

新疆吐-哈、三塘湖盆地二叠纪玄武岩形成古构造环境恢复及区域构造背景示踪*

周鼎武^{①②**} 柳益群^{①②} 邢秀娟^① 郝建荣^① 董云鹏^① 欧阳征健^①

① 西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 西北大学地质系, 西安 710069;

② 山东科技大学地球信息科学与工程学院, 青岛 266510)

摘要 吐-哈盆地和三塘湖盆地是上叠在古生代造山带褶皱基底之上的晚古生代-中生代叠合改造型陆内沉积盆地. 其中发育的玄武岩的全岩⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学研究揭示其形成时限在293~266 Ma, 为二叠纪. 玄武岩元素地球化学特征的对比分析表明, 三塘湖盆地玄武岩具有Nb, Ta强烈亏损, 高场强元素选择性富集的特点, 显示岩浆源区存在消减组分影响, 可能与古洋壳板片俯冲作用的影响有关, 具“滞后弧”火山岩的特征; 而吐-哈盆地Nb, Ta轻度亏损, Th/Ta较高, 应与陆内拉张带或者初始裂谷玄武岩相似. 据此并结合新疆北部区域的蛇绿岩和蛇绿混杂岩带形成时期及与造山期后伸展的区域岩浆活动研究综合分析, 推测吐-哈盆地、三塘湖盆地二叠纪的成盆构造背景可能与新疆北部地区晚古生代陆-陆碰撞造山之后发生的区域性伸展作用密切相关. 两盆地二叠纪玄武岩应属来自不同源区、但成盆动力学相似的造山期后伸展背景, 均应为陆内裂谷环境, 但三塘湖盆地火山岩源区明显受到过消减组分的交代, 显示先期应存在过板块俯冲消减作用.

关键词 新疆 吐-哈盆地 三塘湖盆地 玄武岩 造山期后 构造环境 伸展作用

吐鲁番-哈密盆地(简称吐-哈盆地)和三塘湖盆地位于新疆北东部地区(图 1), 两者夹持于天山和阿尔泰山之间, 是紧密邻接、并具有相似形成演化历史的晚古生代-中生代叠合改造型沉积盆地^{1, 2)}. 它们作为新疆地区主要的含油气盆地, 经历了多期不同构

造动力作用改造的复杂形成演化过程, 对探讨新疆乃至中亚大陆地质作用过程具有重要的科学意义. 二叠纪是该区盆地形成的重要时期, 由于吐-哈、三塘湖盆地二叠纪玄武岩发育, 基于玄武岩在恢复古构造环境中所具有的重要意义^[1-5], 本文以这两个盆地

收稿日期: 2005-06-09; 接受日期: 2005-12-16

* 国家重点基础研究发展规划项目(批准号: 2001CB409801)和吐哈油田分公司项目资助

** E-mail: zhoudingwaz@sina.com.cn

1) 周鼎武, 柳益群, 周立发, 等. 吐-哈盆地石炭-二叠系火山岩研究. 研究报告, 1998

2) 柳益群, 周鼎武, 冯乔, 等. 新疆三塘湖盆地勘探前景分析与有利区带评价. 研究报告, 2002

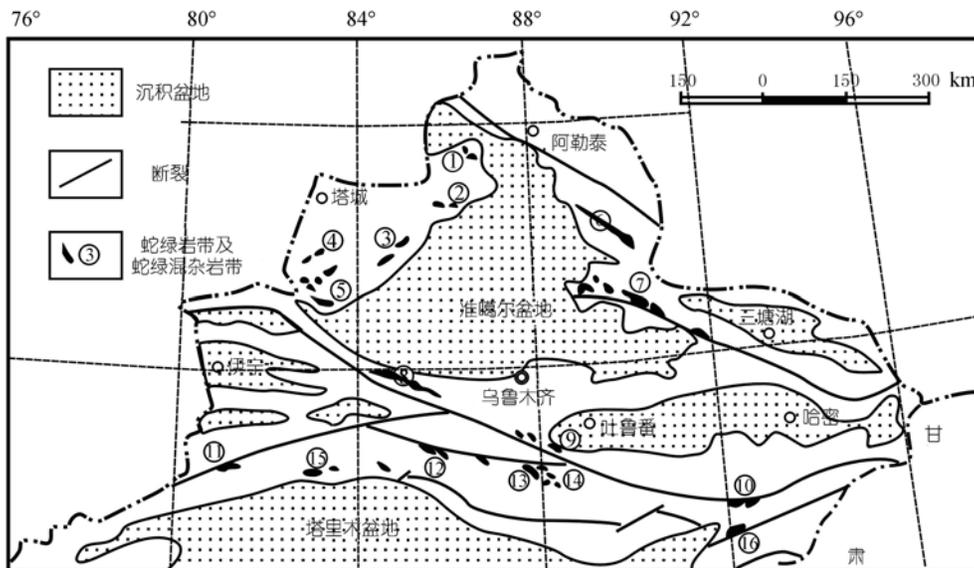


图 1 新疆北部地区主要沉积盆地及蛇绿岩-蛇绿混杂岩带分布图

①科克森套带(D_{2,3}); ②洪古勒楞带(O); ③达尔布特带(D_{1,2}); ④玛依勒带(S); ⑤唐巴勒带(Є-O); ⑥扎河坝-阿尔曼泰带(D); ⑦克拉麦里带(D); ⑧依连哈巴尔尕带(D₃-C₁); ⑨干沟-米什沟带(O); ⑩卡瓦布拉克带(?); ⑪长阿吾子带(S-D₁); ⑫古洛沟带(?); ⑬榆树沟带(O-S); ⑭铜花山-硫磺山带(D); ⑮米斯布拉克带(D₃-C₁); ⑯北山带(O) 蛇绿岩-蛇绿混杂岩带及其形成时代据新疆地质志(1993)和文献[1~4, 6~11]

中的玄武岩为主要研究对象, 在确定其形成时代, 分析地质、岩石地球化学特征, 恢复古构造环境的基础上, 对涉及二叠纪区域构造背景问题作以讨论。

1 地质背景

新疆地处亚洲大陆腹地, 是中亚大陆造山带在中国区域内的重要组成部分。已有研究表明, 天山及其邻区断续发育十余条不同性质(洋脊、岛弧、弧后等)的蛇绿岩、蛇绿混杂岩带, 分别形成于寒武纪^[6]至早石炭世^[7-9](图 1)。区域内前二叠纪的古生代地层是以海相沉积岩和火山岩为主, 而二叠纪是重要的过渡时期, 以陆相沉积为主并发育火山岩为特征, 其后进入陆相沉积时期。区域现今的复杂地质组成、结构构造面貌, 主要是经历古生代以洋盆消减、板块汇聚、碰撞作用为特点的主造山期构造作用, 又遭受中、新生代板内不同方式构造作用的叠加改造所致。但涉及主造山的具体时期和过程、造山期后构造作用的性质及特点等问题仍存在争议, 尤其涉及二叠纪区域构造背景的认识分歧较大^[9-15]。

