

论羌塘含油气盆地关键地层划分对比问题

王剑^{1,2,3}, 张豪薇^{2,3}, 张健^{2,3}, 沈利军^{2,3}, 张建勇⁴, 付修根^{1,2,3}

1 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(西南石油大学); 2 西南石油大学羌塘盆地研究院;
3 西南石油大学地球科学与技术学院; 4 中国石油杭州地质研究院

摘要 羌塘含油气盆地勘探程度相对较低,一些关键地层的时代归属与划分对比尚存较大的争议,这制约了盆地石油地质条件评价与含油气系统分析。基于近年来在羌塘盆地获得的生物地层、年代地层、沉积层序、盆地演化等方面的最新资料,结合前人的研究基础,重点对制约含油气盆地分析的关键地层时代归属问题开展了综合分析 with 客观评述。取得的主要认识包括:①新的同位素年代学资料证实,羌塘盆地存在前寒武系变质岩结晶基底,古生界基底埋深可达7~15 km,中生界沉积超覆在古生界褶皱系之上;②那底岗日组时代归属为晚三叠世,而不是早—中侏罗世;③南羌塘古油藏白云岩属于上三叠统,古油藏白云岩很可能“异地无根”,与布曲组为构造断裂接触;④南羌塘毕洛错油页岩时代归属为早侏罗世;⑤雀莫错组原定义为中侏罗统,研究证实其时代归属为早—中侏罗世;⑥胜利河—长蛇山油页岩 Re-Os 同位素定年及生物化石资料证明其为下白垩统海相地层;⑦同位素年代学及野外露头剖面资料证实,康托组与喷呐湖组为同期异相地层。羌塘盆地地层学研究新进展为完善盆地地层划分对比方案,乃至盆地含油气系统分析与盆地资源潜力评价提供了新的依据。

关键词 地层对比;年代地层;生物地层;中—新生界;羌塘盆地

中图分类号:TE121.3 **文献标识码**:A

引用:王剑,张豪薇,张健,等.论羌塘含油气盆地关键地层划分对比问题[J].海相油气地质,2024,29(1):17-29.

WANG Jian, ZHANG Haowei, ZHANG Jian, et al. Advances in division and correlation of stratigraphy in the oil-bearing Qiangtang Basin, North Tibet [J]. Marine origin petroleum geology, 2024, 29(1): 17-29.

0 前言

羌塘盆地地表出露地层包括前寒武系、古生界、中生界和新生界:前寒武系变质岩结晶基底仅在中央隆起带极个别露头上出露,古生界主要沿中央隆起带出露,而中—新生界则在盆地内广泛分布。本世纪初完成的青藏高原1:25万区域地质调查及新一轮油气地质调查工作已初步建立了羌塘盆地地层格架^[1-2]。总体上,羌塘中生代盆地是发育在前寒武系变质岩结晶基底和古生界褶皱基底之上的叠合盆地^[3-5]。

近年来的区域地质调查及油气地质调查资料为羌塘盆地沉积演化、大地构造归属、含油气盆地分析等提供了新的地层学依据。然而,由于种种原因,地层划分与对比仍然存在一些基础性科学问题尚未解决,部分岩石地层单元的时代归属仍有争

议,如羌塘古生界—中生界叠合盆地是否存在前寒武系结晶基底^[4,6]、那底岗日组时代归属及其火山岩大地构造属性^[7-8]、胜利河—长蛇山油页岩时代归属^[9-11]、南羌塘古油藏白云岩是否“有根”^[2,12]、雀莫错组的时代归属^[13-14]、喷呐湖组与康托组是否为同期异相地层^[15-18]等问题,这些都深刻影响了对羌塘中—新生代含油气盆地石油地质条件与资源远景的客观认识。

本文主要基于新的羌塘盆地野外地质调查和室内综合研究资料,在系统收集整理、客观分析与评述前人已有成果的基础上,重点针对羌塘盆地备受关注的几个关键地层时代归属问题,从生物地层、年代地层、沉积层序、盆地演化等几个方面开展分析研究,特别是介绍一些最新研究进展与最新资料,试图为羌塘中—新生代沉积盆地的地层划分对比研究提供新的依据与思路。

收稿日期:2023-11-30;改回日期:2024-02-24

本文受国家自然科学基金项目“羌塘盆地侏罗纪成盐环境与盐构造演化及其油气赋存效应”(编号:42241202)和中国石油“十四五”前瞻性基础课题“羌塘盆地构造沉积演化与基本石油地质条件研究”(编号:2021DJ0801)联合资助

第一作者:王剑,博士,教授,主要从事大地构造沉积学与含油气盆地分析方面的教学与研究。通信地址:610500 四川省成都市新都大道8号 西南石油大学;E-mail: w1962jian@163.com

1 盆地基底与盆地演化

羌塘盆地是否存在前寒武系结晶基底? 中生界与古生界沉积序列超覆关系如何? 这些都是羌塘中生代沉积盆地演化模式研究必须首先回答的基础地层学问题。尽管有人认为羌塘盆地出露的最古老岩石为中泥盆世的都古尔花岗岩^[3-4],但多数学者推测羌塘盆地可能存在刚性基底^[6,19]。

近年来区域地质调查、高精度航空重磁测量及羌科1井(图1)工程业已证实:羌塘中生代沉积盆地具有古生界褶皱基底和前寒武系刚性基底^[20-23]。

分布于中央隆起带戈木日—玛依岗日—阿木岗一带的变质岩,代表了羌塘古生界—中生界叠合盆地的结晶基底。

有关羌塘盆地基底的研究过去主要集中在查布—查桑、玛依岗日一带出露的变质岩系中,曾在变质岩系片岩中获得过3 204~2 762 Ma的U-Pb年龄、1 205 Ma和1 111 Ma的Pb-Pb年龄^[6,19],因而推测其原岩时代可能为元古宙,羌塘盆地基底可能由元古宙变质岩系组成,其结构具下部结晶“硬基底”和上部变质“软基底”双层特征,而羌塘地块出露的变质岩系大部分为中元古界变质基底^[6]。

