

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

陕甘宁晋及内蒙古地区奥陶纪 岩相古地理新探

冯增昭 张吉森 费安琦 刘平均

一、概 述

本文所谓的“陕甘宁晋及内蒙古”地区，乃指陕西的中部和北部、甘肃的东北部、宁夏的东部及南部、内蒙古的西南部、以及山西的西部，大体是秦岭以北、贺兰山以东、阴山以南和吕梁山以西的地区，乃五省（区）的边缘地区，大体与“鄂尔多斯”地区一致。本地区面积约30万平方公里。

本地区的石油早在《汉书》中就有记载。《汉书·地理志》^[1]云：“高奴有洧水可爇”。按“高奴”故城位于今延安城东^[2]，“洧水”乃水名，“爇”乃古“燃”字。这可算是本地区石油产地的最早记载。

但是，到目前为止，本地区的石油生产仍限于中生代的砂岩储集岩中。

在本地区，早古生代碳酸盐岩甚为发育，分布面积达20万平方公里以上，最大厚度在2000米以上。这是一个大有希望的油气储集岩系。因此，加强本地区早古生代碳酸盐岩的岩石学及岩相古地理学的研究，并在此基础上开展油气勘探工作，就有着重要的理论及实际意义。

本文的作图单位是冶里组（期）、亮甲山组（期）、马家沟组下部（早期）、马家沟组中上部（中晚期）、平凉组（期）。本文的马家沟组是广义的，它指位于上下两个平行不整合之间的一套碳酸盐岩层段。在本地区东部，它具有明显的“六分性”或“三分性”，即可明显地分为六个岩性段和三个岩性旋回。第一、二段相当于“下马家沟组”，第三、四段相当于“上马家沟组”，第五、六段相当于“峰峰组”。在本地区的西部和南部边缘，由于地处槽台过渡地带，其沉积特征和古生物群特征与东部有所不同，但仍可大体对比。本文的“平凉组”也是广义的，它包括内蒙古桌子山地区的“乌拉力克组”、“拉什仲组”、“公乌素组”、“蛇山组”，也包括关中地区的“西陵沟组”、“白王组”、“车道组”等。关于这些组段的时代归属问题，现在还有分歧；如有人把“马家沟组”划归“下奥陶统”，而更多的人则把它划归“中奥陶统”；凡此等等。本文不拟论述这一地层学问题。所以本文暂且只谈纪（系）和期（组），不谈世（统）。

参加1980年野外工作的还有王锡福副总地质师、宋国初主任地质师以及彭荣华、安文武、葛光京、王光明、王宗保、赵松青、王志辉、刘晓丽、刘莉莉、史永苏等同志；岩石薄片鉴定主要由王光明、杜天澍、郑君棣等同志担任；宋国初、史永苏等同志参加了资料统计及作图工作；西北大学地质系、山西地质局、第三石油普查大队、内蒙古108地质队等单位均大力协助；本文还蒙杨俊杰总地质师及王锡福副总地质师审阅指正。特此一并致谢。

二、单因素作图法

本文采用单因素作图法^[3-5]进行岩相古地理制图。所谓单因素，乃指能独立地反映沉积环境

的岩性特征及古生物特征等,如厚度、颗粒等。在单剖面沉积环境分析的基础上,把各剖面各作图单位的各种单因素均定量地统计出来,算出它们在各作图单位中的百分含量,进而绘制出区域性的单因素等值线图。这些单因素图就是岩相古地理研究的基础图件。综合这些单因素基础图件,去粗取精,全面分析判断,即可编制出各作图单位的岩相古地理图。在用这种单因素作图法编制出的岩相古地理图中,各古地理单位及各沉积相带的划分均有确切的定量数据控制;这就使岩相古地理图摆脱了“示意图”的初级状态。实践证明,这是一种与碳酸盐岩的岩石学和岩相古地理学的新理论相适应的,而且是行之有效的新方法论。

