

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2019.01.004

东昆仑马尼特地区晚三叠世侵入 岩地球化学特征及地质意义

魏小林¹, 康波¹, 甘承萍², 保善斌¹, 王维¹

(1. 青海省地质调查局, 青海 西宁 810001; 2. 青海省第三地质矿产勘查院, 青海 西宁 810029)

摘要: 马尼特地区位于东昆仑阿尼玛卿成矿带, 为确定该区石英闪长岩的形成时代、源区性质和构造背景, 笔者对其进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学和同位素和地球化学研究。结果显示岩体侵位时间为 (206.8 ± 1.7) Ma (MSWK=0.50), 属于晚三叠世。岩石 SiO_2 含量为 57.17%~68.55%, Na_2O 、 K_2O 含量分别为 3.31%~5.39% 和 1.52%~3.37%, 全碱 $\text{ALK}=5.19\% \sim 7.24\%$, 铝饱和指数 $A/\text{CNK}=0.93 \sim 1.25$, 属准铝质-弱过铝质系列岩石。稀土元素分布模式为轻稀土富集, 具弱负 Eu 异常。岩石具有富集大离子亲石元素 (Rb、Ba、K) 和不相容元素 (U、Th), 不同程度亏损 Nb、Ta、Ti、P 等元素的特征。以上特征表明, 岩石为钙碱性-高钾钙碱性的 I 型花岗岩, 结合岩石成岩年龄、地球化学特征以及区域构造演化, 岩石具有后碰撞岩浆活动的特征, 推测其属于东昆仑地块与巴颜喀拉地块碰撞后地壳部分熔融的产物。

关键词: 石英闪长岩; 晚三叠世; 地球化学; 马尼特地区; 东昆仑

中图分类号: P595

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2019)01-0041-11

Geochemical Characteristics and Geological Significance of Late Triassic Intrusive Rock in the Manite Area, East Kunlun

WEI Xiaolin¹, KANG Bo¹, GAN Chengping², BAO Shanbin¹, WANG Wei¹

(1. Qinghai Geology Survey, Xining 810001, Qinghai, China; 2. No. 3 Institute of Geology
Mineral Exploration of Qinghai Province, Xining 810029, Qinghai, China)

Abstract: The Manite area is located in the Animaqing metallogenic belt of East Kunlun. In order to determine the formation time, magma source and tectonic setting of the quartz diorite in this area, the zircon LA-ICP-MS U-Pb dating, isotopic composition and geochemistry have been studied in this paper. The results show that the pluton emplacement time is (206.8 ± 1.7) Ma (MSWK=0.50), belonging to the Late Triassic. The quartz diorite have SiO_2 of 57.17%~68.55%, Na_2O of 3.31%~5.39%, K_2O of 1.52%~3.37%, ALK of 5.19%~7.24% and A/CNK of 0.93~1.25, they are Aluminiums and belong to calc-alkaline rock series. The REE distribution modes show the LREE accumulation and weak negative Eu anomalies. The quartz diorite is characterized by the enrichment of LILEs (Rb, Ba and K) and incompatible elements (U and Th), as well as the depletion of HFSEs (Nb, Ta, Ti and P). Above features show that

收稿日期: 2018-04-09; 修回日期: 2018-09-04

基金项目: 中国地质调查局“东昆仑铜镍多金属资源基地调查”二级项目的子项目(121201011000150005-05)

作者简介: 魏小林(1981-), 男, 青海互助人, 高级工程师, 主要从事矿床地质研究。E-mail: 65329650@qq.com

this rock belongs to high-K calc-alkaline I-type granite. Combined with the geochronological data, geochemical characteristics and the regional tectonic evolution, it's included that this rock has the characteristics of post-collisional magmatism, and the quartz diorite was the product of crustal partial melting after the collision of the East Kunlun block and Bayan Har block.

Keywords: quartz diorite; Late Triassic; geochemistry; Manite area; East Kunlun

东昆仑作为中国中央造山带西段的重要组成部分(姜春发等, 1992; 殷鸿福等, 1997; 莫宣学等, 2007; 祁生胜, 2015), 其地质构造位置与成岩成矿作用突出显著, 历来都是有关地质工作者重点关注的地区之一。马尼特地区位于东昆仑阿尼玛卿造山带, 该带处于东昆仑造山带、西秦岭造山带和巴颜喀拉造山带汇聚交接地区, 是青藏高原东北边缘及北部与中央造山系复合交接的部位, 也是原特提斯东段北缘分支洋盆和古特提斯洋构造体系域复合交织的重要构造部位, 是研究中国大陆构造及其动力学的关键地区。因此, 对该带的构造演化研究较多(边千韬等, 1999; 裴先治, 2001; 刘战庆, 2011a, 2011b; 李佐臣等, 2013)。但对于本区的侵入岩研究目前较为薄弱。赵菲菲等(2017)通过对马尼特地区片麻状花岗闪长岩(495.6Ma)研究, 认为该岩体属洋壳俯冲消减的岩浆响应; 李佐臣等(2013)对布青山地区哥日卓托闪长岩(225.8Ma)的研究, 认为是地块碰

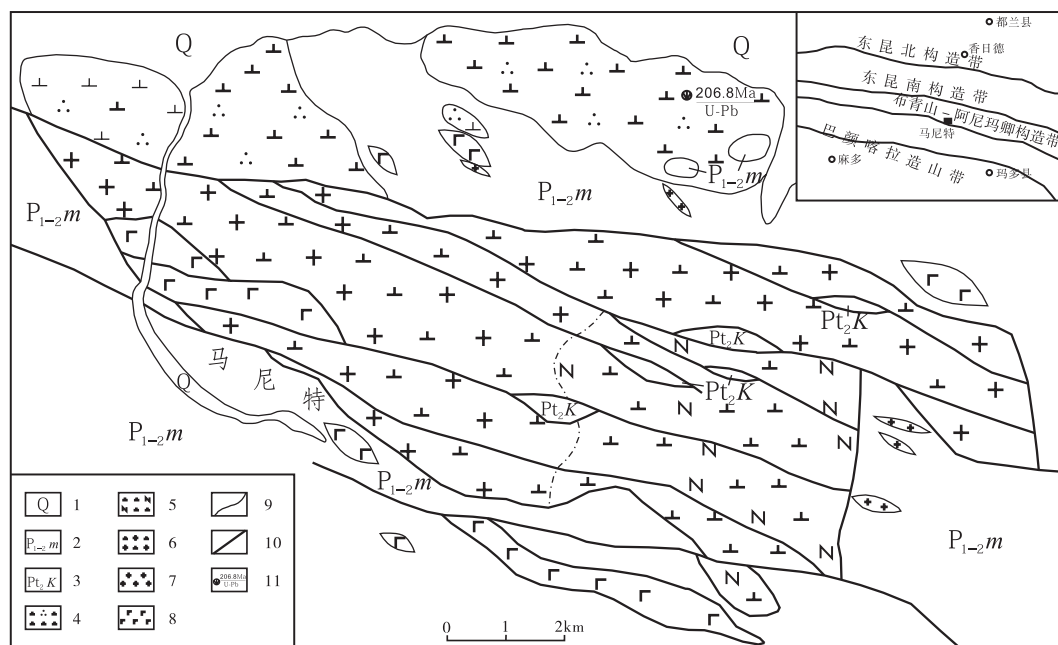
撞后地壳部分熔融的产物, 为晚古生代以来的构造背景及东昆仑地块与巴颜喀拉地块碰撞时代提供约束。笔者选择马尼特地区石英闪长岩进行了岩相学、地球化学、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学和同位素研究, 并探讨其岩石成因、物质来源及与碰撞造山事件之间的关系, 可为该区构造演化提供新的证据。