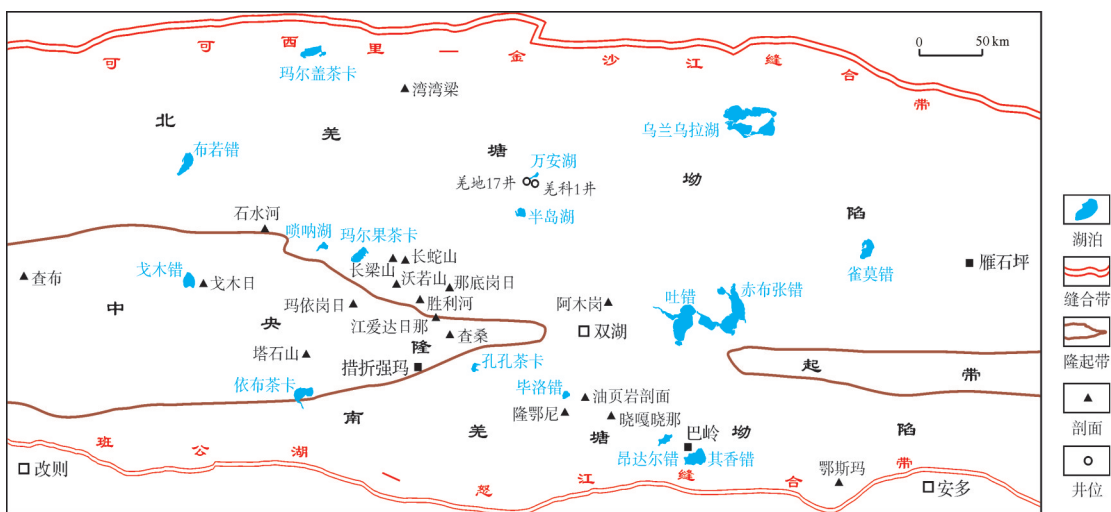


图1 羌塘盆地构造背景图

Fig. 1 Tectonic background map of Qiangtang Basin

新一轮地质调查在羌塘盆地中央隆起带北侧戈木日东南的塔石山剖面变质岩系中,发现了具有典型区域变质特征的矿物蓝晶石和夕线石的片麻岩,而变质岩系之上为并没有发生变质的奥陶纪地层,产大量鹦鹉螺、笔石等古生物化石^[2,21];变质岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年获得了3组年龄数据:645~522 Ma、1 780~1 666 Ma和2 498~2 374 Ma。结合矿物学、岩石学研究推测该套前奥陶系区域变质岩地层形成于古元古代,代表了羌塘盆地的前寒武系结晶基底;同时,2 498~2 374 Ma碎屑锆石很有可能代表羌塘盆地具有早元古代甚至太古宙陆核存在,1 780~1 666 Ma代表了羌塘盆地结晶基底的形成年龄,而645~522 Ma与区域构造热事件有关^[2,21]。

羌科1井及最新区域航空重磁资料证实,羌塘盆地古生界基底埋深可达7~15 km,中生界沉积超覆在古生界褶皱系之上。

最新区域航空物探资料显示,南北坳陷区高精度重磁特征存在明显差异:北羌塘坳陷整体表现为磁力高、重力低,而南羌塘坳陷的重力低负异常则主要分布在坳陷的北部与东北部,与北羌塘坳陷相比,南羌塘坳陷基底磁性明显较弱^[23]。航空重磁资料揭示羌塘盆地整体上呈现出“两坳夹一隆”的构造格局,这与前人地表地质调查研究及构造单元划分结果完全一致^[7]。基于航磁数据计算表明(图2):北羌塘基底埋深普遍在7~15 km之间;南羌塘基底埋深稍浅,多在5~13 km范围内^[23]。尽管南、北羌塘坳陷中生界基底埋深变化较大,但通常在3~5 km以上,局部可达8 km^[23]。由此可以推测,在北羌塘坳陷上侏罗统、下白垩统出露区,中生界—古生界累计厚度可达15 km左右,而中生界厚度应该在5 km以上。这一推测结果与在盆地边缘及中央隆起带实测剖面所获得的地层厚度数据基本一致^[12]。

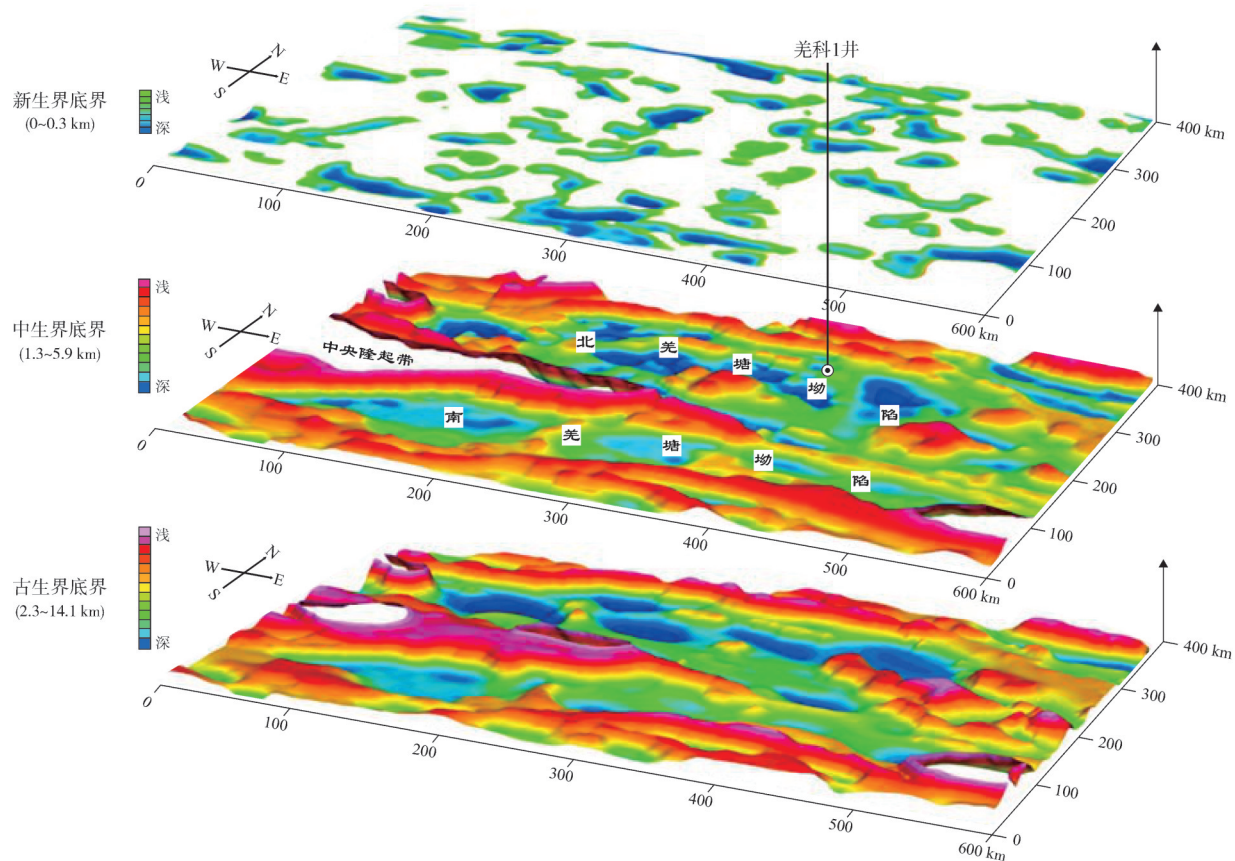


图2 羌塘盆地航空重磁反演的深部构造分层结构(据文献[23])

Fig. 2 Structural stratification based on aerial gravity and magnetic inversion in Qiangtang Basin (cited from reference [23])

羌科1井及地震资料与区域航空物探资料所揭示的羌塘盆地中生代地层厚度基本一致^[24-25]。羌科1井钻遇了从上侏罗统索瓦组至上三叠统那底岗日组的连续地层序列(图3),累计厚度近4 700 m:上侏罗统索瓦组59 m,中侏罗统夏里组1 050 m,中侏罗统布曲组1 446 m,中一下侏罗统雀莫错组1 561 m,上三叠统那底岗日组639 m(未见底)。结合地震资料分析,羌塘盆地中生界厚度在5~6 km之间的认识是可信的。

剖面沉积序列分析表明,羌塘中生代盆地经历了一个海相—海陆过渡相—陆相—海相的演化过程,总体上为一个向上变浅再变深的海退—海侵序列,在古隆起造山带、盆地边缘及盆地中心,形成了3种代表性剖面类型^[8](图4)。类型1:典型剖面主要位于中央隆起带,以孔孔茶卡剖面最具代表性。该类型剖面主要表现为上三叠统那底岗日组或中

