

宁夏中奥陶统香山群徐家圈组大地构造环境分析

李向东^{1,2} 何幼斌² 刘 训¹ 游国庆¹ 王 丹³ 郑昭昌⁴

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 长江大学地球科学学院, 湖北 荆州 434023;
3. 中石油煤层气有限责任公司, 北京 100013; 4. 宁夏国土资源厅, 宁夏 银川 750021)

提要:宁夏香山群为一套遭受轻微区域变质的陆源碎屑岩, 并夹有少量碳酸盐岩和硅质岩, 属于深水浊流沉积, 从下到上可分为徐家圈组、狼嘴子组和磨盘井组。长期以来对香山群的研究主要集中在时代探讨上, 而在其他方面较薄弱。本文以徐家圈组为主要研究对象, 从浊积砂岩的碎屑颗粒类型百分含量、常量元素和微量元素等方面对其沉积时的大地构造环境进行了综合研究。结果表明: 碎屑颗粒类型显示出典型的被动大陆边缘; 常量元素的判别则出现了不确定性; 微量元素则显示出了过渡性质。因此, 香山群徐家圈组沉积时大地构造环境可能不是简单的被动大陆边缘, 其物源极有可能来自被动大陆边缘、活动大陆边缘和大陆岛弧之间的带有过渡性质的源区。

关键词:大地构造环境; 常量元素; 微量元素; 香山群

中图分类号: P544.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)02-0374-10

由于受到板块位置^[1]及岩浆活动的控制^[2], 沉积盆地同其相应的物源通过沉积物相互关联, 因此, 利用盆地碎屑沉积物来研究物源区构造演化背景、分析古气候特征, 已被广泛应用于大地构造环境、地壳演化和盆-山相互作用等方面的研究中^[3]。目前, 关于沉积时大地构造环境的判别, 常用的方法主要有砂岩碎屑颗粒类型百分含量^[4-5]和地球化学特征^[3, 6-7]。

本文对宁夏中奥陶统香山群徐家圈组浊积砂岩的碎屑颗粒类型百分含量、常量元素和微量元素特征进行了详细的分析, 指出在运用已有图解在进行大地构造环境判别时, 三者有相互矛盾的地方。因此, 不能将香山群沉积时的大地构造环境简单地归为被动大陆边缘^[8]。

1 区域地质背景

宁夏香山群为一套遭受轻微区域变质的陆源碎屑岩, 并夹有少量碳酸盐岩和硅质岩, 属于深海浊流

沉积^[9-10], 并伴有内波、内潮汐沉积^[11-14], 主要分布于宁夏中卫、中宁、同心之间的香山、米钵山地区, 中卫以北的马夫峡子、元山子地区, 中宁西南的黑阴湾山等地区(图 1)。本文选择地层出露较好的香山、米钵山地区为主要研究对象。

20 世纪 60 年代初, 宁夏区测队在 1:20 万区调^①时创立“香山群”, 将其划分为 4 个亚群, 时代厘定为中寒武统; 90 年代中期, 1:5 万区调^②, 重新建立了香山群地层层序, 将原香山群第一亚群大部分归入中奥陶统米钵山组上部, 第二、三、四亚群分别新建徐家圈组、狼嘴子组和磨盘井组, 时代定为晚寒武世。香山群底界与中奥陶统米钵山组呈整合接触, 顶界与泥盆系中宁组呈角度不整合接触。岩性总体上以灰绿色轻变质砂岩和页岩(板岩)为主, 厚度巨大, 韵律性强, 各组岩性特征见表 1。在研究区各组的平面分布如图 2 所示。

香山群自建立以来, 其时代归属一直存在争议。

收稿日期: 2010-07-15; 改回日期: 2010-12-24

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(40672071、41072086)及中国区域地质志修编项目联合资助。

作者简介: 李向东, 男, 1973 年生, 在站博士后, 从事深水沉积及其应用研究; E-mail: lixiangdong614@163.com。

① 甘肃地质局. 同心幅地质图说明书(1:200000), 1965。

② 宁夏回族自治区地质矿产勘察院. 中华人民共和国区域地质调查报告 1:50000 宣和幅 J48 E 016014、上校育川幅 J48 E 017014、下流水幅 J48 E 018014. 1995: 47-50。

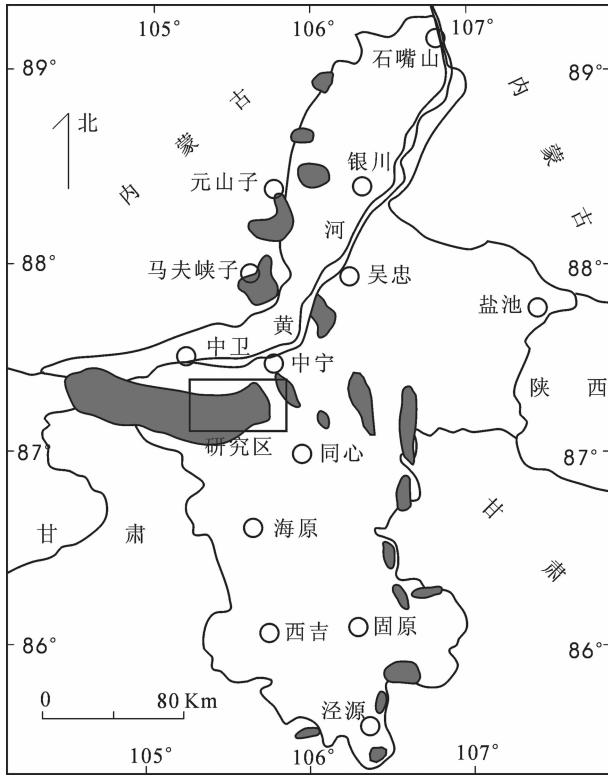


图 1 香山群分布图^[2]

Fig.1 Distribution of the Xiangshan Group^[2]

概括起来大致有 3 种观点^[15]:中—晚奥陶世、晚寒武世和中—晚寒武世。其中争论的焦点主要在于是将香山群归于寒武系还是奥陶系。将其置于中、晚寒武世,主要依据第二亚群(徐家圈组)石灰岩中所含三叶虫化石、徐家圈组顶部薄层灰岩中的牙形石^[16-19];置于中、晚奥陶世,主要依据来自对地层、古生物化石、构造、沉积等方面内容的综合分析^[10,20-22],笔者倾向于中、晚奥陶世(详见后文讨论)。

2 材料与方法

共采集新鲜未蚀变的砂岩样品 68 件,在偏光显微镜下进行了碎屑颗粒含量的统计(鉴于石英颗粒含量占绝对优势,同时长石和岩屑含量均极少,因此采用了目估法),样品主要为香山群徐家圈组(65 件),另有 3 件为磨盘井组,岩性以细砂岩为主(65 件),另有少量中砂岩(3 件)。

