

塔里木板块东北边缘弧后裂谷系统 基性、超基性岩特征

白云来^{1,2} 陈启林² 汤中立³ 范育新⁴ 江荣伏⁵

(1. 中国地质大学地球科学学院, 北京 100083; 2. 西北地质研究所, 甘肃 兰州 730018;
3. 甘肃省地质勘查局, 甘肃 兰州 730000; 4. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 5. 金川集团有限公司, 甘肃 金昌 735000)

摘要: 伸展系统中的基性、超基性岩与铜镍硫化物矿床密切相关。本文研究了塔里木板块东北边缘(可追溯到中元古代)的基性、超基性岩的岩石学、地球化学特征及其形成构造环境,认为该区的基性、超基性杂岩可分为两类:一类形成于裂谷作用早期(中元古代),另一类形成于裂谷作用鼎盛时期或弧后盆地阶段(早古生代)。后者可归入蛇绿杂岩中;前者与镍铜成矿系统密切相关,但很难完全归入已有的基性、超基性岩分类之中,属于一种新类型,建议将其命名为大陆边缘裂谷型基性超基性岩。研究区大陆边缘裂谷型基性超基性岩 Sm-Nd 模式年龄为 1 026~1 749 Ma,其深成岩(黑山岩体)岩石组合为:石英正长岩-辉长岩-角闪辉长岩-含云母斜长角闪辉橄岩-含云母角闪辉橄岩-含云母斜长角闪橄橄岩-辉石岩,超基性岩 m/f 平均值为 5.5, Σ REE 为 $20.9 \times 10^{-6} \sim 64.71 \times 10^{-6}$, 平均 29.91, LREE 略富集,辉长岩 TiO₂ 为 0.92%;浅成岩(黑山北岩体)岩石组合为:灰黑色细粒角闪辉长(玢)岩-暗绿黑色细粒绿泥石化辉长苏长岩-深黑色中粒橄榄二辉岩, TiO₂ 强烈富集,其中辉长(玢)岩 TiO₂ 为 1.32%~3.32%, MgO、CaO 亏损, Rb、Sr、Y、Zr、Nb、Ba、Cs、Hf、Ta、Th、U 强烈富集, Sc、V、Cu 较富集, Cr、Co、Zn 亏损, LREE 略富集。表明中元古代塔里木板块东北边缘已经出现活动大陆边缘后方伸展体制,在该体制下岩浆多期次脱离地幔而上侵。

关键词: 活动大陆边缘;裂谷型;基性-超基性岩;塔里木板块

中图分类号: P588.12⁺4~5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2004)03-0254-08

基性、超基性岩是铜镍硫化物矿床的重要含矿母岩^[1,2]。中国目前大部分镍和相当一部分铜来源于基性、超基性岩型铜镍矿床,因此,研究基性、超基性岩的基本特征、类型划分、形成机理及深部过程,具有一定的理论和现实意义。在研究大陆动力来源这一前缘问题遇到种种困难的今天,人们逐渐将目光投向地球的内部,趋向于在地球内部寻找地球变化的原动力^[3]。近年来美国及日本地质学家所展示的有关地球 CT 剖面,就是这方面的重要探索成果^①。从辩证唯物主义角度考虑,内因是变化的根据,外因是变化的条件,相信在地球内部将会找到地球演化的原动力答案。基性、超基性岩来自于地幔,携带着丰富多彩的地球深部作用信息,对其多侧面多层次地深入研究,可能成为解决地球动力学问题的一把钥匙^[4]。北山中带(E95°00'~97°20', N41°20'~42°00')属塔里木古大陆边缘向陆一方的伸展系统^[1,4,12](图 1)。红柳河弧后扩张盆地、

黑山—花牛山及营毛沱—白湖一带属该伸展体制下的裂谷构造系统,该裂谷构造或伸展系统中分布着大小不等近 20 处基性、超基性杂岩体(群),其中黑山岩体已证实是含矿岩体,大山头岩体(包括庙庙井岩体)、马鬃山岩体及红柳河岩体也都有矿化显示。已有研究表明,伸展系统如弧后盆地、裂谷(裂陷槽)等是镍铜矿床存在的有利部位^[13]。中国大陆构造具有极其鲜明的构造特点,如小陆块、多边缘、多期次及高度的活动性^[14,15],在此背景下任何地质作用的产物,无论宏观特征还是微观特征(包括地球化学基因),均有着独特的印记,基性、超基性岩也不例外。塔里木板块东北边缘弧后裂谷系统里基性、超基性岩便是一例。

1 岩体的时空结构及类型划分

研究表明,北山地区属塔里木板块东北边缘^[1,7-10],该大

收稿日期:2003-07-21;改回日期:2004-03-12

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(19991020005003、200310200021)资助。

作者简介:白云来,男,1957年生,教授级高级工程师,长期从事区域构造与岩石学、成矿学及矿产勘查方面的研究工作;

E-mail: baiyl6666@sina.com.cn.

①莫宣学,李思田,在中国地质大学博士班上的演讲,2001.

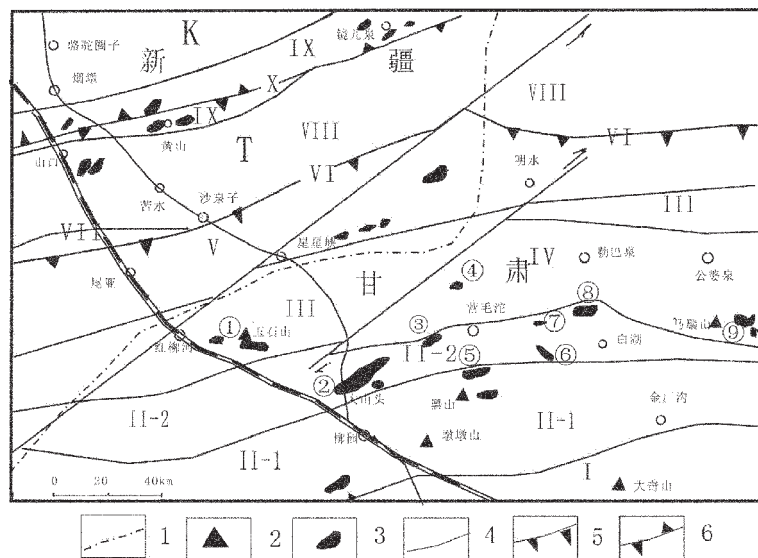


图 1 北山—天山结合部构造格架及基性、超基性岩分布图

1—省界;2—山峰;3—基性、超基性岩体;4—地质界线;5—板块俯冲带;6—板块缝合带

T—塔里木板块;I—大奇山晚古生代裂谷带;II—1—花牛山—黑山裂谷;