1 区域地质背景及岩体特征

1.1 区域地质背景

东昆仑造山带位于柴达木盆地南缘, 前人根据东昆仑不同的构造演化曾提出多种不同的构造单元划分方案(古风宝, 1994; 李荣社等, 2008; 张雪亭等, 2007; 孙丰月等, 2003)。

马尼特地区位于东昆南构造带与巴颜喀拉造山带结合部位(图 1), 处于阿尼玛卿蛇绿混杂岩带内。



1. 第四系; 2. 早—中二叠世马尔争组; 3. 中元古代苦海岩群; 4. 晚三叠世石英闪长岩; 5. 中奥陶世英云闪长岩; 6. 顶寒武世—早奥陶世花岗闪长岩; 7. 花岗岩脉; 8. 玄武岩脉; 9. 地质界线; 10. 断层; 11. 同位素年龄及采样位置

图 1 研究区地质简图

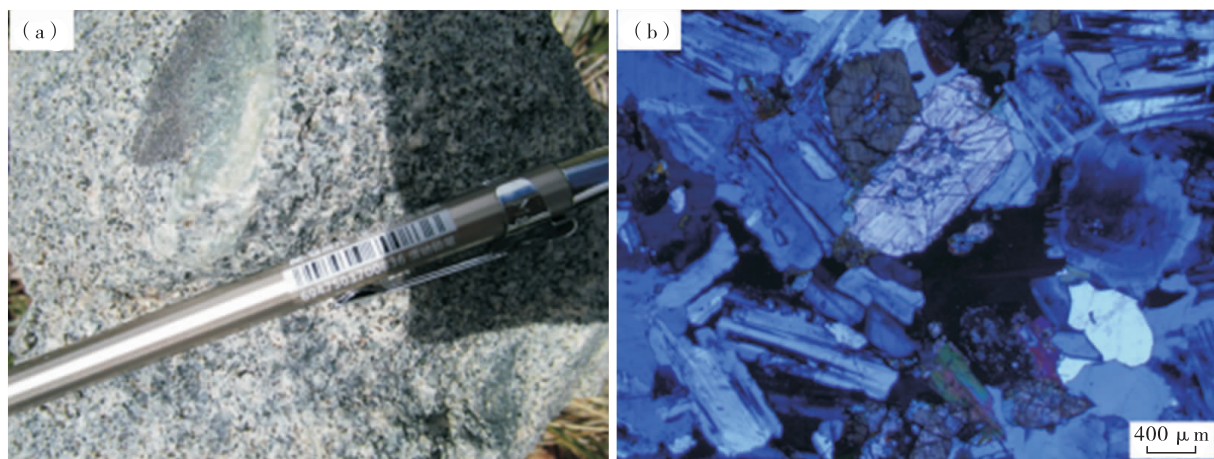
Fig. 1 Geological sketch map of research area

马尼特地区出露的地层较为单一,主要为中元古代苦海岩群、二叠纪马尔争组和第四纪沉积地层。其中二叠纪马尔争组是本区主体地层,呈北西西—南东东向展布,在平面上形成菱形网络状,或平行叠瓦状结构,界面多为断层或强构造形变带,主要岩石类型为砂岩、杂砂岩、岩屑砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩等碎屑岩沉积组合。本区地处位于东昆南构造带与巴颜喀拉造山带交接部位,地质构造比较复杂,不同规模的断裂构造及褶皱构造均很发育,多呈北西—南东向延伸。区内岩浆岩活动强烈,加里东期侵入岩分布面积较大,岩性以英云闪长岩和花岗闪长岩为主,印支期侵入岩主要分布在北部,以石英闪长岩为主。

本次研究的石英闪长岩体出露于马尼特北部地区,以岩株的形式产出,平面上均呈不规则椭圆状,其空间展布与主构造线方向一致,为北西—北西西向,出露面积约 22.5km²。岩体侵入于南侧围岩下一中二叠统马尔争组灰色—灰绿色石英砂岩、薄层状粉砂岩和粉砂质板岩中,北侧被第四系沉积物不整合覆盖。

1.2 岩石学特征

马尼特石英闪长岩体呈近北西—北西西向展布的复式岩株,岩体中局部可见暗色细粒闪长质包体产出(图 2a),其岩石组合为灰色中细粒透辉石闪长岩(图 2b)、灰白色石英闪长岩、灰白色细粒黑云母花岗闪长岩等。



a. 石英闪长岩野外照片;b. 透辉石闪长岩镜下照片

图2 马尼特地区岩石及镜下照片

Fig. 2 Photographs and microphotographs of the Mnite area

灰色中细粒透辉石闪长岩:灰白色,中细粒花岗结构,块状构造。岩石主要组成矿物为斜长石、黑云母、角闪石、透辉石等;副矿物以磁铁矿为主。其中,斜长石呈半自形板状,粒径为 1~3mm,镜下显示多为中长石,少数具不明显的环带构造,杂乱分布,含量为 75%~80%;黑云母呈板状,片径 0.5~1mm,杂乱分布,含量小于 6%;角闪石呈半自形粒状,粒径 0.5~1mm,杂乱分布,含量 5%左右;透辉石呈他形—半自形粒状,粒径 0.5~1mm,含量为 10%~15%,少数发生闪石化,少量晶体边部退变成角闪石,杂乱分布。岩石中局部可见 1~3cm 的石英脉,局部发育弱糜棱岩化。

灰白色石英闪长岩:岩石粒度变化较大,以中细

粒为主,呈花岗结构,块状构造。主要组成矿物为石英、斜长石、黑云母及角闪石等,局部含少量钾长石;副矿物以磁铁矿等为主。石英呈他形粒状,粒径为 0.5~2mm,散布于斜长石之间的空隙中,含量为 5%~15%;钾长石仅在局部可见,含量小于 5%,呈他形粒状,粒径 0.5~2mm,其成分为条纹长石,充填于斜长石之间的空隙中;斜长石呈半自形板状,粒径 0.3~3mm,镜下显示为更—中长石,含量为 55%~80%,普遍发育绢云母化蚀变,少量还发育绿帘石化,杂乱分布;黑云母呈板状,片径 0.5~4mm,发育绿泥石化蚀变,含量为 5%~20%,杂乱分布;角闪石呈粒状或柱状,粒径 0.5~2mm,含量为 5%~10%,杂乱分布。

