第37卷　第3期　　　　　岩　石　矿　物　学　杂　志　　　　　Vol. 37, No. 3: 454～466
2018年5月　　　　ACTA　PETROLOGICA　ET　MINERALOGICA　　　　May, 2018

新疆东昆仑达拉库岸镁铁-超镁铁岩的矿物化学及其属性

范亚洲[1,2]，夏昭德[2,3]，夏明哲[2,3]，姜常义[2,3]，孟繁聪[1]

（1. 中国地质科学院 地质研究所，北京　100037；2. 长安大学 地球科学与资源学院，陕西 西安　710054；
3. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室，陕西 西安　710054）

摘　要：达拉库岸镁铁-超镁铁岩位于东昆仑造山带南带之喀拉米兰晚古生代沟弧系，由二辉橄榄岩、单辉橄榄岩、橄榄辉石岩、单辉岩、含长辉石岩和辉长岩组成。单辉橄榄岩和橄榄辉石岩中橄榄石均为贵橄榄石（Fo＝84.55～89.08），其MnO含量为0.13%～0.29%，NiO含量为0.09%～0.28%；单斜辉石为透辉石和普通辉石，其MgO含量为15.12%～16.98%，FeO含量为3.84%～5.34%，CaO含量为21.10%～22.95%；与蛇绿岩套中的同类岩石的橄榄石和单斜辉石成分存在较大差异，与夏日哈木和金川镁铁-超镁铁岩中同类岩石的矿物成分类似，表明达拉库岸岩体不是蛇绿岩套的组成部分，而是陆壳中的侵入体。单斜辉石成分表明其母岩浆为拉斑玄武质岩浆，可能形成于与俯冲有关的大陆边缘裂谷环境。达拉库岸岩体具有形成岩浆型铜镍硫化物矿床的条件。

关键词：矿物化学；镁铁-超镁铁岩；达拉库岸；东昆仑；新疆

中图分类号：P618.41；P618.63　　　**文献标识码**：A　　　**文章编号**：1000－6524(2018)03－0454－13

Mineral chemistry and properties of the Dalaku' an mafic-ultramafic complex, East Kunlun Mountains, Xinjiang

FAN Ya-zhou[1,2], XIA Zhao-de[2,3], XIA Ming-zhe[2,3], JIANG Chang-yi[2,3] and MENG Fan-cong[1]

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. School of Earth Science and Resources, Chang' an University, Xi' an 710054, China; 3. Key Laboratory of Western China' s Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi' an 710054, China)

Abstract: The Dalaku' an mafic-ultramafic complex is located in the Late Paleozoic Karamilan arc zone, which is the southern active zone of the East Kunlun, and consists of lherzolite, wehrlite, olivine websterite, clinopyroxenite, plagioclase-bearing pyroxenite and grabbro. The olivine in the wehrlite and olivine websterite belongs to chrysolite with the Fo value ranging from 84.55 to 89.08, and the content of MnO and NiO ranging from 0.13% to 0.29% and 0.09% to 0.28%, respectively. The clinopyroxene belongs to diopside and augite with the content of MgO, FeO, CaO ranging from 15.12% to 16.98%, 3.84% to 5.34%, 21.10% to 22.95%, respectively. The mineral compositions of the Dalaku' an rock mass are different from those of the mafic-ultramafic cumulates from ophiolites, indicating that the Dalaku' an rock mass isn' t a component of ophiolite but a continental intrusion. The mineral compositions of clinopyroxenes indicate that the parent magma belongs to the tholeiite series, which was

---

收稿日期：2017－12－01；接受日期：2018－04－12

基金项目：国家自然科学基金资助项目（41302070，41102045）；中国地质调查局地质调查资助项目（1212011121089，12120110200015000５-08）；中央高校基本科研业务费专项（2014G1271066，310827173401）

作者简介：范亚洲（1988－　），男，汉族，在读博士研究生，矿物学、岩石学、矿床学专业，E-mail：yazhouf@163.com；通讯作者：孟繁聪（1967－　），男，博士，研究员，主要从事火成岩研究，E-mail：mengfancong@yeah.net。

formed in the continental margin rift during the subduction. There exist favorable conditions for the Cu-Ni sulfide deposit, as shown by the type of the intrusion, mineral chemistry and tectonic setting.

Key words: minerals; mafic-ultramafic intrusion; Dalaku' an; East Kunlun Mountains; Xinjiang

Fund support: National Natural Science Foundation of China(41302070, 41102045); China Geological Survey (1212011121089, 121201102000150005-08); Fundamental Research Funds for the Central Universities (2014G1271066, 310827173401)

造山带中镁铁-超镁铁岩体主要有两种成因类型，一种为蛇绿岩，另一种为(层状)侵入体，后者常与铜镍硫化物矿床有关(吴利仁，1963；董显扬等，1995)。因此，正确识别分布在造山带中镁铁-超镁铁岩体的类型有助于认识造山带的构造演化及相关矿产的评价(吴利仁，1963)。东昆仑造山带是中央造山带西段重要的组成部分(图 1a)，同时也是青藏高原内部的一条巨型岩浆岩带和我国重要的多金属成矿带(莫宣学等，2007)，其中既发育木孜塔格、清水泉、布青山、温泉等蛇绿岩型镁铁-超镁铁岩块(高延林等，1988；Yang *et al.*，1996；朱云海等，1999，2000；Bian *et al.*，2004；兰朝利等，2007)，也出露夏日哈木、石头坑德和冰沟南等(层状)镁铁-超镁铁质侵入体(李世金等，2012；王冠，2014；张爱奎等，2015；周伟等，2016；董俊等，2017；张照伟等，2017a，2017b)。在这些镁铁-超镁铁质侵入体中，夏日哈木含超大型镍矿(李世金等，2012)，石头坑德和冰沟南也都有镍矿化(周伟等，2016；张照伟等，2017a，2017b；Li Liang *et al.*，2018)，使得东昆仑地区也成为了寻找岩浆型铜镍硫化物矿床的有利地区。

新疆东昆仑是东昆仑造山带向西延伸至新疆的部分，位于阿尔金断裂以南，木孜塔格断裂(昆南断裂)以北(姜春发等，1992；新疆维吾尔自治区地质矿产局，1993)(图 1a)。前人发现该地区存在较多的镁铁-超镁铁岩体，如阿帕岩体、几克里阔勒岩体、依山干岩体，并笼统的认为是阿帕-茫崖蛇绿岩套的组成部分(何国琦等，1994；赖绍聪等，1996；王焰等，1999)。然而，在达拉库岸镁铁-超镁铁岩体橄榄岩相岩石中发现了岩浆型铜镍硫化物矿化体，其 Ni 最高品位为 0.65%，这与之前认为的其属蛇绿岩是矛盾的。因此，关于该岩体是陆壳型侵入体还是蛇绿岩的组成部分还需要进一步研究。本文通过分析达拉库岸岩体主要造岩矿物特征，厘定其成因类型，并进一步探讨母岩浆性质及构造环境，欲为在新疆东昆仑一带开展铜镍硫化物矿床找矿工作提供依据。

1　区域地质背景

研究区位于东昆仑造山带南带之喀拉米兰晚古生代沟弧系，其北隔阿尔金断裂与塔里木板块相邻，南隔木孜塔格断裂(昆南断裂)与巴颜喀拉-松潘甘孜地体相邻(图 1a)(弓小平等，2004；尹福光等，2004；韩红卫等，2007)。区域内出露地层主要有中泥盆统布拉克巴什群碳酸盐建造，下石炭统托库孜达坂群砂岩、粉砂岩，上中石炭统喀拉米兰河群粉砂岩、泥岩，下中侏罗统叶尔羌群砂岩、砾岩以及第四系上更新统。岩浆岩较为发育，主要为华力西中期的花岗岩、二长花岗岩，华力西晚期的黑云母花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩，三叠纪辉石橄榄岩、辉石岩、含长辉石岩和辉长岩(新疆维吾尔自治区地质矿产局，1993)(图 1b、1c)。

2　岩体地质特征及岩相学

达拉库岸岩体位于且末县阿羌乡西南约 30 km 的浅山区，地表出露长约 90 m，宽约 8～20 m，西侧与花岗岩围岩呈断层接触(图 1c)，东侧为侵入接触关系(图 1c、图 2a)。主要岩石类型有二辉橄榄岩、单辉橄榄岩、橄榄辉石岩、单辉岩、含长辉石岩和辉长岩。在钻孔中单辉橄榄岩、二辉橄榄岩、橄榄辉石岩呈渐变过渡关系，局部发育含长辉石岩；地表出露岩石以单辉橄榄岩、橄榄辉石岩、含长辉石岩和辉长岩为主，含长辉石岩多呈透镜状分布在超镁铁质岩石内部，少量辉长岩位于岩体北部(图 1c)，橄榄岩与辉石相岩石呈渐变过渡关系(图 1d、2b)。岩石中常见的结构有堆晶结构(2c)、包含结构(图 2d)、自形-半自形中粗粒结构(2e)和辉长结构(图 2f)等，以块状构造为主(图 2b)。岩石普遍遭受了一定程度的蚀变，主要有蛇纹石化、透闪石化、阳起石化、绿泥石化和钠黝帘石化。