II—2—营毛沱—白湖裂谷;III—红柳河古生代弧后盆地;IV—勒巴泉大陆边缘山弧带;

V—中天山—北山明水元古宙岛弧带;VI—沙泉子—明水北早古生代碰撞带;

VII—雅满苏—阿齐山晚古生代岛链带;VIII—康古尔—苦水盆地;IX—黄山石炭纪岛弧带;

X—康古尔晚古生代俯冲带;K—哈萨克斯坦—准噶尔板块;

①—玉石山岩体;②—大山头岩体;③—独红山岩体;④—营毛沱北岩体;⑤—黑山北岩体;

⑥—锡林柯博岩体;⑦—双井子岩体;⑧—牛圈子岩体;⑨—马鬃山岩体

Fig. 1 Sketch map showing the tectonic framework and distribution of basic-ultrabasic rocks in the Beishan-Tianshan juncture

1-Province boundary; 2-Mountains; 3-Mafic-ultramafic complex;

4-Geological boundary; 5-Subduction belt; 6-Plate suture zone.

T-Tarim plate; I-Daqishan rift zone (Pz_2); I-1-Huaniushan-Heishan rift zone (Pz_1);

II-2-Yingmaotuo-Baihu rift zone (Pz_1); III-Hongliuhe back-arc basin (Pz_1);

IV-Leibaquan continental-margin mountain-arc zone (Pz_1); V-Central Tianshan-Beishan Mingshui

island zone (Pt); VI-Shaquanzi-Mingshui collision zone (Pz_1); VII-Yamansu-Aqishan arc chain

zone (Pz_2); VIII-Kangkir-Kushui basin (Pz_2); IX-Huangshan island arc zone (C_2);

X-Kankir subduction belt (Pz_2); K- Kazakhstan-Junggar plate.

①-Yushishan mafic-ultramafic complex; ②-Dashantou mafic-ultramafic complex;

③-Duhongshan mafic-ultramafic complex; ④-North Yingmaotuo mafic-ultramafic complex;

⑤-North Heishan mafic-ultramafic complex; ⑥-Xilinhebo mafic and ultramafic complex;

⑦-Shuangjingzi mafic and ultramafic complex; ⑧-Niuquanzi mafic-ultramafic complex;

⑨-Mazongshan mafic-ultramafic complex

陆边缘最早可上溯到中元古代,甚至更早,甘肃省地质调查院的 1:25 万区调资料(2001)表明,本区古元古代存在类似于岛弧型火山—沉积作用,中元古代该活动大陆边缘山弧之后方,出现伸展体制,形成活动大陆边缘后方裂谷—北山裂谷系统。在该裂谷系统里,沿着低角度拆离断层,深部形成了基性—超基性杂岩,浅部表现为或火山—沉积作用(火山型被动陆缘)或沉积作用(非火山型被动陆缘)^[9]。中元古代浅部的两

种被动陆缘由于受构造破坏,现难以具体划分,但深部形成的基性、超基性杂岩现却不难辨认,这些岩体主要为:黑山复式岩体、大山头复式岩体(包括庙庙井超基性岩体)、马鬃山复式岩体(包括马鬃山东超基性岩体)。由这些岩体的 Sm-Nd 同位素年龄测试(表 1)可知,岩浆于中元古代就已经上侵,只是在时间上略有先后,根据威尼克伸展构造模式,它们很可能是沿同一低角度拆离断层系统上侵的。

早古生代是北山裂谷作用发育的鼎盛阶段,早奥陶世形成花牛山—黑山裂谷及营毛沱—白湖裂谷,在裂谷浅部发育火山及沉积作用,深部发生岩浆作用,形成侵入岩,如牛圈子一带的基性岩($486 \pm 18 \text{ Ma}$)^[9]。低角度拆离断层进一步发展的必然结果是裂陷海进一步加深和扩大,出现洋壳^[15,17],于中、晚志留世形成弧后扩张盆地。分布于红柳河一带的镁铁、超镁铁杂岩属蛇绿岩块,如玉石山基性、超基性杂岩和牛圈子杂岩体就分别属典型的蛇绿岩^[9]和蛇绿杂岩^①。由此看来,本区基性、超基性杂岩共分为两类:一类是裂谷作用早期形成的基性、超基性杂岩,另一类是裂谷作用鼎盛时期抑或是弧后海盆(洋盆)阶段形成的基性—超基性杂岩,亦称蛇绿杂岩。前者除黑山岩体和柳园岩体($1027 \pm 45 \text{ Ma}$, Sm-Nd 等时

线年龄^[9])之外,还有大山头、庙庙井复式岩体、黑山北岩体、马鬃山复式杂岩体及营毛沱北岩体;后者除红柳河、玉石山蛇绿杂岩及牛圈子蛇绿杂岩之外,还有独红山岩体、锡林柯博岩体、双井子岩体等。前者形成于中元古代,后者形成于早古生代。

(1)营毛沱北岩体和马鬃山杂岩体虽分布于加里东晚期勒巴泉山弧构造带^[9],但它们形成年龄却早于勒巴泉山弧构

① 甘肃省地质调查院.马鬃山幅 1:250 000 区调报告,2001.

