

鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7段物源区分析

王若谷¹, 李文厚¹, 廖友运², 郭艳琴³, 刘昊伟⁴

WANG Ruo-gu¹, LI Wen-hou¹, LIAO You-yun², GUO Yan-qin³, LIU Hao-wei⁴

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

2. 中国煤炭地质总局航测遥感局遥感应用研究院, 陕西 西安 710054;

3. 西安石油大学油气资源学院, 陕西 西安 710065;

4. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

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

2. *Remote Sensing Application Institute of Aerial Photogrammetry and Remote Sensing of China Coal, Xi'an 710054, Shaanxi, China;*

3. *Institute of Oil and Gas Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, Shaanxi, China;*

4. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development of China, Beijing 100083, China*

摘要:随着鄂尔多斯盆地长7段油藏勘探的不断突破,对其物源方向和母岩区性质的分析尤显重要。三叠世延长期鄂尔多斯盆地周缘存在多个古陆,包括北缘的阴山古陆、西北缘的阿拉善古陆、西南缘的陇西古陆及南缘的祁连-秦岭古陆等,它们都是盆地碎屑沉积物的主要供给源。通过碎屑组分、岩屑组分、重矿物、微量元素和稀土元素分析等研究,认为研究区长7段存在东北、西北、西及西南、南部4个方向的物源。轻、重矿物组合综合分析认为,盆地北部母岩主要为太古宙—古生代中—深变质岩和中基性火成岩,西南及南部母岩主要为元古宙—古生代浅变质岩、碳酸盐岩和碎屑岩。微量及稀土元素分析表明母岩以大陆上地壳的长英质岩石为主,并混有一定数量的含长石较高的中—基性岩浆岩如安山岩、碱性玄武岩,母岩中大古代古老地层占有相当大的比重。

关键词:鄂尔多斯盆地;长7段;物源区分析;母岩性质

中图分类号:P534.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2013)04-0671-14

Wang R G, Li W H, Liao Y Y, Guo Y Q, Liu H W. Provenance analysis of Chang 7 Member of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin. *Geological Bulletin of China*, 2013,32(4):671-684

Abstract: Provenance analysis is the basis and prerequisite of depositional system and palaeogeography, and also provides to some extent the significant reference for forecasting and evaluation of sand body reservoirs. The analysis of source rock features and provenances is becoming more and more important in the exploration of Chang 7 reservoirs. During the period of Triassic, the ancient lands around Ordos Basin, including Yinshan Old Land on the north, Alxa Old Land on the northwest, Longxi Old Land on the southwest and Qilian-Qinlin Old Land on the south, were the main sources of the detrital sediments in the basin. With the help of the methods based on analysis of detrital minerals, cuttings, heavy minerals, trace elements and rare earth elements, four source directions can be found: northeast, northwest, west-southwest and south. The comprehensive analysis of light and heavy mineral combination characteristics shows that the source rocks of the northern study area are Archean to Palaeozoic mesometamorphic to hypometamorphic rocks and intermediate to basic igneous rocks, and those of the south and southwest areas are Proterozoic and Palaeozoic epimetamorphic

收稿日期:2012-05-16;修订日期:2013-03-26

资助项目:陕西省教育厅自然科学基金专项科研项目《鄂尔多斯盆地东南部延长组浊流沉积与油气富集规律研究》(编号:11JK0746)、国家自然科学基金项目《烃类逸散过程中的流-岩相互作用研究——以鄂尔多斯盆地为例》(批准号:40902042)和国家科技重大专项专题《鄂尔多斯盆地南部奥陶系碳酸盐岩成岩作用与储层演化及分布》(编号:2011ZX05005-004-008HZ)

作者简介:王若谷(1985-),女,在读博士生,从事沉积学及储层地质学研究。E-mail:wrg_8922@163.com

rocks, carbonate and clastic rocks. The analysis of trace elements and rare earth elements indicates that the source rocks are mainly felsic rocks derived from the upper crust, and also a quantitative of mixed rock of meta-intermediate-basic igneous rocks with high feldspar such as andesite and alkaline basalt. Archeozoic strata possess a considerable proportion in the source rocks.

Key words: Ordos Basin; Chang 7 member; provenance analysis; source rock feature

陆源碎屑沉积盆地物源分析主要涵盖2个方面的内容,一是主要物源区位置和物源方向,二是物源区母岩性质和岩石类型组合^[1]。碎屑沉积岩主要碎屑物成分记录了源岩的成分特征、岩石类型组合等方面的信息^[2-3]。陆源碎屑岩中轻矿物及岩屑成分、重矿物组分特征是母岩性质和岩石类型组合最直接的物质表现^[4-6];主量元素、稀土元素及某些微量元素能够有效地指示地质作用过程、物源区母岩性质、大地构造背景及物源区古化学风化特征^[3,7-9]。因此,物源区分析包括岩石、矿物、成熟度等方面的分析,亦包含主量元素、微量元素、稀土元素及同位素分析等^[10]。

三叠系延长组是鄂尔多斯盆地最主要的勘探层系,属典型的岩性-地层油藏。长7沉积期是鄂尔多斯盆地延长期湖盆发育的鼎盛时期,主要发育一套优质烃源岩^[11]。近年来,随着盆地勘探程度的不断提高,长7油藏发现了多个含油富集区,打破了“长7沉积水体较深、砂体规模小、物性差、不能形成规模油藏”的传统观念,具有形成自生自储式油藏的良好条件。因此确定长7油层组沉积时,物源方向和母岩区性质对确定储集砂体的几何形态和延伸方向,以及指导鄂尔多斯盆地长7油藏的勘探开发具有重要意义。

1 盆地周缘古陆基岩特征

晚三叠世鄂尔多斯盆地为典型内陆大型拗陷盆地,周缘存在多个古陆,持续为鄂尔多斯盆地提供物源^[12]。

盆地北缘、东北缘古陆包括阴山、大青山、乌拉山和狼山等古陆,基岩包括中、古太古界集宁群、新太古界乌拉山群、新太古界—古元古界阿拉善群、古元古界色尔腾山群及二道凹群、中元古界长城系渣尔泰山群、白云鄂博群,前寒武系结晶变质基底总厚度逾26km,以中深变质结晶岩系和和中基性火成岩为主^[13-14](图1,表1)。

盆地西北缘古陆为阿拉善地块,其地层包括古太古界千里山群,新太古界—古元古界阿拉善群,中元古界长城系诺尔公群、蓟县系巴音西别群、黄旗口

群,新元古界青白口系乌兰哈夏群以及石炭纪—二叠纪陆源沉积。岩性主要为碎屑岩类、浅变质岩类和混合花岗岩类^[15-16](图1,表1)。

西南缘古陆主要指陇西古陆及六盘山古陆,由古元古界秦岭群、中元古界陇山群、中、新元古界海原群、古生界香山群以及古生界—中生界海相—海陆交互相沉积岩组成^[17-18](图1,表2)。岩性以碳酸盐岩和浅变岩类为主,含少量酸性岩浆岩。

南缘剥蚀古陆形成于早古生代的加里东期,遭受剥蚀的时间相对较短,以北秦岭构造区隆起幅度最大。其地层主要为太古宇太华群,古元古界秦岭群,中、新元古界宽坪群和陶湾群,以及下古生界斜峪关群、云架山群、二郎坪群和丹凤群组成。太古宇基岩主要为花岗—绿片岩区和高级片麻岩区共同组成的中深变质、强烈岩浆活动和混合岩化的复杂变

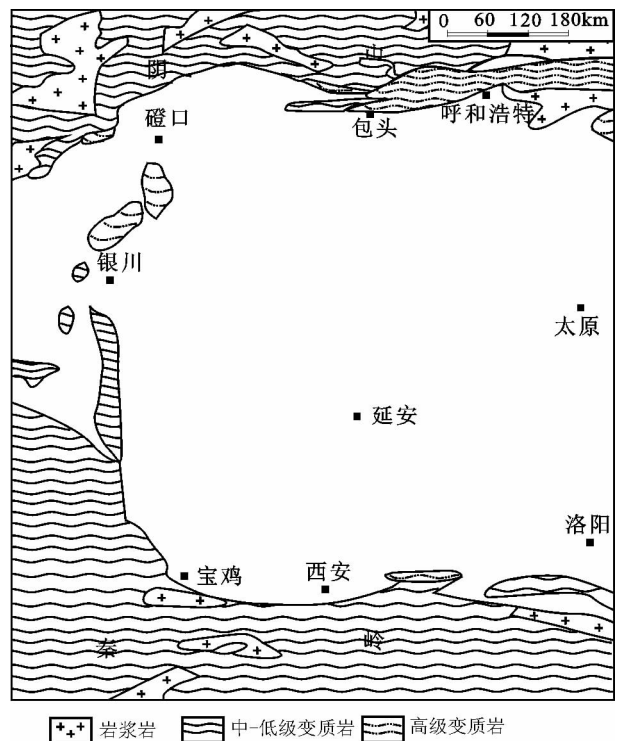


图1 鄂尔多斯盆地及周缘地区结晶基底露头分布(据参考文献[13]修改)