灰白色细粒黑云母花岗闪长岩:岩石呈细粒花岗结构,块状构造。主要组成矿物为石英、钾长石、斜长石、黑云母等。其中,石英呈他形粒状,粒径 0.5~2mm,杂乱散布于斜长石之间,含量为 20%~25%;钾长石作为最后晶出物充填于斜长石之间的空隙中,形状大小因空隙而异,多呈他形粒状,粒径一般为 0.5~2mm,其成分为微斜长石或条纹长石,含量为 10%~15%,部分晶体中包有斜长石;斜长石呈半自形板状,粒径 0.5~2mm,镜下显示为更长石,杂乱分布,含量为 60%以上,多已绢云母化、绿泥石化;黑云母呈板状,片径 0.5~2mm,杂乱分布,含量为 5%~10%,发育绿泥石化蚀变。

2 分析方法

2.1 化学全分析

笔者选择新鲜无蚀变石英闪长岩体样品 6 件,在国土资源部华北矿产资源监督检测中心天津地质矿产研究所实验测试室样品的主量、微量和稀土元素分析。除 H₂O 用重量法和 FeO 用容量滴定法测定外,其余主量元素都用 X 荧光光谱仪测定,分析精度(相对误差)优于 1%。微量元素和稀土元素采用电感耦合等离子体质谱仪(TJA-PQ-ExCell ICP-MS)测定,分析误差小于 5%。

2.2 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年

用于锆石测年研究的样品采集 1 件(图 1),采样点地理坐标为 97°39′09″N,35°29′09″E,样品岩性为灰色中细粒石英闪长岩。在分选锆石之前,首先用水将样品清洗并晾干,然后粉碎至 80 目,经过分选、细淘之后,在实体显微镜下手工挑选出锆石,将不同特征的锆石黏在双目胶上,并用无色透明的环氧树脂固定。锆石分选工作在河北省廊坊市宇能岩石矿物分选技术服务有限公司完成。

锆石 U-Pb 年龄在天津地质矿产研究所实验测试室进行,通过同位素实验室激光烧蚀多接收器电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)来测定(李怀坤等,2009;魏小林等,2016)。本次测试采用的激光剥蚀束斑直径为 35μm,激光剥蚀样品的深度为 20~40μm。采用 TEMORA 和 GJ-1 作为外部锆石年龄标准进行 U、Pb 同位素分馏校正,单个分析点的同位素比值和同位素年龄的误差为 1σ,年龄值选 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,加权平均年龄误差为 95%

置信度。原始数据数据处理、年龄计算和绘图使用 ICPMSDataCal 程序(LIU et al., 2010)和 ISO-PLOT 程序(LUDWIG, 2003)。

3 分析结果

3.1 地球化学

3.1.1 主量元素

马尼特地区石英闪长岩体主量元素、微量元素和稀土元素含量及特征值见表 1。其中 SiO₂ 含量为 57.17%~68.55%, TiO₂、Al₂O₃ 和 MgO 含量分别为 0.34%~0.91%、15.21%~16.45%、1.32%~4.69%,全碱 ALK=5.19%~7.24%,其中 Na₂O 和 K₂O 含量分别为 3.31%~5.39%、1.52%~3.37%,Na₂O/K₂O 介于 1.15~3.55,铝饱和指数 A/CNK 为 0.93~1.25,属准铝质-弱过铝质系列。

在 TAS 判别图上(图 3a),样品主要落在闪长岩、花岗闪长岩区域及闪长岩与辉长闪长岩过渡区域内,属亚碱性系列。在 K₂O-SiO₂ 图上(图 3b),石英闪长岩体落在钙碱性系列到高钾钙碱性系列。在图 3c 中,主要落入准铝质和过铝质区域。总体上看,石英闪长岩体在主量元素上表现出高硅、富铝、低 Ti、ALK 含量较高和钙碱性-高钾钙碱性系列的岩石地球化学特征。

3.1.2 稀土和微量元素特征

石英闪长岩体的稀土总量较低,ΣREE=117.91×10⁻⁶~234.55×10⁻⁶(平均为 187.67×10⁻⁶)。在球粒陨石标准化的稀土元素配分模式图(图 4a)上,表现为轻稀土强烈富集的右倾型模式。其中,(La/Yb)_N 为 14.31~22.06,(La/Sm)_N 为 4.72~6.05,(Gd/Yb)_N 为 1.98~2.64,说明石英闪长岩体稀土元素分馏明显(轻稀土富集且明显分馏,重稀土亏损且分馏不明显)。岩石具弱负 Eu 异常(Eu/Eu*=0.79~0.81),说明斜长石的分离结晶作用在岩石形成过程中起一定作用,未显示明显的 Ce 异常(Ce/Ce*=0.86~0.98,平均为 0.92)。

石英闪长岩体的大离子亲石元素(LILEs)Rb、Sr、Ba 含量分别为 53.53×10⁻⁶~105.55×10⁻⁶、263.98×10⁻⁶~562.96×10⁻⁶、546.69×10⁻⁶~936.40×10⁻⁶,放射性生热元素(RHPEs)U、Th 含量分别为 1.26×10⁻⁶~3.00×10⁻⁶、8.39×10⁻⁶~