本文选用的单因素有厚度、颗粒、准同生白云岩、特定的化石、颜色以及特定的矿物等。

等厚图是反映该层段的沉积范围及沉降幅度的图件,它是判断该层段沉积时大地构造背景的重要依据。但也仅仅如此。厚度的大小与水体的深浅是两回事。厚度大只反映该层段沉积时该地区下陷幅度大,但水体不一定深;厚度小只反映该层段沉积时该地区下陷幅度小,其水体也不一定浅;厚度为零的地方也不一定就是古陆或古岛屿,这还要视其是原始的沉积缺失或是后来的剥蚀缺失而定。总之,确定古沉积环境的水体深浅还必须有确切的相标志,而确定古陆或古岛屿还必须有确切的边缘相,仅仅靠厚度资料是不行的;否则,就会得出错误的结论。

本文中的颗粒乃指砂级以上的经过搬运的盆内颗粒和陆源颗粒,暂把粉级以下的粉屑、球粒、粪粒、粉砂以及原地堆积的生物颗粒等排除在外;因为前者可以直接反映沉积环境的较强的水动力条件,而后者则反映较安静环境的水动力条件。所以把二者区分开是十分必要的。有时,也把陆源颗粒作为一个单因素进行定量统计和作图,目的在于判断陆源区的方向、距离以及沉积环境的水动力条件等。

准同生白云岩主要是潮上环境毛细管浓缩白云化作用或蒸发泵白云化作用的产物,它可以较确切地反映潮上环境或近岸环境。我们暂把泥晶到粉晶的、粘土含量较高的、带浅黄色的、常具纹理或藻席构造的、常具浅水甚至暴露出水面标志的、不含或少含化石的、其下伏岩层常为晶粒较粗的白云岩或云斑石灰岩的白云岩,当作准同生白云岩。

生物化石可以很有效地反映沉积环境特征。本文选用广海生物和骨骼钙藻为单因素。广海生物是指在正常盐度中才能正常生活的生物,如珊瑚、头足类、腕足类、棘皮类、三叶虫、笔石等。骨骼钙藻包括红藻、绿藻、褐藻等,它们多生活于盐度正常的温暖清洁的浅潮下环境中。

颜色可以反映沉积环境的氧化还原条件。本文暂把颜色分为氧化色与还原色两类。在还原色中,黑色为100%,深灰色为75%,灰色为50%,浅灰色为25%,白色为0%。在氧化色中,红色为100%,褐色为75%,棕色为50%,黄色为25%,白色为0%。

此外,象特定的矿物如石膏等,也可作为单因素使用;它反映蒸发环境。

各种单因素的定量统计方法已有专文论述^[3-5],不再重复。

三、各期岩相古地理特征

1. 冶里期

冶里组分布在本地区的东部和南部边缘,东缘厚达75米以上,南缘厚达112米以上。向本地区的中、西、北部,厚度逐渐变薄以至为零。

在南部,主要为白云岩(准同生及准同生后的);在东北部偏关一带,白云化程度有所减弱,其底部有未白云化的石灰岩。冶里组与下伏的上寒武统凤山组为连续沉积。

颗粒含量低,分布也很局限,仅偏关和三川河有少量竹叶状砾屑及化石碎屑,在岐山有少量砂屑。

准同生白云岩发育，一般含量在30%以上。由本地区的东、南部，向中、西、北部，含量逐渐增加。

由本地的东、南部，向中、西、北部，氧化色逐渐增强，还原色逐渐减弱。

综合上述各单因素的主要特征，即由本地区的东、南部，向中、西、北部，厚度逐渐变小以至为零，准同生白云岩逐渐增加，还原色逐渐减弱，氧化色逐渐增强，并结合区域钻井及物探资料等，可以判断出本地区的中、西、北部应为一古陆，此古陆可称作“鄂尔多斯古陆”。在此古陆的东南边缘，准同生白云岩发育，陆源泥含量较高，正是古陆边缘相的特征；此地带可称作“偏关岐山泥云岩坪”或“偏关岐山潮坪”（图1）。

