阿拉善地块北缘西段雅布赖岩体暗色微粒包体的岩浆混合成因

王凯垒,张家兴,张学萌,李会恺,郑乐,倪锁阳,李敬华,孙万林,王齐
华北地质勘查局五一九大队,河北保定,071000

内容提要:雅布赖岩体位于阿拉善地块北缘,雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带最西端,该地区广泛出露中酸性岩浆岩,主要岩石类型为花岗闪长岩与二长花岗岩,岩体内部广泛发育暗色微粒包体,锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年显示其均形成于早二叠世,花岗闪长岩年龄为 277.0±1.6 Ma,二长花岗岩年龄为 283.4±2.0 Ma,暗色微粒包体年龄为 284.7±2.4 Ma。暗色微粒包体为岩浆结构,大多数具塑性流变特征,发育淬冷边、反向脉,存在多种矿物不平衡结构和矿物组合,包体与寄主岩石具有相似的稀土配分模式和微量元素特征,在主要氧化物哈克图解中具有很好的线性关系,在同分母氧化物比值协变图上表现为线性相关,在多元素异分母比值图解上表现为双曲线演化关系,显示了岩浆混合作用的特征。结合前人研究,雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带内广泛分布的晚古生代岩浆岩形成了一条岩浆岩带,其中雅布赖岩体可能形成于古亚洲洋向南俯冲的活动大陆边缘环境。

关键词:岩浆混合作用;暗色微粒包体;地球化学;锆石 U-Pb 年代学;雅布赖地区

岩浆混合作用是造成火成岩多样性和复杂性的重要原因(邓晋福等,2004),同时也为探索地壳演化、壳幔相互作用提供了重要线索(王涛,2000;莫宣学等,2002;李永军等,2013; 林蕾等, 2018)。在花岗岩中,暗色微粒包体(MME)是反映岩浆混合作用的直接证据,是人们了解岩浆混合作用方式、成岩过程物化条件、端元岩浆组分等方面信息不可缺少的研究对象(刘成东等,2002;王玉往等,2007; 杨蓉等,2017)。一般而言,发育岩浆暗色包体且包体具有淬冷结构、针状磷灰石,交代边、矿物镶边等不平衡矿物组合和结构等岩相学特征,是指示岩浆混合作用存在的直接证据(Hibbard,1991;王德滋等,1999;王涛,2000;王晓霞等, 2002;齐有强等,2008;张建军等,2012)。

中亚造山带挟持于西伯利亚克拉通和塔里木克拉通之间,是地球上保存最大的、最好的元古宙—显生宙增生造山带(汪相,2018)。南部发育有广泛的岩浆岩,记录了古亚洲洋从新元古代到二叠纪以来长期的向南俯冲消减过程(Xiao Wenjiao et al.,2015;彭云彪等,2018),而对于该大洋最终的闭合时间仍然没有统一的认识,一种观点认为古亚洲洋在早古生代已经闭合(Xu Bei et al.,2012;徐备等,2014);另一种观点认为古亚洲洋俯冲一直持续到晚古生代至早中生代(Xiao Wenjiao et al.,2015; Song Dongfang et al.,2015;汪相,2018);近来,吕洪波等(2018)在狼山一带发现晚中生代蛇绿混杂岩,认为中亚造山带最后拼合的时间可以推迟到晚白垩世。

阿拉善地块北缘地区是中国境内的中亚造山带南缘中段,位于华北板块和塔里木板块的连接之处,也是中亚造山带南缘和阿拉善地块的交界地带,具有非常关键的构造位置(图 1a),为探讨阿拉善—华北克拉通与中亚造山带的边界以及古亚洲洋构造演化问题提供了很好的窗口(Feng Jianyun et al.,2013; 郑荣国等,2013)。阿拉善地块北缘地区古生代—早中生代岩浆岩主要发育于北部宗乃山-沙拉扎山构造带和南部雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带。针对雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带中段和东段的诺日公—红谷尔玉林地区发育的侵入岩,近年来开展了很多研究(史兴俊等,2012; 张建军等,2012; 李杰,2012; Wang Zengzhen et al.,2015;陈虹,2015)。相对而言,该构造带西段的雅布赖地区岩浆岩研究相对薄弱,其岩浆活动时空特征和成因并不清楚,这限制了对整个雅布赖—诺日

注:本文为中国地质调查局地质调查项目(编号:DD20160039-13)的成果。
收稿日期:2018-09-09;改回日期:2019-11-08;责任编辑:章雨旭。Doi:10.16509/j.georeview.2020.01.002
作者简介:王凯垒,男,1989年生,工程师,主要从事区域地质、矿产地质调查工作;Email:947981910@qq.com。

公—红谷尔玉林构造带乃至整个阿拉善北部岩浆岩成因和构造演化的认识。雅布赖地区侵入岩能否与诺日公—红谷尔玉林地区的岩浆岩进行对比还有待进一步确认。雅布赖地区晚古生代侵入岩的研究对于认识雅布赖—诺尔公—红谷尔玉林地区岩浆岩的形成时间、演化过程及构造背景具有重要意义。

本文对雅布赖地区中酸性岩浆岩及其暗色微粒包体进行岩相学、地球化学及 U-Pb 同位素测年研究,探讨该岩体的岩浆混合成因,为深入了解阿拉善地区北部晚古生代岩浆作用提供新资料。

1 地质背景

阿拉善北部地区存在两条重要的蛇绿岩带(图 1b),即恩格尔乌苏蛇绿岩带和查干楚鲁蛇绿岩带(巴丹吉林断裂),(王廷印等,1994;吴泰然和何国琦,1993;李俊健,2006;Zheng Rongguo et al.,2014)。多数学者认为恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带是阿拉善地块与中亚造山带的界限,代表了古大洋闭合的位置,而查干楚鲁蛇绿岩带被认为代表了闭合的弧后洋盆(王廷印等,1994;李俊健,2006;Zheng Rongguo et al.,2014)。最近研究认为阿拉善地块与北部中亚造山带的界线可能位于查干楚鲁蛇绿岩带,而并非恩格尔乌苏蛇绿岩带(Shi Xingjun et al.,2014;史兴俊等,2014;Zhang Jianjun et al.,2015)。这两条蛇绿岩带将本区自北向南划分为珠斯楞—杭乌拉构造带、宗乃山—沙拉扎山构造带、雅布赖—诺

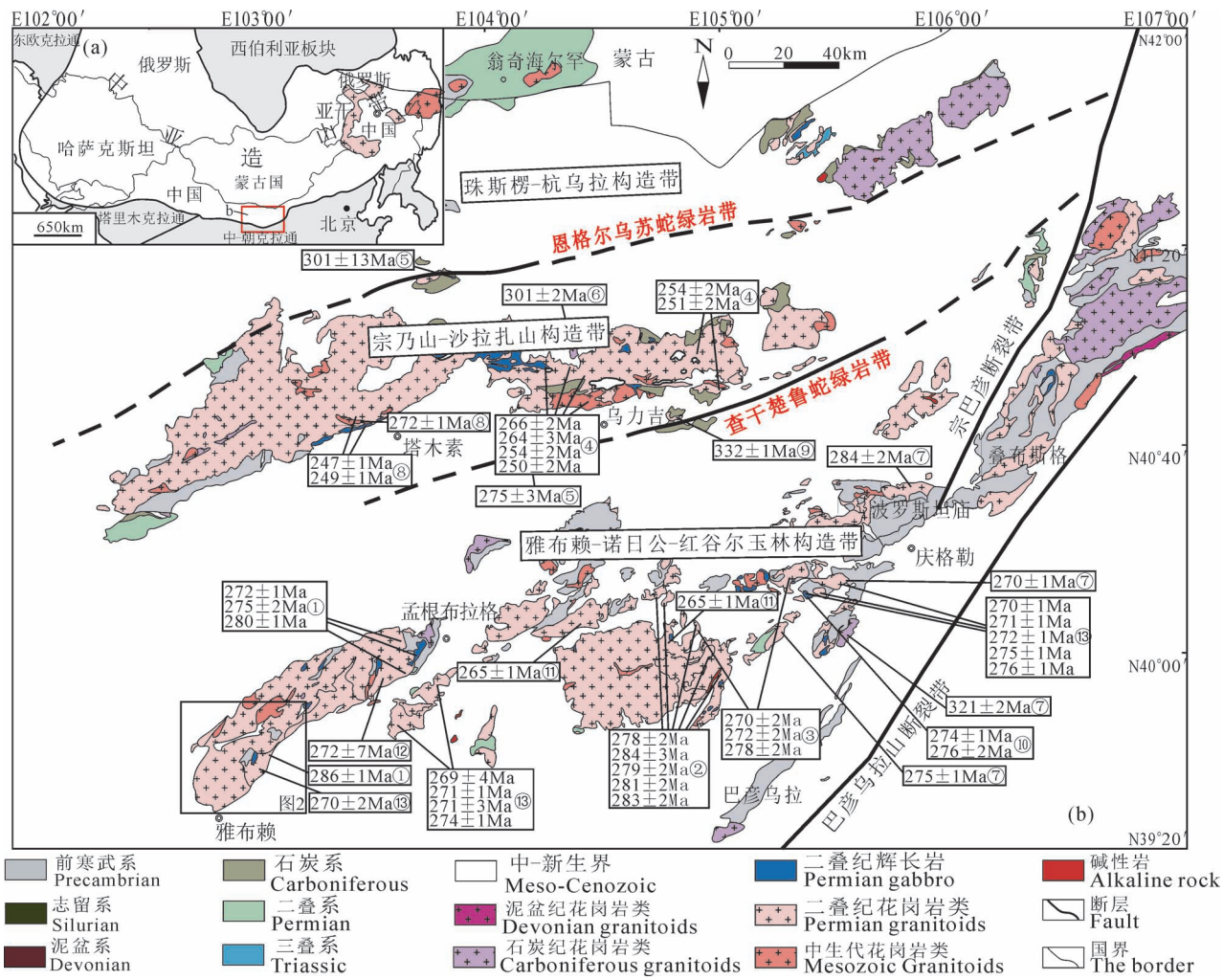


图 1 阿拉善地区大地构造位置(a)和阿拉善北部地质简图(b)(据史兴俊等,2014)

Fig. 1 Tectonic location(a) and geological map of northern Alxa (after Shi Xingjun et al.,2014&)

数据来源:① 叶珂等,2016;②Dan Wei et al.,2014;③Dan Wei et al.,2015;④Shi Xingjun et al.,2014;⑤Zheng Rongguo et al.,2014;⑥杨奇荻等,2014;⑦史兴俊等,2012;⑧史兴俊等,2014;⑨甘立胜等,2018;⑩张磊等,2013;⑪李杰,2012;⑫仵康林,2011;⑬张建军,2015

Data resources: ① Ye Ke et al.,2016&;② Dan Wei et al.,2014;③ Dan Wei et al.,2015;④ Shi Xingjun et al.,2014;⑤ Zheng Rongguo et al.,2014;⑥ Yang Qidi et al., 2014&;⑦ Shi Xingjun et al.,2012&;⑧ Shi Xingjun et al.,2014&;⑨ Gan Lisheng et al.,2018&;⑩ Zhang Lei et al.,2013&;⑪ Li Jie,2012&;⑫ Wu Kanglin,2011&;⑬ Zhang Jianjun,2015&

日公—红谷尔玉林构造带(王廷印等,1994;吴泰然和何国琦,1993;李俊建,2006)。本文的研究区位于雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带最西端。

雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带出露大量的前寒武纪各类变质岩(图 1b),主要分布于东段的巴彦乌拉山、波罗斯坦庙和叠布斯格地区。这些前寒武纪变质岩曾被统称为“阿拉善群”,近年来,许多学者对其进行了重新划分(陈志勇等,2004;李俊健,2006;耿元生等,2006,2007;张建新等,2018)。陈志勇等(2004)将该区的早前寒武系划分为中太古代乌拉山岩群、新太古代色尔腾山岩群的柳树沟岩组和色尔腾山岩群的点力素泰岩组,并将原划分的祖宗毛道组上部划归到中元古界的白云鄂博群。李俊健(2006)经年代学、地球化学等综合研究,将阿拉善群解体为叠布斯格岩群、阿拉善岩群和上部中元古代地层。耿元生等(2006,2007)将原被统称为阿拉善群的前寒武纪基底解体为新太古代叠布斯格群、古元古代巴彦乌拉山群、古—中元古代阿拉善岩以及主体为古元古代的波罗斯坦庙杂岩和主体为新元古代的毕及格台杂岩。张建新等(2018)将东阿拉善地块的早前寒武纪变质基底划分为叠布斯格群(叠布斯格杂岩)、波罗斯坦庙杂岩和巴彦乌拉山群(巴彦乌拉山杂岩)。

雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带出露大量晚古生代岩浆岩(李俊健,2006;仵康林,2011;李杰,2012;耿元生和周喜文,2012;史兴俊等,2012; Dan

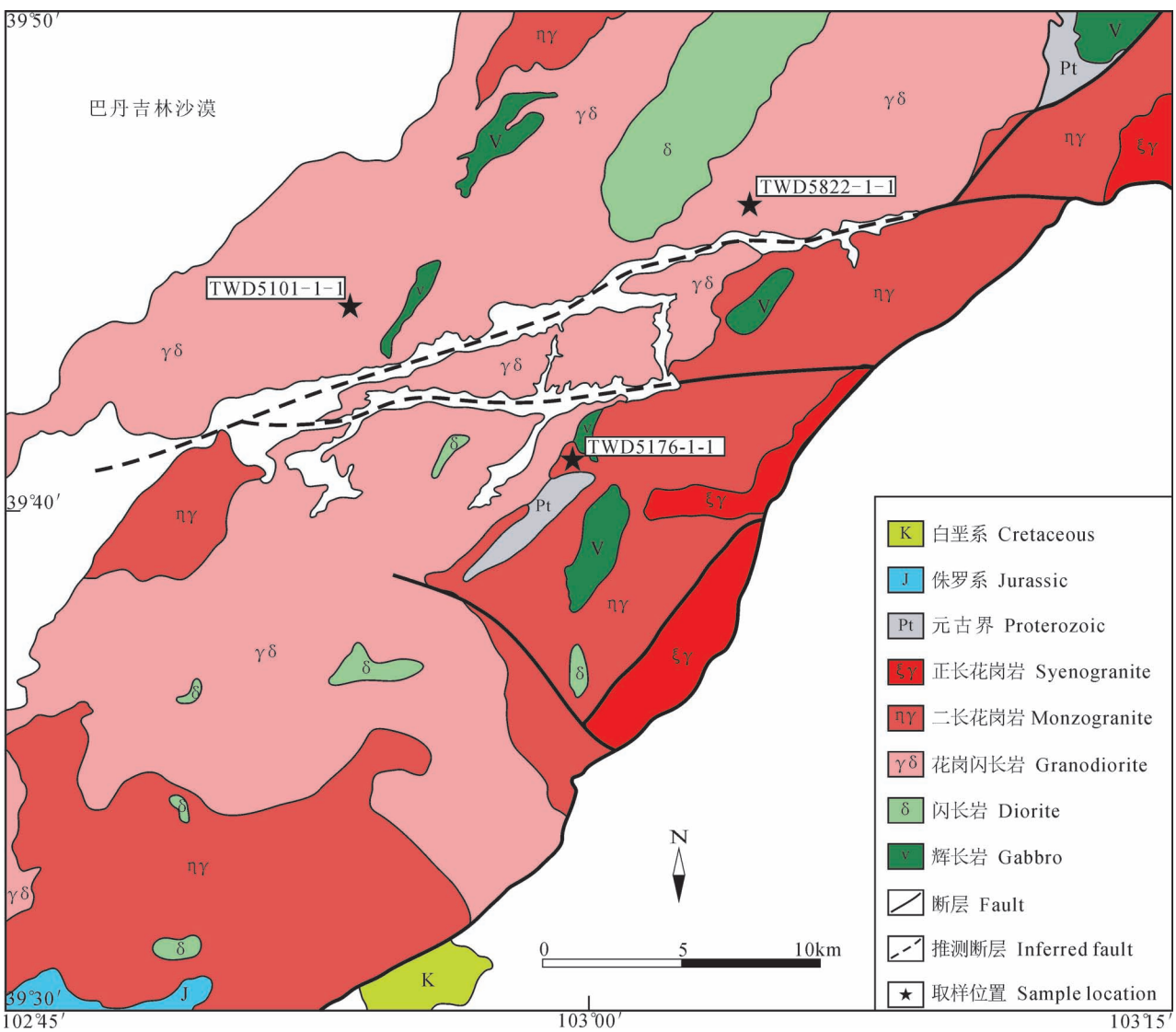


图 2 阿拉善地块北缘西段雅布赖地区地质简图和锆石样品采样位置

Fig. 2 Geological map of the Yabulai area in the western part of northern Alxa Block and sampling locations

