

南祁连盆地上三叠统阿塔寺组碎屑岩
地球化学特征及其源岩

王苏里^{1,2}, 周立发^{1,2}

(1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069; 2. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069)

摘要: 南祁连盆地在晚三叠世时期处于陆相沉积, 上三叠统阿塔寺组碎屑岩十分发育。盆地三叠系砂岩的岩性及岩相特征与二叠系非常相似, 但是源岩构造背景、物质组成及物质来源与二叠系有所差异。根据地球化学主量元素、微量元素分析结果, 上三叠统阿塔寺组源岩构造背景活动性较强, 以活动性较强的大陆岛弧及活动大陆边缘为主, 源岩物质组成以长英质火成岩为主。结合区域地质构造背景判断, 南祁连盆地上三叠统阿塔寺组沉积物源区以北物源为主, 以南物源为辅, 中祁连的前震旦系及下古生界变质结晶岩系及花岗岩为其主要物源。

关键词: 南祁连盆地; 上三叠统; 阿塔寺组; 地球化学; 构造背景; 物源

中图分类号: P588.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8527(2016)01-0087-10

Geochemistry Characteristics and Provenance Rock of the Upper Triassic
Atasi Formation Detrital Rocks in the Southern Qilian Basin

WANG Su-li^{1,2}, ZHOU Li-fa^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;
2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China)

Abstract: The Southern Qilian Basin deposits of the continental facies with the development of the detrital rocks in the Upper Triassic Atasi Formation. The lithology and lithofacies characteristics of Triassic sandstone is very similar to Permian sandstone, but the tectonic setting, material composition and the source area of Triassic source rock is different from Permian source rock in Southern Qilian Basin. According to the analysis results of major elements and trace elements of the sandstones, the source rocks of Upper Triassic Atasi Formation belong to an active tectonic setting, mostly like the continental island arc and active continental margin. The material composition of the source rock is mainly the felsic volcanic rock. The source area of the deposition of the Upper Triassic Period in Southern Qilian Basin is most possibly the metamorphic crystalline rock series and granite of the Presinian System and Lower Paleozoic from Middle Qilian integrated with the regional tectonic setting.

Key words: Southern Qilian Basin; Upper Triassic; Atasi Formation; geochemistry; tectonic setting; provenance

0 引 言

沉积区岩石的物质组成往往受到物源区岩石组合类型的影响, 而源区所处的大地构造背景又控制着源区的岩石组合类型。通过对盆地内沉积物的岩石学研究, 可以揭示盆地充填物的物源区

方向、性质、大地构造背景、盆地沉积史以及盆地周边各构造单元之间的关系, 进而揭示盆山之间的耦合关系^[1-4]。

沉积盆地中的碎屑岩从其源岩区经历了风化、剥蚀、搬运等地质作用后到达现今所在位置沉积下来, 其过程中虽然经历了一系列的物理化学变

收稿日期: 2014-12-12; 改回日期: 2015-06-18; 责任编辑: 戚开静。
基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划重点项目(2012JZ5001)。
作者简介: 王苏里, 男, 硕士研究生, 1986年出生, 沉积学专业, 主要从事沉积盆地分析研究。Email: wangsuli1004@126.com。

化,但必定还保留了许多其源岩最原始的信息。特别是化学信息,由于不同的化学元素在地质作用过程中有着不同的迁移及赋存规律,据此,利用碎屑岩所携带的地球化学信息对物源区的地质响应所进行的分析研究是可行的。沉积学家将现代不同类型盆地中的碎屑岩组成进行系统研究,并将其与已知大地构造背景的源区岩石组合进行对比,总结出来源于不同构造背景下的沉积盆地中碎屑岩的碎屑组成以及地球化学特征,利用这些信息即可对源区进行反演研究^[5-7]。

祁连山作为一条典型的造山带,东接鄂尔多斯地台,西被阿尔金断裂所截,北邻阿拉善地块,南为柴达木盆地和西秦岭,历来受到众多地质学家的关注。20 世纪 80 年代以来,在板块构造和碰撞造山理论的指导下,多学科联合系统地开展了祁连与秦岭造山带组成、结构和形成演化的研究,并取得了一批具有代表性的成果,但长期以来对南祁连—西秦岭造山带的研究更多地关注了造山带的基底演化、洋陆格局与碰撞造山过程,而对陆内构造的研究则较为薄弱和笼统^[8-13]。2008 年青海天然气水合物的发现^[14],使得南祁连盆地不仅成为了油气资源勘探的重点区域,也成为了近

年来科学研究的热点领域。

迄今为止,对祁连地区的研究主要集中在早古生代以及新生代,而对晚古生代以及中生代的研究较少。就整个祁连地区而言,对北祁连的研究也明显多于对南祁连的研究。长久以来,南祁连地区三叠系的研究程度较低,且对物源的研究十分稀少。事实上,南祁连与周边各构造单元有着密切的联系,而其三叠纪沉积物源的研究对恢复盆地充填型式以及周边地区古构造背景等有着重要的意义。本文即是通过南祁连三叠纪阿塔寺组砂岩的地球化学特征的研究,确定了含碎屑岩地层的元素特征,恢复了源岩的构造背景以及源岩性质,初步建立了盆地碎屑岩与源岩之间的对应关系,为进一步讨论该区的大地构造性质和演化提供了有用的信息。

1 区域地质概况

南祁连盆地地处青藏高原东北缘,北侧与中祁连山体 and 北祁连山体相邻,南侧与宗务隆山—青海南山相邻,整体呈北西方向展布,总面积约 6.3 万 km²。南祁连盆地构造(图 1)由包括天峻坳陷、下日哈坳陷、哈拉湖坳陷、木里坳陷、疏勒

