

新疆北山盐滩一带侵入岩地球化学特征、时代及地质意义

屈翠侠¹ 杨兴科¹ 何虎军¹ 高 萍² 宋宏业³

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 西北有色地质勘查局物化探总队, 陕西 西安 710068;
3. 中石油渤海钻探工程有限公司测井分公司, 天津 大港 300280)

摘要: 本文对新疆北山盐滩一带的侵入岩进行了系统的岩石学、岩石地球化学及锆石 U-Pb 同位素年代学研究。该区侵入岩主要包括闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩、中细粒花岗岩和花岗斑岩, 属高钾钙碱性系列和钙碱性系列。稀土元素特征表现为轻稀土富集, 重稀土亏损, 以及较强的负 Eu 异常; 微量元素表现为富集 Rb、Th 等大离子亲石元素, 而 Sr、Nb、Ta 等明显亏损。本研究采用锆石 SHRIMP U-Pb 定年, 测得闪长岩和中细粒花岗岩年龄分别为 (296±4.1) Ma、(294±3.7) Ma, 两者在误差范围内一致, 表明其形成时代为早二叠世早期。分析认为该区侵入岩为幔源物质底侵形成的 I 型花岗岩类, 岩石形成于北山裂谷闭合之后的后碰撞构造环境。由此认为北山裂谷在该区的闭合作用在早二叠世早期已经结束。

关键词: 新疆北山裂谷带; 侵入岩; SHRIMP; 锆石 U-Pb 定年; 后碰撞花岗岩

中图分类号: P588.12; P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)05-1409-12

北山地区位于哈萨克斯坦板块和塔里木—中朝板块的交汇部位, 构造位置独特, 构造-岩浆活动强烈, 历来受到地学界的关注^[1-6]。尤其是对该区花岗岩类的研究, 已经积累了丰富的资料。但已有的研究主要集中在北山南部和中部地区, 盐滩一带由于地处荒漠戈壁地带, 毗邻罗布泊, 环境恶劣, 研究相对薄弱。此外, 对于整个北山地区广泛分布的海西晚期花岗岩类的构造属性的认识, 有同碰撞属性^[2-3]和后碰撞属性^[4-5]的不同观点, 对于其岩石成因也存在幔源成因^[3]和壳幔混合成因^[1,4]的分歧。因此本文对北山西部南缘盐滩一带侵入岩的岩石学、岩石化学、年代学及岩浆成因和形成环境等进行详细研究, 对盐滩一带的构造演化及北山西部海西晚期花岗岩的成因以及构造属性的认识都具有重要意义。

1 地质背景

研究区位于塔里木盆地腹地北山山系西段, 毗

邻罗布泊和敦煌盆地。区域构造上位于库鲁克塔格微地块与敦煌地块间的北山裂谷带(图 1-a), 地层分区上属于北山地区层的卡拉塔格—红柳园小区。盐滩一带以整个北山地区的地质演化为背景, 北山地区位于中天山地块之南, 塔里木陆块与阿拉善地块之北, 是在元古宙基底上发展起来的加里东和华力西褶皱带。其基底岩层与塔里木陆块相似, 该裂谷自中奥陶世开始拉开, 经志留纪、泥盆纪、石炭纪、早二叠世, 时断时续的拉张与闭合^[6]。北山地区古生代以来多次强烈的地壳运动, 使本区有过多次岩浆活动, 以石炭纪末期—早二叠世的岩浆侵入活动最为激烈, 花岗岩类岩石分布广泛, 占全部侵入岩的 95% 左右。

北山地区地质工作的总体水平较低, 特别是侵入岩研究十分薄弱。整体上北山花岗岩的研究仍然存在许多有关其年代学、成因、构造环境等问题。盐滩一带侵入岩由中酸性—酸性岩组成, 包括 28 个侵

收稿日期: 2012-11-29; 改回日期: 2013-05-16

基金项目: 中国地质调查局新疆北山黑山岭东南 1:5 万区域地质矿产调查项目(XJQDZ2006-16)资助。

作者简介: 屈翠侠, 女, 1986 年生, 博士生, 主要从事构造岩浆作用及成矿方面的研究; E-mail: 329865708@qq.com。

入体,出露面积约 80 km²。岩体多出露于晚石炭世地层中,明显受区域断裂构造控制(图 1-b)。岩体与围岩均呈侵入接触关系,沿断裂带大体呈东西向展布,岩体侵入的先后关系较为明显,变质变形程度均较弱。本文通过高精度的 SHRIMP 锆石 U-Pb 法测定了岩体的同位素地质年龄为 (296±4.1) Ma 和 (294±3.7) Ma,因此推测该区侵入岩属于海西晚期岩浆活动的产物。

盐滩一带侵入岩岩石类型主要包括闪长岩、花岗闪长岩、中细粒花岗岩、二长花岗岩、正长花岗岩、花岗斑岩等。闪长岩、正长花岗岩、二长花岗岩等主要分布在盐滩断裂以北,由图 1-b 可见,闪长岩侵入于晚石炭世干泉组和晚石炭世石板山组的地层中,同时被正长花岗岩和二长花岗岩体穿插;大量的中细粒花岗岩主要分布在盐滩断裂以南,侵入于晚

石炭世干泉组地层中,后期的正长花岗岩、花岗斑岩呈岩株状穿插于中细粒花岗岩体之中。整个盐滩断裂一带侵入岩侵入的最新地层为晚石炭世干泉组,根据岩体的接触关系,其侵入的先后顺序应该是闪长岩(花岗闪长岩)、二长花岗岩(正长花岗岩)、中细粒花岗岩、花岗斑岩。

2 岩石学特征

闪长岩(样品号:48-1)为灰绿色,细粒结构,块状构造,主要由斜长石、普通角闪石、石英、黑云母、磷灰石等组成(图 2-a, b)。斜长石含量 65%,呈半自形板状,双晶发育,可见环带结构(图 2-c),普遍具绢云母化、黝帘石化;普通角闪石含量 25%,呈长柱状,浅黄-黄褐色,多色性明显,闪石式解理完全;石英含量 3%,呈他形粒状,表面干净,波状消光;黑云