2. 亮甲山期

亮甲山期的岩相古地理特征与冶里期甚为相似，即在本地区的中、西、北部为“鄂尔多斯古陆”，其东南缘为“偏关岐山潮坪”；所不同者，仅海侵有所扩大而已，即古陆边缘略向西、北方向移动。

3. 马家沟早期

马家沟组下部地层的分布范围比冶里组和亮甲山组扩大的多。在本地区，除庆阳及乌兰格尔等地区外，都有不同程度的沉积。最大厚度在西部可达600米以上。在区域上，呈西厚东薄和南厚北薄的状况。

岩性具明显的两分性，即在东和东南部可分出马家沟组第一段和第二段，在西北部桌子山地区可划分出三道坎组（大体与马一段相当）和桌子山组（大体与马二段相当）。马一段准同生白云岩发育，陆源泥含量高，底部还有陆源的砾石和砂，与下伏亮甲山组呈假整合接触。西北部的三道坎组主要由白云质砂岩、准同生白云岩及白云化石灰岩组成，与下伏的上寒武统崮山组呈假整合接触。总之，马一段与三道坎组主要为近岸及浅水环境的产物，其上覆的马二段及桌子山组乃海侵较甚时形成的。

颗粒（盆内颗粒及陆源颗粒）有四个高含量区，即中部的庆阳及延安、北部的乌兰格尔、西北部的银川以及西南部的岐山、陇县地区。在青龙山、盐池、府谷、固原、平凉、永寿、泾阳一带以及本地区的东南缘，为三个低含量区。陆源颗粒主要富集在北部地区。盆内颗粒主要集中在西北部的桌子山、任1井以及南部的宝鸡、永寿地区。

广海生物主要分布在西部的固原、青龙山、桌子山以及盐池、府谷一带。骨骼钙藻的分布地区几乎与广海生物一致。

准同生白云岩主要富集在东南部。

岩石颜色的变化趋势是：从本地区外围向中部，还原色逐渐减弱，氧化色逐渐增强。

根据上述各单因素资料，并结合钻井、地震以及区域地质资料，可以判定本地区在马家沟早期存在四个古陆，即中南部的“庆阳古陆”和“延安古陆”，北部的“乌兰格尔古陆”以及西北部的“阿拉善古陆”。其中，庆阳古陆及乌兰格尔古陆已为钻井资料证实。延安古陆有地震资料

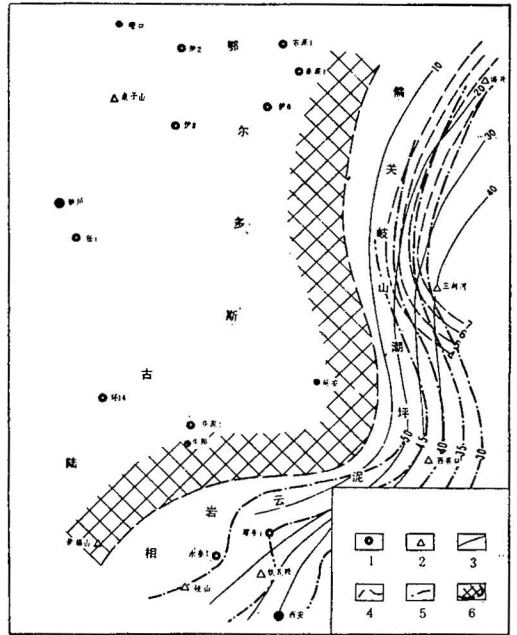


图 1 陕甘宁地区奥陶纪冶里期岩相古地理图
1—探井； 2—地表剖面； 3—县还原色岩层厚度（%）等值线； 4—颗粒含量（%）等值线； 5—准同生白云岩厚度（%）等值线； 6—古陆

