰石含量具有一定的规律性，通常与磁铁矿含量成正比：富矿体中磷灰石含量可高达 5% ~8%，贫矿或者矿化辉长岩中一般为 1% ~2%。

金属矿物主要表现为磁铁矿、黄铁矿和黄铜矿组合。一般情况下，磁铁矿通常呈稀疏浸染状、浸染状或者海绵陨铁状，局部也呈星点状结构填隙在造岩矿物粒间，显示出磁铁矿晚于辉石和斜长石的结晶分异特点（图 2a）；黄铁矿一般晚于磁铁矿，沿微裂隙呈细脉状充填，或呈星点状分布于造岩矿物粒间，或者在岩体构造破碎蚀变带附近呈斑杂状富集，含量一般 <5%。特殊情况下，在致密块状构造的矿石中含量最高可达 35%；黄铜矿是典型后期热液蚀变叠加产物，主要以填隙状或者不规则细脉状分布在磁铁矿解理缝、黄铁矿裂隙空间或者造岩矿物粒间，少量呈星点状存在于蚀变硅酸盐矿物颗粒内部，在辉长岩中一般与黄铁矿紧密共生，含量一般 <2%。

橄榄辉长岩　主要见于岩体中部距地表 100 m 左右的深度范围内，上下岩性过渡为暗色辉长岩。肉眼观测呈灰黑色，暗色矿物和不透明矿物含量 >80%。矿物组合主要为辉石（30% ±）、斜长石（20% ±）、橄榄石（15% ±）、角闪石（5% ±）和不透明矿物（35% ±）。其中，辉石相对新鲜，局部绿泥石化；橄榄石绿色–褐色半自形粒状，裂理发育处可见不透明矿物的不规则充填；斜长石相对新鲜，局部绢云母化蚀变，解理与双晶均可见到；角闪石多呈填隙结构位于橄榄石和辉石粒间，绿色 – 褐黄绿色的多色性明显，局部绿泥石化蚀变；不透明矿物多呈它形，不规则填隙状分布于硅酸盐矿物粒间（图 2b）。

不透明金属矿物主要表现为磁铁矿、黄铜矿和黄铁矿组合。其中，磁铁矿多呈粗粒它形粒状结构、海绵陨铁结构填隙于硅酸盐矿物粒间，含量 30% ±；黄铁矿呈它形 – 半自形粒状结构，常位于磁铁矿边缘与不规则黄铜矿共生，少量呈不规则脉状，含量 3% ~5%；黄铜矿主要为它形粒状–不规则状在硅酸盐矿物粒间，常与蚀变低温矿物共生，含量 1% ±，显示处热液蚀变成因特点。

辉绿岩　不同深度的岩心中经常可以见到辉绿岩或细粒辉长岩沿裂隙穿插侵入于岩体内部，肉眼观察为细粒结晶结构，显微镜下可见典型的辉绿结构。无论在岩心还是岩石薄片中，均可见辉绿岩呈指尖状穿插在辉长岩中。矿物组合主要为斜长石（55% ~ 60%）、辉石（35% ±）、不透明矿物（5% ~10%）。统计发现，黄铁矿是辉绿岩中含量最多的不透明矿物，一般含量为 5% ~8%，具有半自形–自形粒状结晶结构，与硅酸盐矿物接触部位通常也有轻微的蚀变边；黄铜矿一般在构造破碎处的蚀变发育的部位常见，含量为 1% ~2%，局部富集成斑杂状构造的矿石。



a. 辉长岩，不透明矿物填隙状位于硅酸盐矿物粒间，呈海绵陨铁状结构，与硅酸盐矿物存在反应边结构，单偏光，×4；b. 橄榄辉长岩，橄榄石裂理发育，裂隙边缘及粒间大量不透明矿物它形填隙，呈海绵陨铁结构，正交偏光，×4；c. 细粒磁铁矿不同程度被脉石矿物充填交代，局部被钛铁矿颗粒交代呈共生关系；d. 中粗粒磁铁矿的内部或裂隙中有脉石矿物嵌布，同时与金红石连生.