吐-哈、三塘湖盆地是发育在古生代主造山期基底之上的上叠盆地。盆地周缘露头区主要由志留系、泥盆系和石炭系的强变形、浅变质或未变质, 以海相沉积为特点的陆源碎屑、碳酸盐沉积夹火山沉积组成, 并可见花岗岩、辉长岩和辉绿岩侵入其中。露头区零星见有残留的二叠系, 与下伏地层主要呈角度不整合关系, 局部地区如柴窝铺上石炭统-下二叠统呈过渡沉积¹⁻³⁾, 吐-哈、三塘湖盆地内主要发育以陆内河流、湖泊相为特征的二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系和第三系陆源碎屑沉积, 但二叠系普遍发育以基性岩为主, 中酸性岩次之的火山岩。吐-哈、三塘湖盆地内的上述地层均可作区域性的划分对比, 并具有统一的地层命名^[7-9]。盆地内二叠系中的火山岩组合, 尤其玄武岩是确定二叠系盆地的性质、示踪区域构造背景的关键岩石类型。

2 吐-哈、三塘湖盆地二叠系火山岩组合系列及定年研究

据岩石学和常量元素地球化学研究确定¹⁻³⁾, 两盆

1, 2) 见第 143 页脚注 1), 2)

3) 柳益群. 新疆吐-哈盆地形成演化及含油气系统. 博士论文, 1998

地的火山岩均以层状玄武岩为主, 其次为玄武安山岩、玄武粗面岩、粗面岩、流纹岩及少量次火山岩、火山角砾岩和火山凝灰岩. 本文主要选择两盆地中的玄武岩进行环境讨论其中吐-哈盆地样品(定年样 11 件, 元素分析 9 件)采自盆地周缘露头 and 井下岩心(图 2); 三塘湖盆地玄武岩代表性样品(定年样 4 件, 元素分析 10 件)均取自钻井岩心(图 3). 玄武岩主要呈灰绿色~暗绿色及灰褐色~褐色, 部分岩石宏观呈斑状结构, 发育杏仁构造. 岩石主要为中粗粒、中粒和细粒, 具等粒、不等粒结构和斑状结构. 玄武岩类矿物组成为斜长石和单斜辉石, 次要矿物为橄榄石、磁铁矿等. 斑晶多以自形板状斜长石(含量 20%~50%)为主, 其中吐-哈盆地斜长石以中酸性为主(An_{25} - An_{45}), 三塘湖盆地斜长石以中基性为主(An_{35} - An_{60}), 此外可见短柱状单斜辉石(1%~5%); 基质斜长石含量为 40%~70%, 见有细粒辉石(3%~15%)和少量橄榄石、磁铁矿等充填于基质中. 部分岩石见轻度绿泥石化、绿帘石化和碳酸盐化. 优选两盆地代表性玄武岩类在中国科学院地质与地球物理研究所 Ar-Ar 定年实验室测试, 全岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄(表 1, 图 4, 等时年龄及原始测试数据略)在 293~266 Ma 之间, 属二叠纪, 以早、中二叠世为主.

3 玄武岩地球化学特征及古构造环境

3.1 地球化学特征

吐-哈、三塘湖盆地二叠纪玄武岩常量元素分析结果见表 2. 吐-哈盆地玄武岩 SiO_2 含量在 49.09%~54.40% 之间, TiO_2 含量在 1.03%~3.49% 之间, Mg # 较低, 介于 0.36~0.58 之间, Na_2O 含量变化在 2.61%~4.84% 之间, K_2O 分布在 0.42%~1.94% 范围内; 三塘湖盆地玄武岩 SiO_2 含量在 48.87%~52.64% 之间变化, TiO_2 分布在 1.54%~2.68%, Mg # 介于 0.42~0.59 之间, Na_2O 的含量分布范围在 3.03%~7.59% 之间, K_2O 含量在 0.55%~2.25% 之间. 两者均具有高 TiO_2 特征, 三塘湖盆地玄武岩相对于吐-哈盆地具有高 MgO 的特征. 硅-碱图解显示(图 5), 两盆地玄武岩总体既相似又有区别. 吐-哈盆地玄武岩主体为亚碱性系列, 而三塘湖盆地大部分样品偏碱性玄武岩系列.

玄武岩 REE 配分曲线(图 6(a), (b))表明, 吐-哈盆

地大部分玄武岩轻稀土适度富集, 稀土分配模式整体协调一致, 为向右缓倾的曲线, 其中样品 DNA-01, QJJ-02 和 Y-1 稀土总量较低(表 3), 曲线具有平缓的特征, LREE 轻度富集; 三塘湖盆地玄武岩稀土(表 4)总量变化较大(92~207.93 $\mu\text{g/g}$), 轻重稀土元素分馏明显, 比值(LREE/HREE)在 3.8 和 8.35 之间变化, LREE 强烈富集、 $(\text{La}/\text{Yb})_N > 1$, Eu 异常不明显, $\delta\text{Eu} = 0.92\sim 1.13$.

Frey 等 [16] 将原始玄武岩浆的 Mg # 值规定为 0.68~0.75. 三塘湖盆地玄武岩的 Mg # 变化在 0.42~0.59 之间, 吐-哈盆地玄武岩的 Mg # 变化在 0.36~0.58 之间. 显然两盆地的玄武岩均不具有原始岩浆的特征, 而是演化的岩浆, 且两盆地玄武岩具有低的 Cr, Co, Ni 丰度也支持其均为演化后岩浆的特点.

吐-哈、三塘湖盆地的微量元素分析数据如表 3, 4. 计算表明, 吐-哈盆地的 Th/Ta 较高, 平均为 5.457, Ta/Hf 较低, 平均为 0.094, 与陆内拉张带或者初始裂谷玄武岩(Th/Ta > 4, 一般 4~10)相似 [17, 18]; 而三塘湖盆地 Th/Ta 较低, 平均为 1.685, Ta/Hf 亦较低, 平均为 0.114, 与大陆板内拉斑玄武岩(Th/Ta > 1.6, Ta/Hf = 0.1~0.3)较相似, 其低的 Th/Ta 和 Ta/Hf 比值也与岛弧玄武岩的特征接近.

