鄂尔多斯盆地延长探区本溪组物源分析

樊宇洁[1]，孟祥振[2]，蒲仁海[1*]，高小平[3]，强腾[3]，宋明[1]

1. 西北大学地质学系大陆动力学国家重点实验室，西安 710069；
2. 陕西延长石油（集团）有限责任公司天然气研究院分公司，西安 710061；
3. 陕西延长石油（集团）有限责任公司气田公司，陕西 延安 716000

第一作者，E-mail：2772451055@qq.com

* 通信作者，E-mail：purenhai@126.com

2024-04-25 收稿；2024-08-07 修回；2024-08-07 接受

基金项目：国家自然科学重大基金项目(41390451)；陕西省重点研发计划项目(2022GY-140)

中图分类号：P618　　文章编号：2096-8523(2025)03-0197-15　　doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240191

摘　要：碎屑物质来源是控制鄂尔多斯盆地延长探区内本溪组砂岩储层发育和展布的重要因素之一。对延长探区内 37 口井砂岩和泥岩样品开展了碎屑锆石 U-Pb 年龄、重矿物组合、微量元素以及砂砾岩粒径统计等分析，揭示了本溪组碎屑物质的主要来源和搬运方向。研究表明探区内延 528 井的 1912 Ma 和 2425 Ma 2 个年龄峰值与华北克拉通北缘相对应，其他 5 口井的年龄峰值段 435 ~ 447 Ma 和 952 ~ 976 Ma 则与北秦岭的年龄峰值相对应，据此可将探区内物源划分为 NE 和 S 部 2 个方向。通过锆石、电气石和金红石等重矿物，可将 S 部物源进一步划分为 WS 和 ES 2 个方向；与重矿物分析结果相对应，在微量元素锆铌比分析中，存在 WS 陇东地区和 ES 豫西地区 2 个方向的物源；对砂砾岩粒径在平面上分布特征的显示，研究区存在来自 ES 方向的物源。综合分析可得，延长探区本溪组总体上可划分为 NE、WS 和 ES 3 个物源区，分别指示了盆地北缘阴山、盆地南缘祁连山和北秦岭东段剥蚀区，其中 ES 方向物源距延长探区最近，对探区影响较大。该成果探明了研究区内的 3 个物源方向以及其影响区域，对延长探区本溪组砂体分布预测和沉积相划分具有重要的参考意义。

关键词：本溪组；沉积物源；锆石；重矿物；微量元素；砾径；鄂尔多斯盆地；延长探区

鄂尔多斯盆地古生界存在多个产气层，其中盆地中东部的本溪组是延长气田的主力产气层之一[1]。前人应用露头砂岩斜层理产状、轻重矿物分析、锆石、元素分析等方法对鄂尔多斯盆地上古生界物源的研究表明盆地内部上古生界的物源主要为北方的兴蒙造山带[2]，部分地区也有来自北秦岭的贡献[3]。张靖芪等[4]通过主、微量元素和稀土元素分析，认为盆地内本溪组地层存在南北 2 个方向不同的物源。刘贤[5]利用锆石、重矿物分析等手段将延长探区的上古生界划分为 EN、SN 和 S 3 个方向的物源。林进等[6]认为延长地区和东部区域的物源主要来自于北部阴山–阿拉善古陆的变质结晶基底。高志东等[7]认为延长气田中部为南北物源的交汇区。贾浪波等[1]将盆地物源划分为 EN、WN、ES、WS 4 个方向的物源，其中 EN 部物源来自于阴山东段的侵入岩和变质岩、WN 部物源来自于阴山西段的变质岩和少量侵入岩、WS 部物源来自于北祁连东段和北秦岭西段、ES 部物源则主要来自于北秦岭东段。

综上所述，现阶段对于延长探区内本溪组碎屑物质来源的研究还存在较大争议，并且对于各个方向物源的影响范围缺少相关约束，源区背景演化和差异缺乏系统研究。因此为了配合本溪组砂岩储层预测和开发井部署，查清本溪组砂体古流向和展布，本研究在延长探区内采集了本溪组砂岩重矿物、碎

著录信息：樊宇洁，孟祥振，蒲仁海，等. 鄂尔多斯盆地延长探区本溪组物源分析［J］. 地质科技通报，2025，44(3)：197-211.
FAN Yujie, MENG Xiangzhen, PU Renhai, et al. Provenance analysis of Benxi Formation in the Yanchang exploration area of the Ordos Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2025, 44(3): 197-211.

© Editorial Office of Bulletin of Geological Science and Technology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.　https://dzkjtb.cug.edu.cn

屑锆石年龄和泥岩微量元素样品，并结合本溪组岩心砂砾岩粒径统计开展了物源与古流向分析。通过物源和古流向分析，对研究区内本溪组砂体展布进行研究，旨在进一步指导开发井部署。

1　研究区地质背景

鄂尔多斯盆地位于中国大陆中西部地区(图 1)，是中国第二大沉积盆地，其油气资源探明储量位于全国前列。鄂尔多斯盆地的构造演化经历了元古宙大陆裂解和汇聚阶段、早古生代盆地边缘裂陷与陆内坳陷阶段、早–晚古生代周缘碰撞造山阶段、晚古生代盆地周缘裂解阶段、中生代陆内坳陷阶段和新生代盆地边缘断陷阶段[8]。早古生代沉积时盆地以东的华北台地连通，北缘为阴山–大青山、南缘为祁连–秦岭造山带、西北缘为阿拉善古陆，盆地边缘造山带或古陆的基岩成为盆地内部碎屑物质的主要来源。

如图 2 所示，研究区内马家沟组地层与本溪组地层呈不整合接触，岩性以碳酸盐岩为主，研究区内马家沟组灰岩大规模分布，部分地区夹泥岩。志留纪到早石炭世，受加里东运动的影响，盆地整体逐渐抬升，持续遭受风化剥蚀，沉积间断长达 1.3 亿 ~ 1.5 亿年[9]。晚石炭世本溪期，受海西运动的影响，盆地随着华北地台的沉降重新开始接受沉积，因此盆地内本溪组地层厚度受古地貌的影响，整体以角度不整合或平行不整合上覆于马家沟组之上，具有填平补齐的特征，低洼处沉积厚度大，古地貌高地则沉积厚度较薄，整体厚度 10 ~ 70 m，盆地内部整体呈东厚西薄的分布趋势。岩性组合自下而上依次为铁铝质岩、粉砂岩、泥岩、细砂岩，局部地区顶部夹薄煤层。早二叠世东西两侧海域进一步延伸，因此太原组时期主要为潮坪沉积相沉积特征，主要沉积泥晶灰岩、深灰色泥岩、煤层等。本研究的主要目的层段为本溪组，岩性为砂泥岩互层，局部夹煤层；自下而上又可细分为本二段和本一段，其中本二段为奥陶系地层风化剥蚀后沉积的第一套地层，底部为铝土岩，超覆在马家沟组不同地层段之上，本溪组上覆太原组灰岩[10]。

2　材料与方法

2.1　样品与数据

研究区延长气田位于鄂尔多斯盆地中东部，北至靖边，东到延川县，南到富县，西至志丹县，区内目前钻穿本溪组的钻井超过 2000 口，局部密井网井

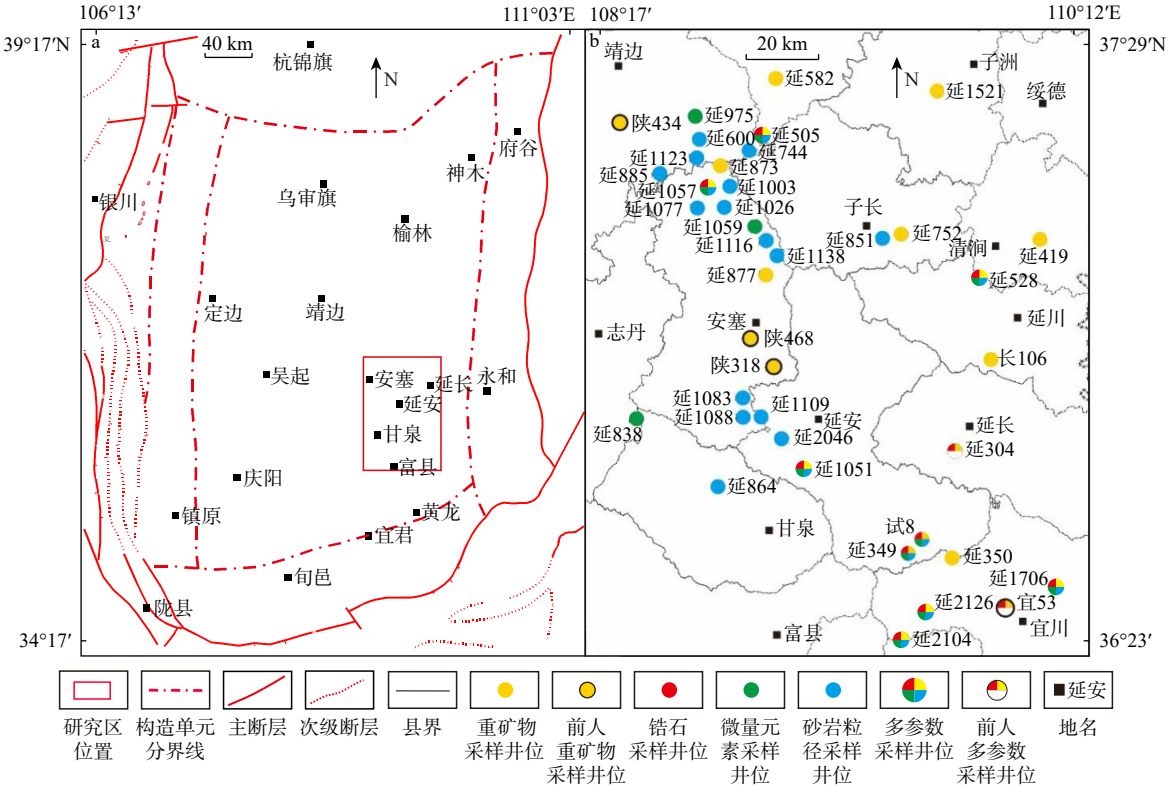


图 1　鄂尔多斯盆地延长探区的地理位置图 (a)[7] 及样品点位分布图 (b)

