

文章编号: 1000-0550(2002)03-0524-06

# 塔里木盆地石油运移的孢粉学证据<sup>①</sup>

江德昕<sup>1</sup> 王永栋<sup>2</sup> 魏江<sup>3</sup>

1(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000) 2(中国科学院南京地质古生物研究所 南京 210008)

3(美国弗吉尼亚州立诺福克大学 诺福克 VA23504)

**摘要** 基于塔里木盆地塔北、库车、喀什和叶城四个含油气区 44 个原油样品和 3 个天然气样品中发现的化石孢子花粉 89 属 183 种的研究,在该盆地地质背景下探讨了石油运移的机理。研究内容包括石油运移的通道、相态、方向、路线和期次。研究表明,在油气源岩成岩过程中由异常高压形成的微裂隙是石油初次运移的通道,断层、不整合面、节理和其他裂隙是石油二次运移的通道,在运移过程中石油可保持其原有相态,液态与气态混合相是塔里木盆地石油运移过程中的主要相态,石油运移的方向因油藏类型而异,或以垂直运移为主,或以侧向运移为主。

**关键词** 孢子花粉 石油运移 油藏 石炭系 三叠系 侏罗系

**第一作者简介** 江德昕 女 1933 年出生 研究员 孢粉学

**中图分类号** TE122.1+2 Q913.84 **文献标识码** A

石油是流体矿藏,油气从在源岩中的分散状态到在油气藏中的聚集状态必定经历漫长的运移过程。地表油气苗和油气泉是油气运移的宏观证据,石油中包含不同地质时代的孢子花粉化石是石油运移的微观证据。事实上,油气自生成后即开始运移运动,运移作用贯穿于油气生成、聚集或散失的全过程,对油气藏形成或破坏起着决定性的作用。因此,石油运移机理是油气藏形成理论的重要组成部分,对于认识油气资源分布规律,合理部署勘探和开发具有重要意义。孢子花粉是陆相油气源岩的组成部分,是石油的原始母质。因此,残存在原油中的孢子花粉化石可以反映油气从源岩至油气藏运移运动的踪迹,为探讨石油运移的通道、相态、方向、路线和期次等问题提供可靠的信息。为了研究塔里木盆地的石油运移机理,笔者曾 4 次赴野外考察和采集样品。本文旨在基于石油中孢粉化石的研究探讨石油运移的机理。原油样品分离采用恒温过滤法,滤渣经抽提后用镉重液浮选孢粉化石<sup>[1-2]</sup>。

## 1 地质背景

塔里木盆地是我国最大的内陆沉积盆地,沉积岩最大厚度达 13~15 km,是可望找到大型油气田的陆上含油气盆地。盆地内具有多时期的油源岩、储油岩和盖层,构造运动的演化更叠使这些岩系结合为古生新储、自生自储和新生古储等类型的生储盖组合。

加里东、海西、印支、燕山和喜马拉雅等构造运动的强烈影响,形成塔里木盆地三个隆起、四个拗陷的构

造格局和各种类型的褶皱和断裂,同时产生不同时期的地层不整合面。拗陷是有机质聚集和保存的有利地带,多期构造运动所造成的叠加复合拗陷对有机质的聚集和保存更为有利。隆起是油气运移的指向,继承性隆起对油气聚集的作用更大。由于构造运动频繁而强烈,盆地内油气藏封闭条件主要取决于构造因素,背斜构造圈闭、断层遮挡和地层间的不整合都是构成油捕的重要因素,可以形成多种圈闭类型的油气藏。断裂和不整合面同时又是油气运移的重要通道,发生在油气藏形成以前的断裂是油气垂直运移的重要通道,地层间的不整合面是油气侧向运移的重要通道。历次构造运动造成的差异升降运动,使盆地在基岩断块的控制下产生众多断裂和裂隙。这些断裂和裂隙是油气运移的良好通道,其中有些大断裂沟通了油源岩和储油岩,使油气运移畅通无阻。