表 1 中元古代裂谷作用早期形成岩体的 Sm-Nd 同位素年龄
Table 1 Sm-Nd isotopic data for basic-ultrabasic bodies formed
in the early stage of rifting in the Mesoproterozoic

岩体名称		岩石名称	$t_{DM} \pm 1 \delta$ (Ma)
黑山复式岩体	黑山	角闪橄榄辉长岩	1 026 ± 30
	黑山	橄榄角闪辉长岩	1212 ± 19
大山头复式岩体	大山头	暗色辉长岩	1 353 ± 14
	大山头	角闪橄榄辉长岩	1 421 ± 40
	大山头	角闪辉长岩	1 283 ± 19
	庙庙井	细粒橄榄辉长岩	1 407 ± 56
	庙庙井	细—中粒橄榄辉石岩	1 435 ± 41
	庙庙井	细粒橄榄辉石岩	1 666 ± 37
马鬃山复式岩体	马鬃山	中粒辉长岩	1 062 ± 15
	马鬃山	灰黑色细—中粒辉长岩	1 104 ± 18
	马鬃山	细—中粒辉长岩	1 267 ± 39
	马鬃山东	细—中粒蛇纹石化橄榄辉石岩	1 749 ± 24
	马鬃山东	含长橄榄辉石岩	1 495 ± 47
	马鬃山东	橄榄辉石岩	1 255 ± 19

注: 1. 由中国地质科学院地质研究所 MAT-261 质谱计上进行 Sm-Nd 同位素分析; 2. 质量分馏采用 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 校正, 流程空白为 10^{-10} 。

构造配置分析^①及 Sm、Nd 同位素资料表明: 营毛沱北岩体和马鬃山杂岩体是中元古代中天山—北山明水山弧构造向陆后方伸展体制条件下的产物, 属活动大陆边缘后方裂谷中^[11,12]形成的基性、超基性杂岩, 而勒巴泉山弧构造带形成于早、中志留世^[1,7,8]。同时, 就岩体本身特征而言, 也未见阿拉斯加型岩体^[18-25]所具有的环带构造特征, 可见这两个岩体和勒巴泉山弧构造带没有成因上的联系。

(2) 北山裂谷作用是分阶段进行的, 并非一蹴而就, 其地球动力学的本质是: 在俯冲作用的影响下, 一方面破坏了大陆边缘地区地幔平衡而形成地幔隆起, 另一方面在大陆边缘地壳中形成剪切拉张应力场, 二者共同作用形成裂谷, 与大陆内部的纯粹由地幔柱作用而引起的裂谷不同^[4]。当俯冲作用较强烈时, 活动大陆边缘后方伸展作用也十分强烈, 形成裂谷、裂陷海, 甚至出现洋盆, 总体上属主动式裂谷, 由深部地幔上隆、上涌所引起; 但当大陆板块整体快速漂移时, 活动大陆边缘的上述伸展体制就会被收缩机制所取代, 裂谷、裂陷海就会消失, 甚至弧后洋盆也会被挤垮, 活动大陆边缘后方就会隆起褶皱与造山^[4]。

综上所述, 本区基性、超基性岩的形成和演化与裂谷作用的发生与发展息息相关, 据此本区的基性—超基性岩石可划分为两大类型: 早期发生于中元古代低角度拆离断层深部的基性—超基性岩; 晚期发生于早古生代中, 晚期拆离断层浅部由裂谷转化为洋盆阶段的基性—超基性岩, 后者往往和火山作用有关, 应属蛇绿岩的一部分^[24]。

2 基性、超基性岩的主要特征

2.1 中元古代基性、超基性岩体的基本特征

中元古代基性、超基性杂岩主要包括黑山岩体、黑山北

岩体、大山头复式岩体(包括庙庙井岩体)、马鬃山复式岩体(包括该岩体东南部的马鬃山东超基性杂岩体)及营毛沱北岩体等, 现仅以黑山复式岩体(包括黑山北)为例, 将其特征简述如下:

2.1.1 黑山岩体主要特征

(1) 岩体的形态及产状。该岩体分布于花牛山—黑山裂谷之中北部(图 1), 岩体的主要围岩是青白口纪大豁落山组大理岩(岩体之南、西、东部)及寒武系双鹰山组硅质板岩、千枚岩及重晶石岩(岩体之北部)。岩体平面上呈“鸭梨”形, 已施钻孔及深部物探资料表明, 岩体在剖面上呈上缓下陡的漏斗状, 且向西南倾伏。岩体出露面积仅 0.25 km², 主体沿 310°方向展布, 长约 625 m, 宽 470 m, 岩体延深大于地表延长。最深孔达 562 m, 且未穿透岩体, 瞬变电磁推测深达 1 000 m 以上。岩体西、南、北侧均与围岩呈断层接触, 唯东端及东南端为侵入接触, 可见岩枝深入到大理岩之中。

(2) 岩石组合及结构构造特征。在平面上, 岩体主体部分为角闪橄榄岩(占岩体面积的 94%), 角闪辉长岩呈 NW 向不规则条带状分布于主体角闪橄榄岩体西南侧。主要岩石组合为: 石英正长岩—辉长岩—角闪辉长岩—含云母斜长角闪辉岩—含云母角闪辉岩—含云母斜长角闪辉岩—辉石岩, 这一岩石组合类似于层状基性、超基性岩体(纯橄岩、橄辉岩、辉岩、苏长岩、辉长岩、浅色辉长岩、花斑岩)、红旗岭(橄辉岩、二辉岩、辉长岩)、金川(纯橄岩、斜长二辉橄辉岩、二辉橄辉岩)、赤柏松(斜长二辉橄辉岩、橄辉辉长苏长岩、辉绿辉长岩、辉长玢岩), 更类似于黄山(含长角闪橄辉岩—橄辉岩、辉石岩、辉长岩、闪长岩)。它们共同的特点是含有斜长石, 成矿类型一致。

黑山超基性岩中的斜长石($An=69\sim 70$)多沿橄辉石、辉石间隙分布, 形成间隙结构; 大颗粒中常包有浑圆状橄辉石。橄辉石和斜长石共存, 表明杂岩体是低压($< 5 \times 10^{-3}$ kPa)条件下分离结晶的产物^[26]。另外, 在角闪橄辉岩中, 可见到角闪石及金云母, 且含量较高, 表明本区地幔应为渗透交代式富集地幔^[27]。

野外及镜下观察表明, 黑山岩体具细—中粒结构(矿物呈粒状、等轴状, 较为自形)、辉长结构、包含结构、间隙结构、海绵陨铁结构, 这些均是堆积岩的结构特征。岩体呈半环带状, 基性岩分布于岩体之南侧, 其中包含石英正长岩, 而中、北部主要是角闪橄辉岩。但无论是基性岩还是超基性岩, 均未见堆积岩所特有的韵律构造和条带状构造, 甚至超基性岩也不具上酸下基的特征。所有这些现象, 指示黑山岩体与层

① 汤中立, 黄民智, 白云来, 等. 北山地区铜镍硫化物矿床成矿条件研究报告, 2003.