Fig. 1　Geographical location map of the Yanchang exploration area in the Ordos Basin(a) and sample point distribution map(b)

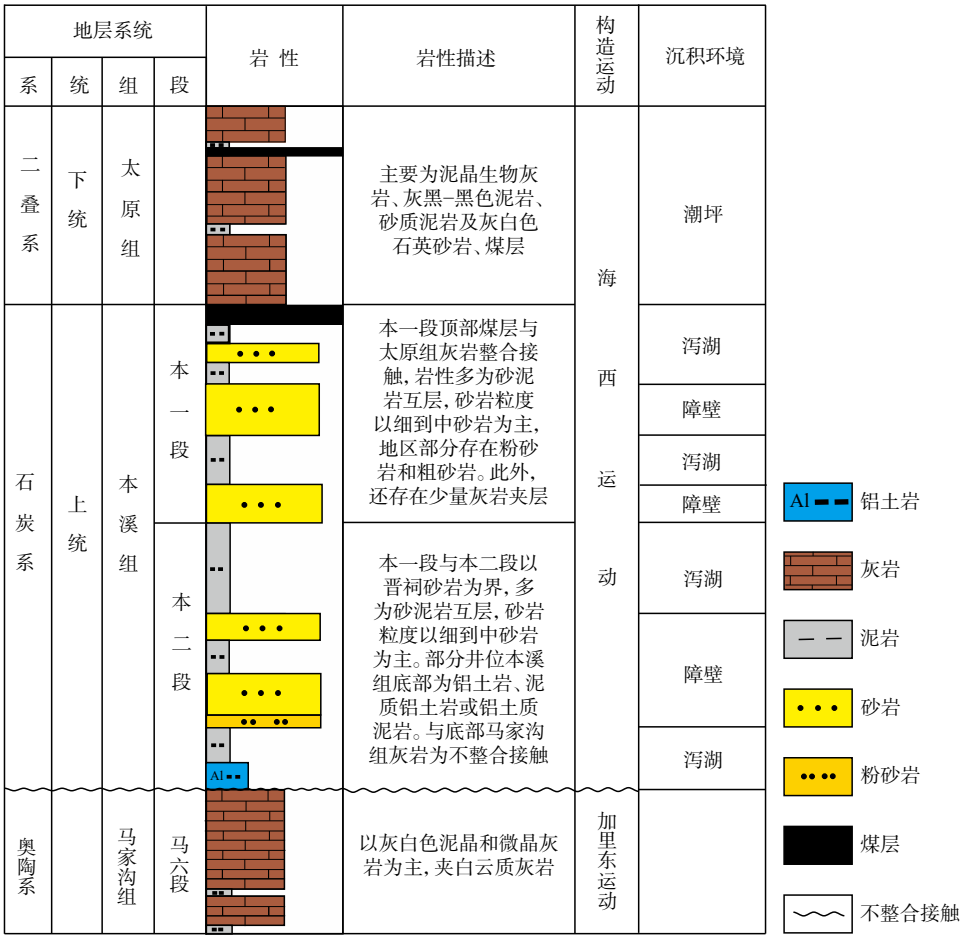


图 2　鄂尔多斯盆地延长探区地层综合柱状图[1]

Fig. 2　Comprehensive stratigraphic bar chart of the Yanchang exploration area in the Ordos Basin

距 2 ~ 3 km(图 1a)。研究区 37 口井均在本溪组有取芯资料。本研究共采集本溪组岩心砂岩样品 43 个、泥岩样品 12 个。选取延 505 井、延 873 井等 17 口井的砂岩样品进行重矿物分析，选取延 349 井、延 528 井等 6 口井的砂岩样品进行碎屑锆石年龄分析；选取延 1051 井、延 1057 井等 12 口井的泥岩样品进行微量元素分析；选取 20 口井的岩心砂砾岩样品进行碎屑粒径统计分析。重矿物分析中还综合了贾浪波等[1]以前所做的 4 口井岩心样品的重矿物分析结果。采样井名、岩性和分析项目见表 1，井位分布见图 1b。

2.2　分析测试方法

常用的物源分析方法包括砂岩重矿物组合分析、碎屑锆石年龄、微量元素分析等[11-15]。基于此，本研究还采用砂砾岩粒径分析方法作为对研究区物源分析的补充。

本次重矿物分析中先利用 40#筛(孔径 0.425 mm)对样品进行筛分，后采用铝制圆形流浪盘进行粗淘，让重砂矿物体积分数保证在 70% 以上，为提高其纯度，再利用电磁仪对矿物进行反复磁选至强磁性矿物完全被吸出为止。然后将样品倾入小淘洗盘中进行精淘，要求重矿物部分重量 0.1 g 以上者纯度一般

表 1　研究区采样井名、岩性和分析

Table 1　List of sampling well names, lithology, and analysis items in the study area

分析项目	岩性	样品数量/个	井名
重矿物	砂岩	17	延505，延873，延877，延2104，延2126，延582，延1521，延752，延528，延419，长106，延1051，试8，延349，延1706，延304，延350
碎屑锆石	砂岩	6	延349，延528，延1051，延1706，延304，试8
微量元素	泥岩	12	试8，延1051，延1057，延1059，延1706，延349，延505，延528，延838，延975，延2104，延2126
碎屑粒径	砂岩	20	延744，延500，延600，延505，延1123，延885，延1057，延1003，延1077，延1126，延1116，延1138，延851，延1083，延1088，延1109，延2046，延864，延349，试8

应大于 90%, 轻部分重矿物含量应小于同级重副矿物总量的 2%。最后利用双目镜鉴定重矿物种类。

本研究的碎屑锆石 U-Pb 年龄测定由西安阿伯塔公司完成, 采用 He 作为剥蚀物质的载气。处理方式为单点剥蚀, 数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式。利用美国 Agilent 公司生产的 Agilent7900 激光剥蚀等离子质谱仪对其进行 U-Pb 年代测定, 采用^{29}Si 和 NISI610 作为内标和外标、Harvard91500 作为外部矫正标准。使用 IsoplotR 对取得的数据进行锆石年龄计算和协和图绘制, 并将得到的锆石年龄数据进行柱状直方图统计分析。

微量元素测试由西安阿伯塔公司完成, 使用十万分之一天平称取样品, 并使用聚四氟乙烯溶样弹将其润湿, 使用 HNO_3、高纯 HF、高纯 $HClO_4$ 并反复加热冷却进行溶样, 然后将其定容, 使得 Rh 在溶液中质量浓度为 10 ng/mL。分析流程采用国际标准物质进行质量监测, 分析过程中加入重复样来达到监测分析流程紧密度的目的, 最终保证准确度和精确度优于 10%。

通过对本溪组取心砂砾岩中砾石颗粒的粒径统计和平面变化比较, 可以对研究区内沉积物的上下游有一个直观的了解。针对本溪组砂砾岩中砾石体积分数超 10% 时含砾砂岩和砾岩进行统计, 把最粗粒径分为>2, (1 ~ 2], [0.5, 1], <0.5 cm 4 种类型, 确定每个本溪组取芯井的最大粒径类型, 并用不同符号把各种类型的井位标在平面图上, 可以直观看出本溪组砂砾岩最大粒径的平面变化, 由粗到细的方向反映碎屑搬运方向。

3　沉积物源分析

3.1　碎屑锆石 U-Pb 年龄分析

3.1.1　碎屑锆石成因研究

本次锆石分析中选取的 6 件沉积岩样品分别取自南部的延 349 井、延 1706 井和试 8 井, 中部延 1051 井和延 304 井, 以及北部延 528 井。

通过对锆石形态和结构的观察, 可以直观辨别锆石是岩浆成因还是变质成因。其中岩浆成因的锆石在阴极发光图像中一般呈长柱状, 具有明显的环带结构。变质成因的锆石则表现为无分带、扇状分带和面状分带等结构特征。本试验中试 8 井岩心样品测试获得了 141 颗碎屑锆石, 延 304 井获得了 132 颗碎屑锆石, 延 349 井、延 528 井、延 1706 井均获得了 133 颗碎屑锆石, 延 1051 井获得 126 颗碎屑锆石。总体来看, 延长探区内 6 个岩心样品的碎屑锆石以亮色和暗色为主(图 3), 多呈长柱状, 在阴极发光图像中大部分锆石颗粒环带现象明显, 且 Th/U 比值>0.1(图 4), 表明大部分锆石为岩浆成因。此外锆石的阴极发光图像显示, 存在重结晶和变质增生边等具有变质作用叠加改造的结构特征(图 3), 表明少数锆石为变质成因。

3.1.2　碎屑锆石 U-Pb 年龄特征

对本研究 6 个岩心样品的锆石颗粒进行测试, 以 1 000 Ma 为界将锆石划分为古老锆石和年轻锆石 2 类, 对于古老锆石使用^{207}Pb/^{206}Pb 年龄, 对于年轻锆石则使用^{206}Pb/^{238}U 年龄。相应的^{206}Pb/^{238}U-^{207}Pb/^{235}U 谐和度关系图解以及年龄频率分布直方图如图 4 所示, 部分存在铅丢失, 大部分在谐和线上。样品分析如表 2 所示。

