

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2014.05153

三叠纪全球板块再造及岩相古地理研究

塔斯肯^{1,2}, 李江海^{1,2}, 李维波^{1,2}, 王洪浩^{1,2}, 杨静懿^{1,2}, 李文山^{1,2}

(1. 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871;

2. 北京大学石油与天然气研究中心, 北京 100871)

摘要:三叠纪全球古板块再造及岩相古地理的研究对分析该时期烃源岩全球分布特征及形成环境具有重要意义。利用古地磁软件恢复三叠纪全球古板块再造图,并在此基础上结合全球盆地分析和理论框架,叠加更新各种地质要素,最终编制完成三叠纪全球古地理图、全球岩相及烃源岩分布图。早三叠世发生泛大陆持续汇聚事件,导致在全球范围内火山频繁活动、冰川消融及弧后盆地的广泛发育;由于格陵兰和波罗的之间的多个热点,以及中大西洋大火山岩省的岩浆作用,导致中—晚三叠世泛大陆开始裂解,全球海平面上升,大陆周缘广泛发育陆表海,提供了利于生烃母质生物繁衍生息的环境,继而促进了烃源岩的形成。三叠纪的烃源岩仅占全显生宙时期的1.2%,干酪根类型分布较为均一。

关键词: 板块构造;古地理;古岩相;烃源岩;三叠纪

中图分类号:P736.1

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2014)05-0153-10

中生代起始于三叠纪,由于二叠纪生物大灭绝事件的深远影响,三叠纪开始数百万年之后生物才开始真正复苏。此时,三叠纪冰期结束,全球海平面降低,超大陆的地理分布决定了当时各地的气候与环境。因此,古气候、古环境和三叠纪原型盆地恢复及其岩相古地理的深入研究,对于基础地质和能源勘探均具有重要意义。

前人已经对三叠纪全球古板块再造和岩相古地理开展了大量研究(Golonka和Ford, 2000; Trappe, 2000; Zharkov和Chumakov, 2001; Scotese, 2002; Mullins和Servais, 2008; Torsvik et al., 2008a,b; Tabor和Poulsen, 2008; Golonka, 2011; Kravchinsky, 2012),并且形成了不同系列的全球古板块再造、全球古气候、岩相古地理等图件,但这些图件的精度相对较低或者只是单一地去探讨关于古板块、古生物分布、岩相古地理等问题,普遍未对不同圈层不同事件综合考虑,缺乏对三叠纪全球尺度烃源岩的分布及构造背景、古环境等之间相互关系的讨论。

本文通过深入研究,在最新的古地磁数据^[1]基础上,补充了2004年之后发表的古生代古地磁数据,并根据V90标准^[2]((1)采样地层的年代得到精

确的确定,且假设磁化年龄等于实际的岩石年龄;(2)足够数量的独立采样点和独立定向的样品;(3)正确的退磁技术和记录;(4)野外检验来限定磁化年龄;(5)构造控制以及与相关克拉通或板块的一致性;(6)地磁极性倒转的存在;(7)与较晚时期的古极点没有相似性。)筛选品质因子 $Q \geq 3$ 的古地磁数据。选择220 Ma为时间节点,对全球古板块进行再造。在此基础上,对三叠纪全球古板块构造格局(220 Ma)、古环境(240~220 Ma)以及岩相古地理(240~220 Ma)进行了新认识的探讨。

1 三叠纪大地构造格局

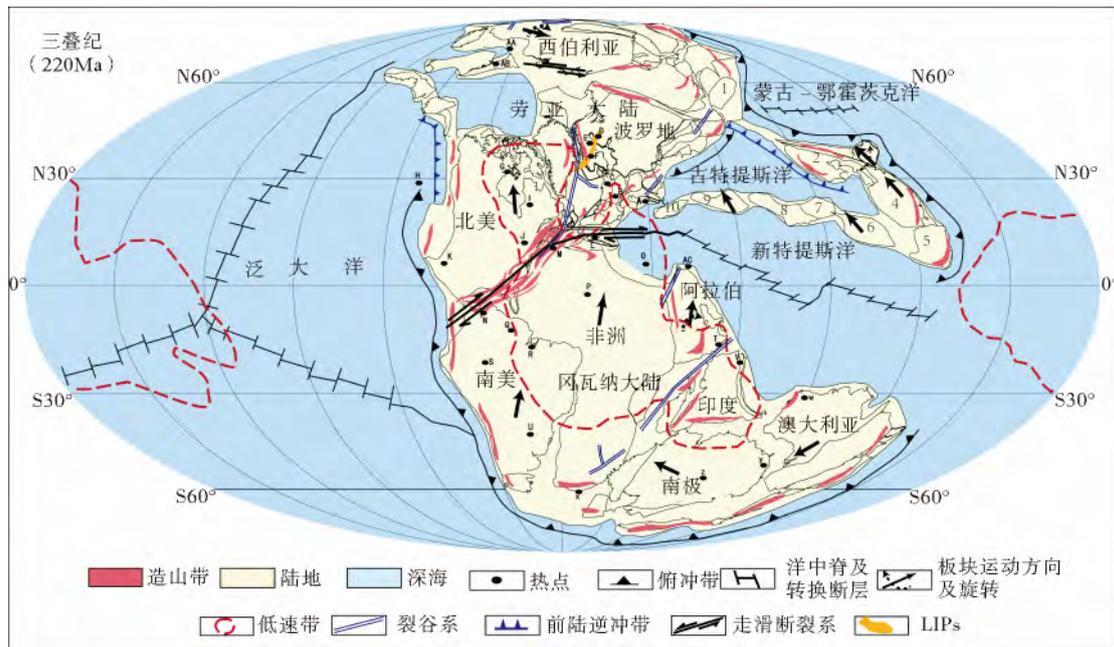
从早石炭世开始聚合的劳伦大陆,在三叠纪由北区的劳亚大陆和南边冈瓦纳大陆整体拼合成规模巨大的泛大陆。陆地半圈起一个广大的“特提斯洋”,其北侧的陆地部分称为“劳亚大陆”,大致是由现今北美、欧洲及亚洲的大部分地区组成;南侧的部分称为“冈瓦纳古陆”,主要是由现今的非洲、阿拉伯、印度、澳洲及东南极组成。地球上其余的地方则是浩瀚的“泛大洋”,其面积广达现今太平洋的两倍。因此,在西伯利亚东缘、华南东西两侧、中亚和冈瓦纳大陆西缘等板块上形成了天山-突厥^[5]、安第斯、索伦、泰梅尔等造山带^[6](图1)。