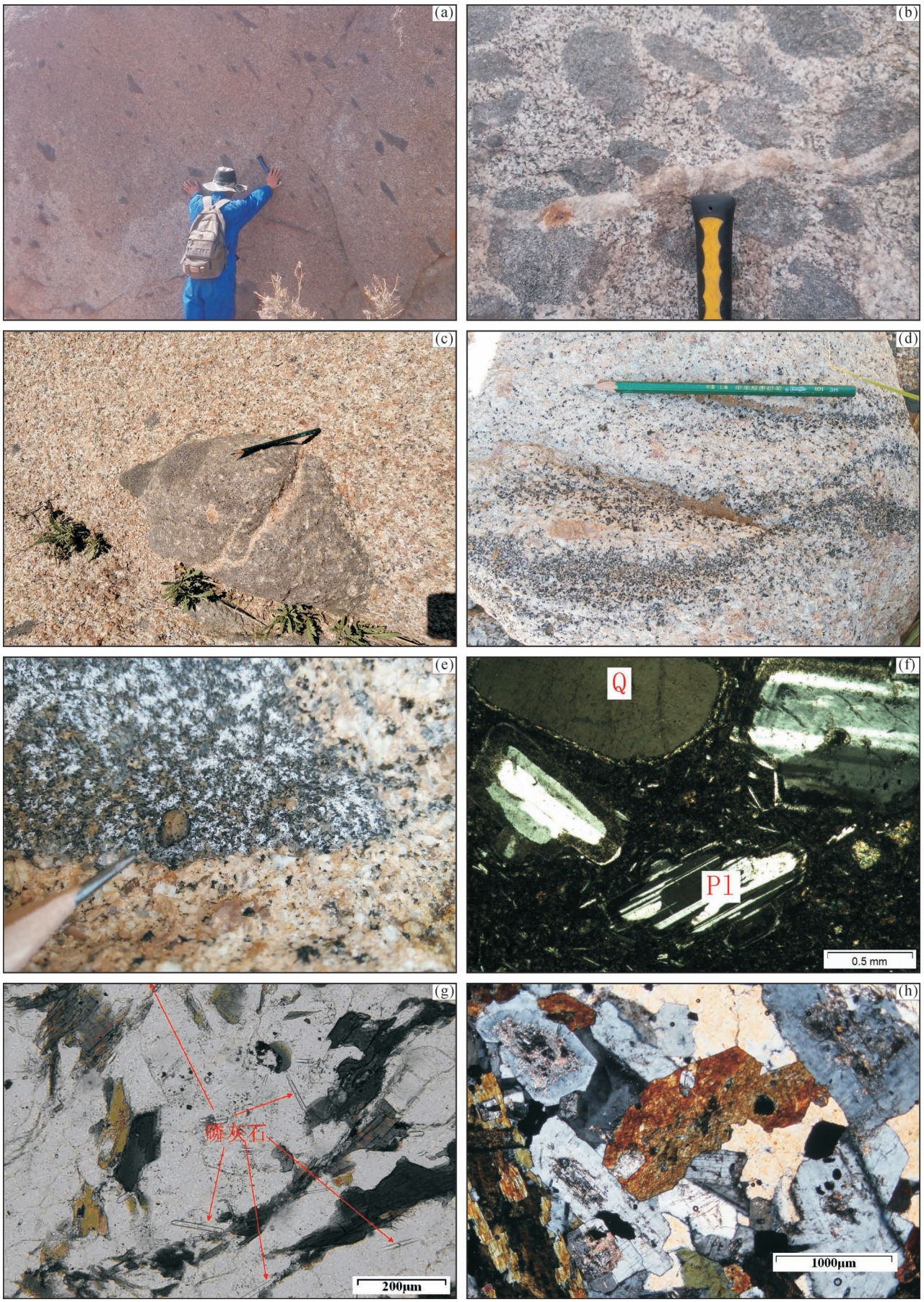

(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)
Q
P1
0.5 mm
(g)
磷灰石
200μm
(h)
1000μm

图 3 阿拉善地块北缘西段雅布赖地区暗色微粒包体的野外及镜下特征:(a) 包体成群分布;(b)细晶岩脉截穿包体;(c)反向脉及包体内部二长花岗岩岩块;(d)二长花岗岩内暗色矿物集合体;(e)包体内石英眼斑;(f)包体内石英和斜长石的暗色矿物镶边;(g)包体内的针状磷灰石;(h)包体内筛孔结构的斜长石

Fig. 3 Field and microscopic photos of the mafic microgranular enclave (MMEs) and host rocks from the Yabulai area in the western part of northern Alxa Block: (a) the MMEs occur as dense swarms; (b) granitic aplite cut through the MMEs; (c) back-up veins and monzogranite fragments of MMEs; (d) dark mineral aggregates of monzogranite; (e) quartz ocelli of MMEs; (f) quartz and plagioclase ocelli of MMEs; (g) acicular apatite morphology of MMEs; (h) sieve-textured plagioclase of MMEs

Wei et al., 2012, 2014, 2015, 2016; Feng Jianyun et al., 2013; 张磊等, 2013; 张建军, 2015; Wang Zengzhen et al., 2015; Zhang Jianjun et al., 2015; 叶柯等, 2016),曾有学者提出阿拉善地块的早二叠世 280~270 Ma 岩浆活动形成于造山后的伸展背景,可能构成地幔柱成因的大火成岩省(Dan Wei et al., 2014),但多数学者认为其形成于古亚洲洋向阿拉善地块俯冲增生、碰撞到后碰撞的不同阶段。

该构造带西段雅布赖地区同样出露大面积花岗岩类岩石,仵康林(2011)在雅布赖山花岗闪长岩内获得锆石 U-Pb 年龄为 273±7 Ma,时代归属为早二叠世;李杰(2012)认为雅布赖山侵入岩主体形成时代为中二叠世(265±1 Ma),形成环境为后碰撞的晚期阶段。叶柯等(2016)对本地区侵入岩获得了 272~286 Ma 的年龄,并认为雅布赖山岩浆岩形成于碰撞或后碰撞环境。

2　岩体地质和岩相学特征

本次研究区位于阿拉善地块北缘,雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带西端雅布赖地区(图 1b)。区内侵入岩呈北东向展布,主要出露晚古生代花岗闪长岩与二长花岗岩,同时含有正长花岗岩,并伴生石英闪长岩、闪长岩与辉长岩,花岗闪长岩与二长花岗岩内含有大量暗色微粒包体。出露地层为古元古界阿拉善岩群祖宗毛道组,与岩浆岩呈断层接触,南部小面积出露侏罗系芨芨沟组和白垩系庙沟组(图 2),雅布赖山两侧为第四系覆盖,北西侧为巴丹吉林沙漠,南东侧为腾格里沙漠。

花岗闪长岩为中细粒结构、似斑状结构,块状构造,斑晶以斜长石为主(5%~20%),环带结构发育,多见聚片双晶,基质为中细粒半自形粒状结构,主要由石英(20%~25%)、斜长石(40%~45%)、钾长石(10%~15%)、黑云母(5%~10%)和角闪石(5%~7%)等组成;斜长石呈半自形—近半自形板状,环带结构发育,多见聚片双晶,钾长石呈近半自形板状,主要为微斜长石,晶内微斜格子双晶发育,石英呈他形粒状,杂乱分布,部分粒内亚颗粒发育,粒内具波状、带状消光。角闪石呈半自形柱状,黑云母呈片状,多色性明显。

二长花岗岩为中细粒结构、似斑状结构,块状构造,斑晶由斜长石(5%±)、钾长石(10%±)组成,基质为中细粒半自形粒状结构,主要由石英(35%~40%)、斜长石(20%±)、钾长石(20%~25%)、黑云母(5%±)等组成;斜长石呈半自形—近半自形板状,隐约可见环带结构,聚片双晶发育,钾长石呈近半自形板状,主要为微斜长石,晶内微斜格子双晶发育,局部交代斜长石,部分粒内嵌布斜长石、石英等颗粒。石英呈他形粒状,粒内具波状、带状消光。黑云母呈片状,多色性明显。

雅布赖岩体中发育大量暗色微粒包体,暗色微粒包体分布广泛,约占出露面积的 2%~3%,局部成群分布,可占出露面积的 15%~20%。暗色微粒包体一般随机分布,局部成群分布(图 3a),形态一般为椭球状、浑圆状、透镜状、撕裂状、火焰状,普遍具塑变特征(图 3a、b、c);大小不一,小者粒径 1~3 cm,大者可达 2~3 m,一般为 5~20 cm。包体与寄主岩石大多数呈截然的接触关系,少数为渐变过渡接触关系,也可见二者构成似条带状构造,可见淬冷边和反向脉等特征(图 3c),局部见细晶岩脉截穿包体(图 3b)。内部可见长石及石英斑晶,斑晶边部多为溶蚀(图 3e)。部分斑晶横跨包体与寄主岩石两者边界,有的则完全被包体捕获,且部分斑晶边部可见暗色矿物集合体的镶边(图 3e、f)。

暗色微粒包体一般为细粒结构,块状构造、流动构造,矿物成分为斜长石(70%±)、黑云母(15%~25%),角闪石含量不足 10%,石英含量不足 5%,副矿物以针状磷灰石、榍石为主。包体斜长石呈半自形板状,具钠长石双晶,略有环带,可见内部包嵌细小角闪石及少量黑云母,黑云母为他形片状,角闪石呈半自形—他形,少数自形,可见简单双晶,磷灰石呈针状(图 3g),上述结构显示暗色微粒包体为岩浆成因。

表 1 阿拉善地块北缘西段雅布赖地区暗色微粒包体和二长花岗岩、花岗闪长岩的主量元素(%)、稀土元素和微量元素($\times10^{-6}$)分析结果

Table 1 Contents of major(%), REE and trace element($\times10^{-6}$) of the MMEs, granodiorite and monzogranite from the Yabulai area in the western part of northern Alxa Block

岩性	二长花岗岩				花岗闪长岩				暗色微粒包体		
样号	D5176-1-1	D8583-1-1	D8584-2-1	D6205	D5442-3-1	D5744-1-1	D5101-1-1	D0553-1-1	D5822-1-1	PM011-63-2	D5203-1-1
顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO_2	70.99	70.92	73.18	72.35	63.57	64.21	64.2	66.44	49.23	51.59	52.42
TiO_2	0.28	0.30	0.13	0.17	0.50	0.54	0.50	0.48	1.26	1.07	0.85
Al_2O_3	13.43	12.99	13.53	13.27	14.88	14.94	14.56	15.00	17.56	17.61	14.85
Fe_2O_3	0.97	1.57	1.08	0.82	1.74	1.39	1.69	1.78	3.65	2.50	2.37
FeO	1.94	1.85	1.06	1.89	3.50	3.87	4.39	3.27	7.12	6.06	5.90
MnO	0.071	0.059	0.034	0.040	0.097	0.098	0.100	0.100	0.250	0.170	0.150
MgO	0.57	0.73	0.31	0.35	2.43	2.47	2.36	1.26	5.52	5.63	8.40
CaO	2.66	2.52	1.98	1.49	5.46	5.00	4.87	3.44	8.36	7.58	8.25
Na_2O	3.85	3.23	3.08	3.98	3.03	3.03	2.84	3.94	3.65	3.64	2.41
K_2O	3.83	4.09	4.16	4.19	2.99	3.10	2.81	3.02	2.05	2.40	2.16
P_2O_5	0.07	0.10	0.05	0.04	0.10	0.13	0.11	0.20	0.33	0.24	0.26
H_2O+	0.20	0.48	0.40	0.92	0.74	0.42	0.58	0.43	0.62	0.86	1.03
CO_2	0.46	0.23	0.23	0.16	0.60	0.22	0.29	0.18	0.26	0.03	0.10
烧失量	0.74	0.99	0.96	1.25	1.42	0.74	1.03	0.70	0.96	0.96	1.38
总量	99.4	99.35	99.55	99.85	99.72	99.52	99.46	99.63	99.94	99.45	99.4
Na_2O+K_2O	7.68	7.32	7.24	8.17	6.02	6.13	5.65	6.96	5.7	6.04	4.57
K_2O/Na_2O	0.99	1.27	1.35	1.05	0.99	1.02	0.99	0.77	0.56	0.66	0.90
A/CNK	0.88	0.91	1.03	0.96	0.82	0.86	0.88	0.94	0.75	0.79	0.70
A/NK	1.28	1.34	1.41	1.20	1.80	1.79	1.88	1.53	2.12	2.06	2.35
Cs	2.29	2.59	2.38	1.99	2.66	3.29	4.57	1.89	1.69	3.24	3.8
Rb	123.6	146.1	126.5	107.0	106.1	130.8	128.0	100.0	58.7	101.9	95.8
Sr	181.7	378.4	293.3	172.0	340.2	366.5	349.0	446.0	596.0	609.0	418.9
Ba	713.7	1166.1	906.1	560.0	562.5	608.8	547.0	512.0	385.0	463.8	428.8
Nb	8.75	10.41	13.02	6.67	6.51	7.74	7.89	10.4	9.12	6.59	6.69
Ta	0.89	0.68	0.68	0.58	0.54	1.02	1.10	1.01	0.78	0.45	0.49
Zr	152.7	150.3	125.0	174.0	115.3	109.5	138.0	167.0	98.30	121.0	108.8
Hf	4.50	6.66	6.26	4.78	3.49	3.13	4.02	5.72	6.86	3.58	2.86
Th	17.02	11.60	17.70	10.40	14.63	13.62	22.30	9.52	1.03	1.89	8.98
V	21.49	26.35	6.93	9.26	104.10	109.00	98.20	41.20	251.00	225.99	204.80
Cr	2.79	5.34	4.11	8.29	25.32	23.68	26.20	7.23	17.44	151.58	794.00
Co	3.26	3.87	1.22	2.16	13.10	15.50	14.50	7.07	33.60	28.40	36.00
Ni	1.67	2.69	2.32	2.39	10.44	11.25	12.80	4.84	23.82	28.80	144.00
Li	18.68	12.82	10.20	10.70	16.92	25.56	21.60	16.20	22.30	22.72	15.88
U	1.26	1.14	1.02	1.18	1.20	1.50	1.24	1.36	0.46	0.61	2.28
Rb/Ti	0.044	0.049	0.097	0.063	0.021	0.024	0.026	0.021	0.005	0.010	0.011
La	34.56	37.56	50.16	34.20	28.39	21.77	28.90	29.60	28.10	15.82	21.21
Ce	67.66	68.66	97.52	62.60	54.19	41.18	49.60	56.40	64.12	38.04	46.34
Pr	7.58	7.55	11.18	6.85	5.57	4.73	5.05	7.85	9.69	5.58	6.06
Nd	27.69	26.79	41.30	25.00	19.75	17.66	19.00	32.20	39.75	25.18	26.02
Sm	5.67	4.27	7.22	4.51	3.30	3.28	3.89	6.12	8.85	5.71	5.54
Eu	0.92	1.18	1.24	0.92	0.94	0.98	0.85	1.10	2.28	1.60	1.48
Gd	4.70	3.57	5.76	3.68	3.32	3.11	2.97	5.56	7.11	4.46	5.07
Tb	0.78	0.50	0.72	0.59	0.51	0.50	0.47	0.86	1.07	0.65	0.72
Dy	4.59	2.84	3.46	3.07	2.95	2.97	2.46	4.53	5.53	3.63	4.07
Ho	0.90	0.57	0.58	0.59	0.57	0.57	0.49	0.92	1.08	0.69	0.74
Er	2.93	1.82	1.49	1.77	1.78	1.80	1.53	2.89	3.11	2.03	2.23