3.1.3　本溪组碎屑锆石物源分析

重矿物中锆石抗风化能力较强, 其中所含 U-Th-Pb 同位素形成温度较高, 不易被后期改造热事件破坏, 使得它在沉积循环中能很好保存下来, 不但广泛发育在各类岩浆岩中, 在中、高级变质岩中也广泛发育[16]。对于鄂尔多斯盆地而言, 本溪组沉积时期共有四大古物源[17], 包括华北克拉通物源、阴山造山带物源、北祁连造山带物源和北秦岭造山带物源(图 5)。华北克拉通物源的年龄特征峰为 1 700 ~ 1 800 Ma, 2 300 ~ 2 400 Ma, 2 500 ~ 2 600 Ma 和 2 900 ~ 3 000 Ma, 其总体年龄大于 1 800 Ma, 无中新元古代及其之后的岩浆活动。阴山造山带物源的年龄特征峰为 800 ~ 1 000 Ma, 1 800 ~ 2 000 Ma 和 2 200 ~ 2 500 Ma, 其中 800 ~ 1 000 Ma 较强峰值年龄可以与华北克拉通区分, 1 800 ~ 2 000 Ma, 2 200 ~ 2 500 Ma 峰值特征可与北秦岭造山带和北祁连造山带相区别。北祁连造山带特征年龄峰则主要为 424 ~ 550 Ma 和 723 ~ 953 Ma, 其具有早古生代岩浆活动特征峰值。北秦岭造山带物源区的特征年龄峰值则包括 470 Ma, 694 Ma, 0.9 ~ 1.0 Ga, 1 164 Ma, 1 788 Ma 和 2 500 Ma, 具有古生代和新元代界较强的岩浆活动, 与北祁连造山带相比则具有较多年龄较老的锆石(图 5)[18-19]。

对比图 4, 5 可知, 北部延 528 井的本溪组碎屑锆石峰值年龄 307 Ma 较新, 可能为本溪组沉积时混入的火山活动年龄。398 Ma 年龄峰与(300, 400)Ma 的兴蒙造山带火成岩年龄一致, 可能来自于晚古生代古亚洲洋洋壳向华北克拉通和蒙古古陆块进行双向俯冲形成的华北北缘火成岩。1 912 Ma 和 2 425 Ma 与华北克拉通发生的吕梁构造事件有关, 该事件使

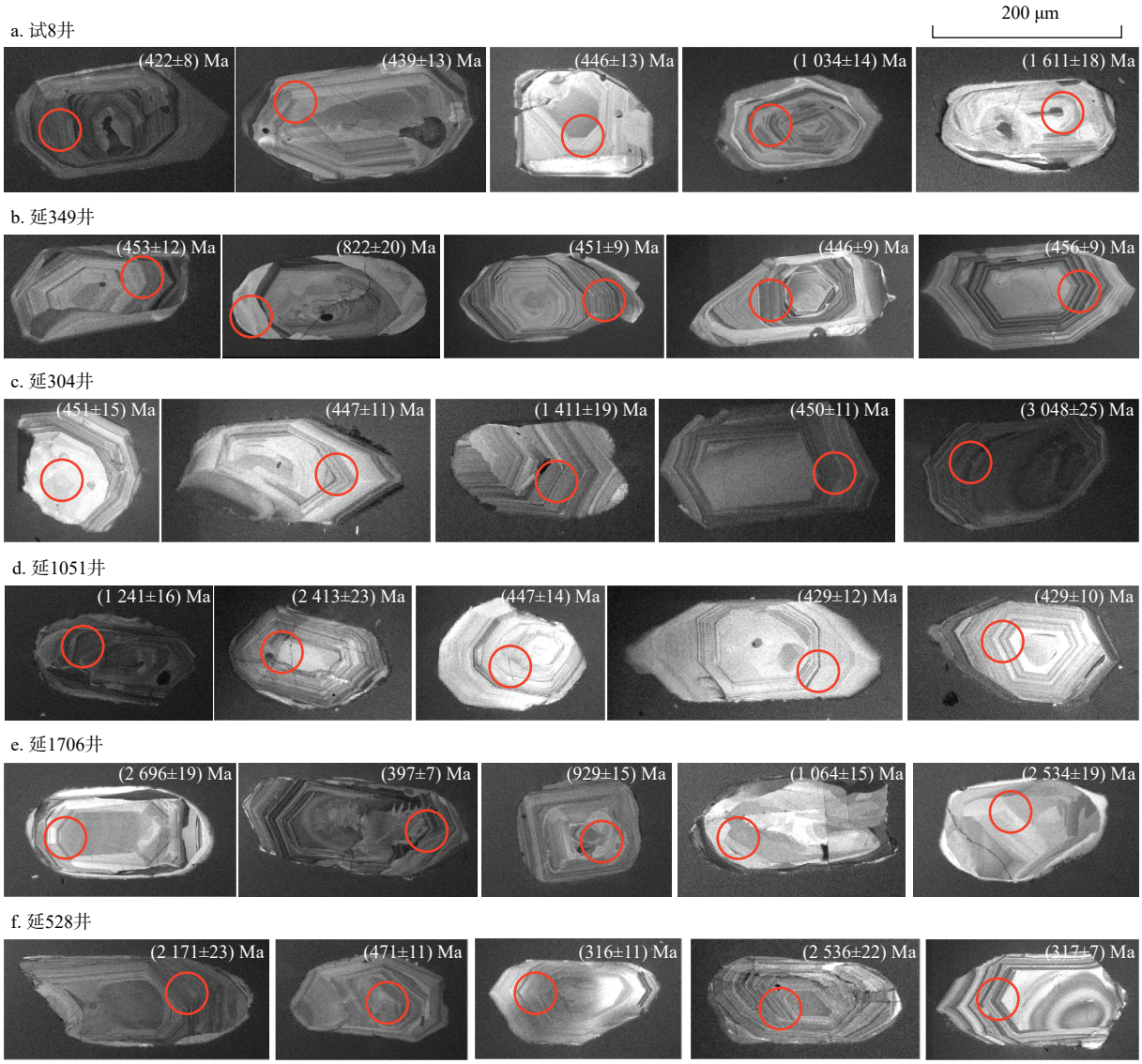


图 3　研究区代表性碎屑锆石阴极发光图像

Fig. 3　Representative cathodoluminescence images of detrital zircons in this study

华北克拉通北缘提供了 1 800 ~ 2 300 Ma 的物源。此外，延 528 井样品的阴极发光图像中锆石颗粒环带现象明显，极个别存在变质增生边。因此该井的主要碎屑锆石年龄反映了来自北东物源的供应(图 4)，且母岩为华北克拉通的变质岩及岩浆岩。

中部和南部的延 1051 井、延 304 井、延 349 井、延 1706 井和试 8 井，主要存在 3 个峰值年龄段，分别为 435 ~ 447 Ma，952 ~ 976 Ma 和 2 458 ~ 2 487 Ma。根据前人的研究，其中 435 ~ 447 Ma 和 952 ~ 976 Ma 与北秦岭中广泛发育的斜长角闪岩和绿片岩的年龄相近，2 458 ~ 2 487 Ma 则更多地代表地壳形成的时间，在全球各大陆都非常普遍，不具有区分物源区的功能(图 4)。以上 5 口井位置靠近研究区的东南角，锆石年龄主峰与秦岭造山带的锆石主峰一致，且上述 5 口井样品的锆石颗粒环带同样很明显，但不存在变质增生边，因此可以指示研究区存在来自 ES 物源，母岩主要为北秦岭造山带的岩浆岩。

3.2　重矿物分析

在母岩风化搬运的过程中，岩石的矿物组成不断发生改变，重矿物的组合类型也可以较好地反映物源区特征以及搬运距离的远近[20]。随着母岩的不断运移，稳定重矿物的含量相较不稳定重矿物逐渐升高，锆石、电气石和金红石在碎屑矿物中的百分比(*ZTR* 值)逐渐变大。因此，除了通过重矿物的组合特征对物源区进行区分外，也可以利用 *ZTR* 值来大致推测母岩的搬运方向。

常见的稳定重矿物包括锆石、电气石、金红石、石榴石、锡石、钛铁类等，不稳定重矿物包括硬绿泥石、黑云母、黄铁矿、重晶石等。通过对研究区内岩心样品的分析，选取锆石、磷灰石、金红石、白钛石、