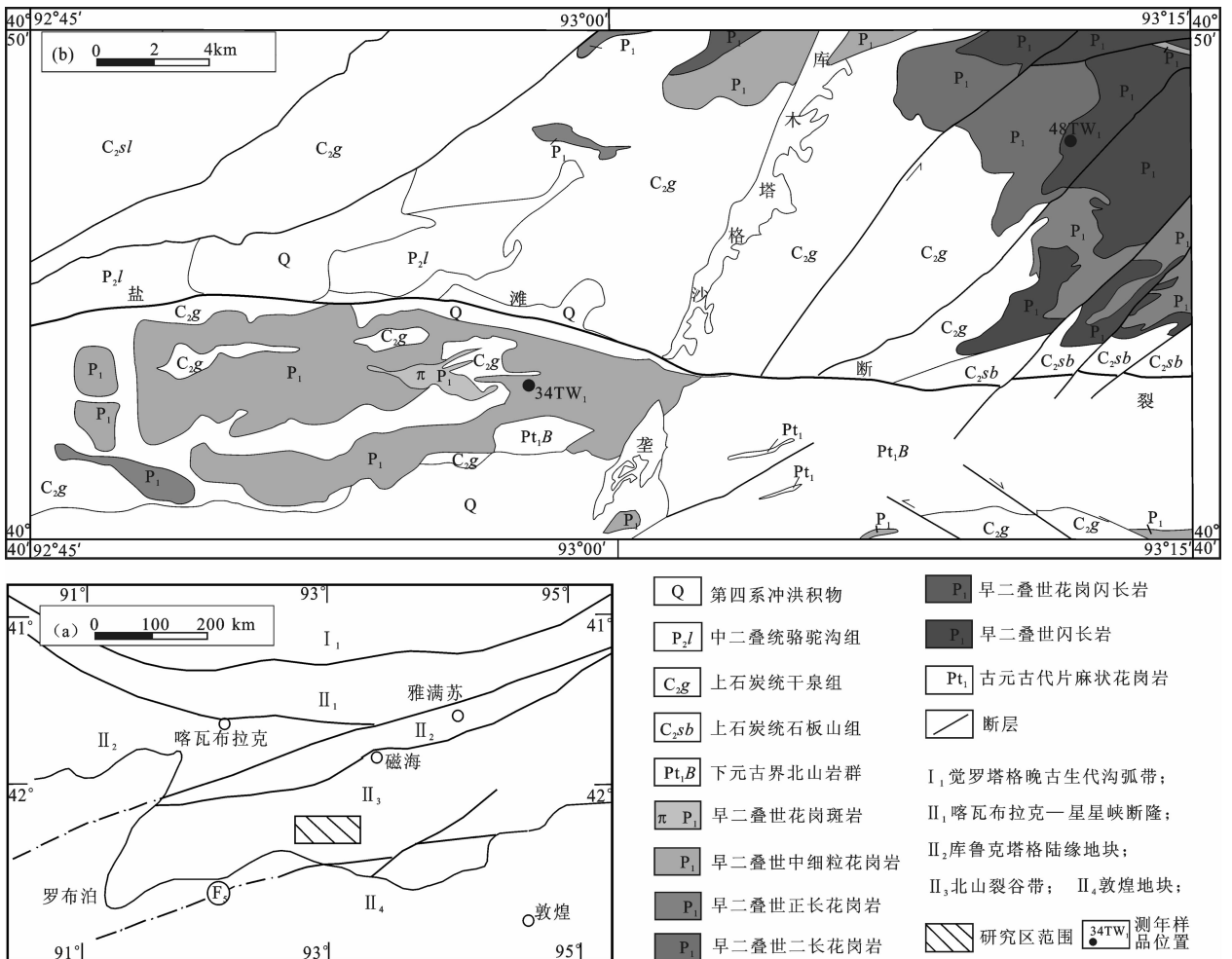


图 1 北山盐滩一带大地构造位置图(a)及地质简图(b)
Fig.1 Tectonic sketch map (a) and schematic geological map (b) of Yantan belt in Beishan, Xinjiang

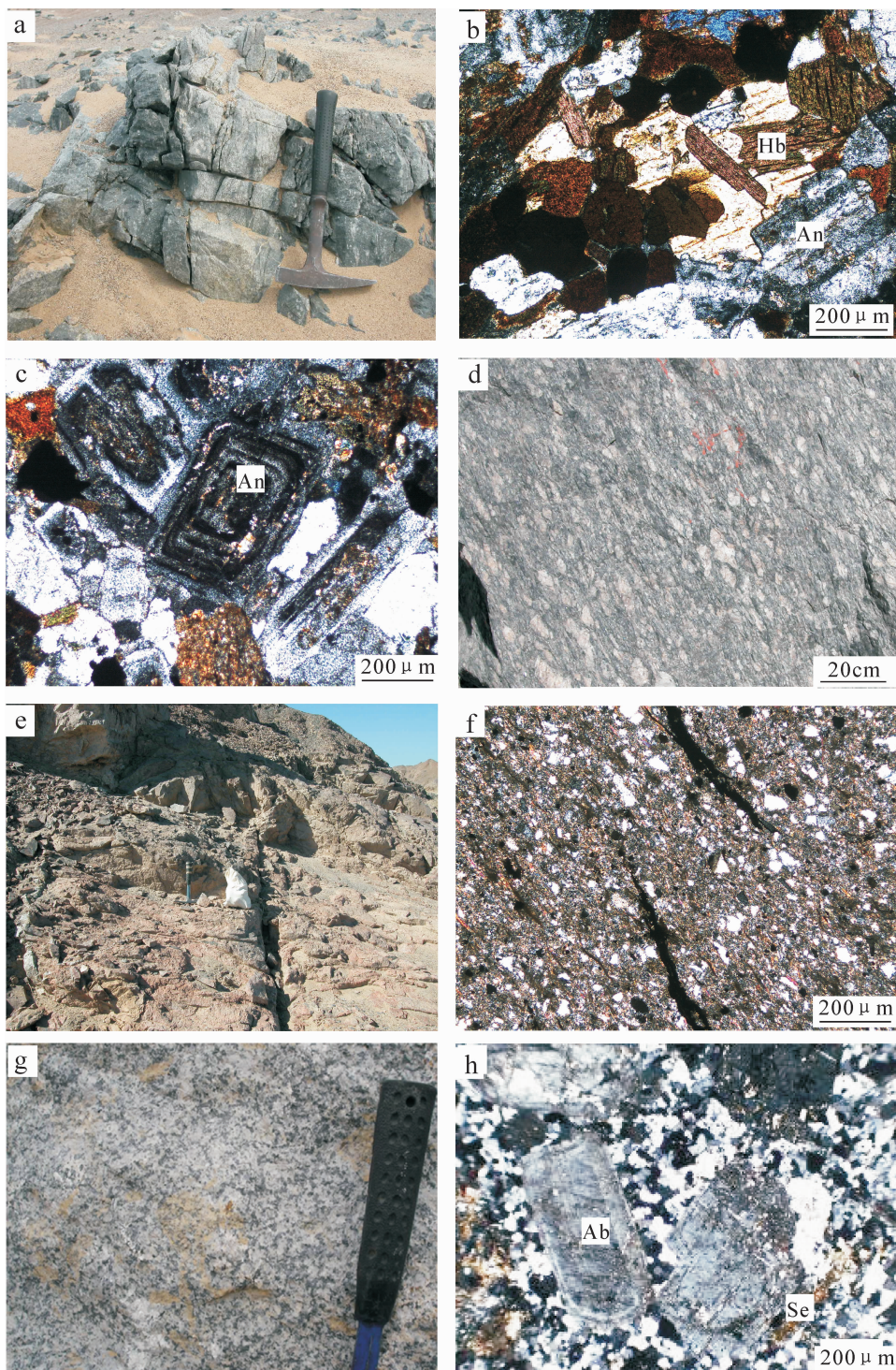


图 2 侵入岩野外露头及镜下照片

a—闪长岩的野外露头;b—闪长岩在正交偏光镜下的矿物特征;c—闪长岩中的斜长石环带结构;
d—花岗闪长岩的野外露头;e—正长花岗岩的野外露头;f—正长花岗岩在正交偏光镜下的蚀变矿物特征;
g—中细粒花岗岩的野外露头;h—花岗斑岩中的斜长石斑晶,局部绢云母化

Fig.2 Field outcrop of intrusive rocks and the photomicrographs

a—Field outcrop of diorite; b—Mineral characteristics of diorite (crossed nicols); c—Zonal texture in plagioclase of diorite;
d—Field outcrop of granodiorite; e—Field outcrop of feldspar granite; f—Altered mineral characteristics of feldspar granite (crossed nicols); g—Field outcrop of middle-fine grained granite; h—Plagioclase phenocryst of granite-porphphy, with some sericitization

