

文章编号:1009-3850(2018)01-0062-09

豫西宜洛盆地上二叠统一下三叠统泥质岩 地球化学特征与物源分析

乔雨, 李紫源, 郑德顺, 刘思聪, 徐江红

(河南理工大学资源环境学院, 河南 焦作 454003)

摘要:宜洛盆地晚二叠世—三叠纪沉积充填演化是秦岭造山带与华北克拉通共同作用的结果,物源分析是揭示盆山耦合的重要手段之一。论文采用沉积地球化学分析的方法对宜洛盆地上二叠统一下三叠统泥质岩地球化学特征与物源进行了研究,结果表明:宜洛盆地泥质岩稀土元素球粒陨石标准化曲线显示轻稀土元素富集,重稀土元素亏损,为右倾式曲线,元素 Eu 中度负异常,元素 Ce 轻微亏损,符合上地壳稀土元素分布特征。泥质岩源区源岩属性判别图解显示,宜洛盆地物源以长英质岩为主,主要来自于上地壳,孙家沟组后期有少量古老基底杂岩混入。构造背景判别图解显示,研究区物源经历了被动大陆边缘为主(孙家沟组下段)—活动大陆边缘为主(孙家沟组上段和刘家沟组)—大陆岛弧为主(和尚沟组)的演化;华北克拉通和秦岭造山带是宜洛盆地重要物源区,华北地台北部内蒙古隆起可能提供了一定量的物源。孙家沟组早期以克拉通内部物源为主,孙家沟组土门段之后秦岭微地块物源供给明显,体现了华北克拉通南缘基底隆升,由被动大陆边缘向秦岭初始“弧-陆”碰撞隆升的构造演化过程。这对深入揭示南华北盆地与周围造山带之间的耦合关系具有重要意义。

关键词:物源分析;构造背景;晚二叠世—早三叠世;宜洛盆地

中图分类号:P534

文献标识码:A

前言

物源分析是盆山耦合系统研究中重要的研究对象之一,通过对盆地内碎屑沉积物组成、性质和内部结构变化研究,可再现盆地与造山带之间的时空耦合过程^[1],为研究盆地沉降与山体隆升之间的关系、山体剥蚀过程与盆地沉积物以及盆山系统动力学演化等方面提供重要的依据^[2]。泥质岩等细粒陆源碎屑沉积物是地球演化作用的结果,其所含

微量元素与稀土元素成分中蕴含着大量与地壳演化密切相关的信息,据此泥质岩微量元素与稀土元素分析常用来对物源背景和地质构造背景进行研究^[3-7]。

晚海西期—早印支期为北秦岭洋闭合和(微)陆-陆碰撞发展阶段,北秦岭地壳向华北克拉通的俯冲碰撞作用,在华北克拉通南缘形成了一系列呈东西向分布的拗陷盆地,宜洛盆地就是其中之一。当前关于这一时期秦岭造山带争论的焦点之一就是北秦岭商丹洋盆关闭时限以及秦岭微地块与华北

收稿日期:2016-12-03; **改回日期:**2017-03-06

作者简介:乔雨(1988-),女,博士研究生,沉积学专业。E-mail:qiaoyu@hpu.edu.cn

通讯作者:郑德顺(1977-),男,教授,博士(后),主要研究方向为沉积-构造响应与油气地质。E-mail:zhengdeshun@126.com

资助项目:本论文由国家自然科学基金(41272118)资助

克拉通陆-陆碰撞的阶段性问题^[8-9]。过去研究更多的集中在秦岭造山带结构和形变研究,对于造山过程,尤其是造山过程中的沉积响应研究不够^[8]。宜洛盆地作为华北南缘的沉积中心之一,接受了大量来自外部的沉积物,盆地中的沉积物可能记录了秦岭造山带构造运动的细节,是理解秦岭造山带构造运动过程和宜洛盆地充填演化的重要窗口^[9]。当前对宜洛盆地研究程度较低,主要局限于盆地沉积地层和沉积环境等方面的研究^[10-11]。物源变化是对构造运动的有效响应,对这一时期宜洛盆地物源属性和物源构造背景分析,可以反演秦岭与华北克拉通南缘的碰撞过程,对探讨北秦岭商丹洋盆的关闭时限和丰富秦岭阶段性演化提供新的证据。因此,本文系统地采集了上二叠统一下三叠统泥质岩样品进行地球化学分析,拟在确定物源构造背景和物源区构造活动状态基础上分析物源来源,对提高宜洛盆地与秦岭造山带盆山系统演化认识上有一定意义。

1 地质背景

华北克拉通形成于太古代,其内部广泛存在着3.3~3.8Ga的古老物质^[12-13],是东亚大陆主要的克拉通。华北克拉通形成以来至显生宙一直保持较为稳定状态^[14],晚古生代在秦岭造山带伸展构造样式作用背景下华北地台在本溪期整体下降,海水自北东向南西向侵入,发育了华北地台以潮坪、泻湖为主的沉积体系。早二叠世,受华北地台北缘兴蒙造山带隆升作用,华北地台北部隆升,并接受古阴山碎屑沉积物,由于古阴山的持续隆升,其陆缘碎屑物可直达华北板块南部;晚二叠世,秦岭微地块向北移动,与华北板块碰撞加剧,造成华北南缘开始隆升,华北板块由此整体隆升成陆进入克拉通内陆拗陷盆地演化阶段。

宜洛盆地位于华北克拉通南缘,南部紧邻秦岭造山带,北靠太行山脉,为晚古生代—中生代叠合盆地,发育了较为完整连续的晚古生代—中生代地层^[15-16]。在二叠纪,本区以浅水三角洲、河流和近海湖泊沉积为主,三叠纪主要发育河湖沉积体系^[17]。宜洛盆地主要出露二叠系、三叠系、侏罗系、新近系与第四系,其晚古生代—早中生代地层发育完整且连续,包括上二叠统孙家沟组、下三叠统刘家沟组及和尚沟组,整体表现为炎热干旱条件下的