在徐家圈组的 65 件样品中选出具有代表性的样品 21 件,另有 1 件取自所采集的沉积构造大标本(康 26-B1),共 22 件样品在国土资源部中南矿产资源监督检测中心(宜昌矿产地质研究所)进行了全岩地球化学分析,测试了常量元素和有关的微量元素,

表 1 研究区香山群岩性特征

Table 1 Lithologic features of Xiangshan Group in the study area

统	群	组	厚度/m	岩性特征
中奥陶统	香山群	磨盘井组	636.0 ~ 2765.2	由灰绿、紫灰、紫红色厚—巨厚层轻变质中—细粒长石石英砂岩夹页岩、粉砂质页岩组成,自下向上,页岩相对增多。与下伏狼嘴子组和徐家圈组相比,砂岩在地层中所占比例明显增多
		狼嘴子组	84.8 ~ 1373.9	上部由深灰色中—薄层燧石岩、紫红色及灰绿色页岩灰白色含硅质泥晶白云岩组成,见有辉绿岩顺层侵入; 下部由灰绿、黄绿色中—厚层轻变质细粒长石石英砂岩、页岩组成。从下到上,砂岩减少、变薄,泥质岩增多
		徐家圈组	551.0 ~ 2785.9	主要由灰绿、黄绿色轻变质中—细粒长石石英砂岩、钙质砂岩、粉砂岩和页岩组成。下部砂岩相对多,页岩相对少,厚度变化大,为 123.4~2500.3 m;中—上部砂岩相对减少,页岩相对增多,厚度变化为 285.6~632.7 m;顶部为灰绿色页岩与深灰色泥晶石灰岩互层,厚度相对稳定。石灰岩、钙质砂岩及钙质胶结物含量高的砂岩中交错层理发育
		米钵山组	>398.3	上部主要由深灰色块状泥晶砾屑石灰岩、泥晶石灰岩和灰绿色板岩组成。石灰岩中发育层间滑动,板岩中夹有砾屑石灰岩透镜体; 下部为灰色至深灰色薄层砾屑石灰岩、硅质板岩、含砾板岩和泥晶石灰岩。砾屑灰岩底部有印模、类沟模,石灰岩中发育层间揉皱

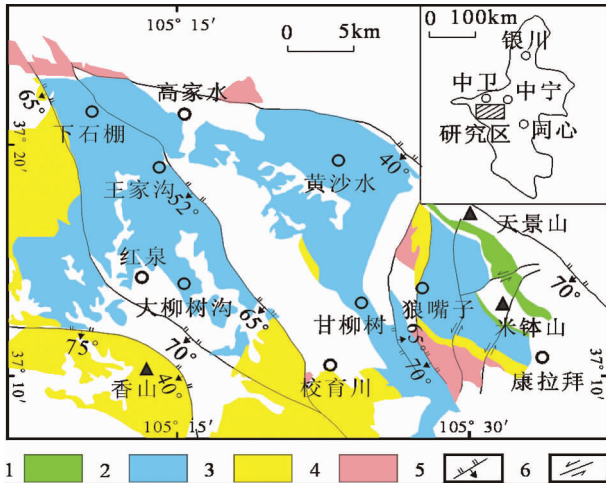


图2 研究区米钵山组和香山群地层分布
1-米钵山组;2-徐家圈组;3-狼嘴子组;4-磨盘井组;
5-逆冲断层;6-平移断层

Fig.2 Map showing stratigraphic distribution of Miboshan Formation and Xiangshan Group in the study area
1-Miboshan Formation;2-Xujiatuan Formation;
3-Langzui Formation;4-Mopanjing Formation;
5-Thrust fault;6-Wrench fault

所选样品主要来自康拉拜西北,地理坐标为:北纬 37°09.711',东经 105°34.193'。

3 分析结果

3.1 砂岩碎屑成分特征

岩石类型以长石石英砂岩和石英砂岩为主,次为长石石英杂砂岩和钙质长石石英砂岩。杂基含量一般为 8%~12%,但最大可达 21%;以伊利石为主。胶结物主要为钙质胶结,总体含量较少,但个别样品可达 42%,甚至 62%,从而连续过渡为砂质石灰岩。

香山群徐家圈组砂岩以富含石英为显著特征,在石英、长石和岩屑中,其含量为 79.49%~98.99%,平均 89.78%,石英颗粒以次棱角至次圆状为主,也有少量圆度极好的再旋回石英,普遍具有波状消光;长石含量次之,为 1.01%~19.1%,平均 8.52%,长石颗粒则主要呈半自形板状,以斜长石为主,绢云母化较为普遍,钾长石则主要为微斜长石;岩屑含量尽管总体较少,在石英、长石和岩屑中,含量从无到 10.11%,平均 1.7%,但类型却较为丰富,有燧石、变质岩岩屑、花岗岩岩屑、泥岩岩屑和砂岩岩屑等。

对 68 个砂岩薄片中的碎屑颗粒进行了统计,依据 Dickinson 等人所提供的方法^[1,4,5],将所获得的数

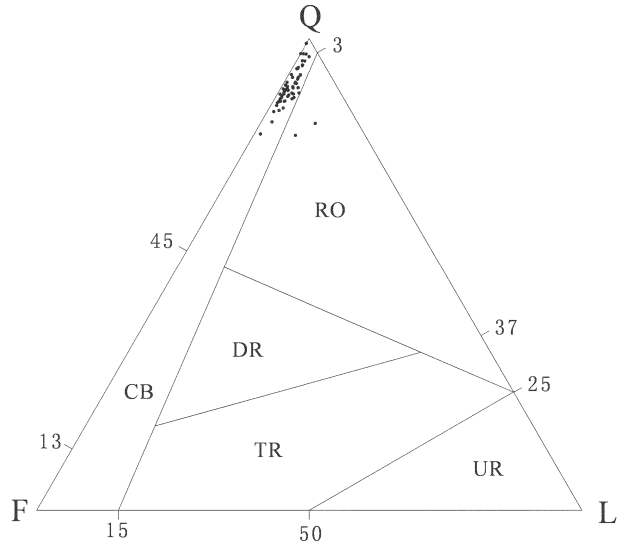


图3 香山群砂岩碎屑含量 QFL 三角图解^[4]
Q-石英;F-长石;L-岩屑;CB-大陆块;RO-再旋回造山带;DR-切割弧;TR-过渡弧;UR-未切割弧

Fig.3 QFL ternary plot showing the evolution of petrofacies in Xiangshan Group sandstones^[4]
Q-Quartzose grains; F-Feldspar grains; L-Unstable lithic fragments; CB-Continental Block; RO-Recycled Orogen; DR-Dissected Arc; TR-Transitional Arc; UR-Undissected Arc