海西运动以后,阿尔卑斯以北的欧洲地区、乌拉尔山区、北美东部及喜马拉雅山以北的亚洲地区,许多晚古生代的地槽转变为稳定区。早二叠世开始张

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2009CB219302)

作者简介:塔斯肯(1985—),男,哈萨克斯坦共和国,北京大学地球与空间科学学院硕士研究生,主要从事含油气盆地与盆地动力学研究,E-mail:taskyn710@gmail.ru

收稿日期:2013-10-11;改回日期:2013-12-30. 文凤英编辑



1-塔里木;2-华北;3-阿姆利亚;4-扬子;5-加里曼丹;6-印支;7-马来西亚;8-基默里陆块群;9-伊朗;10-土耳其;(造山带据 Zharkov Chumakov;俯冲带、热点据 Golonka;热点:A-Levant;B-Pantereior;C-Tyrrherion;D-Massif Cent;E-Rneingri-obog;F-Bohemian;G-Azores;H-Bermude;I-Canory;J-Cope;K-Ceara;L-Tibeati;M-Sterra;N-Fernanda;O-Jebel;P-Cameroon;Q-Ascension;R-St. Helen;S-Trinidad;T-Comares;U-Tristan;V-Reunion;W-St. Paul;X-Bauvet;Y-Ker-geion;Z-Crozet;AA-Jan Mayen;BB-Iceland;AC-Afar)

图1 三叠纪古板块再造图

Fig. 1 Reconstructed map of of Triassic Paleoplate

开的新特提斯洋在三叠纪持续扩张,这时从冈瓦纳大陆裂开的小陆块加里曼州、基默里陆块群不断地从欧亚大陆南缘沿着古特提斯洋向北漂移。在华北,朝鲜和阿姆利亚与西伯利亚之间留下的古亚洲洋(蒙古-鄂霍茨克洋)^[7],随着这些板块向北运动也不断地收缩关闭。泛大陆外围被泛大洋环绕,沿着泛大陆周缘形成了一系列的俯冲带^[8],弧后盆地广泛发育。由于古特提斯洋向北俯冲,在欧亚大陆南缘沿着图兰地台形成了俯冲带;同时,在塔里木、华北、扬子、阿姆利亚陆块群周缘及西伯利亚东缘也形成了俯冲带;而在华北和北美西侧成了前陆冲断带^[9]。三叠纪早期是西伯利亚地区主要的构造和岩浆活动期,发育西西伯利亚、皮亚西纳-哈坦加(Py-asina-Khatanga)和南喀拉海裂谷系。

三叠纪时期,核幔边界大剪切波低速带(Large Low Velocity Provinces,分别位于现今非洲、太平洋板块之下)(图1)仍然存在,于是在低速省边缘发育了多个热点和三叠纪主要的中大西洋大火成岩省,晚二叠世和三叠纪的特提斯洋裂谷系与火山活动密切相关,由岩石圈伸展或者地幔柱上涌造成。这一过程中,西欧、中欧包括海西构造域,在早三叠世形成多向地堑系,其中一些地堑叠加在二叠-石

炭纪裂谷之上。这些热点和大火成岩省的活跃改变了板块运动轨迹,导致全球范围内发育一系列裂谷系,其中规模最大的是在三叠纪中期之后,北美洲东部、欧洲中、西部及非洲西北部,发育了中大西洋裂谷系。另外在中亚、西伯利亚、黑海和南非等地区也发育的一些小型裂谷系。随后,冈瓦纳大陆内部开始裂解(印度与非洲裂谷),此时长久聚集的陆地终于开始迈向分裂。由于华北、扬子以及基默里陆块群不断向北漂移,在三叠纪中-晚期华北和扬子陆块发生碰撞^[22]。晚三叠世中期古特提斯洋的关闭,基默里陆块群与欧亚大陆碰撞导致在欧亚大陆南缘发生造山作用。

2 三叠纪岩相古地理

二叠纪与三叠纪之交(2.51亿年)的灭绝事件是地球史上5次生物大灭绝中最为惨烈的一次。生物大灭绝事件的影响深远,造成70%的陆地脊椎动物、95%的海洋生物绝灭^[25]。从早三叠世末开始,生态环境逐步恢复(尤其是大陆植被的复苏)。

超大陆的地理分布决定了当时各地的气候与环境,从晚二叠世开始冰川消失,海平面上升(比现今

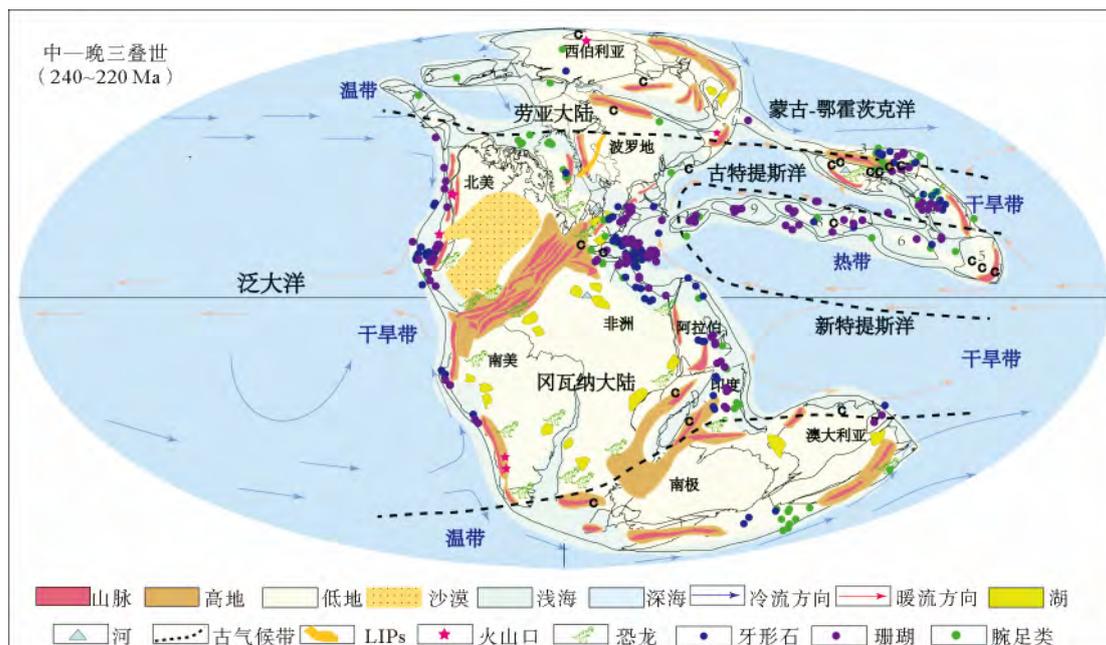
海平面高约 70 m),全球变暖,泛大陆大部分地区(45°S~50°N)处于干旱带和热带,而其余地区处于温带。三叠纪时期暖流主要集中在赤道附近。西太平洋暖流以赤道为界,在北部地区以顺时针方向流动,而在南部以逆时针方向向高纬度区域流动。北极地区的冷流向南流动,南极地区的冷流向北流动,两者分别在 30°N 及 30°S 地区与特提斯海域和东太平洋海域的暖流交汇,形成一个冷、暖流的循环。早三叠世末—中三叠世早期至晚三叠世中期海水⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 值的下降,表明了当时海平面较低;中三叠世—晚三叠世早期海水⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 值的长时间稳定确定了当时是海平面较高^[26]。