三塘湖盆地二叠纪火山岩在总体显示板内裂谷玄武岩地球化学特征基础上, 其微量元素比值 Nb/La(0.27~0.41), Hf/Ta(6.27~14.5), La/Ta(40.5~66), Th/Nb(0.06~0.15), Th/Yb(0.12~0.63), Hf/Th(2.26~9.34) 等均显示其类似于火山弧区玄武岩特征. 由于 Ta, Hf, Th 是强不相容元素, 在岩浆演化过程中的变化是同步的, Th/Ta, Ta/Hf 在地幔部分熔融过程中变化很小, 在岩浆结晶分异过程中基本没有变化, 因此, 相对原始岩浆中 Th/Ta 和 Ta/Hf 的差异被解释为源区成分不同引起的 [19]. 据此推测, 吐-哈盆地二叠纪玄武岩高的 Th/Ta 比值可认为是岩浆源区相对较浅或为受到地壳混染的裂谷环境, 而三塘湖盆地的不相容元素显示了与俯冲作用有关的地球化学信息, 并与造山期后伸展背景下的玄武岩具有相似的特征 [20].

MORB 标准化的微量元素配分图解(图 7(a), (b))显示, 吐-哈盆地大部分玄武岩相对于 MORB 强烈富集 K, Rb, Ba, Th 等大离子亲石元素, Ce, Sr 等适度富

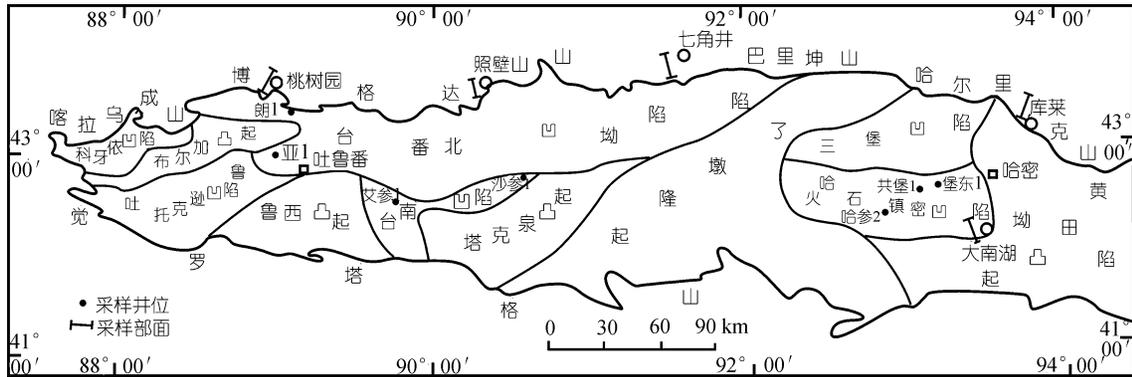


图 2 吐-哈盆地构造单元划分及玄武岩采样位置图

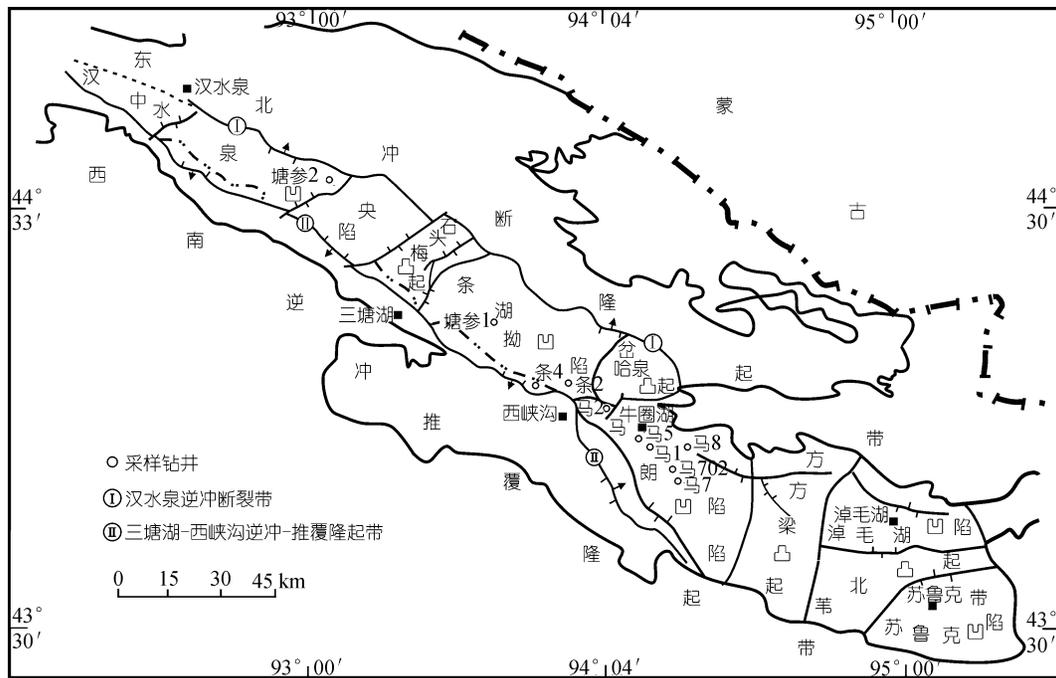


图 3 三塘湖盆地构造单元划分及玄武岩采样位置图

表 1 吐-哈、三塘湖盆地二叠系玄武岩⁴⁰Ar/³⁹Ar定年统计

吐鲁番-哈密盆地				三塘湖盆地			
编号	地点	岩石类型	坪年龄/Ma	编号	地点	岩石类型	坪年龄/Ma
ZBS-03	照壁山	碱性玄武岩	273±1	M8-02	马 8 井(1293.42 m)	玄武岩	266±1
ZBS-07	照壁山	碱性玄武岩	276±2	Tc1-01	塘参 1 井(2940 m)	玄武岩	272±1
露头区	车轱辘泉	玄武岩	270±1	Tc2-02	塘参 2 井(2208.3 m)	玄武岩	273±1
KLA-01	库 莱	玄武岩	269±1	T4-01	条 4 井(1880.97 m)	玄武岩	266±1
KLA-06	库 莱	玄武岩	276±1				
KL-12	库 莱	玄武岩	291±1				
DNA-01	大南湖	碱性玄武岩	270±1				
钻 井	Y-1	亚 1 井(3167 m)	玄武岩	278±1			
	L-1	朗 1 井(3210.16 m)	玄武岩	281±1			
	AC-1	艾参 1 井(3846.8 m)	玄武岩	293±2			
	SC-1	沙参 1 井(3847.16 m)	玄武岩	290±1			