据投影到砂岩碎屑含量 QFL 图上(图 3),除 2 个点落在了再旋回造山带中外,其余 66 个点均落到了大陆块区域。

3.2 常量元素特征

22 件砂岩样品的常量元素测试结果如表 2 所示。由于在 4 件钙质胶结含量高的样品中, SiO₂ 的含量偏低,因此在计算常量元素平均值时未包括这 4 件样品。从表中可以看出: SiO₂ 含量最大为 81.42%,最小为 68.03%(不含康 20-B1、康 22-B1、康 26-B1 和 5 点-2),多集中在 71%~76%,平均为 74.38%,按地球化学的分类^[23],基本可归为杂砂岩,这与薄片鉴定的结果较吻合(杂基含量一般为 8%~12%)。常量元素平均值与华北地台、扬子地台(西部)的砂岩总体平均值^[23]以及俄罗斯地台和北美地台沉积盖层杂砂岩平均值^[24]均比较接近。其中 SiO₂、Al₂O₃、TiO₂、P₂O₅、MnO 值非常接近;而 Fe₂O₃ 与 FeO、CaO 与 MgO、K₂O+Na₂O 均比较接近,但是 Fe₂O₃、CaO 和 K₂O 的值较地台的值低,FeO、MgO 和 Na₂O 的值较地台的值高。

常量元素大地构造判别图(图 4)出现了较为复杂的情况,可概括为 3 类:①在 K₂O/Na₂O-SiO₂/Al₂O₃ 图解(图 4-a)、SiO₂-K₂O/Na₂O 图解(图 4-b)

表 2 香山群徐家圈组砂岩常量元素和微量元素分析结果
Table 2 Major elements and trace elements concentrations for sandstones of Xujiakuan Formation, Xiangsha Group

样品	SiO ₂ /10 ⁻²	Al ₂ O ₃ /10 ⁻²	Fe ₂ O ₃ /10 ⁻²	FeO/10 ⁻²	CaO/10 ⁻²	MgO/10 ⁻²	K ₂ O/10 ⁻²	Na ₂ O/10 ⁻²	TiO ₂ /10 ⁻²	P ₂ O ₅ /10 ⁻²	MnO/10 ⁻²	Cr/10 ⁻⁶	Ni/10 ⁻⁶	Co/10 ⁻⁶	Rb/10 ⁻⁶	V/10 ⁻⁶	Sc/10 ⁻⁶	Zr/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	Mn/10 ⁻²
康1-B1	75.23	10.20	1.26	3.24	0.474	1.68	2.44	1.92	0.737	0.157	0.096	84.6	23.7	10.1	98.9	62.0	8.98	432	32.1	0.074
康3-B1	81.42	8.41	0.700	2.19	0.465	1.01	1.67	2.08	0.354	0.082	0.078	35.2	15.1	6.64	69.6	42.5	5.27	200	12.9	0.060
康5-B1	73.46	10.13	1.12	2.06	2.97	1.14	2.13	2.53	0.585	0.123	0.150	58.7	19.1	8.37	90.3	54.8	9.03	331	26.0	0.116
康7-B1	74.39	10.18	0.439	4.63	1.35	1.36	2.33	2.19	0.554	0.123	0.087	54.0	22.7	10.4	100	56.5	6.88	330	16.5	0.067
康9-B1	72.62	12.12	1.60	3.34	0.396	1.8	2.47	1.94	0.654	0.144	0.074	69.8	27.4	9.66	117	76.6	8.00	306	15.8	0.057
康11-B1	77.54	8.36	0.817	2.08	2.55	0.911	1.9	2.03	0.497	0.108	0.104	22.6	15.5	7.47	76.7	42.2	6.78	288	23.4	0.081
康13-B1	75.20	10.85	1.26	3.00	0.413	1.94	2.32	1.67	0.55	0.106	0.075	46.6	24.5	9.92	111	66.0	9.67	252	16.3	0.058
康14-B1	75.05	10.86	1.37	3.08	0.374	1.44	2.21	2.37	0.569	0.133	0.094	47.2	23.1	11.3	99.5	62.7	8.12	314	18.1	0.073
康16-B1	72.00	11.44	1.86	2.85	1.33	1.62	2.65	2.05	0.681	0.133	0.117	64.4	25.8	12.1	112	66.6	9.54	369	23.4	0.091
康18-B1	76.00	10.58	1.8	2.16	0.366	1.52	2.60	1.56	0.563	0.116	0.080	47.6	24.6	14.3	137	71.8	8.92	224	16.8	0.062
康20-B1	48.96	8.77	1.22	1.69	17.88	0.953	1.28	2.75	0.464	0.128	0.494	28.0	26.1	11.5	58.6	46.9	9.85	236	16.5	0.383
康22-B1	46.10	8.28	1.32	1.92	19.81	1.21	1.51	1.63	0.407	0.099	0.597	22.5	26.9	13.4	80.7	43.2	8.89	159	12.1	0.462
康24-B1	68.27	13.78	2.37	3.17	0.613	1.91	2.35	2.55	0.984	0.208	0.093	64.1	28.1	13.8	119	81.1	10.6	640	28.7	0.072
康25-B1	68.03	11.23	1.33	2.41	4.38	1.37	1.81	2.92	0.552	0.16	0.175	32.2	21.7	10.1	88.3	53.2	8.14	338	19.2	0.136
康26-B1	41.60	7.82	1.22	1.90	22.43	1.08	0.967	2.08	0.568	0.175	0.862	29.7	27.5	12.0	55.2	49.5	10.4	254	15.6	0.668
康27-B1	76.78	9.04	0.959	2.10	2.18	0.999	1.01	2.63	0.442	0.128	0.096	35.2	17.1	7.67	59.2	41.9	7.17	291	16.3	0.074
康28-B1	78.78	8.57	0.682	2.50	1.41	0.971	1.84	2.11	0.478	0.136	0.078	31.4	14.7	7.31	84.0	41.0	6.07	381	20.3	0.060
康30-B1	74.56	10.63	0.275	4.66	0.77	1.61	2.31	2.13	0.579	0.16	0.045	45.8	20.8	8.28	103	53.4	7.50	357	19.6	0.035
康32-B1	75.20	10.33	0.317	4.66	0.805	1.44	0.9	3.17	0.535	0.16	0.054	53.8	22.8	10.3	38.9	49.4	6.35	326	17.7	0.042
康37-B1	72.87	10.91	0.604	5.55	0.436	2.15	1.99	2.14	0.555	0.164	0.074	52.2	23.0	9.36	94.2	53.7	8.01	320	20.4	0.057
5点-2	34.94	7.52	0.683	2.30	26.77	1.10	1.10	1.82	0.414	0.120	0.625	47.9	29.6	13.3	53.6	41.9	8.54	182	11.0	0.484
14点-1	71.48	12.68	1.09	4.10	0.812	1.82	2.66	2.11	0.688	0.143	0.100	65.3	30.6	12.5	123	75.1	9.76	331	20.0	0.077
平均值**	74.38	10.57	1.10	3.21	1.23	1.48	2.09	2.23	0.59	0.14	0.09	47.22	23.20	10.44	89.53	56.00	8.29	331.86	19.03	0.15