母含量 6%,呈他形片状,强绿泥石化;副矿物磷灰石含量约 1%,呈柱、粒状。

花岗闪长岩(样品号:X-1、VI-6、VI-8、VIII-87、3328-3)为灰色,细粒花岗结构,岩石轻度蚀变,具定向构造,由斜长石、石英、黑云母、磷灰石、磁铁矿等组成(图 2-d)。斜长石含量 60%,呈他形—半自形板状,聚片双晶发育,中度绢云母化,受构造变形,沿长轴平行定向;石英含量 20%,呈他形粒状,颗粒表面干净,波状消光,受构造变形,定向分布;黑云母含量 10%,呈片状,浅黄—黄褐色,轻微绿泥石化,沿长轴平行定向;副矿物含量约 1%,包括柱、粒状磷灰石,柱状锆石,粒状磁铁矿。岩石有裂隙分布,宽 0.04~0.40 mm,内充填石英、方解石。此外,蚀变矿物绢云母含量 6%、绿泥石含量 3%。

二长花岗岩(样品号:VII-55、X-33)为灰红色,中细粒花岗结构,块状构造,由斜长石、钾长石、石英、黑云母、磁铁矿等组成。斜长石含量 40%,呈半自形板状、聚片双晶发育,受应力作用,部分细粒化,双晶纹弯曲变形;钾长石含量 35%,呈他形粒状,具条纹结构,卡式双晶,为条纹长石,正长石,受应力作用,部分细粒化;石英含量 20%,呈他形粒状,表面干净,强波状消光,受应力作用,部分碎粒化;黑云母含量约 4.5%,呈他形粒状,强绿泥石化,零星分布;出现标准矿物刚玉;副矿物磁铁矿含量约 0.5%呈粒状。

正长花岗岩(样品号:IV-13、X-32)呈浅肉红色,花岗结构,块状构造,片理化发育(图 2-e, 2-f)。由正长石、石英、斜长石、黑云母、磁铁矿等组成。正长石含量 45%,呈他形粒状,具条纹结构,卡氏双晶,为条纹长石,正长石,受应力作用,部分细粒化;石英含量 30%,呈他形粒状,表面干净,强波状消光,受应力作用,部分碎粒化;斜长石含量 15%,呈半自形板状、聚片双晶发育,受应力作用,部分细粒化,双晶纹弯曲变形;黑云母含量约 8%,呈他形粒状,强绿泥石化;磁铁矿呈粒状,含量约 2%。

中细粒花岗岩(样品号:34-1)呈灰色,半自形—他形粒状结构,块状构造,由石英、正长石、斜长石、黑云母、锆石、磷灰石等组成(图 2-g)。石英含量 40%,呈他形粒状,强波状消光,带状消光;正长石含量 30%,呈他形粒状,具条纹结构,轻度泥化;斜长石含量 25%,呈半自形板状,聚片双晶发育,普遍具中轻度泥化、绢云母化;黑云母含量 3%,呈鳞片状,均已绿泥石化、绿帘石化;副矿物含量约 2%,包括柱状

锆石、柱状,粒状磷灰石。

花岗斑岩(样品号:X-20)为灰色,斑状结构,块状构造,主要由斑晶(含量 35%)和基质(含量 65%)组成(图 2-h),斑晶包括石英、正长石、斜长石、黑云母,石英含量 50%,呈粒状,波状消光;正长石含量 30%,呈半自形—他形粒状,具条纹长石,中度泥化;斜长石含量 15%,呈半自形板状,聚片双晶发育,普遍具中度泥化、绢云母化、绿帘石化;黑云母含量 5%,呈片状,均已绿泥石化、绿帘石化;基质具微粒花岗结构,由斜长石、正长石、石英、黑云母组成,斜长石聚片双晶发育,中度泥化,正长石呈他形粒状,可见条纹结构,中度泥化,石英他形粒状,弱波状消光,黑云母鳞片状,均已绿泥石化。

3 样品测试方法

样品主量元素测试在新疆地矿局第一区域地质调查大队实验室完成。样品无污染,粉碎至 200 目。用 X 射线荧光光谱仪(XRF)测试,分析精度优于 5%。微量和稀土元素测试在武汉综合岩矿测试中心完成。在 ICP-MS Element II(电感耦合等离子体质谱仪)上进行测试,相对标准偏差一般 $\leq 10\%$ 。

SHRIMP 锆石 U-Pb 定年在北京离子探针中心完成。样品靶的制备按照 SHRIMP 定年锆石样品的制备方法完成^[7]。进行锆石 U-Pb 定年测试前,先在对被测样品靶进行透射光、反射光的显微照相,以及在扫描电镜下进行锆石阴极发光(CL)拍照,然后对其 CL 图像进行观察和分析,结合透、反射图像,选择最佳测试所需的锆石样品及待测部位。详细的分析条件和流程同赵玉灵^[8]锆石的 U-Th-Pb 同位素分析在北京离子探针中心的 SHRIMP-II 实验室进行。分析结果用 SQUID 和 ISOPLOT 程序^[9]进行数据处理。

4 岩石化学特征

4.1 主量元素特征

盐滩一带侵入岩主量元素分析结果见表 1,岩石的 SiO₂ 含量为 62.94%~73.33%,变化范围大,反映了岩石从中酸性到酸性的变化。由闪长岩→花岗闪长岩→二长花岗岩→正长花岗岩→中细粒花岗岩→花岗斑岩,其 SiO₂、ALK 含量整体上逐渐增加,固结指数依次降低,反映岩浆向富硅、富碱的方向演化。A/CNK 均大于 1.10,属于铝过饱和型。

表 1 北山盐滩一带侵入岩主量元素分析结果(%)
Table 1 Major elements (%) data for intrusive rocks from Yantan belt of Beishan area

样号	48-1	X-1	VI-6	VIII-87	VI-8	3328-3	VII-55	X-33	IV-13	X-32	34-1	X-20
SiO ₂	62.9	67.6	68.8	66.1	71.6	69.7	72.0	72.8	73.3	71.8	73.2	72.6
Fe ₂ O ₃	1.91	0.04	1.33	1.29	1.14	0.92	1.34	0.58	0.55	1.13	0.93	0.50
FeO	3.50	5.17	2.00	5.20	2.66	2.50	1.40	1.10	2.36	1.50	1.50	0.90
Al ₂ O ₃	15.9	14.2	14.9	15.3	13.4	14.5	12.8	13.0	13.5	13.6	13.4	13.3
CaO	5.55	3.82	3.81	1.75	1.61	2.36	1.35	1.63	2.18	2.58	1.01	1.12
MgO	2.42	2.67	1.57	3.18	1.40	0.73	0.64	0.52	1.08	0.89	0.48	0.40
K ₂ O	2.54	2.91	2.64	3.71	5.36	2.79	4.15	4.96	2.04	3.32	3.60	5.52
Na ₂ O	3.44	2.59	3.65	2.23	2.02	4.53	4.50	3.66	5.35	3.61	4.73	3.95
MnO	0.10	0.12	0.08	0.11	0.09	0.14	0.08	0.06	0.07	0.06	0.15	0.07
TiO ₂	0.82	0.77	0.43	1.04	0.60	0.45	0.36	0.23	0.50	0.37	0.29	0.10
P ₂ O ₅	0.23	0.13	0.14	0.15	0.14	0.08	0.07	0.05	0.08	0.07	0.04	0.04
总量	99.4	100	99.3	100	100	98.7	98.7	98.6	100	98.9	99.3	98.5
AR	1.77	1.88	2.02	2.39	2.46	2.54	4.13	3.86	2.79	2.50	3.76	4.86
K ₂ O/Na ₂ O	0.74	1.12	0.72	1.66	2.65	0.62	0.92	1.36	0.38	0.92	0.76	1.40
A/CNK	1.38	1.52	1.47	1.98	1.49	1.49	1.28	1.27	1.41	1.43	1.43	1.25
SI	17.5	20.0	14.0	20.4	11.1	6.36	5.32	4.81	9.49	8.52	4.27	3.55
ALK	5.98	5.50	6.29	5.94	7.38	7.32	8.65	8.62	7.39	6.93	8.33	9.47