下侏罗统雀莫错组冲洪积相地层呈角度不整合超覆在古生界褶皱系地层之上(图4a),普遍见底砾岩。类型2:典型剖面位于中央隆起带两侧及盆地边缘带,以北羌塘沃若山剖面为代表。该类型剖面主要表现为上三叠统那底岗日组双模式陆相火山岩呈平行不整合或低角度不整合超覆在上三叠统土门格拉组煤系地层之上(图4b)。类型3:典型剖面位于羌塘盆地之内,以羌科1井及雀莫错剖面为代表。该类型剖面表现为上三叠统与侏罗系连续沉积整合接触(图4c)。

由此可见,羌塘中生代沉积盆地是发育在古生界褶皱系之上的叠合盆地。羌塘中生代盆地的开启,是以那底岗日组陆相火山岩—沉火山碎屑岩和雀莫错组冲洪积相底砾岩沉积超覆于古风化壳不整合面之上为标志的。只有在北羌塘残留盆地中,沉积作用基本上是连续的,表现为整合或平行不整合接触。

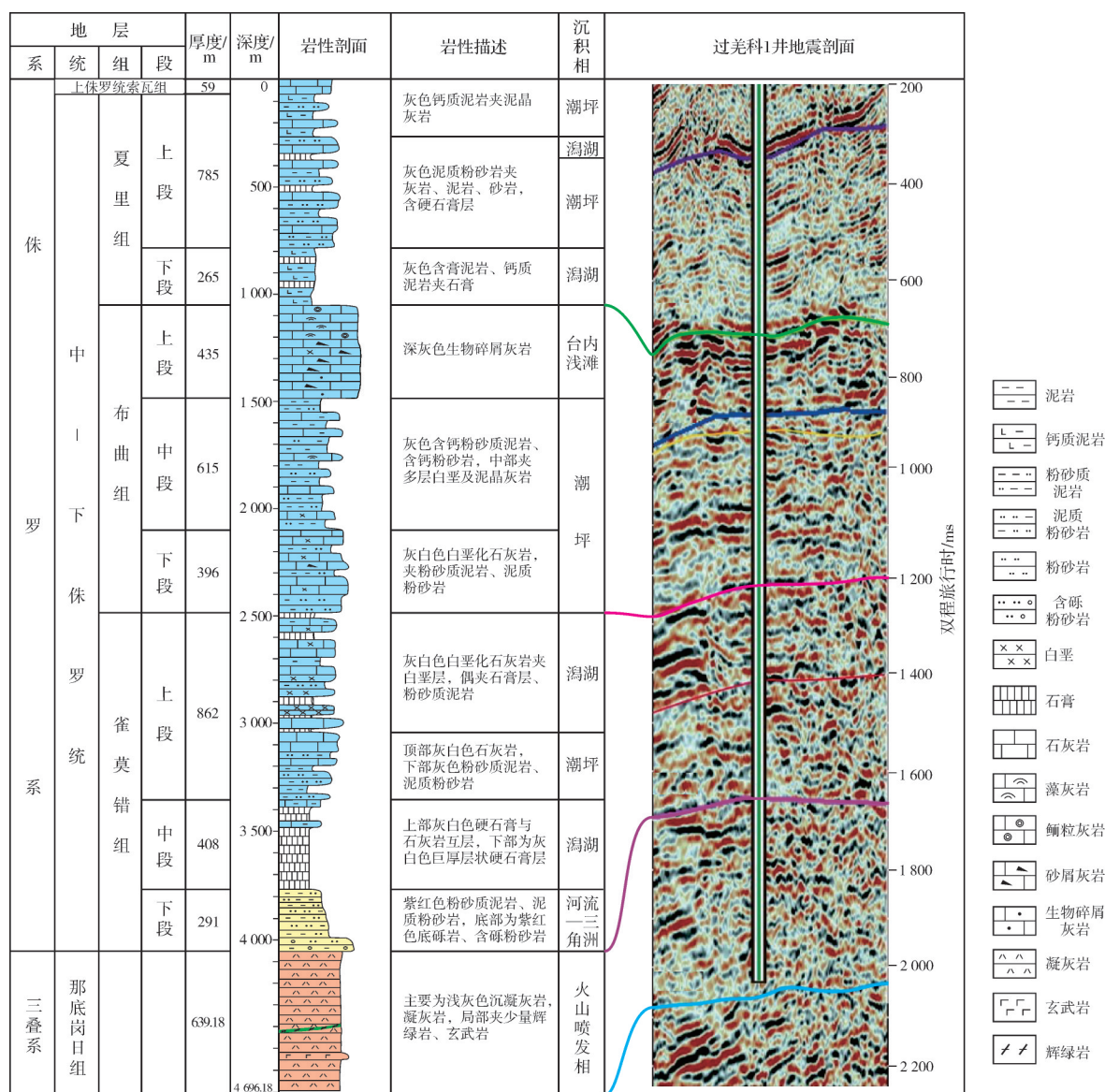
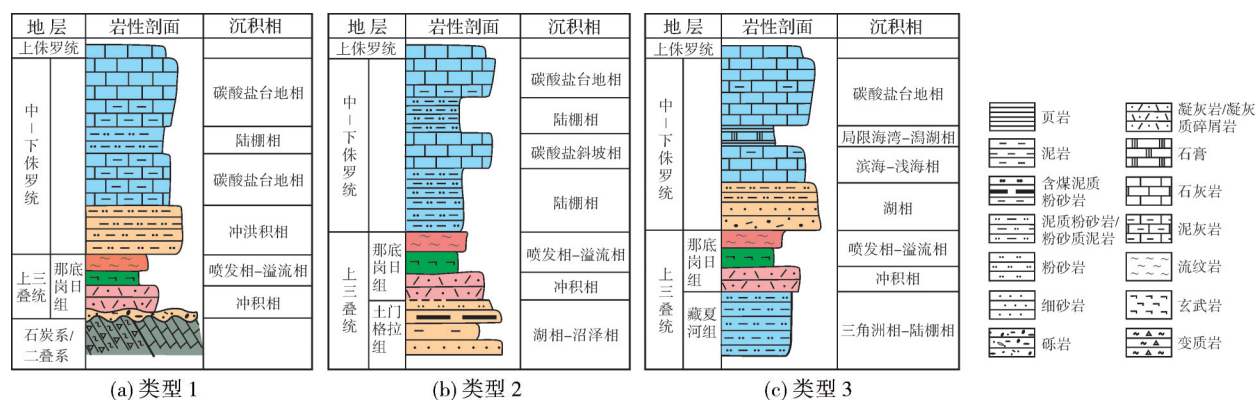


图3 羌科1井中生界综合地层柱状图(据文献[24])

Fig. 3 Comprehensive stratigraphic column of Mesozoic of Well QK-1 (cited from reference [24])



(a) 类型1

(b) 类型2

(c) 类型3

注: 类型1: 中央隆起带, 那底岗日组呈角度不整合超覆于石炭系、二叠系之上; 类型2: 中央隆起带两侧及盆地边缘, 那底岗日组呈平行不整合超覆于土门格拉组煤系地层之上; 类型3: 盆地内部, 上三叠统与侏罗系连续沉积整合接触。

图4 羌塘中生代沉积盆地剖面沉积序列类型(据文献[8])

Fig. 4 Schematic overlap types of Mesozoic sedimentary sequence in Qiangtang Basin (cited from reference [8])

2 那底岗日组时代归属

羌塘盆地那底岗日组由西藏区域地层调查大队于1986年在尼玛县那底岗日地区首先创立,主要指整合于侏罗系雀莫错组陆源碎屑岩之下、角度不整合于肖茶卡组石灰岩之上的一套陆相火山岩-火山碎屑岩夹砂砾岩的岩石组合,分布于湾湾梁-雀莫错和中央隆起带北侧,其后根据有限的K-Ar、Ar-Ar及Rb-Sr同位素测年数据资料,一直把它归属为早一中侏罗世^[7-8]。