注:数据由国土资源部中南矿产资源监督检测中心(宜昌矿产地质研究所)测试; * 常量元素平均值不包括钙质胶结物含量高的 4 个样品:康 20-B1、康 22-B1、康 26-B1 和 5 点-2。

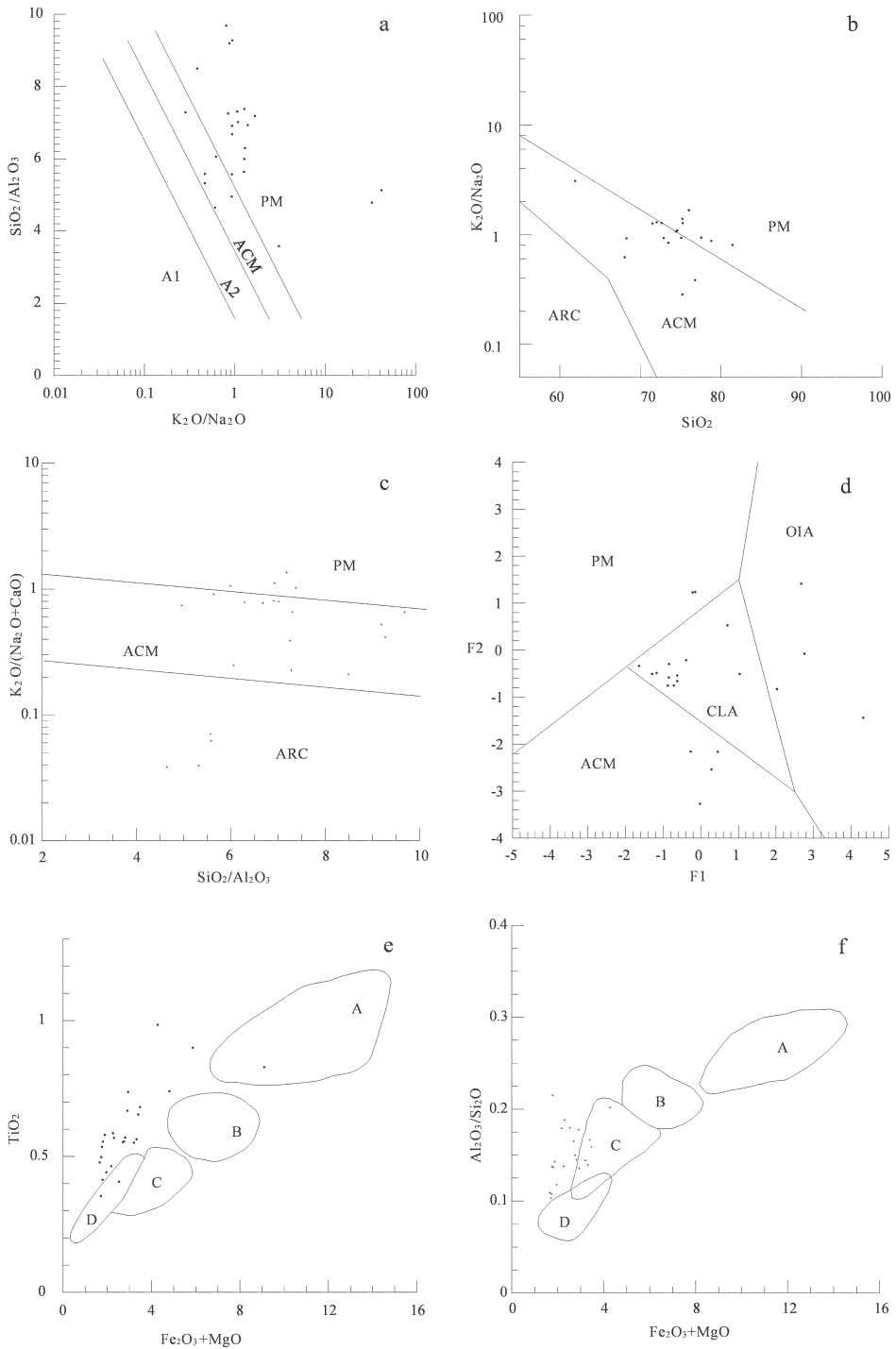


图4 香山群徐家圈组砂岩主要元素大地构造背景图解

a: $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ 图解^[25], A1—岛弧环境, A2—成熟岛弧, PM—被动大陆边缘, ACM—活动大陆边缘; b: SiO_2-K_2O/Na_2O 图解^[25], ARC—大洋岛弧; 其余同 a; c: $SiO_2/Al_2O_3-K_2O/(Na_2O+CaO)$ 图解^[27], 大地构造环境缩写同 a; d: F1-F2 判别图^[6], OIA—大洋岛弧, CLA—大陆岛弧, 其余同 a; e: $TiO_2-Fe_2O_3+MgO$ 图解^[6], A—大洋岛弧, B—大陆岛弧, C—活动大陆边缘, D—被动大陆边缘; f: $Al_2O_3/SiO_2-Fe_2O_3+MgO$ 图解^[6], 大地构造环境缩写同 e

Fig.4 Tectonic setting discrimination diagrams for major elements of sandstone in Xujiajuan Formation, Xiangsha Group a: $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ plot^[25], A1—Island arc, A2—Mature island arc, PM—Passive margin, ACM—Active continental margin, b: K_2O/Na_2O-SiO_2 plot^[25], ARC—Oceanic island arc; abbreviation of tectonic setting as for a; c: $SiO_2/Al_2O_3-K_2O/(Na_2O+CaO)$ plot^[27], abbreviation of tectonic setting as for a; d: Discriminant function diagram^[6], OIA—Oceanic island arc, CLA—Continental island arc, the other abbreviations of tectonic setting as for a; e: $TiO_2-Fe_2O_3+MgO$ plot^[6], A—Oceanic island arc, B—Continental island arc, C—Active continental margin, D—Passive margin; f: $Al_2O_3/SiO_2-Fe_2O_3+MgO$ plot^[6], abbreviation of tectonic setting as for e