红色砂泥岩组合。孙家沟组以细砂岩夹泥岩为主,刘家沟组具有明显的河流“二元结构”,和尚沟组则发育大套的泥岩,为浅湖相沉积(图1)。

2 样品与实验方法

本文研究剖面位于宜阳县城南2km大雨淋小学旁,该剖面出露良好,自下而上依次发育了二叠系石千峰组、三叠系刘家沟组、和尚沟组和二马营组地层,岩性以泥质岩和砂岩为主(图2)。本次研究在对大雨淋剖面孙家沟组—和尚沟组地层实测的基础上,根据野外分层情况进行了样品采集工作。在野外取样过程中采用取样器尽可能取得较为新鲜的样品,共取得样品56件,经观察与风化、蚀变样品剔除后,从中选出14件样品进行了微量元素与稀土元素测试分析。微量元素与稀土元素分析测试工作由中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。

测试过程前先对样品表面去除风化物质,进行了进一步新鲜化处理。样品在碳化钨钵中研磨成200目,并置于烘箱中在105°温度下烘干12h;称取样品50mg置于坩埚中,同时滴加1~2滴纯净水及1.5ml高纯硝酸和1.5ml高纯氢氟酸,并将坩埚放置在烘箱中在190°条件下烘干48小时;添加3ml 30%硝酸并再次置于190烘箱中加热12h;将溶液转入聚乙烯瓶中,添加2%硝酸稀释至100g,之后采用POEMS(Plasma Optical Emission Mass Spectrometer)Ⅲ等离子体光谱仪进行测试,该仪器质谱采用VG公司的PQ3ICP-MS,光谱采用TJA公司的IPIS高分辨率光谱。

3 稀土元素地球化学特征

泥质岩样品稀土元素分析结果见表2。由表可知,研究区 ΣREE 值为 $(32.3 \sim 276.22) \times 10^{-6}$,均值为 159.65×10^{-6} ,其中孙家沟组 ΣREE 值范围为 $(69.87 \sim 276.22) \times 10^{-6}$,平均为 181.21×10^{-6} ,样品B20、B22、B24的 ΣREE 值相对较低,这可能与样品岩性为泥灰岩有关,岩石中方解石和生物碎屑对稀土元素进行了稀释^[18]。刘家沟组 ΣREE 值范围为 $(32.32 \sim 188.12) \times 10^{-6}$,平均值 85.19×10^{-6} ;和尚沟组 ΣREE 值范围为 $(153.32 \sim 195.71) \times 10^{-6}$,平均值为 175.70×10^{-6} 。以上表明刘家沟组泥质岩稀土元素与和尚沟组较为接近,都接近于PAAS值,刘