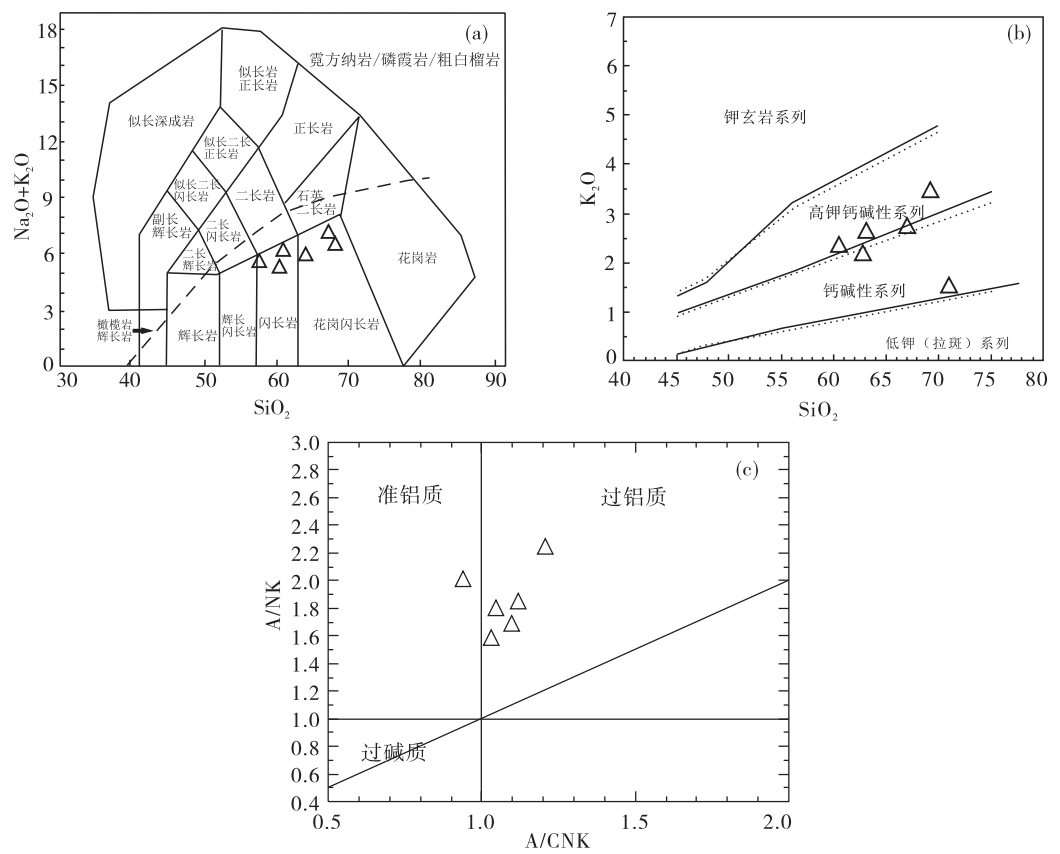


图 3 马尼特石英闪长岩 TAS、SiO₂ - K₂O 和 A/CNK - A/NK 图(a. 据 IRVINE et al. ,1971; b. 据 PECCERILLO et al. ,1976;c. 据 Maniar et al. , 1989)

Fig. 3 Total alkali versus SiO₂ ,SiO₂ versus K₂O and A/CNK versus A/NK diagrams for the Manite quartz diorite (a. 据 IRVINE et al. ,1971;b. 据 PECCERILLO et al. ,1976;c. 据 Maniar et al. ,1989)

表 1 马尼特石英闪长岩体主量元素(%)、稀土元素和微量元素(10⁻⁶)分析结果表
Tab. 1 Major(%),REE and trace(10⁻⁶) element compositions of the Manite quartz diorite

样品编号	D1590 - 1	PM003 - 2	PM003 - 8	PM003 - 12	PM006 - 19	PM006 - 25
岩 性	石英闪长岩	透辉石闪长岩	石英闪长岩	黑云母花岗闪长岩	石英闪长岩	石英闪长玢岩
SiO ₂	60. 16	57. 17	60. 72	68. 15	68. 55	64. 32
TiO ₂	0. 85	0. 91	0. 81	0. 44	0. 34	0. 53
Al ₂ O ₃	16. 45	16. 25	15. 88	15. 21	15. 63	15. 61
Fe ₂ O ₃	6. 41	2. 42	1. 55	1. 11	1. 14	0. 91
FeO	4. 44	3. 88	3. 92	2. 01	1. 62	2. 13
MnO	0. 11	0. 12	0. 10	0. 07	0. 06	0. 05
MgO	3. 99	4. 69	2. 62	1. 32	1. 37	1. 86
CaO	4. 17	7. 12	4. 44	2. 88	3. 13	3. 72
Na ₂ O	3. 31	3. 35	3. 70	3. 87	5. 39	3. 67
K ₂ O	1. 88	2. 06	2. 54	3. 37	1. 52	2. 34
P ₂ O ₅	0. 32	0. 27	0. 34	0. 16	0. 08	0. 16
CO ₂	1. 92	1. 10	1. 65	0. 74	0. 67	2. 75
H ₂ O ⁺	1. 76	0. 67	1. 72	0. 91	1. 39	2. 15

续表 1

样品编号	D1590 - 1	PM003 - 2	PM003 - 8	PM003 - 12	PM006 - 19	PM006 - 25
岩 性	石英闪长岩	透辉石闪长岩	石英闪长岩	黑云母花岗闪长岩	石英闪长岩	石英闪长玢岩
Na ₂ O/K ₂ O	1.76	1.63	1.46	1.15	3.55	1.57
A/CNK	1.25	0.93	1.05	1.04	1.10	1.13
A/NK	2.17	2.05	1.73	1.42	1.57	1.77
Mg #	19.00	31.72	22.81	20.85	23.70	27.44
La	51.2	48.4	51.6	43.6	18.3	30.7
Ce	102	82.2	92.6	72.5	29.7	49.9
Pr	12.0	9.4	10.3	7.9	3.4	5.3
Nd	44.1	35.0	37.3	27.6	12.2	19.8
Sm	7.0	6.4	6.2	4.6	2.2	3.4
Eu	2.1	1.6	1.6	1.1	0.7	0.9
Gd	5.4	5.9	5.7	4.4	2.1	3.2
Tb	0.84	0.8	0.7	0.5	0.2	0.3
Dy	4.3	4.8	4.0	3.0	1.5	2.0
Ho	0.81	0.8	0.7	0.5	0.2	0.3
Er	1.8	2.5	2.1	1.5	0.6	0.8
Tm	0.30	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1
Yb	2.1	2.4	2.1	1.6	0.9	1.0
Lu	0.28	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1
Y	21.4	23.6	20.1	15.2	7.0	8.9
(La/Sm) _N	4.72	4.86	5.36	6.05	5.27	5.83
(La/Yb) _N	17.64	14.31	17.75	19.65	14.92	22.06
(Gd/Yb) _N	2.15	2.02	2.26	2.28	1.98	2.64
δEu	0.99	0.77	0.80	0.72	1.00	0.86
δCe	0.98	0.89	0.93	0.89	0.86	0.88
ΣREE	255.98	224.74	235.66	184.43	79.30	126.82
Rb	77.31	65.86	95.80	126.42	53.53	105.55
Ba	936.4	684.05	756.92	820.21	546.69	562.98
Th	13.5	9.89	12.34	13.67	8.39	8.45
U	2.47	1.38	3.00	2.02	1.26	1.98
Nb	29.56	26.98	27.15	23.81	5.45	9.11
Ta	1.03	1.20	1.08	0.58	0.74	0.62
Sr	562.96	491.98	499.10	376.11	340.17	263.98
Zr	211	176.59	170.95	175.99	113.87	138.59
Hf	3.5	5.74	5.16	4.89	2.24	2.55
Sc	20.4	22.84	11.71	6.11	7.69	7.31
V	141.14	158.27	94.57	42.53	50.03	54.34
Cr	103	149.52	39.46	24.04	26.63	42.86
Co	27.23	27.26	16.08	7.79	9.89	9.94
Ni	48.29	49.37	17.23	12.51	14.81	19.99
Cu	28.37	39.79	29.99	83.26	8.44	5.91
Zn	64.71	76.19	65.96	44.41	39.02	44.10
Pb	16.12	15.66	30.95	21.68	12.89	13.04