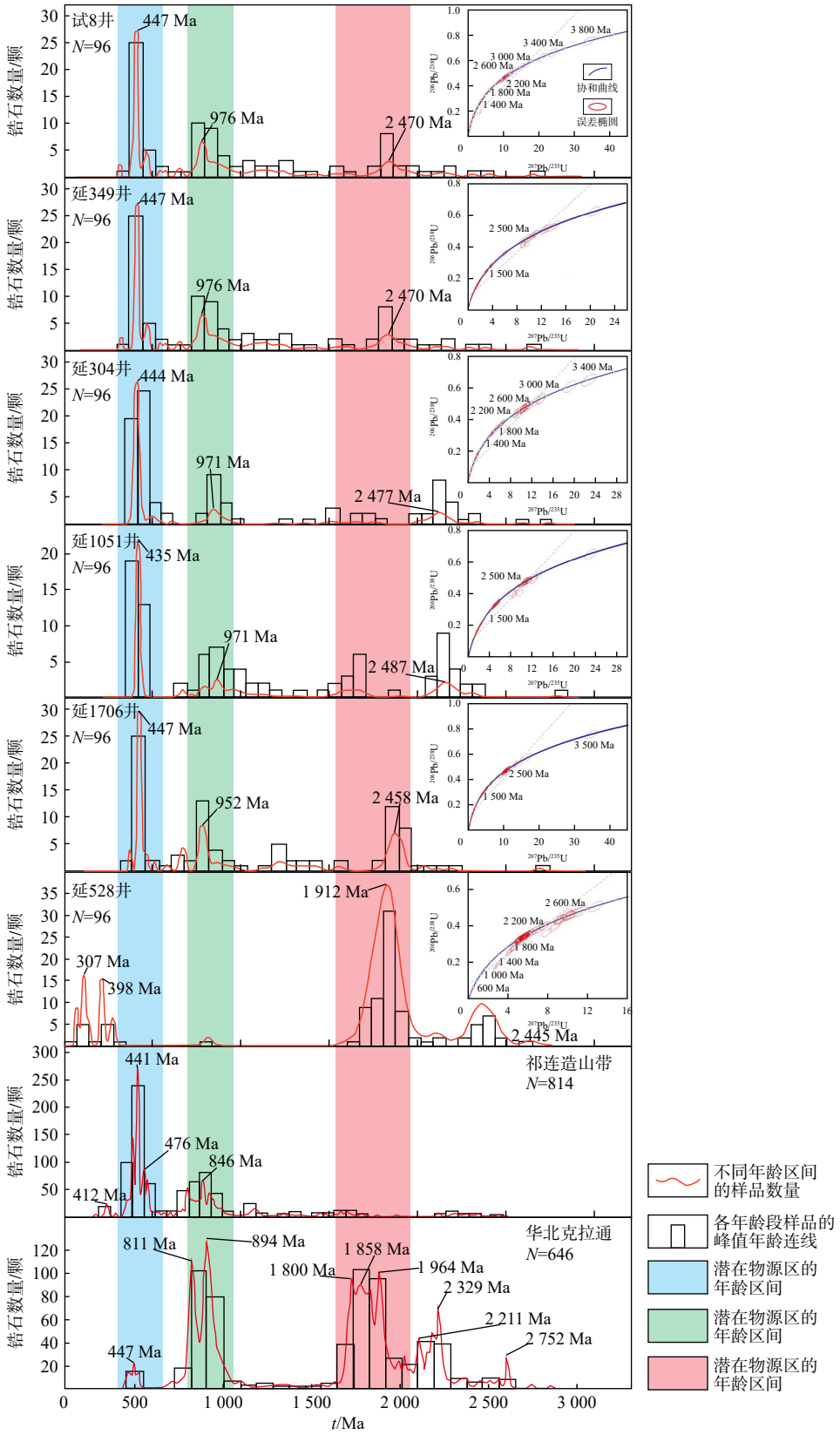


图 4　研究区东部本溪组锆石物源数据分析图

Fig. 4　Analysis of zircon source data in the Benxi Formation in the eastern part of the study area

锐钛矿、角闪石、闪锌矿、石榴石、电气石和绿帘石进行分析(表 3)。

研究区 21 口井本溪组的(17 口井为本次采样，另 4 口井样品为贾浪波等[1]研究成果)重矿物组合类型分布图可划分出以下 3 个区域(图 6a)。Ⅰ区位于东北部，以锆石、锐钛矿和白钛石为主，白钛石含

表 2　研究区东部本溪组锆石年龄分析表

Table 2　Zircon age analysis in the Benxi Formation in the eastern part of the study area

取样井位	有效数据点/个	年龄变化范围/Ma	分组/Ma	峰值年龄/Ma	皓石数量/颗	百分比/%
试8井	96	422 ~ 3617	326 ~ 530	447	30	31.2
			549 ~ 1462	976	35	36.5
			1518 ~ 3615	2470	31	32.7
延349井	88	418 ~ 3120	414 ~ 496	447	33	34.4
			502 ~ 1458	976	38	39.6
			1589 ~ 3120	2470	23	26.0
延304井	96	424 ~ 3217	407 ~ 673	444	49	51.0
			869 ~ 1595	971	18	18.8
			1728 ~ 3204	2477	29	30.2
延1051井	96	422 ~ 3230	421 ~ 465	435	32	33.3
			735 ~ 1932	971	42	43.8
			2115 ~ 3210	2487	22	22.9
延1706井	96	390 ~ 3627	375 ~ 669	447	30	31.3
			777 ~ 2042	952	39	40.6
			2302 ~ 3621	2458	27	28.1
延528井	96	265 ~ 2651	265 ~ 467	307，398	13	13.5
			1473 ~ 2651	1912，2425	77	80.2
			963 ~ 1344	未形成年龄峰值	6	6.3

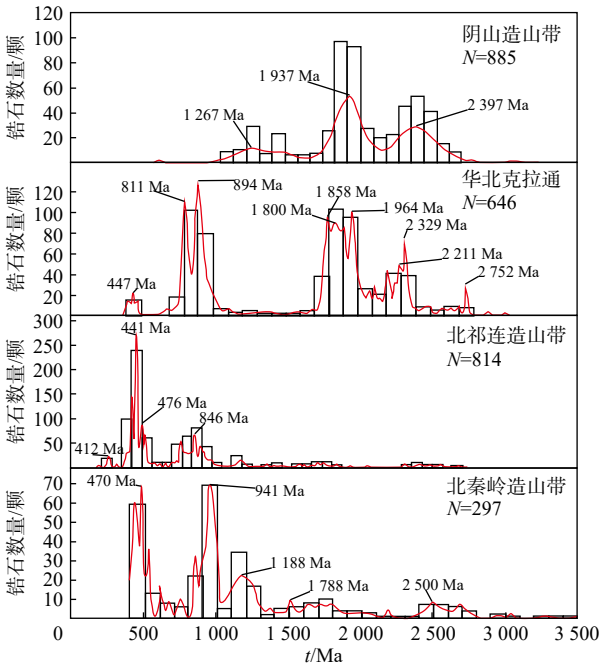


图 5　潜在物源年龄谱[18]

Fig. 5　Potential source age spectrum

量远大于另外 2 个区域，并含有少量金红石、电气石，部分井位还有微量的闪锌矿。Ⅱ区位于西部，以锐钛矿为主，锆石与电气石次之，但电气石的含量相较另外 2 个区域有明显增多，此外还夹杂一些金红石、石榴石、白钛石等。Ⅲ区位于东南部，以锐钛矿和金红石为主，并夹杂一些电气石和白钛石，其中锐钛矿和金红石的含量相比于另外 2 个区域明显增多，部分井位含有一定量的锆石。

可以看出，3 个区域均含有锆石、锐钛矿、金红石、电气石和白钛石等，但其中Ⅰ区以锆石和锐钛矿为主，且各类重矿物比例较为均匀；Ⅱ区虽然仍是以锐钛矿和锆石为主，但除二者之外，电气石含量明显增多，且各类矿物比例不均匀；Ⅲ区主要区别于另外 2 个区域的原因是因为其金红石含量大幅增多。

如图 6b 所示，研究区本溪组重矿物样品的 *ZTR* 值变化范围为 0.12 ~ 0.95，其中延 582 井、延 1521、延 1051 井、延 1706 井、长 106 井样品的 *ZTR* 值分别分 0.49, 0.61, 0.63, 0.48, 0.89，平面上表现为由四周向长 106 井附近变大，说明在本溪组沉积时期，沉积物由四周流向长 106 井附近，结合重矿物组合类型分布图(图 6a)，进一步证实研究区本溪组时期直接物源来自 NE, WS, ES 3 个方向。平面上，NE 部的Ⅰ区物源应来自于盆地北部的兴蒙造山带；WS 部的Ⅱ区碎屑物应来自于西秦岭造山带；ES 部的Ⅲ区物源应来自于东秦岭造山带，重矿物分析结果与锆石分析结果相符。

3.3　微量元素分析

3.3.1　源区构造背景与源岩属性分析

稀土元素和微量元素在沉积岩形成的过程中具

表 3　研究区本溪组重矿物质量对比

Table 3　Comparison of heavy mineral in the Benxi Formation the study area

样品	陆源重矿物质量/mg							
井位	锆石	电气石	石榴石	磷灰石	磁铁矿	白钛石	金红石	锐钛矿
延505井	54.39	31.84	—	1.03	0.61	4.11	42.08	72.87
延873井	66.79	8.26	—	—	1.4	56.78	14.41	4.73
延877井	—	0.01	—	—	0.02	—	—	—
延2104井	62.83	57.25	—	—	—	60.32	25.13	294.06
延2126井	26.65	93.53	—	—	—	26.65	79.96	53.3
延349井	0.59	0.79	—	0.1	—	0.1	2.23	11.39
延528井	17.34	—	21.97	—	—	21.97	5.78	16.19
延1051井	7.69	7.69	—	—	—	6.18	18.09	19.45
延1706井	3.17	1.06	—	—	—	2.11	7.4	12.69
延304井	18.68	1.25	—	—	—	24.91	49.81	83.43
试8井	1.44	0.48	—	—	—	2.08	1.92	14.24
延752井	7.82	1.12	—	—	—	1.12	—	—
延582井	3.79	1.19	—	0.96	—	7.45	1.37	3.79
延419井	17.82	3.56	—	—	—	14.25	39.2	7.13
延1521井	6.21	1.94	—	—	—	1.94	4.66	7.37
延350井	1.90	0.17	—	—	—	0.52	3.11	0.35
长106井	1.2	0.68	—	—	—	0.85	5.98	1.37

有较高的稳定性，通过研究样品的微量元素含量以及各元素间的组合类型可以分析物源区的地球化学特征[1]。BHATIA[21] 归纳总结出 4 类构造环境，包括大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘和被动大陆边缘，分别对应未切割的岩浆弧、切割的岩浆弧、上隆的基底和克拉通内部构造高地 4 种物源区类型。稀土元素的富集程度在上述 4 类不同的物源区中表现出不同的特征，BHATIA 等[22] 归纳出 La-Th-Sc、Th-Sc-Zr/10 等用于构造背景判别的图解，利用上述图解可对研究区样品的稀土元素特征进行分析，进而对物源区背景进行判别。

研究区本溪组地层整体岩性为砂泥岩互层，且泥岩在物源微量元素分析中使用非常普遍，因此本次研究采用泥岩微量元素来对探区内碎屑物质来源进行分析。本次研究的泥岩样品微量元素与稀土元素判别图解如图 7 所示。La-Th-Sc 图解中(图 7a)，研究区本溪组样品数据点大多落在大陆岛弧区域内，少数点位落在活动大陆和被动大陆边缘处。在 Th-Sc-Zr/10 图解中(图 7b)，研究区泥岩样品点位多数落在大陆岛弧区域内，少数落在活动大陆边缘处。反映研究区本溪组物源区属于与大陆岛弧相关的活动大陆边缘构造背景，物源主要来源于切割的岩浆弧和上隆的基底。