岩性	二长花岗岩				花岗闪长岩				暗色微粒包体		
样号	D5176-1-1	D8583-1-1	D8584-2-1	D6205	D5442-3-1	D5744-1-1	D5101-1-1	D0553-1-1	D5822-1-1	PM011-63-2	D5203-1-1
顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tm	0.46	0.28	0.20	0.26	0.28	0.29	0.24	0.48	0.47	0.31	0.32
Yb	2.97	1.88	1.24	1.70	1.88	1.94	1.65	2.96	3.19	1.94	2.15
Lu	0.48	0.28	0.18	0.25	0.31	0.33	0.26	0.42	0.47	0.32	0.34
Y	23.36	15.54	15.54	16.4	14.09	14.28	13.8	27.5	29.36	16.32	16.78
∑REE	185.25	173.29	237.79	162.39	137.83	115.39	131.16	179.39	204.18	122.28	139.07
LREE/HREE	8.090	12.44	15.31	11.26	9.667	7.785	10.65	7.157	6.936	6.552	6.819
$(La/Yb)_N$	7.85	13.51	27.24	13.57	10.17	7.57	11.82	6.74	5.5	5.94	6.65
δEu	0.53	0.90	0.57	0.67	0.86	0.93	0.74	0.57	0.85	0.94	0.84
La/Ce	0.51	0.55	0.51	0.55	0.52	0.53	0.58	0.52	0.44	0.42	0.46

3　地球化学特征

3.1　测试方法

本次研究选取的岩石样品有二长花岗岩、花岗闪长岩和暗色微粒包体;主、微量元素测试在华北有色地质勘查局燕郊中心实验室完成。主量元素亚铁和全铁用连续比色测定,二氧化钛的测定采用二安替吡啉甲烷比色法,五氧化二磷的测定用锑磷钼兰比色法,其余元素用 ICP-AES 测定。微量元素及稀土元素的测定,Zr、Hf 用电感耦合等离子体发射光谱法测定,其余用电感耦合等离子质谱法测定。

3.2　主量元素

本文对 4 件二长花岗岩样品,4 件花岗闪长岩样品,3 件暗色微粒包体样品进行分析(表 1)。

二长花岗岩的 SiO_2 含量较高,为 70.92% ~ 73.18%,Na_2O 含量为 3.08% ~ 3.98%,K_2O 含量介于 3.83% ~ 4.19%,Na_2O+K_2O = 7.24% ~ 8.17%,K_2O/Na_2O = 0.99 ~ 1.35,碱含量高,相对富钾,Al_2O_3 含量为 12.99% ~ 13.53%,TiO_2 含量为 0.13% ~ 0.30%,MgO 含量为 0.31% ~ 0.73%,CaO 含量为 1.49% ~ 2.66%,在侵入岩 TAS 图解中,样品落入花岗岩区,亚碱性系列(图 4);在 K_2O—SiO_2 图解中,样品落入高钾钙碱性系列(图 5a),A/CNK = 0.88 ~ 1.03,A/NK = 1.20 ~ 1.28,在 A/CNK—A/NK 图解中,样品为准铝质(图 5b)(邓晋福等,2015a、b)。

花岗闪长岩的 SiO_2 含量较高,为 63.57% ~ 66.44%,Na_2O 含量为 2.84% ~ 3.94%,K_2O 含量为 2.81% ~ 3.10%,Na_2O+K_2O = 5.65% ~ 6.96%,K_2O/Na_2O = 0.77 ~ 1.02,岩石碱含量较高,相对富钠,Al_2O_3 含量为 14.56% ~ 15.00%,铝含量较高,TiO_2 含量为 0.48% ~ 0.54%,MgO 含量为 1.26% ~ 2.47%,CaO 含量为 3.44% ~ 5.46%,在侵入岩 TAS 图解中,样品落入花岗闪长岩区,亚碱性系列(图 4);在 K_2O—SiO_2 图解中,样品落入高钾钙碱性系列(图 5a),A/CNK = 0.82 ~ 0.94,A/NK = 1.53 ~ 1.88,在 A/CNK—A/NK 图解中,样品为准铝质(图 5b)。

暗色微粒包体的 SiO_2 含量低,为 49.23% ~ 52.42%,Na_2O 含量为 2.41% ~ 3.65%,K_2O 含量为 2.05% ~ 2.40%,Na_2O+K_2O = 4.57% ~ 6.04%,K_2O/Na_2O = 0.56 ~ 0.90,岩石碱含量较高,相对富钠,Al_2O_3 含量为 14.85% ~ 17.61%,铝含量较高,TiO_2 含量为 0.85% ~ 1.26%,MgO 含量为 5.52% ~ 8.40%,CaO 含量较高,为 7.58% ~ 8.36%,在侵入岩 TAS 图解中,样品点较为分散,分别落入二长辉长

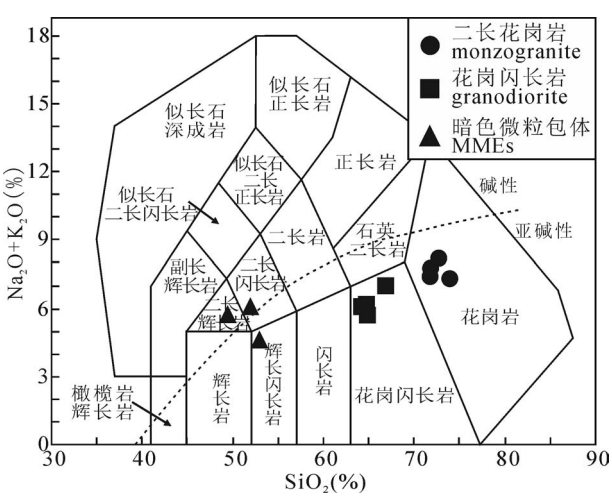


图 4 阿拉善地块北缘西段雅布赖地区二长花岗岩、花岗闪长岩和暗色微粒包体 TAS 图解

Fig. 4 TAS diagrams for the MMEs, granodiorite and monzogranite from the Yabulai area in the western part of northern Alxa Block

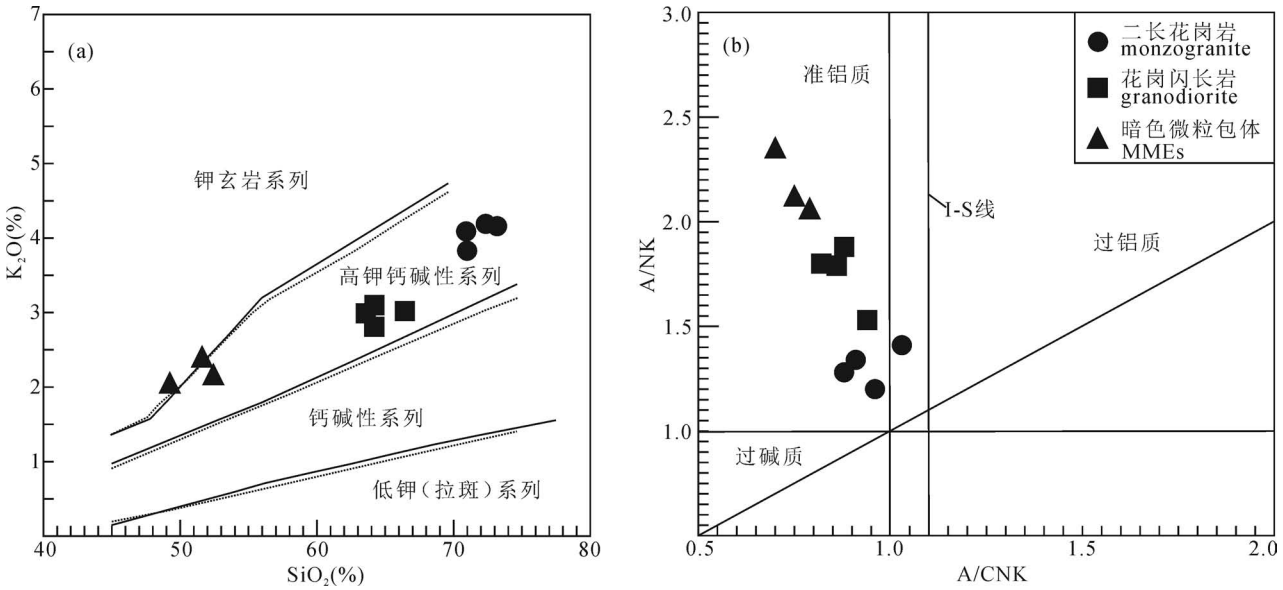


图 5 阿拉善地块北缘西段雅布赖地区二长花岗岩、花岗闪长岩和暗色微粒包体主量元素图解:(a) K_2O—SiO_2 图解;(b) A/CNK—A/NK 图解(据 Peccerillo and Taylor,1976)

Fig. 5 Major element diagrams for the MMEs, granodiorite and monzogranite from the Yabulai area in the western part of northern Alxa Block: (a) K_2O—SiO_2 diagram; (b) A/CNK—A/NK diagram (after Peccerillo and Taylor,1976)

岩、二长闪长岩及辉长闪长岩区,两个样品点落入碱性系列,一个样品点落入亚碱性系列(图 4);在 K_2O—SiO_2 图解中,样品落入高钾钙碱性—钾玄岩系列(图 5a),A/CNK = 0.70~0.79,A/NK = 2.06~2.35,在 A/CNK—A/NK 图解中,样品为准铝质(图 5b)。

3.3 微量元素

暗色微粒包体及寄主岩石二长花岗岩、花岗闪长岩的稀土元素分析结果(表 1)表明,暗色微粒包体中稀土总量较高,为 122.27×10^{-6}~204.18×10^{-6},LREE/HREE = 6.56~6.93,$(La/Yb)_N$ = 5.50~6.65,轻、重稀土分馏程度较高,轻稀土富集,δEu = 0.84~0.94,具较弱的负铕异常;二长花岗岩 ∑REE =

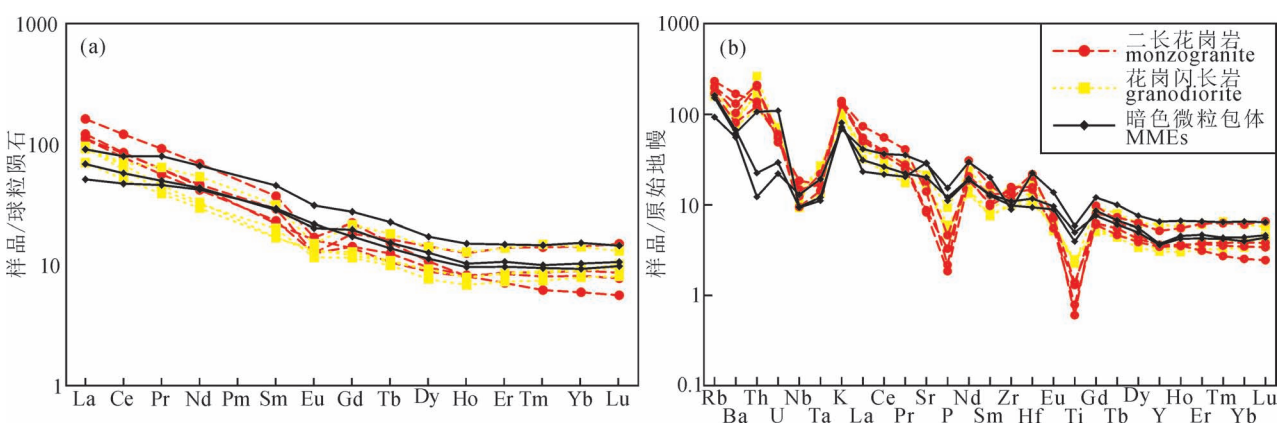


图 6 阿拉善地块北缘西段雅布赖地区二长花岗岩、花岗闪长岩和暗色微粒包体稀土和微量元素图解:(a) 稀土元素球粒陨石标准化配分图(标准化数据引自 Boynton,1984);(b) 微量元素原始地幔标准化蛛网图(标准化数据引自 Sun and McDonough,1989)

Fig. 6 The REE and trace element diagrams for the MMEs, granodiorite and monzogranite from the Yabulai area in the western part of northern Alxa Block: (a) chondrite-normalized REE patterns (Normalizing values are from Boynton,1984); (b) primitive-mantle normalized trace element patterns (Normalizing values are from Sun and McDonough,1989)

162.39×10^{-6} ~ 237.79×10^{-6}, LREE/HREE = 8.09 ~ 14.53, $(La/Yb)_N$ = 7.85 ~ 16.5,轻、重稀土分馏程度较高,轻稀土富集,δEu = 0.53 ~ 0.90,具负铕异常;花岗闪长岩稀土总量为 115.38×10^{-6} ~ 179.39×10^{-6}, LREE/HREE = 7.16 ~ 10.65, $(La/Yb)_N$ = 6.74 ~ 11.82,轻、重稀土分馏程度较高,轻稀土富集,δEu = 0.57 ~ 0.93,具负铕异常。暗色微粒包体和寄主岩石二长花岗岩、花岗闪长岩的稀土配分曲线形式整体相似(图 6a),都呈轻稀土富集,重稀土亏损的右倾型。