在库车、喀什、叶城和塔北等含油气区已先后发现多种类型的油气藏。1984 年以来在塔北和库车先后发现高产油藏和气藏,证明塔里木盆地是远景很大的含油气盆地。

## 2 石油中的孢子花粉

塔里木盆地石油中含有丰富的孢子花粉化石,塔北、库车、喀什和叶城四个含油气区 44 个原油样品和 3 个天然气样品中发现的化石孢子花粉有 89 属 183 种。其中,足迹芦木孢(*Calamospora pedata*)、暗顶三角粒面孢(*Granulatisporites adnatoides*)、微小厚角孢

① 国家自然科学基金项目(R850879)资助

(*Triquitrites desperatus*) 极小鳞木孢(*Lycospora pusilla*) 华丽周网孢(*Retispora florida*) 微小斑点单缝孢(*Punctatosporites minutus*) 始见于北美和西欧石炭系<sup>[3-6]</sup>;三叠斑点圆形孢(*Punctatisporites triassicus*) 聂氏隆德布拉孢(*Lundbladisporea neburgii*) 和普氏隆德布拉孢(*L. playfordi*) 发现于德国、罗马尼亚和澳大利亚西部下三叠统<sup>[7-8]</sup>;大龙口背光孢(*Limatulasporites dalongkouensis*) 和小背光孢(*L. parvus*) 始见于我国新疆下三叠统,稀少小囊粉(*Mimutosaccus parvus*) 假肋单肋联囊粉(*Colpectopollis pseudostratus*) 和雅致单肋联囊粉(*C. scitulus*) 始见于新疆中三叠统和上三叠统<sup>[9]</sup>;可疑斑点圆形孢(*Punctatisporites ambiguus*) 柔软芦木孢(*Calamospora tener*) 圆锥刺圆形孢(*Apiculatisporis globosus*) 棘状锥刺圆形孢(*A. spiniger*) 微刺锥刺圆形孢(*A. parvispinosus*) 粗糙楔环孢(*Camaronosporites redis*) 微刺离层单缝孢(*Aratrisporites parvispinosus*) 和松散锥囊粉(*Parcisporites solutus*) 始见于瑞士上三叠统<sup>[10]</sup>;中生弓脊孢(*Retusotriletes mesozoicus*) 库氏拟石松孢(*Lycopodiacidites kuepperi*) 哈莱因虎纹孢(*Tigrisporites halleinis*) 卡勒斑马纹孢(*Zebrasporites kahleri*) 费氏离层单缝孢(*Aratrisporites fischeri*) 半盔离层单缝孢(*A. corylisemini*) 粗糙离层单缝孢(*A. scabratus*) 粒纹离层单缝孢(*A. granulatus*) 副刺离层单缝孢(*A. paraspinosus*) 和典型单脊双囊粉(*Chordasporites singulichorda*) 发现于奥地利上三叠统<sup>[11]</sup>;接触面圆形块瘤孢(*Verrucosisporites contactus*) 和三叠二肋粉(*Lueckisporites triassicus*) 始见于英国上三叠统<sup>[12]</sup>;瑞替拟石松孢(*Lycopodiacidites rhaeticus*) 和瑞替宽肋粉(*Taeniaesporites rhaeticus*) 发现于德国上三叠统<sup>[13]</sup>;卵形锥刺圆形孢(*Apiculatisporis ovalis*) 斯岛旋脊孢(*Duplexisporites scanicus*) 较大宽沟粉(*Chasmatosporites major*) 华美宽沟粉(*C. elegans*) 和斯岛原始松粉(*Protopinus scanicus*) 始见于瑞典下侏罗统,圆锥石松孢(*Lycopodiumsporites paniculatoides*) 和小冠翼粉(*Callialasporites minus*) 始见于瑞典中侏罗统<sup>[14-15]</sup>;哈氏拟网叶蕨孢(*Dictyophyllidites harrisi*) 较大托第蕨孢(*Todisporites major*) 较大莱蕨孢(*Leptolepidites major*) 变化克鲁克蕨孢(*Klukisporites variegatus*) 和粗糙合囊蕨孢(*Marattisporites scabratus*) 发现于英国中侏罗统<sup>[16]</sup>;诺斯拟里白孢(*Gleicheniidites rousei*) 尼尔森拟里白孢(*G. nilssonii*) 弗鲁格波缝孢(*Undulatisporites pflugii*) 侏罗三角粒面孢(*Granulatisporites jurassicus*) 可变