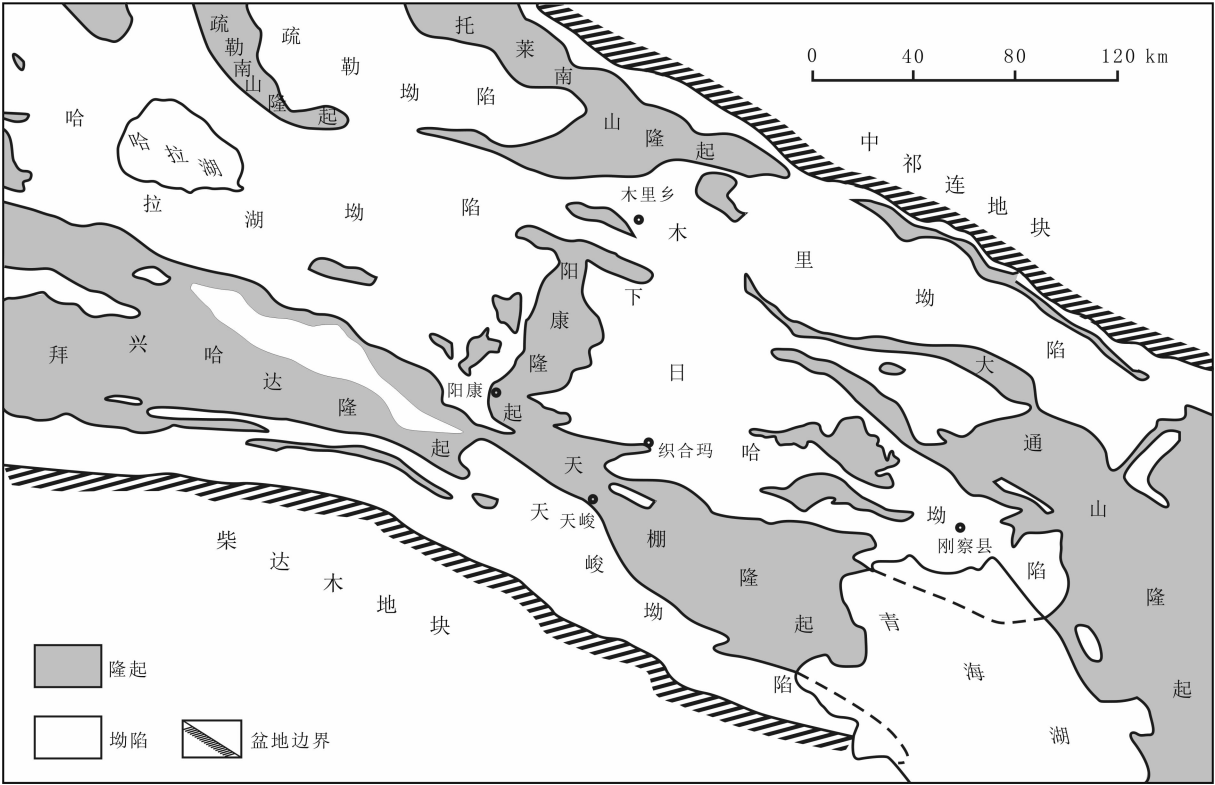


图 1 南祁连盆地构造单元划分简图

Fig. 1 Simplified map of divided tectonic units of the Southern Qilian Basin

拗陷及阳康隆起、天棚隆起等多个隆起在内的多个构造单元构成。从地质结构来看，南祁连构造带应该与中祁连—陇西地块和柴达木地块共同构成柴达木板块^[15-17]。

三叠纪时期，包括北祁连、中祁连、南祁连在内的整个祁连构造区处于稳定的沉积环境，在此构造区内堆积了地台盖层型的沉积组合^[18-19]。三叠系是南祁连盆地沉积盖层的主体组成部分之一，与下伏二叠系呈平行不整合或整合覆盖，分布范围相当广泛，在南祁连盆地分布面积最大，石油地质条件也较为理想。它广泛出露于下日哈拗陷、哈拉湖拗陷和木里拗陷，在疏勒拗陷出露较少。南祁连盆地的上三叠统阿塔寺组主要分布在盆地中北部，平行不整合或微角度不整合于中三叠统切尔玛沟组之上，整合于上三叠统尕勒得寺组之下，发育大量砂岩碎屑岩，为一套以长石砂岩为主夹粉砂岩、下部夹石英砂岩组合而成的、下粗且向上逐渐变细的地层序列^[20]。

在地层划分方面，杨遵仪^[21]将南祁连盆地上三叠统阿塔寺组分为上、下两段。但在本次研究过程中，根据岩石地层单位划分标准，将阿塔寺组限定为杨遵仪^[21]划分的阿塔寺组下段，并将其含有炭质页岩的上段置于尕勒得寺组。

2 岩性及岩相特征

南祁连盆地的阿塔寺组主要为一套砂岩(图 2)，在整个盆地岩性较粗，在各拗陷发育不尽一样且厚度变化较大。该组地层在哈拉湖拗陷发育最全，可划分为下、中、上 3 段：下段为紫红色、褐紫色中厚层状砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩，夹灰绿色、浅灰色中厚层状细粒石英长石砂岩；中段以岩性变细为特征，主要是深灰色、黑色薄层状粉砂岩、泥质粉砂岩、钙质粉砂岩；上段为灰白色、浅灰色、灰色中厚层状长石石英砂岩。在下日哈拗陷和木里拗陷的阿塔寺组只发育与哈拉湖拗陷阿塔寺组下段相当的沉积，主要岩性为暗紫色、灰色、浅灰色长石石英砂岩。在木里拗陷还夹有灰黑色粉砂岩和灰绿色长石砂岩，底部为一层稳定的灰白色厚层状砾岩和含砾粗砂岩^[22]。本次研究中的样品采集集中在下日哈拗陷，下日哈拗陷中的阿塔寺组主要为陆相地层，近底部有海相夹层，含有少量海相双壳类化石。

研究区内阿塔寺组砂岩岩屑类型较为丰富，岩屑种类包括板岩、千枚岩、炭质石英片岩、绢

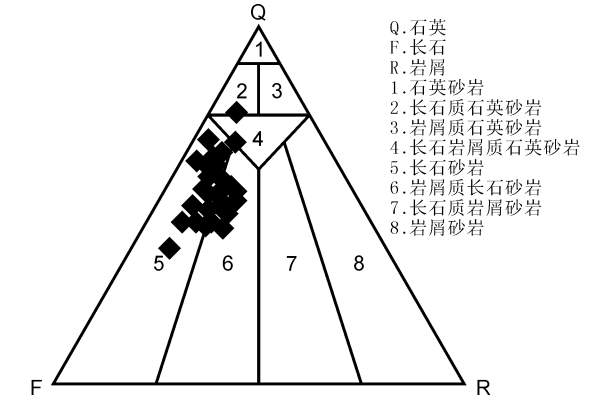


图 2 南祁连盆地上三叠统阿塔寺组砂岩三角分类图
Fig. 2 Classification triangle chart of the detrital rocks in the Upper Triassic Atasi Formation of the Southern Qilian Basin

云石英片岩、白云片岩、石英岩、浅粒岩、石英片岩、花岗质糜棱岩、花岗岩、酸性火山岩、玄武岩及脉石英。

石英碎屑包括单晶石英和多晶石英两种，以单晶石英为主。单晶石英主要来源于酸性侵入岩或脉体，这说明南祁连盆地上三叠统阿塔寺组物源的物质组成可能主要为酸性火成岩。石英颗粒内部常见有电气石、金红石和磷灰石等矿物包裹体，有时还可见斜长石及黑云母等矿物包裹体，矿物包裹体有时被溶蚀成浑圆状。单晶石英颗粒中普遍发育有气、液两相的热液流体包裹体。多晶石英颗粒以燧石为主，燧石多呈致密隐晶质，有时呈放射状隐晶质。