表 2 黑山超基性岩 m/f 值与其它类型超基性岩的对比
Table 2 Comparison between the m/f ratio of the Heishan ultrabasic rocks and that of other types of ultrabasic rocks

岩体	黑山	大头山	玉石山	马鬃山	阿尔卑斯型	义敦型	阿拉斯加型	层状岩体	黄山	金川
m/f	4.725~7.867	4.5~4.87	3.12~15.54	5.30~6.35	6.2~9.0	1.2~9.2	2.1~6.5			2.69~10.82
m/f 平均	5.5	4.58	9.67	5.83	7.2	8.1	5.3	<7	4.73	4.35
资料来源	本文	本文	本文	本文	[24]	[10]	[25]	[18]	[30,31]	[2]

状岩体(布什维尔岩盆和肖德贝里岩盆层状侵入体)的形成环境有本质差别。现有资料表明阿拉斯加岩体中的超基性岩是在应力很高的岛弧环境下形成的,不含斜长石,但含角闪石;而层状侵入体含斜长石,不含角闪石。黑山岩体形态虽具似半环状特征,但橄榄石和斜长石共存,既含角闪石又同时含斜长石,这与具典型环状分异特征的阿拉斯加型超基性岩相区别。由此可见,黑山岩体和层状杂岩体及阿拉斯加型岩体在成因上是有本质区别的。

(3)岩体的地球化学特征及深部过程信息。本次研究查明,黑山岩体超基性岩总体表现为 Fe_2O_3 、 Na_2O 稍高而 MgO 、 FeO 、 CaO 、 TiO_2 稍低^[7],其 m/f 平均值为 5.5,变化范围为 4.725~7.867(表 2),这一特征与阿拉斯加型岩体的相当,也接近于金川、黄山岩体及层状侵入体,而与阿尔卑斯型及义敦型岩体的 m/f 值相去甚远,按照吴利仁(1963)对超镁铁岩的划分法该岩体属铁质超镁铁岩。资料显示: MgO 偏低、 Fe_2O_3 和 FeO 偏高、m/f 值属于铁质超镁铁岩的岩体与铜镍矿化关系密切^[7]。岩体的 AFM、 Al_2O_3 — $\text{TFeO}/(\text{TFeO}+\text{MgO})$ 、 TiO_2 — MgO 等图解的投点结果表明,大部分样品落在了超镁铁质科马提岩区或玄武质科马提岩区,而辉长岩则落在了拉斑玄武岩区。黑山岩体中的辉长岩 TiO_2 为 0.92%,与下文中的黑山北辉长岩高 TiO_2 形成鲜明对比。

黑山岩体超基性岩体 ΣREE 为 $20.9\times 10^{-6}\sim 64.71\times 10^{-6}$ (除去一件异常样品),平均为 29.91,比上地幔(17.7×10^{-6} ,黎彤,1976)略高,LREE 略富集,和金川、黄山超基性岩稀土特征相近,也和义敦型铁镁—超镁铁岩稀土配分型式相似,具有科马提岩的稀土配分型式^[8],指示本区深部地幔经历过弱的富集事件。结合前文所指出的本区超基性岩具金云母和角闪石,再次表明本区应为渗透交代式的富集型地幔^[10]。

2.1.2 黑山北岩体主要特征

黑山北岩体位于黑山岩体北仅 6 km 处,空间上二者密切相关,呈近 EW 向条带状展布(图 1),南北宽 0.5 km,东西长 6 km 以上,中间被两北东向断裂所错断。与围岩(大豁落山组大理岩)呈侵入接触,边部有比较窄的混染带(<2m)。

岩体以辉长苏长岩相为主(占 80%以上),自南部边缘到中心可划分出如下相带:灰黑色细粒角闪辉长(玢)岩相→暗绿黑色细粒绿泥石化辉长苏长岩相→深黑色中粒橄榄二辉岩相。后者呈脉状侵入于辉长苏长岩相之中。需注意的是,在大豁山组大理岩中,沿近东西向片理贯入了多条类似于黑山北辉长苏长岩相的侵入条带,一般宽 0.5~1 m,图上未能标

出。各岩相之间呈突变接触,界限清楚,岩体分异明显。其中细粒辉长(玢)岩相侵入较早,中粒橄榄二辉岩相侵入最晚。岩体边部多具斑状结构,晚期橄榄二辉岩相具网状结构、包含结构及反应边结构。斜长石见清楚的环带结构。金属矿物沿暗色矿物周边分布,为暗色矿物析出之产物。总体上看,该岩体为一浅成侵入体。考虑到其和黑山岩体在空间上密切相关,很可能二者有亲缘性,地球化学资料支持这一认识。

黑山北岩体辉长(玢)岩主要元素与 S.R.Nockolds^[7] 所提供的辉长岩值相比, SiO_2 相当, TiO_2 强烈富集,平均约高出 1.5 倍,为 1.32%~3.32%, FeO^* 、 Na_2O 、 P_2O_5 较高; Al_2O_3 、 CaO 、 K_2O 略低, MgO 极亏损,低约一半。橄榄二辉岩主量元素与 S.R.Nockolds^[7] 所提供的橄榄辉石岩值相比, SiO_2 亦相当, Na_2O 、 TiO_2 、 Al_2O_3 极富集,前两者高出一个数量级, Al_2O_3 高出约 4.5 倍;(FeO)、 K_2O 略高; MgO 也极亏损,低约 2.5 倍, CaO 也亏损 1 倍之多。

与 Thompson 及 Mason^[28] 值相比,黑山北辉长(玢)岩 Rb、Sr、Y、Zr、Nb、Ba、Cs、Hf、Ta、Th、U 强烈富集,Sc、V、Cu 也较富集;Cr、Co、Zn 亏损;辉长(玢)岩 Ni 未能测出,估计也是亏损的,橄榄二辉岩也有类似特点。与球粒陨石(C_1)相比,稀土元素略富集,其中轻稀土富集程度较高一些。总体上看:黑山北岩体 Na_2O 、 TiO_2 、 Al_2O_3 极富而 MgO 较低,另外,Rb、Sr、Y、Zr 等大离子亲石元素和高场强元素富集,相容元素亏损。这明显不是洋中脊岩浆的特点,只有经陆壳混染的岩浆才具有 Rb、Sr、Y、Zr 等大离子和高场强元素共同富集的地球化学特点^[28-29]。