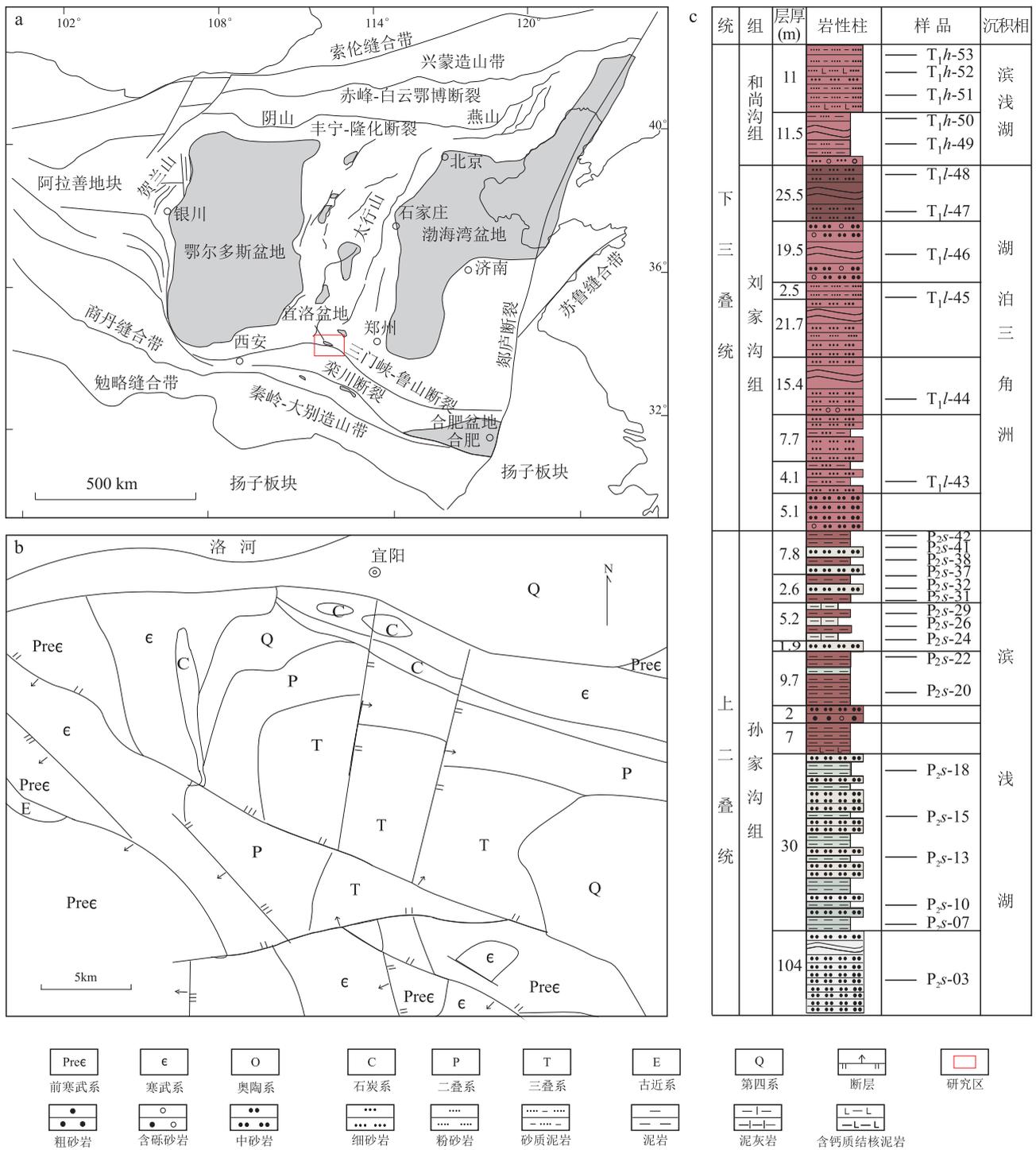


图1 华北克拉通构造纲要(a)、宜阳地区地质简图(b)和综合柱状图(c)
(图a,b据杨文涛内部资料修改^[16])

Fig.1 Tectonic outline of the North China craton (a), simplified geological map (b) and lithologic column (c) of the Yiyang region

家沟组泥质岩稀土元素总量亏损。

宜洛盆地孙家沟组和尚沟组泥质岩样品 δCe 整体变化不大, 范围值为 0.6 ~ 1.0, 均值 0.92。除个别样品外, 整体 δCe 轻微亏损。孙家沟组 δEu 范

围为 0.59 ~ 1.05, 均值为 0.85, 岩石整体弱亏损。样品 $(La/Yb)_N$ 均值 1.36, 其中 $(La/Sm)_N$ 均值 0.99, $(Gd/Yb)_N$ 均值 1.33, 表明稀土元素整体分馏程度较弱, 轻重稀土分馏均不明显。

表1 宜洛盆地二叠系—三叠系泥岩微量元素测试结果(10⁻⁶)
Table 1 Trace element data of the Permian to Triassic argillaceous rocks from the Yiluo Basin (10⁻⁶)

样品	Sc	Ti	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Ba	Hf	Ta	Th	U	Co/Th	Th/U
P ₂ s-03	7.59	3319.45	40.32	232.81	6.40	27.35	22.55	33.70	286.88	60.15	31.89	761.88	339.18	19.49	1.15	25.78	5.01	0.25	5.14
P ₂ s-07	11.71	4018.29	57.61	194.76	12.33	32.55	34.02	103.25	245.05	97.49	40.13	335.32	400.45	8.63	1.49	21.57	8.46	0.57	2.55
P ₂ s-18	8.60	3371.94	47.57	215.43	10.64	29.89	33.18	51.28	135.46	79.36	30.90	514.97	297.98	13.55	1.21	21.29	3.84	0.50	5.55
P ₂ s-20	15.21	3670.59	117.81	97.35	15.16	45.60	21.46	63.16	160.15	64.75	25.01	154.27	338.71	4.18	0.93	13.44	3.49	1.13	3.85
P ₂ s-22	4.09	956.75	29.67	66.96	6.18	15.24	14.67	46.72	32.00	187.29	23.73	41.25	164.89	1.11	0.25	3.69	1.75	1.67	2.12
P ₂ s-24	5.07	1112.43	31.38	41.93	5.67	14.31	11.80	28.75	42.36	181.79	21.03	55.61	131.31	1.49	0.30	4.37	1.09	1.30	4.00
P ₂ s-31	4.23	636.80	18.53	29.81	8.65	14.75	20.16	80.91	25.39	138.49	42.58	29.46	90.36	0.85	0.18	2.40	1.18	3.60	2.03
T ₁ l-45	7.41	1818.41	48.23	31.73	6.81	16.30	17.91	36.99	101.96	177.25	19.95	64.46	134.82	1.92	0.56	9.20	1.72	0.74	5.36
T ₁ l-46	3.75	1472.51	19.69	34.82	3.43	11.98	7.74	19.20	63.40	65.75	15.63	104.70	201.07	2.79	0.38	4.83	0.89	0.71	5.41
T ₁ l-47	1.29	1341.64	17.45	39.03	1.91	7.45	8.18	7.65	85.43	31.38	9.30	141.78	223.86	3.71	0.30	4.67	0.73	0.41	6.42
T ₁ l-48	1.80	420.83	14.66	19.93	2.46	8.22	7.89	18.27	21.62	32.15	6.37	49.88	87.64	1.32	0.12	2.43	0.38	1.01	6.31
T ₂ h-49	13.19	4098.59	80.61	250.12	14.62	45.11	40.95	63.41	133.52	45.08	32.98	239.64	283.69	6.25	0.95	11.97	2.34	1.22	5.12
T ₂ h-51	16.19	4949.62	107.52	93.81	22.86	48.62	33.38	90.85	178.55	47.35	21.88	186.46	342.32	4.90	1.19	11.82	2.24	1.93	5.29
T ₂ h-50	14.19	3830.36	81.47	164.75	15.46	44.42	41.31	65.96	154.38	72.00	22.63	156.15	305.64	4.11	0.98	13.72	2.21	1.13	6.22

表2 宜洛盆地二叠系—三叠系泥岩稀土元素测试结果(10⁻⁶)
Table 2 REE data of the Permian to Triassic argillaceous rocks from the Yiluo Basin (10⁻⁶)