长石碎屑包括钾长石和斜长石，其中钾长石含量略高于斜长石。钾长石矿物以正长石和微斜长石为主。正长石表面常见有规则出溶条纹及不规则交代条纹。气液流体包裹体也较为常见。有些正长石还保留有同石英构成的显微文象结构，有时也可见卡式双晶。上述特征表明正长石基本是来自于中酸性侵入岩。斜长石以酸性斜长石为主，为奥—钠长石，常见清晰的钠长石双晶，条纹长石也很常见。斜长石颗粒内部有时可见有石英、黑云母、磷灰石及溶蚀锆石包裹体。气液流体包裹体也较为常见。部分斜长石颗粒还残留有环带结构。斜长石颗粒发生钠长石化的现象多见，显示了岩浆期后作用。上述特征表明斜长石主要来自于酸性岩浆岩。另外，区内长石砂岩中黑云母和白云母均很常见，显示了变质物源区的特征。

Dickinson 等^[23]1983 年利用来自各种大地构造环境的砂岩碎屑成分建立了各类三角图解，对阿

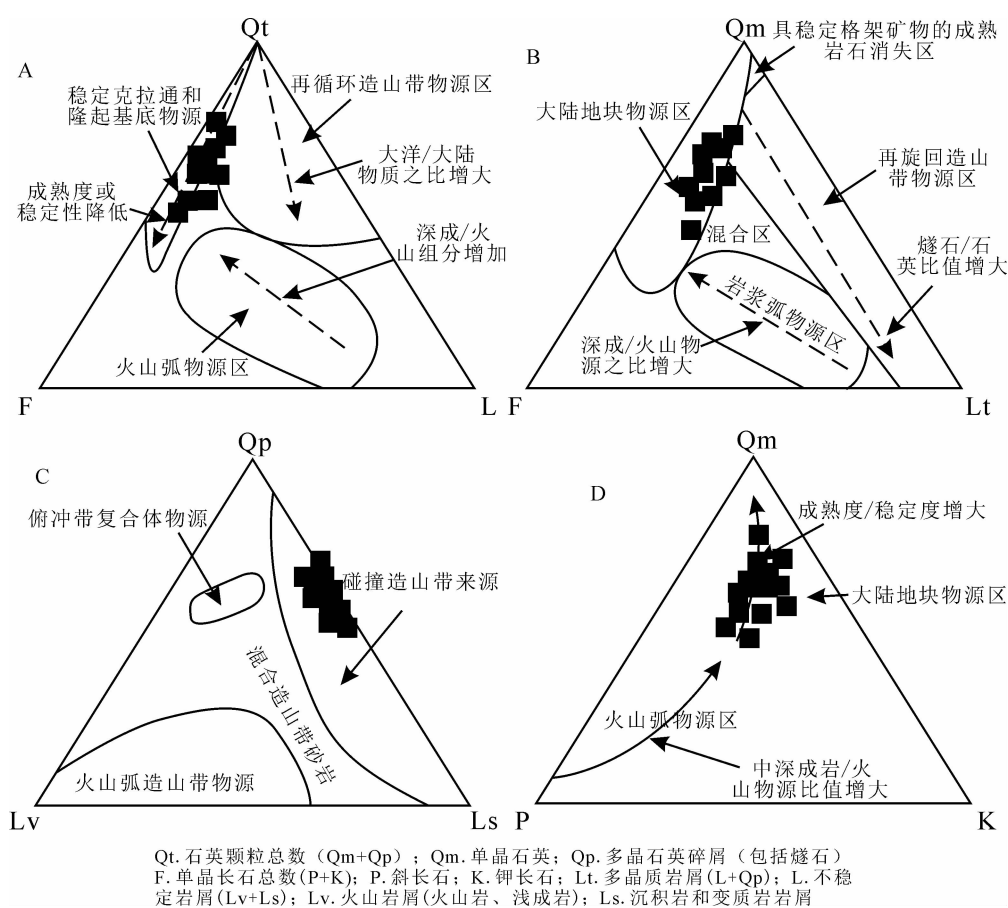


图3 南祁连盆地阿塔寺组碎屑岩成分三角图解(底图据 Dickinson 等^[23], 1983)

Fig. 3 Triangle diagram of the Atasi detrital rocks in the Southern Qilian Basin (after Dickinson et al. ^[23], 1983)

塔寺组样品进行投图(图3),结果表明阿塔寺组砂岩物源区基本均属于大陆地块物源区的稳定克拉通及隆起基底小区构造背景。

上述迹象表明,南祁连盆地上三叠统阿塔寺组砂岩的岩性及岩相特征与南祁连盆地二叠系十分相似^[24],这一方面暗示了从二叠纪到三叠纪,南祁连盆地的构造格局并未发生大的转变;另一方面,南祁连盆地阿塔寺组的沉积物源可能与二叠系相似。

3 样品分析及测试结果

由于砂岩的地球化学组成与其沉积盆地的构造背景之间存在着很好的对应关系,所以本次研究共选取了6个露头砂岩样品,地球化学分析测试在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,主量元素采用X射线荧光光谱(XRF)分析法,对岩石样品粉末进行了熔片,在RIX2100仪器中进行分析测试,精度与准确度优于5%;微量元素采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)分析法,将岩石样品粉末制成溶液,在Agilent 7500a仪器中进

行分析测试,精度与准确度优于10%。

主量元素分析表明(表1),阿塔寺组有较高的SiO₂含量,为70.96%(70.02%~71.67%),TF_{Fe2O3}+MgO含量为5.79%(5.15%~6.54%)。由于样品中有较高的SiO₂含量,所以导致其他成分含量的减少,特别是Na₂O以及K₂O的含量较为接近,且显示出了明显的低值,这表明不稳定成分降低,砂岩成熟度升高。

微量元素分析(表2)表明,阿塔寺组有很高的Sr、Zr、Ba含量,中等的V、Cr、Co、Zn、Rb等含量,其他各微量元素含量较低且相差不大。稀土元素分析表明(表2),阿塔寺组稀土总量为179.2×10⁻⁶(162.0×10⁻⁶~195.3×10⁻⁶);轻稀土元素含量显著富集,(La/Yb)_N为12.47(9.53~14.83);有明显的Eu负异常,δEu为0.74(0.62~0.81);无Ce异常;重稀土元素配分曲线平坦。

4 物源区构造背景分析

由于砂岩的常量元素及微量元素与矿物成分

表 1 南祁连盆地阿塔寺组碎屑岩主量元素分析结果($w_B/\%$)

Table 1 Major element analysis of the Atasi detrital rocks in the Southern Qilian Basin(%)