样品由中国科学院地质与地球物理研究所 Ar-Ar 定年实验室桑海清、裘冀测试分析。测试仪器为英国 VSS 公司提供的 RGA-10 气体质谱计

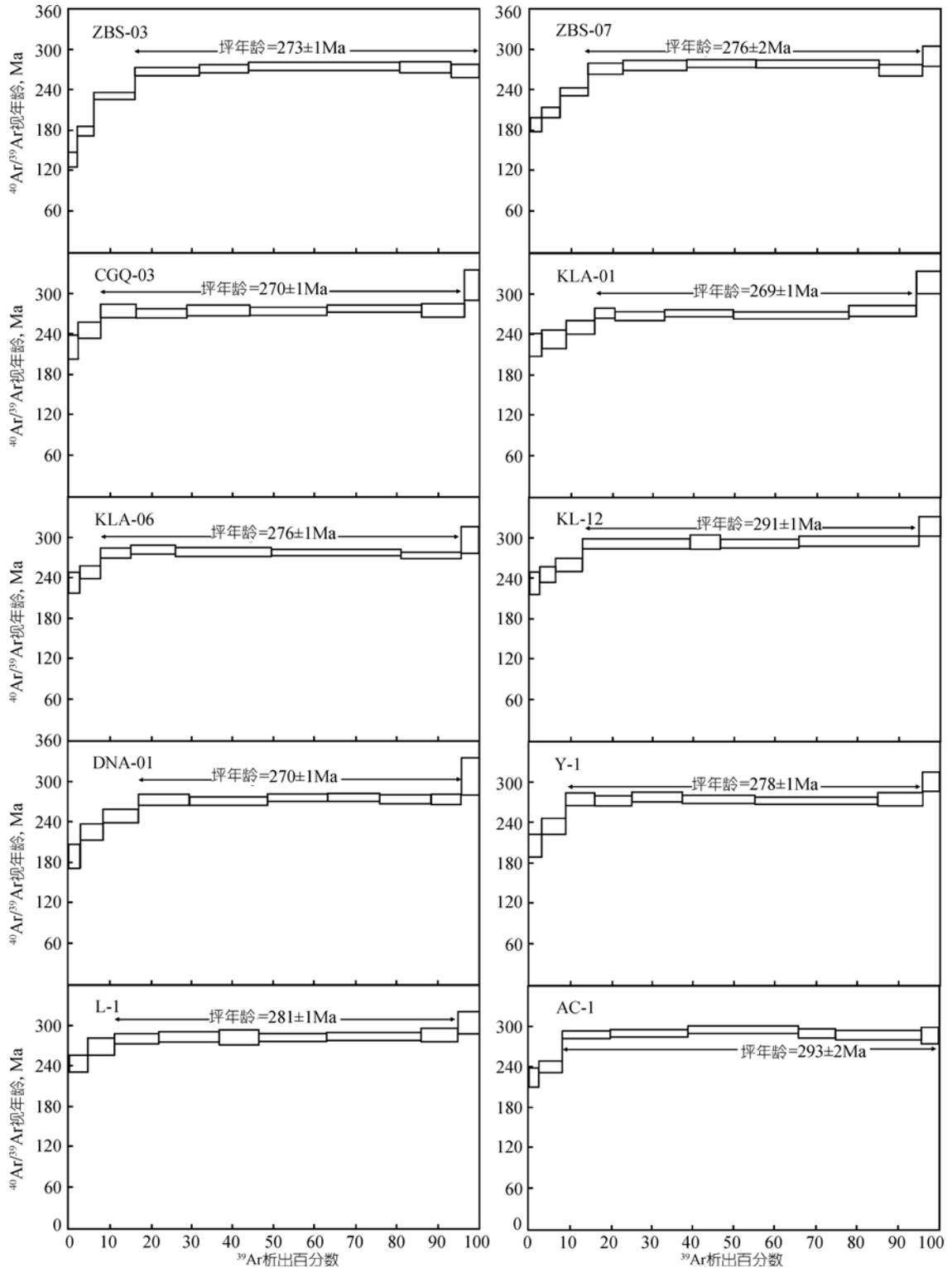


表 2 吐-哈盆地、三塘湖盆地二叠纪玄武岩常量元素分析结果(单位: wt%)^{a)}

地区	样号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	TOTAL	Mg#
吐-哈盆地	CGQ-03	玄武岩	49.41	1.62	15.66	10.09	0.13	6.31	9.63	2.54	0.40	0.41	3.88	100.08	0.55
	DNA-01	粗面玄武岩	51.79	1.36	15.61	8.04	0.15	5.73	6.61	4.61	1.12	0.18	4.53	99.73	0.58
	KLA-01	玄武岩	46.57	2.10	15.87	9.29	0.33	2.68	11.74	2.76	0.45	0.46	7.75	100	0.36
	L-1	玄武岩	49.19	1.39	16.88	10.66	0.32	4.27	9.12	2.52	1.88	0.48	2.86	99.57	0.43
	PD-1	玄武岩	49.79	2.59	15.80	12.38	0.33	3.94	5.95	4.25	0.98	0.54	3.60	100.15	0.38
	QJJ-02	玄武岩	51.07	1.18	17.17	8.04	0.14	5.23	10.5	2.64	0.81	0.19	2.57	99.54	0.54
	SC-1	玄武岩	46.05	3.27	16.03	11.60	0.21	7.12	5.29	3.2	0.55	0.48	5.84	99.64	0.54
	Y-1	玄武岩	45.64	0.93	16.6	9.31	0.24	5.80	8.64	2.44	0.59	0.14	9.72	100.05	0.55
	ZBS-07	玄武岩	48.48	2.36	15.74	11.02	0.22	5.22	6.24	3.72	1.40	0.49	5.27	100.16	0.47
三塘湖盆地	M1-01	辉绿岩	47.30	1.48	17.49	10.53	0.14	6.46	8.25	3.40	0.61	0.48	4.18	100.32	0.55
	M2-01	玄武岩	48.31	1.68	16.73	10.31	0.27	7.48	6.47	2.88	0.52	0.35	5.61	100.61	0.59
	M5-01	玄武岩	46.67	2.01	15.87	10.77	0.15	7.43	6.49	2.93	2.14	0.75	5.14	100.35	0.58
	M702-02	辉绿岩	48.01	1.56	17.72	9.09	0.12	4.47	3.32	7.07	1.10	0.68	7.43	100.57	0.49
	M702-03	辉长岩	47.88	1.87	17.03	9.86	0.15	6.72	8.03	3.76	0.85	0.58	3.17	99.9	0.58
	M7-03	辉绿岩	48.87	2.26	16.46	10.45	0.20	6.08	8.16	3.49	0.91	0.76	2.40	100.04	0.54
	M7-04	粗面玄武岩	50.81	2.59	15.82	11.75	0.25	4.28	3.26	5.96	0.96	0.85	3.28	99.81	0.42
	M8-02	辉绿岩	50.10	1.65	18.17	8.96	0.14	4.25	7.28	4.3	1.35	0.73	2.64	99.57	0.49
	Tc1-01	玄武岩	48.90	1.57	17.54	9.74	0.19	5.00	9.05	3.42	1.16	0.84	2.34	99.75	0.5
T2-02	玄武岩	47.11	2.28	16.99	11.10	0.16	4.61	8.95	3.39	0.70	1.10	3.13	99.52	0.45	