样品	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	LREE/HREE	δCe	δEu	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N
P ₂ s-03	61.33	121.11	13.18	48.93	9.02	1.05	6.75	0.97	5.65	1.06	3.07	0.49	3.09	0.51	276.22	11.79	0.93	0.59	1.21	1.30
P ₂ s-07	51.68	106.86	11.71	44.77	9.12	1.41	7.22	1.15	7.05	1.38	3.94	0.56	3.64	0.59	251.08	8.84	0.95	0.76	1.01	1.18
P ₂ s-18	50.21	105.47	11.29	42.97	8.19	1.16	6.33	0.96	5.55	1.07	2.95	0.45	2.92	0.45	239.97	10.60	0.96	0.70	1.09	1.29
P ₂ s-20	31.85	61.12	7.21	27.66	5.59	1.17	4.63	0.73	4.59	0.88	2.60	0.36	2.44	0.39	151.22	8.10	0.88	1.00	1.02	1.13
P ₂ s-22	14.21	30.69	3.58	15.54	4.69	1.16	4.97	0.73	3.99	0.71	1.78	0.24	1.30	0.20	83.80	5.02	0.94	1.05	0.54	2.28
P ₂ s-24	15.86	31.96	3.74	16.38	4.69	1.02	4.49	0.60	3.33	0.61	1.52	0.20	1.25	0.18	85.85	6.04	0.90	0.98	0.60	2.13
P ₂ s-31	24.95	35.89	6.86	31.29	8.81	1.95	8.76	1.29	7.28	1.30	3.09	0.41	2.47	0.35	134.71	4.40	0.60	0.97	0.50	2.11
T ₁ l-45	25.09	49.84	5.71	21.90	4.62	0.76	3.73	0.56	3.47	0.68	1.93	0.27	1.73	0.25	120.53	8.56	0.91	0.81	0.97	1.29
T ₁ l-46	17.66	27.75	4.02	15.19	3.15	0.70	2.71	0.43	2.44	0.50	1.40	0.21	1.43	0.20	77.78	7.34	0.72	1.05	1.00	1.12
T ₁ l-47	11.36	21.92	2.55	9.71	1.95	0.40	1.64	0.27	1.54	0.30	0.91	0.13	0.87	0.14	53.70	8.26	0.89	0.99	1.04	1.13
T ₁ l-48	7.07	12.01	1.62	6.24	1.25	0.26	1.15	0.18	1.01	0.20	0.58	0.10	0.57	0.09	32.32	7.33	0.77	0.96	1.01	1.21
T ₂ h-49	35.10	64.44	8.14	32.04	6.49	1.31	5.73	0.91	5.68	1.14	3.12	0.47	2.94	0.48	167.99	7.21	0.83	0.94	0.96	1.16
T ₂ h-51	31.65	68.37	6.94	26.30	4.95	0.93	3.77	0.62	3.90	0.79	2.15	0.34	2.25	0.33	153.32	9.82	1.00	0.94	1.14	1.00
T ₂ h-50	37.17	73.69	7.95	28.59	4.69	0.89	3.73	0.60	3.78	0.80	2.23	0.34	2.31	0.35	167.12	10.82	0.93	0.93	1.41	0.96

从球粒陨石标准化稀土元素配分模式(图 2a)中可以看出,曲线 La-Sm 较陡, Eu 为低谷,具有明显的 Eu 负异常;曲线 Dy-Lu 段较平缓,整体具有典型沉积岩稀土配分曲线的特点。图 2b 为北美页岩标准化稀土分布图解,孙家沟组稀土元素整体富集,部分样品显示 Eu 负异常;刘家沟组泥质岩稀土元素含量北美页岩标准值显示样品稀土元素轻微亏

损,曲线较为平坦,样品显示 Eu 略正异常,这可能与物源混入少量深源物质有关;和尚沟组稀土曲线平坦,标准化值近似等于 1。各组泥质岩 NASC 标准化曲线显示孙家沟组部分样品 Eu 负异常明显,刘家沟组与和尚沟组样品曲线多表现为平坦,仅稀土元素含量相对不同,推断这一时期其物源可能主要来自上地壳。

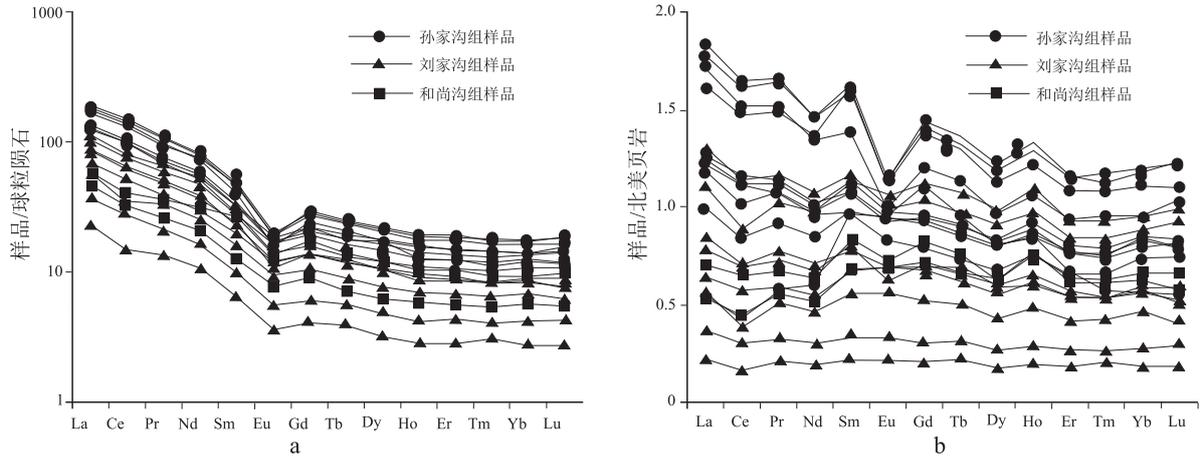


图 2 宜洛盆地二叠—三叠系泥质岩稀土元素球粒陨石标准化(a)及北美页岩标准化(b)配分模式图
(球粒陨石标准化数值取自 Boynton, 1984^[19];平均上地壳标准化数值据 Rudnik, et al, 2003^[20])