样品号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量
QEM1	72.60	0.54	12.15	3.80	0.06	1.62	1.42	2.89	2.53	0.11	2.58	100.30
QEM2	70.15	0.58	12.51	4.53	0.05	1.81	2.01	3.09	2.12	0.15	2.97	99.97
QEM4	71.29	0.47	12.10	3.58	0.07	1.57	2.36	3.01	2.48	0.10	3.35	100.38
QEM5	70.02	0.50	12.80	3.99	0.07	1.81	1.69	3.13	2.60	0.12	2.95	99.68
QEM6	70.05	0.51	13.37	4.45	0.08	2.09	1.11	3.23	2.49	0.11	2.67	100.16
QEM7	71.67	0.50	12.53	3.79	0.07	1.68	1.39	3.12	2.54	0.11	2.58	99.98

注：TFe₂O₃代表全铁的含量。

表 2 南祁连盆地阿塔寺组碎屑岩稀土元素和微量元素分析结果($w_B/10^{-6}$)

Table 2 REEs and trace elements analysis of the Atasi detrital rocks in the Southern Qilian Basin(10^{-6})

样品号	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Y
QEM1	14.3	1.58	10.20	61.5	43.6	104.0	15.5	2.89	37.8	13.5	1.25	82.9	269	20.1
QEM2	31.6	1.83	9.77	54.9	50.8	75.2	20.3	2.21	59.2	13.2	1.66	82.1	507	29.2
QEM4	14.6	1.71	9.66	57.7	42.0	95.8	16.0	3.96	38.7	13.5	1.25	79.9	313	27.5
QEM5	16.5	1.91	10.30	62.6	45.3	87.7	18.2	12.60	44.7	14.7	1.23	85.9	297	19.9
QEM6	21.0	2.01	10.70	64.9	47.2	86.8	22.1	15.00	52.1	15.9	1.28	81.4	295	19.5
QEM7	17.2	1.80	10.40	61.8	46.6	102.0	17.5	10.30	42.3	14.8	1.33	81.4	293	19.9

样品号	Zr	Nb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
QEM1	183	11.1	1.47	745	44.3	86.5	9.37	33.5	5.82	1.18	4.83	0.67	3.74	0.71
QEM2	348	11.3	2.65	394	41.0	82.7	9.23	34.3	6.61	1.27	5.99	0.87	5.00	0.98
QEM4	188	10.5	1.62	776	38.3	75.1	8.25	30.0	5.70	1.41	5.32	0.78	4.62	0.90
QEM5	186	10.8	2.09	807	36.9	72.9	7.92	28.8	5.19	1.19	4.47	0.63	3.56	0.68
QEM6	182	11.1	1.77	812	35.2	70.4	7.68	28.3	5.29	1.23	4.54	0.64	3.64	0.70
QEM7	185	11.4	1.76	798	40.2	79.8	8.54	31.3	5.68	1.36	4.66	0.64	3.58	0.69

样品号	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U	REE	L/H	(La/Yb) _N	δEu	δCe
QEM1	2.06	0.30	1.93	0.30	4.59	0.95	10.5	13.9	1.26	195.3	12.43	14.83	0.69	0.95
QEM2	2.86	0.42	2.78	0.42	9.01	0.95	8.4	15.5	2.64	194.4	9.06	9.53	0.62	0.95
QEM4	2.51	0.36	2.25	0.34	4.79	0.87	11.8	12.5	1.22	175.9	9.30	11.03	0.79	0.94
QEM5	1.93	0.28	1.78	0.27	4.59	0.85	11.0	11.2	1.25	166.6	11.25	13.43	0.76	0.95
QEM6	2.00	0.29	1.89	0.29	4.50	0.87	12.3	10.1	1.22	162.0	10.58	8.54	0.77	0.95
QEM7	1.97	0.29	1.86	0.28	4.57	0.91	23.0	13.1	1.35	180.9	11.95	13.55	0.81	0.96

注：L/H 为轻重稀土比值；(La/Yb)_N 为 La 与 Yb 经过球粒陨石标准化的值；δEu = Eu_N/(Sm_N × Gd_N)^{1/2}；δCe = Ce_N/(La_N × Pr_N)^{1/2}。

密切相关，并在一定程度上与其成分的成熟度有关，另外沉积物的化学组成受物源类型、风化条件、搬运方式及成岩作用等多种因素的制约，而这些因素主要受沉积盆地的构造环境所控制。因此，砂岩的化学成分常可作为沉积盆地构造环境分析的标志^[25]。目前，通过地球化学对沉积盆地构造环境的分析，主要集中在国外研究者多年来通过总结得到的各类构造环境判别图解的应用中。本文利用各类图解对南祁连盆地阿塔寺组物源的构造背景进行了讨论。

Bhatia^[26]在 1983 年利用主量元素某些参数综合研究了不同构造背景源区形成的砂岩，结果表

明：TFe₂O₃ + MgO 和 Al₂O₃/SiO₂ 具有由大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘、被动大陆边缘依次降低的特征。将计算得到的参数分别投入 Al₂O₃/SiO₂ - (TFe₂O₃ + MgO) 与 TiO₂ - (TFe₂O₃ + MgO) 源区构造环境判别图中(图 4)，从图 4 中可以看出，阿塔寺组样品全部投入了大陆岛弧与活动大陆边缘的交界区域，整体上更加靠近大陆岛弧的区域。

Bhatia 等^[27]在 1986 年还研究了澳大利亚东部古生代浊积岩层序中杂砂岩的微量元素特征与构造环境的关系，并认为：从大洋岛弧到大陆岛弧、活动大陆边缘，再到被动大陆边缘，杂砂岩中的某些微量元素的含量或之间的比值会系统地增大