a) 吐-哈盆地常量元素由北京有色冶金设计研究总院中心 XRF 测试; 三塘湖盆地常量元素由西北大学大陆动力学实验室 XRF 测试

表 3 吐-哈盆地二叠纪玄武岩稀土、微量元素分析结果(单位: $\mu\text{g/g}$)^{a)}

样号	CGQ-03	DNA-01	KLA-01	L-1	PD-1	QJJ-02	SC-1	Y-1	ZBS-07
La	15.3	10.1	20.2	19.9	22.4	6.34	19.4	3.43	13.9
Ce	36.5	22.5	38.8	41.0	48.1	11.9	42.2	7.90	31.9
Nd	22.6	14.1	25.2	25.6	37.8	9.40	30.0	6.10	25.9
Sm	5.55	4.08	6.66	6.58	8.92	3.14	7.40	2.04	6.96
Eu	1.81	1.53	2.19	1.54	2.57	1.16	2.41	0.77	2.19
Tb	0.88	0.87	0.98	0.90	1.66	0.58	1.33	0.34	1.16
Yb	2.97	2.91	2.45	2.56	3.85	1.92	2.45	1.21	3.23
Lu	0.42	0.39	0.36	0.41	0.56	0.32	0.36	0.19	0.55
ΣREE	101.3	69.6	112.6	113.9	150.1	43.4	124.4	27.3	103.4
δEu	1.0	1.04	0.9	0.99	1.03	0.88	0.97	1.11	0.96
Ba	203	938	301	373	364	240	155	227	579
Rb	4.10	44.0	10.0	57.0	56.0	15.0	10.0	12.0	22.0
Sr	442	576	839	480	445	365	495	479	1100
Y	23.0	24.0	24.0	28.0	40.0	19.0	27.0	12.0	35.0
Zr	143	151	189	175	274	94.0	261	34.0	229
Nb	8.60	6.70	10.0	6.60	12.0	4.80	13.0	3.40	11.0
Th	1.13	2.19	1.69	1.37	1.05	1.40	1.65	0.54	4.44
Zn	28.0	31.7	6.41	6.79	7.27	7.06	6.20	6.11	6.97
Ni	110	180	56.0	26.0	51.0	32.0	10.0	10.0	58.0
V	180	154	199	284	245	207	162	251	217
Cr	182	472	119	32.0	5.60	66.0	4.0	13.0	122
Hf	3.35	4.12	4.15	4.45	6.35	2.13	5.41	0.92	4.84
Cs	0.47	0.89	1.10	1.18	16.5	0.29	0.40	4.01	2.10
Sc	27.6	27.5	23.5	27.3	26.8	31.1	18.4	27.3	27.3
Ta	0.18	0.46	0.46	0.15	0.53	0.16	0.58	0.14	0.59
Co	77.0	68.0	62.0	58.0	67.0	72.0	55.0	44.0	51.0
U	0.45	0.74	0.63	2.08	0.40	0.62	0.63	0.56	0.69
Mo	0.33	0.31	0.80	0.82	0.90	0.81	0.82	0.74	0.86

a) 稀土元素为中国科学院高能物理所中子活化法分析; 微量元素为北京有色冶金设计研究总院中心化验室 ICP 分析测试

表 4 三塘湖盆地二叠纪玄武岩稀土、微量元素分析结果(单位: $\mu\text{g/g}$)^{a)}

样号	M1-01	M2-01	M5-01	M702-02	M702-03	M7-03	M7-04	M8-02	Tc1-01	T2-02
La	15.5	11.0	19.0	26.2	14.6	20.0	36.3	27.5	29.4	29.0
Ce	36.6	29.0	47.3	58.4	36.5	49.7	77.5	62.3	64.2	71.4
Pr	5.12	4.40	6.81	7.79	5.27	7.11	10.2	8.22	8.42	11.2
Nd	23.8	21.3	31.1	33.2	24.0	32.7	44.8	35.3	36.0	47.9
Sm	5.51	5.25	6.77	6.65	5.29	7.13	9.12	7.19	7.03	10.0
Eu	1.84	1.90	2.21	2.21	1.81	2.30	2.81	2.30	2.20	2.89
Gd	4.88	4.83	5.66	5.60	4.62	6.19	8.05	6.04	5.59	8.77
Tb	0.85	0.89	0.96	0.90	0.77	1.04	1.33	0.99	0.87	1.29
Dy	4.90	5.29	5.42	4.96	4.33	5.87	7.34	5.53	4.62	6.98
Ho	1.04	1.14	1.12	1.04	0.94	1.27	1.56	1.14	0.95	1.38
Er	2.53	2.81	2.70	2.47	2.24	3.07	3.77	2.81	2.28	3.53
Tm	0.52	0.57	0.54	0.48	0.45	0.62	0.74	0.5	0.47	0.51
Yb	2.82	3.17	2.89	2.63	2.38	3.31	3.83	3.10	2.48	3.43
Lu	0.41	0.48	0.43	0.37	0.36	0.50	0.56	0.45	0.37	0.53
ΣREE	106.3	92.0	133.0	152.9	103.6	140.7	207.9	163.4	164.9	198.8
δEu	1.06	1.13	1.06	1.08	1.10	1.03	0.98	1.04	1.04	0.92
Li	29.7	18.2	37.1	41.5	13.4	8.49	27.4	11.8	9.16	8.42
Be	1.54	1.30	1.89	1.77	1.24	1.64	2.38	2.15	1.48	1.98
Sc	20.6	27.2	22.8	19.6	19.7	29.4	35.7	19.3	25.3	29.9
V	193	214	197	185	207	232	285	194	242	267
Cr	336	245	210	92.9	223	164	160	83.4	87.2	139
Co	50.7	47.6	42.1	29.1	41.3	40.3	45.5	31.8	35.2	33.7
Ni	228	152	157	59.9	114	74.8	83.4	51.6	57.7	77.4
Cu	73.1	83.1	66.5	66.2	56.6	61.2	78.2	73.5	74.0	68.0
Zn	89.2	92.9	98.9	88.8	92.7	107	137	94.5	108	154
Ga	19.8	20.1	17.6	17.2	17.7	19.5	31.5	21.2	21.6	20.8
Ge	1.12	1.35	1.50	1.68	1.36	1.48	0.83	1.36	1.53	1.38
Rb	7.34	4.40	18.1	12.3	9.09	9.55	17.0	14.1	7.98	3.23
Sr	633	639	818	476	849	829	508	799	1269	861
Y	28.2	31.8	33.1	28.1	27.0	37.1	47.9	33.7	28.6	42.7
Zr	138	149	208	183	153	218	273	223	152	241
Nb	4.57	3.34	7.77	9.31	5.63	7.47	9.76	11.2	10.0	8.69
Sn	1.00	1.34	1.56	1.28	1.37	1.70	1.19	1.48	1.24	1.54
Cs	0.47	0.06	0.56	7.49	0.37	0.14	0.52	0.27	0.06	0.03
Ba	270	379	534	901	359	390	607	536	721	393
Hf	3.18	3.19	4.11	3.82	3.42	4.77	5.37	4.67	3.51	4.95
Ta	0.29	0.22	0.49	0.56	0.36	0.49	0.55	0.66	0.56	0.49
Pb	1.06	3.02	3.75	4.65	4.50	6.90	4.95	5.07	8.02	8.19
Th	0.55	0.37	0.44	0.83	0.56	0.87	1.09	0.99	1.55	0.64
U	0.21	0.10	0.19	0.34	0.23	0.34	0.52	0.42	0.53	0.10