Fig. 1 Outcrops of crystalline basement rocks in Ordos Basin and neighboring areas

表 1 鄂尔多斯盆地北缘、西北缘源区岩性特征及构造环境(据参考文献[21]修改)

Table 1 Lithologic characteristics and tectonic settings of basement rock on the northern and northwest margin of Ordos Basin

北 缘、东 北 缘			西 北 缘		
地层	岩性组合	构造环境	地层	岩性组合	构造环境
中晚古生界	受西拉木伦河断裂控制南部靠近盆地一侧发育浅海—陆相碎屑岩沉积, 岩性主要为变玄武岩、变玄武安山岩, 砂泥岩、板岩、生物碎屑灰岩	陆内沉积	石炭系—二叠系	以陆源碎屑沉积岩为主, 局部见拉伸环境下的火山岩	陆缘沉积
奥陶系—志留系	晚志留世加里东期洋壳闭合, 俯冲结束, 海相、滨浅海相碎屑岩沉积	海相碎屑			
白云鄂博群	由石英岩、板岩、千枚岩及灰岩组成。北部拉伸裂谷巨厚层沉积, >3000m	裂谷沉积	乌兰哈夏群	轻微变质碎屑岩夹碳酸盐岩, 杂色板岩、泥灰岩、硅质板岩、白云质板岩。	海相沉积
渣尔泰山群	由砂砾岩、石英砂岩、石英岩、千枚岩、泥质板岩、结晶灰岩组成, 夹变质玄武岩、安山岩。北部拉伸裂谷巨厚层沉积, >3000m		黄旗口群	石英砂岩、粉砂岩质板岩、硅质白云岩、块状碎屑岩	
二道凹群	富铝石榴子石、十字石、蓝晶石片岩, 轻度混合岩化普遍, 原岩为滨浅海相陆源碎屑夹中基性火山岩, 变质程度属高绿片岩相至低角闪岩相, >1972m	增生陆壳	巴音西别群	浅变质碎屑岩、碳酸盐岩夹中性火山岩, 白云岩、板岩为主	裂谷沉积
色尔腾山群	角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩及变粒岩、石英岩和云母石英岩夹磁铁矿石英岩, 原岩为双峰式火山岩建造, 高绿片岩相到低角闪岩相, >10000m		诺尔公群	由砂砾岩、石英砂岩、石英岩、千枚岩、泥质板岩、结晶灰岩组成, 夹变质玄武岩、安山岩。北部拉伸裂谷巨厚层沉积, >3000m	
乌拉山群	黑云角闪斜长片麻岩、黑云斜长变粒岩, 石榴钾长变粒岩夹铁英岩, 透辉黑云斜长(钾长)片麻岩, 大理岩等, 角闪麻粒岩相, >4158m	古陆核	阿拉善群	黑云角闪斜长片麻岩、变粒岩等, 含钛铁矿结核, 混合岩化分带特征显著; 角闪岩相	增生陆壳
集宁群	砂线石榴钾长片麻岩、紫苏斜长片麻岩、大理岩和长英片麻岩组成的孔兹岩系, 大理岩、片麻岩中含石墨, 变质程度为角闪麻粒岩相, >9700m		千里山群	花岗片麻岩; 石榴黑云变粒岩、砂线石榴黑云浅粒岩、角闪黑云片麻岩、石榴长石英岩	

质岩系, 元古宇及下古生界主要为一套变火山—沉积岩系^[19-20](图 1, 表 2)。

2 物源区方向分析

2.1 砂岩轻矿物组分及成熟度分析

通过对鄂尔多斯盆地延长组长 7 段百余口取心井的岩心观察和薄片鉴定的统计得出, 其砂岩碎屑组分和成分成熟度在平面上具有明显的规律性和分区性(表 3): 大致沿盐池—定边—吴起—华池—张岔—富县—洛川—一线划分为东北与西、西南两大沉积体系(图 2)。其中东北部体系碎屑成分具高长石(26%~69%)、低石英(13%~45%), 不含或含少量白云

岩屑的特点, 其成分成熟度指数较低, 分布稳定, 主要分布区间为 0.3~0.4; 西、西南部沉积体系表现为高石英(25%~66%), 低长石(3%~38%), 高岩屑(14%~53%), 尤以白云岩屑含量明显偏高(3%~13%)为特点, 该区碎屑矿物成熟度整体较高, 成熟度指数主要分布区间为 0.6~1.2, 具有由盆地边缘向湖盆中心地区呈明显增大的趋势。此外, 西北部与东北部轻矿物组分特征类似, 但石英含量(28%~50%)有所升高, 长石(29%~54%)仅略高于石英含量。南部沉积体系与西、西南体系相似, 但岩屑含量明显降低(11%~41%)。湖盆中部石英、长石及岩屑含量均介于上述诸区之间。轻矿物的分区性表明研究区存在东

表2 鄂尔多斯盆地西南缘、南缘基岩岩性特征及构造环境(据参考文献[21]修改)

Table 2 Lithologic characteristics and tectonic settings of basement rock on the southern and southwest margin of Ordos Basin

西南缘			南缘		
地层	岩性组合	构造环境	地层	岩性组合	构造环境
古生界—中生界	海相-海陆交互相-陆相多期碳酸盐岩、碎屑岩沉积	海相-海陆交互相	晚古生界	陆相-海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积	海陆交互相
香山群	一套由板岩、细粉砂岩和砂岩组成的浊积岩系,其砂岩类型主要是长石石英砂岩、细粒石英砂岩和粉砂质石英砂岩夹火山岩	被动大陆斜坡	丹凤群	下部为混合片麻岩,中部为混合岩夹斜长角闪片岩、火山角砾熔岩,上部为细碧岩、枕状玄武岩夹结晶灰岩	裂谷环境
海原群	主要有绿帘阳起片岩、白云母石英片岩、大理岩、火山岩, >6700m	岛弧-弧后盆地	宽坪群	千枚岩、云母石英片岩、绿片岩、长英质变粒岩、斜长角闪岩、黑云斜长片麻岩,多混合岩化。原岩为基性火山岩、碎屑岩和碳酸盐岩	海相-火山岩系
陇山群	斜长角闪片岩、含磁铁矿石英片岩、黑云母石英片岩,原岩为基性火山岩夹碎屑岩	海相沉积	秦岭群	混合质石榴黑云斜长片麻岩、黑云二长混合片麻岩、斜长角闪岩夹大理岩、石英岩,石榴二云石英片岩,原岩为杂砂岩、泥质岩,低角闪岩相	浅海环境
秦岭群	混合质石榴黑云斜长片麻岩、黑云二长混合片麻岩、斜长角闪岩夹大理岩、石英岩,石榴二云石英片岩,原岩为杂砂岩、泥质岩,低角闪岩相	浅海环境	太华群	混合质片麻岩、二长质混合花岗岩夹斜长角闪岩、混合角闪斜长片麻岩、变粒岩等;原岩为花岗岩类;低角闪岩相、混合岩化强, >5000m	俯冲叠置

北、西北、西南和南部四大物源区,其中东北、西南物源占优势地位,中部地区为多物源供给的交汇地带。

2.2 砂岩岩屑组分分析

岩屑的类型及含量能够准确地反映物源区的岩性、风化作用的类型、程度及搬运距离^[22]。因此,通过对碎屑组分中的岩屑类型及其含量的分析,可得到有关物源方向和母岩性质的直接信息。根据岩屑含量的差异及岩屑类型的不同,可以将盆

地划分为五大区域(图3,表3):①定边—吴起—马家砭—直罗—黄陵一线以东,盆地东北部,岩屑含量总体偏低,属“变质岩岩屑+低岩浆岩岩屑”组合区;②山城—樊学以北,定边—王盘山以西,盆地西北部岩屑总体含量有所增高,“变质岩岩屑+岩浆岩岩屑”组合区;③耿湾—王洼子以南,庙沟—元城—上里塬—庆阳一线以西,盆地西部、西南部,以沉积岩岩屑,尤以白云岩岩屑含量的显著增加为主要特征,可延伸至吴起西部,影响范围较广,属“高变

表3 鄂尔多斯盆地延长组长7段轻矿物组分平均含量统计

Table 3 Average content of light minerals of Chang 7 member in Ordos Basin

区域	岩 屑						合计
	石英	长石	岩浆岩岩屑	变质岩岩屑	沉积岩岩屑	云母	
东北部	28.08	50.54	3.93	6.67	2.36	8.41	21.37
西北部	33.18	44.04	5.67	9.18	1.13	6.78	22.76
西、西南部	47.31	20.15	4.46	12.46	10.69	5.92	32.53
南部	49.98	27.28	4.49	8.72	4.60	4.92	22.73
中部	43.52	30.9	3.64	8.81	6.05	7.15	25.57