锥刺圆形孢(*Apiculatisporis variabilis*) 亚圆石松孢(*Lycopodiumsporites subrotundum*) 侏罗窄角凹环孢(*Murospora jurassica*) 小窄角凹环孢(*M. minor*) 侏罗拟开通粉(*Vitreisporites jurassicus*) 伊腾拟开通粉(*V. itunensis*) 弗氏拟罗汉松粉(*Podocarpidites florinii*) 兰氏拟罗汉松粉(*P. langii*) 小拟雪松粉(*Cedripites minor*) 假圆拟云杉粉(*Piceites pseudorotundiformis*) 和卡莱尔脑形粉(*Cerebropollenites carlylensis*) 报道于加拿大侏罗系<sup>[17]</sup>;澳洲桫欏孢(*Cyathidites australis*) 小桫欏孢(*C. minor*) 亚粒拟苏铁粉(*Cycadopites subgranulosus*) 和鲜明原本内苏铁粉(*Bennettiteapollenites lucifer*) 报道于英国和德国侏罗系<sup>[16,18]</sup>;阿纳格拉姆旋脊孢(*Duplexisporites anagrammensis*) 多凹拟罗汉松粉(*Podocarpidites multesimus*) 多合拟罗汉松粉(*P. multicinus*) 暴露拟云杉粉(*Piceites expositus*) 隐藏拟云杉粉(*P. latens*) 罗汉松型拟云杉粉(*P. podocarpoides*) 和有边四字粉(*Quadraeculina limbata*) 最早发现于俄罗斯侏罗系<sup>[19-20]</sup>;奇异金毛狗孢(*Cibotiumspora paradoxa*) 发现于俄罗斯和我国侏罗系<sup>[21]</sup>。以上是石炭纪、三叠纪和侏罗纪的标志种和常见种,在欧亚、北美和澳大利亚有广泛分布。

根据原油中孢子花粉化石和原油孢粉集合的研究,塔里木盆地中生界含有良好的油气源岩,古生界也有潜在的油气源岩,石炭系、三叠系和侏罗系油源岩都是成熟的油源岩<sup>[22-23]</sup>。

### 3 石油运移机理

#### 3.1 初次运移

初次运移是指油气自源岩层向储集层或运载层的运移。初生石油或石油气从母体向外释放是初次运移的第一阶段,即初始运移,油气从释放点向源岩层内部的运动是初次运移的第二阶段,即层内运移,油气从源岩层排驱出来,是初次运移的第三阶段,油气进入储集层(或运载层)的运移是初次运移的最后阶段。

初次运移的通道是石油运移机理的一个关键问题,也是一个受到广泛关注的理论问题。因为油珠直径一般大于  $1\ \mu\text{m}$ ,而油源岩孔隙直径一般小于  $0.01\ \mu\text{m}$ ,油珠显然不能通过油源岩孔隙运移出来。塔里木盆地原油中孢子花粉化石属种鉴定及其地质分布的研究结果说明,原油中含有众多来自三叠系或侏罗系油源岩系的孢粉化石。例如,喀什和叶城两含油区上第三系油藏以上及塔北含油区三叠系油藏原油中含有众多澳洲桫欏孢、小桫欏孢、哈氏拟网叶蕨孢、弗鲁格波缝孢、亚圆石松孢、卵形锥刺圆形孢、阿纳格拉姆旋脊