在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 6b)中,暗色微粒包体和寄主岩石二长花岗岩、花岗闪长岩分布曲线形态整体相似,都相对富集大离子亲石元素,而 Ti、Nb、Ta 等高场强元素明显亏损。曲线中均出现 Ta 槽、Nb 槽、P 槽、Ti 槽,但暗色微粒包体和寄主岩石二长花岗岩、花岗闪长岩中亏损程度不同,暗色微粒包体中具 Th 弱亏损,而二长花岗岩、花岗闪长岩中具 Th 富集。

4　锆石 U-Pb 年代学特征

4.1　测试方法

锆石微区 U-Pb 同位素定年利用北京科荟测试技术有限公司的 LA-Q-ICP-MS 同时分析完成。激光剥蚀系统为 ESI NWR 193 nm, ICP-MS 为 Analytikjena Plasma Quant MS Elite ICP-MS。对分析数据的离线处理采用软件 ICPMSDataCal 完成。锆石微量元素含量利用 SRM610 作为外标、Si 作内标的方法进行定量计算。U-Pb 同位素定年中采用锆石标准 GJ-1 作外标进行同位素分馏校正。对于与分析时间有关的 U—Th—Pb 同位素比值漂移,利用 GJ-1 的变化采用线性内插的方式进行了校正。锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot 完成。

4.2　锆石 U-Pb 定年结果

本文对雅布赖岩体中寄主二长花岗岩(TWD 5176-1-1)、花岗闪长岩(TWD5101-1-1)和闪长质包体(TWD5822-1-1)3 件样品进行了锆石 U-Pb 定年。

样品 TWD5822-1-1 采自暗色微粒包体包体,锆石 CL 图像显示,样品中锆石多呈半自形—自形晶,粒径介于 70 ~ 130 μm 之间,锆石颗粒较小,长宽比为 1∶1.2 ~ 1∶1.7,晶型较完整,裂纹不发育,普遍发育振荡环带结构(图 7)。Th 含量为 109.7×10^{-6} ~ 797.6×10^{-6}, U 含量 222.6×10^{-6} ~ 829.7×10^{-6}, Pb 含量为 11.99×10^{-6} ~ 50.59×10^{-6}, Th/U 值在 0.46 ~ 1.01 之间,为典型的岩浆型锆石。样品获得 30 个点年龄数据,其中 2、4、9、10、12、15、18 号点 Pb 丢失,谐和度低,舍去;19、23、28 号点数据分别为 266.6 Ma、304.4 Ma、303.2 Ma,与其他数据差距较大,故舍去;剩余 20 个点 $n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$ 年龄集中分布于 276 ~ 292 Ma(表 2),其加权平均年龄为 284.7±2.4 Ma(MSWD = 0.51, 置信度 = 0.98)(图 8),代表了暗色微粒包体的成岩年龄。

样品 TWD5101-1-1 采自花岗闪长岩,锆石 CL 图像显示,样品中锆石多呈半自形—自形晶,粒径介于 120 ~ 245 μm 之间,锆石颗粒较大,长宽比为 1∶1.3 ~ 1∶3.2 之间,晶型较完整,裂纹不发育,普遍发育振荡环带结构(图 7)。Th 含量为 145.7×10^{-6} ~ 542.3×10^{-6}, U 含量 275.2×10^{-6} ~ 787.2×10^{-6}, Pb 含量为 14.79×10^{-6} ~ 42.96×10^{-6}, Th/U 值在 0.46 ~ 0.92 之间,为典型的岩浆型锆石。共获得 30 个点年龄数据,其 $n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$ 年龄集中分布于 270 ~ 286 Ma(表 2),其加权平均年龄为 277±1.6 Ma (MSWD = 1.17, 置信度 = 0.24)(图 8),代表了雅布赖花岗闪长岩的成岩年龄。

样品 TWD 5176-1-1 采自二长花岗岩,锆石 CL 图像显示,样品中锆石多呈半自形—自形晶,粒径介于 65 ~ 160 μm 之间,长宽比为 1∶1.2 ~ 1∶2.3 之间,晶型较完整,裂纹不发育,普遍发育振荡环带结构(图 7)。Th 含量为 79.13×10^{-6} ~ 763.9×10^{-6}, U 含量 117.9×10^{-6} ~ 1192×10^{-6}, Pb 含量为 7.27×10^{-6} ~ 66.31×10^{-6}, Th/U 值在 0.40 ~ 1.18 之间,为典型的岩浆型锆石。共获得 30 个点年龄数据,其中 16、18、21、22、28 号点 Pb 丢失,谐和度低,舍去;1、4、15、23 点数据分别为 316.7 Ma、301.0 Ma、342.9 Ma、296.9 Ma,与其他数据差距较大,其余 21 个点 $n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$ 年龄集中分布于 275.5 ~ 287.3 Ma (表 2),其加权平均年龄为 283.4±2.0 Ma(MSWD = 0.46, 置信度 = 0.98)(图 8)。代表了雅布赖二长花岗岩的成岩年龄。

锆石 U-Pb 年龄结果表明,暗色微粒包体与寄主岩石二长花岗岩、花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄在误差范围内基本一致。

5　讨论

5.1　岩体的形成时代

本次研究区位于雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带最西端。该区内公开发表的年龄数据较少,其形成时代尚有争议。1∶20 万幅地质图雅布赖幅

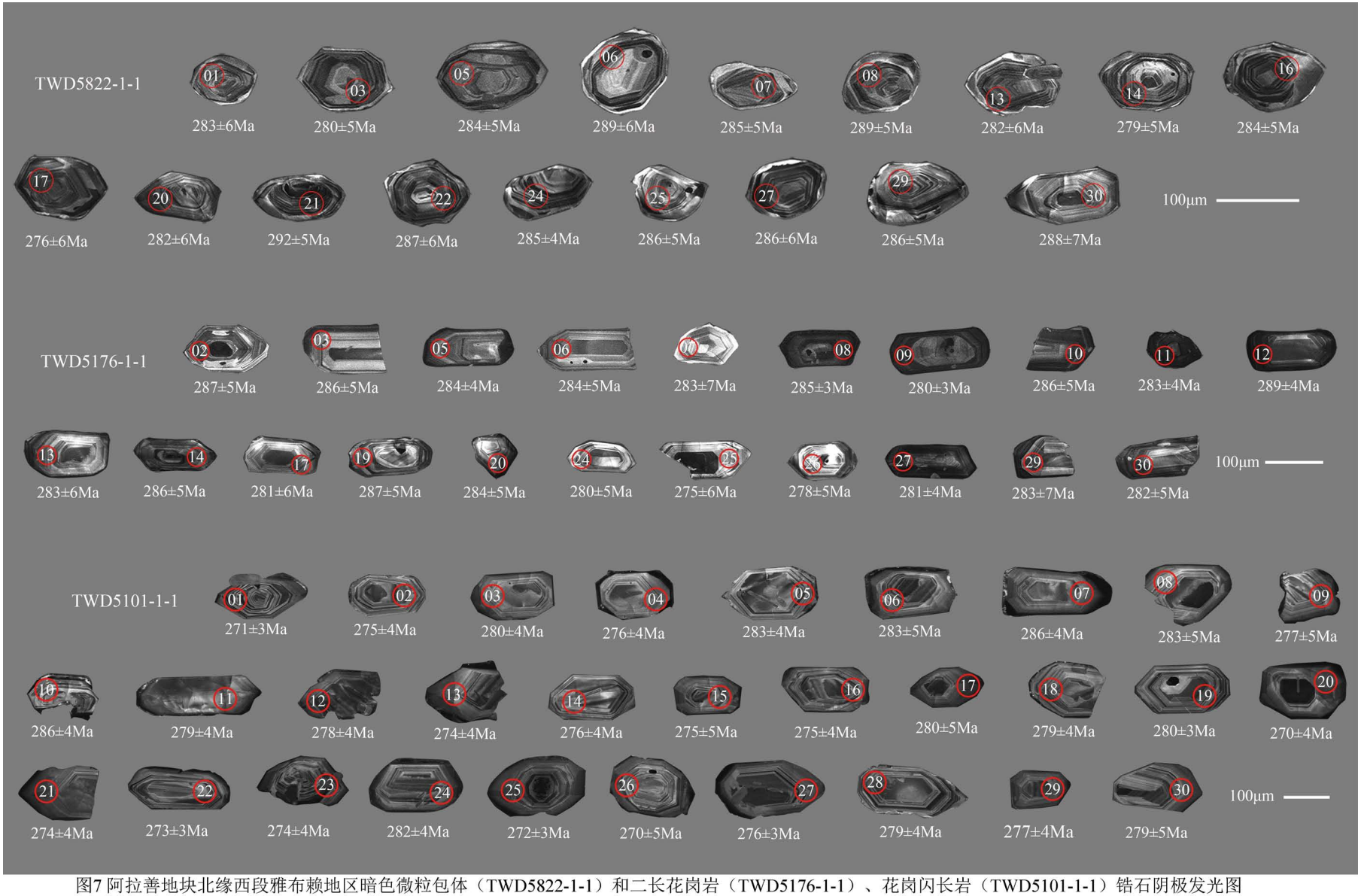


图7 阿拉善地块北缘西段雅布赖地区暗色微粒包体（TWD5822-1-1）和二长花岗岩（TWD5176-1-1）、花岗闪长岩（TWD5101-1-1）锆石阴极发光图

Fig. 7 CL images of representative zircons of the MMEs(TWD5822-1-1),granodiorite(TWD5101-1-1) and monzogranite(TWD5176-1-1) from the Yabulai area in the western part of northern Alxa Block

表 2 阿拉善地块北缘西段雅布赖地区暗色微粒包体及二长花岗岩、花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄测试结果

Table 2 U-Pb Zircon data of the MMEs, monzogranite and granodiorite from the Yabulai area in the western part of northern Alxa Block

样品	测点号	元素含量($\times10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度(%)
		Pb	Th	U		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		
						测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
暗色微粒包体(TWD5822-1-1)	1	14	170	256	0.66	0.05812	0.0040	0.3630	0.0267	0.04486	0.0011	600	152	314	20	283	7	89
	2	16	224	275	0.81	0.07779	0.0052	0.4982	0.0380	0.04503	0.0010	1143	129	410	26	284	6	63
	3	18	200	326	0.61	0.05739	0.0029	0.3487	0.0168	0.04439	0.0008	506	113	304	13	280	5	91
	4	12	139	223	0.62	0.06708	0.0051	0.3995	0.0285	0.04377	0.0008	840	157	341	21	276	5	78
	5	12	132	231	0.57	0.05022	0.0036	0.3055	0.0198	0.04499	0.0008	206	168	271	15	284	5	95
	6	15	195	247	0.79	0.05328	0.0043	0.3407	0.0285	0.04592	0.0009	343	185	298	22	289	6	97
	7	25	333	440	0.76	0.05283	0.0036	0.3268	0.0226	0.04524	0.0008	320	156	287	17	285	5	99
	8	15	162	275	0.59	0.05627	0.0037	0.3540	0.0235	0.04587	0.0008	461	151	308	18	289	5	93
	9	51	798	830	0.96	0.12685	0.0064	0.6985	0.0329	0.04043	0.0007	2055	89	538	20	255	5	28
	10	36	597	594	1.01	0.09620	0.0065	0.6006	0.0469	0.04420	0.0010	1552	127	478	30	279	6	47
	11	20	279	359	0.78	0.05359	0.0037	0.3220	0.0209	0.04404	0.0009	354	156	283	16	278	6	97
	12	16	184	277	0.66	0.07463	0.0066	0.4547	0.0407	0.04518	0.0010	1058	175	381	28	285	6	71
	13	15	155	279	0.55	0.05908	0.0038	0.3586	0.0236	0.04475	0.0010	569	136	311	18	282	6	90
	14	33	437	572	0.76	0.05850	0.0036	0.3527	0.0206	0.04429	0.0008	550	133	307	15	279	5	90
	15	14	110	240	0.46	0.06833	0.0049	0.4565	0.0331	0.04868	0.0011	880	150	382	23	306	7	78
	16	21	231	386	0.60	0.05207	0.0028	0.3187	0.0158	0.04510	0.0008	287	122	281	12	284	5	98
	17	17	162	314	0.51	0.05007	0.0033	0.3024	0.0203	0.04375	0.0010	198	152	268	16	276	6	97
	18	16	194	287	0.68	0.06900	0.0059	0.4049	0.0328	0.04307	0.0009	898	212	345	24	272	6	76
	19	24	329	442	0.74	0.05338	0.0036	0.3050	0.0203	0.04222	0.0009	346	158	270	16	267	6	98
	20	19	209	350	0.60	0.05210	0.0036	0.3255	0.0240	0.04466	0.0009	300	159	286	18	282	6	98
	21	29	294	515	0.57	0.06042	0.0039	0.3802	0.0228	0.04634	0.0009	620	141	327	17	292	5	88
	22	34	514	561	0.92	0.05782	0.0035	0.3575	0.0203	0.04550	0.0009	524	131	310	15	287	6	92
	23	15	158	260	0.61	0.05171	0.0039	0.3414	0.0249	0.04835	0.0010	272	168	298	19	304	6	97
	24	46	573	815	0.70	0.05293	0.0026	0.3304	0.0153	0.04520	0.0006	324	109	290	12	285	4	98
	25	21	297	365	0.81	0.05329	0.0040	0.3261	0.0212	0.04532	0.0008	343	170	287	16	286	5	99
	26	36	404	650	0.62	0.05153	0.0024	0.3296	0.0153	0.04628	0.0007	265	107	289	12	292	5	99
	27	14	152	258	0.59	0.06049	0.0042	0.3776	0.0263	0.04541	0.0010	620	150	325	19	286	6	87
	28	17	209	268	0.78	0.06459	0.0044	0.4237	0.0279	0.04816	0.0008	761	143	359	20	303	5	83
	29	21	264	371	0.71	0.06056	0.0037	0.3769	0.0228	0.04541	0.0008	633	133	325	17	286	5	87
	30	15	178	275	0.65	0.06562	0.0053	0.4011	0.0294	0.04569	0.0011	794	169	342	21	288	7	82