注:含量指这些组分在岩石中所占的体积百分含量(全文同)

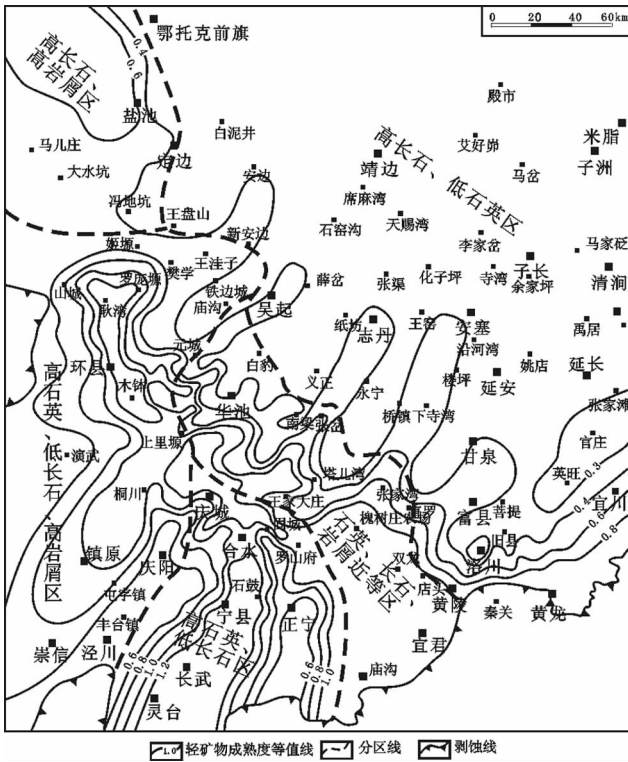


图 2 鄂尔多斯盆地延长组长 7 段轻矿物组分分布及成分成熟度等值线
 Fig. 2 Distribution of light mineral components and contour lines of compositional maturity in Chang 7 member of Ordos Basin

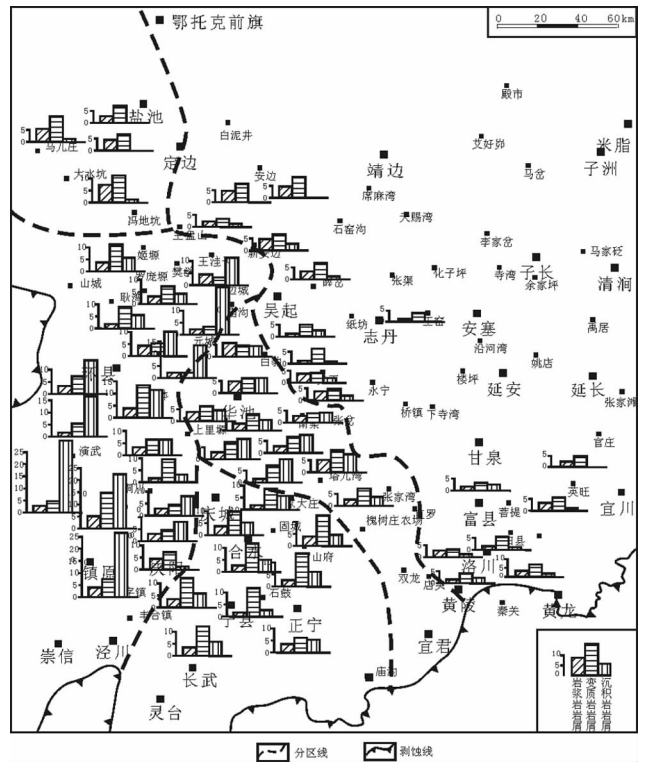


图 3 鄂尔多斯盆地延长组长 7 岩屑含量及其分布
 Fig. 3 Detritus content and distribution of Chang 7 member in Ordos Basin

质岩岩屑+高沉积岩岩屑”组合区;④庆城—庆阳—槐树庄农场以南,盆地南部,岩屑总体含量较高,白云岩岩屑含量较盆地西南部明显降低,灰岩岩屑含量自黄龙(0.39%)至铜川(0.51%)逐渐增高,属“高变质岩岩屑+沉积岩岩屑”组合区;⑤湖盆中部华池—塔儿湾一带,“高变质岩岩屑+沉积岩岩屑+岩浆岩岩屑”组合区,岩屑总体含量低于西南部而高于东北部,处于西南、南部及东北物源共同控制的地区。岩屑含量及其组合的不同,表明盆地主要受到北部和东北部“变质岩和岩浆岩母岩供给区”及西南部和南部“变质岩和沉积岩母岩供给区”影响。

2.3 重矿物及其组合特征分析

根据鄂尔多斯盆地延长组中期重矿物资料统计结果,重矿物主要为锆石(43%)、石榴子石(23%)、白钛矿(17%)、电气石(2.68%)、金红石(1.02%)及少量硬绿泥石、绿帘石及榍石。重矿物组合在平面上具有较明显的东西分异性,根据其差异性,可将研究区

大致划分为 5 个区(图 4,表 4)。①定边—薛岔—义正—张家湾—黄陵以东,即盆地东北部,为“锆石+石榴子石”组合区,偶见白钛矿;②鄂托克前旗—定边以西,大水坑—马儿庄以北,即盆地西北部,以高石榴子石含量为主要特征,可见少量的锆石及榍石;③大水坑—马儿庄以南,罗庞塬—华池—庆城—庆阳以西,盆地西、西南部,以白钛矿的出现为特征,重矿物组合为“锆石+白钛矿”,石榴子石含量明显降低;④庆阳—庆城—罗山府—庙沟以南,盆地南部地区,为“锆石+石榴子石+白钛矿”组合区,三者总含量占全部重矿物的 80%以上,锆石含量大于 40%;⑤吴起—华池—塔儿湾地区,湖盆中部,重矿物出现类别多,含量变化大,表明该区受多个物源影响,超稳定重矿物锆石含量相对较高(>50%),说明该区接近盆地的沉积中心。在 ZTR 含量等值线图, ZTR 含量自北东、北西、西南及南部 4 个方向向中部地区升高(图 4)。重矿物含量及组合的平面变化规律,显

表 5 鄂尔多斯盆地延长组长 7 段泥岩微量元素特征值

Table 5 Geochemical parameters of trace elements in mudstones of Chang member in Ordos Basin

特征元素比	上地壳*	下地壳*	洋壳*	东北部 (4)	西北部 (4)	西、西南 部 (15)	南部 (14)	中部 (10)
La/Sc	2.70	0.30	0.10	2.88	2.76	2.80	2.68	2.54
Sc/Th	1	34	1.73	0.96	1.12	0.96	1.07	1.03
Cr/Th	3.3	222	1227	4.86	8.24	5.05	5.40	5.10
Co/Th	0.9	33	214	1.22	2.01	1.49	2.31	1.47

注:带*数据据参考文献[7];括号内数据为样品数量

的地层发育多期基性火山岩,符合东北沉积区内中基性火山岩岩屑的母岩类型。

盆地西北部砂岩碎屑组分仍以长石含量最高,石英含量相较东北部有所增高,喷发岩和隐晶岩岩屑含量比较稳定,占岩屑总量的 15%以上,代表了源区火山岩的物质供应。变质岩岩屑以千枚岩及变质石英岩为主,对应西北缘阿拉善古陆太古宙—元古宙的混合花岗岩、侵入岩及浅变质岩岩系等。重矿物以“高石榴子石+锆石”组合为主,锆石及石榴子石磨圆度较高,指示沉积岩的母岩,对应源区元古宇巴音西别群及石炭系—二叠系。

盆地西南部砂岩骨架碎屑组分与北部明显不同,突出表现在:石英含量明显增高,尤其是受强烈构造应力形成的破碎石英、沉积旋回石英和源自花岗岩体的多晶石英所占的比例较高。长石含量降低,沉积岩岩屑大量出现,其中西南部白云岩岩屑占到岩屑总量的 30%以上,千枚岩、板岩等浅变质岩岩屑和石英岩岩屑占岩屑总量的 20%左右,喷发岩岩屑占岩屑总量的 15%以上,说明西南部母岩应存在大量碳酸盐岩、浅变质岩岩系,并有

火山岩物质供应。重矿物组合以高锆石和白钛矿,低石榴子石为特征,均具有不同程度的磨圆。白钛矿主要来自变质岩母岩,锆石(圆)应来自沉积岩母岩区。轻重矿物组合与盆地西南缘陇西古陆元古宇陇山群和海原群中、浅变质岩系及古生界海相—海陆交互相—陆相多期碳酸盐岩、碎屑岩沉积有较好的对应关系。