在 NK— SiO_2 图上,黑山北岩体碱质偏高,位于碱质区向强碱质区过渡区域。在 Al_2O_3 — SiO_2 图上,黑山北岩体落入铝质区;在 Al_2O_3 — $(\text{FeO})/((\text{FeO})+\text{MgO})$ 图上,黑山北岩体落入了苦橄拉斑玄武岩区;在 SiO_2 — FeO^*/MgO 图上,落入拉斑系列 (TH),在 MgO — $(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{TiO}_2)$ — Al_2O_3 图和 TiO_2 — FeO/MgO 图上,也有类似特点,在 TiO_2 — $\text{TFeO}/(\text{TFeO}+\text{MgO})$ 图上,落入高 Ti 区。在 CaO — Al_2O_3 — MgO 图上,落入镁铁堆积岩区;稀土元素配分型式和洋岛碱性玄武岩^[28]的相近。

2.2 早古生代蛇绿岩型基性、超基性岩主要特征

本区除存在裂谷型基性、超基性岩外,还存在蛇绿岩型基性、超基性岩,后者一般形成于早古生代,是裂谷鼎盛时期或者是裂陷洋盆时期的产物,具体包括玉石山岩体(即红柳河岩体)、牛圈子杂岩体、独红山岩体、锡林柯博岩体及双井

子岩体(图1)。这些岩体除形成时间较晚之外,空间上也和浅成岩或火山岩关系密切,往往侵入于火山岩中,具有蛇绿岩的某些特点。一些超基性岩本身就是变质橄榄岩,如玉石山岩体中就有这部分岩石,它的 $m/f > 6$,有的方辉橄榄岩的 m/f 值高达15.54^[9,10],显示出地幔残余的地球化学特征,这些特征在任何蛇绿岩序列中的堆积超镁铁岩所不具备的,更是裂谷型超镁铁岩所缺乏的。这些岩体中的基性岩一般蚀变强烈,主要为绿泥石化,岩石外貌呈现绿色,而裂谷型基性岩外貌一般为灰黑色或黑灰色,蚀变相对较弱。从本质上讲,蛇绿岩是洋壳的残块,而裂谷型镁铁、超镁铁则是沿一条切穿地幔的低角度正断层不断上侵形成的^[9]。红柳河蛇绿岩已有人作了比较详细的研究^[9],此不赘述,仅将牛圈子杂岩的特点简述如下:

根据本次野外考察结果,结合甘肃省地质调查院(2001)所获得的一些资料,认为牛圈子杂岩体具蛇绿杂岩的特点,原1:20万图上所标的范围内主要是绿色蚀变玄武岩,其中的辉长岩呈孤立的1m²左右大小的小包体分布于玄武岩或砂岩之中。辉长岩有两种类型,一种是细粒辉长岩,蚀变(主要为绿泥石化)强,另一种是中、粗粒辉长岩,呈灰色,蚀变弱,局部见伟晶状辉长岩。甘肃省地质调查院(2001)认为,细粒辉长岩为均质辉长岩,而中、粗粒辉长岩属堆晶辉长岩。另外,在岩体西部发现含斑辉长岩、浅色苏长岩及少量橄辉岩、辉石岩等。范育新^[9]查明辉长岩中斑晶为斜长石和辉石,斜长石包含辉石,具包含结构。

与Ruckmick^[7]所提供的橄辉岩相比,牛圈子橄辉岩 Fe_2O_3 、 MgO 较高,而 TiO_2 、 Al_2O_3 、 MnO 、 K_2O 及 CaO 较低,其他相近,在 $CaO-Al_2O_3-MgO$ 图解上落入超镁铁堆积岩区;与S.R.Nockolds^[7]所提供的辉石岩相比,牛圈子辉石岩 Fe_2O_3 、 MgO 偏高而 SiO_2 、 TiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3 明显偏低, FeO 、 Na_2O 、 K_2O 也较低,在 $CaO-Al_2O_3-CaO$ 图解上落在了变质橄榄岩区,但是否是变质橄榄岩,还需作一系列岩石学及岩相学方面的工作。与S.R.Nockolds^[7]所提供的平均值相比,牛圈子辉长岩 CaO 略高, SiO_2 相当, TiO_2 、 FeO 、 MnO 、 Na_2O 明显偏低,其他元素规律不明显,在AFM图解上,落在了镁铁质堆积岩区(或附近),似有Skaergaard演化趋势,这与岩浆系列判别结果相近,即有拉斑系列向钙碱系列演化的趋势,在 TiO_2-TFeO/MgO 相关图上,主要表现为橄辉拉斑玄武岩特点。在 $TiO_2-TFeO/(TFeO+MgO)$ 上,投点落在了低钛与高钛界限附近。

与Thompson^[20]等所提供的球粒陨石值相比,牛圈子岩体辉长岩以明显富集Sc、Rb、Y、Cs、Ba、Th、U,富集Zr、Hf、Nb、Ta,极亏损Cr、Co、Ni、Zn,亏损Cu,稀土配分型式较平坦为特征,表明岩体具有板块俯冲作用留下的地球化学基因,可能暗示本区存在深部Ni、Cr、Co的熔离作用。中粒辉长岩具有正Eu异常,表明堆积岩有较充分的斜长石堆晶作用发生。稀土总量偏低,表明地幔岩熔融程度不是很高^[20]。上述的

辉长岩和橄辉岩具堆晶岩特点,总体属拉斑系列,并有向钙碱系列演化的趋势,而辉石岩则具有变质橄榄岩的地球化学特点。辉长岩Rb-Sr全岩等时线值为 $(486 \pm 18) Ma$ ^[9],应是早奥陶世产物。

3 讨论及结论

本区基性、超基性岩的形成和演化与裂谷作用的发生与发展息息相关,据此可划分两种大的类型:一类是早期形成于中元古代低角度拆离断层深部的基性、超基性岩;另一类是晚期形成于早古生代中、晚期拆离断层浅部裂谷转化为洋盆阶段的基性、超基性岩(图2)。后者往往和火山作用有关,应属蛇绿岩的一部分,而前者与镍铜成矿系统密切相关,但很难完全归入已有的基性、超基性岩分类之中,属于一种新类型,建议将其命名为大陆边缘裂谷型基性、超基性岩。但到目前为止,对这种大陆边缘裂谷型基性、超基性岩的专门研究不多,而其成矿意义和大陆动力学意义却十分重要,现将就有关问题讨论如下:

黑山基性、超基性杂岩主要由含云母斜长角闪辉橄岩(橄辉岩)-辉石岩-辉长岩组成,超基性岩中含斜长石,与金川、黄山超基性岩类似,以此与阿拉斯加型不含斜长石的超基性岩相区别;另外,以含角闪石又与金川岩体相区别,而与阿拉斯加型岩体及黄山超基性岩相同;岩体主体超基性岩具火成堆积结构,但未形成分带现象;岩体平面上具半环带构造,辉长岩呈半环状分布于主岩体南侧,但超基性岩内部不具环带构造; m/f 值和义敦型、阿尔卑斯型相去甚远,而与阿拉斯加型、黄山及金川型相近;成矿类型为Ni、Cu矿化;大部分样品落在了超镁铁质科马提岩区或玄武质科马提岩区,辉长岩则落在了拉斑玄武岩区。辉长岩的 TiO_2 接近于岛弧拉斑玄武岩^[9],具有LREE略富集的平坦型稀土配分模式,指示本区深部地幔经历过弱的富集事件,结合前文所指出的本区超基性岩中含有金云母和角闪石,表明本区应为渗透交代式的富集型地幔;根据矿物组合,应属斜长石-角闪石地幔岩^[7]。

在空间上,黑山北岩体和黑山岩体密切共生。黑山北岩体具明显的分异特征,超基性岩相和辉长岩相之间呈明显的侵入接触(脉动);岩体具浅成侵位的构造特征,以极富 TiO_2 、高场强元素和大离子亲石元素而亏损Mg等相容元素为主要特征;化学图解投点落在了铝质区和碱质-强碱质区,稀土配分型式也和洋岛碱性玄武岩的相近,属拉斑玄武岩系列。根据上述特点,认为黑山北岩体可能和黑山岩体有着内在联系。

综合上述黑山及黑山北岩体实际资料,推断它们的形成机理为:在板块俯冲作用影响下,中元古代塔里木板块东北边缘中天山-明水山弧构造带后方地区地幔部分熔融,形成玄武质科马提岩浆。这些岩浆沿着低角度拆离断层向上迁移,并形成初始岩浆房,鉴于岩石中的堆积结构以及橄辉石 NiO_2 含量较高(最高达0.63%),暗示该岩浆房位于地壳深部或地幔中,由于后来构造作用产生的拉张环境,使岩浆不断

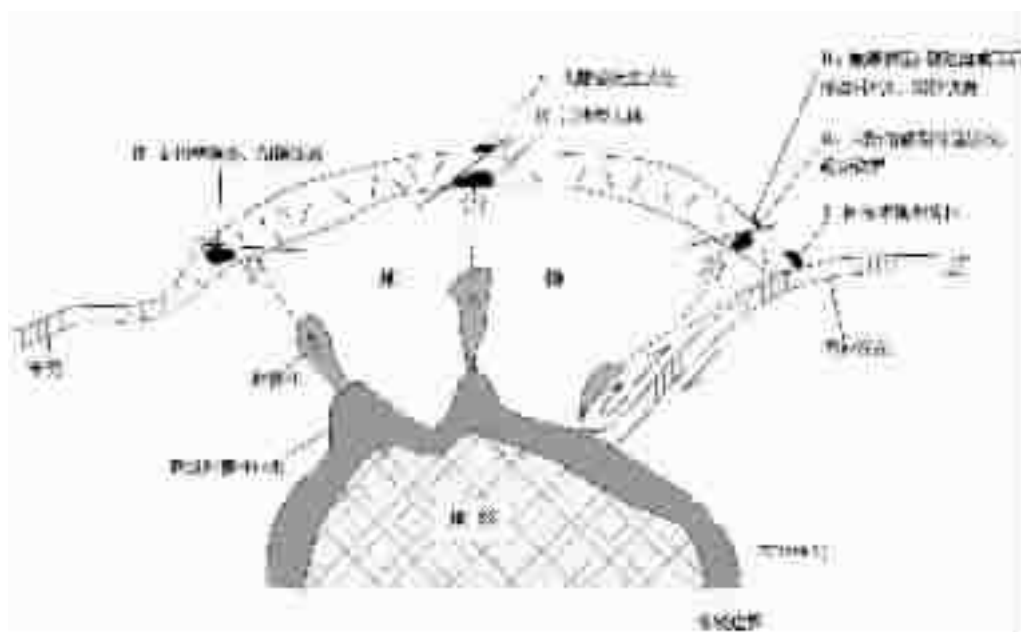


图 2 不同类型镁铁、超镁铁岩的形成机制(据莫宣学等^①修改)

Fig. 2 Mechanism of formation of different types of mafic-ultramafic rock (after Mo et al, 2001)

I - Alps mafic-ultramafic rock type (ophiolite); II₁ - Paleocentral-margin rift type mafic-ultramafic rock type;

II₂ - Ophiolitic mafic-ultramafic rock type (formed in rift sea or back-arc ocean basin); III - Jinchuan mafic-ultramafic rock type;

IV - Layered intrusion; V - Continental flood basalt

向上迁移,并不断发生液态分异。液相不混溶(Liquid immiscibility)^②作用形成超镁铁质科马提岩浆及拉斑玄武岩浆,前者进一步结晶分异(Fractional Crystallization)形成超镁铁质堆晶岩(塑性体)及钙碱性系列玄武质熔浆,并侵位于同一空间形成黑山岩体;而后者则进一步演化分异,分期在黑山附近塑性侵位。早古生代的构造挤压,使其二次侵位于大豁落山组大理岩及其与寒武系双鹰山组硅质板岩接触部位,形成黑山岩体、黑山北岩体及大豁落山组中的条带状镁铁质岩体。

上述过程形成的岩体具有以下特征:

(1)与层状岩体相比,它具堆晶岩的部分特点,如岩体具细—中粒结构(矿物呈粒状、等轴状,较为自形)、辉长结构、包含结构、间隙结构、海绵陨铁结构等,但无论是基性岩还是超基性岩,均未见堆积岩所特有的韵律构造和条带状构造,而且含角闪石,甚至超基性岩也不具上酸下基的特征。因此,它并非层状岩体。