Fig. 2 Chondrite-normalized (a) and NASC-normalized (b) REE distribution patterns for the Permian to Triassic argillaceous rocks from the Yiluo Basin (Chondrite-normalized values from Boynton 1984; NASC-normalized values from Rudnik et al., 2003)

4 讨论

4.1 沉积物源属性分析

沉积岩中一些微量元素相对稳定,不易受到后期沉积成岩作用的影响,一旦被记录在岩石体系中,较为容易保存,成为研究岩石地质成因的地球化学指示剂^[7]。利用微量元素这一特性,通过分析沉积岩微量元素成分,可以较好地反映物源区构造演化背景和构造演化特征^[21]。前人通过对典型构造背景下碎屑岩地球化学元素组成研究建立了一系列判别图解,并且得到了地质学界的广泛认可和应^[22-23]。

La/Th-Hf 图解^[25]可用于分析物源区源岩属性,由图 3a 可以看出,宜洛盆地孙家沟组物源属性相对较为复杂,孙家沟组下部平顶山砂岩段样品落于被动大陆边缘位置,表明孙家沟组早期物源主要来自被动大陆边缘;孙家沟组土门段样品大部落在长英质源区和长英质、基性岩混合源区内,少量落在安山弧源右侧,具有物源混源型特征;刘家沟组样品 2

块落在长英质源,4 块落在长英质、基性岩混合源范围内,物源与孙家沟组物源有了较大不同;和尚沟组样品则位于长英质火山岩和增加古老沉积物范围内,具有一定比例的再旋回沉积物。Co/Th- La/Sc 判别图解和 La/Th-Hf 判别图解结果相似(图 3b),孙家沟组样品主要位于长英质火山岩范围,少量样品趋近于花岗岩和安山岩源区;刘家沟组样品大部位于长英质火山岩范围,有 1 块样品位于花岗岩范围;和尚沟组样品都位于长英质源区内。孙家沟组早期和刘家沟组样品 Co/Th 值普遍较小,平均值为 0.86,物源主要受酸性火山岩的影响。REE-La/Yb 判别图解(图 3c)可见刘家沟组样品大部落在花岗岩和沉积岩区域,孙家沟组和和尚沟组样品主要具有花岗岩的属性。

4.2 沉积物源区构造背景分析

沉积岩中稀土元素(REE)是非迁移的,在沉积岩中含量主要受物源区岩石组成控制,后期的风化、沉积成岩作用对其影响相对较弱^[7,25,32],其分布特征可以作为判别物源区构造背景的有效方法。