13.67×10^{-6} , 高场强元素 (HFSEs) Nb、Ta、Zr、Hf 含量分别为 $5.45 \times 10^{-6} \sim 29.56 \times 10^{-6}$ 、 $0.58 \times 10^{-6} \sim 1.20 \times 10^{-6}$ 、 $113.87 \times 10^{-6} \sim 211.00 \times 10^{-6}$ 、 $2.24 \times 10^{-6} \sim 5.74 \times 10^{-6}$ 。在原始地幔标准化的微

量元素蛛网图(图 4b)上,石英闪长岩表现出大离子亲石元素 (LILEs) Rb、Ba、K 和放射性生热元素 (RHPEs) U、Th 富集,不同程度亏损 Nb、Ta、Ti、P 等元素的特点。

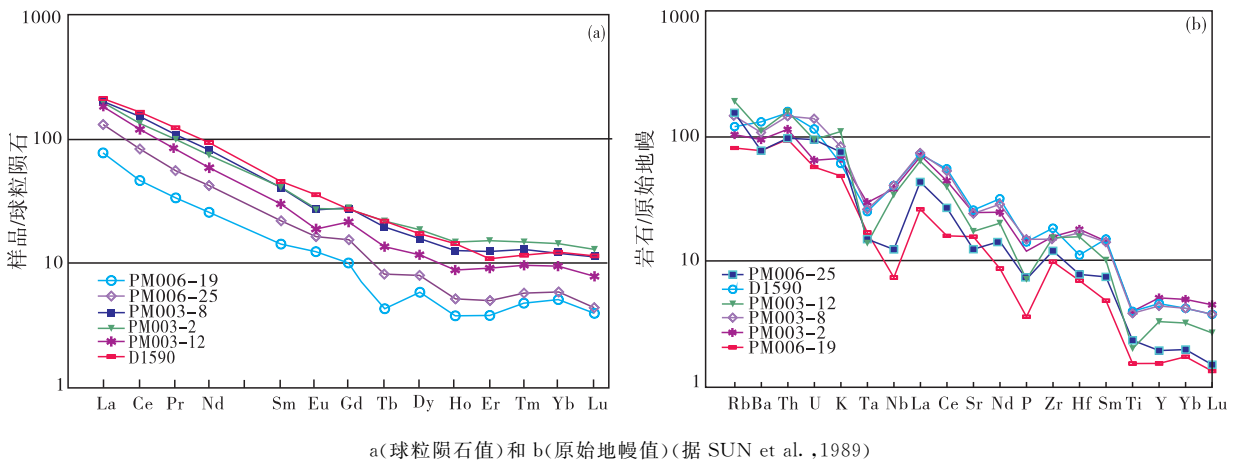


图 4 马尼特石英闪长岩稀土元素配分模式和微量元素蛛网图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element patterns for the Manite quartz diorite

3.2 锆石 U - Pb 年代学

马尼特石英闪长岩体样品(D1590 - 1)中大部分锆石显示自形程度较好(图 5),呈浅黄色-无色透明,柱状,长约 $80 \sim 300 \mu\text{m}$,宽约 $40 \sim 100 \mu\text{m}$,长宽比为 $2:1 \sim 6:1$,具有明显的震荡环带和扇形环带,表明为岩浆成因锆石(BELOUSOVA et al., 2002; 吴元保等, 2004)。研究表明,不同成因锆石具有不

同的 Th/U 值,岩浆成因锆石 Th/U 值一般大于 0.4,变质成因锆石 Th/U 值一般小于 0.1(吴元保等, 2004)。在有效的 14 个测试点中(表 2),锆石中 Th 含量介于 $1388.16 \times 10^{-6} \sim 2578.62 \times 10^{-6}$, U 含量介于 $1305.05 \times 10^{-6} \sim 2518.86 \times 10^{-6}$,所有 Th/U 值介于 $0.95 \sim 1.19$,也显示了岩浆成因锆石的特征。

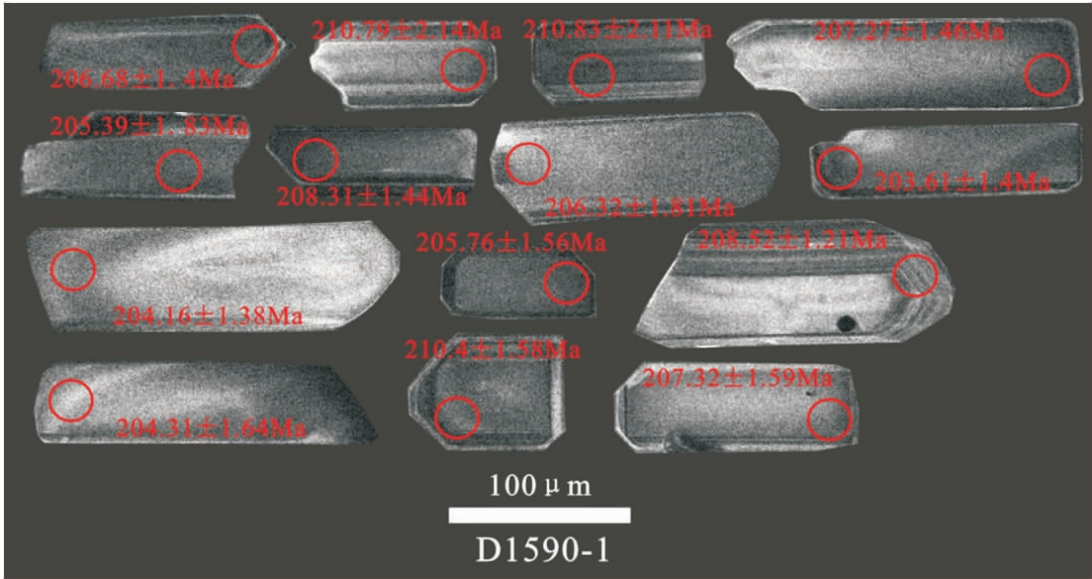


图 5 马尼特石英闪长岩锆石 CL 图像

Fig. 5 CL photos of the zircons from Manite quartz diorite

表 2 石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果表
Tab. 2 LA-ICP-MS Zircon U-Pb isotopic dating of granite gneiss