样品	测点号	元素含量(×10⁻⁶)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度(%)
		Pb	Th	U		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		
						测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
花岗闪长岩(TWD5101-1-1)	1	33	506	551	0.92	0.05539	0.0015	0.3282	0.0094	0.04298	0.0005	428	59	288	7	271	3	93
	2	21	263	364	0.72	0.05286	0.0019	0.3172	0.0123	0.04351	0.0007	324	114	280	10	275	4	98
	3	26	348	438	0.79	0.05702	0.0019	0.3476	0.0115	0.04445	0.0007	500	74	303	9	280	4	92
	4	15	159	275	0.58	0.05214	0.0020	0.3145	0.0135	0.04367	0.0007	300	82	278	10	276	4	99
	5	17	179	296	0.60	0.05255	0.0019	0.3238	0.0114	0.04493	0.0007	309	77	285	9	283	4	99
	6	18	201	324	0.62	0.05241	0.0026	0.3177	0.0129	0.04489	0.0009	302	113	280	10	283	5	98
	7	25	222	471	0.47	0.04983	0.0019	0.3097	0.0121	0.04531	0.0006	187	89	274	9	286	4	95
	8	18	197	326	0.61	0.04978	0.0019	0.3084	0.0124	0.04491	0.0007	183	119	273	10	283	5	96
	9	16	178	296	0.60	0.06075	0.0030	0.3640	0.0175	0.04397	0.0007	632	112	315	13	277	5	87
	10	20	211	361	0.59	0.05191	0.0018	0.3247	0.0126	0.04534	0.0007	280	81	286	10	286	4	99
	11	17	146	314	0.46	0.06246	0.0029	0.3778	0.0176	0.04417	0.0007	700	100	325	13	279	4	84
	12	24	262	452	0.58	0.04555	0.0019	0.2767	0.0118	0.04414	0.0006	error		248	9	278	4	88
	13	17	179	324	0.55	0.05335	0.0020	0.3173	0.0132	0.04336	0.0007	343	87	280	10	274	4	97
	14	26	345	471	0.73	0.04956	0.0017	0.2969	0.0103	0.04366	0.0007	176	77	264	8	276	4	95
	15	23	233	438	0.53	0.05169	0.0017	0.3115	0.0129	0.04358	0.0008	272	76	275	10	275	5	99
	16	22	273	394	0.69	0.05785	0.0021	0.3460	0.0122	0.04356	0.0007	524	84	302	9	275	4	90
	17	24	247	454	0.55	0.05477	0.0021	0.3381	0.0158	0.04446	0.0008	467	82	296	12	280	5	94
	18	17	197	323	0.61	0.05120	0.0020	0.3110	0.0124	0.04424	0.0007	250	89	275	10	279	4	98
	19	20	220	353	0.62	0.05384	0.0019	0.3299	0.0124	0.04432	0.0005	365	80	290	9	280	3	96
	20	17	175	325	0.54	0.05398	0.0025	0.3182	0.0157	0.04274	0.0007	369	106	281	12	270	4	96
	21	20	191	387	0.49	0.04919	0.0021	0.2922	0.0124	0.04339	0.0006	167	98	260	10	274	4	94
	22	23	305	404	0.75	0.05611	0.0020	0.3338	0.0118	0.04320	0.0006	457	112	292	9	273	3	92
	23	43	542	787	0.69	0.05797	0.0016	0.3494	0.0120	0.04347	0.0007	528	55	304	9	274	4	89
	24	16	152	308	0.49	0.05204	0.0017	0.3211	0.0117	0.04464	0.0007	287	77	283	9	282	4	99
	25	24	239	473	0.51	0.05463	0.0014	0.3242	0.0082	0.04314	0.0005	398	57	285	6	272	3	95
	26	17	206	322	0.64	0.05597	0.0023	0.3301	0.0148	0.04284	0.0008	450	88	290	11	270	5	93
	27	30	369	537	0.69	0.05259	0.0014	0.3162	0.0078	0.04376	0.0006	322	59	279	6	276	3	98
	28	27	347	487	0.71	0.04804	0.0013	0.2923	0.0078	0.04421	0.0006	102	63	260	6	279	4	93
	29	18	183	338	0.54	0.04826	0.0018	0.2911	0.0114	0.04384	0.0007	122	89	259	9	277	4	93
	30	15	152	281	0.54	0.05366	0.0021	0.3293	0.0154	0.04430	0.0007	367	89	289	12	279	5	96
二长花岗岩(TWD5176-1-1)	1	7	86	118	0.73	0.06285	0.0046	0.4358	0.0339	0.05036	0.0014	702	154	367	24	317	8	85
	2	21	400	340	1.18	0.05358	0.0031	0.3322	0.0183	0.04558	0.0008	354	131	291	14	287	5	98
	3	14	166	259	0.64	0.05267	0.0038	0.3202	0.0206	0.04544	0.0009	322	168	282	16	286	5	98
	4	17	201	279	0.72	0.05809	0.0035	0.3763	0.0215	0.04781	0.0008	532	131	324	16	301	5	92

样品	测点号	元素含量(×10⁻⁶)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度(%)
		Pb	Th	U		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		
						测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
二长花岗岩(TWD5176-1-1)	5	19	205	352	0.58	0.05092	0.0026	0.3132	0.0155	0.04502	0.0006	239	116	277	12	284	4	97
	6	16	210	285	0.74	0.06161	0.0040	0.3766	0.0222	0.04509	0.0009	661	136	325	16	284	5	86
	7	7	79	119	0.67	0.06540	0.0053	0.3884	0.0269	0.04484	0.0011	787	172	333	20	283	7	83
	8	66	764	1192	0.64	0.05192	0.0018	0.3251	0.0112	0.04524	0.0005	283	78	286	9	285	3	99
	9	38	381	713	0.54	0.05744	0.0025	0.3532	0.0157	0.04432	0.0005	509	101	307	12	280	3	90
	10	23	224	440	0.51	0.05849	0.0039	0.3664	0.0247	0.04530	0.0008	550	144	317	18	286	5	89
	11	52	702	918	0.77	0.06047	0.0028	0.3772	0.0180	0.04496	0.0006	620	98	325	13	283	4	86
	12	26	256	478	0.54	0.05333	0.0030	0.3342	0.0183	0.04585	0.0007	343	128	293	14	289	4	98
	13	10	150	177	0.85	0.05637	0.0042	0.3441	0.0244	0.04490	0.0010	478	167	300	18	283	6	94
	14	16	171	277	0.62	0.07468	0.0044	0.4670	0.0278	0.04532	0.0008	1061	88	389	19	286	5	69
	15	18	117	290	0.40	0.05643	0.0044	0.4303	0.0367	0.05464	0.0012	478	174	363	26	343	8	94
	16	12	132	225	0.58	0.07955	0.0066	0.4913	0.0411	0.04513	0.0011	1187	165	406	28	285	7	64
	17	12	143	221	0.65	0.06546	0.0047	0.3980	0.0285	0.04450	0.0010	791	150	340	21	281	6	80
	18	11	183	186	0.99	0.06995	0.0052	0.4267	0.0315	0.04555	0.0012	928	154	361	22	287	8	77
	19	20	201	352	0.57	0.05357	0.0035	0.3301	0.0204	0.04554	0.0009	354	148	290	16	287	5	99
	20	23	264	421	0.63	0.05381	0.0035	0.3325	0.0218	0.04511	0.0008	361	148	291	17	284	5	97
	21	14	187	254	0.73	0.07085	0.0064	0.4083	0.0330	0.04379	0.0011	954	188	348	24	276	7	77
	22	8	96	157	0.61	0.07896	0.0072	0.4162	0.0324	0.04131	0.0012	1172	177	353	23	261	7	69
	23	40	385	715	0.54	0.05687	0.0028	0.3684	0.0184	0.04714	0.0007	487	109	318	14	297	4	93
	24	16	259	283	0.92	0.05466	0.0040	0.3250	0.0227	0.04440	0.0009	398	167	286	17	280	5	97
	25	14	165	253	0.65	0.06045	0.0050	0.3596	0.0274	0.04366	0.0010	620	181	312	20	275	6	87
	26	20	299	364	0.82	0.05293	0.0046	0.3135	0.0250	0.04404	0.0009	324	196	277	19	278	5	99
	27	45	428	834	0.51	0.05627	0.0028	0.3465	0.0178	0.04461	0.0006	465	113	302	13	281	4	92
	28	7	89	130	0.68	0.07066	0.0051	0.4359	0.0313	0.04531	0.0013	948	155	367	22	286	8	74
	29	11	132	205	0.64	0.06610	0.0060	0.3915	0.0309	0.04482	0.0011	809	193	335	23	283	7	82
	30	22	209	407	0.51	0.05153	0.0038	0.3176	0.0234	0.04475	0.0008	265	172	280	18	282	5	99

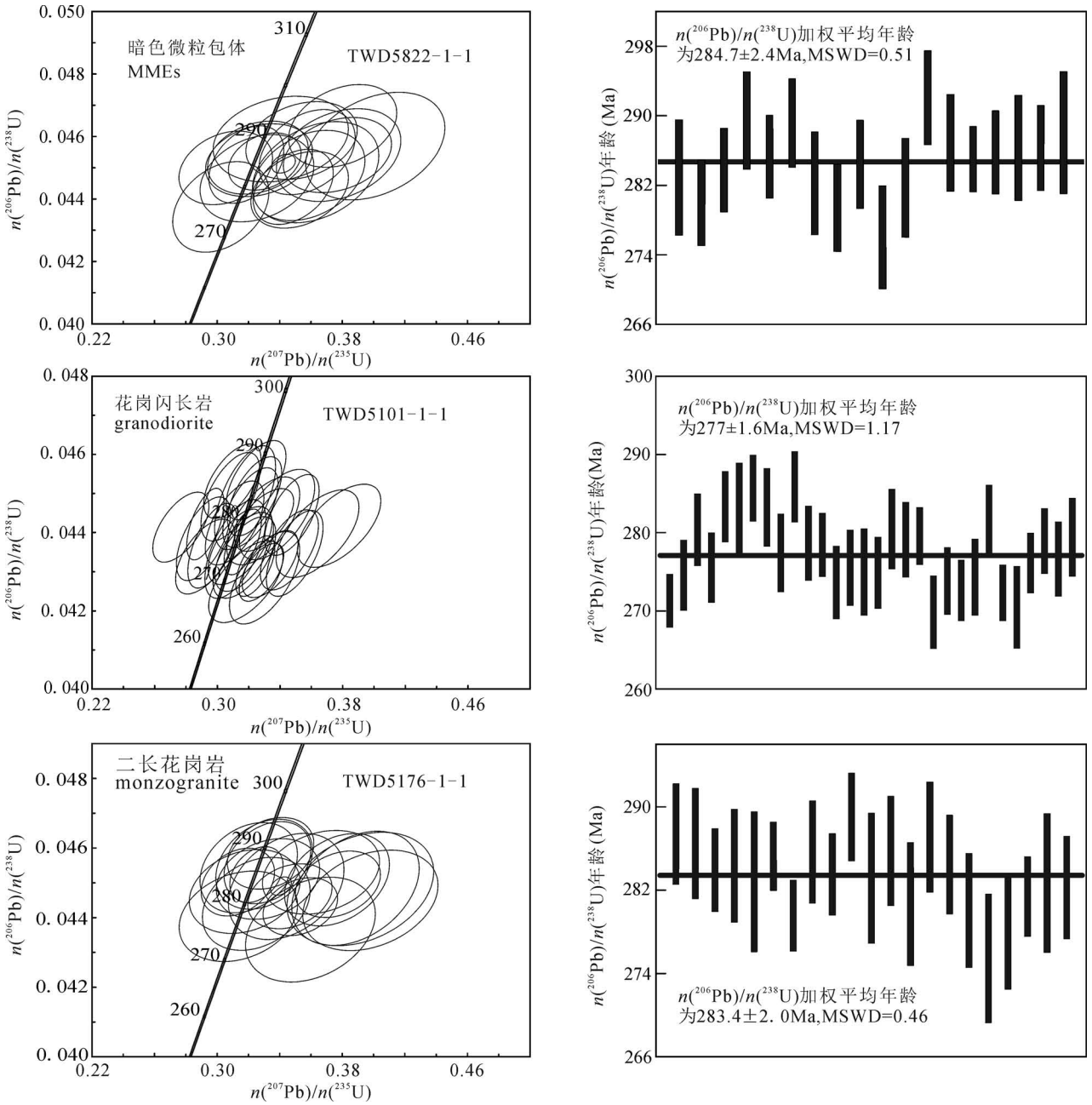


图 8 阿拉善地块北缘西段雅布赖地区暗色微粒包体(TWD5822-1-1)和二长花岗岩(TWD5176-1-1)、花岗闪长岩(TWD5101-1-1)U-Pb 同位素协和图

Fig. 8 U-Pb isotopic concordia diagrams for zircons of the MMEs(TWD5822-1-1),granodiorite(TWD5101-1-1) and monzogranite(TWD5176-1-1) from the Yabulai area in the western part of northern Alxa Block

和阿贵庙幅认为其形成于晚华力西期—印支期。张建军(2015)对前人认为的印支期花岗岩进行 U-Pb 同位素测年,获得年龄 270±2 Ma,时代为早二叠世晚期。叶柯等(2016)在本研究区内正长花岗岩获得了 286±1 Ma 的锆石 U-Pb 年龄,在研究区东侧的花岗闪长岩和英云闪长岩内分别获得了 280±1 Ma 和 272±1 Ma 的锆石 U-Pb 年龄,认为该地区岩石主体形成于早二叠世。仵康林(2011)在雅布赖岩体东延地区花岗闪长岩内获得锆石 U-Pb 年龄为 273±7 Ma,时代归属为早二叠世。这些研究表明前人所划的印支期花岗岩与华力西期花岗岩可能为同一期岩浆作用产物,而对于雅布赖岩体主体岩石及暗色微粒包体缺乏同位素资料。

本文所测定的锆石 U-Pb 定年结果表明,二长

花岗岩、花岗闪长岩和暗色微粒包体分别形成于 283.4±2.0 Ma、277.0±1.6 Ma 和 284.7±2.4 Ma,在误差范围内基本一致,这表明雅布赖岩体主体侵入岩形成于早二叠世。

近年来,众多学者对雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带内多个岩体的研究取得了许多进展,获得了较多的同位素年龄数据,这些数据多数集中在 265~284 Ma(图 1b),与本文获得的同位素年龄基本一致,这表明在该构造内广泛发育早二叠世岩浆活动。

5.2　岩体的岩浆混合成因

岩浆暗色微粒包体为岩浆混合作用的一个直接的证据(Hibbard,1991;张旗等,2007;王德滋等,2008),岩浆混合成因的包体多数呈浑圆状或透镜状的塑变形态(张晓琳等,2005;汪传胜等,2009)。雅布赖岩体中广泛发育的暗色微粒包体具有明显的岩浆结构特征,包体多呈浑圆状、椭球状、透镜状等,少数为不规则状(图 3a、b)。部分包体被拉长呈长条状,内部可见长石斑晶定向排列,显示出明显的塑性流变特征。表明包体被“包裹”时呈塑性状态。包体与寄主岩石大多数呈截然的接触关系,有的包体具有淬冷边,部分包体发育反向脉(图 2c),这是由于发生混合的两种岩浆具有很不相同的初始温度和流变学性质所致,少数包体与寄主岩石为渐变过渡关系(图 3d),是由于两种发生混合的岩浆热反差度不太大,有比较充分的时间发生岩浆混合与物质交换(莫宣学等,2002)。磷灰石在寄主岩石和暗色微粒包体中的形态是截然不同的,前者磷灰石通常呈短柱状,后者则呈针状(图 2g),根据 Wyllie 等(1962)实验结果,暗色微粒包体中的针状磷灰石是在淬冷状态下结晶形成的,说明形成暗色微粒包体的基性岩浆较寄主酸性岩浆有较大温差,结晶过程中有快速的放热作用(Barbarin,2005)。此外包体中发育多种矿物不平衡结构和矿物组合。① 暗色微粒包体中可见具有暗色矿物镶边的眼球状石英和斜长石(图 3e、f),② 具镶边的钾长石巨晶,③ 具筛孔状核部的斜长石斑晶(图 3h)。这些矿物不平衡结构和矿物组合现象不能用正常的结晶顺序来解释,说明暗色微粒包体是铁镁质岩浆与长英质岩浆发生混合作用而形成的(刘志逊等,2007)。