(2)与阿拉斯加型镁铁—超镁铁岩体相比,它具半环状或同源异地侵位特点,含角闪石,但并非阿拉斯加型镁铁—超镁铁岩体。已有资料表明阿拉斯加型岩体的超基性岩不含斜长石而含角闪石,是在应力很高的岛弧环境下形成的;而黑山岩体既含斜长石又含橄榄石,斜长石和橄榄石共存是低压

环境特征。

(3)与蛇绿岩套中的堆晶超镁铁—镁铁岩相比,两者有相近的外貌特征及堆晶结构,但它也并非蛇绿岩,因其碱质高,Al₂O₃中等,TiO₂强富集,MgO亏损,m/f值也较低,阿尔卑斯型岩体以富MgO,高m/f值为特征。

由此可见,黑山岩体与层状杂岩体、阿拉斯加型岩体及蛇绿岩既有相似之处,又有明显的差别,在成因上是有本质区别的。建议用大陆边缘裂谷型(与俯冲作用有关)基性—超基性岩来描述。

目前这类岩体在中国虽并非只此一处,而且是一种十分重要的镍铜铂矿的成矿母岩。遗憾的是,却未能很好地进行理论和实践总结。大陆边缘裂谷型基性—超基性岩在火成岩、特别是在基性超基性岩的分类中,应占一席之地。它们不是层状基性岩体,也不是大陆溢流玄武岩的深成物,更不是阿拉斯加型或阿尔卑斯型岩体,而是一种新类型——大陆边缘裂谷型基性、超基性岩,且与镍铜铂矿床有关。中国是板块构造边缘比较发育的地区,此类岩体分布较为广泛。笔者认为,大陆边缘裂谷型基性、超基性岩及其与镍、铜、铂矿床关系的研究,应是中国地质大调查中的新的科学目标之一,这是中国独特的地质成矿背景上的具有中国大陆演化特点的地质成矿现象。

① 莫宣学,李思田.在中国地质大学博士班上的演讲,2001.

参考文献 (References):

- [1] 汤中立,白云来. 亚欧大陆桥北山—天山接合部构造格局[J]. 甘肃地质学报,1997,6(增刊):13~20.
Tang Zhongli, Bai Yunlai. Tectonic framework in the contiguous areas of Beishan—Tianshan mountains in Europe—Asia continental bridge[J]. J. Geol. of Gansu, 1997,6(Supp):13~20(in Chinese with English abstract).
- [2] 汤中立,李文渊. 金川铜镍硫化物(含铂)矿床成矿规律及地质对比[M]. 北京:地质出版社,1995.1~20.
Tang Zhongli, Li Wenyuan. Metallogenic Regularities and Geological Correlation on Jinchuan Copper—Nickel Deposit, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995.1~20 (in Chinese with English abstract).
- [3] 邓晋福,赵海玲,莫宣学,等. 中国大陆根—柱构造—大陆动力学的钥匙. 北京:地质出版社,1996,1~60.
Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, et al. Continental Root—plume Structure: A Key Solving Problem on Continental Dynamics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 1~60(in Chinese with English abstract).
- [4] 白云来. 塔里木板块东北边缘地壳结构及成分研究[J]. 西北地质, 1993,14(2):6~10.
Bai Yunlai. Study on the crust structure and its components in the East—northern Tarim margin[J]. Northwest Geology, 1993,14(2): 6~10(in Chinese with English abstract).
- [5] 白云来. 新疆康古尔断裂带东段的地球化学特征[J]. 新疆地质, 1991(3):260~265.
Bai Yunlai. Geochemical character of East Kangguer fracture zone, Xinjiang, China [J]. Geol. of Xinjing , 1991,6(3): 260~265(in Chinese with English abstract).
- [6] 白云来. 新疆东部梧桐窝子群的大地构造背景及地球化学论证[J]. 新疆地质,1994,12(2):106~114.
Bai Yunlai. Tectonic background and its geochemistry reasoning of Wutongwozi Group in East Xinjiang, China [J]. Geol. of Xinjing , 1994,12(2):106~114(in Chinese with English abstract).
- [7] 左国朝,何国琦. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京:北京大学出版社,1990.1~50.
Zuo Guochao, He Guoqi. Plate Tectonics and Metallogenic Regularities in Beishan, China [M]. Beijing: Peking University Press, 1990.1~50(in Chinese with English abstract).
- [8] 左国朝,李茂松. 甘蒙北山地区早古生代岩石圈形成和演化[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1996.10~56.
Zuo Guochao, Li Maosong. Lithosphere Formation and Evolution during Early Paleozoic in Beishan, Gansu and Inner Mongolia[M]. Lanzhou: Gansu Scientific and Technical Publishing House, 1996.10~56(in Chinese with English abstract).
- [9] 周国庆. 塔里木大陆东北缘加里东蛇绿岩套的发现及其构造意义[J]. 南京大学学报,1988.35~42.
Zhou Guoqing. The Ophiolitic suite(Pz₁) and its tectonic meaning in the Northeastern Tarim margin [J]. Nanjing university acta. 1988.35~42(in Chinese with English abstract).
- [10] 马瑞士,王赐银,叶尚夫,等. 东天山构造格架及地壳演化[M]. 南京:南京大学出版社,1993.6~36.
Ma Ruishi, Wang Ciyin, Ye Shangfu. Tectonics Framework and Evolution in East—Tianshan Mountains [M]. Nanjing: Nanjing University Publishing House, 1993.6~36 (in Chinese with English abstract).
- [11] 杨巍然,孙继源. 大陆裂谷研究中的几个前沿课题[J]. 地学前缘, 1995,2(2):93~102.
Yang Weiran, Sun Jiyuan. Some forward problems in study Continental rift[J]. Earth Science Frontiers, 1995,2(2):93~102(in Chinese with English abstract).
- [12] 杨巍然,杨森楠. 造山带结构与演化的现代理论和研究方法[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991.23~31.
Yang Weiran, Yang Sennan. Modern Theories and Research Methods to Orogenic Belt Framework and its evolution [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991.23~31(in Chinese with English abstract).
- [13] Naddrett A J, Cabri L J. Ultramafic and related mafic rocks: Their classification and genesis with special reference to the concentration of nickel sulfides and Platinum—Group Elements[J]. Economic Geology. 1976,71: 1131~1158.
- [14] 翟裕生. 区域成矿学[M]. 北京:地质出版社,1999.1~84.
Zhai Yusheng. Regional Metallogeny[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.1~84(in Chinese with English abstract).
- [15] 何国琦,李茂松,刘德权,等. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 香港:香港文化教育出版社;乌鲁木齐:新疆人民出版社, 1994. 166~187.
He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, et al. The Crust Evolution during Paleozoic Age in Xinjiang, China [M]. Hongkong: Hongkong Culture and Education Publishing House; Urumchi: Xinjiang People Publishing House, 1994.166~187 (in Chinese with English abstract).
- [16] 杨雨,范国琳,姚国金,等. 甘肃省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997.1~314.
Yang Yu, Fan Guolin, Yao Guojin, et al. Lithostratigraphy of Gansu [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 1997.56~60(in Chinese with English abstract).
- [17] 单文琅,宋鸿林,傅照仁,等. 构造变形分析的理论、方法和实践[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991.1~18.
Shan Wenliang, Song Honglin, Fu Zhaoren, et al. Theory, Method and Practice on Structure Distortion Analysis [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press , 1991.1~18(in Chinese with English abstract).
- [18] Naldrett A J. Key factor in the genesis of Noril'sk, Sudbury, Jinchuan, Voisey' Bay and other world—class Ni—Cu—PGE deposits: implications for exploration[J]. Australian Journal of Earth Science, 1997, 44: 283~315.
- [19] Condie R C. Plate Tectonics and Crustal evolution[M]. 2nd edition. New York: Pergamon Press Inc., 1982.26~89.
- [20] Floyd D A. Magma type and tectonic setting discrimination using