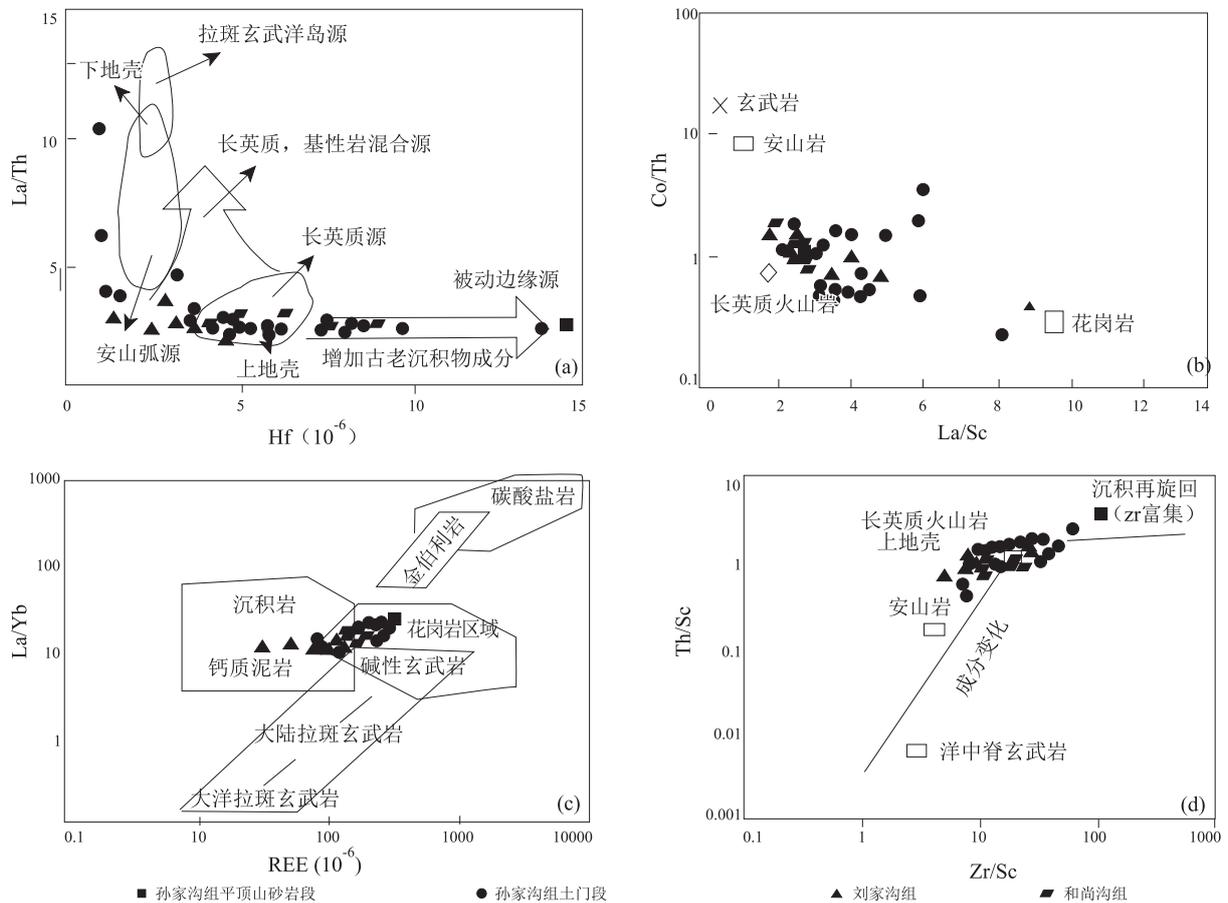


图3 宜洛盆地二叠—三叠系泥质岩源岩属性判别图解

(Hf-La/Th 图解据 Gu X X et al., 2002^[25]; La/Sc-Co/Th 图解据 Floyd et al., 1987^[26]; REE-La/Yb 图解据 Allee, 1978^[27]; Zr/Sc-Th/Sc 图解据 McLennan et al., 2003^[7])

Fig. 3 Discrimination diagram for the provenances of the Permian to Triassic argillaceous rocks from the Yiluo Basin

Bhatia 等(1986)通过研究沉积岩微量元素成分与板块构造环境的关系,把沉积岩物源区构造背景分为活动大陆边缘、被动大陆边缘、大陆岛弧和大洋岛弧4种类型^[23],并利用 Th-Co-Zr/10 与 Th-Sc-Zr/10 三角图进行了构造环境判别分析。

Th-Co-Zr/10 与 Th-Sc-Zr/10 判别图解(图4a、b)可以看出,孙家沟组样品主要落在被动大陆边缘区域、活动大陆边缘和大陆岛弧区域,表明物源区构造背景为被动大陆边缘、活动大陆边缘和大陆岛弧为主的环境;刘家沟组样品主要落在活动大陆边缘和大陆岛弧位置,另有1个样品落在被动大陆边缘区域,表明刘家沟组具有大陆岛弧和活动大陆边缘物源背景;和尚沟组样品物源构造背景较为单一,全部落在大陆岛弧区间。

Bhatia 等提出沉积岩中利用 La/Th 与 Th/U 的比值判别物源类型^[4],并提出当 Th/U 值约为 2.5 ~

3 时,其源岩主要为岛弧火山岩;Th/U 值约为 4.5 的范围时,物源主要以沉积岩为主同时可能有岛弧火山岩碎屑岩的混入;当 Th/U 值约为 6 时,可以认为其物源主要是再旋回沉积岩^[7]。由表 1 可知,宜洛盆地孙家沟组 Th/U 比值范围 2.03 ~ 5.55,平均值为 3.61,其中 Th/U 比值以 2.55 ~ 5.55 为主,表明物源以岛弧火山岩和沉积岩物源为主,同时有少量再旋回沉积岩的存在;刘家沟组 Th/U 值为 5.41 ~ 6.42,均值 5.85,和尚沟组 Th/U 比值范围 5.12 ~ 6.22,平均值 5.53,表明刘家沟组与和尚沟组物源风化程度较大,为沉积岩和再旋回沉积岩。

结合 Th/U 比值变化趋势与 La/Th-Hf 源岩属性判别图解,宜洛盆地上二叠统一下三叠统物源经历了被动大陆边缘为主-活动大陆边缘和大陆岛弧为主和被动大陆边缘为辅-大陆岛弧的演化过程。

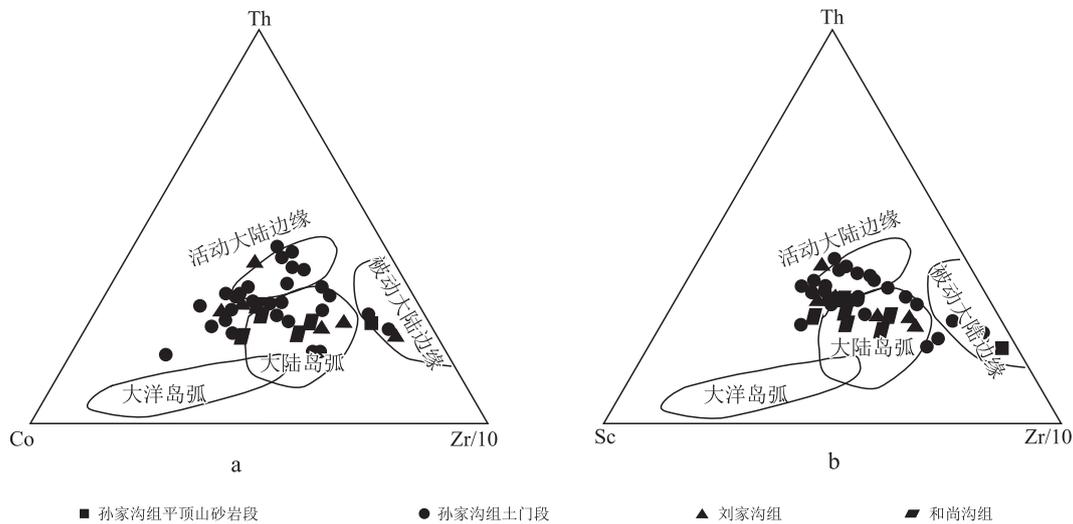


图4 宜洛盆地二叠系—三叠系物源区构造背景判别^[4]