点号	元素含量(10^{-6})			同位素比值						表面年龄(Ma)					
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
1	2 524.11	2 396.66	1.05	0.052 85	0.001 47	0.237 36	0.009 99	0.032 58	0.000 22	324.13	62.96	216.26	8.20	206.68	1.40
2	2 264.94	1 914.05	1.18	0.049 38	0.001 33	0.220 82	0.008 86	0.032 37	0.000 29	164.90	62.95	202.59	7.37	205.39	1.83
3	2 578.62	2 307.26	1.12	0.051 05	0.001 35	0.234 62	0.009 20	0.033 24	0.000 34	242.66	56.47	214.01	7.57	210.79	2.14
4	2 247.05	2 180.04	1.03	0.052 57	0.001 25	0.238 28	0.008 93	0.032 84	0.000 23	309.32	55.55	217.01	7.32	208.31	1.44
5	1 309.77	1 305.05	1.00	0.054 63	0.001 82	0.249 92	0.011 55	0.033 25	0.000 34	398.20	78.70	226.51	9.39	210.83	2.11
6	2 456.77	1 936.76	1.27	0.050 08	0.001 50	0.225 99	0.009 31	0.032 68	0.000 23	198.23	68.51	206.88	7.71	207.27	1.46
7	1 306.68	1 502.59	0.87	0.055 96	0.001 79	0.251 38	0.010 13	0.032 52	0.000 29	450.05	65.74	227.69	8.22	206.32	1.81
8	2 399.81	2 051.75	1.17	0.051 34	0.001 12	0.227 70	0.007 44	0.032 18	0.000 22	257.47	49.99	208.30	6.16	204.16	1.38
9	2 489.97	2 518.85	0.99	0.053 56	0.001 39	0.239 89	0.008 36	0.032 43	0.000 25	353.76	54.63	218.33	6.84	205.76	1.56
10	1 738.17	1 994.83	0.87	0.053 39	0.001 50	0.241 83	0.009 46	0.032 87	0.000 19	346.35	64.81	219.92	7.73	208.52	1.21
11	1 787.01	1 887.57	0.95	0.054 82	0.001 53	0.243 49	0.008 86	0.032 09	0.000 22	405.61	61.11	221.28	7.23	203.61	1.40
12	1 833.91	1 716.28	1.07	0.055 47	0.001 74	0.245 42	0.009 24	0.032 20	0.000 26	431.53	65.74	222.85	7.54	204.31	1.64
13	2 493.50	2 096.14	1.19	0.056 19	0.001 66	0.255 92	0.009 53	0.033 17	0.000 25	461.16	64.81	231.37	7.70	210.35	1.59
14	1 388.16	1 402.10	0.99	0.058 75	0.001 74	0.264 56	0.010 91	0.032 68	0.000 25	566.70	60.18	238.34	8.76	207.32	1.59

对样品锆石进行了 LA-ICP-MS 定年分析, 去掉不谐和测点后剩余测点 14 个, 这些测点均位于岩浆生长环带上, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄相接近, 多

集中在 203~211Ma, 加权平均年龄为 $(206.8 \pm 1.7)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=0.50$) (图 6)。因此, 马尼特石英闪长岩体的结晶时代定为晚三叠世。

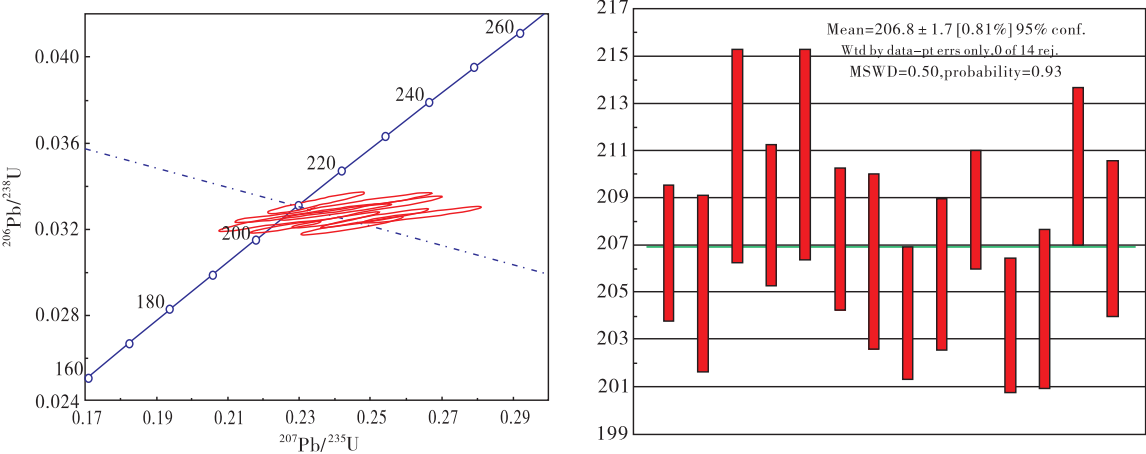


图 6 石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图及表面年龄权重值图
Fig. 6 LA-ICP-MS zircon U-Pb age harmony map and surface age weight value of quartz diorite

4 讨论

4.1 岩浆源区及成因

马尼特石英闪长岩体主要岩石组合为透辉石闪

长岩-石英闪长岩-黑云母花岗闪长岩, 铝饱和指数 $A/\text{CNK}=0.93\sim1.25$ (平均为 1.08), $A/\text{NK}=1.42\sim2.17$, 属准铝质-过铝质系列 (图 3c)。在矿物学特征上, 科德日特石英闪长岩体暗色矿物以角闪石和黑云母为主; 副矿物主要为榍石, 未见富铝矿物和

碱性铁镁矿物。从数值上看,其 A/CNK 值稍高于 I 型花岗岩的平均值,但仍在 I 型花岗岩范围内。花岗岩类富 Zr 和亏损 Nb、Ta、Ti 的岩石地球化学特征通常被认为是以壳源组分为主的岩浆源区的一个地球化学标志(TAYLOR et al., 1985; WOLF et al., 1989),马尼特岩体 $Mg^\#$ 值较小($Mg^\# = 19.00 \sim 31.72$)、Zr/Hf 值($Zr/Hf = 30.76 \sim 60.28$, 平均为 44.23)与地壳平均值 33($30.33 \sim 46.13$)接近,也说明了这一点。区域上岩体中发育细粒暗色闪长质包体,则指示存在着壳幔岩浆混合作用。

马尼特岩体具有高硅、高碱的地球化学特征, SiO_2 含量为 $57.17\% \sim 68.55\%$ (平均为 63.18%), Alk 含量为 $5.19\% \sim 7.24\%$ (平均为 6.17%), K/Rb 值差异较大,为 $183.96 \sim 259.54$ (平均为 220.35),显示岩体经历了较高分异演化过程。研究表明(欧阳京等,2010),岩浆中斜长石的分异将导致 Sr、Eu 负异常,而钾长石的分异则产生 Ba、Eu 负异常。岩体中表现出的弱负 Eu 异常可能是由岩浆演化过程中发生的斜长石的分离结晶作用所致。岩体具有轻重稀土分异明显、重稀土较平坦