孢、斯岛旋脊孢、小窄角凹环孢、亚粒拟苏铁粉、鲜明原本内苏铁粉、卡莱尔脑形粉、斯岛原始松粉、假圆拟云杉粉等侏罗系油源岩系所产的孢粉化石(图版 I)。埋藏在源岩中的这些孢子花粉为油气生成提供了有机质后仍保存其原有的外壁结构;它们与初生石油一起从油源岩层内被排驱出来,向储集层运移并最终进入油藏。这些孢粉化石是石油运移的同行者,因而也是石油运移机理的见证者。研究区原油中来自油源岩系的孢粉化石在显微镜下测量结果,孢子直径一般为 25~50  $\mu\text{m}$ ,最小 18  $\mu\text{m}$ ,最大 70  $\mu\text{m}$ ;单沟花粉宽一般为 20~25  $\mu\text{m}$ ,最小 15  $\mu\text{m}$ ,最大 38  $\mu\text{m}$ ;具气囊花粉宽一般为 30~65  $\mu\text{m}$ ,最小 25  $\mu\text{m}$ ,最大 80  $\mu\text{m}$ 。这些数值比油源岩孔隙直径大数千倍。虽然孢粉化石具有很强的柔韧性,遇到狭窄通道时可以被压缩成褶皱状态通过,并在宽阔空间恢复原状。但这些化石要从油源岩孔隙中挤压出来是决不可能的,只有通过微裂隙才能从油源岩中排驱出来。在油源岩成岩作用过程中,欠压实(undercompaction)和异常高压(abnormal high pressure)是普遍存在的,烃类生成和粘土矿物脱水作用都可形成异常高压。油源岩系统内形成的异常高压使油源岩产生微裂隙,为初次运移提供了足够宽畅的通道。油珠和孢子花粉化石不能通过油源岩孔隙运移出来,必定是取微裂隙通道从油源岩层排驱出来的。因此,原油中产于油源岩系孢子花粉化石的发现为微裂隙运移机理提供了可靠的证据。

运移相态与运移通道是密切相关的。孢子花粉化石比油珠大十几倍至几十倍,微裂隙通过允许油源岩中的孢粉化石通过,油珠在其中必可畅通无阻。因此,油相运移在初次运移阶段是完全可能的。由于天然气运移不受运移通道的限制,气相运移历来是没有疑问的。由此看来,石油初次运移的相态应是油气原本的相态,即保持初生石油或石油气的相态。某些较小的孢粉化石如小杪椴孢、哈氏拟网叶蕨孢、诺斯拟里白孢、奇异金毛狗孢、三叠斑点圆形孢等不仅在研究区原油中普遍存在,在塔北、喀什和叶城三个含油气区石油伴生天然气和油田水中也有所发现。这一事实说明油气运移往往是相伴随的。作为固体微粒的孢粉化石应有油气水作为载体方能从油源岩中运移出来,因此油气水通过微裂隙进行混相运移可能是石油初次运移的主要方式。

### 3.2 二次运移

二次运移是指油气进入储集层或运载层以后的运移。进入储集层或运载层呈分散状态的油气经过二次运移集中起来才能形成油气聚集。在二次运移过程中,遇到良好的圈闭条件,油气便能聚集成油气藏;如

果缺乏圈闭条件,油气便会散失。二次运移是不乏通道的,储集层的连通孔隙、层面间隙、断层、节理、裂隙和不整合面都可作为二次运移的通道。由于运移通道宽畅无阻,石油二次运移的相态仍然保持油气本相态。

塔里木盆地原油中含有丰富的孢子花粉化石,反映石油二次运移的通道是足够宽畅的,孢粉化石可以油气水为载体沿着各种运移通道一直运移到油气藏内。在断层和不整合面附近的钻井中,原油中含孢粉化石的数量比其他原油样品中发现的孢粉化石多几倍至几十倍,说明断层和不整合面是二次运移的主要通道。油气水通过断层、不整合面和其他缝隙进行混相运移是盆地内石油二次运移的主要方式。