3.3.2　物源方向分析

为进一步明确研究区源岩属性及物质来源，本

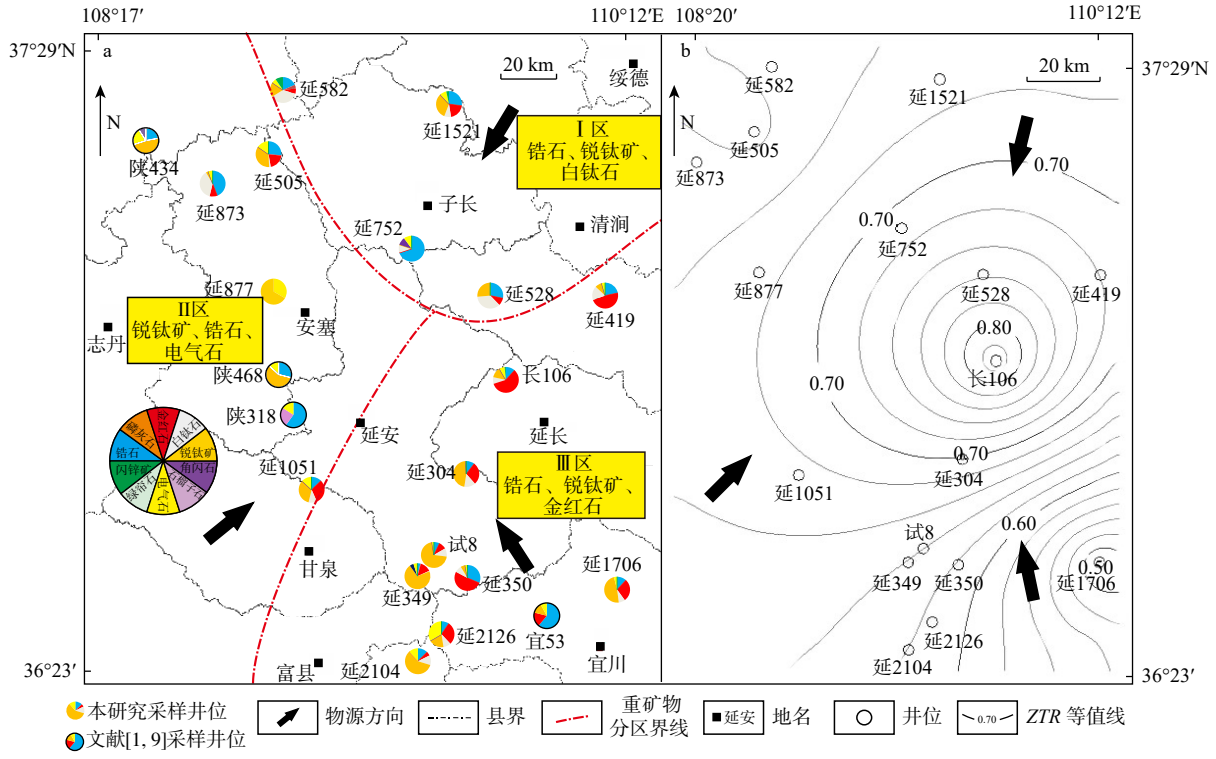


图 6　研究区重矿物组合类型 (a) 与重矿物 *ZTR* 值平面分布特征图 (b)

Fig. 6　Types of heavy mineral assemblages in the study area (a) and the planar distribution characteristics of the *ZTR* index of heavy minerals (b)

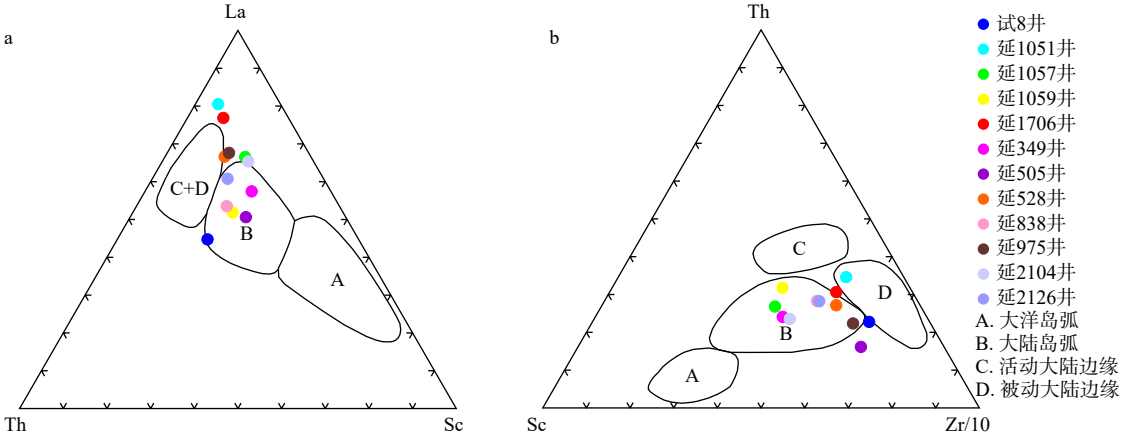


图 7　延长探区本溪组的 La-Th-Sc (a) 和 Th-Sc-Zr/10 图解 (b)[22]

Fig. 7　Diagram of La-Th-Sc (a) and Th-Sc-Zr/10 (b) in the Benxi Formation of the Yanchang exploration area

研究利用 BOYNTON[23] 推荐的球粒陨石平均值对稀土元素数据统一进行标准化处理，将绘制出的相应稀土元素配分模式曲线与前人的配分模式图[24-30]进行对比(图 8)。

由图 8 可知研究区样品的稀土元素配分模式表现为轻稀土元素较为富集、重稀土元素亏损的右倾

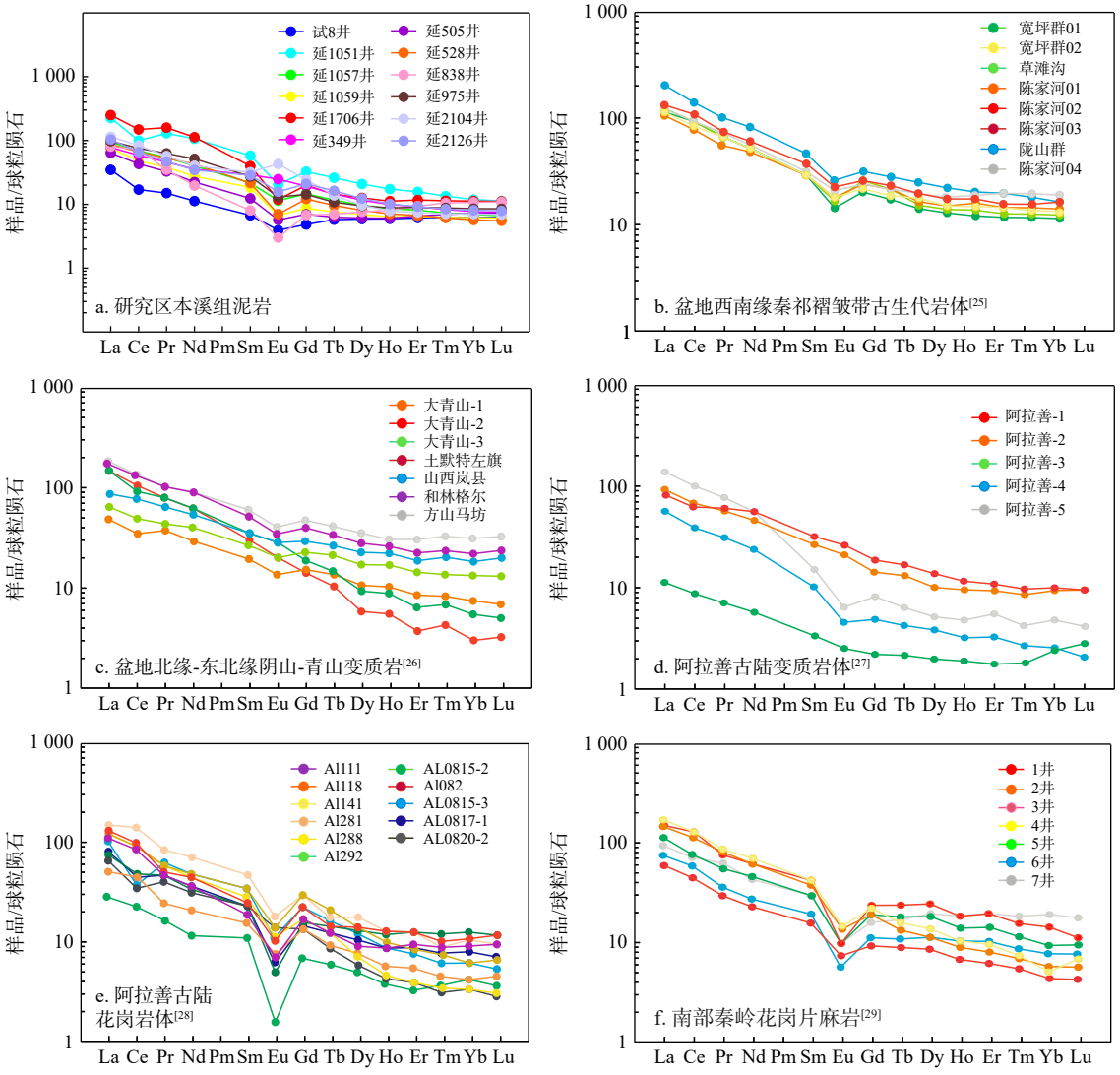


图 8　研究区本溪组泥岩及邻区不同岩体稀土元素配分模式图

Fig. 8　REE distribution patterns of mudstone and various rock masses of the Benxi Formation in the study and adjacent areas