盆地南部轻矿物组合与西南部相似,石英含量高,颗粒圆滑且自生加大边明显。千枚岩、变质砂岩及石英岩等浅变质岩岩屑占岩屑总量的 35%以上。白云岩和灰岩岩屑占岩屑总量的 20%以上,灰岩岩屑自黄龙地区零星出现,至铜川一带大量富集,指示了南缘源区稳定碳酸盐岩物质的供应。锆石、石榴子石、白钛矿为主要重矿物,其次为金红石及电气石,且锆石及电气石存在一定程度的磨圆。锆石(圆)、金红石、电气石(圆)和颗粒圆滑并具有次生加大边的石英及含量较高的沉积岩岩屑指示了沉积岩母岩区,对应北秦岭地区晚古生界陆源碎屑岩及碳酸盐岩地层。大量的浅变质岩岩屑的出现与中元古界宽坪群中浅变质岩岩系吻合。

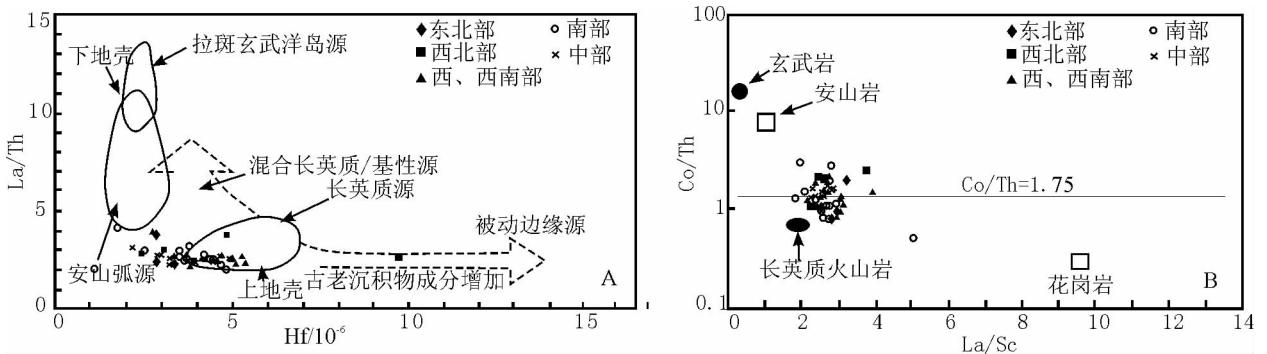


图 5 鄂尔多斯盆地延长组长 7 段泥岩 La/Th-Hf 和 Co/Th-La/Sc 源岩判别图解(底图据参考文献[28])

Fig. 5 La/Th-Hf and Co/Th-La/Sc discrimination diagram for provenance of Chang 7 member in Ordos Basin

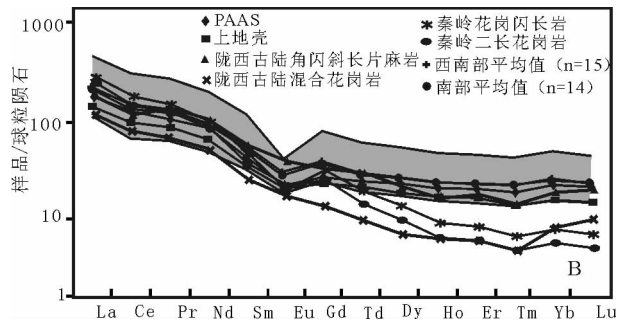
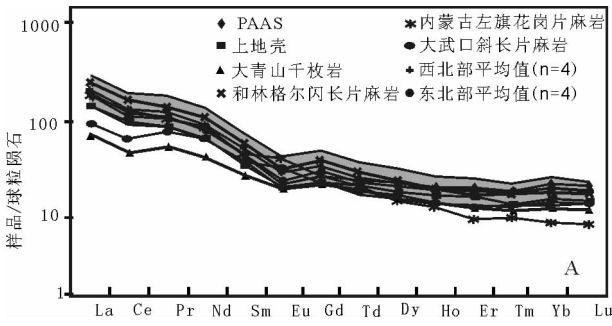


图 6 鄂尔多斯盆地延长组长 7 段泥岩及周缘古陆岩浆岩、变质岩 REE 分布模型
 Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of Chang 7 member mudstones in Ordos Basin as well as magmatite and metamorphic rocks of ancient lands around the basin

3.2 微量元素地球化学特征分析

不同的岩石组合其微量元素分布丰度也具有不同的分配状态和类型。泥岩中的微量元素可以提供有关沉积岩物源属性的信息。例如,长英质岩石中 La 和 Th 含量较基性岩中高,而 Co、Sc 和 Cr 则富集于基性岩中。由于这些元素在风化过程中相对稳定,其比值很适合于指示物源的组成^[7,23-25]。本次研究在鄂尔多斯盆地不同地区长 7 油层组中采集了 57 个样品,样品均为泥岩,这样可减少或消除机械分异对沉积物成分的影响^[26],也可减少取样差异带来的倾向性。样品测试在西北大学大陆动力学教育部重点实验室完成,微量元素与稀土元素采用 PE 公司的新一代 ELAN6100DRC ICP-MS 等离子体质谱仪进行样品测定,具有 8 个数量级的动态线性范围,可准确测定 10⁻⁶~10⁻¹² 范围内微量、稀土元素的含量。仪器工作参数:Power:1350w;Nebulizer gas:0.86L/min;Auxiliary gas:0.8L/min;Plasma gas:15L/min,离子透镜采用 AutoLens。HNO₃ 和 HF 均为由优级纯酸经亚沸蒸馏装置制得的高纯试剂,水为 Millipore 制得的高纯水。

样品的元素特征比值与大陆上地壳的特征值接近,而与大陆下地壳和洋壳的特征值相差甚远(表 5~表 7),表明物源应来自于大陆上地壳;Wronkiewics 等^[27]认为沉积物在没有经过再旋回沉积的情况下,利用 La/Th-Hf 和 La/Sc-Co/Th 可以区分镁铁质/超镁铁质和长英质组分,研究区泥岩样品判别图解(图 5-A)显示,盆地样品主要位于上地壳平均成分附近,大多数样品落在长英质和基性岩

混合区,以及长英质源区附近,1 个样品落在安山岩岛弧区边部,1 个样品落在长英质源区的右侧,表明有古老沉积物的混入。由此可见,源区属性主要为上地壳环境,原岩成分主要为长英质。在 La/Sc-Co/Th 图解上,Co/Th 比值平均为 1.75,高于长英质火山岩而低于安山岩。而 La/Sc 的比值多高于长英质火山岩,低于花岗岩。反映源岩介于长英质岩与安山岩之间,并有安山质岩石和花岗岩的混入。这与图 5-A 分析的结果一致,说明研究区原始物质来自上

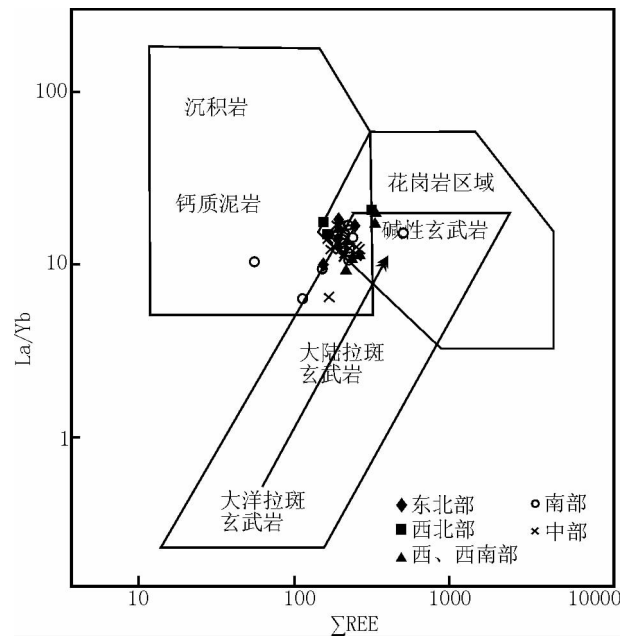


图 7 鄂尔多斯盆地延长组长 7 段泥岩在 La/Yb-ΣREE 图解中的分布(底图据参考文献[32])

Fig. 7 Distribution of Chang 7 member mudstones samples in La/Yb-ΣREE diagram of Ordos Basin

表 6 鄂尔多斯盆地东北、西北及西南部延长组长 7 段泥岩微量元素地球化学数据
 Table 6 Geochemical data of trace element in mudstones of Chang 7 member in northeast, northwest and southwest Ordos Basin