的右倾型配分模式,应是源区中磷灰石等副矿物分离结晶、同时无石榴子石和角闪石分离结晶所导致,岩体中显著的 P 亏损也应是磷灰石分离结晶作用所致;由于岩体中普遍出现榍石,因此,岩体中表现出的微量元素 Ti 的负异常应主要为钛铁矿和金红石等含 Ti 矿物分离结晶所致,加上 Nb、Ta 对金红石有高的分配系数,金红石的分离结晶也可能是形成 Nb、Ta 负异常的主要原因。上述微量元素岩石地球化学特征亦可证明岩体经历了较高分异演化作用。

综上所述,马尼特石英闪长岩的岩浆来源于壳幔岩浆的混合作用,并经历了较高分异演化作用的结果。

4.2 形成构造环境

在岩体微量元素蛛网图上, Sr、Ba、Nb、Ta、P、Ti 等元素显著亏损,且随着 SiO_2 含量的增高亏损呈度变强,表现出了岩浆弧花岗岩类的特征。在 Pearce 等的花岗岩构造环境判别图解上(图 7a),马尼特岩体主要落于火山弧花岗岩范围内。

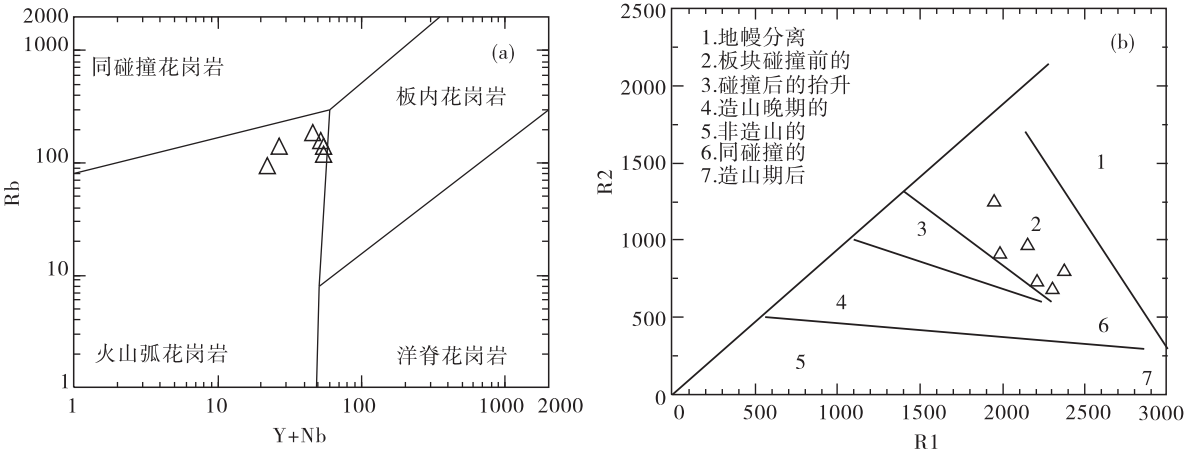


图 7 马尼特石英闪长岩构造环境判别图解
Fig. 7 Tectonic discrimination diagram of Manite quartz diorite

前人研究表明(黄坚等,2012;李佐臣等,2013),在晚三叠世之后东昆仑地区进入到了板内演化阶段,继续抬升,使古近纪湖相沉积地层不整合在三叠纪及以前的地层之上。地球物理方面,东昆仑地区普遍缺失基性下地壳,许志琴等(2004)通过地球物理资料证明了青藏高原内部的东昆仑高速异常带代表了地体拼合的地质历史过程中保留的大洋岩石圈

的“化石”残片,显示了岩石圈俯冲极性及其拆沉的特征。邓晋福等(1996)通过对格尔木-额济纳旗地学断面研究,提出在东昆仑-柴达木地区莫霍界面之下有一个基性榴辉岩上地幔岩石圈,这可能是由于幔源岩浆底侵作用,使板片断离落入上地幔(莫宣学等,2007),也说明了东昆仑地区发生过拆沉事件。马尼特石英闪长岩体形成于晚三叠世,笔者推测其

形成机制为:由于晚二叠世一早中三叠世阿尼玛卿-布青山洋的向北俯冲形成的玄武质岩浆底侵于下地壳,在中三叠世晚期闭合发生碰撞造山作用后,由于巴颜喀拉地块的俯冲作用使地壳发生加厚,随后新生加厚下地壳达到榴辉岩相拆沉到伏地幔中,发生脱水熔融形成了具有高 Sr、Na,低 Y、HREE 以及亏损 Nb、Ta 特征的原生岩浆,这些原生岩浆在上升的过程中经过上覆地幔的交代混染作用,从而形成马尼特岩体。

5 结论

(1)马尼特石英闪长岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $(206.8 \pm 1.7) \text{ Ma}$ (MSWD = 0.50),表明该岩体形成于晚三叠世晚期。

(2)马尼特石英闪长岩体具有 I 型花岗岩的特征,高硅、富铝、低 Ti、ALK 含量较高,钙碱性-高钾钙碱性系列,具弱负 Eu 异常,岩浆来源于壳幔岩浆的混合作用,并经历了较高程度分异演化作用。

(3)马尼特石英闪长岩体具有后碰撞岩浆活动的特征,推测是东昆仑地块与巴颜喀拉地块碰撞后地壳熔融的产物,形成于后碰撞环境;进而为晚古生代以来的构造背景及东昆仑地块与巴颜喀拉地块碰撞时代提供了约束。

致谢:陕西省核工业地质调查院的野外工作者付出了艰辛劳动,西北地质编辑部的匿名审稿专家也提出了宝贵的修改意见,在此一并表示感谢!

参考文献(References):

边千韬,罗小全,陈海泓,等.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,1999,34(4):420-426.

BIAN Qiantao, LUO Xiaoquan, CHEN Haihong, et al. Zircon U-Pb age of Granodiorite-Tonalite in the A'nyemagen Ophiolitic Belt and its Tectonic Significance[J]. Scientia Geologica Sinica, 1999, 34(4): 420-426.

邓晋福,杨建军,赵海玲,等.格尔木-额济纳旗断面走廊域火成岩-构造组合与大地构造演化[J].现代地质,1996,10(3):330-343.

DENG Jinfu, YANG Jianjun, ZHAO Hailing, et al. Igneous Petrotectonic Assemblages and Geotectonic Evolution Along the Lmud-Ejinaqi Geosciences Section[J]. Geosci-

ence, 1996, 10(3): 330-343.

古凤宝.东昆仑地质特征及晚古生代—中生代构造演化[J].青海地质,1994,2(1):4-14.