在 Harker 图解(图 9)上,寄主岩石花岗闪长岩与二长花岗岩成分点相对较集中,暗色微粒包体成分点相对分散;暗色微粒包体与寄主花岗闪长岩与二长花岗岩的 SiO_2 与其余的氧化物之间具有良好的线性关系,随着 SiO_2 含量增加,TiO_2、CaO、FeO^*、MgO、P_2O_5 线性降低,K_2O 线性增加。在分离结晶作用中,受固溶体矿物晶出的影响,其演化线多为曲线,而不是直线,因此图解中直线分布特征反映它们是岩浆混合作用的产物(王玉往等,2008)。暗色微粒包体和寄主二长花岗岩及花岗闪长岩的主要氧化物比值之间表现出良好的协变关系(图 10),在同分母氧化物比值协变图(K_2O/CaO—SiO_2/CaO、Al_2O_3/CaO—Na_2O/CaO)上表现为线性相关,在多元素异分母比值图解(K_2O/CaO—FeO^T/SiO_2、FeO^T/K_2O—Na_2O/CaO)上表现为双曲线演化关系,显示了岩浆混合作用的特征(Langmuir,1978)。

Panino(1999)根据陆壳岩石熔融结果提出高钾钙碱性花岗岩通常是壳幔混合的结果,雅布赖岩体中寄主岩石二长花岗岩、花岗闪长岩属于高钾钙碱性系列,也显示了壳幔岩浆混合起源的特征。

暗色微粒包体与寄主岩石二长花岗岩、花岗闪长岩具有相似的稀土配分模式和微量元素特征,在稀土配分模式图(图 6a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 6b)中,暗色微粒包体与寄主岩石二长花岗岩、花岗闪长岩具有明显的重叠区,这种相似的地球化学组成指示包体与寄主岩石具有成因联系(陈迪等,2014)。

来自同一岩浆房的岩浆成岩后,Rb/Ti 的值基本不变(赵振华,1997;李永军等,2003),雅布赖岩体中暗色微粒包体的 Rb/Ti 为 0.005~0.011,花岗闪长岩的 Rb/Ti 为 0.021~0.026,二长花岗岩的 Rb/Ti 为 0.044~0.097,指示暗色微粒包体与寄主岩石二长花岗岩、花岗闪长岩来自地球化学性质显著不同的两个岩浆房。花岗闪长岩的 Rb/Ti 值介于暗色微粒包体与二长花岗岩之间,显示其与暗色微粒包体发生的混合程度较高。另外,La 和 Ce 均为典型的不相容元素,若 La/Ce 不同,说明来自不同岩浆房(李永军等,2003),雅布赖岩体中暗色微粒包体的 La/Ce 为 0.42~0.46,寄主岩石花岗闪长岩 La/Ce 为 0.52~0.58,二长花岗岩 La/Ce 为 0.51~0.55,反映两者具有不同性质的岩浆源区。

对雅布赖岩体中暗色微粒包体及其寄主岩石二长花岗岩、花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄研究表明,闪长质包体形成年龄(284.7±2.4 Ma)与其寄主岩石二长花岗岩、花岗闪长岩的形成年龄(283.4±2.0 Ma、、277.0±1.6 Ma)在误差范围内一致(图 8),说明暗色微粒包体不是熔融残留体或围岩捕掳体,而是岩浆混合成因的暗色微粒包体。

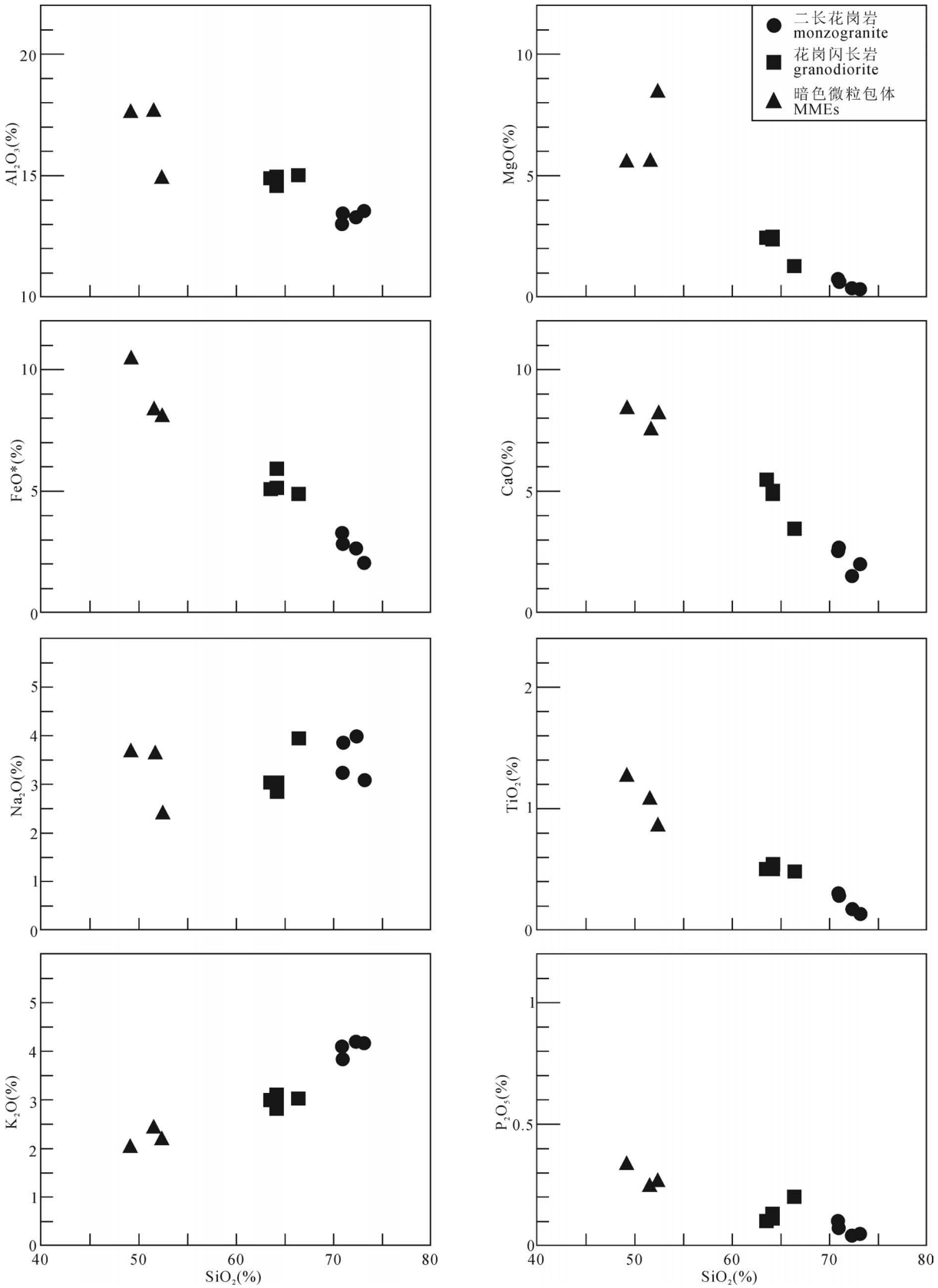


图 9 阿拉善地块北缘西段雅布赖地区暗色微粒包体和二长花岗岩、花岗闪长岩 Harker 图解

Fig. 9 Harker diagrams of the MMEs, granodiorite and monzogranite from the Yabulai area in the western part of northern Alxa Block

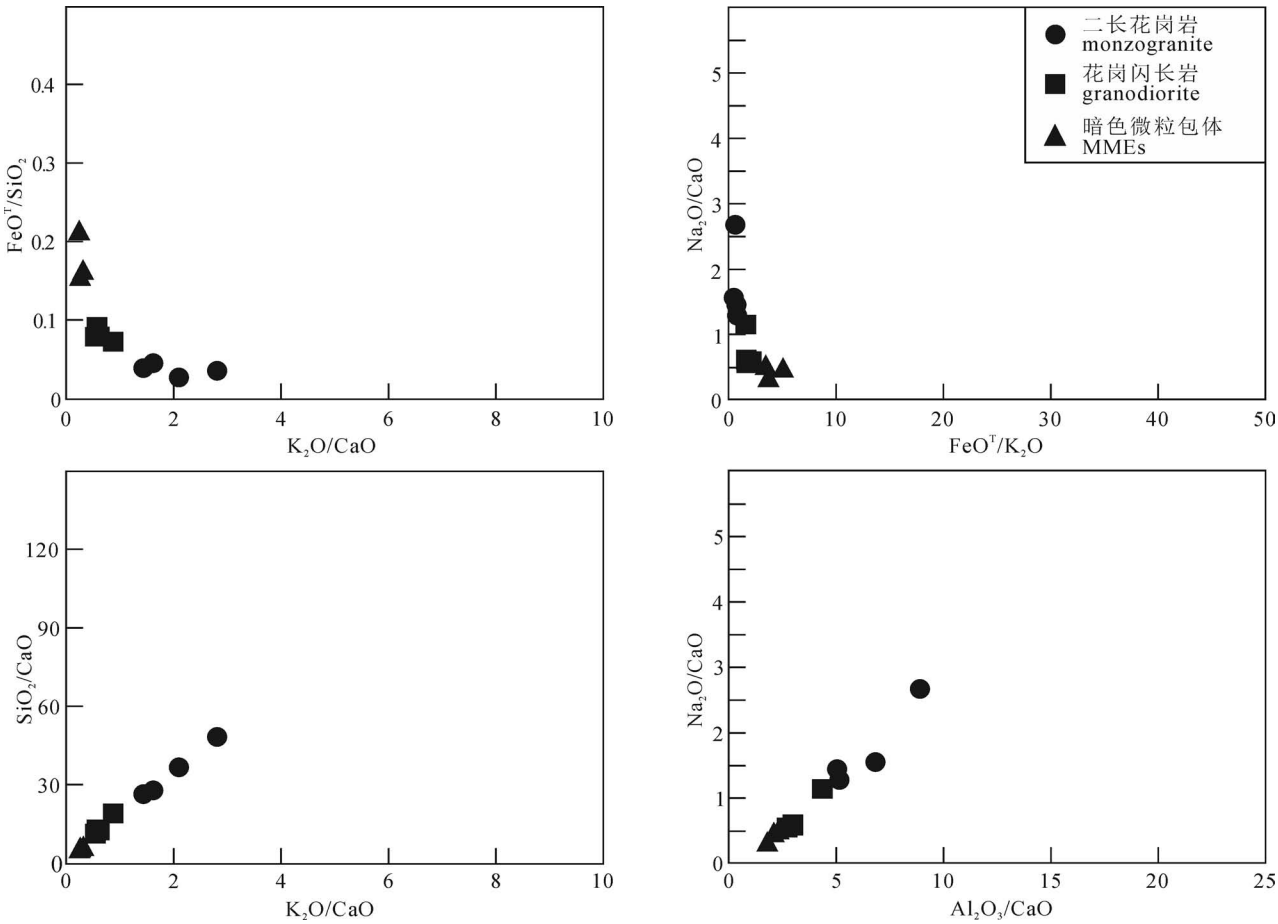


图 10 阿拉善地块北缘西段雅布赖地区暗色微粒包体和二长花岗岩、花岗闪长岩共分母和不共分母协变图解

Fig. 10 Covariant diagram for compositions of the MMEs, granodiorite and monzogranite from the Yabulai area in the western part of northern Alxa Block

5.3　与区域早二叠世花岗岩对比

根据前人研究,雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带出露的早二叠世岩浆岩多数发育暗色微粒包体。张建军(2015)对牙马图岩体、哈拉毛滩岩体、曼德林乌拉—浩陶勒盖岩体进行研究,发现其均发育岩浆混合成因的暗色微粒包体。李杰(2012)在巴音诺尔公及雅布赖山东侧早二叠世侵入岩中同样发现大量岩浆混合成因的暗色微粒包体。陈虹(2015)在巴音诺尔公一带早二叠世花岗闪长岩内发现闪长质包体,并认为它们为岩浆混合成因。这表明雅布赖岩体与雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带内同时期岩浆岩均发生了大规模的岩浆混合作用。

雅布赖地区二长花岗岩和花岗闪长岩 A/CNK 在 0.82~1.03 之间,为准铝质(图 5b),属高钾钙碱性(图 5a),不含白云母、堇青石等矿物,暗色矿物主要为黑云母、角闪石,表明其应属于 I 型花岗岩。

关于雅布赖—诺日公—红谷尔玉林构造带内岩浆演化存在不同的认识。张建新等(2018)认为从奥陶纪到早二叠世,阿拉善地块处在古亚洲洋向南俯冲的活动大陆边缘环境。李俊健(2006)认为俯冲是从石炭纪末才开始的,诺尔公、牙买图、叠布斯格、红谷尔玉林等岩体形成于同碰撞和火山弧环境。张建军(2015)认为阿拉善地块北部二叠纪花岗岩岩浆混合成因发生于陆缘俯冲环境。叶珂等(2016)认为雅布赖山二叠纪岩浆岩可能形成于碰撞或后碰撞环境。雅布赖岩体同样位于阿拉善北缘,与上述岩体形成时代接近,且都经历了岩浆混合作用,表明它们成因可能是相似的。雅布赖岩体明显富集轻稀土和大离子亲石元素,亏损高场强元素,表现出与弧花岗岩相似的地球化学特征,暗示该区在早二叠世仍处于古亚洲洋向南俯冲的活动大陆边缘环境。

6 结论

(1)雅布赖地区二长花岗岩、花岗闪长岩和暗色微粒包体分别形成于 283.4±2.0 Ma、277.0±1.6 Ma 和 284.7±2.4 Ma,这表明该地区主体侵入岩形成于早二叠世。

(2)雅布赖岩体内广泛发育暗色微粒包体,岩相学、岩石化学和年代学证据表明其为岩浆混合成因。

(3)雅布赖岩体主体可能形成于古亚洲洋向南俯冲的活动大陆边缘环境。

致谢:在项目实施和成文过程中,天津地质调查中心辛后田教授级高工、滕学建高级工程师、张永高级工程师给予大力支持,审稿人的认真审稿并提出许多建设性的修改意见使作者收获良多,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

陈迪,陈焰明,马爱军,刘伟,刘耀荣,倪艳军. 2014. 湖南锡田岩体的岩浆混合成因:岩相学、岩石地球化学和 U-Pb 年龄证据. 中国地质,41(1):61~78.

陈虹. 2015. 内蒙古阿拉善巴音诺尔公一带二叠纪侵入岩地质特征. 导师:张维杰. 北京:中国地质大学(北京)硕士学位论文:1~66.

陈志勇,杨帅师,孟二根,黄占起. 2004. 内蒙古阿拉善左旗巴音诺日公地区前寒武系的厘定. 地质通报,23(4):345~351.

邓晋福,罗照华,苏尚国,莫宣学,于炳松,赖兴运,谌宏伟. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用. 北京:地质出版社:1~381.

邓晋福,刘翠,冯艳芳,肖庆辉,狄永军,苏尚国,赵国春,段培新,戴蒙. 2015a. 关于火成岩常用图解的正确使用:讨论与建议. 地质论评, 61(4):717~734.

邓晋福,冯艳芳,狄永军,刘翠,肖庆辉,苏尚国,赵国春,孟斐,马帅,姚图. 2015b. 岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换. 地质论评, 61(3):473~484.

甘立胜,吴泰然,陈彦,张文,张昭昱. 2018. 内蒙古阿拉善北缘尚丹岩体的年代学、地球化学特征及构造意义. 岩石学报 ,34(11):3359~3374.

