

北祁连造山带泥盆纪老君山群物源及构造背景分析

侯乾¹, 牟传龙^{2,3}, 王启宇^{1,3}, 韩梅¹, 谭志远¹

(1. 山东科技大学地质科学与工程学院, 山东青岛266590; 2. 国土资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川成都610081; 3. 成都地质调查中心成都地质矿产研究所, 四川成都610081)

摘要:北祁连在泥盆纪俯冲碰撞造山作用使得古祁连山体整体抬升,并沿造山带北麓及山间盆地形成了巨厚碎屑沉积。本文以北祁连泥盆纪老君山群出露点碎屑岩为研究对象,通过碎屑岩的碎屑组分和地球化学特征分析,探讨其物源区特征和盆地类型。研究认为,北祁连西部剖面砂岩的石英含量4.2%~27.8%,长石含量4.9%~36.2%,岩屑含量非常高,达44.3%~90.3%,砂岩类型主要为岩屑砂岩,岩屑类型以基性-酸性火山岩屑为主,说明西部剖面碎屑岩具有岛弧火山岩特征;东部剖面砂岩的石英含量6.58%~76.12%,长石含量5.32%~24.12%,岩屑含量16.23%~75.45%,岩屑组分为沉积岩岩屑、火山岩岩屑和变质岩岩屑,说明东部碎屑岩的源岩复杂,符合碰撞造山带性质。老君山群碎屑岩化学特征指标为:Al₂O₃/SiO₂值为0.1152~0.243,K₂O/Al₂O₃值为0.0725~0.2294,K₂O/Na₂O值为0.179~1.8105,LREE/HREE值为2.33~4.92, Eu/Eu^{*}值为0.46~0.82,各项地化参数分布范围均较广,由物源判别图分析可知,研究区西部物源来自于岛弧,而东部物源来自造山带。因此,由碎屑岩物质组分及其地球化学特征可知,泥盆纪北祁连造山带西部老君山群的盆地类型是与俯冲岛弧相关的弧前盆地,而东部则是与碰撞造山有关的前陆盆地。

关键词:北祁连;老君山群;碎屑组分;地球化学;物源分析;盆地类型

中图分类号:P588

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2016)04-0028-09

Provenance and Tectonic Setting of Devonian Laojunshan Formation in North Qilian Mountains

HOU Qian¹, MOU Chuanlong^{2,3}, WANG Qiyu^{1,3}, HAN Mei¹, TAN Zhiyuan¹

(1. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China; 2. Key Laboratory of Sedimentary Basins & Oil and Gas Resources of Ministry of Land and Resources, Chengdu, Sichuan 610081, China; 3. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: In Devonian period, North Qilian mountains were subjected to subduction collision orogeny and the whole ancient Qilian mountain was uplifted. As a result, thick clastic sediments came into being at the northern foot of the orogenic belt and in the intermountain basin. With dew point clastic rock from Laojun formation of Devonian period in North Qilian mountains as the object of study, this paper explored its provenance characteristics and basin types by analyzing the detrital composition and geochemical characteristics of clastic rock. The study shows that with 4.2%-27.8% quartz content, 4.9%-36.2% feldspar content and 44.3%-90.3% lithic content, the main type of sandstone in the western section of North Qilian is lithic sandstone and the main lithic is the basic-acid volcanic debris, indicating that the clastic rock from the western section has the characteristics of island arc volcanic rocks. However, with 6.58%-76.12% quartz content, 5.32%-24.12% feldspar content and 16.23%-75.45% lithic content, the lithic from the lithic sandstone in the east of North Qilian are sedimentary lithic, volcanic detritus and met-

收稿日期:2016-01-07

基金项目:国家重大科技专项“全国油气基础地质编图”(2008ZX05043-005);中国地质调查局项目“中国岩相古地理编图”(1212010916060)

作者简介:侯乾(1987—),男,河南开封人,博士研究生,主要从事沉积学方面的研究. E-mail:houqianhqj@126.com

amorphous lithic, indicating that the complex source rock of the eastern section conforms to the nature of collision orogenic belt. The geochemical analyses of the clastic rocks of the Laojunshan formation show that Al_2O_3/SiO_2 , K_2O/Al_2O_3 , K_2O/Na_2O , LREE/HREE and Eu/Eu^* are 0.115 2-0.243, 0.072 5-0.229 4, 0.179-1.810 5, 2.33-4.92 and 0.46-0.82 respectively and all the geochemical parameters are distributed widely. The analyses of the discriminatory plots of provenance indicates that the provenance of the western section comes from island arc while the eastern section comes from orogenic belt. According to the clastic rock material composition and geochemical characteristics, the basin type of Laojunshan formation basin in the western section of North Qilian orogenic belt is the fore-arc basin related to the subduction arc while the eastern section is the foreland basin related to the collision orogeny.

Key words: North Qilian mountains; Laojunshan formation; detrital composition; geochemistry; source analysis; basin type

祁连山位于中央造山带,夹于中朝板块与柴达木微板块之间,是典型的造山带,自上世纪70年代便成为国内外地质界的研究重点。长期以来,对于北祁连泥盆纪时期原型盆地的性质存在不同认识,杜远生^[1]根据北祁连造山带志留系-泥盆系沉积相变化,认为“北祁连造山带是志留系复理石-海相磨拉石-中下泥盆统陆相磨拉石的充填序列”,并认为北祁连造山带在泥盆纪为典型的弧后前陆盆地。王荃^[2]通过对祁连早古生代蛇绿岩套研究,以板块学说为指导重塑了祁连地槽的演化史,认为志留纪末的祁连运动使北祁连洋盆最终消失,泥盆纪为山间或山前磨拉石沉积。左国朝^[3]认为北祁连是早古生代由裂谷发展起来的微洋盆,微洋盆经历了多次俯冲,到晚志留世和早泥盆世沿肃南、冷龙岭、景泰一线发生不规则边缘碰撞,泥盆纪的磨拉石标志北祁连微洋盆的最终消亡。魏春海^[4]通过北祁连大地构造特征研究,认为经过了祁连运动,北祁连泥盆世形成了北西向巨型拗褶带,为裂谷盆地。宋述光^[5-6]通过北祁连高压变质带研究,认为北祁连泥盆纪为同造山磨拉石沉积。肖交文^[7]和闫臻^[8]认为北祁连早中泥盆世老君山组砂岩及砾岩具有岛弧火山岩特征,为弧前盆地。