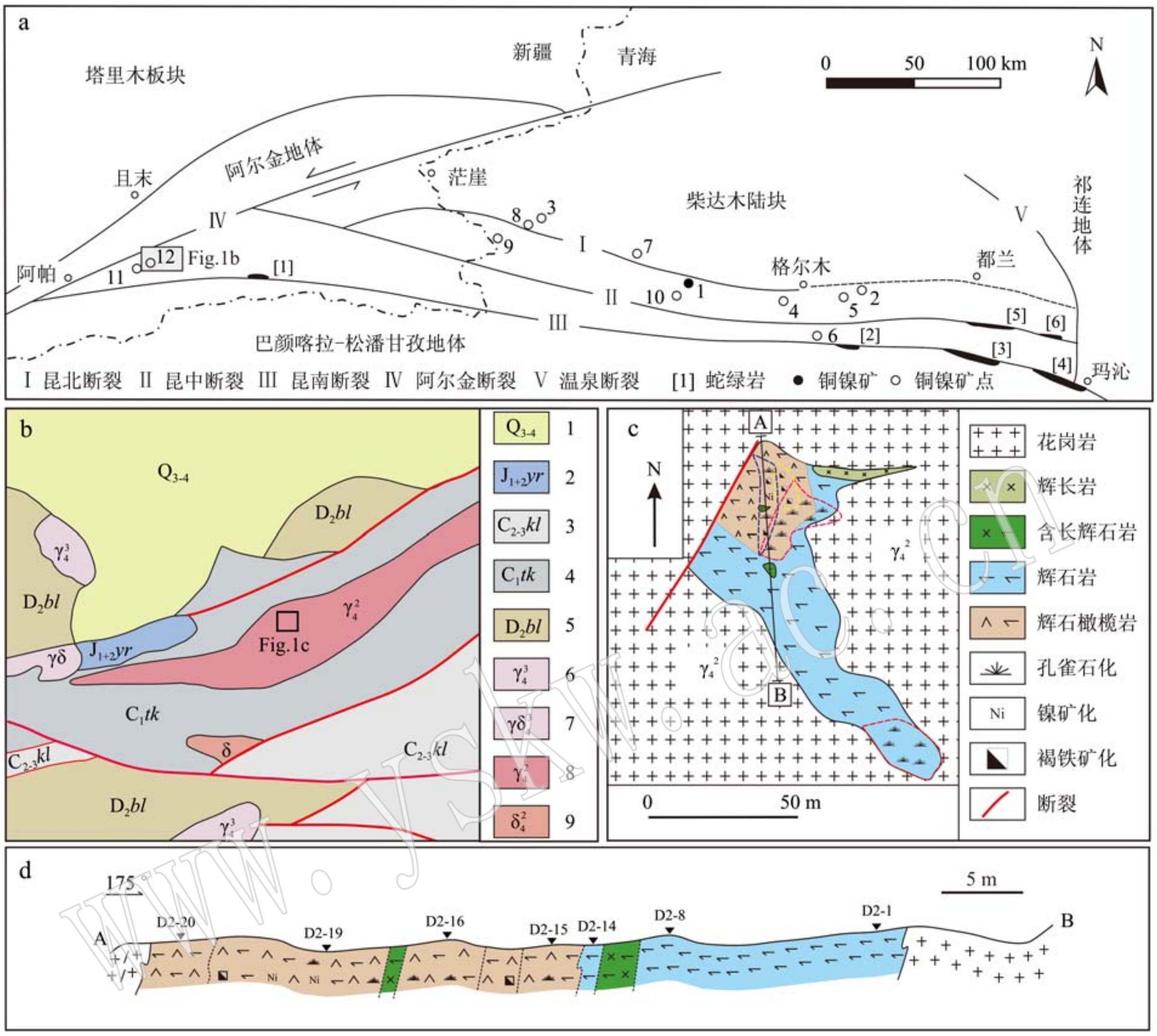

图 1　研究区构造位置和地质简图

Fig. 1　The tectonic position and geological maps of the study area

a—东昆仑大地构造单元划分(据姜春发等,2000),铜镍矿及矿点据闫佳铭(2017):铜镍矿:1—夏日哈木;铜镍矿点:2—石头坑德;3—冰沟南;4—德探沟;5—白日其利沟;6—深沟;7—开木棋河中游;8—玛兴大湾南;9—拉陵高里河沟脑;10—阿克楚克塞;11—几克里阔勒;12—达拉库岸;蛇绿岩据姜春发等(1992):[1]—木孜塔格蛇绿岩;[2]—黑茨沟蛇绿岩;[3]—布青山蛇绿岩;[4]—玛沁蛇绿岩;[5]—清水泉蛇绿岩;[6]—温泉蛇绿岩;b—研究区地质简图(据新疆地勘局第三地质大队,2005)❶:1—上更新统;2—叶卡羌群;3—喀拉米兰群;4—托库孜达坂群;5—布拉克巴什群;6—华力西晚期花岗岩;7—华力西晚期花岗闪长岩;8—华力西中期花岗岩;9—华力西中期闪长岩;c—达拉库岸岩体岩相图,岩体由辉石橄榄岩、辉石岩、含长辉石岩和辉长岩组成;d—达拉库岸岩体实测剖面图及采样位置,图例同 c

a—tectonic units of East Kunlun (after Jiang Chunfa *et al.*, 2000), the location of the Ni-Cu deposits and ore spots after Yan Jiaming (2017): Ni-Cu deposits: 1—Xiarihamu; Ni-Cu ore spots: 2—Shitoukengde; 3—Binggounan; 4—Detangou; 5—Bairiqiligou; 6—Shengou; 7—Kaimuqihe; 8—Maxingdawannan; 9—Lalinggaolihegounao; 10—Akechukesai; 11—Jikelikuole; 12—Dalaku'an; the location of East Kunlun ophiolites (Jiang Chunfa *et al.*, 1992): [1]—Muzitage; [2]—Heicigou; [3]—Buqingshan; [4]—Maqin; [5]—Qingshuiquan; [6]—Wenquan; b—geological sketch map of the study area (after The Third Geological Branch of Xinjiang Geological and Mineral Bureau, 2005)❶: 1—Upper Pleistocene; 2—Yekaqiang Group; 3—Kalamilan Group; 4—Tuokuzidaban Group; 5—Bulakebashi Group; 6—Late Variscan granite; 7—Late Varican granodiorite; 8—Middle Variscan granite; 9—Middle Variscan diorite; c—lithologic map of the Dalaku'an body, which consists of wehrlite, pyroxenite, plagioclase-bearing pyroxenite and gabbro; d—geological section (A—B) and sampling locations of the Dalaku'an body, legend as for Fig. 1c

---

❶ 新疆地勘局第三地质大队. 2005. 新疆且末县卡特里西铜锌矿详查地质报告.