因此,泛大陆周缘地区,劳亚大陆内部波罗的板块西缘、格陵兰板块东缘、波罗的板块东缘乌拉尔山前,以及基默里陆块群、华北、华南等都处于陆表海的环境(图 2)。同时,在冈瓦纳大陆、北美和波罗的板块西缘、中亚以及华北和华南等地区发育河湖相沉积。早三叠世晚期在东南亚、华北,中三叠世在利比亚、柬埔寨、西藏和哈萨克斯坦等地区形成了大量的煤^[27]。

靠近海洋和山脉的地区比较湿润而草木茂盛,而广大的内陆地区则相当干燥,使得较耐旱的蕨类品种及不需水来繁殖的针叶树逐渐取得优势。在广

阔又炎热的劳亚大陆上,植物有耐干旱的银杏、种子蕨类、苏铁及拟苏铁类等植物,靠近赤道和干燥地区则出现斑点松和苏铁林;而距海较近、平均纬度较偏高的冈瓦纳古陆上则密布着树木,甚至高耸的种子蕨聚众成林。到了三叠纪后期,苏铁类和松柏类等借助风力授粉的原始针叶植物终究取代了蕨类植物成为当时地球上最常见的树木。

三叠纪陆地动物中,恐龙占主体地位。各类节肢动物(三叶虫)和爬行类(乌龟、蜥蜴等)也逐渐繁盛。中—晚三叠世,恐龙(如 *Arizonasaurus*, *Asylosaurus*, *Plateosaurus*, *Blikanasaurus*, *Camposaurus*, *Caseosaurus*, *Chindesaurus*, *Coelophys*, *Camposaurus*, *Caseosaurus*, *Chindesaurus*, *Coelophys*, *Eocursor* 等)开始以优异的掠食者姿态出现在南、北纬 45° 间地区,该区在气候上以干旱带为主。相对于侏罗纪和白垩纪,三叠纪时期恐龙的数量和种类较少,主要分布在非洲、南美、印度以及北美地区(图 2)。而随着具有哺乳特征的爬行类生物群的衰落,恐龙开始出现植食性种类,并迁徙至欧亚地区。三叠纪的腕足类、珊瑚、牙形石等化石主要分布在北美西缘、南美西缘、西欧、基默里陆块群、华北、扬子和阿姆利亚等陆块,表明在三叠纪时期该区环境适合上述古生物生存。



山脉:Zharkov Chumakov; 俯冲带、洋流参考 Scotese, 2002; 古气候参考 Tabor, 2008; 板块再造—220 Ma; 浅海—224 Ma; 深海—240 Ma; 山脉—227 Ma; 气候—220~200 Ma; 煤—240~220 Ma; 洋流—250~230 Ma

图 2 三叠纪古地理图

Fig. 2 Triassic paleogeographic map

3 沉积相与岩相古地理

早三叠世的海侵规模不大,从中三叠世开始,海侵范围逐渐变大,除地槽区被海水占据外,海水也侵入到大陆边缘的沉陷带,出现地台型的浅海、滨海潟湖或海湾沉积(图3)。晚三叠世由于印支运动的影响,全球范围内普遍发生海退,海陆交替相极为发育。

碳酸盐岩和蒸发岩沉积位于赤道-次赤道附近区的台地^[8]。泛大陆西缘的碳酸盐岩沉积沿位于45°S和50°N之间的海域。古特提斯周缘和冈瓦纳大陆东缘处于暖流带,靠近海岸地区沉积了蒸发岩,外缘沉积为碳酸盐岩相,其中最大的浅海碳酸盐岩台地位于泛大陆西缘的秘鲁-玻利维亚-安第斯等盆地和古、新特提斯洋边缘。三叠纪的南极和北极的浅海沉积以碎屑岩相为主。