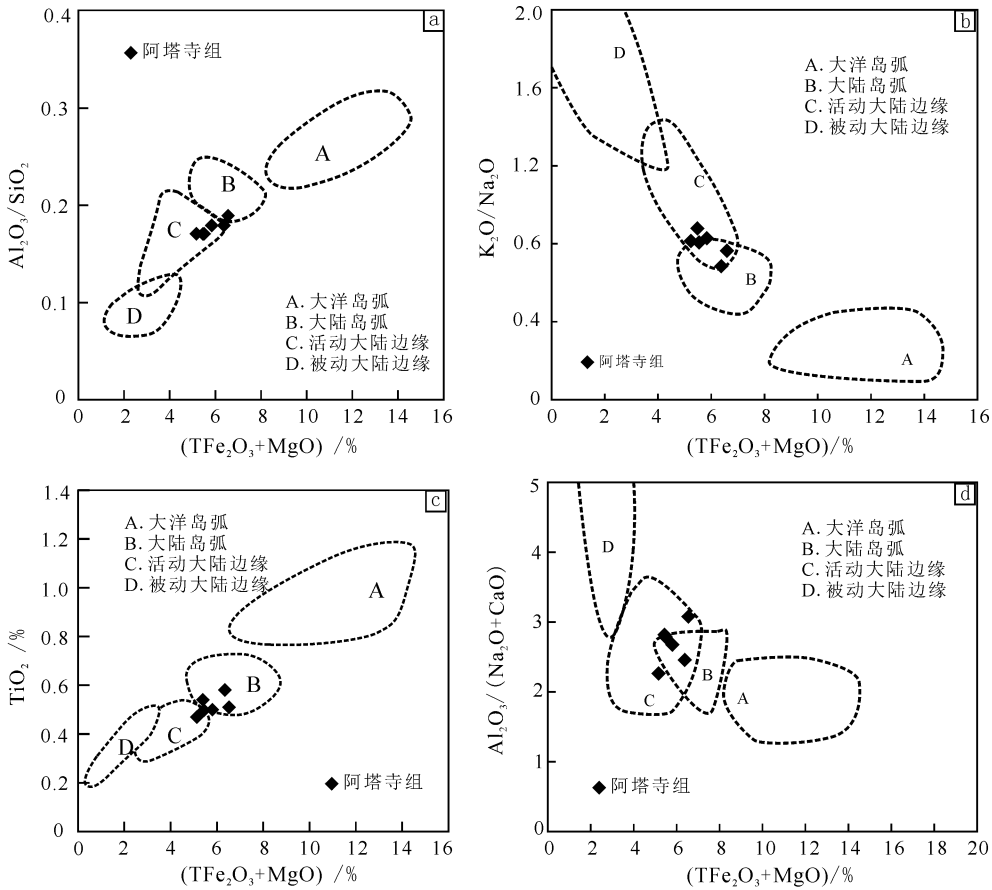


图4 南祁连盆地阿塔寺组碎屑岩构造环境主量元素判别图解(底图据 Bhatia^[26], 1983)
Fig. 4 Major elements diagrams for tectonic setting discrimination of the Atasi detrital rocks in the Southern Qilian Basin (Base map after Bhatia^[26], 1983)

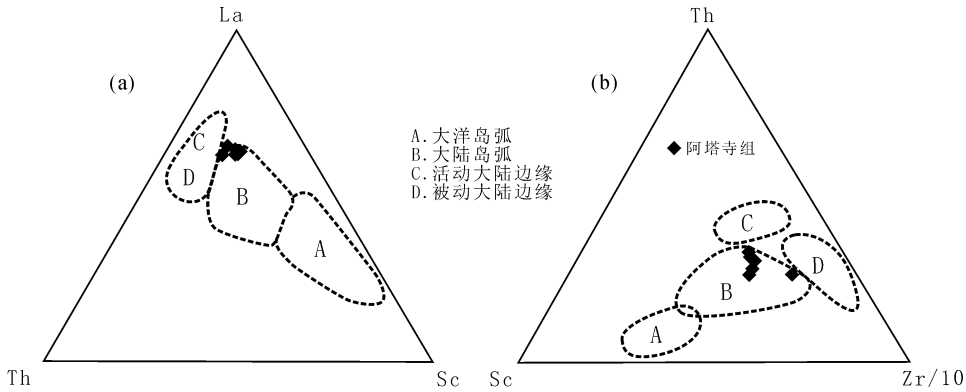


图5 南祁连盆地阿塔寺组碎屑岩构造环境微量元素判别图解(底图据 Bhatia 等^[27], 1986)
Fig. 5 Trace elements diagrams for tectonic setting discrimination of the Atasi detrital rocks in the Southern Qilian Basin (after Bhatia et al. ^[27], 1986)

(La、Th、Ba/Sr、La/Y) 或减小 (V、Sr、Ba/Rb、K/Th)。将得到的微量元素数据分别投入 La-Th-Sc 与 Th-Sc-Zr/10 构造背景判别图中(图 5)，可以看出，阿塔寺组样品全部落入了大陆岛弧的区域，同时又十分靠近活动大陆边缘，这均与通过主量元素的判别十分相似，较好地印证了通过主量元

素所得到的结果，即阿塔寺组的构造背景属于活动性较强的大陆岛弧。

Cullers 和 Stone^[28] 在 1991 年通过综合利用主量及微量元素特征与构造环境的关系，提出了 Eu/Eu* -K₂O 判别图解(图 6)，在大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘以及被动大陆边缘的基础上

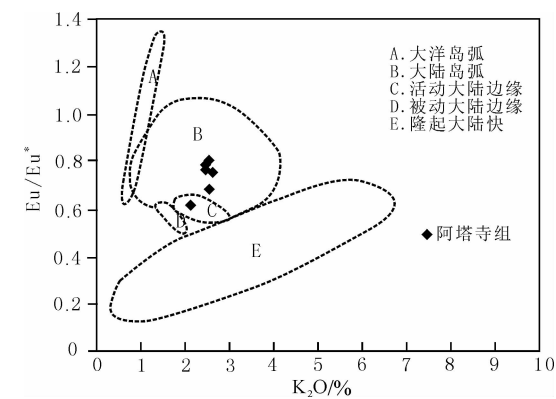


图 6 南祁连盆地阿塔寺组碎屑岩的 $\text{Eu}/\text{Eu}^* - \text{K}_2\text{O}$ 判别图解(底图据 Cullers 和 Stone^[28], 1991)

Fig. 6 $\text{Eu}/\text{Eu}^* - \text{K}_2\text{O}$ diagram for tectonic setting discrimination of the Atasi detrital rocks in the Southern Qilian Basin (after Cullers and Stone^[28], 1991)

还增加了隆起大陆地块的源岩构造背景。将样品投入该图,可以看出,阿塔寺组样品都大多落入了大陆岛弧区域,只有 1 个样品点落入了活动大陆边缘,整体上显示了活动性较强的构造背景。

REE 由于具有在成岩过程中改造作用很小的稳定化学特性,所以其分布特征可以用来恢复源岩性质及特点。从稀土元素含量表(表 2)以及稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(图 7)中可以看出,REE 配分曲线形态为轻稀土富集、重稀土平坦,具有明显的 Eu 负异常特征,这与 Bhatia^[29]在 1985 年归纳总结的不同构造背景下的杂砂岩 REE 模式曲线特征(图 7)中的活动大陆边缘型特征曲线十分吻合,从 REE 的含量上来看,与大陆岛弧较为相似。这同样表明了阿塔寺组源岩活动性较强的构造背景特征。