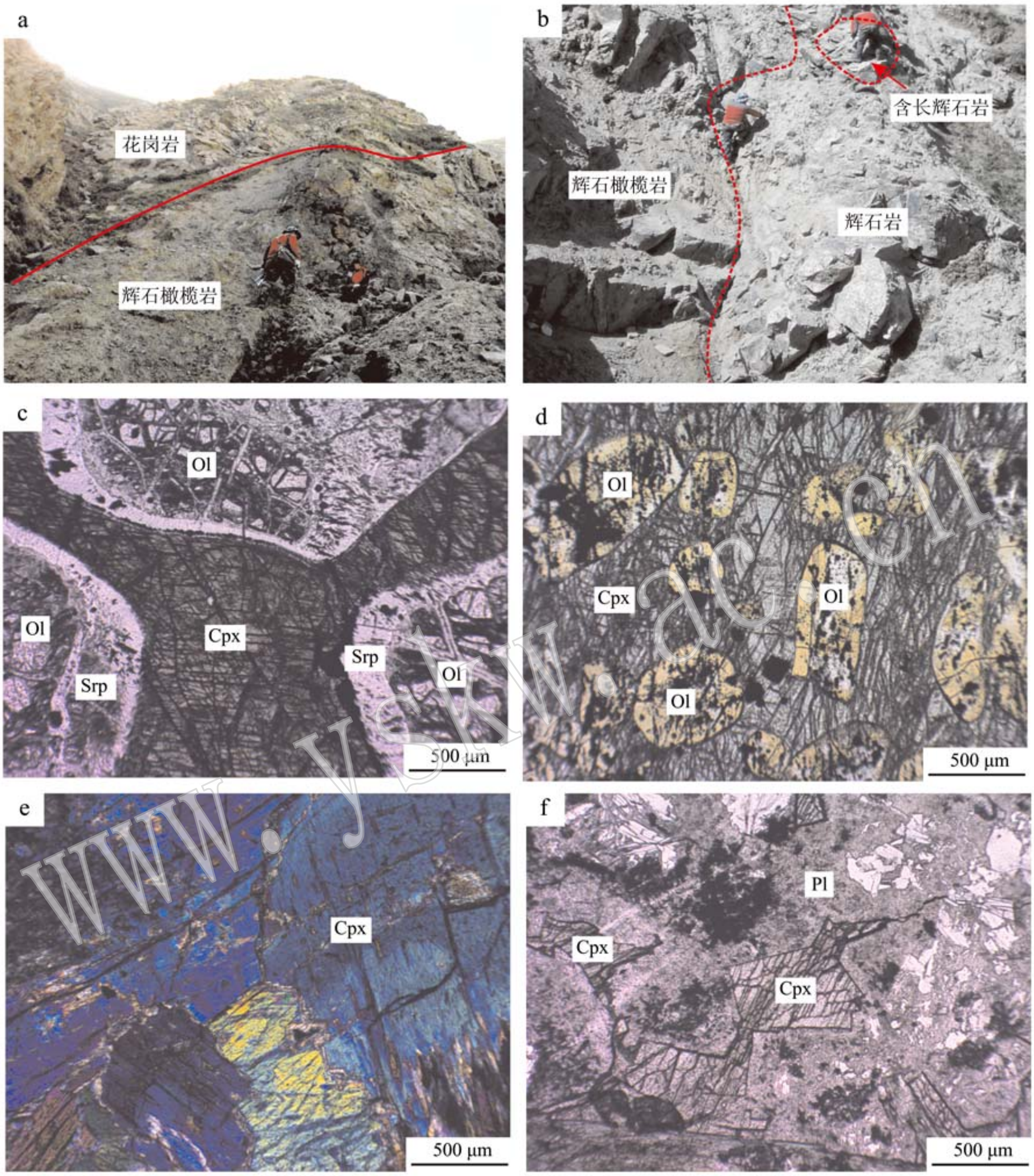

图 2　达拉库岸镁铁-超镁铁岩野外产状及显微照片

Fig. 2　Field occurrences and photomicrographs showing the textures of representative rocks of the Dalaku'an intrusion

a—达拉库岸岩体侵入花岗岩，在接触带附近可见孔雀石化；b—橄榄岩相与辉石岩相呈渐变过渡关系，辉石岩中局部含有斜长石；c—单辉橄榄岩中橄榄石呈堆晶状，沿裂理和边界发生强烈的蛇纹石化，它形的单斜辉石呈嵌晶结构，位于橄榄石颗粒之间（－）；d—橄榄辉石岩中，单斜辉石具席列结构、包橄结构，大部分橄榄石已经蛇纹石化（－）；e—辉石岩中单斜辉石呈粒状镶嵌结构（＋）；f—辉长岩中斜长石发生强烈的蚀变，单斜辉石呈不规则状分布于斜长石颗粒之间（－）；矿物代号据沈其韩（2009）：Ol—橄榄石；Cpx—单斜辉石；Srp—蛇纹石；Pl—斜长石

a— Dalaku'an body intruding into the granite, where malachitization is well developed; b— the gradual transition between the peridotites and the pyroxenites with some plagioclase (Pl) locally; c— olivines (Ol) as cumulate phase replaced by serpentine along the fissure and margin, clinopyroxene (Cpx) as intracumulate in the wehrlites (－); d— olivines commonly as inclusions but almost replaced by serpentine (Srp), clinopyroxene with schiller's texture (－); e—clinopyroxenes with mosaic texture in the clinopyroxenite (＋); f— plagioclase replaced strongly and irregular clinopyroxene within the interspace of the plagioclases (－); mineral abbreviations after Shen Qihan (2009): Ol— olivine; Cpx— clinopyroxene; Srp— serpentine; Pl— plagioclase

3　测试方法

本次研究对达拉库岸岩体的橄榄石、单斜辉石进行电子探针测试。电子探针分析在长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室完成。分析仪器为日本JXA-8100型电子探针，分析条件为加速电压15 kV，束电流2.0×10^{-8} A，束斑直径5 μm。详细流程参照刘艳荣等(2012)。

4　测试结果

4.1　橄榄石

橄榄石电子探针数据见表1。橄榄石主要存在于单辉橄榄岩和橄榄单辉岩中。橄榄单辉岩中橄榄石Fo值为85.02 ~88.72，属于贵橄榄石，其FeO含量为10.78% ~14.00%，MgO含量为44.56% ~47.95%，MnO含量为0.14% ~0.28%，NiO含量为0.13% ~0.28%。单辉橄榄岩中的橄榄石有两种产状：第一种橄榄石多被单斜辉石包裹，Fo值较高，为89.08，其FeO含量为10.24%，MgO含量为46.86%，MnO含量为0.19%，NiO含量为0.26%；另一种嵌晶状橄榄石Fo值较低，为84.42 ~88.03，其FeO含量为11.33% ~14.49%，MgO含量为44.30% ~46.75%，MnO含量为0.13% ~0.29%，NiO含量为0.09% ~0.23%。

4.2　单斜辉石

单斜辉石电子探针数据见表2。单斜辉石在单辉橄榄岩和橄榄单辉岩中成分变化较小，端员组分为Wo =43.68 ~47.41，En =43.89 ~48.24，Fs =6.11 ~8.70，属于透辉石和普通辉石，其SiO_2含量为51.90% ~54.20%，CaO含量为21.10% ~22.95%，MgO含量为15.12% ~16.98%，FeO含量为3.84% ~5.34%，Al_2O_3含量为1.58% ~3.36%，TiO_2含量为0.07% ~0.21%，Na_2O含量为0.05% ~0.23%。

5　讨论

5.1　岩体属性

东昆仑造山带内镁铁-超镁铁岩主要有两种类型：蛇绿岩型和(层状)侵入体(图1a)。蛇绿岩型镁铁-超镁铁岩在布青山、清水泉和温泉等地出露(图1a)(高延林等，1988；Yang *et al.*，1996；朱云海等，1999，2000；Bian *et al.*，2004；Jia *et al.*，2017)，然而，镁铁-超镁铁堆晶岩仅在温泉地区保存较好，主要岩石类型有纯橄岩、单辉橄榄岩、橄榄辉石岩和单斜辉石岩(Jia *et al.*，2017)；(层状)镁铁-超镁铁侵入体在夏日哈木、石头坑德等地出露，主要岩石类型有纯橄岩、方辉橄榄岩、橄榄辉石岩、辉长岩等(姜常义等，2015；Li *et al.*，2015)。温泉堆晶橄榄岩和辉石岩中橄榄石Fo值为81.03 ~86.50，MnO含量为0.23% ~0.45%，NiO含量为0.05% ~0.25%；单斜辉石为透辉石($Wo_{46.99\sim49.75}$ $En_{46.25\sim49.39}$ $Fs_{2.63\sim4.41}$)，CaO含量为23.30% ~25.50%，MgO含量为16.80% ~17.70%，FeO含量为1.69% ~2.87%(Jia *et al.*，2017)。夏日哈木堆晶橄榄岩和辉石岩中橄榄石Fo值为84.20 ~89.23，MnO含量为0.07% ~0.28%，NiO含量为0.07% ~0.56%；单斜辉石为透辉石和普通辉石($Wo_{38.61\sim48.59}$ $En_{45.78\sim54.14}$ $Fs_{5.62\sim8.85}$)，CaO含量为18.65% ~22.59%，MgO含量为15.29% ~19.05%，FeO含量为3.35% ~5.26%(姜常义等，2015；Li *et al.*，2015)。在橄榄石和单斜辉石成分图解中，与温泉蛇绿岩型堆晶橄榄岩和单辉岩中橄榄石和单斜辉石相比，夏日哈木和金川堆晶橄榄岩和辉石岩中橄榄石具有相对较高的NiO含量(图3a)和较低的MnO含量(图3b)，单斜辉石具有较低的CaO含量(图3c)和较高FeO含量(图3d)。达拉库岸岩体中橄榄石和单斜辉石成分均位于夏日哈木和金川侵入体范围内和附近，而与温泉蛇绿岩型堆晶岩差别较大(图3a ~3d)，说明达拉库岸岩体具有陆壳侵入体的特点，不是蛇绿岩的组成部分。