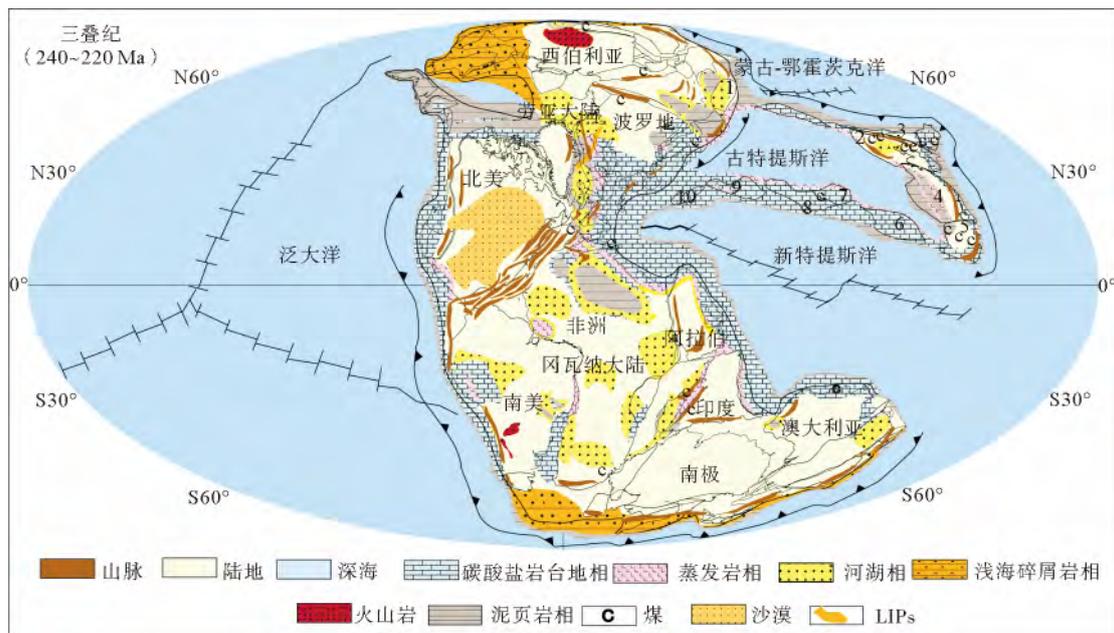
3.1 西伯利亚-环古特提斯油气区

从西伯利亚地区的地层综合盆地柱状图(图4)来看,通古斯盆地完全是被巨厚的火山岩覆盖,而周边的季曼-伯朝拉沉积了不整合接触的三套含砾岩陆相砂岩,勒拿-维柳伊盆地沉积了浅海含泥质碎屑岩。沉积相的对比分析结果表明,该区在晚二叠世

发育的热点,到三叠纪仍然活跃。

从中亚地区地层柱状图上可以看出,在早三叠世—中三叠世早期,图尔盖盆地和阿姆河盆地受到乌拉尔造山和特提斯闭合的影响,在碎屑岩沉积过程中混入了火山碎屑;中三叠世晚期—晚三叠世,图尔盖盆地和塔里木盆地沉积了一套含煤地层。早三叠世,北乌斯丘尔特盆地和图尔盖盆地的下三叠系由于乌拉尔造山运动被挤压抬升,进而受到剥蚀。晚三叠世,楚-萨雷苏盆地在欧亚大陆南缘与伊朗陆块的碰撞作用下,地层受到挤压剥蚀。滨里海、北乌斯丘尔特、图尔盖、阿姆河、准噶尔、塔里木等中亚地盆地在三叠世—晚三叠世多以稳定的构造沉积环境为主,发育泥岩地层。对比沉积相,滨里海盆地为海相沉积,其余盆地都是陆相河、湖相沉积,自东向西由陆向海过渡转变过程。该时期沉积的泥岩地层是中亚盆地群的主力烃源岩层。

环古特提斯周缘地区中,华北在早、中三叠世时期东部相对抬升,发育湖相以及三角洲沉积为主。从鄂尔多斯盆地柱状图来看,该地区发育了湖泊和三角洲,沉积了含煤的泥质碎屑岩层。晚三叠世本区演化为大型拗陷型湖泊盆地沉积,主要发育灰色、灰绿色、黄绿色厚层块状中粒砂岩、细砂岩、粉砂岩与泥岩,以细砂岩为主^[35]。



山脉: Zharkov Chumakov; 俯冲带参考 Scotese, 2002; 岩相据 Golonka 等; 板块再造—220 Ma; 深海—240 Ma; 山脉—227 Ma; 岩相—240~220 Ma; 气候与蒸发岩—220~200 Ma; 煤—240~220 Ma; 洋流—250~230 Ma

图3 三叠纪岩相古地理图

Fig. 3 Triassic lithofacies and paleogeographic map

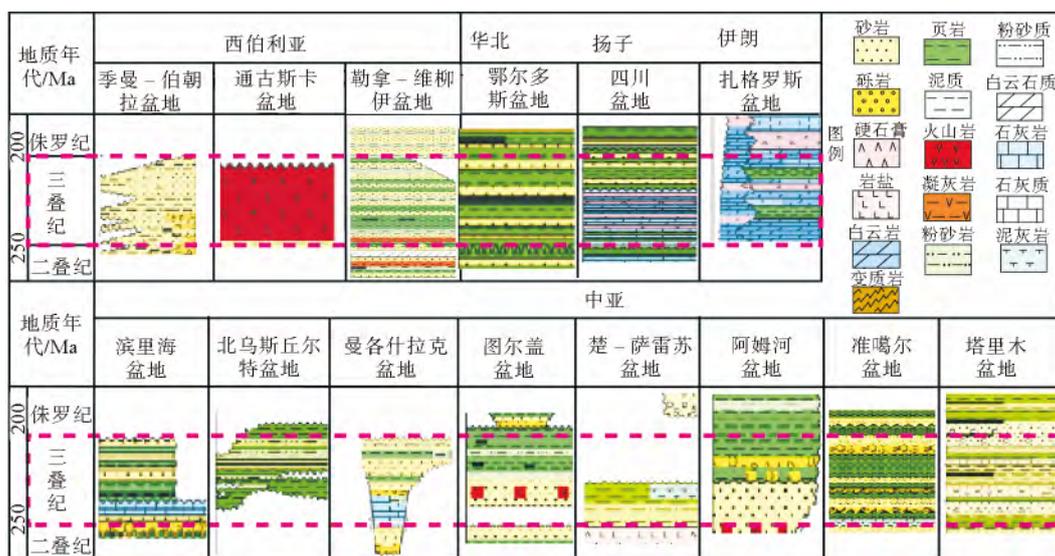


图 4 西伯利亚-环古特提斯构造油气区柱状对比图(据 IHS,2009)

Fig. 4 Stratigraphic correlation diagram between Siberia and circum-Pleotethys (modify IHS, 2009)

早、中三叠世的扬子古地理格局基本是南部地区发育滨浅海-碳酸盐台地-半深海相带,分布面积大,而北部地区早期(青龙组)发育碳酸盐台地或半深海沉积,晚期(周冲村组)叠置了潮坪-咸化泻湖沉积,相带较窄^[24]。该时期深水沉积为薄层灰岩、泥灰岩和瘤状灰岩,说明深水的碳酸盐溶解相,明显海水向北加深。从中三叠世晚期至晚三叠世下扬子海盆地水体逐渐变浅,盆地范围明显缩小,发生大面积海退,形成了海陆交互相和陆相沉积(鄂尔多斯盆地),分别沉积了巨厚的含砂页岩和含盐碳酸盐岩以及泥岩。伊朗处于浅海环境,沉积了含泥质和盐岩的碳酸盐岩混合相。