出现上述不同观点,主要是因为对造山带内陆相沉积与造山带演化之间关系的认识不同。在造山带的沉积盆地中,受各种构造地质作用的影响,盆地遭受很大破坏,对于原型盆地的恢复和构造背景的确定带来很大困难。但盆地中的沉积物能很好地记录并反映造山带和盆地之间的演化历史。本文根据北祁连各剖面中岩石碎屑组分和地球化学特征来判别研究区的物源及盆地性质。

1 剖面位置及岩性特征

研究区地处西北甘肃省境内,地质情况较为复杂,泥盆纪其地质构造受控于原特提斯洋制约。晚古生代,北祁连地区地处中祁连地块、塔里木微地块和华北板块之间,是主要地块和造山带聚集交接转换的重要部位。泥盆纪,北祁连受加里东-早海西期不规则造山作用的控制。区内构造演化经历了震旦纪晚期-早奥陶世北祁连洋盆发展扩张、中奥陶世-志留纪-泥盆纪洋盆俯冲消亡至造山的复杂过程。泥盆纪,北祁连甘肃地区地层在横向上变化较大,基本以永昌一带为界呈明显的东西分异,表现了盆地空间演化的不均一性。研究区西部老君山群基底是由蛇绿岩、岛弧火山岩、蓝片岩、榴辉岩、浊积岩等共同组成的早古生代俯冲增生杂岩^[9-14],该增生杂岩为老君山群提供碎屑,这些碎屑就地快速沉积,形成成熟度极低的杂砂岩和砾岩。中-下泥盆世,北祁连东部地区,陡峭的造山带山前阶段性山洪暴发形成粗碎屑的冲积扇沉积。本文选取的剖面点主要分为两类:一是北祁连西部的肃南和玉门剖面;另一类是东部的永昌、武威斜豪,门源和白银剖面(图1)。

其中,西部剖面岩性主要为紫红色厚层状砾岩、中厚层状砂砾岩,见中层-薄层状粉细砂岩,砾岩基本上呈下粗上细的正粒序,底部砾石以玄武岩为主,同时发育英安岩和安山岩等,呈棱角状,分选性差;上部砾石则多为次棱角状,由下向上砾石直径变小,成分由简单到复杂。东部剖面砾岩主要呈杂色和紫红色,呈厚层状分布,砾石成分为石英岩、砂岩、硅质岩等,砾石主要以圆状和次圆状为主,分选差,存在定向性(图2)。

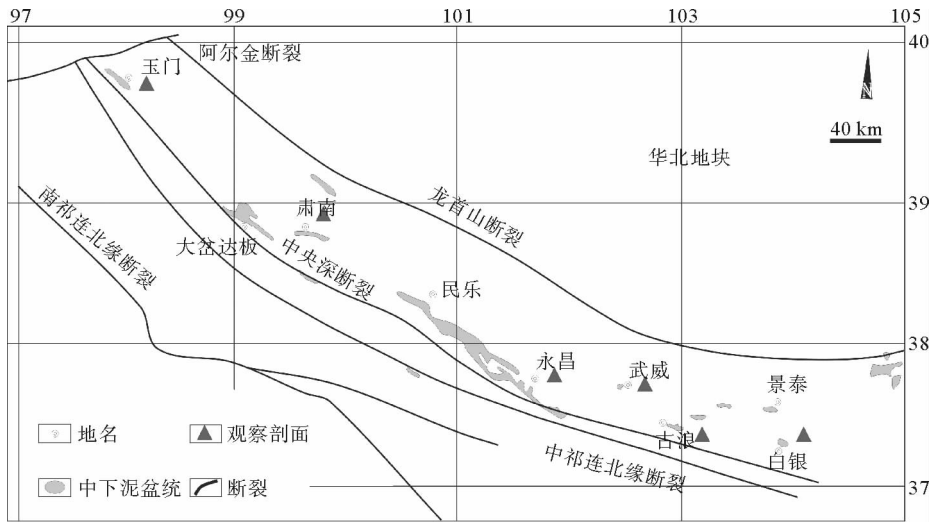
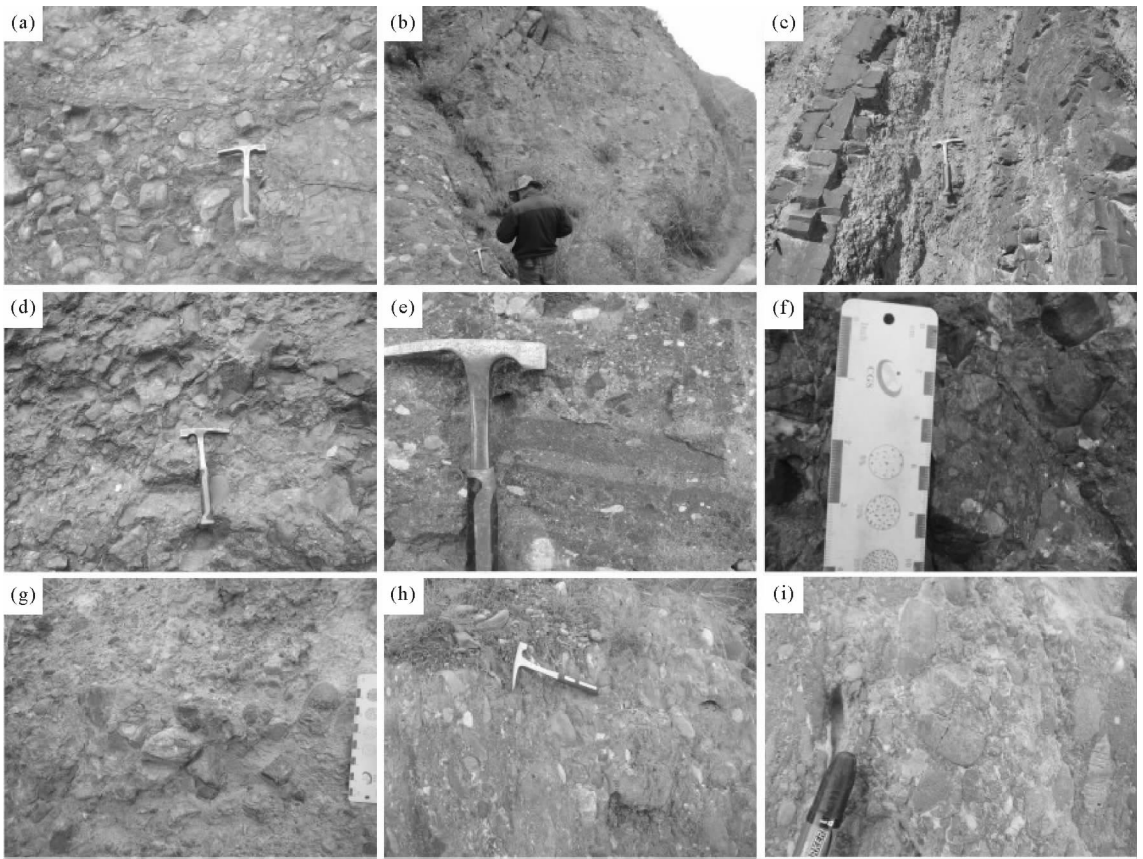