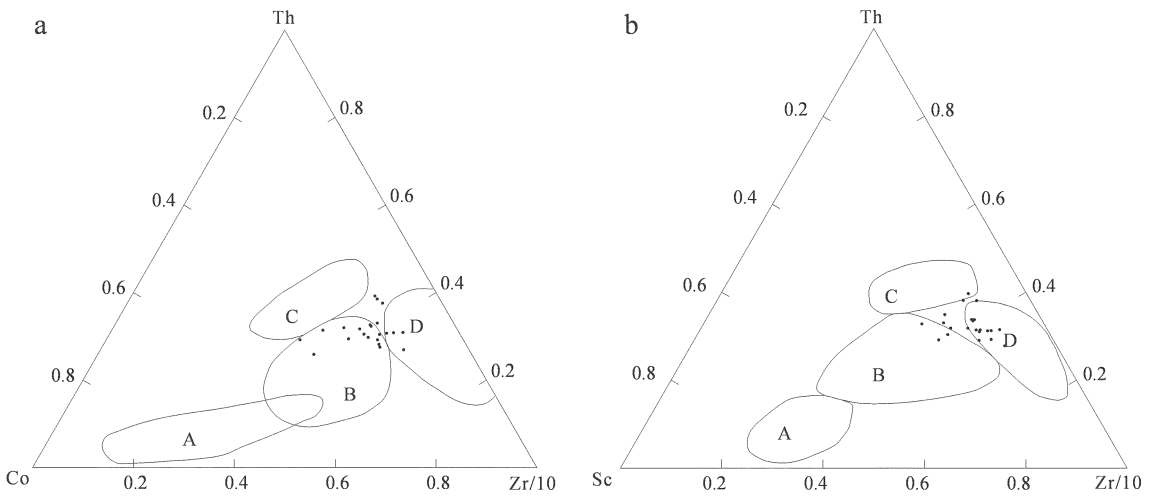


图 5 香山群徐家圈组砂岩微量元素大地构造背景图解

a: Th-Co-Zr 图解^[7]; b: Th-Sc-Zr 图解^[7]; A—大洋岛弧, B—大陆岛弧, C—活动大陆边缘, D—被动大陆边缘

Fig.5 Tectonic-setting discrimination diagrams for trace elements of sandstone in Xujiawan Formation, Xiangsha Group

a: Th-Co-Zr discrimination diagram^[7]; b: Th-Sc-Zr discrimination diagram^[7].

A—Oceanic island arc, B—Continental island arc, C—Active continental margin, D—Passive margin

和 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{K}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})$ 图解 (图 4-c) 中, 依次出现了从被动大陆边缘到活动大陆边缘的过渡。由于 CaO 参与作图, 落在大洋岛弧中的 4 个点为钙质含量高的 4 个样品点; ② 在综合判别函数图解 (图 4-d) 中, 大部分点落在了大陆岛弧区域内; ③ 在 $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}-\text{TiO}_2$ 图解 (图 4-e) 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 图解 (图 4-f) 大部分点落在了典型的大地构造环境^[28]区域之外, 其中图 4-e 中个别点落在了被动大陆边缘区域内, 而图 4-f 中少数点落在了活动大陆边缘区域内。

3.3 微量元素特征

从 22 件砂岩样品的微量元素测试结果 (表 2) 可以看出, 有关的微量元素含量平均值与地台上的砂岩化学成分相去较远^[23], 而与上陆壳相似^[29], 其中 Cr、Ni、Co、Rb、V、Sc 等元素含量与上地壳非常接近, Zr 和 Th 含量明显偏高, 而 Mn 的含量与下地壳接近。

在砂岩微量元素大地构造背景图解中 (图 5) 情况较为简单。在 Th-Co-Zr 图解 (图 5-a) 中, 落在大陆岛弧区域中的点较多, 其余点则分落在被动大陆边缘区和典型大地构造背景^[28]之外; 在 Th-Sc-Zr 图解 (图 5-b) 中, 落在被动大陆边缘区的点较多, 其他点则分落在大陆岛弧区、活动大陆边缘区和典型大地构造背景^[28]之外。

4 相关讨论

4.1 大地构造环境分析

综合徐家圈组砂岩碎屑颗粒类型百分含量、主量元素和微量元素的相关数据与图解释, 可以发现: ① 碎屑颗粒类型百分含量表明其沉积时的大地构造环境为典型的被动大陆边缘 (图 3); ② 主量元素在进行大地构造环境判别时出现了诸多矛盾的地方, 在平均含量上与地台区接近, 但同时出现 Fe_2O_3 与 FeO, CaO 与 MgO, K_2O 与 Na_2O 的互为消长现象, 而这 6 个成分的异常, 则导致了不同元素之间的大地构造环境判别图出现矛盾; ③ 微量元素则表现出了亲上陆壳的倾向, 同时在大地构造环境判别图上表现出了过渡性质, 即在被动大陆边缘、活动大陆边缘和大陆岛弧之间。针对这三点, 分别讨论如下:

用于大地构造环境判别的砂岩碎屑颗粒类型百分含量三角图源于对已知大地构造环境的砂岩数据的统计分析^[1], 后又经过同一作者的多次修订^[4-5], 但在富石英砂岩的判别上一直存在问题, 可能是该类岩石中风化作用较为显著^[30]。大洋钻探中, 在北美洲西海岸和拉丁美洲附近的活动大陆边缘所获得的砂岩样品多数落入被动大陆边缘区^[31]。由于香山群徐家圈组的砂岩富含石英, 因此不能单一地使用

Dickinson 三角图解进行大地构造环境的判别。

用香山群砂岩的常量元素进行大地构造环境的判别已有文献论述^[8],其中 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 图解和 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}\text{-SiO}_2$ 图解与本文图解(图 4-a, b)类似,均表现出以被动大陆边缘为主的趋势。但其他图解却有与此相矛盾之处,其可能是因为主量元素整体平均值与地台区接近,但同时出现 Fe_2O_3 与 FeO 、 CaO 与 MgO 、 K_2O 与 Na_2O 的互为消长这一现象密切相关。然而,要解决这一问题却需要更多的资料和更进一步的研究。

砂岩的微量元素主要显示出其大地构造环境在被动大陆边缘、活动大陆边缘和大陆岛弧之间,带有过渡性质。造成这种情况的可能是沉积岩(物)的多源性或其运输途径的复杂性^[32]。但是从判别方法上讲,微量元素优于主量元素,主量元素优于碎屑类型,而且微量元素所显示的过渡性和主量元素所显示的矛盾性及碎屑类型所显示的确定性具有一脉相承的关系,可能与不同物质在运输过程中丢失源区信息的不同程度有关。