注: AR=(Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O)/(Al₂O₃+CaO-Na₂O-K₂O)(%); A/CNK=Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O)(%); SI=MgO×100/(MgO+FeO+Fe₂O₃+Na₂O+K₂O)(%); ALK=Na₂O+K₂O(%).

表 2 北山盐滩一带侵入岩微量元素分析结果(10⁻⁶)
Table 2 Trace elements (10⁻⁶) data for intrusive rocks from Yantan belt of Beishan area

样号	48-1	X-1	VIII-87	3328-2	VII-55	X-33	IV-13	X-32	34-1	X-20
La	19.1	30.0	27.8	28.7	23.6	25.8	34.4	30.0	37.8	48.1
Ce	37.2	54.1	50.7	50.0	46.3	43.1	70.1	56.2	71.1	92.9
Pr	5.03	7.53	7.07	6.16	6.32	5.59	10.4	6.67	8.88	12.1
Nd	19.2	27.8	26.3	20.2	24.0	26.3	40.9	22.1	31.9	44.5
Sm	4.09	5.95	5.71	3.59	5.33	3.95	9.42	4.05	6.04	8.79
Eu	0.97	1.02	0.69	0.76	0.92	0.59	1.41	0.60	1.26	1.28
Gd	4.36	5.61	5.62	3.32	5.60	4.01	9.89	3.61	5.36	7.93
Tb	0.73	0.93	1.00	0.54	0.98	0.62	1.72	0.59	0.85	1.30
Dy	4.66	5.67	6.22	3.37	6.23	3.82	11.0	3.69	4.88	7.54
Ho	0.97	1.13	1.30	0.69	1.32	0.57	2.25	0.78	0.98	1.52
Er	2.86	3.09	3.74	2.06	3.90	2.62	6.57	2.32	2.81	4.35
Tm	0.47	0.50	0.61	0.34	0.63	0.47	1.07	0.40	0.47	0.70
Yb	3.14	3.20	3.95	2.30	4.20	2.71	6.95	2.74	2.99	4.44
Lu	0.49	0.45	0.56	0.39	0.64	0.55	1.05	0.47	0.49	0.72
Y	24.9	27.8	33.1	18.2	33.6	25.4	57.1	20.8	24.6	37.7
∑REE	103	147	141	122	130	120	207	134	176	236
(La/Yb) _N	4.11	6.32	4.75	8.40	3.79	6.42	3.34	7.40	8.53	7.31
δ Eu	0.70	0.53	0.37	0.66	0.51	0.45	0.44	0.47	0.66	0.46
Rb	91.4	173	41.3	120	119	136	131	162	93.5	140
Zr	229	191	332	115	253	53.2	372	108	218	306
Hf	6.70	5.70	10.3	3.40	7.50	1.50	11.8	3.50	6.70	9.20
Sr	214	147	187	176	106	133	98.6	136	233	147
Ba	316	484	269	345	385	185	323	413	436	390
Nb	6.70	10.5	9.10	7.70	8.20	12.3	12.2	7.70	13.4	16.6
Ta	0.52	1.00	0.81	0.77	0.66	1.10	1.10	0.98	1.10	1.30
Th	7.50	13.4	14.7	12.8	9.10	7.20	11.6	20.6	16.9	16.4
U	1.40	2.90	3.20	2.10	1.50	2.00	2.90	3.20	2.10	3.20
Nb/Ta	12.9	10.5	11.2	10.0	12.4	11.2	11.1	10.9	12.2	12.8
Rb/Sr	0.43	1.18	0.22	0.68	1.12	1.02	1.33	1.19	0.40	0.95

在 SiO₂-(Na₂O+K₂O)图解(图 3)中,岩体样品点均落在亚碱性区域;在 SiO₂-K₂O 图解(图 4)中,样品均落在钙碱性系列和高钾钙碱性系列范围内。

4.2 稀土元素和微量元素特征

从盐滩一带侵入岩稀土元素分析结果(表 2)可

看出,由闪长岩→花岗闪长岩→二长花岗岩→正长花岗岩→中细粒花岗岩→花岗斑岩,稀土元素总量逐渐增加,(La/Yb)_N 比值也逐渐升高。在稀土元素配分曲线图(图 5-a)中,各侵入岩体的配分型式基本相同,表现为统一的、近平行缓右倾的“V”字型特

表 3 盐滩一带侵入岩锆石 SHRIMP U-Th-Pb 法同位素分析结果
 Table 3 SHRIMP U-Th-Pb chronological data for zircons of intrusive rocks from Yantan belt of Beishan area

样号 (岩性)	测点编号	同位素组成				年龄/Ma				同位素比值			
		U/ 10^{-6}	Th/ 10^{-6}	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\%$
48TW ₁ (闪长岩)	1.1	531	110	0.21	299±5.2	382±110	0.0543	5.1	0.343	3.7	0.04753	1.7	
	2.1	1088	130	0.12	291±4.4	245±56	0.0511	2.4	0.3291	2.4	0.04622	1.5	
	3.1	374	247	0.68	275±7.3	238±150	0.0509	6.4	0.329	3.6	0.0436	2.4	
	4.1	554	60	0.11	289±4.7	364±61	0.0538	2.7	0.3315	2.9	0.04587	1.6	
	5.1	469	233	0.51	433±7.5	502±51	0.0573	2.3	0.533	2.7	0.0696	1.6	
	6.1	513	375	0.76	294±5.6	121±160	0.0484	6.6	0.316	3.4	0.0468	1.7	
	7.1	486	341	0.72	297±8.8	187±140	0.0498	5.9	0.309	4.7	0.0472	2.6	
	8.1	252	122	0.5	307±6.2	192±240	0.0499	10	0.311	4.6	0.04882	1.9	
34TW ₁ (中细粒花岗岩)	1.1	923	427	0.48	263±5.1	232±190	0.0508	8.1	0.272	4.3	0.0436	1.8	
	2.1	554	362	0.66	298±5.7	220±110	0.0506	4.6	0.349	3.1	0.04681	1.7	
	3.1	898	614	0.71	294±5.2	336±77	0.0532	3.4	0.3472	2.6	0.0469	1.6	
	4.1	241	115	0.49	276±5.5	290±77	0.0446	12	0.295	4.3	0.04182	1.8	
	5.1	728	444	0.63	274±5.1	384±58	0.0543	2.6	0.3198	2.7	0.0433	1.7	
	6.1	771	383	0.51	291±5.0	324±60	0.0529	2.6	0.3466	2.5	0.0476	1.6	
	7.1	536	341	0.66	293±5.4	376±67	0.0541	3	0.326	3.1	0.0472	1.7	
	8.1	654	381	0.6	288±5.2	604±82	0.06	3.8	0.3168	3.1	0.0439	1.6	