图 1 北祁连地区地质构造简图

Fig. 1 The structural sketch of the study area



(a) 肃南老虎山,雪山群砾石中的正粒序特征;(b) 肃南老虎山,雪山群厚层状火山砾石;(c) 玉门鱼儿红砾岩中夹中层状粉细砂岩;(d) 玉门鱼儿红老君山群上部砾径小成分复杂的砾石;(e) 玉门鱼儿红老君山群砾岩正粒序特征;(f) 白银娃娃沟,老君山群的杂色砾岩,以砂岩砾为主;(g) 白银娃娃沟,老君山群分选差的砂岩砾石;(h) 武威古浪,老君山群紫红色石英岩砾;(i) 武威古浪,老君山群的砾石存在定向性

图 2 北祁连早-中泥盆统东-西部砾岩特征

Fig. 2 Characteristics of the conglomerate in the east and west of North Qilian

该剖面以含砾砂岩、岩屑砂岩、中细砂岩、细砂岩和粉砂岩为主,发育平行层理、水平层理,还可见交错层理。挑选了 32 件样品,利用显微镜对薄片采用 Dickson 法统计碎屑含量,并对部分样品进行地球化学分析,通过其地球化学特征和碎屑组分对北祁连泥盆纪的物源及盆地性质进行判断。

2 碎屑岩碎屑组分特征及物源分析

根据研究区砂岩碎屑组成特征,分成东西两个区域:东部剖面砂岩的石英含量为 6.58%~76.12%,长石含量 5.32%~24.12%,碎屑含量 16.23%~75.45%,岩屑砂岩中岩屑主份为火山碎屑和沉积岩屑,火山岩屑主要为玄武岩和安山岩屑,沉积岩屑主要为泥岩、砂岩和一些硅质岩;西部剖面砂岩的石英含量 4.2%~27.8%,长石含量 4.9%~36.2%,岩屑含量非常高,达 44.3%~90.3%,砂岩类型主要为岩屑砂岩,岩屑类型以碱性-酸性火山岩屑为主,另外还有变质岩、沉积岩屑,石英颗粒多呈波状消光。

砂岩碎屑组分与受大地构造背景控制的物源区的关系密切,不仅能够反映母岩的性质^[15],更能非常准确地反映大地构造背景。前人有许多物源区分析方法,采用最多的是碎屑三角图分析法,其中进行物源区分析尤以 Dickinson^[16-17]图解方法居多,因此本文采用 Dickinson 骨架碎屑三角图判断泥盆纪北祁连地区物源区及沉积盆地性质。该骨架碎屑三角图是 Dickinson 等通过对世界上诸多典型地区的砂岩碎屑定量统计和分析得出的,已被广泛应用到造山带内盆地原型及其周边构造背景的恢复。

由砂岩碎屑组分统计数据可以看出,研究区砂岩碎屑中同时存在火山岩、变质岩和沉积岩岩屑。表明北祁连的物源区为火山岩、沉积岩和变质岩的混合源区。将统计结果投到 Dickinson 三角图中(图 3),在 Q-F-L 三角图和 Qm-F-Lt 三角图中,肃南康乐乡海牙沟和玉门鱼儿红乡的样品主要投点在未切割岛弧和过渡岛弧区域,在 Qp-Lv-Ls 三角图中,样品主要落在火山弧物源区和俯冲杂岩源区;而武威南斜豪、门源塔里花沟和白银娃娃沟剖面在 O-F-L 三角图和 Qm-F-Lt 三角图中,样品主要落在切割岛弧和旋回造山带源区,而在 Qp-Lv-Ls 三角图中其样品多落在碰撞造山带和褶皱冲断带源区。