5.2　母岩浆性质

前人的研究表明单斜辉石的主量元素成分可以很好地反映母岩浆特征(Kushiro，1960；Le Bas，1962；Seyler and Bonatti，1994；王佳玲等，2014；王坤明等，2014)。单斜辉石Si、Al原子数可以作为确定母岩浆类型的标型元素(孙传敏等，1994)。在单斜辉石的$Al_2O_3-SiO_2$图解中(图4a)，数据点均投在亚碱性系列区域，在单斜辉石$n(Si)-n(Al^{IV})$关系图中(图4b)，数据点均位于拉斑玄武岩系列区域，表明达拉库岸岩体的母岩浆属于拉斑玄武岩系列，这与夏日哈木岩体的母岩浆性质是一致的(姜常义等，2015)。

表 1 达拉库岸镁铁-超镁铁岩橄榄石电子探针数据

Table 1 The mineral chemistry of olivines of the Dalaku'an mafic-ultramafic rocks

$w_B/\%$

岩性	辉石岩								辉石橄榄岩									
样号	D2-20	D2-1	D2-1	D2-1	D2-1	D2-8	D2-8	D2-8	D2-8	D2-16	D2-16	D2-16	D2-19	D2-19	D2-19	D2-20	D2-20	D2-20
SiO_2	40.99	40.60	40.41	40.66	41.37	40.84	41.08	41.44	40.13	40.91	41.04	40.96	40.24	41.58	40.82	41.04	40.61	40.88
FeO	10.78	13.04	14.00	12.19	11.88	13.80	11.93	10.87	13.78	11.46	13.21	12.43	14.43	11.38	11.81	10.24	11.33	11.37
MnO	0.14	0.28	0.23	0.16	0.22	0.23	0.18	0.20	0.26	0.24	0.29	0.18	0.24	0.22	0.16	0.19	0.13	0.17
MgO	46.92	46.00	44.56	45.22	46.65	45.51	46.06	47.95	44.48	46.22	45.70	46.08	44.30	46.52	46.32	46.86	46.75	46.50
CaO	0.03	0.11	0.03	0.07	0.05	0.04	0.06	0.05	0.08	0.07	0.04	0.10	0.06	0.08	0.08	0.10	0.06	0.07
NiO	0.21	0.13	0.19	0.17	0.20	0.23	0.28	0.24	0.15	0.13	0.12	0.15	0.09	0.19	0.23	0.26	0.23	0.16
Total	99.07	100.17	99.42	98.47	100.36	100.65	99.58	100.73	98.88	99.02	100.38	99.89	99.35	99.99	99.40	98.68	99.10	99.15
以 4 个氧离子为单位计算阳离子个数																		
Si	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.01	1.02	1.01	1.02	1.01	1.02
Fe^{2+}	0.22	0.27	0.29	0.26	0.24	0.29	0.25	0.22	0.29	0.24	0.27	0.26	0.30	0.23	0.25	0.21	0.24	0.24
Mn	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	1.73	1.70	1.67	1.69	1.71	1.68	1.70	1.74	1.67	1.72	1.69	1.70	1.66	1.71	1.72	1.74	1.73	1.72
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Fo	88.58	86.28	85.02	86.86	87.50	85.46	87.32	88.72	85.19	87.79	86.05	86.86	84.55	87.93	87.49	89.08	88.03	87.94

注：橄榄石 Fo = $n(Mg)/[(n(Mg)+n(Fe)]\times 100$。

表2　达拉库岸镁铁-超镁铁岩单斜辉石电子探针数据　　$w_B/\%$

Table 2　The mineral chemistry of clinopyroxenes of the Dalaku'an mafic-ultramafic rocks

岩性	辉石岩						辉石橄榄岩				
样号	D2-20	D2-1	D2-1	D2-1	D2-8	D2-8	D2-8	D2-16	D2-16	D2-19	D2-19
SiO_2	53.38	51.9	53.43	53.82	52.19	52.86	53.88	53.89	53.31	54.2	53.43
TiO_2	0.15	0.19	0.14	0.07	0.21	0.12	0.13	0.13	0.19	0.11	0.18
Al_2O_3	1.72	3.28	1.61	1.79	3.36	2.56	1.59	1.58	2.02	1.67	2.11
Cr_2O_3	0.26	0.76	0.56	0.37	0.51	0.36	0.20	0.69	0.55	0.61	0.25
FeO	5.22	5.29	3.94	4.78	5.30	5.34	4.33	4.17	4.26	3.84	5.05
MnO	0.15	0.09	0.13	0.18	0.12	0.17	0.20	0.11	0.12	0.16	0.20
MgO	16.62	15.44	16.68	15.80	15.49	15.12	16.03	16.96	16.38	16.98	15.42
CaO	21.10	22.15	22.13	22.77	22.11	22.72	22.95	22.25	22.13	22.36	22.78
Na_2O	0.21	0.19	0.12	0.11	0.19	0.23	0.05	0.17	0.16	0.13	0.22
K_2O	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
NiO	0.04	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.03	0.04	0.02	0.01	0.00
Total	98.88	99.31	98.83	99.73	99.47	99.5	99.39	99.98	99.16	100.13	99.65
以6个氧离子为单位计算阳离子数											
Si	1.9714	1.9195	1.9699	1.9744	1.9243	1.9510	1.9792	1.9659	1.9613	1.9712	1.9647
Al^{IV}	0.0286	0.0805	0.0301	0.0256	0.0757	0.0490	0.0208	0.0341	0.0387	0.0288	0.0353
Al^{VI}	0.0461	0.0626	0.0399	0.0519	0.0702	0.0622	0.0478	0.0337	0.0487	0.0426	0.0563
Ti	0.0041	0.0052	0.0039	0.0020	0.0057	0.0033	0.0035	0.0037	0.0053	0.0029	0.0050
Cr	0.0076	0.0222	0.0162	0.0106	0.0148	0.0105	0.0057	0.0198	0.0161	0.0175	0.0073
Fe^{2+}	0.1612	0.1637	0.1214	0.1468	0.1634	0.1648	0.1329	0.1271	0.1310	0.1167	0.1552
Mn	0.0048	0.0027	0.0042	0.0055	0.0037	0.0054	0.0061	0.0035	0.0038	0.0049	0.0062
Mg	0.9153	0.8514	0.9167	0.8637	0.8516	0.8316	0.8778	0.9224	0.8981	0.9206	0.8453
Ca	0.8349	0.8778	0.8740	0.8949	0.8734	0.8983	0.9034	0.8695	0.8723	0.8712	0.8974
Na	0.0148	0.0134	0.0087	0.0078	0.0133	0.0167	0.0038	0.0117	0.0111	0.0094	0.0155
K	0.0011	0.0007	0.0009	0.0005	0.0000	0.0008	0.0005	0.0000	0.0006	0.0000	0.0007
Ni	0.0013	0.0000	0.0022	0.0000	0.0002	0.0000	0.0009	0.0011	0.0004	0.0003	0.0000
$Mg^{\#}$	85.03	83.87	88.31	85.47	83.90	83.46	86.85	87.89	87.27	88.75	84.49
En	47.89	44.98	47.94	45.33	45.10	43.89	45.86	48.07	47.23	48.24	44.54
Fs	8.43	8.65	6.35	7.70	8.65	8.70	6.94	6.62	6.89	6.11	8.18
Wo	43.68	46.37	45.71	46.97	46.25	47.41	47.20	45.31	45.88	45.65	47.28
F_1	−0.79	−0.79	−0.80	−0.81	−0.80	−0.81	−0.81	−0.80	−0.80	−0.80	−0.82
F_2	−2.46	−2.41	−2.45	−2.46	−2.43	−2.44	−2.47	−2.46	−2.45	−2.48	−2.46

注：单斜辉石 $Mg^{\#}=n(Mg)/[n(Mg)+n(Fe)]\times100$，其端员组分为 $En=n(Mg)/[n(Mg)+n(Fe)+n(Ca)]\times100$，$Fs=n(Fe)/[n(Mg)+n(Fe)+n(Ca)]\times100$，$Wo=n(Ca)/[n(Mg)+n(Fe)+n(Ca)]\times100$，$F_1$ 和 F_2 计算据 Nisbet and Pearce(1977)：$F_1=-0.012\times SiO_2-0.0807\times TiO_2+0.0026\times Al_2O_3-0.0012\times FeO-0.0026\times MnO+0.0087\times MgO-0.0128\times CaO-0.0419\times Na_2O$，$F_2=-0.0469\times SiO_2-0.0818\times TiO_2-0.0212\times Al_2O_3-0.0041\times FeO-0.1435\times MnO-0.0029\times MgO+0.0085\times CaO+0.016\times Na_2O$。