综上所述,尽管在香山群徐家圈组沉积时大地构造环境的研究中还有许多问题有待进一步的工作,但是有一点可以肯定,其沉积时的大地构造环境不是简单的被动大陆边缘,其物源极有可能来自被动大陆边缘、活动大陆边缘和大陆岛弧之间的带有过渡性质的源区。

4.2 对大地构造演化和时代归属的启示

在大地构造位置上,香山群处于中朝板块的鄂尔多斯古陆、阿拉善古陆和秦岭—祁连造山系的构造连接部位,该地区整个早古生代构造活动与秦—祁—昆大洋演化和北祁连岛弧的形成密切相关^[8, 19]。在大地构造区划上,在运用槽台学说研究时划为北祁连北坡冒地槽^[33],在运用板块理论进行研究时先划归为走廊过渡带^[34],稍后划为走廊早古生代中期弧后盆地^[35],在对大陆动力学展开研究的背景下,依据北祁连造山带寒武系、奥陶系硅质岩地球化学特征,提出了多岛洋背景^[36-37]。

关于北祁连地区的大地构造演化,除最近提出的多岛洋背景外,对于寒武纪的大地构造环境一般有两种观点:一种是被动大陆边缘^[34-35, 38],另一种是大陆裂谷^[39-40];而对于奥陶纪的大地构造环境一般认识较为统一:是具有沟弧盆体系大洋盆地^[34-35, 38-39]。但是值得注意的是,前人在研究北祁连的大地构造演

化时,都将宁夏香山群简单地归为中寒武统浅海碎屑岩沉积^[34-38]。这除了和香山群的深水沉积环境^[9-14]矛盾外,还主要涉及到香山群研究中最具有争议的问题,即时代归属。

按照周志强和校培喜的最新论述^[15]:①在米钵山南麓马湾沟香山群原第一亚群上部的千枚状板岩所夹的薄层石灰岩(已划归早奥陶统米钵山组)中发现的寒武系化石,产出于正常沉积的石灰岩夹层,代表了台地边缘至斜坡相三叶虫组合,指示该亚群的时代,而与之相临的鲕状灰岩“透镜体”中发现的寒武系化石,产出于再沉积的外来岩块,具有准同时性质;②在距原香山群第二亚群(徐家圈组)顶部 188 m 处的深灰色薄层石灰岩(累计厚度 14 m)中所发现的牙形石并非奥陶纪所特有;③原香山群第三亚群(狼嘴子组)发现的徐庄晚期三叶虫产出于鲕状灰岩,为再沉积的外来岩块,整个香山群的时代确定尚需要进一步寻找证据。

从以上论述可以看出,将香山群归为寒武系的“可靠的证据”只有一个,即产于原香山群第一亚群上部千枚状板岩所夹的薄层石灰岩中的三叶虫化石。对于此,笔者认为尚须对该石灰岩的成因作进一步研究后才能确定。此外,也缺少足够令人信服的证据说明香山群底部与米钵山组之间存在大的断层^[19]。因此,综合考虑香山群的沉积特征和鄂尔多斯盆地西缘早古生代的地层分布,特别是重力流沉积及内波、内潮汐沉积的发育情况^[11-14],笔者认为,将香山群暂置于中—晚奥陶世较为合理,原因如下:①香山群和下覆地层米钵山组之间,无论是原香山群第一亚群的底界还是现在徐家圈组的底界,均找不到大断层存在的证据;②香山群化石稀少而混杂,且多产于再沉积的外来岩块中,即使按照周志强和校培喜的保守论述也不能完全排除奥陶纪分子,相反,却能证明有晚寒武世的外来化石;③香山群徐家圈组沉积时的大地构造环境不是简单的被动大陆边缘,其物源极有可能来自被动大陆边缘、活动大陆边缘和大陆岛弧之间的带有过渡性质的源区,这一特征与北祁连地区的奥陶纪更为接近;④香山群中发育有内波、内潮汐沉积^[11-14],以目前所发现的内波、内潮汐沉积实例,在内波、内潮汐发育的地层中一般化石稀少。

如果将香山群置于奥陶系(徐家圈组为香山群底部,应为中奥陶统),香山群徐家圈组的大地构造

环境又非典型的主动大陆边缘或岛弧,这就迫使我们考虑奥陶纪北祁连是不是典型的具有沟弧盆体系的大洋盆地?关于这个问题,杜远生等^[36-37]提出的多岛洋背景,已经从硅质岩地球化学方面涉及到了,但是,深层的动力学机制又是什么?此外,许志琴等^[41]在研究北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体时提出的“海沟后退”俯冲模式,其深层的动力学机制又是什么?笔者认为:要解决上述问题,则应在更大的范围内,即将秦—祁—昆大洋、贺兰坳拉谷和北部古亚洲洋的演化结合起来,运用板块理论进行更为广泛的研究。

5 结 论

(1)香山群徐家圈组砂岩常量元素整体平均值与地台区接近,但出现了 Fe_2O_3 与 FeO 、 CaO 与 MgO 、 K_2O 与 Na_2O 互为消长的现象,同时在大地构造环境判别图中出现了复杂的情况,在不同的判别图中出现不同的大地构造环境。

(2)在大地构造环境的判别上,从砂岩的碎屑颗粒类型、常量元素特征到微量元素特征,逐步出现了复杂化的情形:碎屑颗粒类型显示出典型的被动大陆边缘;常量元素的判别则出现了不确定性;微量元素则显示出了过渡性质。

(3)香山群徐家圈组沉积时大地构造环境可能不是简单的被动大陆边缘,其物源极有可能来自被动大陆边缘、活动大陆边缘和大陆岛弧之间的带有过渡性质的源区。

(4)香山群徐家圈组沉积时大地构造环境对于香山群的时代归属和北祁连早古生代大地构造演化均具有重要的启示。

参考文献 (References):

[1] Dickinson W R, Suczek C A. Plate tectonics and sandstone compositions[J]. AAPG Bulletin, 1979, 63 (12):2164-2182.

[2] 陈汉林, 杨树锋, 王清华, 等. 塔里木板块早—中二叠世玄武岩浆作用的沉积响应[J]. 中国地质, 2006, 33(3):545-552.

Chen Hanlin, Yang Shufeng, Wang Qinghua, et al. Sedimentary response to the Early—Mid Permian basaltic magmatism in the Tarim plate [J]. Geology in China, 2006, 33 (3):545-552 (in Chinese with English abstract).

[3] 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, 2006, 34(6):1032-1044.