耿元生,王新社,沈其韩,吴春明. 2006. 内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质基底阿拉善群的再厘定. 中国地质, 33(1):138~145.

耿元生,王新社,沈其韩,吴春明. 2007. 内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质岩系形成时代的初步研究. 中国地质, 34(2):251~261.

耿元生,周喜文. 2012. 阿拉善变质基底中的早二叠世岩浆热事件——来自同位素年代学的证据. 岩石学报,28(9):2667~2685.

李杰. 2012. 内蒙古阿拉善地区雅布赖—巴音诺尔公晚古生代侵入岩特征及其大地构造意义. 导师:张维杰. 北京:中国地质大学(北京)硕士学位论文:1~45.

李俊建. 2006. 内蒙古阿拉善地块区域成矿系统. 导师:翟裕生. 北京:中国地质大学(北京)博士学位论文:1~177.

李永军,赵仁夫,李注苍,刘志武,李英. 2003. 岩浆混合花岗岩微量元素成因图解尝试——以西秦岭温泉岩体为例. 长安大学学报(地球科学版),25(3):7~11+15.

李永军,李甘雨,康磊,何小刚,张洪伟,王军年. 2013. 西准噶尔夏尔莆岩体岩浆混合的锆石 U-Pb 年代学证据. 岩石学报,29(9):3023~3030.

林蕾,邱检生,王睿强,洪宇飞,徐航. 2018. 西藏尼木渐新世花岗岩中的岩浆混合作用:对岩石成因及陆壳增生的启示. 地质学报,92(12):2388~2409.

刘成东,张文秦,莫宣学,罗照华,喻学惠,李述为,赵欣. 2002. 东昆仑约格鲁岩体暗色微粒包体特征及成因. 地质通报,21(11):739~744.

刘志逊,赵寒冬,马丽玲,韩振哲,谭成印,侯玉树. 2007. 小兴安岭晚石炭世花岗岩岩浆混合作用的岩相学证据及其地质意义. 地质通报,26(3):289~298.

吕洪波,冯雪东,王俊,朱晓青,董晓朋,张海春,章雨旭. 2018. 狼山发现蛇绿混杂岩——华北克拉通与中亚造山带碰撞边界的关键证据. 地质论评,64(4):777~805.

莫宣学,罗照华,肖庆辉. 2002. 花岗岩类岩石中岩浆混合作用的识别与研究方法. 见:肖庆辉,邓晋福,马大铨,等. 著. 花岗岩研究思维与方法. 北京:地质出版社 53~70.

彭云彪,蒋孝君,刻鹏兵,戴明建,邢亚杰. 2018. 内蒙古正镶白旗中二叠世花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义. 地质论评,64(6):1379~1392.

齐有强,胡瑞忠,刘燊,田建吉. 2008. 岩浆混合作用研究综述. 矿物岩石地球化学通报,27(4):409~416.

史兴俊,童英,王涛,张建军,张招崇,张磊,郭磊,曾涛,耿建珍. 2012. 内蒙古西部阿拉善地区哈里努登花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征. 地质通报, 31(5):662~670.

史兴俊, 张磊,王涛,肖序常, 童英,张建军,耿建珍,叶珂. 2014. 内蒙古阿拉善盟北部宗乃山中酸性侵入岩年代学、地球化学及构造意义. 岩石矿物学杂志,33(6):989~1007.

童英,洪大卫,王涛,史兴俊,张建军,曾涛. 2010. 中蒙边境中段花岗岩时空分布特征及构造和找矿意义. 地球学报, 31(3):395~412.

汪传胜,张遵忠,吴昌志,唐俊华,邵毅,刘四海,冯慧,雷如雄. 2009. 东天山八大石早二叠世二长花岗岩中闪长质包体的特征、锆石定年及其地质意义. 岩石矿物学杂志,28(4):299~315.

王德滋,周金城. 1999. 我国花岗岩研究的回顾与展望. 岩石学报,15(2):2~10.

王德滋,谢磊. 2008. 岩浆混合作用:来自岩石包体的证据. 高校地质学报,14(1):16~21.

王涛. 2000. 花岗岩混合成因研究及大陆动力学意义. 岩石学报,16(2):161~168.

王廷印,王金荣,刘金坤,王士政,吴家弘. 1994. 宗乃山-沙拉扎山陆壳基底火山弧火成岩组合及地球化学特征. 地球化学, 23(增刊1):162~172.

汪相. 2018. 白云鄂博超大型稀土—铌—铁矿床的成矿时代及成因探析———兼论 P—T 之交生物群灭绝事件和"阿蒙兴造山运动". 地质论评,64(2):299~345.

王晓霞,王涛,卢欣祥,肖庆辉. 2002. 北秦岭老君山、秦岭梁环斑结构花岗岩岩浆混合的岩相学证据及其意义. 地质通报,21(8):523~529.

王玉往,王京彬,王莉娟,方同辉. 2007. 新疆尾亚地区石英二长闪长岩的岩浆混合成因. 岩石学报,23(4):733~746.

王玉往,王京彬,王书来,王莉娟,丁汝福,蒲克信. 2008. 新疆富蕴希力库都克地区岩浆混合作用及其成矿意义. 地质学报,82(2):221~233+293~294.

仵康林. 2011. 阿拉善地区华力西晚期花岗岩类岩石地球化学特征及

其构造意义. 导师:党犇. 西安:长安大学硕士学位论文:1~78.
吴泰然,何国琦. 1993. 内蒙古阿拉善地块北缘的构造单元划分及各单元的基本特征. 地质学报, 67(2):97~108.
徐备,赵盼,鲍庆中,周永恒,王炎阳,罗志文. 2014. 兴蒙造山带前中生代构造单元划分初探. 岩石学报,30(7):1841~1857.
杨蓉,张成立,陈春勇,张晓琪,苟龙龙,马中平,高晓峰,魏强,孙吉明,李平. 2017. 西天山晚石炭世岩浆混合花岗岩的确定及其地质意义——来自玉奇布拉克和乌图精河岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和岩石地球化学证据. 地质论评, 63(5):1226~1254.
杨奇荻,张磊,王涛,史兴俊,张建军,童英,郭磊,耿建珍. 2014. 内蒙古阿拉善地块北缘沙拉扎山晚石炭世岩体地球化学特征与 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄. 地质通报, 33(6):776~787.
叶珂,张磊,王涛,史兴俊,张建军,刘超. 2016. 阿拉善雅布赖山二叠纪中酸性岩浆岩年代学、地球化学、锆石 Hf 同位素特征及构造意义. 岩石矿物学杂志, 35(6):901~928.
张建军,王涛,张招崇,童英,张磊,史兴俊,郭磊,李舢,曾涛. 2012. 华北地块北缘西段巴音诺尔公—狼山地区牙马图岩体的岩浆混合成因——岩相学和元素地球化学证据. 地质论评,58(1):53~66.
张建军. 2015. 阿拉善地块北部二叠纪花岗岩类成因及地质意义. 导师:张招崇,王涛. 北京:中国地质大学(北京)博士学位论文:1~168.
张建新,宫江华. 2018. 阿拉善地块性质和归属的再认识. 岩石学报, 34(4):940~962.
张磊,史兴俊, 张建军,杨奇荻,童英,王涛. 2013. 内蒙古阿拉善北部陶豪托西圈辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征. 地质通报,32(10):1536~1547.
张旗,潘国强,李承东,金惟俊,贾秀勤. 2007. 花岗岩混合问题:与玄武岩对比的启示——关于花岗岩研究的思考之一. 岩石学报,23(5):1141~1152.
张晓琳,邱检生,王德滋,王汝成,徐夕生,陈小明. 2005. 浙江普陀山黑云母钾长花岗岩及其岩石包体的地球化学与岩浆混合作用. 岩石矿物学杂志,24(2):81~92.
张志强,王凯兴,王刚,刘晓东,刘文恒,邬斌. 2018. 甘肃龙首山茏岭地区古生代正长岩成因及构造意义. 地质论评, 64(4):1017~1029.
郑荣国,吴泰然,张文,冯继承,徐操,孟庆鹏,张昭昱. 2013. 阿拉善地块北缘雅干花岗岩体地球化学、地质年代学及其对区域构造演化制约. 岩石学报, 29(8):2665~2675.
赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理. 北京:科学出版社:1~73.
Barbarin B. 2005. Mafic magmatic enclaves and mafic rocks associated with some granitoids of the central Sierra Nevada batholith, California: nature, origin, and relations with the hosts. Lithos, 80: 155~177.
Chen Di, Chen Yanming, Ma Aijun, Liu Wei, Liu Yaorong, Ni Yanjun. 2014&. Magma mixing in the Xitian pluton of Hunan Province: Evidence from petrography, geochemistry and zircon U-Pb age. Geology in China, 41(1): 61~78.
Chen Hong. 2015&. Geological characteristics of the Permian intrusive rocks along the Bayan Noel of Alxa, Inner Mongolia. Instructor: Zhang Weijie. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) Master's thesis: 1~66.
Chen Zhiyong, Yang Shuaishi, Meng Ergen, Huang Zhanqi. 2004&. Revision of Precambrian stratigraphic units in the Bayan Nuru area, Alxa Zuoqi, Inner Mongolia. Geological Bulletin of China, 23(4): 345~351.
Dan Wei, Li Xianhua, Guo Jinghui, Liu Yu, Wang Xuance. 2012. Paleoproterozoic evolution of the eastern Alxa Block, westernmost North China: Evidence from in situ zircon U-Pb dating and Hf—O isotopes. Gondwana Research, 21(4): 838~864.
Dan Wei, Li Xianhua, Wang Qiang, Tang Gongjian, Liu Yu. 2014. An Early Permian (ca. 280 Ma) silicic igneous province in the Alxa Block; NW China: A magmatic flare-up triggered by a mantle-plume? Lithos, 204: 144~158.
Dan Wei, Wang Qiang, Wang Xuance, Liu Yu, Wyman D A, Liu Yongsheng. 2015. Overlapping Sr—Nd—Hf—O isotopic compositions in Permian mafic enclaves and host granitoids in Alxa Block, NW China: Evidence for crust—mantle interaction and implications for the generation of silicic igneous provinces. Lithos, 230: 133~145.
Dan Wei, Li Xianhua, Wang Qiang, Wang Xuance, Wyman D A, Liu Yu. 2016. Phanerozoic amalgamation of the Alxa Block and North China Craton: Evidence from Paleozoic granitoids, U-Pb geochronology and Sr—Nd—Pb—Hf—O isotope geochemistry. Gondwana Research, 32(32): 1~17.
Deng Jinfu, Luo Zhaohua, Su Shangguo, Mo Xuanxue, Yu Bingsong, Lai Xingyun, Chen Hongwei. 2004#. Rock Genesis, Tectonic Setting and Mineralization. Beijing: Geological Publishing House: 1~381.
Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Di Yongjun, Su Shangguo, Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015a&. On the correct application in the common igneous petrological diagrams: discussion and suggestion. Geological Review, 61(4): 717~734.
Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Zhao Guochun, Meng Fei, Ma Shuai, Yao Tu. 2015b&. Magmatic arc and Ocean—Continent Transition: discussion. Geological Review, 61(3): 473~484.
Feng Jianyun, Xiao Wenjiao, Windley B, Han Chunming, Wan Bo, Zhang Ji'en, Ao Songjian, Zhang Zhiyong, Lin Lina. 2013. Field geology, geochronology and geochemistry of mafic—ultramafic rocks from Alxa, China: Implications for Late Permian accretionary tectonics in the southern Altaids. Journal of Asian Earth Sciences, 78(78): 114~142.
Gan Lisheng, Wu Tairan, Chen Yan, Zhang Wen, Zhang Zhaoyu. 2018&. Geochronology and geochemical chararteristics of the Shangdan pluton in the northern margin of the Alxa Block, Inner Mongolia and its tectonic implications. Acta Petrologica Sinica, 34(11): 3359~3374.
Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, Wu Chunming. 2006&. Redefinition of the Alxa Group——complex (Precambrian metamorphic basement) in the Alxa area, Inner Mongolia. Geology in China, 33(1): 138~145.
Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, Wu Chunming. 2007&. Chronology of the Precambrian metamorphic series in the Alxa area, Inner Mongolia. Geology in China, 34(2): 251~261.
Geng Yuansheng, Zhou Xiwen. 2012&. Early Permian magmatic events in the Alxa metamorphic basement: Evidence from geochronology. Acta Petrologica Sinica, 28(9): 2667~2685.
Hibbard M J. 1991. Textural anatomy of twelve magma-mixed granitic systems. In: Didier J and Barbarin B. eds. Enclaves and Granite Petrology. Amesterdam: Elsevier, 431~444.
Langmuir C H, Vocke R D, Hanson G N, et al. 1978. A general mixing equation with applications to Icelandic nasalts. Earth and Planetary Science Letters, 37(1): 380~392.
Li Jie. 2012&. Characteristics and tectonic significance of Late Paleozoic intrusive rocks along the Yabrai—Bayan Noel of Alxa, Inner

Monglia. Instructor: Zhang Weijie. Beijing: China University of Geosciences(Beijing) Master's thesis: 1~45.

Li Junjian. 2006&. Regional metallogenic system of Alashan Block in Inner Monolia Autonomous Region. Instructor: Zhai Yusheng. Beijing: China University of Geosciences(Beijing) PhD. thesis: 1~177.

Li Yongjun, Zhao Renfu, Li Zhucang, Liu Zhiwu, Li Ying. 2003&. Origin discrimination of granitoids formed by mingled magma: Using a trace element diagram and exemplified by Wenquan granites, Western Qinling. Journal of Changan University, 25(3): 7~11, 15.

Li Yongjun, Li Ganyu, Kang Lei, He Xiaogang, Zhang Hhongwei, Wang Junnian. 2013&. Evidence of zircon U-Pb geochronology for magma mixing of Xiaerpu granite in West Junggar. Acta Petrologica Sinica, 29(9): 3023~3030.

Lin Lei, Qiu Jiansheng, Wang Ruiqiang, Hong Yufei, Xu Hang. 2018&. Magma mixing in Oligocene granites from Nyemo, Tibet: Implications for petrogenesis and continental crust accretion. Acta Geologica Sinica, 92(12): 2388~2409.

Liu Chengdong, Zhang Wenqin, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Yu Xuehui, Li Shuwei, Zhao Xin. 2002&. Features and origin of mafic microgranular enclaves in the Yuegelu granite in the Eastern Kunlun. Geological Bulletin of China, 21(11): 739~744.

Liu Zhixun, Zhao Handong, Ma Liling, Han Zhenzhe, Tan Chengyin, Hou Yushu. 2007&. Petrographic evidence of magma mixing of Late Carboniferous granite in the Xiao Hinggan Mountains, China and its geological implications. Geological Bulletin of China, 26(3): 289~298.

Lu Hongbo, Feng Xuedong, Wang Jun, Zhu Xiaoqing, Dong Xiaopeng, Zhang Haichun, Zhang Yuxu. 2018&. Ophiolitic Mélanges found in mount Langshan as the crucial evidence of collisional margin between North China Craton and Central Asian Orogenic Belt. Geological Review, 64(4): 777~805.

Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Xiao Qinghui. 2002 #. Cognition of magma hybrid in granites and its research methods. In: Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, et al. The Ways of Investigation on Granitoids. Beijing: Geological Publishing House: 53~70.