二次运移的方向、路线和期次因油藏类型而异,可以从原油中孢粉化石的组成反映出来。在古生新储油藏形成过程中,油气从下伏较老岩系油源岩向上覆较新岩系储集岩圈闭运移,二次运移以垂直运移为主,运移方向由下向上,运移动力主要是浮力。在自生自储油藏中,油源岩和储油岩同属一个连续沉积岩系,二次运移以短距离侧向运移为特点。在新生古储油藏形成过程中,油气从较新岩系油源岩向较老岩系储集岩圈闭运移,二次运移以侧向运移为主,运移动力主要是水动力。喀什含油区克拉托油田和叶城含油区柯克亚油田均为上第三系储油,孢粉化石油源对比结果说明其油源岩属于下、中侏罗统<sup>[24,25]</sup>,是典型的古生新储油藏。该两油藏原油样品中含有澳洲杪椴孢、小杪椴孢、哈氏拟网叶蕨孢、较大托第蕨孢、诺斯拟里白孢、奇异金毛狗孢、卵形锥刺圆形孢、变化克鲁克蕨孢、侏罗窄角凹环孢、小窄角凹环孢、亚粒拟苏铁粉、鲜明原本内苏铁粉、较大宽沟粉、卡莱尔脑形粉、侏罗拟开通粉、多合拟罗汉松粉、弗氏拟罗汉松粉、斯岛原始松粉、小拟雪松粉、有边四字粉等产于下侏罗统康苏组和中侏罗统杨叶组及塔尔尕组的孢粉化石,说明石油运移的路线是下、中侏罗统到上第三系,运移的大方向是垂直向上的。在康苏组、杨叶组及塔尔尕组沉积后,这些岩组内的有机质包括孢子花粉逐渐转化为石油和石油气。当油气水携带孢粉化石脱离这些油源岩层进入运载层后,油气在水介质中产生的浮力驱使油气携带孢粉化石向上运移,直到进入克拉托和柯克亚晚第三纪构造圈闭并在上第三系储集层聚集成油气藏,才完成运移的全过程。在这漫长的运移时期和遥远的运移路途,被油气从油源岩层中携带出来的孢粉化石必有很多散失。现今在克拉托和亚克拉上第三系油藏原油中发现的侏罗纪孢粉化石是产于油源岩系,来自油源岩系,经过长途跋涉到达运移终点的幸存者。这些孢粉化石不仅是石油初次运移的同行者,也是石油二次运

移的同行者,是石油运移全过程的见证者。根据原油孢粉集合研究,塔北含油区存在石炭系、三叠系和侏罗系三套油源岩系<sup>[22,26]</sup>。轮南三叠系油藏属于自生自储油藏,雅克拉奥陶系油藏属于新生古储油藏。轮南三叠系油藏原油中含有众多三叠纪孢子花粉,如三叠斑点圆形孢、柔软芦木孢、中生弓脊孢、棘状锥刺圆形孢、瑞替拟石松孢、库氏拟石松孢、大龙口背光孢、小背光孢、普氏隆德布拉孢、聂氏隆德布拉孢、费氏离层单缝孢、半盔离层单缝孢、粗糙离层单缝孢、粒纹离层单缝孢、副刺离层单缝孢、三叠二肋粉、瑞替宽肋粉、假肋单肋联囊粉、雅致单肋联囊粉、典型单脊双囊粉、稀少小囊粉等。这些孢子花粉化石产于三叠系油源岩层,被石油初次运移带出油源岩层进入三叠系储集层后,开始与油气一起经历二次运移。储集层内的压实水流驱使进入其中的油气带着孢粉化石继续运移并最终聚集成油气藏。原油中的孢粉化石表明,该油藏石油运移的路线是从三叠系泥岩油源岩层到三叠系砂岩储集层,二次运移具有短距离运移的特点,运移的方向主要是侧向运移。雅克拉奥陶系油藏原油中含有石炭纪、三叠纪和侏罗纪孢子花粉,例如足迹芦木孢、暗顶三角粒面孢、微小斑点单缝孢等来自石炭系油源岩系;三叠斑点圆形孢、中生弓脊孢、微刺锥刺圆形孢、棘状锥刺圆形孢、接触面圆形块瘤孢、库氏拟石松孢、哈莱因虎纹孢、卡勒斑马纹孢、大龙口背龙孢、小背光孢、聂氏隆德布拉孢、费氏离层单缝孢、半盔离层单缝孢、粒纹离层单缝孢、三叠二肋粉、典型单脊双囊粉、稀少锥囊粉等来自三叠系油源岩系;小桫椤孢、哈氏拟网叶蕨孢、弗鲁格波缝孢、亚粒拟苏铁粉、小拟雪松粉等来自侏罗系油源岩系。这些孢粉化石被石油初次运移带出各自的油源岩层进入运载层后,与油气一起开始向奥陶系储集层运移。盆地边缘大气水流注入岩层造成的水动力是石油二次运移的强大动力,区域性不整合面和张性断层是石油二次运移的良好通道,对于雅克拉奥陶系古潜山油藏的形成起到决定性的作用。原油中的孢粉化石反映该油藏具有多时期的油源和多期次的石油运移。原油中来自石炭系、三叠系和侏罗系三期油源岩系的孢粉化石说明,二次运移起点不同,终点是相同的,油气在不同地质时期,以不同层位为起点开始向奥陶系储集层行进,并最终聚集在一起。这类油藏二次运移的路线是错综复杂的,运移的动力主要靠水动力,其次是浮力,运移的方向主要是侧向运移,其次是垂直运移。