5.3　构造环境

单斜辉石的矿物成分可以很好地判断岩体形成的构造环境(Nisbet and Pearce，1977；Beccaluva *et al.*，1989；孙传敏，1994；刘艳荣等，2012)。在单斜辉石构造环境判别图中(图5)，除一个单斜辉石成分点位于火山弧玄武岩范围内，其余单斜辉石成分点均位于火山弧玄武岩和大洋玄武岩范围内，Nisbet等(1977)认为具有这种矿物化学特征的单斜辉石可能形成于与俯冲有关的陆缘裂谷环境。因此，推测达拉库岸岩体形成的构造环境是与俯冲有关的大陆边缘裂谷。在华力西期-印支期早期，东昆仑地区进入古特提斯演化阶段，经历了石炭纪-早二叠世的陆缘扩张并形成大洋(边千韬等，1999，2001；杨经绥等，2005；刘战庆等，2011a，2011b，2011c)，之后逐渐转入洋壳俯冲消减阶段(郑健康，1992；潘裕生等，1996)。晚二叠世格曲组下部的磨拉石沉积代表了俯冲作用的开始(杨森等，2016)，而且在东昆仑哈拉尕吐、香加南山等地区发育大量晚二

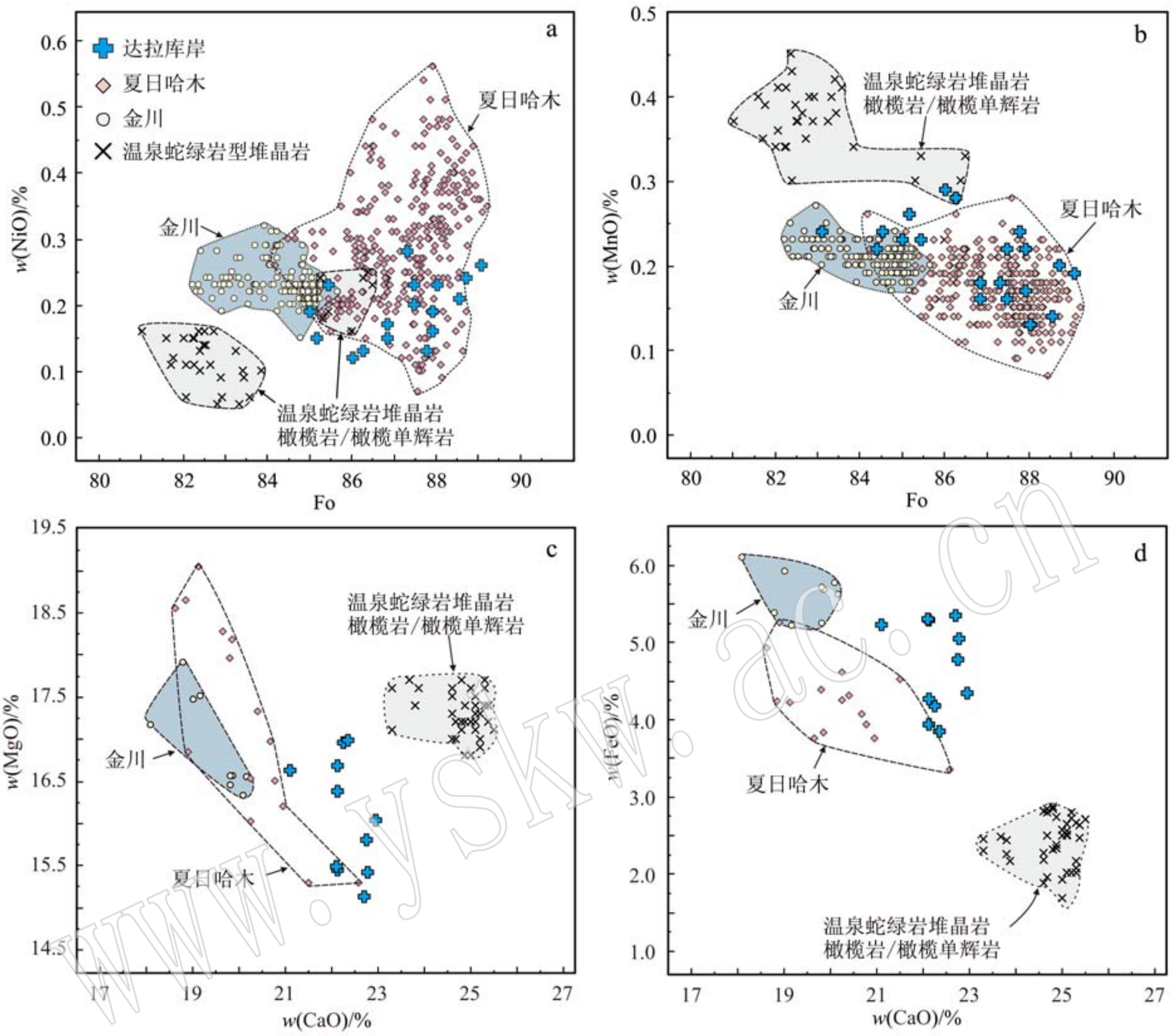

图 3　橄榄石 NiO－Fo 图（a）和 MnO－Fo 图（b）、单斜辉石 MgO－CaO 图（c）和 FeO－CaO 图（d）

Fig. 3　NiO versus Fo（a）and MnO versus Fo（b）diagrams of olivines，MgO versus CaO（c）and FeO versus CaO（d）diagrams of clinopyroxenes

夏日哈木橄榄岩和辉石岩中橄榄石、单斜辉石矿物化学来自姜常义等（2015）和 Li 等（2015）；金川橄榄岩中橄榄石、单斜辉石成分来自 Chai 和 Naldrett（1992）、Li 等（2004）、陈列锰等（2008，2009）；温泉蛇绿岩型堆晶橄榄岩和辉石岩中橄榄石、单斜辉石矿物化学来自 Jia 等（2017）

mineral chemistry of olivine，clinopyroxene of the Xiarihamu peridotites and pyroxenites after Jiang Changyi *et al.*（2015）and Li *et al.*（2015），and that of the Jinchuan peridotites after Chai and Naldrett（1999），Li C *et al.*（2004）and Chen Liemeng *et al.*（2008，2009）；that of the cumulate peridotites and clinopyroxenites of the Wenquan ophiolite after Jia *et al.*（2017）

叠世-早三叠世陆缘弧型花岗岩（孙雨等，2009；李瑞保，2012；陈国超，2014）；东昆仑白日其利、和勒岗那仁地区发育早三叠世基性岩墙群，表明该时期东昆仑造山带存在陆缘弧内的伸展活动（熊富浩等，2010；李瑞保，2012）；至中三叠世晚期，以布青山构造混杂岩为代表的古特提斯洋完全闭合（杨经绥等，2005；刘战庆等，2011a，2011b，2011c）。采用 LA-ICP-MS法获得的达拉库岸岩体中辉长岩的锆石U-Pb 年龄为 244 ± 1 Ma（范亚洲，2015），相当于早三叠世，表明其形成可能与陆缘弧局部伸展有关，与夏日哈木超大型镍矿床拉张型岛弧环境相似（姜常义等，2015）。结合达拉库岸岩体属性、丰富的岩石类型，矿物化学特征以及地表强烈的孔雀石化、褐铁矿化、镍矿化等信息，认为达拉库岸岩体可能具有形成岩浆型铜镍硫化物矿床的潜力（王垚等，2012）。

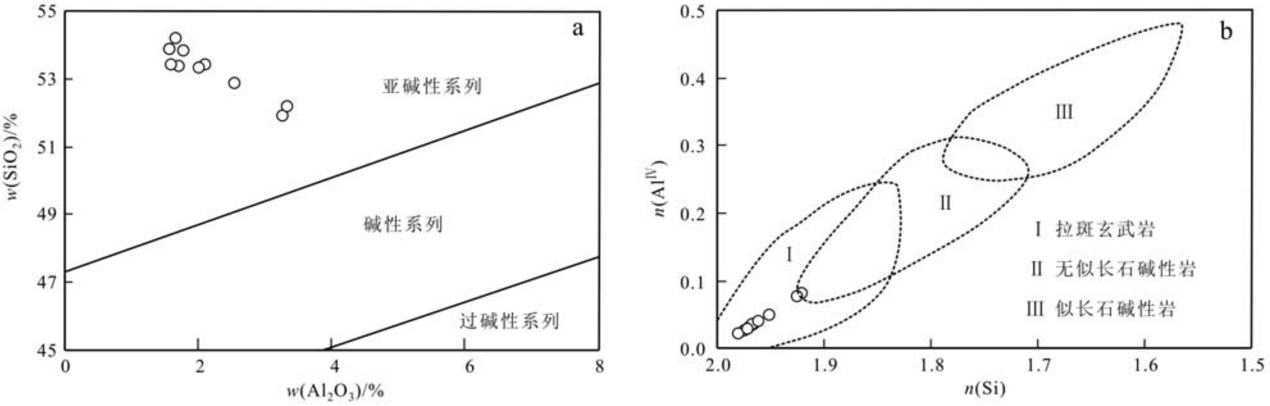

图4 达拉库岸岩体中单斜辉石 $SiO_2-Al_2O_3$ 关系图(a，Le Bas，1962)和 $n(Al^{IV})-n(Si)$ 关系图(b，Kushiro，1960)