本世纪初的石油地质调查及1:25万地质填图发现,那底岗日组可大致分为2个岩相组合类型:一类是陆上喷发岩系列,以流纹岩-熔结凝灰岩-凝灰岩-玄武岩为主;另一类是水下喷发岩系列,为沉火山角砾岩-沉凝灰岩-枕状熔岩-粉砂质泥岩。火山岩岩石组合及地球化学分析表明,那底岗日组火山岩为一套双模式火山岩^[8]。从造山带到盆地边缘及盆地内,那底岗日组与下伏地层接触关系逐渐从角度不整合(孔孔茶卡剖面)过渡到平行不整合(石水河剖面)及整合接触(图4),不整合面之下通常见古风化面^[26]。

取自北羌塘那底岗日山前及石水河地区的2个那底岗日组流纹质晶屑凝灰岩样品和1个流纹质英安岩样品的SHRIMP锆石U-Pb定年,率先获得了那底岗日组3组新的年龄数据:210±4 Ma、208±4 Ma和205±4 Ma^[27],因而据此首次提出那底岗日组的时代归属为晚三叠世而不是早一中侏罗世,并与当时1:25万填图在江爱达日那地区新建的望湖岭组^[28]、格拉丹东地区新建的鄂尔陇巴组^[29]相对比,认为它们同属于晚三叠世^[30]。此后,在菊花山、沃若山、胜利河及中央隆起带等地先后获得了大量的那底岗日组同沉积火山岩的同位素定年数据,其时代大体上在220~200 Ma之间^[31-34],由此可见,那底岗日组的时代归属应为晚三叠世诺利期—瑞替期,而不是前人认为的早一中侏罗世。

值得指出的是,目前尽管对220~200 Ma时期那底岗日组双模式火山岩的大地构造属性还存在“岛弧”与“裂谷盆地”之争^[8,34],但它们形成于伸展-拉张构造背景并超覆于前诺利期—瑞替期不整合面之上是无疑的。这一点显然区别于不整合面之下的另一套250~230 Ma时期的火山岩的大地构造属性^[8],两者不能混为一谈。

3 南羌塘古油藏白云岩时代归属新证据

南羌塘古油藏白云岩带西起隆鄂尼—昂达尔错,东至鄂斯玛地区,其东西长约150 km,南北宽约40 km^[2],是羌塘盆地最令人瞩目的油气成藏解剖研究对象。

过去通常认为,古油藏白云岩时代归属为中侏罗统布曲组^[12]。然而,由于南羌塘地层在燕山晚期发生了强烈的褶皱变形,构造非常复杂,地表露头上,从南羌塘西部的隆鄂尼—昂达尔错至东部的鄂斯玛地区,古油藏白云岩均呈孤立露头出现^[1,2,35],大多以断层与中侏罗统接触,因此,南羌塘古油藏白云岩是“原地有根”还是“异地无根”,其时代归属是重要的地层学问题。

最新地层古生物年代鉴定资料表明,南羌塘古油藏白云岩的时代归属可能为晚三叠世—早侏罗世。在南羌塘晓嘎晓那剖面,与古油藏白云岩露头连续的3件碳酸盐岩样品的20个薄片,新发现了具有地层时代鉴定意义的有孔虫化石,如*Variostoma* sp.、*Duotaxis metula*、*Siphovalvulina colomi*、*Siphovalvulina variabilis*、*Siphovalvulina gibraltarensis*及*Lituolipora termieri*等化石^[36]。*Variostoma* sp.最初在阿尔卑斯北部的上三叠统Rhaetian地层中被发现,之后在欧洲、美国、中国和澳大利亚等地区的中一晚三叠世地层中有大量报道,并作为中一晚三叠世地层划分的依据^[37-38]。*Duotaxis metula*和*Siphovalvulina*种群可能代表晚三叠世到早侏罗世的时代分布范围^[39],而*Lituolipora termieri*推断为特提斯构造域(如摩洛哥、克罗地亚、意大利和土耳其)早侏罗世晚期的有孔虫化石^[40-41]。

而最新获得的古油藏碳酸盐岩原位定年数据,同样支持古油藏白云岩形成于晚三叠世—早侏罗世。在古油藏白云岩、生物礁灰岩胶结物成岩期次研究的基础上,采用LA-MC-ICP-MS U-Pb定年方法,获得了多组代表碳酸盐岩同生—准同生期的碳酸盐岩原位U-Pb年龄:216.2±6.1 Ma至210.1±9.4 Ma,而另外一组早期成岩作用年龄为203±13 Ma、185.5±3.8 Ma至182.7±5.8 Ma^[36],表明南羌塘古油藏白云岩的形成时代可能为晚三叠世—早侏罗世,而不是以往认为的中侏罗世,这与上述古生物鉴定结论是一致的。

值得指出的是,近年来油气地质(浅钻)调查发现,南羌塘存在侏罗系逆冲到上白垩统阿布山组红层之上的情况,因而有学者提出,隆鄂尼—昂达尔错古油藏是北羌塘地块侏罗系自北向南逆冲推覆到南羌塘的大型逆冲岩席^[42]。作者认为,虽然南羌塘古油藏白云岩来自北羌塘这一观点目前证据还不够充分,但是古油藏白云岩不属于中侏罗统布曲组,而属于上三叠统一下侏罗统是有依据的,古油藏白云岩“异地无根”,与布曲组均为断层接触。

4 南羌塘毕洛错油页岩时代归属

南羌塘毕洛错油页岩位于双湖以南方向距其约20 km的董布拉背斜核部,油页岩与下伏硬石膏膏盐岩伴生,露头呈东西向断续延展,长度约为2 km。因其有机碳含量高(通常为5%~9%,最高达26.12%)、生烃潜量大(范围为1.79~91.45 mg/g,平均值为29.93 mg/g)、有机质类型较好(以Ⅱ₁为主)而成为南羌塘烃源岩研究的重点^[1-2]。然而,毕洛错油页岩仅仅出露在南羌塘董布拉背斜核部一个露头点上^[1-2],其他地区目前尚未发现可与之对比的油页岩,因而其时代归属到底是早侏罗世^[43-44]还是中侏罗世^[45-46]一直存有争论。

近期,通过对毕洛错及邻近地区7个地点的侏罗系菊石资料进行重新鉴定^[46],新识别出两个菊石带: *Oxyerites aspidoides*—*Bositra buchi* 组合、*Clydoniceras discuss*—*Bositra buchi* 组合。这两个化石组合分别归属中侏罗世巴柔期和巴通期,由此否定了过去的认识^[43-44],毕洛错油页岩可能并非沉积于早侏罗世,也不是早侏罗世托阿尔阶大洋缺氧事件(T-OAE)的产物^[47]。在毕洛错剖面中还鉴定出了丰富的钙质超微化石 *Watznaueria barnesiae*、*Cyclagelosphaera wiedmannii*、*Biscutum dorsetensis* 和 *Octopodorhabdus decussatus*,并识别出了NJ12钙质超微化石带,指示黑色页岩可能形成于中侏罗世巴柔期—巴通期,很可能延续到了中侏罗世晚期(卡洛夫期)^[45],这与Yin的看法基本一致^[46]。