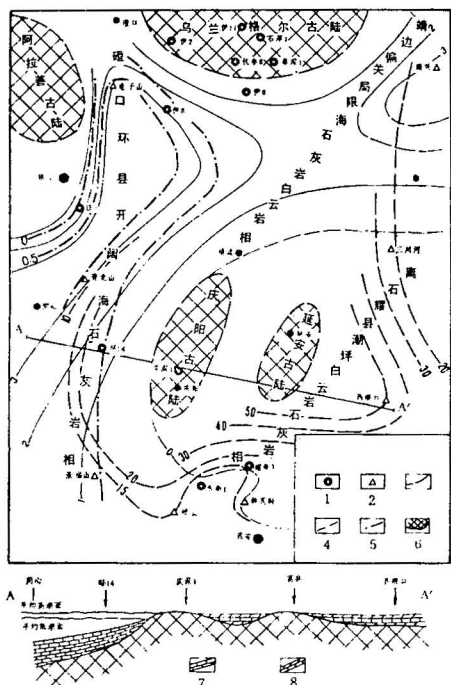


图 2 陕甘宁地区奥陶纪马家沟早期岩相古地理图

1—探井；2—地表剖面；3—广海生物含量(%)等值线；4—准同生白云岩含量(%)等值线；5—骨骼钙藻含量(%)等值线；6—古陆；7—开阔海相；8—潮坪相

部更为广泛。在本地区，除北部的乌兰格爾等地区外，几乎都有此层段分布。南部厚度最大，可达700米以上。其总的趋势仍和马家沟组下部相似，即西厚东薄和南厚北薄。

颗粒含量不高，只庆深1井和陇县地区含量较高。在此两个高含量区之间，为一低含量的槽形地带。

广海生物主要分布在西部和东北部。骨骼钙藻主要分布在西部。

准同生白云岩不甚发育。西北部无准同生白云岩。庆深1井准同生白云岩含量最高，达40%以上。总的趋势是向本地区中部增多。

石膏含量以庆深1井最高，可达55%以上；其次为东部和南部；西部无石膏。总的趋势是向本地区中部含量增高。这一趋势与准同生白云岩相似。

岩石还原色向本地区中部减弱，氧化色则增强。

根据上述各单因素资料以及钻井、地震、地质资料，可对本地区马家沟中晚期的岩相古地理特征

依据。只有阿拉善古陆的论据尚欠充分，暂按传统观点定之。在本地区的东南部，即离石、河津、耀县一带，准同生白云岩发育，颗粒含量低，广海生物和骨骼钙藻几乎没有，以氧化色为主，乃古陆边缘沉积特征，故定为“离石耀县潮坪”。在西部的桌子山、青龙山、环县一带，准同生白云岩很少，颗粒含量低，广海生物及骨骼钙藻发育，还原色为主，故定为“磴口环县开阔海”。在中部和东北部的靖边、偏关一带，有一定含量的颗粒和广海生物，以还原色为主，其南北均有古陆，水流受到一定限制，故定为“靖边偏关局限海”。总之，马家沟早期的岩相古地理轮廓已与冶里期和亮甲山期不大相同，一个统一的“鄂尔多斯古陆”已四分五裂，代之而出现的是四个分散的小古陆或小古岛屿以及它们之间的一些性质不同的海域。这是一个重要的演化(图2)。