型，整体倾斜程度较为平缓。部分井位样品 Ce, Eu 元素存在程度较低的负异常，例如延 528 井、延 505 井等，反映研究区 NE 部泥岩样品与盆地北苑−东北缘阴山−青山变质岩存在亲缘性。部分井位仅存在程度较低的 Eu 元素亏损，与盆地西南缘秦祁褶皱带古生代岩体曲线整体较为相似，例如延 838 井、延 1051 井等，表明研究区存在 WS 方向的碎屑物质来源。大部分井位的稀土元素配分曲线与南部秦岭花岗片麻岩类似，Eu 元素的亏损程度较大，例如延 1706 井、延 2126 井、延 2104 井等，反映研究区在本溪组沉积时期主要接受来自 ES 方向的物源。

由于 Sc, Th, Zr, Co, Cr, Nb 等微量元素的活动性较弱，在水体中具有低的分配系数和滞留时间，不受沉积、成岩过程的影响，因而它们在沉积岩中的含量及相互关系能够反映盆地的物源特征及所处的构造环境。Zr, Nb 不易迁移，随风化强度增大而逐渐富集，故选用 Zr-Nb 对研究区展开物源示踪，如图 9 所示。

通过将研究区内样品的 Zr/Nb 和陇东、豫西 2 地样品的 Zr/Nb 相对比，发现研究区本溪组泥岩的 Zr/Nb 数据位于研究区西南区域陇东地区和研究区东南区域豫西地区的样品之间，其 Zr/Nb 分布范围介于豫西地区泥岩和陇东地区白云岩之下泥岩之间，指示研究区在晚寒武世到早奥陶世期间接受来自 WS 陇东地区与 ES 豫西地区 2 个方向的物源（图 9）。

3.4　砂砾岩粒径及分布分析

碎屑岩的粒径分布及分选性是搬运能力的度量，是判断沉积时自然地理环境以及水动力条件的良好标志，且可指示距物源区的远近。

当岩心上最粗粒径的颗粒含量超过 10% 时，则以该粒径作为该井点本溪组的最粗粒径，并将其标注在对应井点。可以看出，研究区内砾岩砾径最大可达到 2 cm 以上，最大粒径总体从研究区朝 SE 方向加粗显著。与碎屑锆石年龄和重矿物组合得出的物源区特征一致（图 10）。

该方法未能指示出自 WS 物源的粒径变化，是由于西秦岭或祁连山母岩区较远所致，但粒径变化突出显示了 ES 方向物源的存在。鄂尔多斯盆地南部的本溪组−太原组本身砂质含量较少砂岩也很少，砂地比多小于 10%。因此 ES 物源比 S 和 WS 方向的碎屑供应更充分，该分析结果与稀土微量元素的分析结果相符。

4　本溪期沉积环境与古地理格局

砂体展布规律受到沉积相类型、海岸线位置等多种因素的影响[31]。通过分析研究区本溪组时期沉积环境的变化特征，与测井资料相结合，可以对障壁砂坝、潮道、滨前海等沉积微相在研究区内的分布规律进行研究。受加里东运动的影响，鄂尔多斯盆地自早古生代马家沟组时期开始了长达 1.3 亿 ~ 1.5 亿年的抬升剥蚀，至晚石炭世末期，在海西构造运动的影响下，盆地随着华北地台的缓慢沉降重新开始接受沉积，从而开始了晚古生代的充填演化[9]。

本溪组沉积初期，北部古亚洲洋构造域的白乃庙等小板块与华北板块发生碰撞，隆起形成小型造山带，发育三角洲体系，自 N 向 S 形成扇三角洲平原−扇三角洲前缘−潮间带复合沉积，为研究区北部提供物源（图 11）。盆地南部则由于南秦岭和北秦岭碰撞，南北秦岭与华北板块共同造山作用形成研究区南部物源区，同样发育三角洲沉积体系，但规模相对较小。该时期内发生大规模海侵，由于中央古隆起的影响，鄂尔多斯盆地划分为东西 2 个大的海域，呈现出东西向分异的沉积环境[33]。盆地西部为局限陆表海，海水从 NE 向 SW 入侵，沉降幅度相对较小，主要发育泻湖和潮坪沉积。研究区位于盆地东部，其沉降

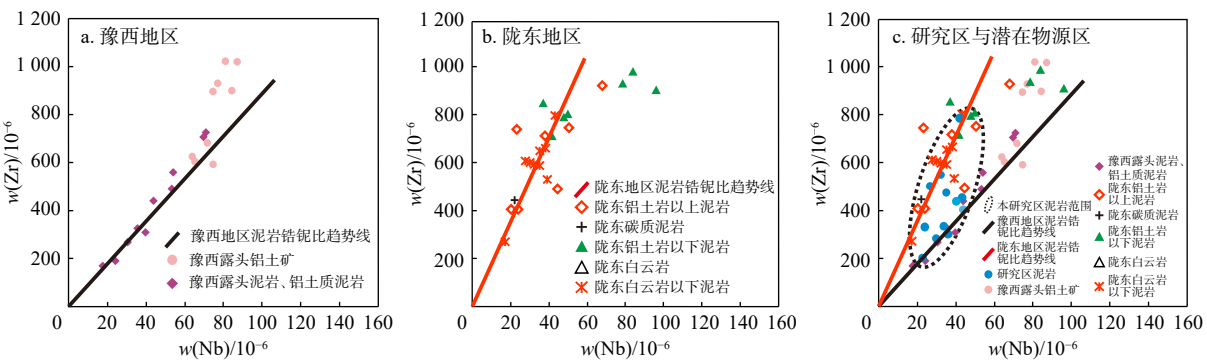


图 9　本溪组不同岩性的 Zr-Nb 图解

Fig. 9　Intersection of Zr and Nb element contents across different rock types in the Benxi Formation

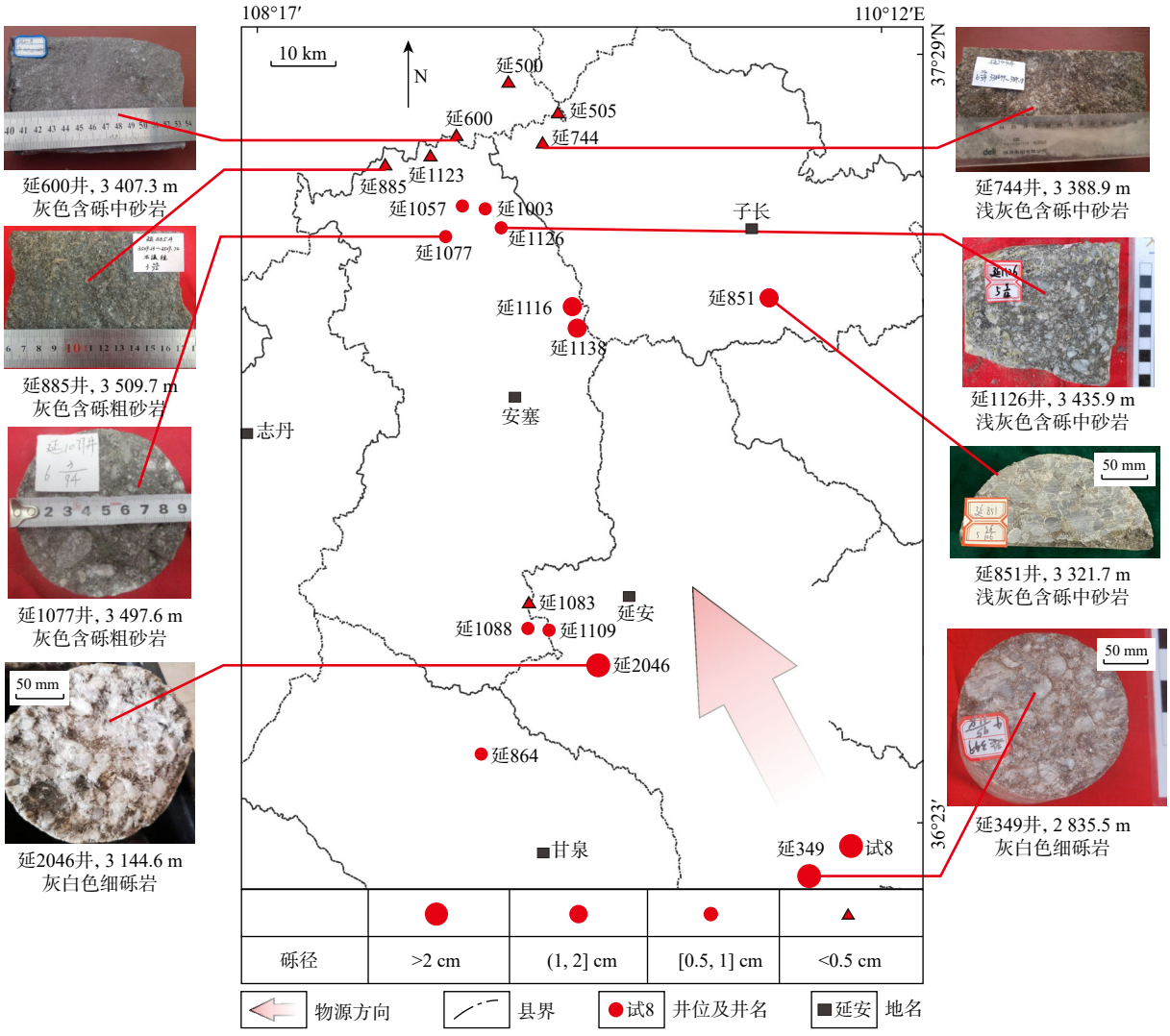


图 10　研究区及周边附近本溪组取心岩石粒度分布

Fig. 10　Particle size distribution map of core rocks from the Benxi Formation in the study area and surrounding regions