然而,毕洛错黑色页岩仅仅出露在南羌塘一个露头点上,其他地区目前尚未见到类似黑色页岩的报道。质疑的焦点是化石样品来源(剖面位置)及野外地质工作的可靠性——对从远离董布拉背斜核部油页岩剖面采集的样品所获得的数据都必须非常谨慎,其原因是毕洛错油页岩本身就是构造逆

冲而出露的有限露头,而目前报道的钙质超微化石资料所限定的地层^[45]都在毕洛错剖面的黑色页岩之上,并不能作为油页岩时代归属的依据。因此,不少学者仍然坚持认为毕洛错黑色页岩形成于早侏罗世,并与该时期大洋缺氧事件(T-OAE)相对应,主要依据如下:① LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学结果表明,毕洛错油页岩的最大沉积年龄为 184.4 ± 0.61 Ma,对应于早侏罗世托阿尔期^[47];② 碳同位素研究表明,毕洛错油页岩具有显著的幕式碳同位素负偏特征,可与全球托阿尔期缺氧事件地层的碳同位素偏移进行精细的对比^[47];③ 在毕洛错油页岩剖面中,原地采集到了早托阿尔期典型的孢粉化石,包括 *Mancodinium semitabulatum*、*Nannoceratopsis gracilis*、*Scrinocassis priscus*、*Scrinocassis weberi*、*Callialasporites turbatus* 和 *C. microvelatus*^[44]。

值得注意的是,最近作者针对毕洛错油页岩中的碳酸盐岩夹层,采用方解石原位 U-Pb 同位素定年方法,获得其年龄为 181.0 ± 13.0 Ma^[48]。与此同时,还在毕洛错油页岩地层中采集到了菊石 *Tiltoniceras* sp. 和 *Hildoceratidae*,其中, *Tiltoniceras* sp. 主要见于早侏罗世,是早侏罗世普林斯巴期—托阿尔期的典型分子^[49],在特提斯构造域中, *Tiltoniceras* sp. 主要见于下侏罗统托阿尔阶中^[43]。此外,最近还在羌塘盆地东部的鄂修布剖面中,采集到了下侏罗统托阿尔阶典型的菊石化石,包括 *Harpoceras* sp.、*Cleviceras* sp. 和 *Tiltoniceras* sp.^[36]。

综上所述,羌塘盆地地下侏罗统托阿尔阶应该是普遍存在的,毕洛错油页岩地层的时代归属应该为早侏罗世托阿尔期。

5 雀莫错组沉积超覆与时代归属

雀莫错组膏盐岩是羌塘盆地重要的区域性封盖层之一,主要发育于北羌塘,由青海省区域地质调查大队建组于北羌塘盆地东部雀莫错剖面^[50],厚度约为1 200 m,以冲洪积相、三角洲相、潮坪及潟湖相陆源碎屑岩、碳酸盐岩夹石膏沉积为主^[7]。

典型的雀莫错组剖面沉积序列具3段式特征(图3):下段为冲洪积相紫红色砾岩、砂岩;中段以局限台地相碳酸盐岩为主,夹石膏及泥质岩;上段以潮坪、潟湖相杂色(紫红色、灰绿色或灰色)细碎屑岩夹碳酸盐岩为特征。雀莫错组与下伏地层的接触关系具有非常清楚的规律性:① 在中央隆起带

及其北侧附近,表现为雀莫错组冲洪积相砾岩高角度沉积超覆于古生界褶皱系之上^[51],厚度通常小于500 m,甚至可能缺失雀莫错组沉积而表现为中侏罗统呈角度不整合超覆在古生界褶皱系之上。②中央隆起带北侧向盆地的过渡区,雀莫错组通常呈平行不整合或低角度不整合沉积超覆于上三叠统之上^[52],厚度通常大于500 m,碳酸盐岩及膏盐岩沉积厚度较大。③在盆地中心区,雀莫错组通常与下伏上三叠统呈整合接触。来自羌科1井的最新资料揭示,北羌塘中北部地区雀莫错组与下伏那底岗日组双模式火山岩为连续沉积整合接触关系,雀莫错组厚达1 561 m,其中硬石膏层连续沉积厚度达365 m,纵向上从底部分支河流相向上逐渐演化为局限台地碳酸盐沉积^[20]。

显然,由于雀莫错组的这种沉积超覆样式类似于华南泥盆系沉积超覆于加里东褶皱系之上,使得其沉积厚度、沉积序列、岩相变化等特征存在较大的差异,其底界年龄也视观察剖面在盆地中的位置不同而不一样,加之在雀莫错组下部粗陆源碎屑岩中尚未发现可用于定年的生物化石,因而雀莫错组的时代归属一直以来备受争议。较早的研究认为北羌塘缺乏早侏罗世地层,依据雀莫错组中上部地层中腕足类组合特征,认为雀莫错组的时代归属为中侏罗世^[7,13]。

近年来,科探井、地质浅钻及盆地沉积层序资料证实,雀莫错组时代归属应为早—中侏罗世,其主要依据有:①羌科1井钻探证实,雀莫错组与下伏地层那底岗日组沉火山岩为整合接触,从下向上为沉火山岩、细陆源碎屑岩及三角洲平原—潮坪相连续沉积序列,因而与下伏地层那底岗日组为连续地层演化序列;②高精度SHRIMP U-Pb定年证实,那底岗日组的顶界年龄为201 Ma^[14,27-28],属晚三叠世末,因而雀莫错组的底界年龄应延伸到了早侏罗世早期;③雀莫错组中上部采集到丰富的双壳和腕足类化石,其时代为中侏罗世巴柔期—巴通期^[13,53-54]。

此外,在羌科1井雀莫错组细碎屑岩中识别出了持续的碳同位素异常,这些碳同位素异常可对比全球早侏罗世托阿尔期缺氧事件(T-OAE)中的碳同位素负偏移^[14]。值得一提的是,北羌塘雀莫错组碳同位素负偏移在南羌塘曲色组中已被广泛报道^[44-55],由此可见,北羌塘雀莫错组可能与南羌

塘曲色组—色哇组相对应。

6 胜利河—长蛇山油页岩年代地层与生物地层

胜利河—长蛇山海相油页岩主要分布于北羌塘西长梁、东长梁、胜利河、长蛇山一带,东西长约60 km、宽30 km,预测油页岩远景资源量在 10×10^8 t以上^[5,56]。最早发现的西长梁油页岩被认为形成于新生代古近纪^[9]。本世纪初油气地质调查发现西长梁油页岩延伸到了东长梁、胜利河及长蛇山一带,命名为胜利河—长蛇山油页岩,且认为其时代归属为早白垩世^[11,57]。由于胜利河—长蛇山油页岩是目前我国发现的含油率最高的优质海相油页岩(含油率最高达16.3%,平均值为6.24%;氯仿沥青“A”含量平均值为0.717 3%,生烃潜量平均值为40.17 mg/g)^[5,10],因而其时代归属不仅关系地层划分对比,还直接关系到油页岩资源预测与勘探。