区域 样号	东					西					北					西					南				
	D2-3	W7-5	W8-3	H8-6	H3	H4	G276-6	D1	H1	H2	H70-1	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5-2	H124-2	ZH97-5	X163-5	L1	L2-1	L2-2	L2-3		
Li	59.0	53.8	25.6	54.2	35.0	69.9	43.5	36.7	92.7	27.2	58.5	96.8	44.3	46.7	43.5	43.4	36.1	56.5	46.5	51.3	53.4	49.0	50.3		
Be	3.3	4.2	2.0	4.8	2.7	3.6	4.0	2.9	5.6	3.6	3.3	4.7	4.3	3.0	3.7	2.7	2.9	4.2	3.3	3.4	5.7	4.5	3.6		
Sc	15.5	15.4	9.7	18.5	13.2	20.8	14.9	17.5	24.1	12.3	15.1	22.0	19.0	14.5	18.6	14.7	14.7	18.5	19.8	18.0	19.0	17.7	18.3		
V	128.6	99.9	56.2	127.4	115.1	133.8	104.6	115.4	164.6	74.5	145.1	146.0	133.6	119.1	127.5	99.8	102.3	131.8	136.4	119.7	137.1	119.3	124.3		
Cr	86.2	74.4	48.4	92.4	80.1	88.3	212.1	67.1	124.8	58.5	83.8	108.8	97.6	78.5	132.1	71.9	80.6	102.2	93.7	87.5	94.6	90.3	88.6		
Co	18.8	14.7	16.7	20.0	26.1	20.9	26.2	44.5	22.1	31.5	17.6	32.9	34.5	23.8	29.1	28.0	22.4	24.6	21.2	39.4	23.3	28.1	29.8		
Ni	45.1	30.4	22.3	32.7	42.9	38.7	149.0	46.1	47.3	22.3	43.1	52.9	40.6	36.5	59.4	36.9	38.5	50.3	37.5	44.5	44.4	39.6	44.4		
Cu	62.4	50.4	27.4	45.3	60.0	32.6	69.5	44.4	44.4	25.4	62.7	55.3	40.6	40.3	41.5	37.9	51.0	37.4	36.3	43.9	46.0	42.7	45.0		
Zn	129.0	132.0	73.0	98.1	110.8	79.2	99.6	109.0	66.2	58.9	83.6	99.2	72.2	91.0	69.7	77.8	89.6	81.2	73.7	102.4	98.9	85.3	97.9		
Ga	26.5	27.0	13.8	28.3	23.4	22.8	25.1	23.9	35.5	20.1	21.9	28.4	24.2	22.1	23.9	18.8	23.5	26.2	22.5	23.9	27.2	26.8	23.8		
Ge	1.8	1.7	1.2	1.6	1.6	1.8	1.8	1.5	2.3	1.5	1.6	2.4	1.7	1.3	1.7	1.3	1.3	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.6		
Rb	193.4	211.0	95.1	200.6	129.3	145.8	151.9	141.4	240.7	176.0	140.7	248.2	161.8	163.6	159.3	150.7	121.3	177.1	152.9	175.6	230.3	206.6	177.1		
Sr	239.0	335.1	245.5	249.4	356.7	181.3	345.5	383.1	244.4	115.0	118.2	84.8	105.2	197.4	116.9	84.9	399.8	115.3	155.7	136.9	121.4	146.4	131.1		
Y	25.5	22.5	32.2	29.3	19.3	31.3	20.8	37.1	37.8	34.6	28.4	33.9	29.3	28.0	31.9	25.9	22.7	29.7	35.7	34.1	30.7	38.6	35.2		
Zr	116.7	99.9	106.4	146.2	91.6	152.5	118.2	191.8	183.1	208.0	139.4	130.1	195.0	159.4	204.5	145.4	105.1	157.4	174.8	178.7	139.5	191.8	194.2		
Nb	15.2	14.1	8.6	19.5	11.2	16.6	13.0	12.9	20.9	15.5	14.4	16.0	16.0	14.4	16.3	13.3	11.8	15.3	14.5	16.4	15.0	17.4	16.4		
Cs	14.7	13.1	6.1	11.9	6.6	9.3	6.6	6.8	16.9	9.7	9.9	16.8	8.9	10.1	9.0	7.3	5.5	10.7	8.3	10.3	16.6	15.1	11.4		
Ba	674.3	697.7	566.0	784.8	998.9	530.9	994.0	1111.6	761.0	356.2	534.9	397.1	474.6	588.2	556.8	425.8	1095.3	689.4	654.1	718.9	799.3	777.9	668.3		
La	39.3	43.4	31.4	55.1	34.1	46.6	36.7	65.8	71.0	48.4	46.0	66.9	45.4	44.5	50.4	39.4	40.4	46.3	42.7	46.8	46.1	55.4	48.2		
Ce	75.9	76.8	57.8	99.9	61.5	88.4	65.9	128.1	134.1	91.0	91.2	130.6	82.8	83.8	93.2	74.1	78.9	85.2	83.2	91.0	87.1	104.3	92.9		
Pr	9.1	8.7	7.0	11.5	7.4	10.2	7.7	15.3	15.4	10.6	10.4	15.2	9.7	9.7	10.9	8.7	9.0	9.9	9.7	10.6	10.0	11.7	10.7		
Nd	32.6	30.3	26.4	40.9	26.9	37.8	28.2	57.2	55.1	38.4	37.4	57.4	35.1	35.5	39.6	32.1	32.6	34.7	36.4	39.1	36.8	42.5	39.8		
Sm	6.3	5.5	5.1	7.2	5.0	7.4	5.3	10.7	9.6	7.6	7.1	11.2	6.8	6.9	7.6	6.2	6.1	6.6	7.5	7.7	7.0	8.1	7.8		
Eu	1.2	1.2	1.0	1.4	1.1	1.4	1.2	2.1	1.8	1.2	1.4	2.0	1.4	1.3	1.5	1.2	1.5	1.3	1.6	1.5	1.3	1.4	1.5		
Gd	5.5	4.8	4.9	6.1	4.1	6.5	4.6	8.9	7.8	6.9	6.1	8.9	6.0	6.0	6.7	5.4	5.4	5.8	7.1	6.9	6.2	7.3	7.0		
Tb	0.8	0.7	0.7	0.8	0.6	0.9	0.6	1.2	1.0	1.0	0.9	1.2	0.8	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0		
Dy	4.5	3.9	4.4	5.0	3.3	5.4	3.7	6.9	6.5	5.9	5.2	6.6	5.1	5.1	5.6	4.6	4.2	5.1	6.2	5.9	5.2	6.3	6.0		
Ho	0.9	0.8	1.0	1.1	0.7	1.1	0.8	1.4	1.4	1.3	1.1	1.3	1.1	1.1	1.2	1.0	0.9	1.1	1.3	1.2	1.1	1.4	1.3		
Er	2.6	2.4	2.7	3.0	1.9	3.2	2.1	3.6	4.0	3.5	2.9	3.5	3.0	2.9	3.3	2.6	2.4	3.0	3.5	3.4	3.1	3.9	3.5		
Tm	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5		
Yb	2.5	2.3	2.4	3.1	1.9	3.1	2.2	3.2	3.9	3.5	2.8	3.3	3.0	2.8	3.2	2.5	2.3	3.0	3.4	3.3	3.0	3.8	3.3		
Lu	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5		
Hf	3.4	2.9	2.9	4.2	2.4	3.9	3.1	4.9	4.7	5.4	3.7	3.4	5.0	4.2	5.3	3.7	2.8	4.3	4.5	4.6	3.8	5.1	5.0		
Ta	1.1	1.1	0.6	1.5	0.7	1.2	0.8	1.0	1.6	1.3	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.0	0.7	1.2	1.1	1.2	1.2	1.4	1.2		
Pb	33.5	30.1	16.8	34.4	37.3	28.2	35.4	47.3	33.2	25.8	33.1	36.8	18.4	28.1	19.4	18.2	32.1	29.3	25.0	30.8	31.1	33.3	29.0		