GU Fengbao. Geological Characteristics of East Kunlun and Tectonic Evolution in Late Palaeozoic-Mesozoic Era[J]. Qinghai Geology, 1994, 2(1): 4-14.

黄坚.东昆仑晚三叠世构造伸展作用——来自冰沟基性岩墙群的证据[A].武汉:中国地质大学硕士学位论文[D].2013,1-58.

HUANG Jian. The Late Triassic Extension of East Kunlun Orogenic Belt: Evidence from Binggou Mafic Dykes[D]. China University of Geosciences(Wuhan), 2013, 1-58.

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

JIANG Chunfa, YANG Jingsui, FENG Binggui, et al. Opening-Closing Patterns in Kunlun[M]. Beijing, Geological Publishing House, 1992, 224.

李怀坤,耿建珍,郝爽,等.用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J].矿物岩石地球化学通报,2009,28(增刊):77.

LI Huikun, GENG Jianzhen, HAO Shuang, et al. Zircon U-Pb dating technique using LA-MC-ICPMS, Bulletin of Mineralogy[J]. Petrology and Geochemistry, 2009, 28 (Supp.): 77.

李荣社,计文化,杨永成,等.昆仑山及邻区地质[M].北京:地质出版社,2008.

LI Rongshe, JI Wenhua, YANG Yongcheng, et al. Kunlun Mountain and Its Adjacent Area Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.

李佐臣,裴先治,刘战庆,等.东昆仑南缘布青山构造混杂岩带哥日卓托闪长岩体年代学、地球化学特征及其地质意义[J].地质学报,2013,87(8):1089-1103.

LI Zuochen, PEI Xianzhi, LIU Zhanqing, et al. Geochronology and Geochemistry of the Gerizhuotuo Diorites from the Buqingshan Tectonic Melange Belt in the Southern Margin of East Kunlun and Their Geologic Implications[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(8): 1089-1103.

刘战庆,裴先治,李瑞保,等.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,2011a,30(8):1182-1195.

LIU Zhanqing, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. Geological Characteristics of the Buqingshan Tectonic Melange Belt in the Southern Margin of East Kunlun and its Tectonic Implications[J]. Geological Bulletin of China, 2011a, 30 (8): 1182-1195.

- 刘战庆. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩带地质特征及区域构造研究[D]. 西安:长安大学博士学位论文,2011b: 1-180.
- LIU Zhanqing. Study on the Geological Characteristics and Tectonic of Buqingshan Melanges Belt, the South Margin of East Kunlun Mountains[D]. Chang'an University Xi'an, 2011b: 1-180.
- 莫宣学, 罗照华, 邓晋福, 等. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J]. 高校地质学报, 2007, 13(3): 403-414.
- MO Xuanxue, LUO Zhaozhua, DENG Jinfu, et al. Granitoids and Crustal Growth in the East-Kunlun Orogenic Belt [J]. Geological Journal of China Universities 2007, 13 (3): 403-414.
- 裴先治. 勉略-阿尼玛卿构造带的形成演化与动力学特征 [A]. 西安:西北大学博士学位论文[D], 2001: 1-155.
- PEI Xianzhi. Geological Evolution and Dynamics of the Mian-lue-A'nyemaqen Tectonic Zone, Central China [A]. Xi'an: Northwest University[D], 2001: 1-155.
- 祁生胜. 青海省东昆仑造山带火成岩岩石构造组合与构造演化[A]. 北京:中国地质大学博士学位论文[D], 2015: 1-334.
- QI Shengsheng. Petrotectonic assemblages and tectonic evolution of the East Kunlun orogenic belt in Qinghai Province[A]. China University of Geosciences(Beijing)[D]. 2015: 1-334.
- 魏小林, 曾小平, 甘承萍, 等. 东昆仑查干杂诺地区中三叠世中酸性侵入岩地球化学特征及地质意义[J]. 西北地质, 2016, 49(2): 1-10.
- WEI Xiaolin, ZENG Xiaoping, GAN Chengping, et al. Geochemistry and Geological Significance of Intermediate-Acid Intrusive Rock in the Chaganganuo, Eastern Kunlun[J]. Northwestern Geology, 2016, 49(2): 1-10.
- 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.
- WU Yuanbao, ZHENG Yongfei. Genetic Mineralogy of Zircon and its Restriction on U-Pb Age Interpretation[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(16): 1589-1604.
- 许志琴, 姜枚, 杨经绥, 等. 青藏高原的地幔结构: 地幔羽、地幔剪切带及岩石圈俯冲板片的拆沉[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 329-343.
- XU Zhiqin, JIANG Mei, YANG Jingsui, et al. Mantle structure of Qinghai-Tibet Plateau: Mantle plume, mantle shear zone and delamination of lithospheric slab [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(4): 329-343.
- 殷鸿福, 张克信. 东昆仑造山带的一些特点[J]. 地球科学, 1997, 22(4): 339-342.
- YING Hongfu, ZHANG Kexin. Characteristics of the Eastern Kunlun Orogenic Belt[J]. Earth Science, 1997, 22 (4): 339-342.
- 赵菲菲, 孙丰月, 刘金龙. 东昆仑马尼特地区片麻状花岗岩闪长岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其构造背景[J]. 地球科学, 2017, 42(6): 927-940.
- ZHAO Feifei, SUN Fengyue, LIU Jinlong. Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of the Gneissic Granodiorite in Manite Area from East Kunlun, with Implications for Geodynamic Setting[J]. Earth Science, 2017, 42 (6): 927-940.
- 张雪亭, 王秉璋, 俞建, 等. 青海省区域地质概论[M]. 北京:地质出版社, 2007b: 1-156.
- ZHANG Xueting, WANG Bingzhang, YU Jian, et al. A review of regional geology of Qinghai Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007b: 1-156.
- BELOUSOVAEA, SUZANNE GW, FISHER Y. Igneous Zircon: Trace Element Composition as an Indicator of Source Rock Type[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2002, 143: 603-622.
- IRVINE TN, BARAGAR WRA. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1971, 8(5): 523-548.
- LIU Yongsheng, HU Zhaochu, ZONG Keqing, et al. Reappraisal and refinement of zircon 21-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science 22-Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- LUDWIG KR. ISOPLOT 3: a User Manual, a Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. California, Geochronology Centre Berkeley, Special Publication, 2003, 4: 74.
- MANIAR PD, PICOLI PM. Tectonic Discrimination of Granitoids[M]. Geological Society of American Bulletin, 1989, 101(5): 635-643.
- PECCERILLO A, TAYLOR AR. Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 58(1): 63-81.
- TAYLOR SR, MCLENNAN SM. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. Oxford: Blackwell Scientific, 1985, 312.
- WOLF MB, WYLLIE PJ. The Formation of Tonalitic Liquids During the Vapor-absent Partial Melting of Amphibolite at 10 kbar[J]. Eos, 1989, 70: 506-518.