致谢 中国科学院兰州地质研究所、中国科学院南京地质古生物研究所、美国弗吉尼亚州立诺福克大学电脑系给予支持,中国石油天然气总公司高级工程

师梁狄刚、地质矿产部高级工程师何卓生和董凯林提供地质信息,中国科学院兰州地质研究所杨惠秋给予技术帮助,实验师杜金娥和来常玉分析样品,谨致谢忱。

#### 参考文献(References)

- Jiang D-X(江德昕), Yang H-Q(杨惠秋), Du J-E(杜金娥). Significance and method of spore-pollen analysis of crude oil[J]. *J. Bo(植物学杂志)*, 1974, 1: 31~32 (in Chinese)
- Jiang D-X(江德昕). Spores and pollen in oils as indicators of lacustrine source rock[J]. *Geological Society Special Publication*, 1988, 40: 59~169
- Kosanke R M. Pennsylvanian spores of Illinois and their use in correlation[J]. *Illinois Geol Surv Bull*, 1950, 74: 1~128
- Potonié R, Kremp G. Die Spores dispersae des Ruhrkarbon[J]. *Teil I. Palaeontographica*, B, 1955, 98: 1~136
- Potonié R, Kremp G. Die Spores dispersae des Ruhrkarbon[J]. *Teil II. Palaeontographica*, B, 1956, 99: 85~191
- Staplin F L. Upper Mississippian plant spores from the Golata Formation, Alberta, Canada[J]. *Palaeontographica*, B, 1960, 107: 1~40
- Venkatachala B S, Beju D, Kar R K. Palynological evidence on the presence of Lower Triassic in the Danubian (Moesian) Platform, Rumania[J]. *Palaeobotanist*, 1968, 16: 29~37
- Balme B E. Plant microfossils from the Lower Triassic of western Australia[J]. *Palaeontology*, 1963, 6: 12~40
- Yang J-H(杨基端), Qu L-F(曲立范), Zhou H-Q(周惠琴), Cheng Z-W(程政武), Zhou T-S(周统顺), Hou J-P(侯静鹏), Li P-X(李佩贤), Sun S-Y(孙素英), Li Y-G(李友桂), Zhang Y-X(张毓秀), Wu S-Z(吴绍祖), Zhang Z-M(张致民), Wang Z(王智). Permian and Triassic Strata and Fossil Assemblages in the Dalongkou Area of Jimar, Xinjiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986. 70~173 (in Chinese)
- Leschik G. Die Keuper Flora von Neuwelt bei Basel. II. Die Isound Mikrosporen[J]. *Schweiz Palaeont*, 1955, 72: 1~70
- Klaus W. Sporen der karnischen Stufe der ostalpinen Trias[J]. *Jahrb Geol Bundesanst (Austria)*, 1960, 5: 107~184
- Clarke R F A. Keuper miospores from Worcestershire, England[J]. *Palaeontology*, 1965, 8: 294~321
- Schulz E. Sporenpalaeontologische untersuchungen ratoliassischer Schichten im Zentralteil des Germanischen Beckens[J]. *Palaeontology*, B, 1967, 2: 541~633
- Nilsson T. Über das Vorkommen eines mesozoischen Sapropelgesteins in Schoner[J]. *Lund Univ Arsskr*, NF, 1958, 54: 1~112
- Tralau H. Botanical investigation into the fossil flora of Eriksdal in Fyledalen, Scania[J]. *Bull Geol Surv Swed*, 1968, 633: 1~132
- Couper R A. British Mesozoic microspores and pollen grains. A systematic and stratigraphic study[J]. *Palaeontographica*, B, 1958, 103: 75~179
- Pocock S A J. Palynology of the Jurassic sediments of western Canada[J]. *Palaeontographica*, B, 1970, 130: 12~136
- Potonié R. Synopsis der Gattungen der Spores dispersae. Teil II. Sporites (Nachträge), Saccites, Aletes, Praecolpates, Polypliates,