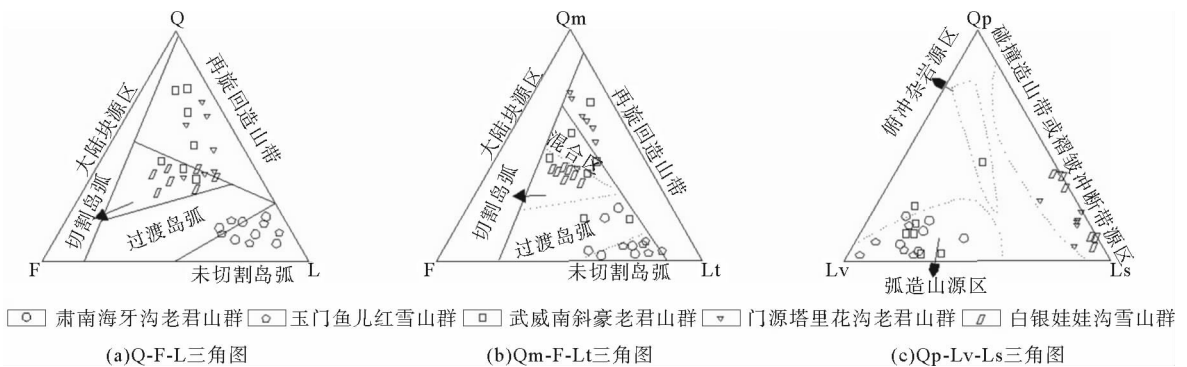


图 3 北祁连造山带早中泥盆统砂岩源区构造背景判别三角图

Fig. 3 Tectonic setting discriminating diagram for sandstone of North Qilian orogenic belt in early-middle Devonian

根据上述投点情况,利用 Dickinson 三角图判别结果分析,发现北祁连造山带西段早泥盆世碎屑岩投点在未切割岛弧和过渡弧区,说明其源区是未切割岛弧和过渡岛弧;而北祁连东部沉积碎屑岩投点在切割岛弧和再旋回造山带区,说明其物源来自切割岛弧和再旋回造山带。

3 地球化学特征及物源分析

针对多物源构造背景情况,不同构造作用的叠加会使判别结果不准确,Dickinson 砂岩骨架碎屑三角图在反映物源背景时有一定偏差。沉积物的地球化学特征在物源和构造背景分析中具有重要作用,可以对 Dickinson 方法进行补充和验证,使研究结果更为准确。因此选取砂岩样品进行地球化学分析,深入探讨其物源特征。

19 块样品取自北祁连白银市娃娃沟、肃南南斜豪、甘肃康乐乡海牙沟、玉门鱼儿红乡、门源塔里花沟以及民乐二道沟的泥盆统老君山群,并对所取样品进行主量元素、微量元素和稀土元素测试。主量元素由国家地质实验测试中心采用等离子质谱仪(PE300D)测得,微量元素和稀土元素由国家地质实验测试中心采用 X 射线荧光光谱仪(PW4400)测定,分析结果见表 1 和表 2。

表 1 北祁连早-中泥盆统砂岩主量元素分析

Tab. 1 Main elements chemical analyses of sandstone of North Qilian orogenic belt in early-middle Devonian

样品原号	WWP-B1	WWP-B31	HYP-B2	HYP-B5	HYP-B6	HYP-B8	YEP-B1	YEP-B3	YEP-B5
SiO ₂ /%	74.01	66.07	54.41	60.78	62.89	59.18	65.82	83.78	65.53
Al ₂ O ₃ /%	11.96	8.61	13.22	13.31	13.71	12.44	9.59	9.65	11.14
CaO/%	2.56	7.84	6.95	3.38	2.10	5.98	7.67	0.21	8.15
TFe ₂ O ₃ /%	1.52	3.73	5.66	6.09	5.83	6.37	2.70	0.86	2.09
K ₂ O/%	1.30	1.72	0.98	2.05	2.57	1.71	2.20	0.70	1.86
MgO/%	0.22	1.20	6.09	4.29	4.11	3.66	1.08	0.08	0.27
MnO/%	0.05	0.06	0.17	0.19	0.17	0.16	0.04	0.01	0.11
Na ₂ O/%	3.46	0.95	3.75	3.14	2.81	2.64	0.64	3.91	1.46
P ₂ O ₅ /%	0.03	0.15	0.11	0.15	0.16	0.15	0.15	0.01	0.02
TiO ₂ /%	0.31	0.55	0.61	0.66	0.67	0.71	0.56	0.10	0.23
LOI/%	3.70	8.12	7.13	5.34	4.37	6.40	8.68	0.83	8.29
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0.10	0.19	0.07	0.15	0.18	0.13	0.22	0.07	0.16
K ₂ O/Na ₂ O	0.37	1.81	0.26	0.65	0.91	0.64	3.43	0.17	1.27
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	6.18	7.67	4.11	4.56	4.58	4.75	6.86	8.68	5.88
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.16	0.13	0.24	0.21	0.21	0.21	0.14	0.11	0.17

表 2 北祁连早-中泥盆统砂岩稀土元素含量

Tab. 2 Trace elements and REE analysis of the North Qilian orogenic belt in the early-middle Devonian μg/g