10⁻⁶

续表 6

区域 样号	东					北					西					南							
	D2-3	W7-5	W8-3	H8-6	H3	H4	G276-6	D1	H1	H2	H70-1	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5-2	H124-2	ZH97-5	XI63-5	L1	L2-1	L2-2	L2-3
Th	17.5	17.8	8.3	20.7	12.0	18.9	12.0	17.2	25.7	20.4	17.8	24.7	18.0	17.3	18.7	14.1	10.0	18.0	16.8	19.2	21.3	24.0	18.6
U	5.8	3.2	2.0	4.4	2.5	4.2	4.3	5.0	4.9	4.0	9.9	5.9	3.6	4.9	3.8	2.9	2.4	4.1	3.9	3.9	6.1	5.1	3.9
La/Th	2.2	2.4	3.8	2.7	2.8	2.5	3.1	3.8	2.8	2.4	2.6	2.7	2.5	2.6	2.7	2.8	4.0	2.6	2.5	2.4	2.2	2.3	2.6
La/Sc	2.5	2.8	3.2	3.0	2.6	2.2	2.5	3.8	2.9	3.9	3.0	3.0	2.4	3.1	2.7	2.7	2.7	2.5	2.2	2.6	2.4	3.1	2.6
Co/Th	1.1	0.8	2.0	1.0	2.2	1.1	2.2	2.6	0.9	1.5	1.0	1.3	1.9	1.4	1.6	2.0	2.2	1.4	1.3	2.1	1.1	1.2	1.6
Sc/Th	0.9	0.9	1.2	0.9	1.1	1.1	1.2	1.0	0.9	0.6	0.8	0.9	1.1	0.8	1.0	1.0	1.5	1.0	1.2	0.9	0.9	0.7	1.0
Cr/Th	4.9	4.2	5.9	4.5	6.7	4.7	17.7	3.9	4.9	2.9	4.7	4.4	5.4	4.5	7.1	5.1	8.0	5.7	5.6	4.6	4.4	3.8	4.8
Co/Th	1.1	0.8	2.0	1.0	2.2	1.1	2.2	2.6	0.9	1.5	1.0	1.3	1.9	1.4	1.6	2.0	2.2	1.4	1.3	2.1	1.1	1.2	1.6
ΣREE	181.9	181.3	145.6	236.1	305.3	148.9	212.8	159.7	312.8	220.2	213.2	309.2	201.2	201.3	225.0	179.4	185.0	203.8	204.6	219.4	208.7	248.2	224.0
LREE	164.4	165.8	128.7	216.1	279.2	135.9	191.7	145.0	287.0	197.1	193.4	283.4	181.2	181.8	203.1	161.7	168.5	183.9	181.1	196.7	188.4	223.4	201.0
HREE	17.5	15.5	16.9	20.0	26.1	13.0	21.1	14.7	25.7	23.1	19.8	25.8	20.0	19.5	21.9	17.7	16.6	19.8	23.5	22.7	20.3	24.8	23.0
LREE/HREE	9.4	10.7	7.6	10.8	10.7	10.5	9.1	9.9	11.1	8.6	9.8	11.0	9.0	9.3	9.3	9.1	10.2	9.3	7.7	8.7	9.3	9.0	8.7
(Gd/Yb) _N	1.6	1.5	1.5	1.4	2.0	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.6	2.0	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	1.4	1.5	1.6	1.5	1.4	1.6
(La/Yb) _N	9.5	11.1	7.8	10.7	12.3	10.8	9.0	10.0	10.9	8.3	9.7	11.9	8.9	9.5	9.3	9.2	10.4	9.3	7.5	8.5	9.2	8.6	8.7
(La/Sm) _N	3.9	4.9	3.8	4.8	3.9	4.3	4.0	4.4	4.6	4.0	4.0	3.7	4.2	4.0	4.1	4.0	4.2	4.4	3.5	3.8	4.1	4.3	3.9
Gd/Yb	2.2	2.1	2.0	2.0	2.8	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.2	2.7	2.0	2.2	2.1	2.1	2.4	2.0	2.1	2.1	2.1	1.9	2.1
δEu	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.8	0.7	0.5	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6

地壳,并受以长英质岩石为主,混合有含长石较高的中—基性岩浆岩,如安山岩、碱性玄武岩和古老沉积物的混合物源的影响。

3.3 稀土元素地球化学特征分析

稀土元素主要受物源区母岩矿物组成^[9,29]的影响,可代表物源区母岩的稀土元素富集特征^[30]。沉积岩中的稀土元素配分模式通常反映其源岩的REE分配模式。稀土元素组合及其比值的变化更能反映物源区的母岩性质。

$\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 和 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 在一定程度上反映了稀土元素的分异程度, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 比值反映轻稀土元素之间的分馏程度,该比值越大说明轻稀土元素越富集; $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值反映重稀土元素之间的分馏程度,该比值越小则重稀土元素富集程度越高^[31]。源自上地壳的稀土元素具有富集轻稀土元素、重稀土元素含量稳定和Eu负异常等特征。如果组成泥岩的碎屑母岩源自上地壳,泥岩中稀土元素的分布形态应与上地壳中的稀土元素特征相一致^[8]。

通过对盆地长7段泥岩样品稀土元素地球化学分析(表6~表8)可以看出,稀土元素总量为 $55.4\times 10^{-6}\sim 469.0\times 10^{-6}$,平均为 210.3×10^{-6} ,均高于大陆上地壳(UCC)^[7]平均值(148.14×10^{-6})和澳大利亚后太古宙页岩(PAAS)^[8]平均值(184.77×10^{-6}),显示研究区泥岩总体上具有相对较高的稀土元素质量分数。泥岩样品稀土元素分布曲线相互平行,其分布模式不变,具有与澳大利亚后太古宙页岩(PAAS)和大陆上地壳(UCC)一致的稀土分配模式^[8](图6)。泥岩轻重稀土元素比值 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 为6.26~11.15,平均为9.31; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值为5.80~12.26,平均值9.30; $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 比值为3.55~4.93,平均值4.13; $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值为1.19~2.04,平均值1.53;Eu中度亏损, δEu 值为0.39~0.79,平均值0.65。显示轻重稀土元素分异明显,轻稀土元素富集,重稀土元素相对亏损,Eu呈负异常特征。根据稀土元素总量与La/Yb比值进行投影,大部分数据点落在沉积岩区,以及碱性玄武岩和花岗岩的交会区(图7)。综合上述分析表明,盆地长7段源岩主要来自大陆上地壳的长英质岩石为主,

表 7 鄂尔多斯盆地南部、中部延长组长 7 段泥岩微量元素地球化学数据
Table 7 Geochemical data of trace element in mudstones of Chang 7 member in south and central parts of Ordos Basin