3.2 冈瓦纳及北美油气区

早三叠世本区发生有小规模的海侵,晚三叠世伴有火山喷发活动。澳大利亚的三叠系主要分布在中部及东部的若干孤立盆地中,均以陆相含煤沉积为主,厚达 1 000 m。在冈瓦纳大陆的北部边缘,包括阿拉伯地区,波斯湾至印度半岛的北部,属特提斯洋南缘的地槽区,三叠系为浅海相及海陆交替相沉积,未见火山岩。该区三叠系总体上下统为碎屑岩,中统为碳酸盐岩,上统为砂泥岩、泥灰岩及石膏层,构成一套沉积旋回,晚期出现潟湖,显示海退迹象。整个三叠系的化石为典型的特提斯型。通过沉积相的对比分析发现非洲北部早三叠世地层被剥蚀,而东非主要以湖相沉积为主,地层比较完整,整体上以砂岩和砾岩为主。其中在马尔加盆地沉积了巨厚的泥岩。同时,非洲西部,中部和南部地区分别发育湖

相沉积,在纳米比亚,陶丹尼等盆地沉积了巨厚的砂岩和砾岩,而在塞内加尔盆地上沉积了一套巨厚的盐岩(图 5)。

南美的三叠系分两部分,一部分是海相沉积,沿智利和阿根廷的西海岸分布,即安第斯地槽区。其下统为陆相的砾岩和砂岩,与二叠系连续沉积,可见当时尚无海侵,智利中部还夹有大陆火山喷发岩。中三叠世开始地壳下降,海水侵进,形成的厚层石灰岩分布在哥伦比亚、厄瓜多尔、秘鲁、玻利维亚一带,当时也有火山活动,并继续到晚三叠世。

另一部分三叠系是陆相沉积,分布于巴西、乌拉圭、巴拉圭及阿根廷大部地区,主要是湖泊和沙漠环境中形成的红层,可能相当于南非的摩尔丹诺层下部。同时,整个北美大部分处于沙漠带,北美北部仍然发育广阔的大陆架,包括北极海岸盆地、斯沃德鲁普盆地、北坡盆地和东格陵兰盆地均为被动陆缘海相沉积环境,沉积了一套含碳酸盐岩的页岩。阿拉斯加北坡盆地处于半深海环境,发育了海相碳酸盐岩、泥灰岩、页岩和磷灰岩。欧洲在三叠纪发生大规模的盐运动,形成许多盐构造圈闭。

4 三叠纪烃源岩的分布特征

在前人研究的基础上,根据 HIS(2009)和 AAPG(2013)数据库,结合地理信息和古地磁等软件,分析三叠系烃源岩在古板块、古地理和沉积岩相图上的分布。从图中可知,三叠系烃源岩主要分布在环古、新特提斯洋盆西段被动陆缘盆地(阿

拉伯板块、北非、东南亚等地区),以及克拉通盆地(华北地区)、裂谷盆地(欧洲西部、西西伯利亚、中亚);三叠纪烃岩源主要以浅海相泥质灰岩、页岩以及湖泊相泥岩为主(表1)。三叠纪的烃源岩占

显生宙全时期的1.2%^[41],主要发育在浅海相碳酸盐岩相、三角洲相和陆相深水湖相(澳洲、波罗的)、暖流和冷暖流交汇的上升流区(图6)。

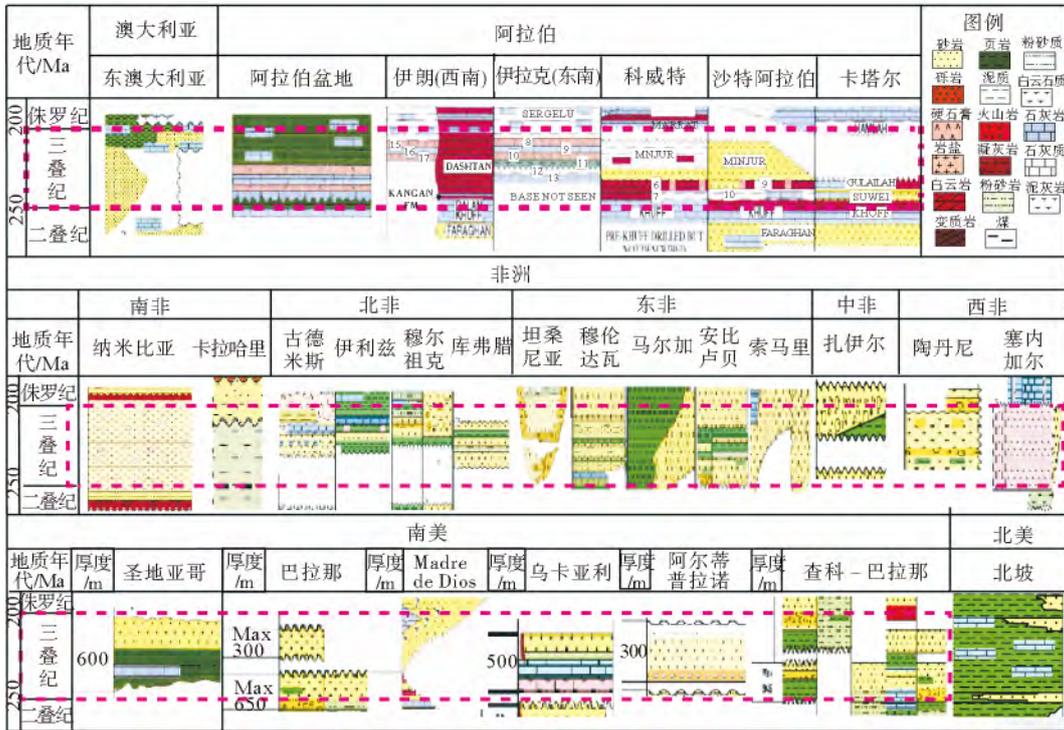


图5 冈瓦纳及北美油气区柱状图对比(据 IHS,2009 图例见图4)

Fig.5 Stratigraphic correlation diagram between Gondwana and North America (modify IHS, 2009)



俯冲带参考 Scotese, 2002; 岩相据 Golonka 等, 2008; 烃源岩据 IHS 数据库; 板块再造—220 Ma; 深海—240 Ma; 山脉—227 Ma; 岩相—240~220 Ma; 气候与蒸发岩—220~200 Ma; 烃源岩—250~200 Ma