4. 马家沟中晚期

马家沟组中上部地层的分布范围较马家沟组下

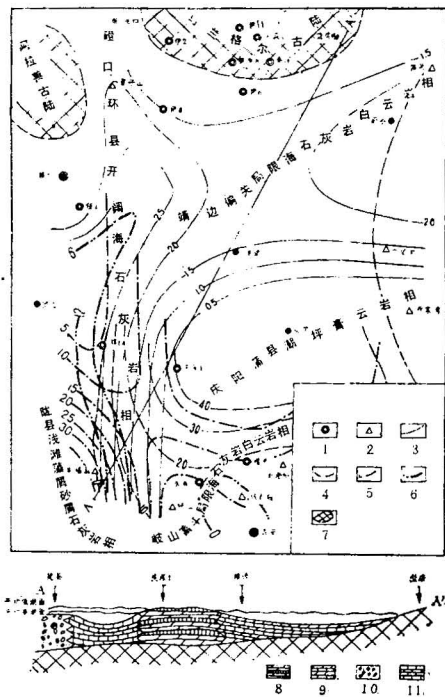


图 3 陕甘宁地区奥陶纪马家沟中晚期岩相古地理图

1—探井；2—地表剖面；3—广海生物含量(%)等值线；4—准同生白云岩厚度(%)等值线；5—颗粒含量(%)等值线；6—骨骼钙藻含量(%)等值线；7—古陆；8—膏岩坪相；9—局限海相；10—藻屑砂屑滩相；11—开阔海相

判断如下：北部的“乌兰格爾古陆”仍然存在；西北部的“阿拉善古陆”仍然论据欠充分，仍暂定它存在；但“庆阳古陆”和“延安古陆”已不复存在。本地区的奥陶纪海侵此时达最高潮，冶里期和亮甲山期的“鄂尔多斯古陆”此时已基本演化为“鄂尔多斯古海洋”。在此古海洋中，“庆阳蒲县膏云岩坪”代替了原先的“庆阳古陆”和“延安古陆”，这是一个继承性的演化。西南部的“陇县藻屑砂屑滩”主要根据该地区颗粒含量较高而定。南部的“岐山富平局限海”是根据含有一定的广海生物和准同生白云岩以及少量颗粒而定。“澄口环县开阔海”和“靖边偏关局限海”基本上继承了马家沟早期的海域特征（图3）。

5. 平凉期

平凉组分布在本地区的西缘和南缘，宛如一“L”形，与冶里组和亮甲山组的反“L”形分布恰成鲜明的对照。在此“L”形的狭窄地带中，由东向西，由北向南，地层厚度急增；在大约30到50公里的距离内，厚度增至1000至2000米以上。地震及钻井资料证明，在此“L”形地带以东和以北，无平凉组沉积。

岩性变化也很明显。在西缘，主要为绿灰、黄绿、黑灰、灰黑色的页岩和砂岩，夹少量薄层泥晶石灰岩，偶夹古陆边缘的重力流沉积的砾岩层。页岩中笔石丰富。石灰岩中有三叶虫等广海生物，且保存完好。显然，这都是深水沉积特征。在南缘的宝鸡、永寿一带，为页岩、砂岩；其北的千阳、富平一带，为碳酸盐岩。在此碳酸盐岩地带中，北部以石灰岩为主，准同生白云岩发育，颗粒含量低；南部颗粒石灰岩发育，广海生物繁盛，且含有重力流沉积的砾岩；西部主要为无颗粒或少颗粒的石灰岩，也含广海生物。

根据上述地层分布及厚度、岩性变化特征以及区域性的地震和钻井资料，可对本地区平凉期的岩相古地理特征判断如下：本地区的广大范围均为古陆，仅在西缘和南缘才有海洋沉积。这就是说，在平凉期，统一的“鄂尔多斯古陆”又出现了（图4）。其实，这一“鄂尔多斯古陆”乃是“华北古陆”的一部分，因为此时整个华北地区几乎全为古陆。此古陆南缘坡度较缓，在古陆与深水页岩、砂岩之间，发育着一个规模不大的碳酸盐岩台地。古陆西缘坡度较陡，深水页岩、砂岩直接与古陆边缘接触，碳酸盐岩远不如南缘发育。至于西北部的“阿拉善古陆”，仍然论据欠充分，仍姑且绘出罢了。

6. 历史的演化

总观本地区奥陶纪各期岩相古地理特征，可以看出：

冶里期继承了寒武纪末期的海侵，表现为奥陶系的冶里组与寒武系的凤山组的连续沉积。海侵范围止于本地区的东缘和南缘。本地区的中、西、北部为“鄂尔多斯古陆”，其东、南缘为一反“L”形的“偏关岐山泥云岩坪”。