10⁻⁶

区域 样号	南 部														中 部													
	NI	N2	N4-1	N4-2	N5-1	N5-2	Z1	N44-2	Z81-2	T15-1	Z11-4	Z12-1	Z12-3	Z71-2	B602-4	B456-4	Z30-5	C103-3	B297-5	Z47-3	B1	B2	B3-1	B3-2				
Li	51.8	47.0	34.2	14.8	50.8	53.9	63.6	13.3	43.7	58.2	51.0	54.4	47.2	48.9	32.8	60.8	73.9	45.1	72.9	59.8	45.2	48.5	73.0	54.5				
Be	3.5	6.1	3.1	1.8	4.1	4.0	3.4	4.6	4.5	4.6	3.1	3.7	3.6	5.2	3.2	5.4	3.2	3.2	6.0	5.4	4.5	3.3	4.0	3.4				
Sc	17.4	20.5	15.6	6.2	19.3	20.2	16.2	9.1	22.0	17.0	18.5	18.7	15.8	18.8	13.1	20.2	15.6	20.3	22.7	18.5	14.2	19.9	20.4	16.8				
V	117.9	121.4	155.8	41.7	136.0	144.0	115.8	340.9	148.3	121.2	119.9	135.7	109.1	123.0	114.9	155.9	116.8	142.3	172.1	159.8	91.6	133.7	137.0	120.1				
Cr	85.7	87.0	62.6	38.2	108.8	112.3	80.8	39.0	113.4	100.9	84.3	104.5	84.9	86.0	59.7	104.4	89.3	100.5	119.4	103.1	72.3	97.5	95.4	62.9				
Co	20.8	20.6	41.2	17.6	21.1	31.3	21.6	78.2	24.2	30.2	16.9	15.0	18.2	15.7	19.5	26.7	19.7	29.9	37.1	20.3	24.6	27.7	23.3	29.2				
Ni	37.4	34.7	47.1	21.0	33.5	50.2	35.4	45.5	37.9	44.6	36.5	31.8	33.6	34.1	41.1	63.9	39.9	49.7	118.0	38.3	38.6	43.3	47.7	39.7				
Cu	40.8	46.6	131.8	15.8	46.2	50.0	37.8	182.5	67.8	63.5	40.2	40.1	48.0	49.3	93.4	97.6	35.4	46.9	72.4	90.2	42.2	46.2	70.7	122.2				
Zn	109.9	108.2	96.1	22.2	82.2	85.3	85.8	76.0	89.2	126.7	83.5	76.3	78.4	76.0	100.7	85.6	73.7	85.5	77.8	99.4	109.5	97.6	71.8	95.2				
Ga	23.2	32.8	19.2	7.6	28.4	28.6	24.7	11.6	27.9	29.6	22.9	25.5	22.6	27.5	22.4	31.4	21.5	23.7	33.2	30.6	23.8	24.7	27.3	22.5				
Ge	1.7	1.5	1.7	0.5	1.8	2.0	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.7	1.5	1.8	1.7	2.1	1.8	1.8	1.8	1.9	1.5	1.8	2.0	1.6				
Rb	194.9	172.8	135.3	50.2	201.4	217.0	177.9	58.5	163.7	150.0	167.5	192.1	180.2	219.6	141.3	190.8	158.7	159.5	200.3	222.0	159.2	170.5	197.4	151.6				
Sr	130.9	220.1	134.4	199.8	184.3	154.8	137.2	170.4	254.4	245.5	259.1	268.0	236.7	245.6	319.1	154.4	142.8	249.4	150.4	236.7	233.7	180.7	148.9	208.1				
Y	33.6	63.6	33.8	9.7	32.1	34.4	31.2	28.9	32.8	26.6	23.3	30.2	24.6	27.3	25.8	30.0	26.3	37.5	34.6	23.1	24.2	33.7	34.0	37.6				
Zr	167.7	365.9	101.2	41.6	182.5	179.5	167.9	109.8	128.5	142.1	129.1	148.0	133.5	121.4	78.7	135.5	121.3	173.2	160.7	109.8	114.5	190.9	141.4	114.7				
Nb	15.7	40.4	9.1	4.1	18.0	19.2	16.1	8.5	13.6	16.8	11.4	16.9	16.4	15.0	9.2	14.4	14.0	16.1	18.0	15.1	12.7	17.4	15.2	10.7				
Cs	13.4	12.0	12.0	3.7	16.0	14.6	11.4	3.2	10.3	7.4	9.0	13.4	10.5	14.2	8.6	12.8	12.0	9.6	13.5	16.3	8.6	10.4	15.1	14.3				
Ba	672.0	917.8	503.6	355.9	765.5	768.6	409.8	338.6	933.1	849.8	584.0	647.2	623.7	889.4	695.4	737.5	507.0	751.6	737.9	1060.5	802.5	805.8	668.2	511.2				
La	47.7	102.9	43.2	12.2	48.6	48.7	46.9	24.5	45.7	46.4	33.6	50.2	41.0	48.8	37.3	45.9	37.1	52.0	51.9	46.3	40.8	51.7	49.1	45.5				
Ce	92.3	201.0	79.0	22.4	91.4	91.7	89.7	41.8	88.6	87.0	60.5	93.0	77.7	89.3	65.1	83.9	68.7	107.7	103.8	80.6	76.2	98.9	91.2	80.6				
Pr	10.7	22.5	9.6	2.6	10.3	10.3	10.4	5.1	10.3	10.4	7.0	10.7	9.1	10.4	7.9	9.6	7.8	12.2	11.7	9.4	9.0	11.5	10.8	9.7				
Nd	39.8	81.6	36.9	9.8	37.4	37.3	38.1	19.8	36.9	37.9	25.1	38.6	32.8	37.6	29.4	34.0	28.2	45.1	41.9	33.3	33.4	41.8	38.7	35.9				
Sm	7.8	15.8	7.4	1.9	6.9	6.9	7.3	4.3	7.2	6.8	4.7	6.9	6.1	6.7	5.7	6.6	5.6	8.7	7.7	6.0	6.4	8.0	7.9	7.0				
Eu	1.5	1.8	1.5	0.4	1.3	1.3	1.3	0.9	1.7	1.5	1.0	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	1.1	1.8	1.4	1.2	1.3	1.5	1.5	1.4				
Gd	7.0	13.8	6.6	1.8	6.1	6.3	6.4	4.2	6.6	5.8	4.3	5.9	5.3	5.5	5.2	5.9	5.1	8.0	6.7	4.8	5.4	7.0	7.1	6.3				
Tb	1.0	1.9	0.9	0.3	0.9	0.9	0.9	0.6	0.9	0.8	0.6	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	1.1	1.0	0.7	0.7	1.0	1.0	0.9				
Dy	5.9	11.1	5.4	1.6	5.3	5.7	5.5	3.9	5.5	4.6	3.8	5.0	4.4	4.6	4.3	5.2	4.4	6.8	6.0	3.9	4.3	6.0	6.0	5.5				
Ho	1.2	2.3	1.1	0.3	1.2	1.2	1.2	0.9	1.2	1.0	0.9	1.1	0.9	1.0	0.9	1.1	0.9	1.4	1.3	0.8	0.9	1.2	1.2	1.2				
Er	3.3	6.3	3.0	0.9	3.3	3.5	3.2	2.5	3.1	2.7	2.5	3.1	2.6	2.9	2.4	3.2	2.6	3.8	3.7	2.4	2.4	3.5	3.4	3.3				
Tm	0.5	0.9	0.4	0.1	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6	0.4	0.3	0.5	0.5	0.5				
Yb	3.1	6.1	2.8	0.9	3.3	3.5	3.1	2.5	3.0	2.6	2.6	3.1	2.5	2.9	2.3	3.3	2.5	3.5	3.7	2.6	2.2	3.4	3.3	3.2				
Lu	0.5	0.9	0.4	0.1	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.5				
Hf	4.4	9.7	2.5	1.1	4.7	4.8	4.5	1.8	3.5	3.8	3.8	4.2	3.7	3.5	2.2	4.0	3.3	4.7	4.5	3.2	3.0	5.0	3.8	2.9				
Ta	1.2	2.6	0.6	0.3	1.3	1.4	1.2	0.3	0.9	1.1	0.8	1.3	1.2	1.1	0.7	1.1	1.0	1.2	1.3	1.1	0.9	1.3	1.1	0.7				
Pb	27.6	43.5	38.5	13.4	29.7	34.1	27.2	19.8	28.9	30.6	21.3	31.3	26.8	29.9	29.9	61.6	26.8	40.8	137.1	34.0	30.4	28.9	37.0	40.5				

续表7

区域 样号	南 部										中 部													
	N1	N2	N4-1	N4-2	N5-1	N5-2	Z1	N44-2	Z81-2	T15-1	Z11-4	Z12-1	Z12-3	Z71-2	B602-4	B456-4	Z30-5	C103-3	B297-5	Z47-3	B1	B2	B3-1	B3-2
Th	18.8	38.9	14.3	5.7	21.4	23.8	18.6	5.9	15.2	14.2	12.6	18.0	16.2	18.3	11.7	19.6	14.2	19.1	21.8	20.3	14.7	20.1	19.6	16.3
U	4.5	10.5	29.5	1.8	3.8	5.0	4.0	94.3	7.8	3.4	3.4	4.0	3.9	4.5	11.2	10.7	3.5	4.3	6.1	11.8	3.0	4.2	11.1	19.4
La/Th	2.5	2.6	3.0	2.1	2.3	2.0	2.5	4.2	3.0	3.3	2.7	2.8	2.5	2.7	3.2	2.3	2.6	2.7	2.4	2.3	2.8	2.6	2.5	2.8
La/Sc	2.7	5.0	2.8	2.0	2.5	2.4	2.9	2.7	2.1	2.7	1.8	2.7	2.6	2.6	2.8	2.3	2.4	2.6	2.3	2.5	2.9	2.6	2.4	2.7
Co/Th	1.1	0.5	2.9	3.1	1.0	1.3	1.2	13.4	1.6	2.1	1.3	0.8	1.1	0.9	1.7	1.4	1.4	1.6	1.7	1.0	1.7	1.4	1.2	1.8
Se/Th	0.9	0.5	1.1	1.1	0.9	0.8	0.9	1.6	1.4	1.2	1.5	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0
Cr/Th	4.5	2.2	4.4	6.7	5.1	4.7	4.3	6.7	7.4	7.1	6.7	5.8	5.2	4.7	5.1	5.3	6.3	5.3	5.5	5.1	4.9	4.9	4.9	3.9
Co/Th	1.1	0.5	2.9	3.1	1.0	1.3	1.2	13.4	1.6	2.1	1.3	0.8	1.1	0.9	1.7	1.4	1.4	1.6	1.7	1.0	1.7	1.4	1.2	1.8
ΣREE	222.2	469.0	198.4	55.4	217.0	218.4	214.9	111.7	211.6	208.4	147.4	220.7	185.1	212.5	163.1	201.8	165.6	253.1	241.7	192.7	183.7	236.6	222.2	201.5
LREE	199.8	425.7	177.6	49.3	196.0	196.3	193.7	96.3	190.5	190.0	131.9	200.7	167.9	194.0	146.6	181.3	148.5	227.4	218.3	176.7	167.1	213.4	199.2	180.1
HREE	22.4	43.3	20.8	6.1	21.0	22.2	21.2	15.4	21.2	18.4	15.5	20.0	17.2	18.5	16.5	20.5	17.1	25.7	23.5	16.0	16.6	23.3	23.0	21.4
LREE/HREE	8.9	9.8	8.5	8.1	9.3	8.9	9.1	6.3	9.0	10.3	8.5	10.0	9.8	10.5	8.9	8.9	8.7	8.9	9.3	11.1	10.1	9.2	8.7	8.4
(Gd/Yb) _N	1.6	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.5	1.2	1.6	1.6	1.2	1.4	1.6	1.4	1.7	1.3	1.5	1.7	1.3	1.4	1.8	1.5	1.6	1.5
(La/Yb) _N	9.1	10.0	9.1	7.9	8.7	8.2	8.9	5.8	9.2	10.5	7.6	9.6	9.8	10.1	9.7	8.4	8.8	8.7	8.4	10.6	10.9	9.0	8.9	8.5
(La/Sm) _N	3.8	4.1	3.6	4.0	4.4	4.4	4.0	3.6	4.0	4.2	4.4	4.6	4.2	4.6	4.1	4.3	4.1	3.7	4.2	4.9	4.0	4.0	3.9	4.1
Gd/Yb	2.2	2.3	2.3	2.0	1.8	1.8	2.0	1.7	2.2	2.2	1.6	1.9	2.1	1.9	2.3	1.8	2.1	2.3	1.8	1.9	2.4	2.1	2.2	2.0
δEu	0.6	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7