图6 三叠纪烃源岩分布

Fig.6 Distribution map of Triassic source rocks

三叠纪早期的超大陆汇聚事件引起了大量的火山活动,导致全球变暖、缺氧、冰川消融,但相对于二叠纪和侏罗纪,较低的海平面却不利于烃源岩的发育。同时在冈瓦纳大陆,北美和波罗的板块西缘,中亚以及华北等地区上发育了河湖相沉积。

中三叠世—晚三叠世早期海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的长时间稳定主要与全球海平面持续上升,大范围分布的陆表海对放射性成因锶的保护作用有关^[26],因而提供了生烃母质生物生命活动、繁衍、繁盛的环境和埋藏条件。在冷流和暖流交汇处,上升洋流富磷、富硅、富铁族元素等营养盐和富绿硫细菌,大大促进了有机质生产力^[43-44]、埋藏率的大幅提升,使得在泛大陆周缘,劳亚大陆内部波罗的板块西缘和格陵兰板块东缘,波罗的板块东缘乌拉尔山前,以及基默里陆块群、华北、华南等属于陆表海的区域有黑色页岩和泥质灰岩沉积,形成烃源岩^[47]。

在北非(伊利兹、锡尔特盆地等)深湖相发育的泥岩和北美阿拉斯加(北坡盆地)半深海相发育的碳酸盐岩、泥灰岩、页岩和磷灰岩组成的烃源岩主要以 I 型干酪根为主^[48];在南美西缘,澳大利亚北缘,阿拉伯以及波罗的西南缘等地区发育在碳酸盐岩台地相的烃源岩干酪根类型主要以 II 型为主;沿着古特提斯洋,在中亚(曼格什拉克盆地)^[52]、华北(鄂尔多斯盆地)、华南(四川盆地)以及东南亚等地区发育的烃源岩干酪根类型主要以 III 型为主(表 1)。

表 1 三叠纪全球重要烃源岩分布(据 AAPG, 2013; HIS, 2009)
Table 1 Distribution of Triassic global important source rocks(modified from AAPG, 2013; HIS, 2009)

盆地/油气区	构造属性	沉积环境	干酪根类型
准噶尔	陆内沉降	泻湖	II、III
塔里木	前陆	沼泽相	III
北乌斯丘尔特	裂谷	陆相	II、III
鄂尔多斯	前陆	三角洲相	II、III
四川	隆起	浅海过渡相	I-II, III
凯尔特海	裂谷	盐湖相	IV
波丘派恩	裂谷	河流相	II
滨里海	裂谷	浅海相	II、II-III
中阿拉伯	被动陆缘	浅海相	II、I-II
北坡	裂谷	浅海相	I-II

5 结论

(1) 早三叠世发生泛大陆持续汇聚事件,导致

在全球范围内造山作用和广泛发育弧后盆地;由于格陵兰和波罗的之间的多个热点,以及中大西洋大火山岩省的岩浆作用,导致在中—晚三叠世泛大陆开始裂解,在全球范围内发育了裂谷系,海平面上升,大陆周缘普遍发育陆表海。晚三叠世中期由于特提斯洋的关闭和基默里陆块群与欧亚大陆的碰撞而再次发生了大规模的造山作用,导致了全球范围海平面的下降。

(2) 三叠纪全球范围温度较高,冰川消融,气候以干旱带为主。三叠纪恐龙、腕足类、珊瑚、牙形石等化石的分布特征,表明北美西缘、南美西缘、西欧、基默里陆块群、华北、扬子和阿姆利亚等陆块浅海区是上述古生物的适宜生存区。

(3) 三叠纪时期,古特提斯周缘和冈瓦纳大陆东缘,靠近海岸潟湖沉积了蒸发岩,外缘为碳酸盐岩台地相。陆内靠近浅海区是冲积相、半深—深湖相、三角洲的沉积。三叠纪发育的大岩浆岩省、多个热点、大量的火山活动导致在三叠纪早期全球变暖、缺氧、使得有机质沉积保存极少。此外无煤沉积,地层剥蚀,低海平面也不利于烃源岩的发育。中、晚三叠时海平面上升,提供了利于生烃母质生物繁衍生息的环境,继而促进了烃源岩的形成。三叠纪的烃源岩仅占全显生宙时期的 1.2%,主要分布在北非、北美、波罗的、中亚以及华北、华南和基默里陆块群等地区,干酪根类型分布较为均一。

参考文献(References)

- [1] Torsvik T H, Van der Voo R, Preeden U, et al. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics[J]. *Earth-Science Reviews*, 2012, 114: 325-368.
- [2] Van der Voo R. The reliability of paleomagnetic data[J]. *Tectonophysics*, 1990, 184(1): 1-9.
- [3] 黄宝春,周桃秀,朱日祥. 从古地磁研究看中国大陆形成与演化过程[J]. *地学前缘*, 2008, 15(3): 349-359. [HUANG Bao-chun, ZHOU Yaoliu, ZHU Rixiang. Discussions on phanerozoic evolution and formation of continental China, based on paleomagnetic studies[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(3): 349-359.]
- [4] 方大钧,沈忠悦,王朋岩. 塔里木地块古地磁数据表[J]. *浙江大学学报*, 2001, 28(1): 92-99. [FANG Dajun, SHEN Zhongyue, WANG Pengyan. Paleomagnetic data of Tarim Block[J]. *Journal of Zhejiang University*, 2001, 28(1): 92-99.]
- [5] 方大钧,沈忠悦. 塔里木地块各时代视磁极及板块漂移[J]. *浙江大学学报:理学版*, 2001, 28(1): 100-106. [FANG Dajun, SHEN Zhongyue. Phanerozoic apparent polar-wander paths of Tarim and plate motion[J]. *Journal of Zhejiang University*, 2001, 28(1): 100-106.]