- Monocolpates[J]. *Beih Geol Jahrb*, 1958, 31 :1~114
- 19 Bolchovitina N A. Atlas of spores and pollen from Jurassic and Lower Cretaceous deposits of the Vilyui Depressior[J]. *Trans Geol Inst Acad Sci USSR*, 1956, 2 :1~188
- 20 Maljavkina V S. Identification of spores and pollen of the Jurassic and Cretaceous[J]. *Trudy VNIGRI NS*, 1949, 33 :1~138
- 21 Zhang L-(张璐瑾). Sporo-pollen assemblage from Yima coal-bearing formation of Mianchi County of Henan Province and its significance [J]. *Acta Palaeontol Sin (古生物学报)*, 1965, 13 :160~196 (in Chinese)
- 22 Jiang D-X(江德昕), Yang H-Q(杨惠秋). Spores and pollen in crude oils and petroleum source of Tarim Basin[J]. *Science in China, B*, 1992, 35 :1 005~1 012
- 23 Jiang D-X(江德昕), Yang H-Q(杨惠秋). Petroleum sporo-pollen assemblages of Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentol Sin (沉积学报)*, 2000, 18 :80~88 (in Chinese)
- 24 Jiang D-X(江德昕), Yang H-Q(杨惠秋). Spores and pollen from crude oil of Kashi Depression, Xinjiang[J]. *Acta Bot Sin (植物学报)*, 1996, 38 :809~813 (in Chinese)
- 25 Jiang D-X(江德昕), Yang H-Q(杨惠秋). Petroleum sporo-pollen assemblages and oil source rock of Yecheng Seg in Xinjiang[J]. *Acta Bot Sin (植物学报)*, 1986, 28 :111~116 (in Chinese)
- 26 Jiang D-X(江德昕), Yang H-Q(杨惠秋). Petroleum sporo-pollen assemblages and petroleum source rocks of North Tarim Upheaval in Xinjiang[J]. *Acta Bot Sin (植物学报)*, 1999, 41 :213~218 (in Chinese)