Yang Jianghai, Du Yuansheng, Xu Yajun, et al. Major element characteristics of sandstones and provenance analysis of basins [J].

Geology in China, 2006, 34 (6):1032-1044 (in Chinese with English abstract).

[4] Dickinson W R, Valloni R. Plate settings and provenance of sands in modern ocean basins[J]. Geology, 1980, 8 (2):82-86.

[5] Dickinson W R, Beard L S, Brakenridge G R. Provenance of north American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting[J]. GSA Bulletin, 1983, 94 (2):222-235.

[6] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstone[J]. The Journal of Geology, 1983, 91(6):611-627.

[7] Bhatia M R, Crook K A W. Trace elements characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986, 92 (2):181-193.

[8] 徐黎明, 周立发, 张义楷, 等. 香山群沉积岩浆记录及其反映的大地构造环境[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2006, 36(3):442-448.

Xu Liming, Zhou Lifa, Zhang Yikai, et al. Record of deposition—magmatism of Xiangshan Group and the reflection of tectonic environment [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2006, 36 (3):442-448(in Chinese with English abstract).

[9] 阎志强. 宁夏晚寒武世重力流沉积及其大地构造背景 [J]. 宁夏地质, 1990, 2:90-100.

Yan Zhiqiang. Gravity—flow depositions and its tectonic setting, Late Cambrian, Ningxia [J]. Ningxia Geology, 1990, 2:90-100 (in Chinese with English abstract).

[10] 王振藩, 郑昭昌. 宁夏香山群的时代探讨 [J]. 中国区域地质, 1998, 17(1):69-73.

Wang Zhenfan, Zheng Zhaochang. The age of the Xiangshan Group in Ningxia [J]. Regional Geology of China, 1998, 17 (1): 69-73 (in Chinese with English abstract).

[11] 李向东, 何幼斌, 王丹, 等. 宁夏香山群徐家圈组内波和内潮汐沉积[J]. 古地理学报, 2009, 11(5):513-523.

Li Xiangdong, He Youbin, Wang Dan, et al. Internal—wave and internal—tide deposits of the Middle Ordovician Xiangshan Group Xujiajuan Formation, Ningxia[J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11 (5):513-523(in Chinese with English abstract).

[12] 李向东, 何幼斌, 郑昭昌, 等. 宁夏香山群徐家圈组发现深水复合流沉积构造[J]. 地质学报, 2010, 84 (2):221-232.

Li Xiangdong, He Youbin, Zheng Zhaochang, et al. Deep—water combined—flow sedimentary structures in Xujiajuan Formation of Xiangshan Group, Ningxia[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84 (2): 221-232(in Chinese with English abstract).

[13] 李向东, 何幼斌, 罗进雄, 等. 宁夏香山群徐家圈组基本沉积单元[J]. 地质学报, 2011, 待刊.

Li Xiangdong, He Youbin, Luo Jinxiong, et al. Basic Sedimentary Unit of Xujiajuan Formation, Xiangshan Group, Ningxia, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, inpress (in Chinese with English abstract).

[14] 何幼斌, 李向东, 罗进雄, 等. 宁夏香山群深水沉积类型及其研究意义 [J]. 石油天然气学报 (原江汉石油学院学报), 2009, 31 (6):11-17.

- He Youbin, Li Xiangdong, Luo Jinxiong, et al. Sedimentary type of deep-water deposits and its research significance: A case study from Xiangshan Group, Ningxia Autonomous Region[J]. *Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jiangnan Petroleum Institute)*, 2009, 31 (6): 11-17(in Chinese with English abstract).
- [15] 周志强, 校培喜. 对香山群时代的商榷 [J]. *西北地质*, 2010, 43 (1):54-59.
- Zhou Zhiqiang, Xiao Peixi. Discussion on the age of the Xiangshan Group [J]. *Northwestern Geology*, 2010, 43 (1):54-59 (in Chinese with English abstract).
- [16] 霍福臣, 等. 宁夏地质概论[M]. 北京: 科学出版社, 1989:43-68.
- Huo Fuchen, et al. Introduction to Geology of Ningxia [M]. Beijing: Science Press, 1989:43-68(in Chinese).
- [17] 顾其昌. 宁夏回族自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996:24-29.
- Gu Qichang. Lithostratigraphy in Ningxia Autonomous Region [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996:24-29 (in Chinese with English abstract).
- [18] 项礼文, 朱兆玲, 李善姬, 等. 中国地层典·寒武系 [M]. 北京: 地质出版社, 1999:67-68.
- Xiang Liwen, Zhu Zhaoling, Li Shanji, et al. Stratigraphic Lexicon of China - Cambrian [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999:67-68 (in Chinese).
- [19] 张进, 马宗晋, 任文军. 再论贺兰山地区新生代之前拉张活动的性质[J]. *石油学报*, 2004, 25(6):8-11.
- Zhang Jin, Ma Zongjin, Ren Wenjun. Re-discussion on Natures of Extension in Helanshan Region before Cenozoic Era [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25 (6):8-11 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张抗. 香山群时代讨论[J]. *石油实验地质*, 1993, 15(3):309-316.
- Zhang Kang. Discussion on the Geological Age of the Xiangshan Group in the Ordos Basin [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1993, 15 (3): 309-316(in Chinese with English abstract).
- [21] 李天斌. 宁夏香山群地层时代的再讨论 [J]. *西北地质*, 1997, 18 (2):1-9.
- Li Tianbin. Re-discussion of Stratigraphic age of Xiangshan Group, NingXia [J]. *Northwestern Geology*, 1997, 18 (2):1-9 (in Chinese with English abstract).
- [22] 李向东, 何幼斌, 王丹, 等. 贺兰山以南中奥陶统香山群徐家圈组古水流分析[J]. *地质论评*, 2009, 55(5):653-662.
- Li Xiangdong, He Youbin, Wang Dan, et al. Analysis on Palaeocurrent in the Xujiajuan Formation, Xiangshan Group, Middle Ordovician, in Southern Helan Mountains [J]. *Geological Review*, 2009, 55 (5):653-662 (in Chinese with English abstract).
- [23] 鄢明才, 迟清华. 中国东部地壳与岩石的化学组成[M]. 北京: 科学出版社, 1997:105-112.
- Yan Mingchai, Chi Qinghua. Lithosphere and Rock Chemistry Composing of Eastern China [M]. Beijing: Science Press, 1997: 105-112 (in Chinese with English abstract).
- [24] Crook K A W. Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variation in flysch arenites (greywackes) [J]. *Soc. Econ. Paleont. Mineral.*, 1974, Spec. Publ. 19:304-310.
- [25] Maynard J B, Valloni R, Yu H S. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins [C]//Leggett J K (ed.). *Trench-Forearc Geology*. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1982: 551-562.
- [26] Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio [J]. *The Journal of Geology*, 1986, 94 (5):635-650.
- [27] 方国庆, 刘德良. 复理石杂砂岩的化学组成与板块构造[J]. *沉积与特提斯地质*, 2000, 20(3):105-112.
- Fang Guoqing, Liu Deliang. Chemistry composing of greywacke in flysch and plate tectonics [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2000, 20 (3):105-112(in Chinese with English abstract).
- [28] Dickinson W R. 板块构造与沉积作用 [M]. 罗正华, 刘铭铨译. 北京: 地质出版社, 1982:1-25.
- Dickinson W R. Plate Tectonics and Sedimentation [M]. Luo Zhenghua, Liu Mingquan (translated). Beijing: Geological Publishing House, 1982:1-25.
- [29] 中国科学院地球化学研究所. 高等地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998:83-86.
- Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences. Advanced Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1998:83-86 (in Chinese with English abstract).
- [30] Critelli S, Pera E L, Ingersoll R V. The effects of source lithology, transport, deposition and sampling scale on the composition of southern California sand [J]. *Sedimentology*, 1997, 44 (4):653-671.
- [31] Marsaglia K M, Ingersoll R V. Compositional trends in arc-related, deep-marine sand and sandstone: A reassessment of magmatic-arc provenance [J]. *GSA Bulletin*, 1992, 104 (12):1637-1649.
- [32] Dickinson W R. Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins [C]// Kleinspehn K L, Paola C (eds.). *New Perspectives in Basin Analysis*. Springer-Verlag, 1988:3-25.
- [33] 左国朝, 刘寄陈. 北祁连山早古生代大地构造演化 [J]. *地质科学*, 1987, 22(1):15-24.
- Zuo Guochao, Liu Jichen. The evolution of tectonic of early Paleozoic in north Qilian range, China [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1987, 22 (1): 15-24(in Chinese with English abstract).
- [34] 冯益民, 吴汉泉. 北祁连山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):61-73.
- Feng Yimin, Wu Hanquan. Tectonic evolution of north Qilian Mountains and its neighbourhood since Paleozoic [J]. *Northwest Geoscience*, 1993, 13 (2):61-73(in Chinese with English abstract).
- [35] 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.
- Feng Yimin, He shiping. Basic characteristics of tectonics in the Qilian Mountains and its neighbours——on genetic environments of early Paleozoic volcanics [J]. *Northwest Geoscience*, 1995, 16