来自地层古生物年代鉴定的结果表明,北羌塘胜利河—长蛇山油页岩的形成时代可能为早白垩世。主要证据有:①油页岩下部的孢子有:*Cyathidites minor*、*Todisporites minor*、*Brevilaesuraspora orbiculata*、*Cyclogranisporites* sp.、*Densoisporites* sp.、*Osmundacidites* sp.。裸子植物花粉主要包括:*Pinuspollenites* sp.、*Classopollis* sp.、*C. annulatus*、*C. minor*、*C. classoides*、*Dicheiropollis etruscus*、*Perinopollenites* sp.、*Vitreisporites* sp.。其中*Dicheiropollis*是典型的早白垩世分子,广泛分布于特提斯和北冈瓦纳。②油页岩中部的孢子包括:*Apiculatisporites* sp.、*Biretisporites* sp.、*Cicatricosisporites* sp.、*C. ludbrookii*、*Densosporites* sp.、*Lygodiumsporites subsimplex*、*Reticulisporites* sp.。裸子植物花粉包括:*Classopollis* sp.、*Cerebropollenites* sp.、*C. cf. papilloporus*、*Ephedripites cf. notensis*、*Chasmatosporites* sp.、*Perinopollenites* sp.、*Jiaohepollis* sp.。被子植物花粉包括:*Triporopollenites* sp.、*Tricolporopollenites* sp.。③油页岩上部孢子有:*Cyclogranisporites* sp.、*Doltoidospora regularis*、*Lygodiumsporites subsimplex*、*Osmundacidites* sp.、*Sene galosporites* sp.、*Waltzisporea* sp.。裸子植物花粉包括:*Cycadopites* sp.、*C. adjunctus*、*C. balmei*、*Classopollis* sp.、*C. annulatus*、*C. classoides*、*C. granulatus*、*C. minor*、*Steevesipollenites* sp.。其中,*Steevesipollenites* sp.和*Sene galosporites* sp.的出现及低含量*Lygodiumsporites subsimplex*,表明该

地层时代为早白垩世晚期(阿尔布期)。

胜利河—长蛇山油页岩 Re-Os 同位素定年基本支持上述孢子花粉定年结论^[10,58]。来自油页岩剖面的样品 Re-Os 同位素分析表明,11块油页岩样品的 Re-Os 等时线年龄为 101 ± 24 Ma,初始值为 1.84 ± 0.11 ,均方偏差(MSWD)为 3.5。这一年年龄与2013年报道的更高精度胜利河油页岩 Re-Os 同位素年龄 105.1 ± 4.8 Ma(初始值为 0.789 ± 0.031)基本一致^[59],但比生物化石所确定的地层年龄略偏年轻。考虑到胜利河—长蛇山油页岩样品具有共同的 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 初始值,样品的 Re/Os 值在一定范围内变化(212.1~292.7),且样品中有机质已进入成熟阶段(R_o 为 1.24%),因此,Re-Os 同位素年龄比古生物年龄偏年轻的原因可能与油页岩中 Re 或 Os 的迁出有关。事实上,去除部分样品数据后,得出了2个 Re-Os 等时线年龄 89 ± 10 Ma 和 113 ± 29 Ma,前者与根据热演化史、埋藏史推算的胜利河油页岩生排烃时间基本一致,而后者与地层年龄基本一致,表明胜利河油页岩 Re-Os 等时线年龄误差可能与油气形成运移过程中 Re-Os 封闭体系的扰动或重置有关^[10]。

由此可以看出,在目前还没有获得能有效定年的宏观化石的情况下,来自胜利河—长蛇山油页岩中孢子花粉的古生物地层学证据及 Re-Os 同位素定年数据表明,该油页岩带可能形成于早白垩世。

7 康托组与喷呐湖组地层时代

最新的二维地震资料及羌科1井证实,羌塘盆地自上白垩统阿布山组至新生界康托组、喷呐湖组所有地层均没有褶皱变形,且地层产状平缓,呈角度不整合沉积超覆于燕山晚期形成的中生界褶皱系之上,反映出羌塘盆地自晚白垩世以来,其构造运动整体上以抬升为主^[15,60]。然而不整合面之上的喷呐湖组与康托组是同期异相还是上下(新老)关系尚有不同的意见。

有关康托组时代归属,近年来获得了一系列与康托组有关的同位素年龄限定:在改则地区,纳丁错组玄武岩、安山岩呈角度不整合超覆于康托组碎屑岩之上,其火山岩锆石 U-Pb 年龄在 36.9~35.4 Ma 之间^[16];尼玛剖面美苏组顶部火山岩侵入康托组中,侵入岩年龄为 39~37 Ma^[16];黑虎岭地区花岗岩侵入康托组中,花岗岩黑云母 Ar-Ar 年龄为

51 Ma^[16]。康托组内部可用于锆石 U-Pb 直接定年的同沉积火山岩较少,但已报道的定年数据也具参考价值:荣玛地区康托组凝灰岩夹层 Ar-Ar 年龄为 35 Ma^[17],松西地区康托组火山岩夹层 Ar-Ar 年龄为 36 Ma^[61]。结合火山岩年龄和地层接触关系,推测康托组时代归属为始新世,这一结论与改则地区康托组上部识别出的介形类动物群-轮藻化石组合 *Heterocypris igneus*-*Obtusochara jianglingensis* 所指示的始新世完全一致^[62]。

前人依据微体化石将喷呐湖组时代限定为中—上新世^[28],并置于康托组之上,但由于相关生物化石存在的地质时间较长,因而这一结论显然值得商榷。最新的证据来自羌地17井喷呐湖组岩心中同沉积凝灰岩夹层的锆石 U-Pb 年龄数据^[15]。羌地17井位于北羌塘半岛湖—万安湖地区,钻井及地震资料揭示喷呐湖组角度不整合沉积超覆于侏罗系褶皱系之上,地层厚 466 m,上部为湖相石膏(厚层)夹杂色钙质泥岩及泥灰岩,下部以紫红色泥岩为主,夹青灰色泥质粉砂岩及砂砾岩。同沉积凝灰岩(蚀变为灰白色斑脱岩)位于喷呐湖组中部并深约 2 200 m 处,厚 15 cm,锆石 U-Pb 高精度 SIMS 年龄为 46.57 ± 0.30 Ma^[15],属始新世中期。

最新研究表明,康托组与喷呐湖组在区域分布、沉积相特征等方面具有密切相关的内在联系:①区域地质调查发现,康托组主要分布于羌塘盆地中部及南部,包括中央隆起带及中央隆起带南侧,而喷呐湖组则主要分布于羌塘盆地北部,特别是北羌塘中部及中北部,这种分布样式显然与盆地古地理格局有关^[15](图5)。②喷呐湖组以蒸发岩相含膏泥灰岩(膏灰岩)为特征,主要发育于古地貌相对较低的蒸发岩盆地,而康托组以冲洪积相陆源碎屑岩为特征,多分布于古隆起近山麓带或冲洪积平原^[60,63]。③康托组化学风化指数表明其沉积于干旱气候条件下^[64],与喷呐湖组干旱气候蒸发岩形成的古气候条件一致。④在康托组与喷呐湖组过渡带,例如半岛湖以西雁铃河剖面,野外露头上可以识别出两者呈交错过渡关系^[5]。⑤康托组与喷呐湖组有基本一致的同位素定年数据。