## Palynological Evidence for Petroleum Migration in Tarim Basin

JIANG De-Xin<sup>1</sup> WANG Yong-Dong<sup>2</sup> WEI Jiang<sup>3</sup>

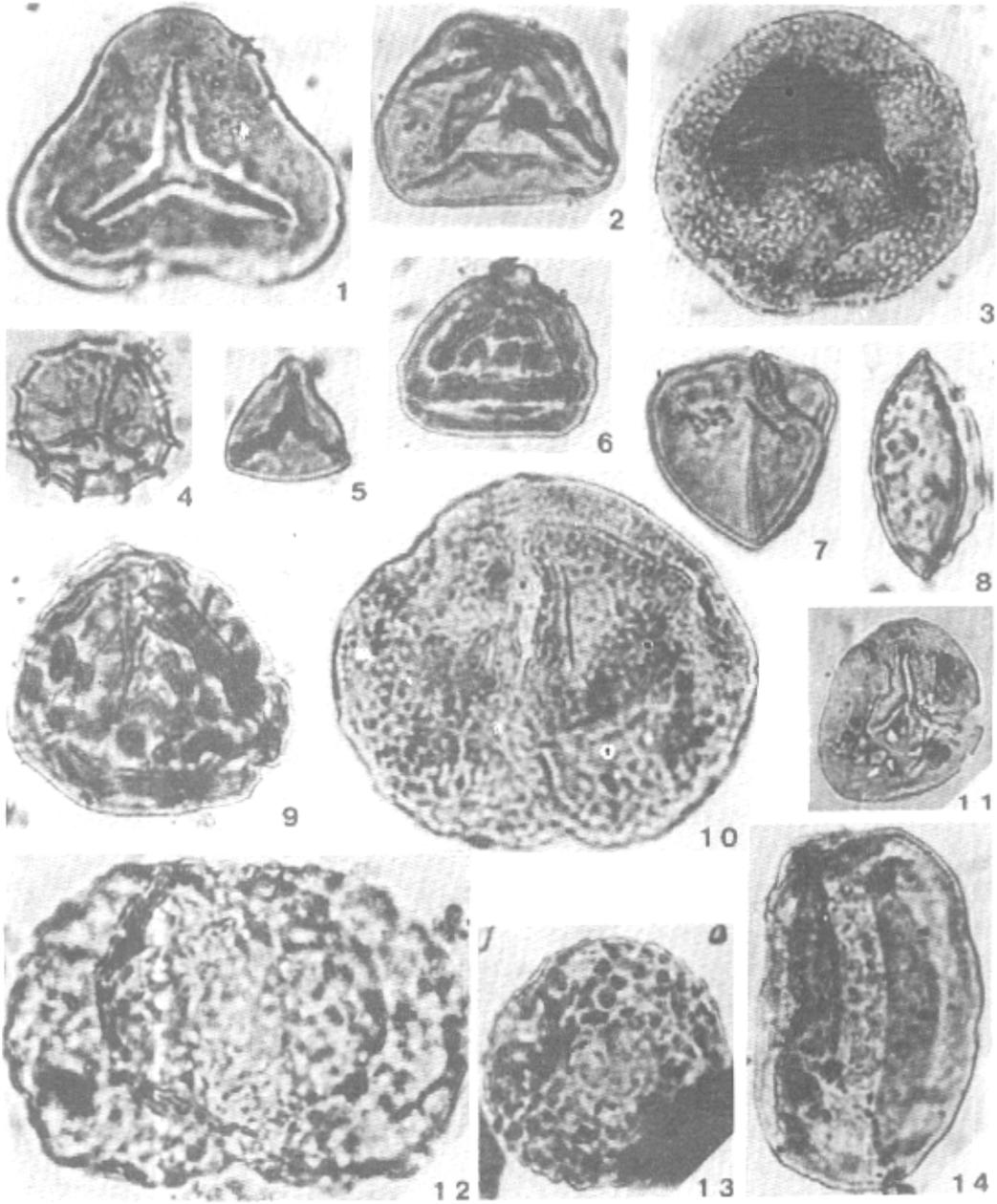
(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

✉ Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

✉ Norfolk State University of USA, Norfolk VA23504)

**Abstract** One hundred and eighty-three species of fossil spores and pollen were identified, that are referred to 89 genera found in 44 crude oil samples and 3 natural gas samples collected from the North Tarim, Kuche, Kashi and Yecheng petroliferous regions of Tarim Basin. Based on the investigations of the fossil spores and pollen found in oil and gas, the mechanisms of petroleum migration were discussed according to the geological background of the basin. The contents of this study include the passages, phase states, directions, routes and periodic sequences of petroleum migration. Judging from the spores and pollen in petroleum, it may be concluded that microfissures formed by abnormal high pressure during the diagenesis of petroleum source rocks could provide passages for the primary migration of petroleum; faults, unconformity surfaces, joints and other fissures could be the passages of the secondary migration of petroleum; petroleum might keep in the original phase state in the course of migration, and liquid and gaseous mixed phase might be the main phase state in the course of petroleum migration in Tarim Basin; and the main direction of petroleum migration could be represented by either vertical migration or lateral migration for different reservoir types.

**Key words** spore and pollen, petroleum migration, petroleum reservoir, Carboniferous, Triassic, Jurassic



图版 I 说明 1. *Cyathidites australis* Couper ; 2. *Cyathidites minor* Couper ; 3. *Apiculatisporis ovalis* ( Nilsson ) Norris ; 4. *Lycopodiumsporites subrotundum* ( Kara-Murza ) Pocock ; 5. *Undulatisporites pflugii* Pocock ; 6. *Duplexisporites anagrammensis* ( Kara-Murza ) Playford et Dettmann ; 7. *Dictyophyllidites harrisii* Couper ; 8. *Cycadopites subgranulosus* ( Couper ) Clarke ; 9. *Duplexisporites scanicus* ( Nilsson ) Playford et Dettmann ; 10. *Piceites pseudorotundiformis* ( Mal. ) Pocock , 11. *Murospora minor* Pocock , 12. *Protopinus scanicus* Nilsson ; 13. *Cerebropollenites carlyensis* Pocock ; 14. *Bennettiteapollenites lucifer* ( Thierg. ) Potonié.