- (1):92-103 (in Chinese with English abstract).
- [36] 杜远生, 朱杰, 顾松竹. 北祁连肃南一带奥陶纪硅质岩沉积地球化学特征及其多岛洋构造意义[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2006, 31(1):101-109.
- Du Yuansheng, Zhu Jie, Gu Shongzhu. Sedimentary geochemistry and tectonic significance of Ordovician cherts in Sunan, North Qilian Mountains [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2006, 31 (1):101-109 (in Chinese with English abstract).
- [37] 杜远生, 朱杰, 顾松竹, 等. 北祁连造山带寒武系—奥陶系硅质岩沉积地球化学特征及其对多岛洋的启示[J]. 中国科学(D 辑):地球科学. 2007, 37(10):1314-1329.
- Du YuanSheng, Zhu Jie, Gu Songzhu, et al. Sedimentary geochemistry of the Cambrian-Ordovician cherts from North Qilian orogenic belt and its implication on archipelagic ocean [J]. China Sciences (series D), 2007, 50 (11):1628-1644 (in Chinese with English abstract).
- [38] 周立发. 阿拉善地块南缘早古生代大地构造特征和演化[J]. 西北大学学报, 1992, 22(1):107-115.
- Zhou Lifa. Early Paleozoic tectonic features and evolutions in the Southern margin of Alaxa massif [J]. Journal of Northwest University, 1992, 22 (1):107-115(in Chinese with English abstract).
- [39] 冯益民. 祁连造山带研究概况——历史、现状及展望[J]. 地球科学进展, 1997, 12(4):307-314.
- Feng Yimin. Investigatory summary of the Qilian orogenic belt, China: history, presence and prospect [J]. Advance in Earth Sciences, 1997, 12 (4):307-314(in Chinese with English abstract).
- [40] 葛肖虹, 刘俊来. 北祁连造山带的形成与背景 [J]. 地质前缘, 1999, 6(4):223-230.
- Ge Xiaohong, Liu Junlai. Formation and tectonic background of the northern Qilian orogenic belt [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(4):223-230 (in Chinese with English abstract).
- [41] 许志琴, 徐惠芬, 张建新, 等. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体[J]. 地质学报, 1994, 68(1):1-15.
- Xu Zhiqin, Xu Huifen, Zhang Jianxin, et al. The Zhoulangnanshan caledonlan subductive complex in the Northern Qilian Mountains and its dynamics[J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68 (1):1-15 (in Chinese with English abstract).

An analysis of the tectonic setting of Xujiajuan Formation of Middle Ordovician Xiangshan Group in Ningxia

LI Xiang-dong^{1,2}, HE You-bin², LIU Xun¹,

YOU Guo-qing, WANG Dan³, ZHENG Zhao-chang⁴

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100038, China;

2. School of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China; 3. Petrochina Coalbed Methane Co., Ltd., Beijing 100013, China;

4. Ningxia Bureau of Geology and Mineral Resources, Yinchuan 751104, Ningxia, China)

Abstract: The Xiangshan Group in Ningxia is dominated by deep-water turbidity current deposits which are mainly a set of low metamorphic terrigenous clastic rocks intercalated with minor carbonate rocks and cherts. The Xiangshan Group is divided into three formations, which are from bottom to top Xujiajuan Formation, Langzuizi Formation and Mopanjiang Formation. As relatively much research work was devoted to the formation epoch while the study of other aspects was insufficient in the past, the authors have made an integrated study of tectonic settings from the framework modes, major elements and trace elements of terrigenous sandstones in Xujiajuan Formation, which comprises the lower part of Xiangshan Group. Some conclusions have been reached: ① the framework modes suggest a typical passive margin; ② the discrimination diagrams for major elements suggest a result of uncertainty; and ③ the discrimination diagrams for trace elements suggest a transition tectonic setting. Thus, the tectonic setting during the deposition of Xujiajuan Formation of Xiangshan Group was not a simple passive margin, but most probably a transition source area among the passive margin, the active margin and the continental island arc.

Key words: tectonic settings; major elements; trace elements; Xiangshan Group

About the first author: LI Xiang-dong, male, born in 1973, post doctor candidate, majors in deep-water deposition research and its application; E-mail: lixiangdong614@163.com.