幅度较大，海水由 SW 和 NE 2 个方向相向入侵，具有很高的沉积物供应速率，主要发育浅海陆棚沉积，北起岚县以北地区，南抵洛宁西北地区，西至宜川–延长，东至岚县–灵石–临汾–洛宁一线以西地区[34]。因此在本溪组沉积初期，盆地内部同时受到南北双方物源的影响，盆地中东部的物源受中央古隆起的影响，隔绝了来自 WN 方向的物源。

本溪组沉积中期，南北两端造山作用减弱，物源供给速度也随之减小，三角洲体系也近于消失。后随着海平面的缓慢上升，南北两端的造山作用再次增强，重新发育三角洲沉积体系，该时期内物源供给速率增大，北部的三角洲不断向南推进，形成较大规模的晋祠砂体。南北物源体系的沉积物入海后，受潮汐作用的强烈改造，北部砂体被切割成为条形的障壁砂坝，但仍保留部分三角洲特征，盆地中部则形成孤立滩堡状分布的潮汐砂坝，在研究区范围内沿 NNW 向分布[3]（图 11）。

晚石炭世本溪组沉积后期，受北部西伯利亚板块的挤压影响，盆地北部进一步抬升，东南部开始下沉，海侵范围的进一步扩大，中央古隆起被淹没，对沉积作用的控制大为减弱，东西两侧的海域相连通，形成统一的滨浅海沉积[35]。至太原组沉积初期，东南部才下沉完成，因此在整个本溪组沉积的过程中，盆地东南部都可以为盆地中东部提供物源。

综上所述，鄂尔多斯盆地共存在 NE、WN、WS、ES 4 个方向的碎屑物质来源，但在本溪组沉积时期，中央古隆起对位于盆地中东部的延长探区存在着不可忽视的影响，导致了该区域物源与盆地整体的碎屑物质来源不同。延长探区内存在 3 个古海岸线的延伸方向，分别是位于工区西南部的 NW 向海岸线、东北部的 WN 向海岸线以及盆地南部 EW 向延伸的海岸线。在本溪组沉积时期，鄂尔多斯盆地北侧持

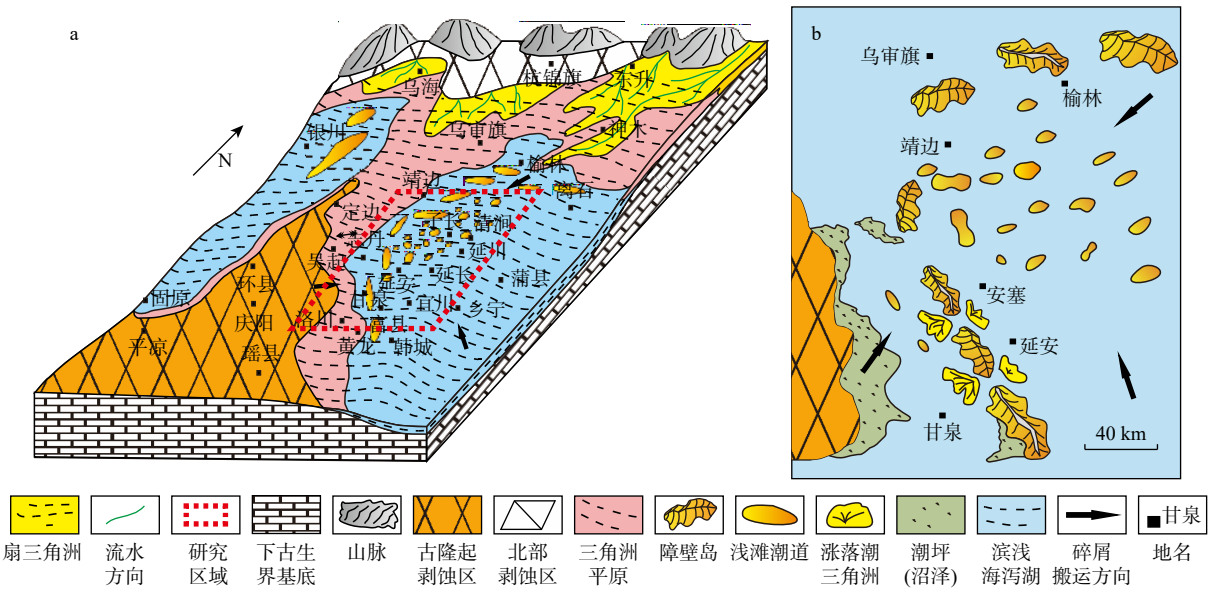


图 11　鄂尔多斯盆地本溪组沉积期古地理背景[32](a) 与延长气田内的物源区分布示意图 (b)

Fig. 11　Paleogeographic background during the sedimentation of the Benxi Formation in the Ordos Basin (a) and distribution of source areas in the Yanchang Gas Field (b)

续隆升, 并发生来自 NE 方向的大规模海侵, 为盆地内部提供物源。盆地东南部则在沉积初期由于南北秦岭的挤压先向上隆起, 后期又逐渐下沉, 但东南部的下沉发生在晋祠砂岩沉积之后, 直到太原组沉积时期才停止下沉, 因此盆地东南部较之北部提供的碎屑物质较少, 但在本溪组沉积时期仍可提供物质来源。

5　结　论

(1)研究区北部延 528 井的峰值年龄 398 Ma, 1 912 Ma 和 2 425 Ma 反映了来自 NE 方向物源的供应。研究区中部和南部的延 1051 井、延 304 井、延 349 井、延 1706 井和试 8 井, 主要存在 3 个峰值年龄段, 分别为 435 ~ 447 Ma, 952 ~ 976 Ma 和 2 458 ~ 2 487 Ma, 与秦岭造山带的锆石主峰一致, 指示研究区存在来自 ES 方向物源。

(2)研究区共存在 3 个不同方向的物源, 分别是 NE 方向的华北地块物源、WS 方向和 ES 方向的北秦岭物源。其中来自 ES 方向的物源对研究区的碎屑供应更为充足。结合盆地内构造演化特征, 反映在本溪组沉积时期, 除了已经探明的 NE、WS 方向存在的古隆起向研究区提供物源外, 盆地东南部也存在一个古隆起持续向研究区内提供碎屑物质来源。

(3)鄂尔多斯盆地中东部延长探区内本溪组地层的碎屑物质来源呈现南北双方物源共同控制的特点, 其中南部物源又可划分为 WS 和 ES 2 个方向。研究区内延川县及其北部地区受北方物源控制, 安塞及其南部往下地区受 WS 方向物源控制, 延长县及其南部往下地区则受 ES 方向物源控制。

所有作者声明不存在利益冲突。

The authors declare that no competing interests exist.

参考文献:

[1] 贾浪波, 钟大康, 孙海涛, 等. 鄂尔多斯盆地本溪组沉积物物源探讨及其构造意义 [J]. 沉积学报, 2019, 37(5): 1087-1103.
JIA L B, ZHONG D K, SUN H T, et al. Sediment provenance analysis and tectonic implication of the Benxi Formation, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2019, 37(5): 1087-1103. (in Chinese with English abstract)

[2] 刘锐娥, 黄月明, 卫孝锋, 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.
LIU R E, HUANG Y M, WEI X F, et al. Analysis of provenance of Late Paleozoic in the northern Ordos Basin and its geological significance[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2003, 23(3): 82-86. (in Chinese with English abstract)

[3] 陈全红, 李文厚, 胡孝林, 等. 鄂尔多斯盆地晚古生代沉积岩源区构造背景及物源分析 [J]. 地质学报, 2012, 86(7): 1150-1162.
CHEN Q H, LI W H, HU X L, et al. Tectonic setting and provenance analysis of Late Paleozoic sedimentary rocks in the Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(7): 1150-1162. (in Chinese with English abstract)

[4] 张靖芪, 虎建玲, 谢远飞, 等. 鄂尔多斯盆地西北缘晚石炭世–中二叠世沉积背景特征与演化 [J]. 沉积学报, 2025, 43(1): 121-138.
ZHANG J Q, HU J L, XIE Y F, et al. Depositional background and

evolution of Late Carboniferous-Middle Permian, northwestern margin of the Ordos Basin, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2025, 43(1): 121-138. (in Chinese with English abstract)

[5] 刘贤. 鄂尔多斯盆地延长地区上古生界物源分析及意义 [D]. 西安: 西北大学, 2010.
LIU X. Provenance analysis and its significance of Upper Paleozoic in Yanchang area, Ordos Basin[D]. Xi'an: Northwest University, 2010. (in Chinese with English abstract)

[6] 林进, 李云, 何剑. 鄂尔多斯延长探区本溪组物源及沉积体系分析 [J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1542-1551.
LIN J, LI Y, HE J. An analysis of the source and the sedimentary system of the Carboniferous Benxi Formation in Yanchang area of Ordos Basin[J]. Geology in China, 2013, 40(5): 1542-1551. (in Chinese with English abstract)

[7] 高志东. 鄂尔多斯盆地上石炭统本溪组物源分析及有利砂体发育规律 [D]. 成都: 成都理工大学, 2019.
GAO Z D. Provenance analysis of Benxi Formation of Upper Carboniferous in Ordos Basin and distribution regularity of favorable sand bodies[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2019. (in Chinese with English abstract)

[8] YANG Y T, LI W, MA L. Tectonic and stratigraphic controls of hydrocarbon systems in the Ordos Basin: A multicycle cratonic basin in Central China[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(2): 255-269.

[9] ZHAO J F, LIU C Y, HUANG L, et al. Paleogeography reconstruction of a multi-stage modified intra-cratonic basin: A case study from the Jurassic Ordos Basin, western North China Craton[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2020, 190: 104191.