图 2 阿拉坦高勒钒钛磁铁矿矿床矿石结构显微照片

Fig. 2 Micrograph of ore textures of vanadium-bearing titanomagnetite in Alatan Gol

距地表 500 m 以上的辉绿岩或细粒辉长岩一般不含或少含磁铁矿，地表 500 m 以下的辉绿岩或细粒辉长岩通常含有 5% ~8% 的磁铁矿，局部铁的品位可高达 10%，显示出辉绿岩岩浆重力结晶分异的特点。

2.2 矿体地质特征

阿拉坦高勒铁矿矿体的形态及产状严格地受含矿辉长岩体形态的控制。根据系统钻探岩心 Fe 品位圈定，矿化最好部位位于橄榄辉长岩和暗色辉长岩等岩相带内，浅色辉长岩和辉绿岩矿化不佳。

(1) 矿体形态及空间分布

阿拉坦高勒含矿岩体总体上具有金属矿物含量低，矿化相对均匀的特点。除局部出现致密块状矿体以外，大多数矿体是由浸染状、海绵陨铁状构造的矿石构成。根据岩心分析数据圈定的矿体，推测该磁铁矿体总体上呈东西向延伸，呈向南侧伏的条带状、透镜状、哑铃状或薄饼状形态。在钻探工程控制的深度范围内，矿体大致可分为上、下两个矿段，岩体上部距地表 200 ~250 m 以上为富矿化段，矿体具有向南倾斜且尖灭再现的特点；岩体下部为贫矿化段，钻孔控制到 600 m 依然没有打穿岩体，但铁矿石品位一般为 10% ±，贫矿与富矿之间没有明显的界限，受岩相控制明显（图 3）。岩体厚度方向上，中间部位矿化佳，矿体连续性好且规模大，岩体边缘蚀变强烈，矿化较差。

(2) 矿石构造及矿石类型

岩心观察表明，阿拉坦高勒钒钛磁铁矿的矿石类型主要为浸染状矿石，其次为斑杂状矿石、致密

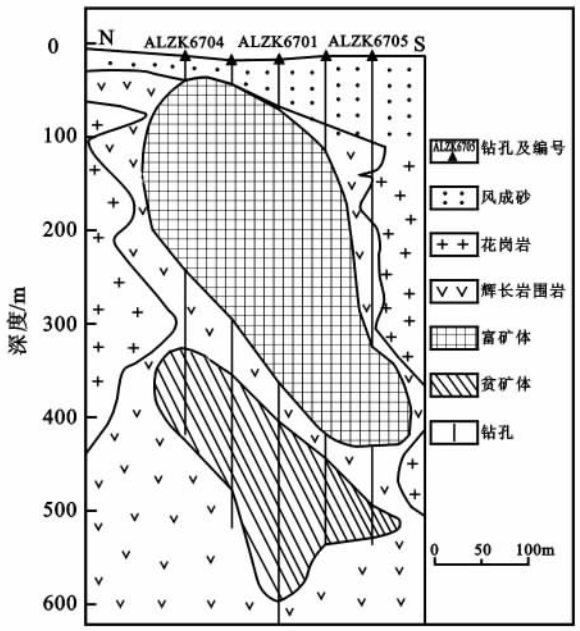


图 3　阿拉坦高勒 67 线勘探线剖面图

Fig. 3　Profile of exploration line – 67 in Alatan Gol

块状矿石和伟晶状矿石等。

浸染状矿石　可分海绵陨铁状和稀疏浸染状两种类型，普遍见于辉长岩相中。金属氧化物粒径略小于造岩矿物，呈半自形–它形填隙于辉石、角闪石和斜长石粒间构成浸染状及海绵陨铁状结构，略晚于辉石和斜长石结晶，暗示成矿物质是与镁铁质岩浆同时侵位结晶分异形成的。这种矿石构成阿拉坦高勒钒钛磁铁矿的主体，约占矿石量的 80% 以上。

斑杂状矿石　多数分布在构造破碎带附近，以中酸性岩浆岩与辉长岩接触带部位居多，局部具有海绵陨铁结构的特征，磁铁矿和部分黄铁矿不规则填隙状或者团块状胶结辉长岩碎片，构成斑杂状结构的矿石。这部分矿石所占比例 <5%。

伟晶状矿石　辉长岩结晶粒度粗大，单个磁铁矿晶体粒径可达 25 mm，一般为 10 mm ±。这部分矿石所占比例 <10%，一般位于破碎蚀变带附近，矿石品位一般较高，推测可能是断裂带中后期热液叠加使铁进一步富集的结果。

致密块状矿石　金属矿物含量为 60% ~95%。矿石矿物主要呈自形粒状集合体沿着构造裂隙脉状贯入，脉石矿物含量低且发生不同程度的蚀变。该类型矿石 Fe 的平均品位一般 >30%，有的可达 50%，是非常有经济意义的矿石类型，约占矿石总量的 2% ~3%。