Fig. 4 The Al_2O_3 versus SiO_2 diagram (a，Le Bas，1962) and $n(Al^{IV})-n(Si)$ diagram (b，after Kushiro，1960) of clinopyroxenes of the Dalaku'an instrusion

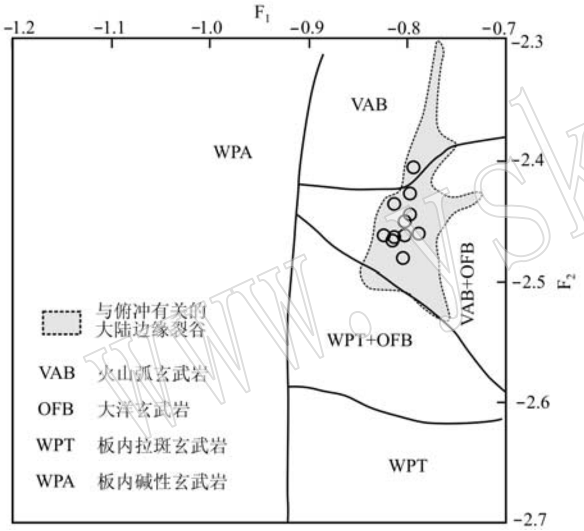

图5 单斜辉石构造环境判别图(据 Nisbet and Pearce，1977，F_1 和 F_2 计算公式见表2注释)

Fig. 5 Tectonic discriminant diagram of clinopyroxene (after Nisbet and Pearce，1977; formulas of F_1 and F_2 see Table 2)

6 结论

(1)达拉库岸镁铁-超镁铁岩体中橄榄石为贵橄榄石，单斜辉石为透辉石和普通辉石。橄榄石和单斜辉石矿物化学对比表明达拉库岸岩体不是蛇绿岩套的组成部分。

(2)达拉库岸镁铁-超镁铁岩体的母岩浆为拉斑玄武质岩浆，可能形成于与俯冲有关的大陆边缘裂谷环境。

(3)达拉库岸镁铁-超镁铁岩体具有形成岩浆型铜镍硫化物矿床的条件，对在新疆东昆仑一带开展铜镍找矿工作具有重要的指导意义。

致谢 野外工作得到了新疆地矿局第三地质大队胡秀军高级工程师的大力支持；长安大学王垚硕士参与了野外和室内工作；电子探针测试得到了长安大学刘民武老师的帮助；两位匿名审稿人对本文提出建设性的修改意见，对提高论文质量有很大帮助，在此表示衷心感谢。

References

Beccaluva L，Macciotta G，Piccardo G B，*et al*. 1989. Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator[J]. Chemical Geology，77(3)：165～182.

Bian Qiantao，Li Dihui，Pospelov I，*et al*. 2004. Age，geochemistry and tectonic setting of the Buqingshan ophiolites，North Qinghai-Tibet Plateau，China[J]. Journal of Asian Earth Sciences，23：577～596.

Bian Qiantao，Luo Xiaoquan ，Chen Haihong，*et al*. 1999. Zircon U-Pb age of granodiorite-tonalite in the A'nyemaqen ophiolitic belt and its tectonic significance[J]. Chinese Journal of Geology，34(4)：420～426(in Chinese with English abstract).

Bian Qiantao，Luo Xiaoquan，Chen Haihong，*et al*. 2001. Geochemistry and formation environment of the Buqingshan ophiolite complex，Qinghai Province，China[J]. Acta Gelogica Sinica，75(1)：45～55 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uigur Autonomous Region. 1993. Regional Geology of Xinjiang Uigar Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1～762(in Chinese).

Chai G and Naldrett A J. 1992. The Jinchuan Ultramafic intrusion: cumulate of a high-Mg basaltic magma[J]. Journal of Petrology, 33(2): 277～303.

Chen Guochao. 2014. Petrology, genesis and geological significance of Late Paleozoic-Early Mesozoic granitoids in East Kunlun Orogen[D]. Xi'an: Chang'an University(in Chinese with English abstract).

Chen Liemeng, Song Xieyan, Danyushevsky L V, *et al*. 2009. Correlation between Ni and MgO contents of olivine in Segment I of the Jinchuan intrusion, NW China, and its geological implication[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(12): 3 369～3 378(in Chinese with English abstract).

Chen Liemeng, Song Xieyan, Nie Xiaoyong, *et al*. 2008. Mineral chemistry and geological significance of pyroxene from Segment II of the Jinchuan intrusion, Gansu province[J]. J. Mineral Petrol., 28(1): 88～96(in Chinese with English abstract).

Dong Jun, Huang Hualiang, Yin Jianhua, *et al*. 2017. Geological characteristics of the Shitoukengde mafic-ultramafic rocks in East Kunlun and related metallogenic conditions[J]. Northwest Geology, 50(2): 49～60(in Chinese with English abstract).

Dong Xianyang, Li Hang, Ye Lianghe, *et al*. 1995. Ultramafic Rocks in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1～314(in Chinese).

Fan Yazhou. 2015. Magmatic evolution and metallogenetic potential of the basic-ultramafic intrusion, East Kunlun, Xinjiang[D]. Xi'an: Chang'an University(in Chinese with English abstract).

Gao Yanlin, Wu Xiangnong and Zuo Guochao. 1988. The characters and tectonic significance of ophiolite first discovered in the East Kunlun area[J]. Bulletin of Xi'an Institute of Geology and Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences, 21: 17～28(in Chinese with English abstract).

Gong Xiaoping, Ma Huadong, Yang Xingke, *et al*. 2004. Meaning and evolution and characteristic of Muztag-Cetacean lake fracture zone[J]. Geotectonica et Metallogenia, 28(4): 418～427(in Chinese with English abstract).

Han Hongwei, Wei Mengyuan, Mu Lunxun, *et al*. 2007. The genesis of Katelixi copper zinc deposit in East Kunlun mountain[J]. Geotectonica et Metallogenia, 31(1): 77～82(in Chinese with English abstract).

He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, *et al*. 1994. Paleozoic Crustal Evolution and Mineralization in Xinjiang of China[M]. Xinjiang: Xinjiang People's Publishing House, 1～424(in Chinese).

Jia Lihui, Meng Fancong and Feng Huibin. 2017. The Wenquan ultramafic rocks in the Central East Kunlun Fault zone, Qinghai-Tibet Plateau-crustal relics of the Paleo-Tethys ocean[J]. Mineralogy and Petrology, 1: 1～23.

Jiang Changyi, Ling Jinlan, Zhou Wei, *et al*. 2015. Petrogenesis of the Xiarihamu Ni-bearing layered mafic-ultramafic intrusion, East Kunlun: Implications for its extensional island arc environment[J]. Acta Petrologica Sinica, 31(4): 1 117～1 136(in Chinese with English abstract).

Jiang Chunfa, Yang Jingsui, Feng Binggui, *et al*. 1992. Opening-Closing Tectonics of Kunlun Mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1～224(in Chinese).

Jiang Chunfa, Wang Zongqi, Li Jinyi, *et al*. 2000. Opening-Closing Tectonics of the Central Orogenic Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1～145(in Chinese).

Kushiro I. 1960. Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks[J]. American Journal of Science, 258(8): 548～554.

Lai Shaocong, Deng Jinfu and Zhao Hailing. 1996. The Volcanism and Tectonic Evolution of the Northern Margin of Qinghai-Tibet Plateau[M]. Shaanxi: Shaanxi Science and Technology Press, 1～133(in Chinese).

Lan Chaoli, Li Jiliang and He Shunli. 2007. Ocean-continent subduction within the Paleotethyan archiopeligic ocean from Muztag ophiolite[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 32(3): 322～328(in Chinese with English abstract).

Le Bas M J. 1962. The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage[J]. American Journal of Science, 260(4): 267～288.

Li C, Xu Z, de Waal S A, *et al*. 2004. Compositional variations of olivine from the Jinchuan Ni-Cu sulfide deposit, western China: implications for ore genesis[J]. Mineralium deposita, 39(2): 159～172.