Panino- Douce A E. 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas. In: Catro A, Fernandez C, Vigneresse J L. eds. Understanding Granites: Integrating New and Classical Techniques. Geological Society, London, Special Publications, 168: 55~75.

Peng Yunbiao, Jiang Xiaojun, Yan Pengbing, Dai Mingjian, Xing Yajie. 2018&. LA- ICP- MS zircon U- Pb ages, geochemical characteristics of Middle Permian Qianhuhetaolegai granite in Zhengxiangbai Banner, Inner Mongolia and their tectonic significances. Geological Review, 64(6): 1379~1392.

Qi Youqiang, Hu Ruizhong, Liu Shen, Tian Jianji. 2008&. Review on magma mixing and mingling. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 27(4): 409~416.

Shi Xingjun, Tong Ying, Wang Tao, Zhang Jianjun, Zhang Zhaochong, Zhang Lei, Guo Lei, Zeng Tao, Geng Jianzhen. 2012&. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and geochemistry of the Early Permian Halinudeng granite in northern Alxa area, western Inner Mongolia. Geological Bulletin of China, 31(5): 662~670.

Shi Xingjun, Wang Tao, Zhang Lei, Antonio Castro, Xiao Xuchang, Tong Ying, Zhang Jianjun, Guo Lei, Yang Qidi. 2014. Timing, petrogenesis and tectonic setting of the Late Paleozoic gabbro—granodiorite—granite intrusions in the Shalazhashan of northern Alxa: Constraints on the southernmost boundary of the Central Asian Orogenic Belt. Lithos, 208~209: 158~177.

Shi Xingjun, Zhang Lei, Wang Tao, Xiao Xuchang, Tong Ying, Zhang Jianjun, Geng Jianzhen, Ye Ke. 2014&. Geochronology and geochemistry of the intermediate—acid intrusive rocks from Zongnaishan area in northern Alxa, Inner Mongolia, and their tectonic implications. Acta Petrologica et Mineralogica, 33(6): 989~1007.

Song Dongfang, Xiao Wenjiao, Windley B F, Han Chunming and Tian Zhonghua. 2015. A Paleozoic Japantype subduction—accretion system in the Beishan orogenic collage, southern Central Asian Orogenic Belt. Lithos, 224~225: 195~213.

Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotope systematicas of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society Special Publication, 42: 313~345.

Tong Ying, Hong Dawei, Wang Tao, Shi Xingjun, Zhang Jianjun, Zeng Tao. 2010&. Spatial and temporal distribution of granitoids in the middle segment of the Sino—Mongolian border and its tectonic and metallogenic implications. Acta Geoscientica Sinica, 31(3): 395~412.

Wang Chuansheng, Zhang Zunzhong, Wu Changzhi, Tang Junhua, Shao Yi, Liu Sihai, Feng Hui, Lei Ruxiong. 2009&. Petrologic characteristics, zircon geochronology of dioritic enclaves in Early Permian Badashi monzogranite of East Tianshan Mountains and their geological implications. Acta Petrologica et Mineralogica, 28(4): 299~315.

Wang Dezi, Zhou Jincheng. 1999&. Look back and look forward to granite research. Acta Petrologica Sinica, 15(2): 2~10.

Wang Dezi, Xie Lei. 2008&. Magma mingling: Evidence from enclaves. Geological Journal of China Universities, 14(1): 16~21.

Wang Tao. 2000&. Origin of hybrid granitoids and the implications for continental dynamics. Acta Petrologica Sinica, 16(2): 161~168.

Wang Tingyin, Wang Jinrong, Liu Jinkun, Wang Shizheng, Wu Jiahong. 1994&. Igneous rock associations and geochemical characteristics of volcanic arc with continental crustal basement in Zongnaishan—Shalazhashan. Geochimica 23(S1): 162~172.

Wang Xiang. 2018&. Analysis on the oreforming time and genesis of the Bayan Obo REE—Nb—Fe deposit: With a discussion on the mass extinction at the P—T boundary and "AMH Orogeny". Geological Review, 64(2): 299~345.

Wang Xiaoxia, Wang Tao, Lu Xinxiang, Xiao Qinghui. 2002&. Petrographic evidence of hybridization of magmas of the Laojunshan and Qinlingliang rapakivi-textured granites in the North Qinling and its significance. Geological Bulletin of China, 21(8): 523~529.

Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, Fang Tonghui. 2007&. Magma-mixing genesis of quartz monzodiorite in the Weiya, Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 23(4): 733~746.

Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Shulai, Wang Lijuan, Ding Rufu, Pu Kexin. 2008&. Magma mixing in the Xilikuduke Area, Fuyun County, Xinjiang and its mineralization significance. Acta Geologica Sinica, 82(2): 221~233.

Wang Zengzhen, Han Baofu, Feng Lixia, Liu Bo. 2015. Geochronology, geochemistry and origins of the Paleozoic—Triassic plutons in the Langshan area, western Inner Mongolia, China. Journal of Asian Earth Sciences, 97(97): 337~351.

Windley B F, Alexeiev D, Xiao Wenjiao, Kröner A and Badarch G. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic

Belt. Journal of the Gelolgical Society of London, 164(12):31~47.

Wu Kanglin. 2011&. Geochemical characteristics and tectonic setting of Late Varisian Period in Alashan block. Instructor: Dang Ben. Xian: Changan University Master's thesis: 1~78.

Wu Tairan, He Guoqi. 1993&. Tectonic units and there fundamental characteristics on the northern margin of the Alxa Block. Acta Geologica Sinica, 67(2):. 97~108.

Wyllie P J, Cox K G and Biggar G M. 1962. The habit of apatite in synthetic systems and igneous rocks. J. Petrol., 3(2):238~242.

Xiao Wenjiao, Windley B F, Sun Shu, Li Jiliang, Huang Baochun, Han Chunming, Yuan Chao, Sun Min and Chen Hanlin. 2015. A tale of amalgamation of three Permo—Triassic collage systems in Central Asia: Oroclines, sutures, and terminal accretion. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 43:477~507.

Xu Bei, Charvet J, Chen Yan, Zhao Pan and Shi Guanzhong. 2012. Middle Paleozoic convergent orogenic belts in western Inner Mongolia (China): framework, kinematics, geochronology and implications for tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt. Gondwana Research, 23:1342~1364.

Xu Bei, Zhao Pan, Bao Qingzhong, Zhou Yongheng, Wang Yanyang, Luo Zhiwen. 2014&. Preliminary study on the pre-Mesozoic tectonic unit division of the Xing-Meng Orogenic Belt (XMOB). Acta Petrologica Sinica, 30(7): 1841~1857.

Yang Rong, Zhang Chengli, Chen Chunyong, Zhang Xiaoqi, Gou Longlong, Ma Zhongping, Gao Xiaofeng, Wei Qiang, Sun Jiming, Li Ping. 2017&. Determination and geological significance of Late Carboniferous magma mixing granitoids in the West Tianshan Mountains——Evidence from zircon LA-ICP-MS U-Pb ages and petro-geochemical characteristics of Yuqibulake and Wutujinghe Plutons. Geological Review, 63(5):1226~1254.

Yang Qidi, Zhang Lei, Wang Tao, Shi Xingjun, Zhang Jianjun, Tong Ying, Guo Lei, Geng Jianzhen. 2014&. Geochemistry and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Late Carboniferous Shalazhashan pluton on the northern margin of the Alxa Block, Inner Mongolia and their implications. Geological Bulletin of China, 33(6):776~787.

Ye Ke, Zhang Lei, Wang Tao, Shi Xingjun, Zhang Jianjun, Liu Chao. 2016&. Geochronology, geochemistry and zircon Hf isotope of the Permian intermediate-acid igneous rocks from the Yabulai Mountain in western Alxa, Inner Mongolia, and their tectonic implications. Acta Petrologica et Mineralogica, 35(06):901~928.

Zhang Jianjun, Wang Tao, Zhang Zhaochong, Tong Ying, Zhang Lei, Shi Xingjun, Guo Lei, Li Shan, Zeng Tao. 2012&. Magma mixing origin of Yamatu Granite in Nuoergong—Langshan Area, Western Part of the Northern Margin of North China Craton: Petrological and Geochemical Evidences. Geological Review, 58(1):53~66.

Zhang Jianjun. 2015&. Petrogenesis of the Permian granitoids from the northern Alxa Block and their geodynamic implications. Instructor: Zhang Zhaochong, Wang Tao. Beijing: China University of Geosciences(Beijing) Doctor's thesis: 1~168.

Zhang Jianjun, Wang Tao, Zhang Lei, Tong Ying, Zhang Zhaochong, Shi Xingjun, Guo Lei, Huang He, Yang Qidi, Huang Wei, Zhao Jianxin, Ye Ke, Hou Jiyao. 2015. Tracking deep crust by zircon xenocrysts within igneous rocks from the northern Alxa, China: Constraints on the southern boundary of the Central Asian Orogenic Belt. Journal of Asian Earth Sciences, 108(108):150~169.

Zheng Rongguo, Wu Tairan, Zhang Wen, Xu Cao, Meng Qingpeng, Zhang Zhaoyu. 2014. Late Paleozoic subduction system in the northern margin of the Alxa block, Altaids: Geochronological and geochemical evidences from ophiolites. Gondwana Research, 25(2):842~858.

Zhang Jianxin, Gong Jianghua. 2018&. Revisiting the nature and affinity of the Alxa Block. Acta Petrologica Sinica, 34(4): 940~962.

Zhang Lei, Shi Xingjun, Zhang Jianjun, Yang Qidi, Tong Ying, Wang Tao. 2013&. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and geochemical characteristics of the Taohaotuoxiquan gabbro in northern Alxa, Inner Mongolia. Geological Bulletin of China, 32(10):1536~1547.

Zhang Qi, Pan Guoqiang, Li Chengdong, Jin Weijun, Jia Xiuqin. 2007&. Granitic magma mixing versus basaltic magma mixing: New viewpoints on granitic magma mixing process: some crucial questions on granite study(1). Acta Petrologica Sinica, 23(5):1141~1152.

Zhang Xiaolin, Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Wang Rucheng, Xu Xisheng, Chen Xiaoming. 2005&. Geochemistry and magmatic mixing of the Putuoshan biotite moyites and their enclaves, Zhejiang Province. Acta Petrologica et Mineralogica, 24(2):81~92.

Zhao Zhenhua. 1997 #. Principles of Trace Element Geochemistry. Beijing: Science Press: 1~73.

Zheng Rongguo, Wu Tairan, Zhang Wen, Feng Jicheng, Xu Cao Meng Qingpeng Zhang Zhaoyu. 2013&. Geochronology and geochemistry of the Yagan granite in the northern margin of the Alxa block: Constraints on the tectonic evolution of the southern Altaids. Acta Petrologica Sinica, 29(8): 2665~2675.

Zheng Rongguo, Wu Tairan, Zhang Wen, Xu Cao, Meng Qingpeng, Zhang Zhaoyu. 2014. Late Paleozoic subduction system in the northern margin of the Alxa block, Altaids: Geochronological and geochemical evidences from ophiolites. Gondwana Research, 25(2):842~858.

Magma mixing origin of the mafic microgranular enclaves from the Yabulai pluton in the western part of northern Alxa Block

WANG Kailei, ZHANG Jiaxing, ZHANG Xuemeng, LI Huikai, ZHENG Le,
NI Suoyang, LI Jinghua, SUN Wanlin, WANG Qi

No. 519 *Team of North China Geological Exploration Bureau*, *Baoding*, *Hebei*, 071000

Abstract: Located in the western part of Yabulai—Nuorigong—Hongqueryulin belts, Northern Alxa Block, the Yabulai area possesses extensively exposed intermediate—felsic plutons. The main rock types of the Yabulai pluton are granodiorite and monzogranite, mafic microgranular enclave(MMEs) are widely distributed in the pluton. Zircon

U-Pb dating indicates that the Yabulai pluton were formed in the Early Permian, as evidenced by the data from monzogranite (283. 4 ± 2. 0Ma), granodiorite (277 ± 1. 6Ma), the MMEs (284. 7 ± 2. 4Ma). The MMEs display igneous-texture and most of them are characterized by plastic flow deformation, quenched margin, inversional veins and acicular apatite can be found in some MMEs. The disequilibrium mineral associations or disequilibrium textures are developed in MMEs. The MMEs has similar REE pattern and primitive mantle-normalized trace-element with host granodiorite and monzogranite, there are linear arrays in binary diagrams, exhibits evidence for magma mixing. Combined with previous studies, the authors hold that the Permian magmatism probably formed a magmatic rock belt along the whole northern margin of Alxa Block, and the Permian igneous rocks in the Western Yabulai Mountain might have been formed in an active continental margin setting related to the southward subduction of the Paleo-Asian Ocean.

Keywords: magma mixing; mafic microgranular enclave (MMEs); geochemistry; zircon U-Pb chronology; the Yabulai pluton

Acknowledgement: This study was supported by the Geologic Survey Progect of China Geological Survey (No. DD20160039-13)

First auther: WANG Kailei, male, born in 1989, engineer, mainly engaged in regional and mineral geological survey; Email: 947981910@ qq. com

Manuscript received on: 2018-09-09; Accepted on: 2019-11-08; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2020. 01. 002

中国地质学会办事机构大大加强

多年来,中国地质学会办事机构人员较少,职员们一直超负荷运行。近日根据《中国地质调查局关于中国地质科学院内设机构调整方案的批复》文件精神,在中国地质调查局、中国地质科学院的大力支持下,中国地质学会机构改革方案已落实到位,办事机构的力量得到了大大的加强。

此前,中国地质学会办事机构仅设秘书处和期刊处两个处,机构改革后,设立了综合协调处、成果和人才评选处、诚信体系建设处、学术交流处和期刊处; 人员组成也获得了较大增加。

现人员组成如下:

综合协调处:华丽娟(处长)、王涛、李展、李彬飚、张子薇、张敏敏;

成果和人才评选处:纪占胜(处长)、代国标;

诚信体系建设处:孟庆伟(处长)、殷小艳(副处长)、高梦瑶、孙莉莉;

学术交流处:刘恋(副处长 主持工作)、袁彭、郭子龙;

期刊处:周健(副处长、《地质学报》常务副主编), 费红彩(副处长、《地质学报》(英文版)常务副主编), 刘志强(副处长、《地质论评》编辑部主任), 章雨旭(《地质论评》常务副主编), 黄敏(《地质学报》编辑部主任), 李曼, 刘萌, 吴蕾。另,《地质学报》中、英文版、《地质论评》和《地球学报》编辑部[魏乐军(处长)、闫立娟、张改侠、孙晓红]共同组成"中国地质学会—中国地质科学院期刊处"。

日前,各处室负责同志及干部职工已基本到位。此次机构改革通过优化职能配置来推动学会健康有序发展,意味着学会工作将迎来全新的局面,中国地质学会将以全新的面貌面向广大会员、各理事单位、各分支机构、各省级地质学会,我们将以饱满的工作热情继续更好地为全国地勘行业科技工作者做好服务工作!

据: http://www. geosociety. org. cn/? category = bmV3cw==&catiegodry=OTUzMQ==,有修改。

ZHANG Yuxu: The office of *Geological Society of China* was greatly strengthened