由此可见,康托组与喷呐湖组应属于同一时期形成于不同古地理单元的沉积序列,二者同为干旱气候条件下同期异相的沉积地层,其时代归属为古近纪始新世。

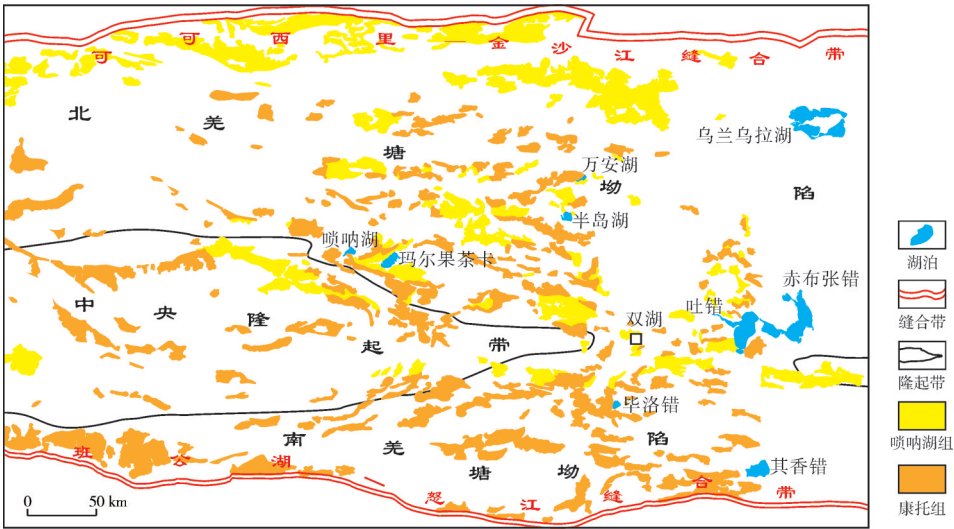


图5 羌塘盆地康托组和喷呐湖组出露地层分布(据文献[2,64])

Fig. 5 Distribution of the exposed Kangtuo Formation and Suonahu Formation in Qiangtang Basin (cited from references [2, 64])

8 羌塘盆地中新世代地层沉积序列

羌塘中新世代盆地发育在前奥陶系变质岩结晶基底及古生界褶皱基底之上,根据地层接触关系、沉积层序、岩石组合及地球物理特征等大体上可划分3个地层序列:中一下三叠统,上三叠统一下白垩统,上白垩统一古近系一新近系^[5](图6)。

中一下三叠统地层序列 主要出露在北羌塘坳陷

陷,南羌塘坳陷尚未发现相应地层出露,可能缺失这一地层序列。北羌塘坳陷主要由下三叠统康鲁组、硬水泉组及中三叠统康南组构成(图6)。上三叠统那底岗日组或下侏罗统雀莫错组呈角度不整合超覆在奥陶系一二叠系地层序列的同时,也呈角度不整合沉积超覆在中一下三叠统地层序列之上。这一地层序列在北羌塘坳陷北部以浅海一半深海相碎屑岩地层为主,向南过渡为陆相,大致在中央隆起带北缘尖灭。

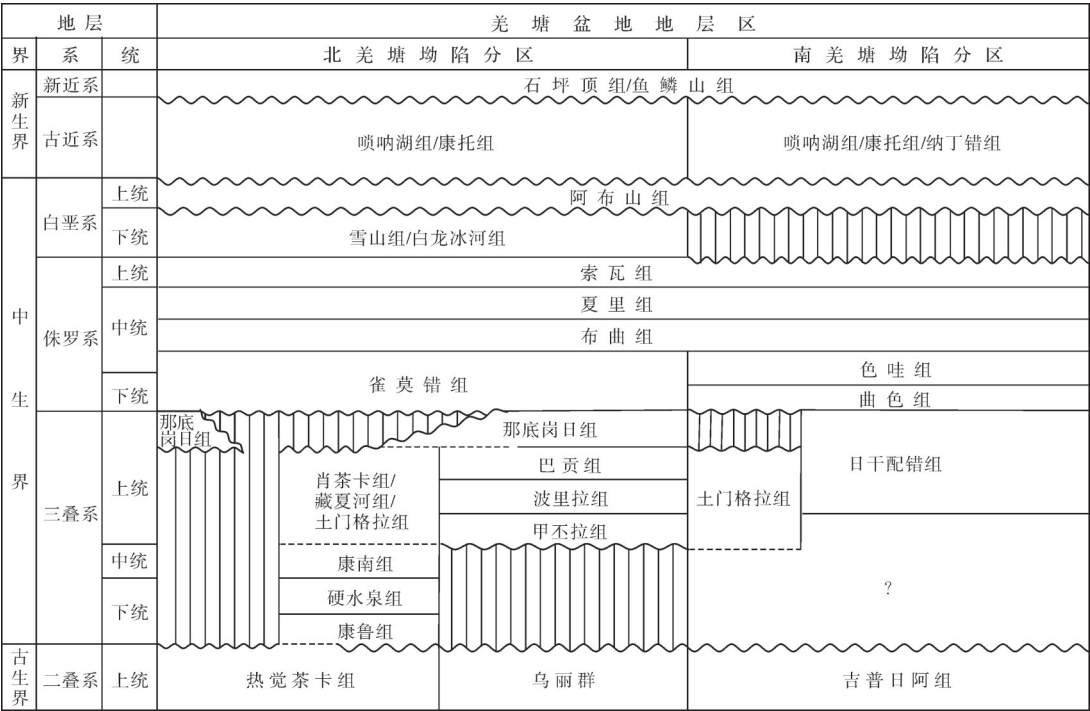


图6 羌塘盆地中—新生界地层划分与对比(据文献[5])

Fig. 6 Stratigraphic framework of Mesozoic-Cenozoic in Qiangtang Basin (cited from reference [5])

上三叠统一白垩统地层序列 在北羌塘坳陷,通常为上三叠统那底岗日组或下侏罗统雀莫错组呈角度不整合超覆在中一下三叠统地层序列之上,局部为上三叠统肖茶卡组(或土门格拉组、藏夏河组)呈平行不整合与中一下三叠统地层序列接触(图6);在南羌塘坳陷,上三叠统日干配错组未见底,可能缺失中一下三叠统。这一地层序列在南、北羌塘坳陷均被上白垩统阿布山组或古近系康托组或喷呐湖组呈角度不整合超覆。上三叠统在羌塘—昌都地区广泛分布,但其下部可能缺失卡尼早期沉积地层,底部普遍发育不整合面和底部砾岩、火山岩或煤层,向上过渡为滨浅海相碳酸盐岩、碎屑岩沉积地层。侏罗系自昌都向北东至羌塘盆地,为海陆过渡相—浅海相碎屑岩、碳酸盐岩地层,南羌塘坳陷下侏罗统曲色组—色哇组发育次深海至深海相细碎屑岩地层。下白垩统在大部分地区为河湖相碎屑岩地层及海相碳酸盐岩地层。

上白垩统一古近系—新近系地层序列 主要包括上白垩统阿布山组,古近系纳丁错组、康托组、喷呐湖组及新近系石坪顶组,这些地层在盆地内零星分布,均呈角度不整合超覆在下伏地层之上(图6)。上白垩统为紫红色碎屑岩及基性—中基性火山岩地层;全区古近系以干旱气候环境下红色、杂色冲洪积相—湖相蒸发岩及陆源碎屑岩地层为特征;新近系除河湖相、冲积相沉积以外,以石坪顶组为代表的基性—酸性火山岩主要分布于北羌塘坳陷的黑虎岭、浩波湖东北、半岛湖、东湖等地,通常呈角度不整合在侏罗系或古近系喷呐湖组之上。