a) 稀土、微量元素均为西北大学大陆动力学教育部重点实验室 ICP-MS 分析测试

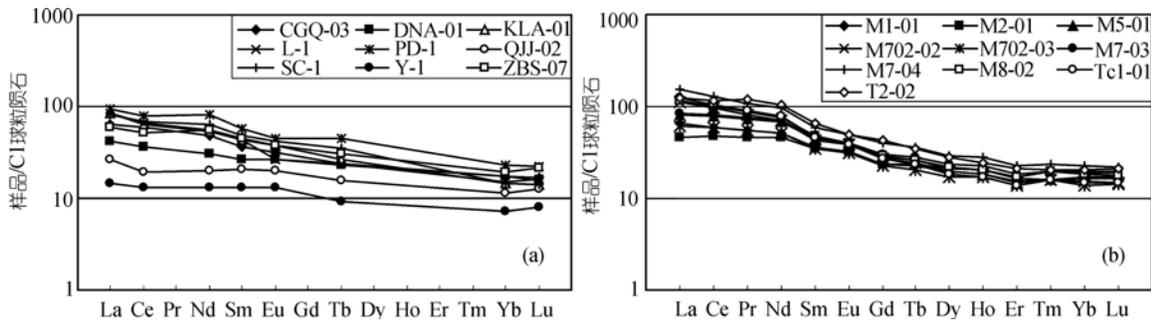


图 6 吐-哈、三塘湖盆地二叠纪玄武岩 REE 球粒陨石标准化配分曲线

标准化值引自文献[3]

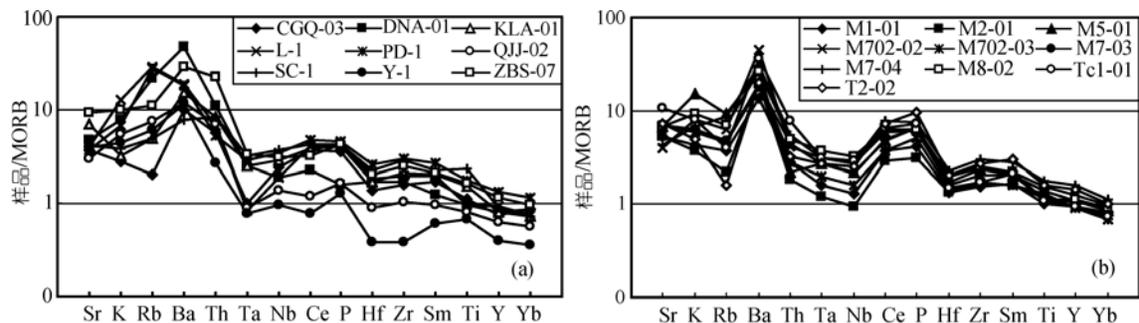


图7 吐-哈、三塘湖盆地二叠纪玄武岩微量元素 MORB 标准化蛛网图解

标准化值引自文献[1]

集, Ta, Nb等高场强元素的轻度亏损, 可能与陆内拉伸环境下地壳混染或地幔源区有富Ta, Nb的残留体有关, 一些裂谷型玄武岩具有类似的特征^[12], 因此认为吐-哈盆地早二叠世更可能为裂谷环境; 而三塘湖盆地玄武岩大离子亲石元素(LILE)Ba, K等强烈富集, Rb, Th, Sr, Ce, P等适度富集, 高场强元素(HFSE)Ta, Nb相对于Th, Ce强烈亏损. 由于岛弧玄武岩的微量元素具有Ta, Nb亏损和LILE富集的特征, 因此该地化特征可能标志俯冲作用改造的岩石圈地幔参与了岩浆的形成过程. 但值得注意的是本区玄武岩普遍具有高Ti的特征, 需要进一步研究.