亮甲山期的岩相古地理特征与冶里期基本相同，仅海侵范围有些扩大而已。

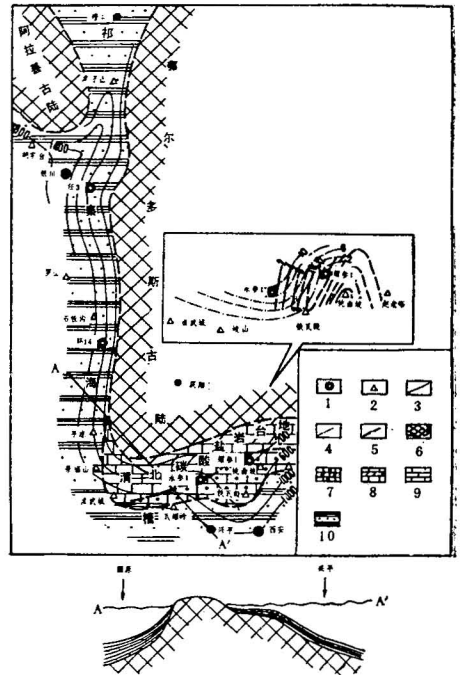


图 4 陕甘宁地区奥陶纪平凉期（广义）岩相古地理图

- 1—探井； 2—地表剖面； 3—平凉组厚度（米）等值线；
- 4—准同生白云岩厚度（%）等值线； 5—重力流岩厚度（%）等值线；
- 6—古陆； 7—颗粒石灰岩亚相； 8—石灰岩白云岩亚相； 9—石灰岩亚相； 10—祁秦海槽砂页岩相

亮甲山期以后, 由于怀远运动, 本地区几乎整体上升为陆并遭受剥蚀; 在吕梁山一带愈靠南部, 剥蚀程度愈强烈, 这可从马一段底部的砾岩、砂岩以及陆源砾、砂等得到证明。在本地区西北部, 三道坎组与崮山组接触, 当非仅为怀远运动所致。

马家沟早期开始大的海侵, 冶里期和亮甲山期统一的“鄂尔多斯古陆”已不复存在, 已解体为几个小型的古陆或古岛屿。此时, 水体较深的是西部的“磴口环县开阔海”。

马家沟中晚期, 海侵达最高潮, 除北部尚有一两个小古陆外, 本地区几乎全为海水淹没。此时, 深水地区仍在西部。此时西部的生物群, 除华北型外, 还有华南型的, 这说明此时的古海域可能已和华南古海域沟通了。

马家沟末期至平凉期, 本地区甚至整个华北几乎整体上升, 统一的“鄂尔多斯古陆”又复出现。此时的“鄂尔多斯古陆”乃“华北古陆”的一部分。仅在古陆的西缘及南缘的“L”形地带, 才有平凉期的, 以深水特征为主的沉积。

背锅山组仅局限于本地区的西部, 且出露零散, 还难以作出其区域性的岩相古地理图。

至奥陶纪末, 暂按传统观点: 海水全部退出本地区甚至整个华北地区, 本地区及整个华北变为大陆, 长期遭受风化剥蚀; 直至中、晚石炭世, 才又开始接受沉积。

四、从岩相古地理谈油气勘探

根据前述各期岩相古地理特征这一侧面, 可对本地区奥陶系油气勘探工作提一些粗浅看法:

马家沟期的开阔海及局限海以及平凉期的深水海槽是最有利的生油古海域。马家沟期的开阔海及平凉期的深水海槽的良好生油指标已被重视, 但范围广阔的“靖边偏关局限海”的生油潜势则尚未; 可否在此局限海的腹地布一深井探索此处女地的秘密?

至少有三种良好储集岩类型。第一, 是各组段中广泛分布的、厚度大的、晶粒较粗的、晶间孔隙及溶蚀孔隙均甚发育的准同生白云岩及与其共生的云斑石灰岩; 第二, 是漫长的古陆边缘的高能量相带的岩石^[6,7]; 第三, 是平凉期鄂尔多斯古陆边缘的断裂带。前两种储集岩的储油潜势可能会更大些。

本地区不乏油气盖层, 如平凉页岩、石炭二叠纪煤系地层、马家沟组的第一、三、五段的膏云岩层, 都是良好的盖层。

因此, 可以说在整个华北地区早古生代碳酸盐岩台地中, 本地区的石油地质条件是十分有利的。打开此古老油区的新阀门, 看来是时候了!