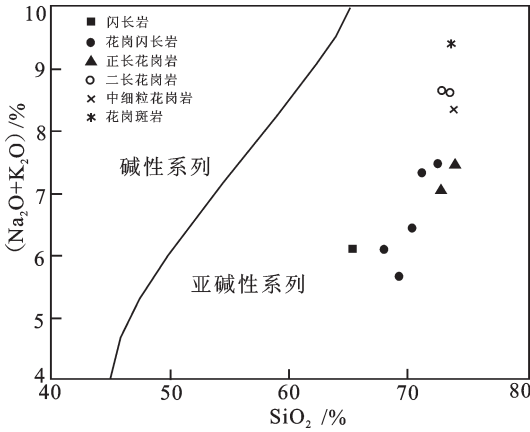


图 3 SiO₂ -Na₂O+K₂O 图解^[10]

Fig.3 SiO₂-Na₂O+K₂O diagram^[10]

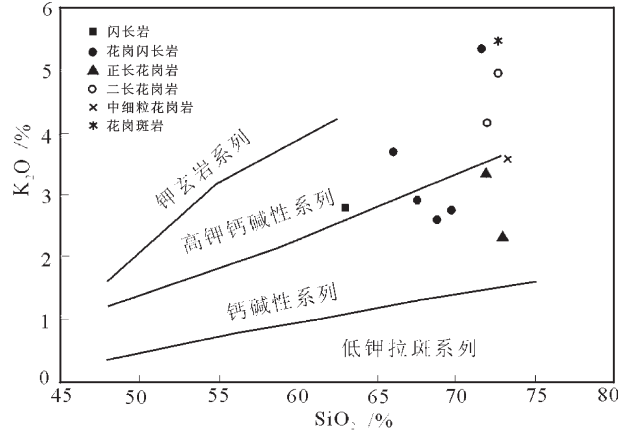


图 4 SiO₂-K₂O 图解^[10]

Fig.4 SiO₂-K₂O diagram^[10]

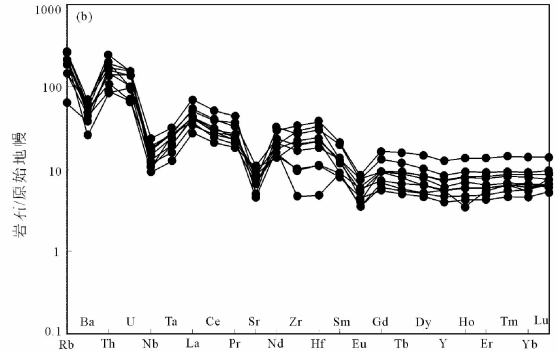
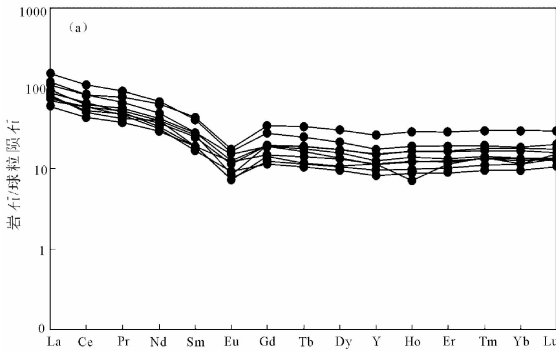


图 5 球粒陨石标准化稀土元素配分图(a)^[14]和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)^[15]

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns (a)^[14]and primitive mantle-normalized trace element spider diagram (b)^[15]

征;轻稀土元素相对富集,重稀土元素较平坦,显示出较强的轻重稀土分异程度。样品均显示较强的负铕异常。

从盐滩一带侵入岩微量元素分析结果表 2 和微量元素标准化配分图可看出,各岩体具有相对一致的配分型式。Rb、Th 等大离子亲石元素强烈富集,相对亏损 Nb、Ta 等高场强元素,且富集 U,亏损 Sr,这些特征与后碰撞花岗岩类似。侵入岩 Nb/Ta=10.00~12.88,平均为 11.51,位于幔源岩石值(17.5±2)和陆壳岩石值(约 11)之间;Zr/Hf=31.53~35.47,平均为 33.36,也位于幔源岩石值(36.2±2)和壳源岩石的值(约 33)之间^[11-13],显示其并不是单一源区,源区可能既有壳源组分也有幔源组分的参与,且陆壳组分占较多比例。

5 锆石 U-Pb 年龄测定

本次研究工作在盐滩断裂南北分别采获 2 件侵入岩测年样品,分别为 34TW1(对应的岩石学及岩石地球化学样品编号为上文中的 34-1),采样位置: N 40°42'20",E 92°57'30",H 128 m;48TW1(对应的岩石学及岩石地球化学样品编号为上文中的 48-1),采样位置: N40°47'42",E93°11'21",H 94 m。

闪长岩样品(48TW1)中的锆石在透射光和反射光下无色-浅黄色,半透明-透明,大小在 100~300 μm,长宽比 2:1。锆石颗粒自形程度较好,多呈长柱状。阴极发光图像(图 6)显示,锆石颗粒的晶体内部结构清晰,振荡生长环带显著,锆石 Th/U 比值在 0.11~0.76,指示锆石具岩浆成因。

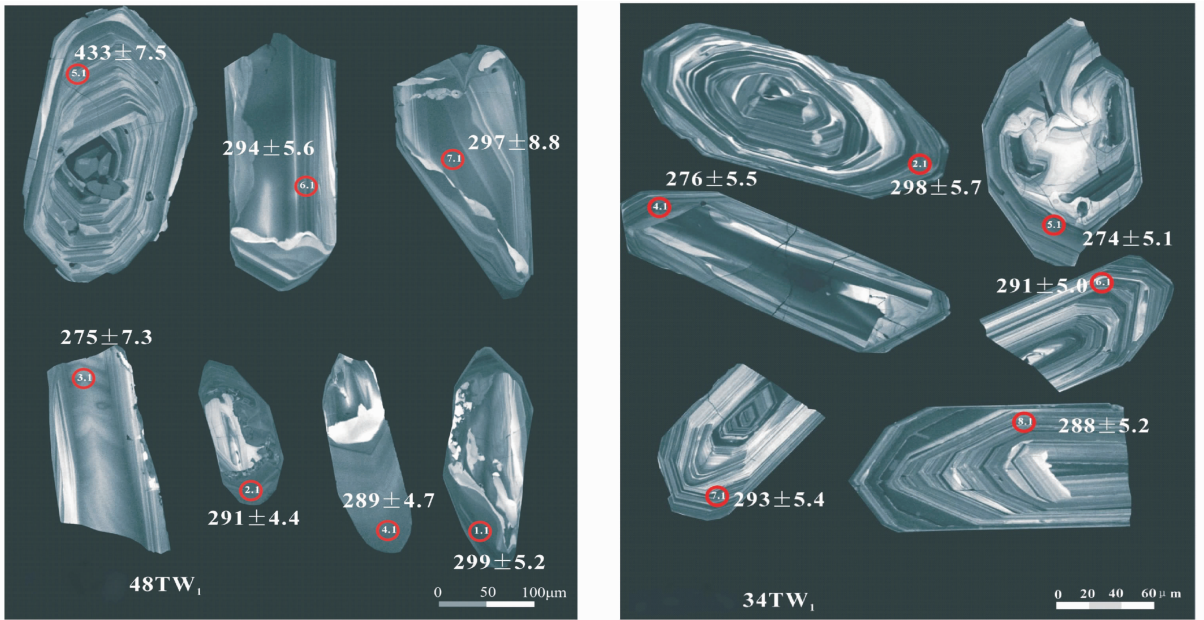


图 6 北山盐滩一带侵入岩样品 48TW1 和 34TW1 单颗粒锆石阴极发光照片

Fig.6 Cathodoluminescence images of single zircon from samples 48TW1 and 34TW1 of Yantan belt in Beishan area