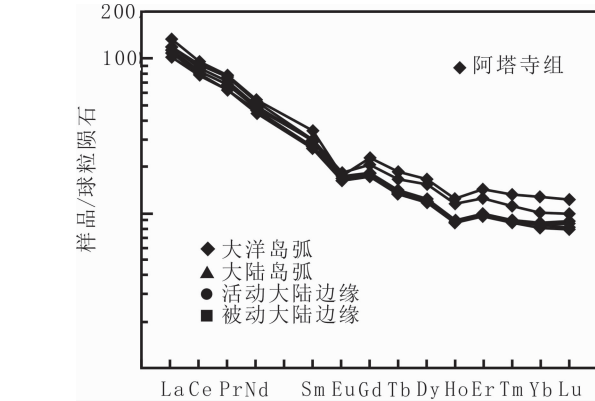


图 7 南祁连盆地阿塔寺组碎屑岩 REE 的球粒陨石标准化配分曲线(球粒陨石标准化值为 Wakita 等^[30]在 1971 提供的 12 个球粒陨石平均值)

通过上述各主量元素、微量元素判别图解以及 REE 配分曲线所得到的南祁连盆地阿塔寺组的源岩构造背景结果相互之间得到了印证,大致可以确定阿塔寺组源岩构造背景。综合分析可以看出,阿塔寺组源岩构造背景最为复杂,但是更加接近大陆岛弧以及活动大陆边缘,显示了其较强的活动性。

5 物源区分析

Roser 等^[31]于 1988 年将碎屑岩源岩根据砂泥岩的主元素判别函数分为 4 个主要源区:铁镁质基性火成岩源区、安山质中性火成岩源区、长英质酸性火成岩源区以及石英质沉积物源区(图 8)。将实验测得的主量数据通过判别函数的计算后投入图中,可以看出,样品无一例外且相对集中地落入 P3 区域,即阿塔寺组的源岩主要属于大陆边缘弧的长英质火成岩源区。

Floyd 和 Leveridge^[32]于 1987 年利用微量元素的 $\text{La}/\text{Th} - \text{Hf}$ 判别图(图 9)来反映物源区的情况,并且将源区进一步细分。在该图上,阿塔寺组除 1 个样品外,其他样品均落入大陆上地壳及长英质源区。所到的结果与利用 Roser 的 $F_1 - F_2$ 判别图所得到的结果十分相似。

研究表明,无论是碎屑岩的碎屑组成还是地球化学特征,都会受到从源区到沉积区过程中所经历的风化、搬运、成岩等一系列后生作用的影响,源岩信息可能遭到一定程度上丢失,从而使盆地分析复杂化。另外,通过现代特定盆地中的碎屑岩建立的各类判别模式是否能完全有效地应用于地质年代十分久远的不同盆地,还值得商

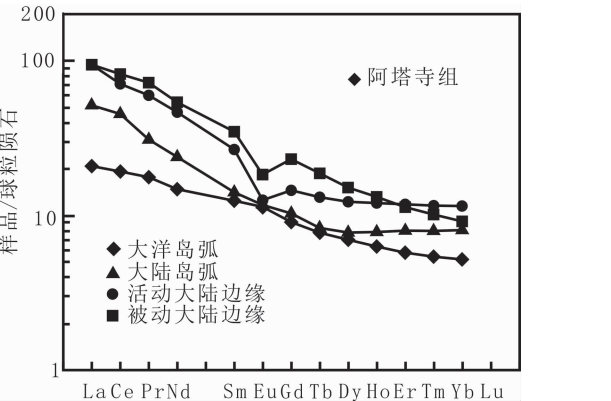


Fig. 7 Chondrite-normalized REE distribution patterns of the Atasi detrital rocks in the Southern Qilian Basin (chondrite-normalized value provided by Wakita et al. ^[30], 1971)

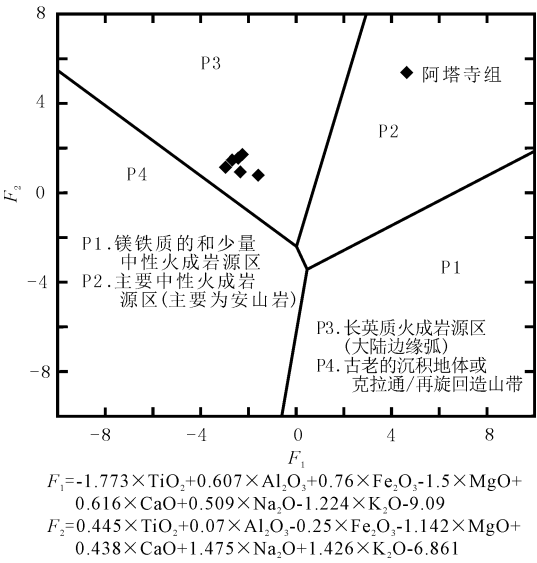


图8 南祁连盆地阿塔寺组碎屑岩物源 $F_1 - F_2$ 判别图
(底图据 Roser 等^[31], 1988)

Fig. 8 $F_1 - F_2$ diagram for provenances of the Atasi detrital rocks in the Southern Qilian Basin (after Roser et al.^[31], 1988)

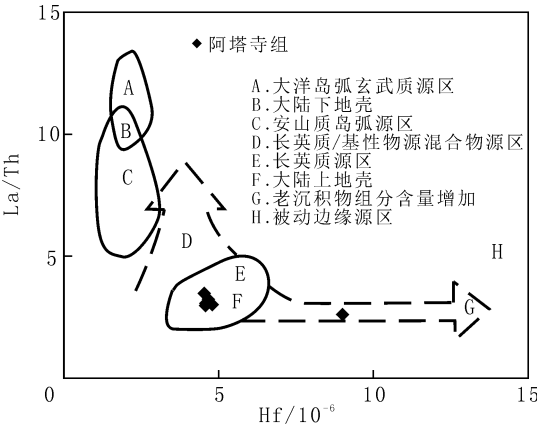


图9 南祁连盆地阿塔寺组碎屑岩物源 La/Th-Hf 判别图
(底图据 Floyd and Leveridge^[32], 1987)

Fig. 9 La/Th-Hf diagram for provenances of the Atasi detrital rocks in the Southern Qilian Basin (Base map after Floyd and Leveridge^[32], 1987)

榷^[33-34]。所以, 结合区域地质构造演化史以及盆地周边岩石学特征, 对物源区进行进一步的探讨是有必要的。

区域地质资料表明, 中祁连大致经历了如下的演化历史: 元古宙中—晚期为华北陆块南部陆源弧后区, 沉积了深水浊积岩; 晋宁运动时期全面褶皱隆升并拼贴在华北陆块南缘; 加里东早期从塔里木—华北板块中分离, 成为多岛洋盆的南部大陆岛弧带。加里东运动使其隆升并构成北祁连沟弧盆体系的南部加里东陆缘弧岩浆岩带, 并