样品原号	WWP-B1	WWP-B10	WWP-B26	WWP-B31	SHP-B74	SHP-B78	SHP-B80	SHP-B85	SHP-B83	SHP-B84	SHP-B86	SHP-B90	HYP-B2	HYP-B5	HYP-B6	HYP-B8	YEP-B1	YEP-B3	YEP-B5
La	23.90	10.60	31.80	24.60	11.50	15.70	7.91	14.20	12.80	14.90	20.50	11.90	12.90	26.20	31.20	28.00	31.30	6.47	30.80
Ce	24.00	16.90	56.20	45.90	18.90	23.20	13.70	29.40	30.70	19.60	40.50	19.20	26.00	54.20	61.00	56.80	58.70	12.70	64.90
Pr	5.28	2.46	6.62	5.59	2.61	3.56	1.92	3.05	2.69	3.36	4.02	2.66	3.21	6.20	6.99	6.50	7.15	1.49	7.33
Nd	19.50	9.23	24.10	21.30	9.70	13.00	7.08	11.50	10.10	13.00	14.70	9.67	13.10	23.50	26.30	24.40	29.20	5.15	29.40
Sm	3.96	2.00	4.84	4.48	2.16	2.75	1.47	2.49	2.11	2.73	2.97	1.91	3.22	5.69	5.57	5.38	5.62	1.05	7.22
Eu	0.69	0.41	0.94	0.84	0.40	0.53	0.30	0.49	0.42	0.54	0.60	0.40	0.86	1.06	1.12	1.08	1.14	0.15	1.32
Gd	3.13	1.71	4.59	4.17	1.71	2.44	1.19	2.10	1.82	2.36	2.72	1.67	3.12	5.67	5.05	4.75	5.28	0.88	8.67
Tb	0.47	0.25	0.74	0.64	0.27	0.38	0.16	0.32	0.29	0.35	0.41	0.24	0.49	0.92	0.74	0.77	0.85	0.12	1.22
Dy	3.00	1.56	4.81	3.99	1.81	2.48	0.93	1.88	1.73	1.98	2.55	1.38	3.09	5.70	4.58	4.83	5.53	0.71	6.47
Ho	0.60	0.32	0.98	0.81	0.37	0.49	0.18	0.41	0.35	0.38	0.51	0.27	0.62	1.15	0.90	0.99	1.11	0.13	1.16
Er	1.91	1.01	2.83	2.40	1.16	1.54	0.48	1.17	1.04	1.17	1.52	0.81	1.90	3.53	2.74	2.90	3.39	0.41	3.00
Tm	0.28	0.14	0.39	0.35	0.16	0.22	0.06	0.16	0.14	0.16	0.22	0.12	0.25	0.52	0.39	0.42	0.46	0.06	0.35
Yb	1.92	0.92	2.54	2.25	1.20	1.50	0.40	1.07	1.03	1.08	1.46	0.74	1.76	3.65	2.61	2.77	2.79	0.37	2.24
Lu	0.30	0.13	0.39	0.35	0.17	0.22	0.05	0.19	0.15	0.17	0.23	0.12	0.27	0.55	0.41	0.43	0.42	0.06	0.32
Y	18.30	9.35	27.40	22.30	9.98	14.30	5.45	11.20	9.50	13.00	14.60	7.74	18.40	33.70	26.90	26.00	36.60	3.81	44.70
B	15.70	26.30	61.80	46.30	42.10	38.70	11.10	41.60	40.90	17.10	50.60	27.30	14.90	16.30	26.10	21.50	66.50	4.25	9.44
ΣREE	122.94	83.29	230.97	186.27	104.20	121.01	52.38	121.23	115.77	91.88	158.11	86.13	104.0	188.5	202.6	187.5	256.0	37.81	218.5
LRE/HRE	3.00	3.17	3.22	3.23	3.11	2.90	4.35	3.86	4.26	3.09	4.00	4.15	2.33	2.46	3.49	3.24	2.71	4.92	2.52
Eu/Eu*	0.58	0.66	0.60	0.59	0.62	0.61	0.67	0.64	0.64	0.64	0.63	0.67	0.82	0.57	0.63	0.64	0.63	0.46	0.51
(Gd/Yb) _N	1.35	1.54	1.49	1.53	1.18	1.35	2.46	1.62	1.46	1.81	1.54	1.87	1.47	1.28	1.60	1.42	1.57	1.97	3.20
(La/Yb) _N	8.93	8.27	8.98	7.85	6.88	7.51	14.19	9.52	8.92	9.90	10.08	11.54	5.26	5.15	8.58	7.25	8.05	12.55	9.87

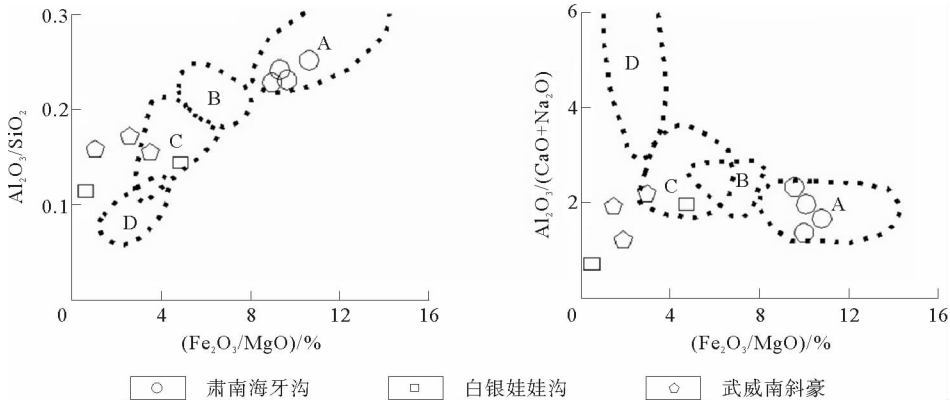


图 4 北祁连早-中泥盆统砂岩主量元素构造背景判别图

Fig. 4 Major elements diagram of the North Qilian orogenic belt in the early-middle Devonian for tectonic setting discrimination

砂岩的化学成分能够反映其源岩的矿物成分和成熟度。主量元素(表 1)的相对比值是研究沉积物构造环境和源区的重要指标。在砂岩 $Al_2O_3/SiO_2-(Fe_2O_3 + MgO)\%$ 和 $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)-(Fe_2O_3 + MgO)\%$ 构造判别图中(图 4), 北祁连西部肃南海牙沟砂岩样品均落入大洋岛弧背景区内, 而东部白银娃娃沟和武威南斜豪的砂岩样品大部分落入活动大陆边缘背景区域内。在砂岩 $\log(K_2O/Na_2O)-SiO_2$ 构造判别图中(图 5), 5 个样品落入岛弧环境中, 而 4 个落入活动大陆边缘背景区域内。