- [6] Yakubchuk A. Architecture and mineral deposit settings of the Altaid orogenic collage: a revised model[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2004, 23: 761-779.
- [7] Abrajevitch A V, Vander Voo R, Bazhenov M. et al. Paleomagnetism of the mid-Devonian Kurgasholak Formation, Southern Kazakhstan: constraints on the Devonian paleogeography and oroclinal bending of the Kazakhstan volcanic arc [J]. *Tectonophysics*, 2007, 441: 67-84.
- [8] Golonka J. Chapter 6 Phanerozoic palaeoenvironment and palaeolithofacies maps of the Arctic region[C]// *Arctic Petroleum Geology*[J]. Geological Society of London, 2011, 35: 79-129.
- [9] Zharkov M A, Chumakov N M. Paleogeography and Sedimentation Settings during Permian-Triassic[J]. *Reorganizations in Biosphere*, 2001, 9(4): 29-54.
- [10] Collin W J, Belousova E A, Kemp A S, et al. Two contrasting Phanerozoic orogenic systems revealed by hafnium isotope data[J]. *Nature Geoscience*, 2011, 4: 333-337.
- [11] Torsvik T H, Smethurst M A. Plate tectonic modelling: virtual reality with GMAP [J]. *Computers & Geosciences*, 1999, 25(4): 395-402.
- [12] Torsvik T H, Smethurst M A, Burke K. Long term stability in deep mantle structure: evidence from the 300 Ma Skagerrak-Centered Large Igneous Province (the SCLIP) [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, 267: 444-452.
- [13] Torsvik T H, Steinberger B, Cocks L B M, et al. Longitude: Linking Earth's ancient surface to its deep interior[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, 276: 273-282.
- [14] Torsvik T H, Van der Voo R, Preeden U, et al. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics[J]. *Earth-Science Reviews*, 2012, 114: 325-368.
- [15] 吴汉宁, 吕建军, 朱日祥, 等. 扬子地块显生宙古地磁视极移曲线及地块运动特征[J]. *中国科学*, 1998, 28: 69-78. [WU Hannin, LV Jiajun, ZHU Rixiang, et al. Phanerozoic paleomagnetism polar-wander curve and motion features of Yangtze block[J]. *Science in China*, 1998, 28: 69-78.]
- [16] 翟永建, 周桃秀. 华南和华北陆块显生宙的古地磁及构造演化[J]. *地球物理学报*, 1989, 32(3): 292-307. [ZHAI Yongjian, ZHOU Yaoyu. Paleomagnetism and tectonic evolution of North and South China Blocks since the Phanerozoic [J]. *Chinese Journal of Geophysics*. 1989, 32(3): 292-307.]
- [17] 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 等. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J]. *中国科学*, 1998, 28: 1-16. [ZHU Rixiang, YANG Zhengyu, WU Hannin, et al. Phanerozoic paleomagnetism polar-wander curve and motion features of China main blocks[J]. *Science in China*, 1998, 28: 1-16.]
- [18] Cocks L R M, Torsvik T H. The dynamic evolution of the Palaeozoic geography of eastern Asia[J]. *Earth-Science Reviews*, 2013, 117: 40-79.
- [19] Golonka J. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic[J]. *Tectonophysics*, 2004, 381(1): 235-273.
- [20] Metcalfe I. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 66: 1-33.
- [21] Franzese J R, Spalletti L A. Late Triassic early Jurassic to continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting[J]. *Journal of South American Earth Science*, 2001, 14: 257-270.
- [22] 程日辉, 王璞珺, 刘万洙, 等. 下扬子区三叠纪最大海侵事件与扬子板块和华北板块碰撞的关系[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2004, 24(2): 55-59. [CHENG Rihui, WANG Pujun, LIU Wanzhu, et al. The maximum flooding event of transgression during the Triassic and collision between Yangtze plate and north China plate in lower Yangtze area[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2004, 24(2): 55-59.]
- [23] 周统顺. 中国三叠纪植物群、植物地理分区及古气候[C]// *地层古生物论文集*. 1999, 27: 213-219. [ZHOU Tongshun. Triassic floras, photogeographic division and palaeoclimate in China[C]// *Professional Papers of Stratigraphy and Palaeontology*, 1999, 27: 213-219.]
- [24] 程日辉, 白云凤, 李艳博. 下扬子区三叠纪古地理演化[J]. *吉林大学学报*, 2004, 34(3): 367-370. [CHENG Rihui, BAI Yunfeng, LI Yanbo. Evolution of paleogeography of Triassic of Lower Yangtze area[J]. *Journal of Jiling University*, 2004, 34(3): 367-370.]
- [25] 王正端, 郑荣特, 约记者, 等. 罗平生物群: 三叠纪海洋生物复苏重要见证[N]. *中国国土资源报*, 2012-05-01. [WANG Zhengrui, ZHENG Rongte, YAO jizhi, et al. Luo Ping biota: Triassic Marine biological recovery important witness [N]. *China's Land and Resources*, 2012-05-01.]
- [26] 黄思静, 孙治雷, 吴素娟, 等. 三叠纪全球海水的锶同位素组成及主要控制因素[J]. *矿物岩石*, 2006, 26(1): 43-47. [HUANG Sijing, SUN Zhilei, WU Sujuan, et al. Strontium isotope composition and control factors of global sea water in Triassic[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2006, 26(1): 43-47.]
- [27] Chen X, Boucot A J, Scotese C R, et al. Pangaeon aggregation and disaggregation with evidence from global climate belts[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2012, 1(1): 5-13.
- [28] Golonka J, Ford D. Pangean (Late Carboniferous-Middle Jurassic) paleoenvironment and lithofacies[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, 161: 1-34.
- [29] Nikishin A M, Ziegler P A, Stephenson R A, et al. Late Precambrian to Triassic history of the East European Craton: dynamics of sedimentary basin evolution[J]. *Tectonophysics*, 1996, 268: 23-63.
- [30] Golonka J, Ross M I, Scotese C R. Phanerozoic paleogeographic and paleoclimatic modeling maps[J]. *Arctic Petroleum Geology*, 1994, 8(3): 1-47.
- [31] Golonka J. Phanerozoic Paleoenvironment and Paleolithofacies maps Mesozoic[J]. *Geologia*, 2007, 33(2): 211-264.
- [32] Grauvogel-Stamm L, Ash S R. Recovery of the Triassic land flora from the end-Permian life crisis[J]. *Science Direct*, 2005(4): 593-608.
- [33] Huc A Y. Paleogeography, Paleoclimate, and source rocks