[10] SHEN Y L, GUO Y H, JING H X, et al. Study on sequence stratigraphy from Benxi to Taiyuan Formation in northeastern Ordos Basin[J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009, 1(1): 995-1001.

[11] MORTON A C, WHITHAM A G, FANNING C M. Provenance of Late Cretaceous to Paleocene submarine fan sandstones in the Norwegian Sea: Integration of heavy mineral, mineral chemical and zircon age data[J]. Sedimentary Geology, 2005, 182(1/2/3/4): 3-28.

[12] ZHANG Z H, WANG H L. Comprehensive provenance analysis and its applications to Eocene clastic rocks in the Huimin Depression, Bohai Bay Basin, China[J]. Minerals, 2019, 9(9): 517.

[13] SAWAKUCHI A O, RODRIGUES F C G, MINELI T D, et al. Optically stimulated luminescence sensitivity of quartz for provenance analysis[J]. Methods and Protocols, 2020, 3(1): 6.

[14] RAI P, BORGOHAIN B, CHETTRI N, et al. A comparative heavy mineral study of the Cenozoic sediments of Assam and Siwalik Foreland Basins, northeast Himalaya[J]. Journal of the Geological Society of India, 2020, 96(5): 475-484.

[15] ZACHARIÁŠ J, KUCHAŘOVÁ A, KOTRLÝ M. Provenance analysis of marbles by combination of cathodoluminescence spectroscopy and electron microprobe analyses: Methodological comments[J]. Minerals, 2023, 13(2): 244.

[16] 龚胜利, 闫琢玉, 李百强, 等. 琼东南盆地中中新统海底扇碎屑岩锆石 U-Pb 年龄特征及物源分析 [J]. 地质科技通报, 2024, 43(5): 45-54.
GONG S L, YAN Z Y, LI B Q, et al. U-Pb age characteristics of detrital zircon and provenance analysis of a Middle Miocene submarine fan in the Qiongdongnan Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2024, 43(5): 45-54. (in Chinese with English abstract)

[17] 席胜利, 王怀厂, 秦伯平. 鄂尔多斯盆地北部山西组、下石盒子组物源分析 [J]. 天然气工业, 2002, 22(2): 21-24.
XI S L, WANG H C, QIN B P. Analysis of the material sources of Shanxi Formation and Shihezi Formation in north Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(2): 21-24. (in Chinese with English abstract)

[18] GUO P, LIU C Y, WANG J Q, et al. Detrital-zircon geochronology of the Jurassic coal-bearing strata in the western Ordos Basin, north China: Evidences for multi-cycle sedimentation[J]. Geoscience Frontiers, 2018, 9(6): 1725-1743.

[19] ZHAO X C, LIU C Y, WANG J Q, et al. Provenance analyses of Lower Cretaceous strata in the Liupanshan Basin: From paleocurrents indicators, conglomerate clast compositions, and zircon U-Pb geochronology[J]. Journal of Earth Science, 2020, 31(4): 757-771.

[20] 潘双苹, 胡光明, 李积永, 等. 柴达木盆地扎哈泉地区新近纪物源分析 [J]. 地质科技通报, 2023, 42(3): 201-209.
PAN S P, HU G M, LI J Y, et al. Analysis of Neogene provenance in Zhahaquan area, Qaidam Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2023, 42(3): 201-209. (in Chinese with English abstract)

[21] 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.

[22] 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.

[23] BOYNTON W V. Chapter 3-Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite Studies[A]//Anon. In Developments in Geochemistry[M]. edited by Henderson[S. l.]: Elsevier, 1984: 63-114.

[24] 刘江斌. 鄂尔多斯盆地西南部三叠系延长组沉积体系研究 [D]. 西安: 西北大学, 2017.
LIU J B. Depositional system of the Triassic Yanchang Formation in southwestern Ordos Basin[D]. Xi'an: Northwest University, 2017. (in Chinese with English abstract)

[25] 魏方辉, 裴先治, 李瑞保, 等. 甘肃天水地区早古生代黄门川花岗闪长岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及构造意义 [J]. 地质通报, 2012, 31(9): 1496-1509.
WEI F H, PEI X Z, LI R B, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Early Paleozoic Huangmenchuan granodiorite in Tianshui area of Gansu Province and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(9): 1496-1509. (in Chinese with English abstract)

[26] 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): 59-66.
SONG K, YU J W, DU J L, et al. Source direction analysis and delta depositional systems of Yanchang Formation of the Upper

Triassic in the central Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(3): 59-66. (in Chinese with English abstract)

[27] 王廷印, 高军平, 王金荣, 等. 内蒙古阿拉善北部地区碰撞期和后造山期岩浆作用 [J]. 地质学报, 1998, 72(2): 126-137.
WANG T Y, GAO J P, WANG J R, et al. Magmatism of collisional and post-orogenic period in northern Alax region in Inner Mongolia[J]. Acta Geologica Sinica, 1998, 72(2): 126-137. (in Chinese with English abstract)

[28] 耿元生, 周喜文. 阿拉善地区新元古代早期花岗岩的地球化学和锆石 Hf 同位素特征 [J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 897-908.
GENG Y S, ZHOU X W. Characterastics of geochemistry and zircon Hf isotope of the Early Neoproterozoic granite in Alax area, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(4): 897-908. (in Chinese with English abstract)

[29] 王晓霞, 王涛, 李伍平. 秦岭杂岩中花岗质片麻岩体的岩石地球化学特征及成因 [J]. 矿物岩石, 1997, 17(3): 76-82.
WANG X X, WANG T, LI W P. The geochemistry characteristics and genesis of the granitic gneisses in Qinling complex[J]. Mineralogy and Petrology, 1997, 17(3): 76-82. (in Chinese).

[30] 林孝先. 陆源碎屑岩盆地综合物源分析: 以鄂尔多斯盆地北部山西组为例 [D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
LIN X X. A synthetic thought of provenance analysis in the terrigenous clastic rock basin: An example in the Lower Permian Shanxi Formation, northern Ordos Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011. (in Chinese with English abstract)

[31] MENG X Z, PU R H, DOU T C, et al. Longshore changes in the microfacies and distribution of clastic barrier coastal sandbodies: A case from the Benxi Formation in the Ordos Basin, China[J]. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 2024, 14(5): 1129-1148.

[32] 王若谷, 周进松, 杜永慧, 等. 鄂尔多斯盆地东南部延安气田石炭系–二叠系沉积演化模式 [J]. 地质科学, 2021, 56(4): 1088-1105.
WANG R G, ZHOU J S, DU Y H, et al. Deposition evolution model of the Carboniferous-Permian in Yan'an gas field, the southeastern Ordos Basin[J]. Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica), 2021, 56(4): 1088-1105. (in Chinese with English abstract)

[33] CHEN A Q, ZOU H, OGG J G, et al. Source-to-sink of Late Carboniferous Ordos Basin: Constraints on crustal accretion margins converting to orogenic belts bounding the North China Block[J]. Geoscience Frontiers, 2020, 11(6): 2031-2052.

[34] CHEN R, WANG F, LI Z, et al. Late Paleozoic provenance shift in the east-central Ordos Basin: Implications for the tectonic evolution of the North China Craton[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2021, 215: 104799.

[35] FU C, YU X H, LI S L. Multiple sediment source infill in a low-accommodation basin: Implications for the Late Paleozoic sediment routing system in the southeastern Ordos Basin[J]. Geological Magazine, 2023, 160(9): 1649-1672.

Summary for “鄂尔多斯盆地延长探区本溪组物源分析”

Provenance analysis of Benxi Formation in the Yanchang exploration area of the Ordos Basin

FAN Yujie[1]，MENG Xiangzhen[2]，PU Renhai[1*]，GAO Xiaoping[3]，QIANG Teng[3]，SONG Ming[1]

1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China；
2. Natural Gas Research Institute Branch, Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an, 710061, China；
3. Gas Field Company, Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Yan'an Shaanxi 716000, China

First author，E-mail：2772451055@qq.com

* Corresponding author， E-mail：purenhai@126.com

Abstract：[**Objective**] The provenance of detritus plays a vital role in controlling the development and spatial distribution of the Benxi Formation sandstone reservoir within the Yanchang exploration area. [**Methods**] Based on previous research, this study employed four provenance analysis methods, including detrital zircon U-Pb ages, heavy mineral assemblages, trace elements, and statistical analysis of sandstone gravel size, applied to sand and mudstone samples from 37 wells in the Yanchang exploration area. [**Results**] The zircon U-Pb age populations exhibited peaks at approximately 1912 Ma and 2425 Ma, corresponding to the northern edge of the North China Craton. Additionally, peaks at 435−447 Ma and 952−976 Ma from five wells are linked to the North Qinling Mountains. Based on these findings, the provenance of sedimentary rocks can be divided into two primary directions: north and south. Furthermore, heavy mineral assemblage analysis showed higher zircon and tourmaline contents in the southwest region. At the same time, rutile was more abundant in the southeast, indicating that the southern source area can be subdivided into the southwest and southeast. Corresponding trace element analysis, notably the Zr/Nb values, supported these divisions, indicating two provenance directions of southwest Longdong and southeast Yuxi. Additionally, the spatial distribution of sandstone gravel diameters indicated a southeast source within the study area. [**Conclusion**] Comprehensive analysis reveals that the provenance of the Benxi Formation in the Yanchang exploration area stems from three main source regions: northeast (northern basin margin), southwest (Qilian Mountains), and southeast (North Qinling Mountains). The southeastern source is the closest and contributes the most sediments. This study illustrates the three provenance areas of the Benxi Formation and their influence zones, which are significant for predicting the distribution of sand bodies and delineating sedimentary facies in the Yanchang exploration area.

Key words: Benxi Formation； sediment provenance； zircon； heavy mineral； trace element； gravel size； Ordos Basin； Yanchang exploration area

Received：2024-04-25；Revised：2024-08-07；Accepted：2024-08-07

doi：10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240191