北祁连泥盆系砂岩的稀土元素总量(ΣREE)分布范围为 $(37.81 \times 10^{-6} \sim 256.04 \times 10^{-6})$, 范围较广, 其稀土元素球粒陨石标准化分布曲线图与 Bhatia^[18-19] 给出的四种构造背景下稀土元素球粒陨石标准化分布曲线对比分析看出, 北祁连泥盆系砂岩稀土含量球粒陨石标准化分布曲线分为两类: 第一类是北祁连西部肃南海牙沟剖面 and 玉门鱼儿红剖面, 其源岩符合大陆岛弧构造背景, 其中大陆岛弧可能为俯冲叠加于增生杂岩中的岩浆弧; 另一类是北祁连东部白银娃娃沟剖面 and 武威南斜豪剖面, 其曲线与活动大陆边缘构造背景相一致(图 6)。

通过对北祁连造山带内砂岩的主量元素和稀土元素分析, 其特征指示北祁连西部的物源以大洋岛弧、大陆边缘弧和俯冲杂岩带为主, 而造山带东部物源以活动大陆边缘为主。其中, 主量元素判别图中混有少量样品投点分散, 可能由于受到后期构造事件或变质事件等热事件造成的。

4 讨论

长期以来, 对于北祁连造山带泥盆纪老君山群的构造属性一直存在不同认识, 通过造山带内保存的蛇绿岩研究证实, 中祁连地块与阿拉善地块之间存在过一个洋盆, 之后洋盆向北消减于阿拉善地块之下, 形成一系列弧前盆地、岛弧和弧后盆地。然而, 早中泥盆世北祁连演化成何种构造环境, 存在两种不同认识: 即弧前盆地和弧后盆地。如黄虎等^[20] 认为“北祁连-河西走廊奥陶系弧后盆地-志留系复理石沉积-海相磨拉石沉积-泥盆统陆相磨拉石的充填序列”, 即北祁连在早中泥盆世已经演化为弧后前陆盆地; 王荃等^[2-3, 5-6, 9] 则认为

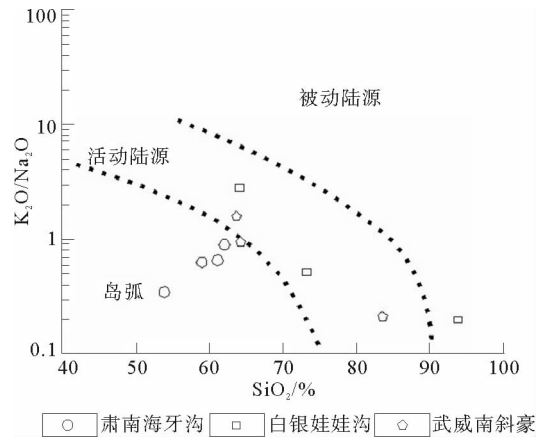
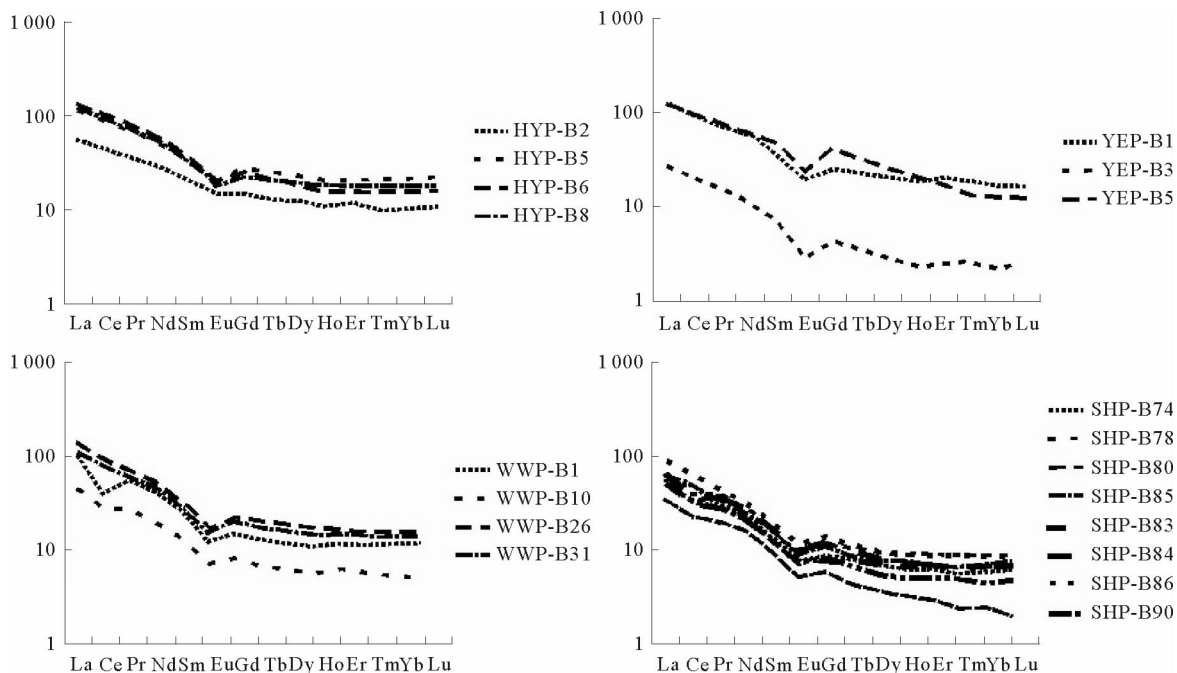


图 5 $\log(K_2O/Na_2O)-SiO_2$ 构造判别图

Fig. 5 $\log(K_2O/Na_2O)-SiO_2$ for tectonic setting discrimination



HYP-肃南海牙沟;YEP-玉门鱼儿红;WWP-白银娃娃沟;SHP-武威南斜豪

图 6 北祁连早-中泥盆统稀土元素的球粒陨石标准化图解

Fig. 6 Chondrite-normalized REE pattern of the North Qilian orogenic belt in the lower-middle Devonian