3.2 古构造环境分析

吐-哈盆地和三塘湖盆地玄武岩研究因研究课题时间的限制, 地球化学数据的测试方法不同, 从对比分析的角度考虑, 它们仍提供了有意义的信息. 由微量元素整体特征及一些关键元素的特点, 显示吐-哈盆地早二叠世的岩浆活动与俯冲消减作用无关, 推测该盆地基底可能具有稳定古陆块性质, 其下的地幔源区在主造山之后未经历较长时间的调整过程就发生了区域性的伸展作用, 岩浆在上升过程中受到陆壳混染作用的影响, 从而形成具有上述地球化学组成的玄武岩. 三塘湖盆地玄武岩地球化学特征与岛弧火山岩虽存在相似之处, 但明显显示存在古大洋板片俯冲作用的影响. 对此可能的解释为岩石圈地幔在部分熔融之前已经被交代, 而这可能与富含LILE的流体和/或源于俯冲大洋板片脱水的碱质部分熔融熔体网脉状叠加交代上覆地幔楔有关. 当然, 岩浆受到陆壳物质的混染也可能造成Nb, Ta负异常, 但

是, 陆壳的混染作用往往造成不相容元素的总体升高, 三塘湖盆地玄武岩的不相容元素丰度并不特别高, 且各样品谱线平行, 因此, 可以忽略陆壳混染的影响. 三塘湖盆地二叠纪玄武岩的地球化学特征与岛弧火山岩存在相似性, 直接与该盆地南北两侧分别发育克拉麦里和扎河坝-阿尔曼泰泥盆纪蛇绿岩、蛇绿混杂岩带(图1)显示与早期洋盆俯冲的区域地质背景有关, 但二叠纪玄武岩的发育已与岛弧没有直接关系. 类似的特征莫宣学则提出了“滞后弧火山岩”的概念^[21], 指出其一方面形成于碰撞后陆内环境, 另一方面明显地带带有与俯冲相关火山岩的地球化学信息, 通常属钙碱性系列. 滞后弧火山岩在中国西部许多造山带和世界其他地区都有分布^[21], 三塘湖盆地二叠纪玄武岩即为一例.

通过对吐-哈盆地和三塘湖盆地二叠纪玄武岩地球化学特征及区域地质的综合研究, 认为两盆地应同属造山期后伸展背景下的火山作用产物, 但是三塘湖盆地玄武岩源区可能受到古洋壳板片俯冲作用的影响, 而吐-哈盆地未受俯冲作用的干扰.

4 新疆北部二叠纪区域构造背景讨论

不同学者对新疆北部二叠纪古构造环境和区域构造动力学的认识分歧较大. 部分学者认为, 晚石炭世-二叠纪处于地壳伸展状态^[8, 9], 认为可能是造山期后岩石圈拆沉作用所致^[22, 23]; 也有学者提出该时期是洋盆俯冲、板块汇聚的岛弧^[24, 25]、前陆盆地^[13]形成发展的挤压背景. 另一些学者提出, 塔里木盆地二叠纪处于区域伸展的裂谷环境, 与古特提斯洋向塔里木板块之下俯冲, 导致深部物质上涌密切相关^[26, 27].

对此,我们从以下几个方面作以综合分析讨论:

4.1 蛇绿岩、蛇绿混杂岩形成时期对二叠纪构造背景的限制

新疆北部地区目前获知不同类型的蛇绿岩、蛇绿混杂岩带形成时期主要为寒武纪-早石炭世(图 1)。在克拉麦里的泥盆纪蛇绿岩被下石炭统南明水组和清水组复理石沉积不整合覆盖,巴音沟的泥盆纪-早石炭世蛇绿岩则被中石炭统巴音沟组的浅海相类复理石沉积不整合覆盖^[8,9],表明天山-准噶尔古洋可能在早石炭世闭合向残余洋盆、海盆转化,随后中、晚石炭世发生陆-陆碰撞造山作用(博格达晚石炭世造山活动的锆石 U-Pb SHRIMP 定年为 311~316 Ma^[28]),并结束古生代区域以海相沉积为主的地质历史,二叠纪发生重大改变,北疆地区发育二叠纪以陆相为主的分隔性沉积盆地。显然区域的上述地质事实不支持二叠纪还处于与洋盆有关的俯冲挤压背景。

4.2 博格达山和相关区域侵入岩及其形成时期对二叠纪构造背景的限制

分隔吐-哈盆地和三塘湖盆地的博格达山裸露基岩主要为石炭系的海相火山-沉积岩系,并被呈岩基、岩株状侵位的花岗岩、闪长岩和钾长花岗岩,以及呈岩床、岩墙和岩株状侵位的辉长-辉绿岩侵入^[7,29,30]。有限的定年信息提供,侵位于中石炭统柳树沟组的上大河沿钾长花岗岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 298.4±1 Ma^[29],柴窝铺的辉绿岩锆石 Pb-Pb 年龄为 288.9±5 Ma^[30]。它们与残留在博格达山脉及其两侧吐-哈、三塘湖盆地中的二叠系玄武岩形成时期相当或稍早(表 1),代表了同一构造事件大致同时异相的岩浆活动。

博格达山脉中的辉长-辉绿岩具有类似于大陆拉斑玄武岩的地球化学特征,被视为由挤压向拉张转折背景下,可能来自轻度亏损地幔源区的岩浆作用产物^[31]。值得关注的是,同类现象大致同时发育在塔里木盆地。据研究^[26,27],塔里木盆地二叠纪岩浆活动呈带状广泛分布,包括了基性、中酸性火山岩和以基性为主,有少量中酸性侵入岩不同类型的岩石组合,其中的基性侵入岩类多呈岩墙状。巴楚的辉绿岩岩

墙 Sm-Nd 等时线年龄为 259±57 Ma,小海子的正长岩 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 277.2±1 Ma,柯坪地区的席状玄武岩 K-Ar 和 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄分别为 278.0 Ma 和 278.5±1 Ma。地球化学研究提供,碱性正长岩、辉绿岩墙和玄武岩属同源岩浆系列,是源自富集地幔的大陆板内伸展环境产物,但被认为可能与古特提斯洋壳向塔里木板块之下的俯冲有关^[26,27]。北疆上述位于造山带(博格达山)和稳定地块(塔里木地块)不同构造单元岩浆活动的共同性和差异性似乎暗示,它们可能具有统一的区域构造背景。

4.3 晚石炭世-二叠纪岩浆活动的区域构造背景讨论

新疆北部地区区域造山期后伸展背景的岩浆活动已受到诸多学者的关注^[8-10,23,31]。据韩宝福等研究^[22,31],目前认知的北疆地区造山期后伸展岩浆活动不同方法(Sm-Nd, Rb-Sr, Pb 模式)同位素年龄统计,初步限定其形成年龄集中于 330~250 Ma。定年数据和相应岩性的统计表明,区域岩浆杂岩早期(330~300 Ma)以基性-超基性岩为主,由二辉橄榄岩、二辉辉石岩、辉石岩、辉长苏长岩、橄榄苏长岩和辉长岩、辉绿岩等组成。晚期(300~250 Ma)以酸性、中性为主,包括了碱性花岗岩、花岗岩、闪长岩、英安斑岩、流纹岩等。上述岩浆杂岩一般表现 ϵ Nd(t) 值高, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 相对较低,并在区域呈明显不均一性,并且具有 Nd 和 Pb 模式年龄年轻等的特点,表明它们主要是幔源岩浆及其分异产物侵位上地壳的结果^[22]。但值得注意的是,目前初步所获得的上述信息因同位素定年及地球化学研究的精度和可靠性均存在有待进一步提高的问题,因此基于北疆地区晚古生代既存在与洋盆闭合、俯冲-碰撞造山复杂过程相关的岩浆活动,又存在由造山期后伸展诱导的岩浆活动,显然不排除目前统计性的 330~250 Ma 期间的岩浆活动可能代表了挤压造山向造山期后伸展的不同构造背景、不同类型岩浆作用的组合系列。