Fig. 4 Discrimination diagram for the tectonic interpretation of the Permian to Triassic argillaceous rocks from the Yiluo Basin (after Bkatia et al, 1986)

4.3 大地构造意义

秦岭造山带构造演化史一直是国内外研究的热点。晚古生代—中生代北秦岭造山带依次经历了残留商丹洋盆关闭和强烈的陆内造山过程,但对于残留商丹洋盆关闭时间与过程尚存在争议^[9]。宜洛盆地是形成和发展伴随着秦岭造山带造山过程^[28],本文从盆山耦合的角度,通过对宜洛盆地物源与构造背景分析来很好地还原当时的构造演化过程。

稀土元素分析表明,上二叠统孙家沟组沉积物源来源多样,沉积物主要来自活动大陆边缘和大陆岛弧,少量来自被动大陆边缘。宜洛盆地位于华北克拉通南缘,克拉通本身可以提供被动大陆边缘沉积物,但是大陆岛弧沉积物难以越过弧后盆地进入宜洛盆地内部,可能此时早期大陆岛弧已经与华北克拉通拼接,发生“弧-陆”碰撞,向宜洛盆地提供物源。刘家沟组物源与孙家沟组物源构造背景属性基本相同,均主要为活动大陆边缘,并有少量被动大陆边缘沉积物;和尚沟组物源属性主要为大陆岛弧,这一时期样品普遍具有沉积再循环特征,有可能早期沉积物随造山带隆升过程中被剥蚀进入再循环的结果。

秦岭造山带由勉略缝合带、秦岭和商丹缝合带三部分构成。商丹洋盆在晚前寒武纪开始扩张并在寒武纪晚期开始向华北板块俯冲,并逐渐关闭洋

盆^[28];勉略洋盆扩张关闭时间较晚,在晚古生代勉略洋盆开始孕育发展,二叠纪—中三叠世之间向秦岭微地块俯冲碰撞,形成华北板块南缘活动大陆边缘构造环境。张国伟等(1996)在太白山和豫西西峡地区秦岭造山带内部发现了晚古生代俯冲碰撞型花岗岩体,如宝鸡(262Ma)、柞水(264Ma)等,这表明秦岭造山带碰撞时间不会晚于上二叠统孙家沟组时期^[30]。这一时期秦岭微地块向北俯冲克拉通基底,并逐步挤压商丹洋盆并促使洋盆关闭。洋盆中残留岛弧被推覆至华北克拉通南缘之上,表现为“弧-陆”碰撞形式。因此笔者推断,早古生代商丹洋盆与华北板块南缘俯冲碰撞形成的活动大陆边缘成为晚二叠世的主要物源。刘家沟组与和尚沟组物源具有再旋回沉积岩特征,结合北秦岭造山带构造特征,认为物源可能为二郎坪弧后盆地沉积物剥蚀再次旋回^[9,31]。

5 结论

(1)泥质岩稀土元素球粒陨石标准化曲线显示轻稀土元素富集,为右倾式曲线。元素Eu中度负异常,元素Ce轻微亏损,元素轻重稀土分异明显,符合上地壳稀土元素分布特征。

(2)泥质岩源区源岩属性判别图解显示,宜洛盆地物源以长英质岩为主,主要来自于上地壳,孙家沟组后期有少量古老地层混入。构造背景判别

图解显示,孙家沟组—刘家沟组沉积时期物源区主要形成在被动大陆边缘、活动大陆边缘和大陆岛弧构造背景中,和尚沟组则为大陆岛弧构造背景。物源经历了被动大陆边缘为主-活动大陆边缘主和被动大陆边缘为辅-大陆岛弧为主的演化过程。

(3)华北克拉通南缘和秦岭是宜洛盆地重要物源区,华北地台北部内蒙古隆起可能提供了一定量的物源。孙家沟组早期以克拉通内部物源为主,孙家沟组土门段之后南部秦岭物源供给明显,体现了华北克拉通南缘基底隆升,由被动大陆边缘向秦岭造山带初始“弧-陆”碰撞隆升的构造演化过程。

参考文献:

- [1] 许志琴,李廷栋,杨经绥,等. 大陆动力学的过去、现在和未来——理论与应用[J]. 岩石学报, 2008, 24(7):1433-1444.
- [2] 刘少峰,张国伟. 东秦岭-大别山及邻区盆-山系统演化与动力学[J]. 地质通报, 2008, 27(12):1943-1960.
- [3] 于炳松,裘愉卓. 贵州地区新元古代—三叠纪沉积岩中稀土元素地球化学特征与地壳演化[J]. 现代地质, 1998,(2):173-179.
- [4] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986, 92(2):181-193.
- [5] 王惠勇. 豫西洛阳-伊川地区晚古生代、早中生代沉积体系与岩相古地理恢复[D]. 青岛:山东科技大学, 2006.
- [6] 姚纪明,于炳松,陈建强,等. 中扬子北缘上侏罗统一白垩系沉积岩地球化学特征与构造背景分析[J]. 地球化学, 2009, 38(3):231-241.
- [7] McLennan S M, Hemming S, McDaniel D K, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics [J]. GSA Special Publication, 1993, 284:21-40.
- [8] 杜远生,殷鸿福,王治平. 秦岭造山带晚加里东-早海西期的盆地格局与构造演化[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1997, 22(4):401-405.
- [9] Dong Y, Santosh M. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China [J]. Gondwana Research, 2015, 29(1):1-40.
- [10] 张利伟,杨文涛,牛永斌. 河南宜阳地区陆相二叠系—三叠系界线附近微生物成因沉积构造特征及意义[J]. 地质论评, 2014, 60(5):1051-1060.
- [11] Chu D, Tong J, Bottjer D J, et al. Microbial mats in the terrestrial Lower Triassic of North China and implications for the Permian-Triassic mass extinction [J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 2017, 474:214-231.
- [12] 朱淑慧,白万备,乔雨. 潭头盆地恐龙化石埋藏层位古气候和物源分析[J]. 河南理工大学学报自然科学版, 2015, 34(6):784-790.
- [13] 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.
- [14] 郝奕玮,骆满生,徐增连,等. 华北陆块新元古代-中生代沉积盆地划分及其构造演化[J]. 地球科学, 2014, (8):1230-1242.
- [15] 吴智平,马在平,周瑶琪. 济源盆地三叠系与侏罗系界线地层沉积相及元素地球化学特征[J]. 中国石油大学学报自然科学版, 2002, 26(3):20-25.
- [16] 吴贤涛. 豫西济源-义马盆地浊流沉积中的痕迹化石及其环境意义[J]. 沉积学报, 1985, 3(3):23-31.
- [17] 陈世悦. 华北地块南部晚古生代至三叠纪沉积构造演化[J]. 中国矿业大学学报, 2000, 29(5):536-540.
- [18] 李明龙,郑德顺,戴光忠,等. 豫西济源盆地侏罗系泥质岩地球化学特征及其环境和物源示踪[J]. 地质学报, 2014, 88(2):228-238.
- [19] Boynton W V. Chapter 3—Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies [J]. Developments in Geochemistry, 1984, 2(2):63-114.
- [20] Rudnick R L, Gao S. Composition of the Continental Crust [A]. Treatise on Geochemistry [C]. Elsevier Ltd. 20014, 1-51.
- [21] Pratt L M, Comer J B, Brassell S C, et al. Geochemistry of organic matter in sediments and sedimentary rocks: text for short course No. 27 [J]. Sedimentary Geology, 1992, 27:1-27
- [22] Dean W E, Gardner J V, Piper D Z. Inorganic geochemical indicators of glacial-interglacial changes in productivity and anoxia on the California continental margin [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1997, 61(21):4507-4518.
- [23] Bhatia M R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones: Reply [J]. Geology, 1985, 93(1):85-87.
- [24] 和钟铨,王玉芬,侯伟. 漠河盆地中侏罗统砂岩地球化学特征及物源属性分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(4):93-100.
- [25] Gu X X, Liu J M, Zheng M H, et al. Provenance and Tectonic Setting of the Proterozoic Turbidites in Hunan, South China: Geochemical Evidence [J]. Journal of Sedimentary Research, 2002, 72(3):393-407.
- [26] Floyd P A, Leveridge B E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: Framework mode and geochemical evidence from turbidite sandstones [J]. Journal of the Geological Society, 1987, 144(4):531-542.
- [27] Allegre C T. Quantitative models of trace plant [J]. Earth Plant, 1978, 38(1):1-20.
- [28] 白斌,周立发,刘彬辉,等. 南华北上二叠统石千峰组物源与沉积环境分析[J]. 西北大学学报自然科学版, 2006, 36(3):461-466.
- [29] Yu H, Zhang H F, Li X H, et al. Tectonic evolution of the North Qinling Orogen from subduction to collision and

- exhumation: Evidence from zircons in metamorphic rocks of the Qinling Group [A]. 中国科学院地质与地球物理研究所 2015 年度[C]. 2016. 65 – 78.
- [30] 张国伟, 孟庆任. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学:地球科学, 1996, 26(3):193 – 200.
- [31] 杨文涛, 杜远生. 豫西济源盆地中生代泥岩地球化学特征对物源区的指示[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2017, (1):53 – 67.
- [32] 孙小勇, 牟传龙, 葛祥英, 等. 四川广元 – 陕西镇巴地区上奥陶统五峰组地球化学特征及沉积环境意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2016, 36(1):46 – 54.

Geochemical signatures and provenance analysis of the Upper Permian to Lower Triassic argillaceous rocks in the Yiluo Basin, western Henan

Qiao Yu, LI Zi-yuan, ZHENG De-shun, LIU Si-cong, XU Jiang-hong

(School of Resources and Environments, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, Henan, China)

Abstract: The sediment filling and evolution of the Yiluo Basin during the Late Permian to the Triassic resulted from the tectonic movement in the Qinlin orogen and the North China craton, and the provenance analysis is interpreted as one of the important tools for revealing the basin-mountain coupling processes. The geochemical signatures and provenance analysis are treated in the present paper for the Upper Permian to Lower Triassic argillaceous rocks from the Yiluo Basin, western Henan. The argillaceous rocks in the Yiluo Basin are characterized by the LREE enrichment, HREE depletion, moderate Eu anomaly and slight Ce depletion, indicating a dominant upper crust origin, with the mixtures of a small amount of ancient basement complexes in the Sunjiagou Formation. The tectonic settings of the provenances in the study area have gone through the transition from the passive continental margin (the lower member of the Sunjiagou Formation) through the active continental margin (the upper member of the Sunjiagou Formation and the Liujiagou Formation) to the continental island arc (Heshanggou Formation). The Qinlin orogen and the North China craton are believed to be the key provenances for the Yiluo Basin. The cratonic origin during the deposition of the lower member of the Sunjiagou Formation and Qinling origin after the deposition of the Tumen member of the Sunjiagou Formation in the Yiluo Basin indicate the basement uplift on the southern margin of the North China craton, and the tectonic evolution from the passive continental margin to the “arc-continent” collision and uplift of the Qinling block. The results of research in this study are helpful to the understanding of the coupling processes of the southern North China Basin and its surrounding orogenic zones.

Key words: provenance analysis; tectonic setting; Late Permian to Early Triassic; Yiluo Basin