泥盆系北祁连为造山后期的磨拉石盆地；魏春海等^[4]在对祁连山造山带的研究中认为北祁连泥盆系为裂谷盆地；闫臻、肖交文^[8]根据泥盆统老君山群碎屑岩的物源特征及其构造变形认为泥盆系盆地具有弧前盆地特征。暂且不管北祁连洋壳俯冲极性不同的争论，上述观点的不同，主要集中在北祁连造山带在早中泥盆世盆地属性的争论上。作者比较赞同杜远生“北祁连加里东期造山过程的纵向不均一性和斜向碰撞、不规则边缘碰撞造山”的观点^[21]，但是对其点式碰撞的时间和模式却有不同看法。本文根据研究区岩石碎屑组分和岩石地球化学特征分析，认为早中泥盆世北祁连东部为陆陆碰撞形成的前陆盆地，而西部则为弧前俯冲阶段的弧前盆地。

黄虎等^[20,22]认为北祁连造山带泥盆纪没有任何证据证明其存在海相沉积，从而否定了北祁连山在泥盆纪为弧前盆地的观点是不妥的，因为根据弧前盆地的沉积充填序列可以看出，弧前盆地发展到后期发育一套陆相冲积扇、三角洲沉积，也就是说弧前盆地中碎屑沉积作用占优势时，浊流和其他块状流沉积常会过渡到陆相冲积扇、三角洲和河流沉积，只有在俯冲期间海相沉积才占优势。在北祁连西部的老君山群中发育的砂岩及砾岩沉积具有岛弧火山岩特征，反映其物源主要来自火山弧，证明了北祁连地区在早中泥盆世为以陆相沉积为主的弧前盆地。闫臻^[8]研究剖面只涉及北祁连西部的肃南、民乐地区，得出早中泥盆世北祁连碎屑岩具有火山弧性质，但在北祁连东部剖面中可看到砾岩中的砾石以砂岩砾为主，而砂岩的岩屑组分也不再以火

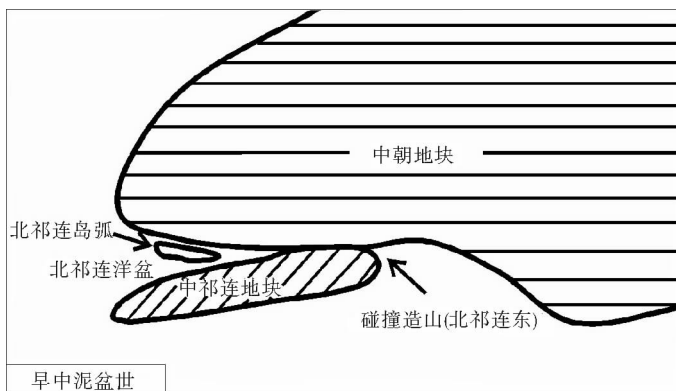


图 7 北祁连早中泥盆世碰撞示意图^[22]

Fig. 7 Paleogeographic sketch showing collision in the North Qilian Orogenic Belt during the early-middle Devonian

山岩屑为主,而是各种岩屑共存,表明泥盆纪老君山时期北祁连东部岩石并没有岛弧火山岩性质。

本文通过北祁连造山带东部-西部泥盆统老君山群碎屑组分分析表明,北祁连西部物源主要来自未切割岛弧-过渡岛弧,而东部物源主要来自碰撞造山带内的切割岛弧源区、碰撞造山带和再旋回造山带。而且从北祁连泥盆系老君山群砂岩稀土含量球粒陨石标准化分布曲线来看,北祁连西部的肃南海牙沟剖面、玉门鱼儿红剖面为大陆岛弧构造背景,东部的白银娃娃沟剖面、武威南斜豪剖面曲线与活动大陆边缘构造背景相一致。因此,早中泥盆世北祁连东部为碰撞造山时期,而西部尚处于与岛弧相关的弧前盆地。这种碰撞形式与徐亚军^[22]所说的“三明治”式相似,但又与其所说的点碰撞、不规则边缘碰撞发生在晚奥陶世又不尽相同(图7),认为碰撞发生于泥盆世。

5 结论

对于北祁连老君山群沉积盆地类型的界定,结合前人研究,得出以下结论:

1) 北祁连西部剖面老君山群发育的砂岩及砾岩沉积中具有岛弧火山岩特征,反映其物源主要来自火山弧的事实,也说明早中泥盆世北祁连西部地区为以陆相沉积为主的弧前盆地后期阶段。北祁连东部剖面中砾岩中的砾石以砂岩砾为主,而砂岩的岩屑组分已不再以火山岩屑为主,而是各种岩屑共存。北祁连老君山群沉积物具有旋回造山带和被动大陆边缘双向二元物源特点,表现为前陆盆地性质。

2) 早中泥盆世北祁连造山带的演化特点为不规则边缘碰撞、点式碰撞,表现为东部已经碰撞完成,形成了前陆盆地;而西部还未发生碰撞,处于俯冲阶段,形成弧前盆地。

参考文献:

- [1]杜远生,朱杰,韩欣,等.从弧后盆地到前陆盆地—北祁连造山带奥陶纪—泥盆纪的沉积盆地与构造演化[J].地质通报,2004,23(9-10):911-917.
DU Yuansheng,ZHU Jie,HAN Xin,et al. From the back-arc basin to foreland basin-Ordovician-Deconian sedimentary basin and tectonic evolution in the North Qilian orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China,2004,23(9-10):911-917.
- [2]王荃,刘雪亚.我国西部祁连山地区的古海洋地壳及其大地构造意义[J].地质科学,1976(1):42-55.
WANG Quan,LIU Xueya. Pale-oceanic crust of the Chilianshan region western China and its tectonic significance[J]. Scientia Geologica Sinica,1976(1):42-55.
- [3]左国朝,吴汉泉.北祁连中段早古生代双向俯冲—碰撞造山模式剖析[J].地球科学进展,1997,12(4):315-323.
ZUO Guochao,WU Hanquan. A bisubduction-collision orogenic model of Early-Paleozoic in the middle part of north Qilian area[J]. Advance in Earth Sciences,1997,12(4):315-323.
- [4]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.
WEI Chunhai. The main characteristics of geological structures in the Chilianshan region,China[J]. Acta Geologica Sinica,1978(2):95-105.
- [5]宋述光.北祁连山俯冲杂岩带的构造演化[J].地球科学进展,1997,12(4):351-365.
SONG Shuguang. Tectonic evolution of subductive complex belts in the North Qilian mountains[J]. Advance in Earth Sciences,1997,12(4):351-365.
- [6]宋述光,张立,NIU Y.北祁连山榴辉岩锆石 SHRIMP 定年及其构造意义[J].科学通报,2004,49(6):592-595.
SONG Shuguang,ZHANG Li,NIU Y. Zircon SHRIMP in eclogite and the tectonic significance of the North Qilian mountain [J]. Chinese Science Bulletin,2004,49(6):592-595.
- [7]XIAO J W,BRIAN F,WINDLEY Y,et al. Early Paleozoic to Devonian multiple-accretionary model for the Qilianshan,NW China[J]. Journal of Asian Earth Science,2008,35(3-4):323-333.
- [8]闫臻,肖交文,刘传周,等.祁连山老君山砾岩的碎屑组成和源区大地构造背景[J].地质通报,2006,25(1/2):83-98.
YAN Zhen,XIAO Jiaowen,LIU Chuazhou,et al. Detrital ccomposition of the Laojunshan conglomerate in the Qilian mountains,northwest China and tectonic settings of its source regions[J]. Geological Bulletin of China,2006,25(1/2):83-98.
- [9]左国朝,刘寄陈.北祁连早古生代大地构造演化[J].地质科学,1987(1):14-24.
ZUO Guochao,LIU Jichen. The evolution of tectonic of early Paleozoic in North Qilian range,China[J]. Geological Science,

1987(1):14-24.

- [10]冯益民,吴汉良.北祁连及其邻区古生代以来的大地构造演化初探[J].西北地质科学,1992,13(2):61-74.
FENG Yimin, WU Hanliang. Tectonic evolution of North Qilian mountains and its neighbourhood since Paleozoic[J]. Northwest Geoscience, 1992, 13(2): 61-74.
- [11]许志琴,徐慧芬,张建新,等.北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学[J].地质学报,1994,68(1):1-15.
XU Zhiqin, XU Huifen, ZHANG Jianxin, et al. The Zhoulangnanshan Caledonian subductive complex in the Northern Qilian mountains and its dynamics[J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(1): 1-15.
- [12]张建新,许志琴,徐惠芬,等.北祁连加里东期俯冲-增生楔结构及动力学[J].地质科学,1998,33(3):290-299.
ZHANG Jianxin, XU Zhiqin, XU Huifen, et al. Framework of North Qilian Caledonian subduction-accretionary wedge and its deformation dynamics[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33(3): 290-299.
- [13]夏林圻,夏祖春,徐学义.北祁连山构造-火山岩浆演化动力学[J].西北地质科学,1995,16(1):1-28.
XIA Linxi, XIA Zhuchun, XU Xueyi. Dynamics of tectono-volcano-magmatic evolution from North Qilian mountains, China [J]. 1995, 16(1): 1-28.
- [14]夏林圻,夏祖春,徐学义.北祁连山早古生代洋脊-岛弧和弧后盆地火山作用[J].地质学报,1998,72(4):301-312.
XIA Linxi, XIA Zhuchun, XU Xueyi. Early Paleozoic mid-ocean ridge-ocean island and back-arc basin volcanism in the North Qilian mountains[J]. 1998, 72(4): 301-312.
- [15]毛光周,刘池阳.地球化学在物源及沉积背景分析中的应用[J].地球科学与环境学报,2011,33(4):337-348.
MAO Guangzhou, LIU Chiyang. Application of geochemistry in provenance and depositional setting analysis[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(4): 337-348.
- [16]DICKON W R, SUCZEK C A. Plate tectonic and sandstone composition[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1979, 63: 2164-2182.
- [17]DICKON W R, HARBAUGH D W, SHALLER A H, et al. Detrital modes of upper Paleozoic sandstones derived from Antler orogen in Nevada; Implications for nature of Antle Orogeny[J]. American Journal of Science, 1983, 283: 481-509.
- [18]BHATIA M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks; Provenance and tectonic control[J]. Sedimentary Geology, 1985, 45(1/2): 97-113.
- [19]BHATIA M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. The Journal of Geology, 1983, 91: 611-627.
- [20]黄虎,杜远生,杨江海,等.北祁连民乐二道沟中-下泥盆统老君山组砂岩化学组分特征及其地质意义[J].地质评论,2009, 55(3):335-346.
HUANG Hu, DU Yuansheng, YANG Jianghai, et al. Chemical components of sandstone and its geological significance of the Laojunshan formation, lower-middle Devonian, at Erdaogoukou section, Minle county, in North Qilian mountains[J]. Geological Review, 2009, 55(3): 335-346.
- [21]杜远生,张哲,周道华,等.北祁连-河西走廊志留纪和泥盆纪古地理及其对同造山过程的沉积响应[J].古地理学报,2002, 4(4):1-8.
DU Yuansheng, ZHANG Zhe, ZHOU Daohua, et al. Silurian and Devonian palaeogeography of Northern Qilian-Hexi corridor and its sedimentary response to synorogenesis of North Qilian orogenic belt[J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(4): 1-8.
- [22]徐亚军,杜远生,杨江海,等.北祁连造山带东段上奥陶统-下、中泥盆统砂岩碎屑组分与物源分析[J].地质科技情报, 2011, 30(2): 28-33.
XU Yajun, DU Yuansheng, YANG Jianghai, et al. Detrital composition and provenance of sandstones from the upper Ordovician to lower-middle Devonian, the eastern part of North Qilian orogenic belt[J]. Geological Science and Technology Information, 2011, 30(2): 28-33.

(责任编辑:高丽华)