其锆石测年数据分析结果见表 3。结合锆石 U-Pb 年龄谐和图(图 7-a)可知,在经过 Pb 校正之后,闪长岩中岩浆锆石的分析结果大部分位于谐和线及其附近区域,且各分析点分布较为集中。样品 48TW1 中的 8 个分析点,有 5 个点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄范围集中分布在 $(289\pm 4.7)\text{Ma} \sim (299\pm 5.2)\text{Ma}$,其加权平均值年龄为 $(296\pm 4.1)\text{Ma}$ ($n=5, \text{MSWD}=1.7$),代表岩体的锆石结晶年龄。另有一个分析点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 $(433\pm 7.5)\text{Ma}$,可能为岩浆源区残留锆石

的年龄。

中细粒花岗岩样品(34TW1)中的锆石颗粒在透射光和反射光下无色,半透明-透明,大小在 $50\sim 200\mu\text{m}$,长宽比 $3:1\sim 2:1$ 。锆石颗粒较为破碎,个别颗粒中见有不透明包裹体。大部分锆石颗粒自形程度中等,多呈长柱状或短柱状,表面较光滑、干净;部分颗粒自形程度差,多破碎成不规则棱角状,表面见有裂纹。阴极发光图像(图 6)显示,锆石颗粒的晶体内部结构清晰,岩浆振荡生长环带显著,锆石 Th/U 比

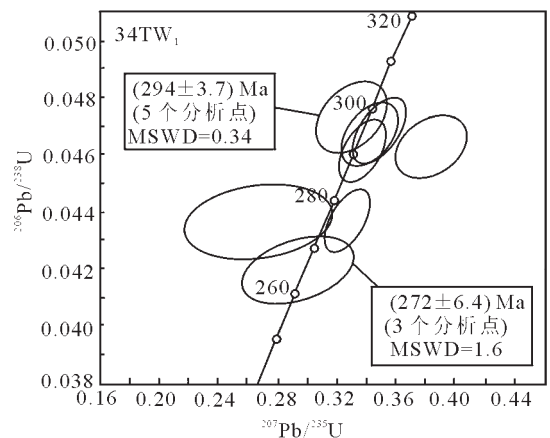
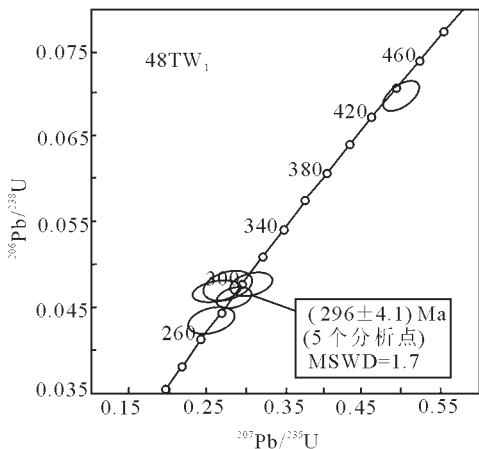


图 7 北山盐滩一带侵入岩样品 48TW1 和 34TW1 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图

Fig.7 SHRIMP U-Pb concordia diagram for zircons from samples 48TW1 and 34TW1 of Yantan belt in Beishan area

值在 0.48~0.71,指示锆石具岩浆成因。

花岗岩样品(34TW1)锆石 U-Th-Pb 同位素数据分析结果见表 3、U-Pb 谐和图见图 7-b。数据投影点大部分位于谐和线及其附近。其中 5 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 (288.0 ± 5.2) Ma~ (298.8 ± 5.7) Ma, 给出的加权平均值为 (294 ± 3.7) Ma ($n=5$, MSWD=0.34), 代表岩体的锆石结晶年龄。同时另外 3 个测试点年龄在 263~276 Ma, 相对比较年轻, 样品点点位均接近核部, 可能是锆石核部在后期发生了蜕晶质化, 该年龄代表该锆石核部再结晶的年龄。

结合被测锆石具岩浆锆石的特征, 将该两组年龄 (296 ± 4.1) Ma 和 (294 ± 3.7) Ma 分别解释为盐滩断裂南部中细粒花岗岩体和北部闪长岩体的侵位年龄, 说明该区侵入岩体的形成时代为早二叠世早期, 为同期岩浆活动的产物, 这一结果与岩体侵入于晚石炭世地层的事实相符。

6 讨论

6.1 岩石成因

盐滩一带侵入岩的主量元素特征表明, 岩石总体属高钾钙碱性和钙碱性过铝质花岗岩。稀土元素特征表现为轻稀土元素富集, 重稀土元素相对亏损, 铕负异常的右倾“V”字型特征。微量元素表现为 Rb、Th 等大离子亲石元素强烈富集, 相对亏损 Nb、Ta 等高场强元素, 且富集 U, 亏损 Sr。花岗岩 Nb/Ta、Zr/Hf 比值平均为 11.59、33.36, 均位于幔源岩石值和陆壳岩石值之间, 显示源区既有壳源组分也有幔源组分的参与。此外, 在 SiO_2 - P_2O_5 图解(图 8)中, 岩石均落于 I 型花岗岩区域。上述特征与 I 型花岗岩类的基本特征是一致的。

对于 I 型花岗岩的成因, 近年来基于锆石 U-Pb 年龄、锆石 Hf-O 同位素的研究发现, 受幔源岩浆改造的沉积物熔融可以形成 I 型花岗岩^[7], 或者地壳重熔过程中沉积物贡献的减少也将引起岩浆成分从 S 型向 I 型特征的转变^[18]。而对于研究区范围内的花岗岩类, 根据近年来北山地区侵入岩的相关资料, 认为研究区在晚石炭世—早二叠世可能存在大量的高 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 的花岗岩体^[19]。现在普遍认为, 花岗岩具有高的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值表明它们可能来源于幔源岩浆底侵造成幔源物质注入到大陆地壳^[20]。所以盐滩一带的侵入岩体, 从其岩石化学特征, 并结合同期构造带上花岗岩类的同位素特征, 认为该区的 I 型花岗

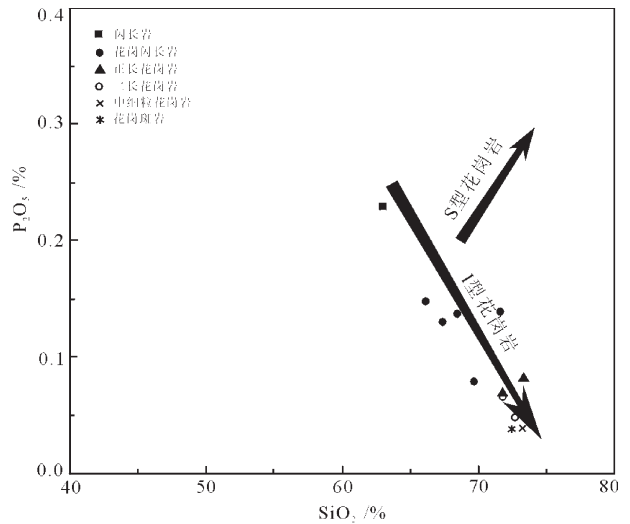


图 8 花岗岩 SiO_2 - P_2O_5 图解^[16]