- [J]. American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology, 1995, 40: 1-347.
- [34] Trabucho-Alexandre J, Hay W W, de Boer P L. Phanerozoic environments of black shale deposition and the Wilson Cycle [J]. Solid Earth, 2012, 3: 29-42.
- [35] 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. Sedimentary tectonic evolution from Late Palaeozoic to Triassic in the South of North China Block [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 29(5): 536-540.
- [36] Kim H S, Ree J-H. Permo-Triassic changes in bulk crustal shortening direction during deformation and metamorphism of the Taebaeksan Basin, South Korea using foliation intersection/inflection axes: Implications for tectonic movement at the eastern margin of Eurasia during the Songrim (Indosinian) orogeny [J]. Tectonophysics, 2013, 587: 133-145.
- [37] Negri A, Ferretti A, Wagner T, et al. Phanerozoic organic-carbon-rich marine sediments: Overview and future research challenges [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2009, 273: 218-227
- [38] Spallettil L A, Artabe A E, Morel E M. Geological Factors and Evolution of Southwestern Gondwana Triassic Plants [J]. Gondwana Research, 2003, 6(1): 119-134.
- [39] Scotese C R. PALEOMAP Project (7th edition) [M]. Department of Geology, University of Texas at Arlington, Rotterdam, 1997.
- [40] Scotese C R. Paleomap website: <http://www.scotese.com>, chris@scotese.com. 2002.
- [41] Klemme H D. Petroleum Systems of the World Involving Upper Jurassic Source Rocks [C] // In: Magoon L. B. & Dow, W. G. (eds). The Petroleum System - From Source To Trap. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1994, 60: 51-72.
- [42] 黄永建, Thierry A, 邹艳荣, 等. 古海洋活性磷埋藏记录及其在氧气地球化学循环研究中的运用 [J]. 地学前缘, 2005(2): 189-197. [HUANG Yongjian, Thierry A, ZOU Yanrong, et al. Burial records of reactive phosphorus in the paleocean and its application to the oxygen geochemical cycle [J]. Earth Science Frontiers, 2005(2): 189-197.]
- [43] Trappe J. Pangea: extravagant sedimentary resource formation during supercontinent configuration, an overview [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2000 (161): 35-48.
- [44] 张水昌, 张宝民, 边立曾, 等. 中国海相烃源岩发育控制因素 [J]. 地学前缘, 2005(3): 39-48. [ZHANG Shuichang, ZHANG Baomin, BIAN Lizeng, et al. Development constraints of marine source rocks in China. [J] Earth Science Frontiers, 2005(3): 39-48.]
- [45] 秦建中, 腾格尔, 付小东. 海相优质烃源层评价与形成条件研究 [J]. 石油实验地质, 2009(4): 366-372, 378. [QIN Jianzhong, Tenger, FU Xiaodong. Study of forming condition on marine excellent source rocks and its evaluation [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009(4): 366-372, 378.]
- [46] 李天义, 何生, 杨智. 海相优质烃源岩形成环境及其控制因素分析 [J]. 地质科技情报, 2008(6): 63-70. [LI Tianyia, HE Sheng, YANG Zhia. The marine source rock formation conditions and control factors [J]. Geological Science and Technology Information, 2008(6): 63-70.]
- [47] 刘占红, 李思田, 辛仁臣, 等. 地层记录中的古气候信息及其与烃源岩发育的相关性——以渤海黄河-凹陷古近系为例 [J]. 地质通报, 2007(7): 830-833, 835-840. [LIU Zhanhong, LI Sitian, XIN Renchen, et al. Paleoclimatic information in stratigraphic records and its relation to the formation of hydrocarbon source rocks—A case study of the Paleogene strata in the Huanghekou subbasin of the Bohai Bay basin, China [J]. Geological Bulletin of China, 2007(7): 830-833, 835-840.]
- [48] Klemme H D, Ulmishek G F. Effective petroleum source rocks of the world: Stratigraphic distribution and controlling depositional factors [J]. AAPG Bulletin, 1991, 75: 1809-1851.
- [49] 姚永坚, 李学杰, 杨楚鹏, 等. 北极阿拉斯加北坡盆地地质构造特征与油气资源潜力 [J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(12): 18-24. [YAO Yongjian, Li Xuejie, YANG Chupeng, et al. Tectonic characteristic and hydrocarbon resource potential in the North Slope basin of Alaska, the Arctic [J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(12): 18-24.]
- [50] 宋建国, 李启明. 古地理、古气候与烃源岩——1992年 AAPG/IFP 国际学术会议综述 [J]. 石油学报, 1993(1): 51-54. [SONG Jianguo, LI Qiming. Paleogeography, paleoclimate and source rock—a summary of AAPG/IFP 1992 international conference [J]. Acta Petrolei Sinica, 1993(1): 51-54.]
- [51] 腾格尔, 刘文汇, 徐永昌, 等. 无机地球化学参数与有效烃源岩发育环境的相关研究 [J]. 地球科学进展, 2005(2): 93-200. [Tenger, LIU Wenhui, XU Yong-chang, et al. Correlative study on parameters of inorganic geochemistry and hydrocarbon source rocks formative environment [J]. Advance in Earth Sciences, 2005(2): 93-200.]
- [52] 韩雷. 北乌斯丘尔特盆地构造及沉积演化规律研究 [J]. 科学技术与工程, 2011, 11(28): 6946-6951. [HAN Lei. Tectonic and sedimentary evolution of North Ustyurt Basin [J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(28): 6946-6951.]

RESEARCH ON GLOBAL PALEO-PLATE RECONSTRUCTION AND LITHOFACIES PALAEOGEOGRAPHY IN TRIASSIC

Abitkazy Taskyn^{1,2}, LI Jianghai^{1,2}, LI Weibo^{1,2}, YANG Jingyi^{1,2}, WANG Honghao^{1,2}, LI Wenshan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Institute of Oil and Gas, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Global Triassic paleo-plate tectonics and lithofacies palaeogeographic play a significant role in the study of global source rocks and depositional environment. With the paleomagnetic software and based on the data from global basin analysis, Triassic paleo-plate maps, including global palaeogeographic, global lithofacies and hydrocarbon source rock maps, have been compiled under the consideration of various geological factors. During the Early Triassic, the continued gathering of the Pangea led to frequent volcanic activities. Glaciers were melting and back-arc basins developing globally. In the middle-late Triassic, as the results of magmatism of hot spots between the Greenland and Baltica, and the activity of large igneous provinces in Central Atlantic, the Pangea was breaking up, global sea level getting high and epicontinental seas developed in continental margins, that provided an environment favorable to the reproduction of hydrocarbon generating biota, which in turn promoted the formation of hydrocarbon source rocks. The Triassic source rocks account for only 1.2% of the Phanerozoic source rocks and the kerogen types of the Triassic source rocks are relatively uniform.

Key words: plate tectonics; paleogeography; paleo-lithofacies; source rocks; Triassic