重新与华北陆块拼接, 自此形成了长期隆升的剥蚀区, 在海西—印支期继续隆升遭受剥蚀^[35]。这也很好地证实了通过地化数据得到的南祁连盆地上三叠统阿塔寺组沉积物源区背景主要以活动性较强的活动大陆边缘和大陆岛弧为主的事实。

中祁连的岩石学资料表明, 中祁连东段发育元古宙高级变质岩和花岗岩, 同时也有蛇绿岩和古生代花岗岩。有关地球化学资料显示, 古生代花岗岩的主量元素地化特征包括相对较高的 SiO_2 含量、较低的 Fe_2O_3 与 MgO 含量以及比 Na_2O 含量高出许多的 K_2O 含量。微量元素及稀土元素地球化学特征也与本文得到的结果十分相似, 包括: 富集 Rb、Th、Pb 等元素, 亏损 Ba、Nb、Sr 等元素, 较高的稀土总量, 轻稀土富集以及明显的 Eu 异常^[36]。这种相似性再次证实了南祁连阿塔寺组沉积物源区为中祁连, 并进一步证明了南祁连盆地阿塔寺组沉积物源岩性质主要为酸性火成岩。

根据晚三叠世古流方位图(图 10), 南祁连盆地上三叠统的物源以北物源为主, 南物源次之, 这可能与盆地北侧物源区与沉积区地形高差相对较大有关。总体来看, 在晚三叠世, 南祁连盆地北部存在一个统一的晚三叠世拗陷型盆地。南祁连三叠系碎屑岩成分以石英岩最为普遍, 其次为硅质岩。重矿物以锆石、电气石、榍石较为常见, 其次为磷灰石、金红石、帘石等, 因地层的时代或物源区母岩不同而有变化。根据岩屑成分和重矿物特点, 结合祁连山的地质情况, 也表明南祁连盆地主要由南、北两个物源区供给, 局部受小岛或丘陵影响。

南部物源区是上石炭统与下古生界的千枚岩、板岩、粉砂岩、石英岩、硅质岩、灰岩偶夹火山岩以及花岗岩等构成的半岛或半岛—岛链。在盆地南缘下三叠统普遍具底砾岩, 砾石中板岩、千枚岩含量达 40% ~ 50%, 砂岩都有波痕、泥裂、雨痕, 砂岩岩屑中缺乏火山岩及云母片岩, 重矿物中未见绿帘石, 它们与南部陆源区的情况吻合。

北部物源区为现在的北祁连山和中祁连山北部一带, 主要由前震旦系及下古生界的混合岩、片麻岩、片岩、石英岩、千枚岩、板岩、硅质岩、大理岩、安山岩等组成。其中前震旦系的含石榴石白云母斜长片麻岩等, 石榴石含量达 5%, 寒武系的千枚岩化酸性火山凝灰岩, 绿帘石含量达 15%, 大部分岩石均含有锆石、电气石、榍石、磷灰石等。

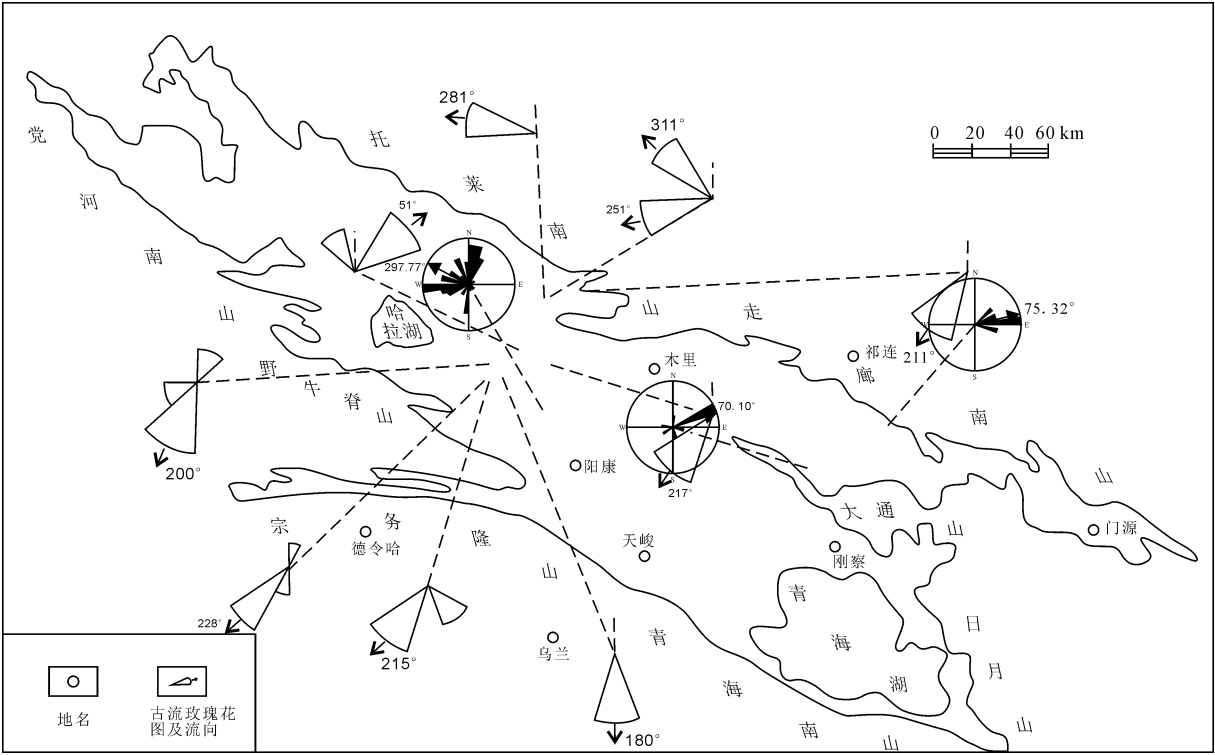


图 10 南祁连盆地晚三叠世古流方位图
Fig. 10 Paleocurrent diagram of the Late Triassic Period in the Southern Qilian Basin

晚三叠世的默勒群其碎屑具有大量的变质岩、火山岩岩屑和绿帘石矿物，这主要与印支早期运动后沉积中心北移、搬运距离缩短、疏勒山北缘及大通山北缘凹陷活动性增强、沉积速度加快、北祁连山区上升、地形切割加剧等因素影响有关。

从阿塔寺组砂岩样品的主量元素以及微量元素含量来看，其与二叠系砂岩样品的含量差别不大^[20]，表明了二者源区可能具有相似性。从判别图解来看，二者源岩均来自于活动性较强的地区，但是三叠系砂岩主要来自于大陆岛弧，物源以长英质火成岩为主，而二叠系砂岩无论是源岩构造背景还是物质组成，均呈现复杂的特征。这说明南祁连盆地三叠系与二叠系物源有相似的地方，也有差异的地方。这主要是由于南祁连盆地的二叠系为北物源；三叠系南北物源皆有，以北物源为主，以南物源为辅。