Fig.8 SiO_2 - P_2O_5 diagram for granitoids^[16]

岩在成因上应该与这个时期的幔源岩浆底侵有关, 底侵的幔源岩浆再分异, 上升过程中遭受地壳物质混染, 是该区侵入岩形成的主要方式, 与区域上晚古生代中亚造山带广泛出现幔源岩浆底侵, 造成陆壳垂向加厚^[21-22]的结论相一致。

6.2 构造环境

从区域构造背景来看, 研究区所属的北山构造带在经历了古元古代塔里木初始陆壳形成演化期和 中元古代塔里木成熟陆壳形成演化期后, 于晚古生代时期进入克拉通裂谷发展演化的重要阶段^[23]。对该陆内裂谷(北山裂谷)由鼎盛期向消亡期转化的时间, 一直存在争议。一些学者认为早石炭世开始拉张, 一直持续到早二叠世, 中二叠世关闭^[24]。另外一些学者认为二叠纪初的又一次拉张是在晚石炭世短暂收缩的基础上发育的, 至中二叠世又一次关闭^[25]。

盐滩一带侵入岩为钙碱性到高钾钙碱性的花岗岩类岩石, 截至目前没有发现碱性花岗岩的发育; 这些侵入岩的地球化学元素特征与后碰撞花岗岩类似; 这与样品在 Pearce 图解(图 9)上均落在后碰撞区域相吻合。以上岩石特征以及岩石化学特征显示其不具有板内裂谷演化特征, 而是一种发生在挤压动力学背景下的后碰撞构造环境。后碰撞环境是指在时间上比碰撞作用晚, 但仍与碰撞作用有关, 它通常开始于板内环境, 主要海洋已关闭, 但伴有大陆块体沿巨大剪切带的大规模水平运动(这与板内环境明显不同)、合拢、岩石圈拆沉等^[27]。笔者认为, 早二叠

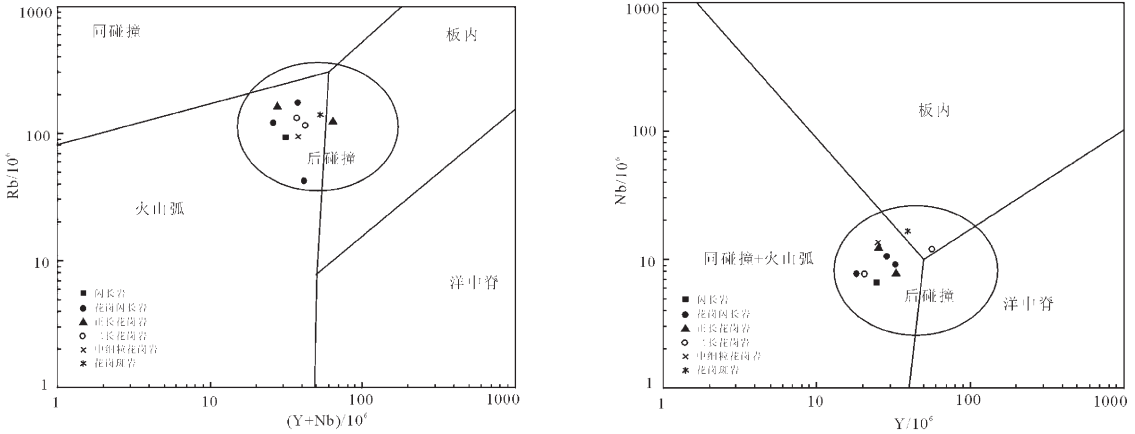


图9 花岗岩类(Y+Nb)-Rb和Y-Nb构造环境判别图^[20]
Fig.9 (Y+Nb)-Rb and Y-Nb diagram of granite^[20]

世初期,北山构造带在完成挤压收缩并引起地壳加厚的过程之后,进入碰撞后阶段,局部的水平运动和拆沉作用,使得压力降低,幔源物质和壳源物质发生局部的熔融,熔体在上升过程中发生混合,在浅部就位。混合的熔体上升侵入到浅部。该构造演化过程说明北山裂谷在盐滩一带的碰撞闭合作用结束于早二叠世早期。

7 结论

(1)盐滩一带的侵入岩主要由闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩、中细粒花岗岩和花岗斑岩组成,为钙碱性到高钾钙碱性的花岗岩类,属于I型花岗岩。

(2)在盐滩一带的闪长岩和中细粒花岗岩中获得锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分别为(296±4.1) Ma, (294±3.7) Ma,两者在误差范围内一致,表明其形成时代为早二叠世早期。

(3)盐滩一带侵入岩形成于北山裂谷闭合之后的后碰撞构造环境。北山裂谷在该区的闭合作用在早二叠世早期已经结束。

致谢: 感谢新疆 1:5 万项目办公室的资助;感谢新疆第一区调所实验室及武汉综合岩矿测试中心的各位老师;感谢北京离子探针中心简平研究员的悉心指导;感谢项目组成员的齐心协力;感谢各位审稿专家的宝贵意见和建议!

参考文献(References):

[1] 梅华林,李惠民,陆松年,等.甘肃柳园地区花岗质岩石时代及成

因[J].岩石矿物学杂志,1999,18(1):14-17.
Mei Hualin, Li Huimin, Lu Songnian, et al. The age and origin of the Liuyuan granitoid, northwestern Gansu [J]. Acta Petrologica et mineralogica, 1999, 18(1):14-17(in Chinese with English abstract).
[2] 江思宏,聂凤军.北山地区花岗岩类的⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素年代学研究[J].岩石学报,2006,22(11):2719-2732.
Jiang Sihong, Nie Fengjun. ⁴⁰Ar/³⁹Ar Geochronology of the granitoids in Beishan Mountain, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(11): 2719-2732(in Chinese with English abstract).
[3] 刘明强,王建军,代文军,等.甘肃北山造山带红石山地区正ε_{Nd(t)}值花岗质岩石的成因及地质意义[J].地质通报,2005,24(9):831-836.
Liu Mingqiang, Wang Jianjun, Dai Wenjun, et al. Genesis and geological significance of positive ε_{Nd(t)} granitoids in the Hongshishan area in the Beishan orogenic belt, Gansu, China [J]. Regional Geology of China, 2005, 24(9): 831-836(in Chinese with English abstract).
[4] 张文,吴泰然,冯继承,等.甘肃北山西涧泉子富碱高钾花岗岩体的锆石 LA-ICP MS 定年及其构造意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 2010, 29(6):719-737.
Zhang Wen, Wu Tairan, Feng Jicheng, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of Xijianquanzi alkali-rich potassium-high granites in Beishan, Gansu Province, and their tectonic significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2010, 29(6):719-737(in Chinese with English abstract).
[5] 童英,王涛,洪大卫,等.北疆及邻区石炭-二叠纪花岗岩时空分布特征及其构造意义[J].岩石矿物学杂志,2010,29(6):619-641.
Tong Ying, Wang Tao, Hong Dawei, et al. Spatial and temporal distribution of the Carboniferous-Permian granitoids in northern Xinjiang and its adjacent areas, and its tectonic significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogical, 2010, 29(6):619-641(in Chinese with English abstract).
[6] 程裕淇,沈永和,张良臣,等.中国大陆的地质构造演化 [J]. 中国