(3) 矿物有用元素组合特点及其分布规律

矿石矿物显微镜下鉴定和微区成分分析显示，铁在矿石中主要有两种分布状态，一种是以铁的氧化物形式，如磁铁矿、钛磁铁矿、钒磁铁矿等形式; 另一种是以铁的硫化物形式，如黄铁矿、黄铜矿等。磁铁矿电子探针微区成分分析显示，铁在磁铁矿中含量为 62.94% ~71.78%，除此之外，还伴生钛和钒等金属元素。与四川攀枝花相比，矿石矿物成分以高铁、低钒钛为特征 (表 1)。矿石中 TiO_2 平均含量为 1.32% ±，钛磁铁矿和钛铁矿较少出现 (图 2c)，较难形成大量独立矿物，多数以类质同像替代分散在磁铁矿中形成含钛磁铁矿，少量以细粒钛铁矿和金红石的形式存在 (图 2d)。

表 1　钒钛磁铁矿电子探针微区成分分析结果

Table 1　Analysis results of electron microprobe composition of vanadium-bearing titanomagnetite

/wt%

样品名称	阿–1	阿–2	阿–3	阿–4	阿–5	阿–6	阿–7	阿–8	阿–9	阿–10	平均值
Ti	1.29	1.26	3.74	3.47	3.52	3.16	3.09	2.53	4.94	4.39	3.139
V	0.54	0.89	/	/	0.68	/	0.49	0.69	0.43	0.71	0.443
Fe	69.99	65.26	64.64	65.61	63.19	65.35	65.12	63.89	62.94	63.5	64.95

表 1 显示，金属 V 在含钛磁铁矿和磁铁矿中分布相对不均匀，大多数位于 0.43% ~0.89% 之间，少数含量低于仪器检测限。一般认为 80% ~95% 的钒均富集在磁铁矿中，以包裹体的形式或者以类质同象形式赋存，具有与 Fe 含量正相关的规律[9]。矿石化学分析结果显示，V 金属在含矿岩体中最高值为 1.66%，平均为 0.039%，与四川攀枝花平均值 0.35% 相比[4,10]，差别可能源自阿拉坦高勒铁矿平均品位远低于攀枝花的缘故。

光片中通常能看到黄铜矿、磁铁矿及黄铁矿相

伴生，含矿岩体64个样品的Cu最高值为0.128%，平均值为0.017%，表明黄铁矿在不同类型的矿石中含量不等。

(4) 围岩蚀变

作为矿体母岩的含矿辉长岩发育一系列热液蚀变，主要有绿泥石化、绿帘石化、硅化、碳酸盐化和次闪石化等蚀变类型。

绿泥石化蚀变 主要表现为暗色矿物的蚀变，多数情况下可以看到含矿辉长岩中辉石、角闪石蚀变为绿泥石，具有一级褐灰或者蓝紫色异常干涉色。绿泥石化蚀变在整个含矿岩体中普遍存在，蚀变强度与磁铁矿矿化之间关系不明显。

绿帘石化蚀变 通常伴随黝帘石化、钠黝帘石化蚀变。蚀变岩心通常表现为草绿色色调，原岩中矿物界线模糊，最常见于辉绿岩与辉长岩的接触边界。一般情况下，绿帘石化蚀变越强，黄铁矿数量越多，磁铁矿数量越少。

硅化蚀变 一般与钾长石化蚀变相伴生，表现为蚀变带发育栉状结构的石英及多期石英脉间相互交切。一般发育在辉长岩与酸性侵入体接触带或构造破碎带附近，硅化蚀变强烈发育处磁铁矿数量少。

碳酸盐化蚀变 是含矿岩体中仅次于绿泥石化的蚀变类型，主要由两种表现形态：一种是以方解石细脉－网脉的形式在岩体微裂隙充填交代；另一种是以不规则浸染状形式与绿帘石化、钾长石化蚀变相伴生。无论哪一种方式，碳酸盐化蚀变越强，磁铁矿化越差。

上述围岩蚀变是典型的热液蚀变类型。观察发现，一些蚀变类型，例如硅化、钾长石化和高岭土化蚀变多发生在辉长岩与花岗岩接触带，绿泥石化、碳酸盐化和绿帘石化蚀变主要发生在辉绿岩和辉长岩接触带，显示出后期岩浆热液空间作用规律。

3 矿床成因机制探讨

阿拉坦高勒钒钛磁铁矿各种地质特征显示，矿床属于典型的晚期岩浆矿床，成矿作用方式可能包括了岩浆熔离、岩浆重力分异、岩浆结晶分异和后期热液交代蚀变等类型。矿床的形成机制主要表现为:

(1) 研究区所在的中亚造山带中东部，是西伯利亚板块、华北板块及松辽板块的接合部位，无论其北部的二连浩特—贺根山蛇绿岩带，还是南部的索伦—西拉木伦河缝合带均为大规模的岩石圈断裂。古生代末—中生代早期的板块拼贴局部伸展，促使上地幔减压部分熔融，形成含矿的玄武质岩浆，底侵于壳幔边界或下地壳岩浆房。