综上所述，南祁连盆地上三叠统阿塔寺组沉积时期南、北物源皆有，中祁连盆地的前震旦系及下古生界变质结晶岩系及花岗岩为其主要物源。

6 结 论

(1)南祁连盆地上三叠统阿塔寺组沉积的碎屑岩的地球化学分析显示，其源岩的构造背景属于

大陆岛弧及活动大陆边缘的构造环境，表明了其物质来源于构造活动较强的区域。

(2)在对其源岩性质的判断中，阿塔寺组源岩主要为长英质火成岩。结合当时的区域地质资料及有关地球化学资料判断，南祁连盆地上三叠统阿塔寺组沉积时期南北物源皆有，中祁连盆地的前震旦系及下古生界变质结晶岩系及花岗岩为其主要物源。

参考文献：

[1] 闫臻, 方爱民, 潘裕生, 等. 西藏达金海相碎屑岩的组成、地球化学特征及其构造背景 [J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 949-960.
[2] 张英利, 王宗起, 闫臻, 等. 库鲁克塔格地区新元古代贝义西组的构造环境：来自碎屑岩地球化学的证据 [J]. 岩石学报, 2011, 27(6): 1785-1796.
[3] CAVAZZA W, INGERSOLL R V. Detrital modes of the Ionian forearc basin fill (Oligocene-Quaternary) reflect the tectonic evolution of the Calabria-Peloritani Terrane (Southern Italy) [J]. Journal of Sedimentary Research, 2005, 75: 268-279.
[4] PASCUCCHI V, COSTANTINI A, MARTINI I P, et al. Tectono sedimentary analysis of a complex, extensional, Neogene basin formed on thrust-faulted, Northern Apennines Hinterland: Radicofani Basin, Italy [J]. Sedimentary Geology, 2006, 183: 71-97.

- [5] DICKINSON W R, INGERSOL R V, COWAN D S, et al. Provenance of Franciscan graywackes in coastal California [J]. Geological Society of America Bulletin, 1982, 93: 95–107.
- [6] MCLENNAN S M, TAYLOR S R. Sedimentary rocks and crustal evolution: Tectonic setting and secular trends [J]. The Journal of Geology, 1991, 99: 1–21.
- [7] MARSAGLIA K M, INGESOLL R V. Compositional trends in arc-related, deep-marine sand and sandstone: A reassessment of magmatic-arc provenance [J]. Geological Society of America Bulletin, 1992, 104: 1637–1649.
- [8] 魏春海. 中国祁连山地质构造的基本特征 [J]. 地质学报, 1978(2): 95–105.
- [9] 向鼎璞. 祁连山地质构造特征 [J]. 地质科学, 1982(4): 364–370.
- [10] 黄瑞华. 祁连山地区大地构造演化及其性质特征 [J]. 大地构造与成矿学, 1996, 20(2): 95–104.
- [11] 赵生贵. 祁连山带特征及其构造演化 [J]. 甘肃地质学报, 1996, 5(1): 16–28.
- [12] 葛肖虹, 刘俊来. 北祁连造山带的形成与背景 [J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 223–230.
- [13] 刘志武, 王崇礼, 石小虎, 等. 南祁连党河南山花岗岩类特征及其构造环境 [J]. 现代地质, 2006, 20(4): 545–554.
- [14] 卢振权, 祝有海, 张永勤, 等. 青海省祁连冻土区天然气水合物存在的主要证据 [J]. 现代地质, 2010, 24(4): 329–336.
- [15] 刘增乾. 青藏高原大地构造与形成演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1990: 37–50.
- [16] 潘桂棠. 青藏高原及邻区大地构造及初步划分 [J]. 地质通报, 2002, 21(11): 72–81.
- [17] 冯益民, 何世平. 祁连山及其邻区大地构造基本特征——兼论早古生代海相火山岩的成因环境 [J]. 西北地质科学, 1995, 16(1): 92–103.
- [18] 胡超. 南祁连盆地三叠纪构造—沉积演化研究 [D]. 西安: 西北大学, 2011: 22–36.
- [19] 王永, 刘训, 傅德荣. 南祁连地区二叠系—三叠系沉积构造演化 [J]. 中国区域地质, 1995(3): 245–251.
- [20] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1991: 124–155.
- [21] 杨遵仪. 南祁连山三叠系 [M]. 北京: 地质出版社, 1983: 33–50.
- [22] 孙崇仁. 青海省岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 145–155.
- [23] DICKINSON W R, BEARD L S, BRAKENRIDGE G R, et al. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting [J]. Geological Society of America Bulletin, 1983, 94: 225–235.
- [24] 王苏里, 周立发. 南祁连盆地二叠纪碎屑岩地球化学特征及其源岩探讨 [J]. 地质科技情报, 2012, 31(6): 102–109.
- [25] 杨江海, 杜远生, 徐亚军, 等. 砂岩的主量元素特征与盆地物源分析 [J]. 中国地质, 2007, 34(6): 1032–1044.
- [26] BHATIA M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones [J]. Journal of Geology, 1983, 91: 611–627.
- [27] BHATIA M R, CROOK K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic discrimination of sedimentary basins [J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 1986, 92: 181–193.
- [28] CULLERS R L, STONE J. Chemical and mineralogical comparison of the Pennsylvanian Fountain Formation, Colorado, U. S. A. (an uplifted continental block) to sedimentary rocks from other tectonic environments [J]. Lithos, 1991, 27: 115–131.
- [29] BHATIA M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: provenance and tectonic control [J]. Sedimentary Geology, 1985, 45: 97–113.
- [30] WAKITA H, REY P, SCHMITT R A. Abundances of the 14 rare-earth elements and 12 other trace elements in Apollo 12 samples: Five igneous and one breccia rocks and four soils [J]. Proceedings of the Lunar Science Conference, 1971, 2: 1219–1329.
- [31] ROSER B P, KORSCH R J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data [J]. Chemical Geology, 1988, 67: 119–139.
- [32] FLOYD P A, LEVERIDGE B E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: Framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones [J]. Journal of the Geological Society, London, 1987, 144: 531–542.
- [33] 赵红格, 刘池阳. 物源分析方法及研究进展 [J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 409–415.
- [34] 徐亚军, 杜远生, 杨江海. 沉积物物源分析研究进展 [J]. 地质科技情报, 2007, 26(3): 26–32.
- [35] 李林科. 祁连山东段中祁连地块物质组成及其构造演化研究 [D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2007: 1–100.
- [36] 雍拥, 肖文交, 袁超, 等. 中祁连东段古生代花岗岩的年代学、地球化学特征及其大地构造意义 [J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 855–866.