对北疆地区古生代造山作用过程认识争议较大。尽管现有蛇绿岩和岩浆杂岩的定年数据、地球化学示踪和同位素定年的精度有待提高,但区域地质资料仍可能提供,北疆区域洋盆可能最终闭合于晚泥盆

世-早石炭世, 中、晚石炭世转入碰撞造山作用时期。二叠纪可能处于碰撞造山期后的伸展作用时期。其可能的区域构造背景是由于北疆晚古生代洋盆闭合, 碰撞造山之后的伸展作用, 导致地幔底侵, 促使区域性的伸展裂隙, 并控制了新疆北部地区分隔性二叠纪陆相沉积盆地的形成及其相应的源区有别的区域岩浆活动。

致谢 评审专家对本文提出了重要的修改意见和建议, 在此致以衷心感谢!

参 考 文 献

- Pearce J A. Trace element characteristic of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe R S, ed. *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. Chichester: Wiley, 1982. 525~548
- Wilson M. *Igneous Petrogenesis*. London: Unwin Hyman, 1989. 1~466
- Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes, In: Saunders A D, Norry M J, eds. *Magmaism in the Ocean Basin*. *Geol Soc Special Publ*, 1989. (42): 313~345
- 徐义刚. 拉张环境中的大陆玄武岩浆作用: 性质及动力学过程. 见: 郑永飞主编. *化学地球动力学*. 北京: 科学出版社, 1999. 119~159
- 张树明, 王方正, 玄武岩在研究岩石圈深部过程及构造背景中的应用, *地球科学进展*, 2002. 17(5): 685~692
- Kwon S T, Tilton G R, Coleman R G, et al. Isotopic studies bearing on the tectonics of the west Junggar region, Xinjiang, China. *Tectonics*, 1989, 8(4): 719~727
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. *新疆维吾尔自治区区域地质志*. 北京: 地质出版社, 1993. 515~562
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京: 地质出版社, 1992. 104~123
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社; 香港文化教育出版社, 1994. 62~220
- Coleman P G, 刘 彦等译. 中国西北部的大陆增生. *新疆地质科技*, 1993. 41
- 王作勋, 郭继易, 吕喜朝, 等. 天山多旋回构造演化与成矿. 北京: 科学出版社, 1990. 131~164
- 高 俊, 汤耀庆, 赵 民. 新疆南天山蛇绿岩的地质地球化学特征及形成环境初探. *岩石学报*, 1995. 11(增刊): 85~97
- 高长林, 崔可锐, 钱一雄, 等. 天山微板块构造与塔北盆地. 北京: 地质出版社, 1995. 92~122
- 陈哲夫, 成守德, 梁云海, 等. 新疆开合构造与成矿. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1997. 111~172
- 王润三, 王居里, 周鼎武, 等. 南天山榆树沟遭受麻粒岩相变质改造的蛇绿岩套研究. *地质科学*, 1999, 34(2): 166~176
- Frey F A, Green D H, Roy S D. Integrated models of basalt petrogenesis: a study of quartz tholeiites to olivine melilitites from south eastern Australia utilizing geochemical petrological data. *J Petrology*, 1978, 19: 463~513
- Fitton J G, James D, Leeman M P. Basic magmatism associated with Late Cenozoic extension in the western United States: Compositional variation in space and time. *Geophys Res*, 1991, 96: 13696~13711
- 汪云亮, 张成江, 修淑芝. 玄武岩形成的大地构造环境的 Th/Hf、Ta/Hf 图解判别. *岩石学报*, 2001, 17(3): 413~421.
- McCulloch M T, Gamble J A. Depleted source for volcanic arc basalts: constraints from basalts of Kenadec-Taupo Volcanic zone based on trace elements, isotopes and subduction chemical geodynamics. *Continental Magmatism*. New Mexico: Bur Miner, Resource Bull, 1989. 180
- 张 旗, 钱 青, 王 焰. 造山带火成岩地球化学研究. *地学前缘*, 1999, 6(3): 113~120
- 廖忠礼, 莫宣学, 喻学惠, 等. 从 31 届地质大会看火成岩石学的研究动向. *岩石矿物学杂志*, 2001, 20(3): 360~366
- 韩宝福, 何国琦, 王式洗, 等. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长. *地质论评*, 1998, 44(4): 396~406
- 李锦轶, 肖序常. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述. *地质科学*, 1999, 34(4): 405~419
- 马瑞士, 王赐银, 叶尚夫, 等. 东天山构造格局及地壳演化. 南京: 南京大学出版社, 1993. 77~86
- 廖卓庭, 刘陆军, 张 维. 博格达山西南缘早二叠世磨拉石相沉积组合——桃西沟群. *地层学杂志*, 1999, 23(3): 190~195
- 贾承造主编. *中国塔里木盆地构造特征与油气*. 北京: 石油工业出版社, 1997. 157~170
- 陈汉林, 杨树峰, 董传万, 等. 塔里木盆地早二叠世岩浆作用的特征及形成的地球动力学过程. 见: 陈海泓等主编. *中国碰撞造山带研究*. 北京: 海洋出版社. 1999. 174~182
- 王宗秀, 李涛, 周高志, 等. 博格达山晚石炭纪造山活动的变形地质记录. *地学前缘*, 2003, 10(1): 63~68
- 顾连兴, 于春水, 李宏宇, 等. 博格达山大河沿岩体铽-锆同位素年龄及其地质意义. *矿物岩石地球化学通报*, 2000, 19(1): 19~21
- 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 博格达陆内碰撞造山带挤压-拉张构造转折期的侵入活动. *岩石学报*, 2001. 17(2): 187~198
- 韩宝福, 何国琦, 王式洗. 后碰撞幔源岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基地的性质. *中国科学, D 辑*, 1999, 29(1): 16~21