主 要 参 考 文 献

- [1] 汉班固, 汉书·地理志。中华书局, 1962年版, 第6册, 第1617页。
- [2] 王嘉荫, 1975, 中国地质史料。科学出版社。
- [3] 冯增昭, 1977, 华北下奥陶统岩相古地理新探。华东石油学院学报, 3期。
- [4] 冯增昭, 1979, 华北早奥陶世岩相古地理新探。地质科学, 4期。
- [5] 冯增昭, 1980, 碳酸盐岩沉积环境及岩相古地理的研究。石油实验地质, 3期。
- [6] 欧文, M. L., 1965, 冯增昭译(1980), 陆表海清水沉积作用的一般原理。见《石油地质学译文集, 第四集, 碳酸盐岩沉积环境》。科学出版社。
- [7] 威尔逊, J. L., 1975, 冯增昭等译(1981), 地质历史中的碳酸盐相。地质出版社。

THE ORDOVICIAN LITHOFACIES AND PALEO GEOGRAPHY OF THE SHAANXI-GANSU-NINGXIA-NEI MONGGOL-SHANXI REGION

Feng Zengzhao

Zhang Jisen Fei Anqi Liu Pingjun

Abstract

The occurrence of oil in the Shaanxi-Gansu-Ningxia-Nei Monggol-Shanxi region was recorded long ago in the "Chronicles of Han Dynasty". Up to the present, the oil production in this region is still confined to Mesozoic sandstone reservoirs.

Early Paleozoic carbonate rocks are widely distributed over this region, with an area of over 200,000 sq km and a thickness of over 2,000 m. Therefore, it is of important theoretical and practical significance to strengthen the study of the petrology and lithofacies-paleogeography of the early Paleozoic carbonate rocks and carry out oil and gas exploration work on that basis in this region.

In this paper, the authors use the single-factor method to construct maps of lithofacies and paleogeography. "Single factors" refer to variables that can reflect the characteristics of sedimentary environments and paleogeography independently, e. g. the thickness, grain size, penecontemporaneous dolomite, colours, specific fossils and minerals, etc. On the basis of various single-factor contour maps, through comprehensive analysis and judgement, the authors have prepared lithofacies-paleogeographic maps of various ages (Yeli, Liangjiashan, early Majiagou, middle and late Majiagou and Pingliang ages) of the Ordovician of this region.

The lithofacies-paleogeographic features of Yeli and Liangjiashan ages are very much alike. The Ordos oldland is situated in the middle, west and north, and the Pianguan-Qishan dolomicrite flat is on the southeastern margin. In the Majiagou age, large-scale transgression began, and as a result the Ordos oldland was disintegrated into several smaller oldlands, i. e. the Qingyang, Yanan, Ulangur and Alxa oldlands; the old seas were the Dengkou-Huanxian open sea, Jingbian-Pianguan restricted sea and Lishi-Yaoxian tidal flat. In the middle and late Majiagou ages, the transgression reached a climax; this region was almost entirely inundated except the Ulangur and Alxa oldlands in the north. The then-existing sea could be divided into the Dengkou-Huanxian open sea, Jingbian-Pianguan restricted sea, Qingyang-Puxian tidal flat, Longxian bank and Qishan-Fuping restricted sea. By the Pingliang age, the unitary Ordos oldland emerged again, and an "L-shaped" Qilian-Qingling trough occurred on its western and southern margins.

On the basis of the above-mentioned lithofacies-paleogeographic features of various ages, the authors hold that the petroleum geological conditions of this region

are very favourable in the platform of early Paleozoic carbonate rocks in the north China region. New probing has just begun. It is time to open the new valve of this old oil region.