Li C, Zhang Z, Li W, *et al*. 2015. Geochronology, petrology and Hf-S isotope geochemistry of the newly-discovered Xiarihamu magmatic Ni-Cu sulfide deposit in the Qinghai-Tibet plateau, western China[J]. Lithos, 216: 224～240.

Li Liang, Sun Fengyue, Li Bile, *et al*. 2018. Geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Pb-Hf Isotopes of No. I complex from the Shitoukengde Ni-Cu sulfide deposit in the Eastern Kunlun Orogen, Western China: implications for the magmatic source, geodynamic setting and genesis[J]. Acta Geologica Sinica(English edition), 92(1): 106～126.

Li Ruibao. 2012. Research on the late Paleozoic-Early Mesozoic orogeny in East Kunlun Orogen［D］. Xi'an：Chang'an University（in Chinese with English abstract）.

Li Shijin，Sun Fengyue，Gao Yongwang，*et al*. 2012. The theoretical guidance and the practice of small intrusions forming large deposits-the Enlightenment and significance for searching breakthrough of Cu-Ni sulfide deposit in Xiarihamu，East Kunlun，Qinghai［J］. Northwestern Geology，45（4）：185～191（in Chinese with English abstract）.

Liu Yanrong，Lü Xinbiao，Mei Wei，*et al*. 2012. Mineralogy of clinopyroxene from Pobei mafic-ultramafic complex in Beishanarea，Xinjiang，and its geological significance［J］. Acta Petrologica et Mineralogica，31（2）：212～224（in Chinese with English abstract）.

Liu Zhanqing，Pei Xianzhi，Li Ruibao，*et al*. 2011a. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of the two suites of ophiolites at the Buqingshan Area of the A'nyemaqen orogenic belt in the Southern margin of East Kunlun and its tectonic implication［J］. Acta Geologica Sinica，85（2）：185～194（in Chinese with English abstract）.

Liu Zhanqing，Pei Xianzhi，Li Ruibao，*et al*. 2011b. Geological characteristics of the Buqingshan tectonic melange belt in the southern margin of East Kunlun and its tectonic implications［J］. Geologcal Bulletin of China，30（8）：1 182～1 195（in Chinese with English abstract）.

Liu Zhanqing，Pei Xianzhi，Li Ruibao，*et al*. 2011c. Early Paleozoic intermediate-acid magmatic activity in Bairiqiete area along the Buqingshan tectonic melange belt on the southern margin of East Kunlun：Constraints from zircon U-Pb dating and geochemistry［J］. Chinese Geology，38（5）：1 150～1 167（in Chinese with English abstract）.

Mo Xuanxue，Luo Zhaohua，Deng Jinfu，*et al*. 2007. Granitoids and crustal growth in the East-Kunlun orogenic belt［J］. Geological Journal of China Universities，13（3）：403～414（in Chinese with English abstract）.

Nisbet E G and Pearce J A. 1977. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings［J］. Contributions to Mineralogy and Petrology，63（2）：149～160.

Pan Yusheng，Zhou Weiming，Xu Ronghua，*et al*. 1996. Geological characteristics and evolution of the Kunlun Mountains region during the early Paleozoic［J］. Science in China，Ser. D，（4）：337～347（in Chinese with English abstract）.

Seyler M and Bonatti E. 1994. Na，AlIV and AlVI in clinopyroxenes of subcontinental and suboceanic ridge peridotites：A clue to different melting processes in the mantle?［J］. Earth and Planetary Science Letters，122（3～4）：281～289.

Shen Qihan. 2009. The recommendation of a systematic list of mineral abbreviations［J］. Acta Petrologica et Mineralogica，28（5）：495～500（in Chinese with English abstract）.

Sun Chuanmin. 1994. Genetic mineralogy of pyroxenes from the Yanbian Proterozoic ophiolites（Sichuan，China），and its geotectonic implications［J］. Journal of Mineralogy and Petrology，14（3）：1～15（in Chinese with English abstract）.

Sun Yu，Pei Xianzhi，Ding Saping，*et al*. 2009. Halagatu magma mixing granite in the East Kunlun Mountains-Evidence from zircon U-Pb dating［J］. Acta Geologica Sinica，83（7）：1 000～1 010（in Chinese with English abstract）.

Wang Guan. 2014. Metallogenesis of nickel deposits in Eastern Kunlun Orogenic Belt，Qinghai Province［D］. Jilin：Jilin University（in Chinese with English abstract）.

Wang Kunming，Wang Zongqi，Zhang Yingli，*et al*. 2014. Mineral chemistry characteristics and indication significance of clinopyroxene in mafic rock of Gaoqiao area，North Daba Mountains［J］. Acta Petrologica et Mineralogica，33（3）：527～539（in Chinese with English abstract）.

Wang Jialing and Wu Jianhua. 2014. Mineral chemistry of clinopyroxenes from the Late Cretaceous shoshonitic volcanic rocks in Northern Jiangxi Province and its geological significance［J］. Acta Petrologica et Mineralogica，33（1）：163～173（in Chinese with English abstract）.

Wang Yan，Liu Liang，Che Zicheng，*et al*. 1999. Geochemical characteristics of Early Paleozoic Ophiolite in Mangnai area，Altun Mountains［J］. Geological Review，45（S1）：1 010～1 014（in Chinese with English abstract）.

Wang Yao，Jing Delong and Xia Zhaode. 2012. Geochemistry and mineralogical significance of the Cu-Ni ore of the Dalaku'an complex on the south margin of Tarim plate［J］. Northwestern Geology，45（S1）：93～94（in Chinese）.

Wu Liren. 1963. Metallogenetic specialization of basic-ultrabasic rocks，China［J］. Scientia Geologica Sinica，4（1）：29～41（in Chinese with English abstract）.

Xiong Fuhao，Ma Changqian，Zhang Jinyang，*et al*. 2011. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating，elements and Sr-Nd-Hf isotope geochemistry of the Early Mesozoic mafic dyke swarms in East Kunlun orogenic belt［J］. Acta Petrologica Sinica，27（11）：3 350～3 364（in Chinese with English abstract）.

Yan Jiaming. 2017. Study on geological characteristics and genesis of Akechukesai copper-nickel in the East Kunlun，Qinghai province［D］. Jilin：Jilin University（in Chinese with English abstract）.

Yang Jingsui，Robinson P T，Jiang Chunfa，*et al*. 1996. Ophiolites of the Kunlun Mountains，China and their tectonic implication［J］. Tectonophysics，258（1～4）：215～231.

Yang Jingsui，Xu Zhiqin，Li Haibing，*et al*. 2005. The Paleo-Tethyan volcanism and plate tectonic regime in the A'nyemaqen region of East Kunlun，northern Tibet Plateau［J］. Acta Petrologica et Mineralogica，24（5）：369～380（in Chinese with English abstract）.

Yang Sen，Pei Xianzhi，Li Ruibao，*et al*. 2016. Provenance analysis and structural implications of Gequ Formation at the Buqingshan area in the eastern segment of the East Kunlun region［J］. Geologcal Bulletin of China，35（5）：674～686（in Chinese with English abstract）.

Yin Fuguang，Pan Guitang，Li Xingzhen，*et al*. 2004. Geological and geochemical characteristics of the ophiolite complex in the central section of the Kunlun mountains［J］. Geotectonica et Metallogenia，28（2）：194～200（in Chinese with English abstract）.

Zhang Aikui，Liu Yongle，Liu Guanglian，*et al*. 2015. Mineralization types and prospecting potential of Binggounan area in Qimantage metallogenic belt，Qinghai Province［J］. Northwestern Geology，48（4）：125～140（in Chinese with English abstract）.

Zhang Zhaowei，Wang Yalei，Qian Bing，*et al*. 2017a. Zircon SHRIMP U-Pb age of the Binggounan magmatic Ni-Cu deposit in East Kunlun Mountains and its tectonic implications［J］. Acta Geologica Sinica，91（4）：724～735（in Chinese with English abstract）.

Zhang Zhaowei，Wang Yalei，Qian Bing，*et al*. 2017b. Mineralogical characteristics of the Shitoukengde mafic-ultramafic intrusions in East Kunlun orogenic belt and the ore-forming indication［J］. Geology and Exploration，53（5）：825～837（in Chinese with English abstract）.

Zheng Jiankang. 1992. Regional tectonic evolution of East Kunlun［J］. Qinghai Geology，（1）：15～25（in Chinese with English abstract）.

Zhou Wei，Wang Bangyao，Xia Mingzhe，*et al*. 2016. Mineralogical characteristics of Shitoukengde mafic-ultramafic intrusion and analysis of its metallogenic potential，East Kunlun［J］. Acta Petrologica et Mineralogica，35（1）：81～96（in Chinese with English abstract）.