(2) 含矿玄武质岩浆在岩浆房发生岩浆熔离、重力分异及结晶分异作用，在造山作用的机制下脉动式侵位，形成底部富磁铁矿的含矿辉长岩体及与之空间相叠加的辉绿岩脉，并形成绿帘石化、绿泥石化蚀变，部分成矿物质发生迁移。

(3) 燕山期花岗质岩浆粘度大，富含挥发性组分，沿着辉长岩边缘断裂上侵，与辉长岩呈侵入接触关系。

(5) 花岗质岩浆携带的挥发性组分对含矿辉长岩进一步改造，形成各种热液交代蚀变，并使成矿物质进一步活化迁移和再富集，形成阿拉坦高勒上部富、下部贫的矿体分布格局，与四川攀枝花和河北大庙钒钛磁铁矿明显不同[5,11]。

参考文献:

[1] 孙静，罗照华，张长厚，等. 大庙铁矿田—危机矿山还是潜在超大型铁矿基地? [J]. 中国地质，2009，36 (2)：2-8.
SUN Jing, LUO Zhao-hua, ZHANG Chang-hou, et al. Is the Damiao ore field a crisis mine or a potential giant iron base? [J]. Geology in China, 2009, 36 (2): 2-8.

[2] 孙静，杜维河，王德忠，等. 河北承德大庙黑山钒钛磁铁矿床地质特征与成因探讨 [J]. 地质学报，2009，83 (9)：2-4.
SUN Jing, DU Wei-he, WANG De-zhong, et al. Geological characteristics and genesis of the Heishan V-Ti magnetite deposit in Damiao, Chengde, Hebei Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83 (9): 2-4.

[3] 赵太平，陈福坤，翟明国，等. 河北大庙斜长岩杂岩体锆石U-Pb年龄及其地质意义 [J]. 岩石学报，2004，20 (3)：2-4.
ZHAO Tai-ping, CHEN Fu-kun, ZHAI Ming-guo, et al. Single zircon U-Pb ages and their geological significance of the Damiao anorthosite complex, Hebei Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20 (3): 2-4.

[4] 李文臣. 攀枝花钒钛磁铁矿矿床地质及其成因 [J]. 地质与勘探，1992 (10)：1-4.
LI Wen-chen. The geology and factor of vanadium and ti-

tanium magnetite ore deposit in Panzhihua [J]. Geology and Prospecting, 1992 (10): 1-4.

[5] 邢凤鸣. 攀枝花钛铁矿—磁铁矿矿床成因探讨 [J]. 地质评论, 1959 (9): 1-5.
XING Feng-ming. The discussion of geneses on titanium-magnetite ore deposit [J]. Geological Review, 1959 (9): 1-5.

[6] 沈鸿章. 内蒙古区域地质概要 [J]. 中国区域地质, 1988, 4: 297-302.
SHEN Hong-zhang. An overview on regional of Inner Mongolia [J]. Regional Geology of China , 1988, 4: 297-302.

[7] Wang Q, Liu X Y. Paleoplate tectonics between Cathaysia and Angaraland in Inner Mongolia of China [J]. Tectonics, 1986, 5: 1073-1088.

[8] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1991: 725.
Inner Mongolia Bureau of Geological and Mineral. Regional geology of Inner Mongolia autonomous region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 725.

[9] 刘明培. 浅析攀枝花钒钛磁铁矿钒的分布规律 [J]. 矿业工程, 2009, 7 (10): 9-11.
LIU Ming-pei. Analysis of vanadium distribution regularity in Panzhihua vanadium-titanium magnetite mine [J]. Mining Engineering, 2009, 7 (10): 9-11.

[10] 卢记仁, 张光弟, 张承信, 等. 攀西层状岩体及钒钛磁铁矿床成因模式 [J]. 矿床地质, 1987, 6 (2): 2-6.
LU Ji-ren, ZHANG Guang-di, ZHANG Cheng-xin, et al. A genetic model for layered intrusions and vanadic titanomagnetite deposits in panzhihua-xichang area [J]. Mineral Deposits, 1987, 6 (2): 2-6.

[11] 卢记仁, 张承信, 张光弟, 等. 攀西地区钒钛磁铁矿矿床的成因类型 [J]. 矿床地质, 1988, 7 (1): 4-11.
LU Ji-ren, ZHANG Cheng-xin, ZHANG Guang-di, et al. Magmatic types and geneses of the layered intrusions in Panzhihua-Xichang area [J]. Mineral Deposits, 1988, 7 (1): 4-11.