并混有一定数量的碱性玄武岩及沉积岩,与前述分析结果一致。

由于稀土元素中的 Gd 会因元素的分馏作用,随着时间的推移含量减少,因此,Gd/Yb 也就随着地层时代的变新而逐渐减小。以 Gd/Yb=2.0 为界,太古宇的比值常大于 2.0,而较年轻的太古宇比值小于 2.0^[8,34]。鄂尔多斯盆地长 7 段泥岩中有相当数量的样品 Gd/Yb 值大于 2.0,说明母岩中太古宙古老地层占有相当比重。

盆地北缘阴山及阿拉善地区的太古宙及古元古代变质岩(花岗片麻岩、闪长片麻岩、斜长片麻岩等)轻重稀土元素比值 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 为 5.73~13.6,表现为 LREE 富集,HREE 元素亏损。阴山地区 Eu 中度亏损, δEu 平均值为 0.73;而阿拉善地区 Eu 轻微富集, δEu 平均值为 1.12;轻、重稀土元素曲线均较平直,稀土元素配分模式表现为右倾型(图 5-A)。鄂尔多斯盆地西南缘陇西古陆早古生代混合花岗岩及角山斜长片麻岩轻重稀土元素比值 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 为 10.4~16.1,LREE 富集,HREE 严重亏损。Eu 轻微亏损, δEu 平均值 0.92,其稀土元素配分模式仍显示为右倾斜。盆地南缘北秦岭新元古代花岗闪长岩及二长花岗岩轻重稀土元素比值 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 为 21.1~23.9,LREE 富集,HREE 高度亏损,Eu 中度亏损, δEu 平均值 0.66^[35](图 5-B)。由此可见,这些古老岩石均与盆地内大部分样品 REE 配分模式一致。表明盆地延长组长 7 段碎屑岩与阴山、阿拉善古陆、陇西古陆及北秦岭太古宙—古元古代的古老花岗岩—变质岩系具有亲源性,均为研究区提供了物源。

4 结 论

(1)鄂尔多斯盆地延长组长 7 段沉积期,周缘存在多个古隆起,物源分别来自东北方向、西北方向、西、西南方向和南部方向,其中对盆地影响最大的为东北物源及西南物源。

(2)长 7 段物源区母岩主要为盆地东北缘—北缘阴山等古陆的中深变质结晶岩系和中基性火成岩;西北缘阿拉善古陆的碎屑岩类、浅变质岩类和混合花岗岩类;西南缘陇西古陆的碳酸盐岩、浅变岩类和中酸性火山岩及南部秦岭的陆源碎屑岩、碳酸盐岩及浅变岩类。

表 8 鄂尔多斯盆地延长组长 7 段泥岩稀土元素地球化学参数

Table 8 Geochemical parameters of REE in mudstones of Chang 7 mudstones in Ordos Basin

地区	Σ REE /10 ⁻⁶	LREE /10 ⁻⁶	HREE /10 ⁻⁶	$\frac{LREE}{HREE}$	(Gd/Yb) _N	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	Gd/Yb	δ Eu
东北部 (4)	186.2	168.8	17.48	9.62	1.52	9.76	4.36	2.08	0.66
西北部 (4)	206.7	188.0	18.73	10.03	1.69	10.50	4.11	2.30	0.70
西、西南部 (15)	223.7	202.1	21.62	9.34	1.56	9.32	4.05	2.12	0.64
南部 (14)	206.6	186.4	20.23	9.07	1.48	8.89	4.13	2.01	0.64
中部 (10)	206.2	185.9	20.35	9.20	1.52	9.19	4.14	2.07	0.66

注:下标 N 值表示采用参考文献[32]推荐的球粒陨石平均值计算的结果;括号内为样品个数

(3)微量元素及稀土元素分析表明,盆地长 7 段源岩主要来自大陆上地壳的长英质岩石为主,并混有含长石较高的中—基性岩浆岩如安山岩、碱性玄武岩,还具有一定数量的古老沉积物,母岩中太古宙古老地层占有相当比重。

致谢:中石油长庆油田分公司提供了大量的基础资料,微量元素测试得到西北大学大陆动力学国家重点实验室刘焯老师的协助,成文过程中得到陈全红高级工程师的热忱指导,在此一并诚表谢意。

参考文献

[1]王昌勇,郑荣才,王海红,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6 油层组物源区分析[J].沉积学报,2008,26(6):933-938.

[2]Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. Journal of Geology, 1983, 91: 611-627.

[3]Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of gray-wackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986, 92: 181-193.

[4]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.

[5]何钟铨,刘招君,张峰.重矿物在盆地分析中的应用研究进展[J].地质科技情报,2001,20(4):29-32.

[6]汪正江,陈洪德,张锦泉.物源分析的研究与展望[J].沉积与特提斯地质,2000,20(4):104-110.

[7]Cullers R L, Basu A, Suttner L. Geochemical signature of provenance in sand size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root bat holith, Montana, USA[J]. Chem. Geol., 1988, 70: 335-348.

[8]Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: Its composition and evolution[M]. Oxford: Blackwell, 1985: 1-132.

[9]McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence

of provenance and sedimentary processes[C]//Lipin B, McKay G A. Geochemistry and Mineralogy of Rare earth elements. The Mineralogical Society of America, Washington D C, 1989, 21: 169-200.

[10]王成善,李祥辉.沉积盆地分析原理与方法[M].北京:高等教育出版社,2003:86-114.

[11]张文正,杨华,杨奕华,等.鄂尔多斯盆地长 7 优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J].地球化学,2008,37(1):59-64.

[12]魏斌,魏红红,陈全红,等.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组物源分析[J].西北大学学报(自然科学版),2003,33(4):447-450.

[13]刘锐娥,黄月明,卫孝峰,等.鄂尔多斯盆地北部晚古生代物源区分析及其地质意义[J].矿物岩石,2003,23(3):82-86.

[14]宋凯,吕剑文,杜金良,等.鄂尔多斯盆地中部上三叠统延长组物源方向分析与三角洲沉积体系[J].古地理学报,2002,4(3):59-65.

[15]耿元生,王新社,沈其韩,等.内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质基底阿拉善群的再厘定[J].中国地质,2006,33(1):138-145.

[16]内蒙古自治区地质矿产局.内蒙古自治区岩石地层[M].北京:中国地质大学出版社,2008:114-308.

[17]杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M].北京:石油工业出版社,2002:1-23.

[18]李天斌,张学文,王成,等.北祁连山东段海原一带海原群变质岩原岩恢复及其构造背景[J].地质通报,2006,25(1/2):194-203.

[19]周洪瑞,王自强.华北大陆南缘中、新元古代大陆边缘性质及构造古地理演化[J].现代地质,1999,13(3):261-267.

[20]周鼎武,李文厚,张云翔,等.区域地质综合研究的方法与实践[M].北京:科学出版社,2002:92-96.

[21]陈全红,李文厚,刘昊伟,等.鄂尔多斯盆地晚石炭世——中二叠世物源分析[J].古地理学报,2009,11(6):629-639.

[22]陈全红,李文厚,王亚红,等.鄂尔多斯盆地西南部晚古生代早—中期物源分析[J].现代地质,2006,20(4):628-634.

[23]Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio [J].

- Journal of Geology, 1986, 94: 635–650.
- [24]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.
- [25]Girty G H, Hanson A D, Yoshinobu A S, et al. Provenance of Paleozoic mudstones in a contact metamorphic aureole determined by rare earth element, Th, and Sc analyses, Sierra Nevada, California[J]. Geology, 1993, 21: 363–66.
- [26]McLennan S M, Hemming S, McDaniel D K, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics[J]. Geological Society of American Special Paper, 1993, 284: 21–40.
- [27]Wronkiewicz D J, Condie K C. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: Source–area weathering and provenance[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51: 2401–2416.
- [28]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.
- [29]Rollinson H R. Using geochemical date: evaluation, presentation, interpretation[M]. Longman Scientific. Technical, 1993: 300–352.
- [30]杨守业,李先从.REE示踪沉积物物源研究进展[J].地球科学进展,1999,14(2):164–167.
- [31]蔡观强,郭峰,刘显太,等.沾化凹陷新近系沉积岩地球化学特征及其物源指示意义[J].地质科技情报,2007,26(6):17–24.
- [32]Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies[C]//Henderson P(ed), Rare Earth Elements Geochemistry. Amsterdam, 1984: 63–144.
- [33]Allegre C J, Minster J F. Quantitative models of trace elements behavior in magmatic processes[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1984, 38(1): 1–25.
- [34]邵磊,朱伟林,吴国璋,等.渤中凹陷及周边地区沉积岩若干稀土元素特征[J].同济大学学报,2001,29(6):662–665.
- [35]张成立,刘良,张国伟,等.北秦岭新元古代后碰撞花岗岩的确定及其构造意义[J].地学前缘,2004,11(3):33–41.