Zhu Yunhai，Pan Yuanming，Zhang Kexin，*et al*. 2000. Mineralogical characteristics and petrogenesis of ophiolites in East Kunlun orogenic belt，Qinghai Province［J］. Acta Mineralogica Sinica，20（2）：128～142（in Chinese with English abstract）.

Zhu Yunhai，Zhang Kexin，Pan Yuanming，*et al*. 1999. Determination of different ophiolitic belts in eastern Kunlun orogenic zone and their tectonic significance［J］. Earth Science，24（2）：134～138（in Chinese with English abstract）.

附中文参考文献

边千韬，罗小全，陈海泓，等. 1999. 阿尼玛卿蛇绿岩带花岗-英云闪长岩锆石 U-Pb 同位素定年及大地构造意义［J］. 地质科学，34（4）：420～426.

边千韬，罗小全，李涤徽，等. 2001. 青海省阿尼玛卿带布青山蛇绿混杂岩的地球化学性质及形成环境［J］. 地质学报，75（1）：45～55.

陈国超. 2014. 东昆仑造山带（东段）晚古生代-早中生代花岗质岩石特征、成因及地质意义［D］. 西安：长安大学.

陈列锰，宋谢炎，Danyushevsky L V，等. 2009. 金川Ⅰ号岩体橄榄石 Ni-MgO 相互关系及其地质意义［J］. 岩石学报，25（12）：3 369～3 378.

陈列锰，宋谢炎，聂晓勇，等. 2008. 甘肃金川Ⅱ号岩体辉石化学特征及其地质意义［J］. 矿物岩石，28（1）：88～96.

董　俊，黄华良，尹建华，等. 2017. 东昆仑石头坑德镁铁-超镁铁质岩地质特征及成矿条件分析［J］. 西北地质，（2）：49～60.

董显扬，李　行，叶良和，等. 1995. 中国超镁铁质岩［M］. 北京：地质出版社，1～314.

范亚洲. 2015. 新疆东昆仑达拉库岸基性-超基性岩体群岩浆演化及成矿潜力［D］. 西安：长安大学.

高延林，吴向农，左国朝. 1988. 东昆仑山清水泉蛇绿岩特征及其大地构造意义［J］. 中国地质科学院西安地质研究所所刊，21：17～28.

弓小平，马华东，杨兴科，等. 2004. 木孜塔格-鲸鱼湖断裂带特征、演化及其意义［J］. 大地构造与成矿学，28（4）：418～427.

韩红卫，魏梦元，牟伦洵，等. 2007. 东昆仑卡特里西铜锌矿成因［J］. 大地构造与成矿学，31（1）：77～82.

何国琦，李茂松，刘德权，等. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿［M］. 新疆：新疆人民出版社，1～424.

姜常义，凌锦兰，周　伟，等. 2015. 东昆仑夏日哈木镁铁质-超镁铁质岩体岩石成因与拉张型岛弧背景［J］. 岩石学报，31（4）：1 117～1 136.

姜春发，杨经绥，冯秉贵，等. 1992. 昆仑开合构造［M］. 北京：地质出版社，1～224.

姜春发，王宗起，李锦轶，等. 2000. 中央造山带开合构造［M］. 北京：地质出版社，1～145.

赖绍聪，邓晋福，赵海玲. 1996. 青藏高原北缘火山作用与构造演化［M］. 陕西：陕西科学技术出版社，1～133.

兰朝利，李继亮，何顺利. 2007. 古特提斯多岛洋洋-陆俯冲：木孜塔格蛇绿岩的矿物学证据［J］. 地球科学（中国地质大学学报），32（3）：322～328.

李瑞保. 2012. 东昆仑造山带（东段）晚古生代-早中生代造山作用研究［D］. 西安：长安大学.

李世金，孙丰月，高永旺，等. 2012. 小岩体成大矿理论指导与实践-青海东昆仑夏日哈木铜镍矿找矿突破的启示及意义［J］. 西北地质，45（4）：185～191.

刘艳荣，吕新彪，梅　微，等. 2012. 新疆北山地区坡北镁铁-超镁铁岩体单斜辉石的矿物学特征及其地质意义［J］. 岩石矿物学杂志，31（2）：212～224.

刘战庆，裴先治，李瑞保，等. 2011a. 东昆仑南缘阿尼玛卿构造带布青山地区两期蛇绿岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造意义［J］. 地质学报，85（2）：185～194.

刘战庆，裴先治，李瑞保，等. 2011b. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩带的地质特征及大地构造意义［J］. 地质通报，30（8）：1 182～1 195.

刘战庆，裴先治，李瑞保，等. 2011c. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩

带早古生代白日切特中酸性岩浆活动：来自锆石U-Pb测年及岩石地球化学证据[J]. 中国地质，38(5)：1 150～1 167.

莫宣学，罗照华，邓晋福，等. 2007. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J]. 高校地质学报，13(3)：403～414.

潘裕生，周伟明，许荣华，等. 1996. 昆仑山早古生代地质特征与演化[J]. 中国科学(D辑：地球科学)，(4)：302～307.

沈其韩. 2009. 推荐一个系统的矿物缩写表[J]. 岩石矿物学杂志，28(5)：495～500.

孙传敏. 1994. 四川盐边元古代蛇绿岩中辉石的成因矿物学及其大地构造意义[J]. 矿物岩石，14(3)：1～15.

孙　雨，裴先治，丁仁平，等. 2009. 东昆仑哈拉尕吐岩浆混合花岗岩：来自锆石U-Pb年代学的证据[J]. 地质学报，83(7)：1 000～1 010.

王　冠. 2014 东昆仑造山带镍矿成矿作用研究[D]. 吉林：吉林大学.

王坤明，王宗起，张英利，等. 2014. 北大巴山高桥地区镁铁质岩单斜辉石矿物化学特征及其指示意义[J]. 岩石矿物学杂志，33(3)：527～539.

王佳玲，巫建华. 2014. 赣东北晚白垩世橄榄玄粗岩系列火山岩中单斜辉石矿物化学及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志，33(1)：163～173.

王　焰，刘　良，车自成，等. 1999. 阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的地球化学特征[J]. 地质论评，45(S1)：1 010～1 014.

王　垚，荆德龙，夏昭德. 2012. 塔里木南缘达拉库岸含铜镍矿杂岩体的地球化学及含矿意义[J]. 西北地质，45(S1)：93～94.

吴利仁. 1963. 论中国基性岩、超基性岩的成矿专属性[J]. 地质科学，4(1)：29～41.

新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京：地质出版社，1～762.

熊富浩，马昌前，张金阳，等. 2011. 东昆仑造山带早中生代镁铁质岩墙群LA-ICP-MS锆石U-Pb定年、元素和Sr-Nd-Hf同位素地球化学[J]. 岩石学报，27(11)：3 350～3 364.

闫佳铭. 2017. 青海东昆仑阿克楚克塞铜镍矿床地质特征及成因探讨[D]. 吉林：吉林大学.

杨经绥，许志琴，李海兵，等. 2005. 东昆仑阿尼玛卿地区古特提斯火山作用和板块构造体系[J]. 岩石矿物学杂志，24(5)：369～380.

杨　森，裴先治，李瑞保，等. 2016. 东昆仑东段布青山地区上二叠统格曲组物源分析及其构造意义[J]. 地质通报，35(5)：674～686.

尹福光，潘桂棠，李兴振，等. 2004. 昆仑造山带中段蛇绿混杂岩的地质地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学，28(2)：194～200.

张爱奎，刘永乐，刘光莲，等. 2015. 青海祁漫塔格成矿带冰沟南地区成矿类型及找矿前景[J]. 西北地质，48(4)：125～140.

张照伟，王亚磊，钱　兵，等. 2017a. 东昆仑冰沟南铜镍矿锆石SHRIMP U-Pb年龄及构造意义[J]. 地质学报，91(4)：724～735.

张照伟，王亚磊，钱　兵，等. 2017b. 东昆仑石头坑德镁铁-超镁铁质岩体矿物学特征及成矿指示[J]. 地质与勘探，53(5)：825～837.

郑健康. 1992. 东昆仑区域构造的发展演化[J]. 青海地质，(1)：15～25.

周　伟，汪帮耀，夏明哲，等. 2016. 东昆仑石头坑德镁铁-超镁铁质岩体矿物学特征及成矿潜力分析[J]. 岩石矿物学杂志，35(1)：81～96.

朱云海，Pan Yuanming，张克信，等. 2000. 东昆仑造山带蛇绿岩矿物学特征及其岩石成因讨论[J]. 矿物学报，20(2)：128～142.

朱云海，张克信，Pan Yuanming，等. 1999. 东昆仑造山带不同蛇绿岩带的厘定及其构造意义[J]. 地球科学，24(2)：134～138.