- 区域地质, 1995, 4:289-294.
- Cheng Yuqi, Shen Yonghe, Zhang Liangcheng, et al. Tectonic constitution and evolution of the Chinese continent [J]. *Regional Geology of China*, 1995, 4: 289-294 (in Chinese with English abstract).
- [7] 宋彪, 李锦轶, 李文铅, 等. 吐哈盆地南缘克孜尔卡拉萨依和大南湖花岗岩基锆石 SHRIMP 定年及其地质意义 [J]. *新疆地质*, 2002, 20(4):342-345.
- Song Biao, Li Jinyi, Li Wenqian, et al. SHRIMP dating of zircons from Dananhu and Kezirkala granitoid batholith in southern margin of Tuha basin and their geological implication[J]. *Xinjiang Geology*, 2002, 20(4): 342-345(in Chinese with English abstract).
- [8] 赵玉灵, 杨金中, 沈远超. 同位素地质学定年方法评述[J]. *地质与勘探*, 2002, 38(2):63-67.
- Zhao Yuling, Yang Jinzhong, Shen Yuanchao. The review about the method of isotope geology dating [J]. *Geological and Prospecting*, 2002, 38(2):63-67(in Chinese with English abstract).
- [9] Ludwig K R. User's Manual for Isoplot 3.0: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center. Special Publication, 2003, 4: 1-71.
- [10] Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements [J]. *Lithos*. 1989, 22(4): 247-263.
- [11] Hofmann A W. Chemical differentiation of the earth: The relationship between large crust, and oceanic, crust earth planet[J]. *Sci. Lett.* 1988, 90:297-314.
- [12] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: Its composition and evolution[J]. Blackwell: Oxford, 1985:91-92.
- [13] Green T H. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system [J]. *Chemical Geology*, 1995, 120:347-359.
- [14] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[C]//Henderson P (ed.). *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, 1984: 63-114.
- [15] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle compositions and processes [J]. *Geological Society Special Publications*, 1989, 42:313-345.
- [16] Chappell B W, White A J R. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt [J]. *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, 1992, 83:1-26.
- [17] Kemp A I S, Hawkesworth C J, Foster G L, et al. Magmatic and crustal differentiation history of granitic rocks from Hf-O isotopes in zircon[J]. *Science*, 2007, 315:980-983.
- [18] Collins W J, Richards S W. Geodynamic significance of S-type granites in circum-Pacific orogens[J]. *Geology*, 2008, 36:559-562.
- [19] 江思宏, 聂凤军. 北山地区花岗岩类成因的 Nd 同位素制约[J]. *地质学报*, 2006, 80(6):826-842.
- Jiang Sihong, Nie Fengjun. Nd-isotope constraints on origin of granitoids in Beishan Mountain area [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(6):826-842(in Chinese with English abstract).
- [20] 冯继承, 张文, 吴泰然, 等. 甘肃北山桥湾北花岗岩体的年代学、地球化学及其地质意义 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 2012, 48(1):61-70.
- Feng Jicheng, Zhang Wen, Wu Tairan, et al. Geochronology and geochemistry of granite pluton in the north of Qiaowan, Beishan Mountain, Gansu Province, China, and its geological significance [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2012, 48(1):61-70(in Chinese with English abstract).
- [21] 王彦斌. 甘肃北山地区后造山花岗岩类的大地构造背景[J]. *中国区域地质*, 1994, 20(3):234-239.
- Wang Yanbin. Tectonic setting of orogenic granites in the Beishan region, Gansu Province [J]. *Regional Geology of China*, 1994, 20(3): 234-239(in Chinese with English abstract).
- [22] 顾连兴, 张遵忠, 吴昌志, 等. 关于东天山花岗岩与陆壳垂向增生的若干认识[J]. *岩石学报*, 2006, 22(5):1103-1120.
- Gu Lianxing, Zhang Zunzhong, Wu Changzhi, et al. Some problems on granites and vertical growth of the continental crust in the eastern Tianshan Mountains, NW China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(5):1103-1120(in Chinese with English abstract).
- [23] 左国朝, 李绍雄. 塔里木盆地东北缘早古生代构造格局及演化 [J]. *中国地质*, 2011, 38(4):946-960.
- Zuo Guochao, Li Shaoxiong. Early Paleozoic tectonic framework and evolution in the northeast margin of Tarim Basin [J]. *Geology in China*, 2011, 38(4):946-960(in Chinese with English abstract).
- [24] 杨合群, 李英, 李文明, 等. 北山成矿构造背景概论[J]. *西北地质*, 2008, 41(1):22-28.
- Yang Hequn, Li Ying, Li Wenming, et al. General discussion on metallogenic tectonic setting of Beishan Mountain, northwestern China [J]. *Northwestern Geology*, 2008, 41(1):22-28(in Chinese with English abstract).
- [25] 田忠锋, 黄启峰, 王广耀. 新疆天山华力西运动特征 [J]. *新疆地质*, 2010, 28(1):28-31.
- Tian Zhongfeng, Huang Qifeng, Wang Guangyao. The Variscian movement characteristic of Tianshan, Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 2010, 28(1):28-31(in Chinese with English abstract).
- [26] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25:956-983.
- [27] 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题 [J]. *大地构造与成矿学*, 2007, 31(1):92-103.
- Zhao Zhenhua. How to use the trace element diagrams to discriminate tectonic settings [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2007, 31(1):92-103(in Chinese with English abstract).

Geochemical features and ages of the intrusive rocks from Yantan belt in Beishan area of Xinjiang and their geological implications

QU Cui-xia¹, YANG Xing-ke¹, HE Hu-jun¹, GAO Ping², SONG Hong-ye³

(1. College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Geophysical & Geochemical Exploration Corps of Northwest Mining and Geology Group for Nonferrous Metals, Xi'an 710068, Shaanxi, China; 3. Bohai Sea Logging Drilling Engineering Branch Company, CNPC, Tianjin 300280, China)

Abstract: This paper deals with petrologic and geochemical features and zircon U-Pb isotope ages of the intrusive rocks from Yantan belt in Beishan area, which are mainly composed of quartz diorite, granodiorite, monzonitic granite, K-feldspar granite, granite and granite-porphry, belonging to high-K calc-alkaline and calc-alkaline series; All the rocks are characterized by enrichment of LREE, depletion of HREE and strong Eu negative anomalies. The trace elements are enriched in LILE (Rb, Th), and depleted in Sr, Nb, Ta evidently. The zircon SHRIMP U-Pb ages of the quartz diorite and granite are (296 ± 4.1) Ma and (294 ± 3.7) Ma respectively, both of the data are consistent within test errors, suggesting that the rocks were formed at the beginning of the early Permian period. An analysis suggests that these intrusive rocks are I-type granite which are indicative of the underplating of the mantle material into the lower crust and the formation of these rocks in the post-collision tectonic environment after the closure of Beishan rift. The result shows that the Beishan rift was closed in the early Permian in the study area.

Key words: Beishan rift zone in Xinjiang; intrusive rocks; SHRIMP; zircon U-Pb dating; post-collision granites

About the first author: QU Cui-xia, female, born in 1986, doctor candidate, engages in the study of tectonic-magmatism and ore-forming process; E-mail: 329865708@qq.com.