- immobile elements[J]. *Earth planet Sci.lett.*,1975 ,17:211~218.
- [21] Pearce T H, Gorman B E and Birett T C. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks[J]. *Earth planet sci.lett.*,1977,36.
- [22] Bogatikov D A. *Magmatism and Geodynamics* [M]. Gordon and Breach Science Publish. 1992,78.
- [23] Pitcher W S. *Magmatism at A Plate Edge* [M]. Wiley, 1985.13~34
- [24] Coleman R G. The diversity of ophiolites[J]. *Geol Mijnbouw*, 1984, 63:141~150.
- [25] Himmelberg Glen R. *Characteristics and Petrogenesis of Alaskan-type Ultramafic -mafic Intrusions, Southeastern Alaska* [M]. U.S GPO, 1995.2~92.
- [26] 邱家骥. 岩浆岩岩石学 [M]. 北京:地质出版社,1985,1~34.
Qiu Jiexiang. *Magmatic Petrology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.1~34 (in Chinese).
- [27] 孙鼐, 彭亚鸣. 火成岩石学 [M]. 北京:地质出版社,1984.1~26.
Sun Nai, Pen Yaming. *Igneous Petrology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984.1~26 (in Chinese).
- [28] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1992.1~195.
Li Changnian. *Igneous Rock Trace-element Petrology* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992.1~195 (in Chinese).
- [29] 武汉地质学院岩石教研室. 岩浆岩石学 [M]. 北京:地质出版社, 1979.1~60.
Wuhan Geological College Petrology Staff Room. *Magmatic Petrology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979.1~60 (in Chinese).
- [30] 范育新. 北山地区镁铁—超镁铁岩构造环境与含矿性分析 [D]. 兰州大学硕士论文. 2001.
Fan Yuxin. *Analysis on the Geotectonic settings and ore-bearing condition to mafic and ultramafic rocks in Beishan region* [D]. Master Degree Thesis of Lanzhou University 2001 (in Chinese with English abstract).

The Characteristics of basic-ultrabasic rocks in the back-arc rift system on the northeastern margin of the Tarim plate

BAI Yun-lai^{1,2}, CHEN Qi-Lin², TANG Zhong-li³, FAN Yu-xin⁴, JIANG Rong-fu⁵

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Northwest Geological Institute, Lanzhou 730000, Gansu, China;*

3. *Gansu Bureau of Geological Exploration, Lanzhou 730000, Gansu, China;*

4. *Earth and Environment College of Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China;*

5. *Jinchuan Group Limited, Jinchang 7350000, Gansu, China)*

Abstract: Basic-ultrabasic rocks in an extensional regime are closely related to copper-nickel deposits. The geochemistry and petrology of basic and ultrabasic rocks on the northeastern margin of the Tarim plate (whose age may be traced back to Mesoproterozoic) and their tectonic setting are studied in this paper. The authors consider that the basic-ultrabasic complex in this area may be classified into two types. One type formed in the early stage of rifting (Mesoproterozoic) and the other type formed in the culmination of rifting or back-arc basin stage (Paleoproterozoic). The latter may be assigned to the ophiolitic complex category, while the former is closely related to the nickel-copper metallogenic system, but difficult to assign to any of the available basic-ultrabasic categories, which is a new type. The authors suggest that the former type be named continental-margin rift type basic-ultrabasic rocks. The Sm-Nd model age of this type of rock in this area is $T_{DM}=1\ 026-1\ 749$ Ma. The association of its plutonic rocks (Heishan complex) is quartz syenite-gabbro-hornblende gabbro-mica-bearing plagioclase-hornblende harzburgite-mica-bearing hornblende harzburgite-mica-bearing plagioclase-hornblende peridotite-pyroxenite. The average m/f ratio of the ultrabasic rocks is 5.5 and $\sum REE$ is 20.9×10^{-6} to 64.71×10^{-6} , with an average of 29.91×10^{-6} , and the LREE is slightly enriched. The TiO_2 content of the gabbros is 0.92%. The association of their hypabyssal rocks (North Heishan complex) is grayish black, fine granular hornblende gabbro (gabbro porphyrite)-dark greenish black, finely granular chloritized gabbro norite-deep black medium-grained olivine websterite. Their TiO_2 content is strongly enriched. In hornblende gabbro (gabbro porphyrite), TiO_2 is 1.32%-3.32%; MgO and CaO are depleted; Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Cs, Hf, Ta, Th and U are strongly enriched; Sc, V and Cu are slightly enriched; Cr, Co and Zn are depleted; and LREE is slightly enriched. All these indicate that a back-arc extensional regime had already appeared on the northeast margin of the Tarim plate in the Mesoproterozoic, and that magmas were separated from the mantle multiple times under this regime.

Key words: active continental margin; rift type; basic-ultrabasic rocks; Tarim plate