参考文献

- [1] 王剑,谭富文,李亚林,等.青藏高原重点沉积盆地油气资源潜力分析[M].北京:地质出版社,2004.
WANG Jian, TAN Fuwen, LI Yalin, et al. The potential of the oil and gas resources in major sedimentary basins on the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau[M]. Beijing: Geology Press, 2004.
- [2] 王剑,丁俊,王成善,等.青藏高原油气资源战略选区调查与评价[M].北京:地质出版社,2009.
WANG Jian, DING Jun, WANG Chengshan, et al. Survey and evaluation on Tibet oil and gas resources[M]. Beijing: Geology Press, 2009.
- [3] 李才.羌塘基底质疑[J].地质论评,2003,49(1):4-9.
LI Cai. Question about the basement of the Qiangtang Microplate[J]. Geological review, 2003, 49(1): 4-9.
- [4] 李才,翟庆国,程立人,等.青藏高原羌塘地区几个关键地质问题的思考[J].地质通报,2005,24(4):295-301.
LI Cai, ZHAI Qingguo, CHENG Liren, et al. Thought on some key geological problems in the Qiangtang area, Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geological bulletin of China, 2005, 24(4): 295-301.
- [5] 胡素云,王剑,张友炎,等.中国石油地质志:西藏探区[M].北京:石油工业出版社,2023.
HU Suyun, WANG Jian, ZHANG Youyan, et al. Petroleum geology of China: Tibet exploration area[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2023.
- [6] WANG Guozhi, WANG Chengshan. Disintegration and age of basement metamorphic rocks in Qiangtang, Tibet, China[J]. Science in China: series D, earth sciences, 2001, 44: 86-93.
- [7] 赵政璋,李永铁,叶和飞,等.青藏高原羌塘盆地石油地质[M].北京:科学出版社,2001.
ZHAO Zhengzhang, LI Yongtie, YE Hefei, et al. Petroleum geology of the Qiangtang Basin in the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [8] WANG Jian, FU Xiugen, WEI Hengye, et al. Late Triassic basin inversion of the Qiangtang Basin in northern Tibet: implications for the closure of the Paleo-Tethys and expansion of the Neo-Tethys[J]. Journal of Asian earth sciences, 2022, 227: 105119.
- [9] 蒋忠惕,张家强,王德杰,等.西藏尼玛地区油气显示的发现及其意义[J].地质通报,2006,25(增刊2):1189-1193.
JIANG Zhongti, ZHANG Jiaqiang, WANG Dejie, et al. Discovery of oil-gas shows in the Nyima area, Tibet, China and its significance[J]. Geological bulletin of China, 2006, 25(S2): 1189-1193.
- [10] 王剑,付修根,杜安道,等.羌塘盆地胜利河海相油页岩地球化学特征及Re-Os定年[J].海相油气地质,2007,12(3):21-26.
WANG Jian, FU Xiugen, DU Andao, et al. Organic geochemistry and Re-Os dating of marine oil shale in Shenglihe area, Northern Tibet, China[J]. Marine origin petroleum geology, 2007, 12(3): 21-26.
- [11] 王剑,付修根,李忠雄,等.北羌塘盆地油页岩形成环境及其油气地质意义[J].沉积与特提斯地质,2010,30(3):11-17.
WANG Jian, FU Xiugen, LI Zhongxiong, et al. Formation and significance of the oil shales from the North Qiangtang Basin[J]. Sedimentary geology and Tethyan geology, 2010, 30(3): 11-17.
- [12] 赵政璋,李永铁.青藏高原羌塘盆地石油地质条件[C]//第31届国际地质大会中国代表团学术论文集.北京:中国地质学会,2000:4.
ZHAO Zhengzhang, LI Yongtie. Petroleum geological conditions of Qiangtang Basin, Tibet Plateau[C]//31th International Geological Congress Proceedings of the Chinese Delegation. Beijing: Geological Society of China, 2000: 4.
- [13] 郝子文,饶荣标.西南区区域地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1999.
HAO Ziwen, RAO Rongbiao. Regional stratigraphy in the Southwest Region[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1999.
- [14] 付修根,王剑,宋春彦,等.羌塘盆地第一口油气科学钻探井油气地质成果及勘探意义[J].沉积与特提斯地质,2020,40(1):15-25.
FU Xiugen, WANG Jian, SONG Chunyan, et al. Petroleum geological achievements and exploration significance of the first oil and gas scientific drilling well in the Qiangtang Basin[J]. Sedimentary geology and Tethyan geology, 2020, 40(1): 15-25.

- [15] 王剑, 曾胜强, 付修根, 等. 羌塘盆地喷呐湖组地层时代归属新证据[J]. 地质通报, 2019, 38(7): 1256-1258.
WANG Jian, Zeng Shengqiang, FU Xiugen, et al. New evidence for deposition age of the Suonahu Formation in the Qiangtang Basin [J]. Geological bulletin of China, 2019, 38 (7): 1256-1258.
- [16] 赵珍, 吴珍汉, 杨易卓, 等. 羌塘中部陆相红层时代的 U-Pb 年龄约束[J]. 地质论评, 2020, 66(5): 1155-1171.
ZHAO Zhen, WU Zhenhan, YANG Yizhuo, et al. Establishing the chronostratigraphic framework of the continental red beds in Central Qiangtang Basin: constrained by zircon U-Pb ages[J]. Geological review, 2020, 66(5): 1155-1171.
- [17] KAPP P, YIN A, HARRISON T M, et al. Cretaceous-Tertiary shortening, basin development, and volcanism in central Tibet [J]. GSA bulletin, 2005, 117(7/8): 865-878.
- [18] 张克信, 王国灿, 季军良, 等. 青藏高原古近纪-新近纪地层分区与序列及其对隆升的响应[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(12): 1632-1654.
ZHANG Kexin, WANG Guochan, JI Junliang, et al. Paleogene-Neogene stratigraphic realm and sedimentary sequence of the Qinghai-Tibet Plateau and their response to uplift of the plateau [J]. Science China: earth science, 2010, 40(12): 1632-1654.
- [19] 黄继钧. 羌塘盆地基底构造特征[J]. 地质学报, 2001, 75 (3): 333-337.
HUANG Jijun. Structural characteristics of the basement of the Qiangtang Basin [J]. Acta geological sinica, 2001, 75(3): 333-337.
- [20] 王剑, 王忠伟, 付修根, 等. 青藏高原羌塘盆地首口油气勘探井(QK-1)新发现[J]. 科学通报, 2022, 67(3): 321-328.
WANG Jian, WANG Zhongwei, FU Xiugen, et al. New discoveries on the first petroleum scientific drilling (QK-1) of the Qiangtang Basin, Tibetan Plateau [J]. China science bulletin, 2022, 67(3): 321-328.
- [21] 谭富文, 陈明, 王剑, 等. 西藏羌塘盆地中部发现中高级变质岩[J]. 地质通报, 2008, 27(3): 351-355.
TAN Fuwen, CHEN Ming, WANG Jian, et al. Discovery of middle- and high-grade metamorphic rocks in the central Qiangtang Basin, Tibet, China [J]. Geological bulletin of China, 2008, 27(3): 351-355.
- [22] 薛伟伟, 马安林, 胡修棉. 羌塘盆地侏罗系-白垩系岩石地层格架厘定[J]. 地质论评, 2020, 66(5): 1114-1129.
XUE Weiwei, MA Anlin, HU Xiumian. The redefinition of the Jurassic-Cretaceous lithostratigraphic framework in the Qiangtang Basin, Xizang Plateau [J]. Geological review, 2020, 66(5): 1114-1129.
- [23] 周道卿, 曹宝宝, 赵睿, 等. 羌塘盆地高精度航空重磁调查对盆地基底性质与构造格局的启示[J]. 地质学报, 2021, 95(11): 3178-3191.
ZHOU Daoqing, CAO Baobao, ZHAO Rui, et al. High-precision airborne gravity and magnetic survey analysis of the Qiangtang Basin: implications for basin basement properties and tectonic framework [J]. Acta geologica sinica, 2021, 95 (11): 3178-3191.
- [24] 付修根, 陈文彬, 曾胜强, 等. 羌塘盆地石油地质特征[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
FU Xiugen, CHEN Wenbin, ZENG Shengqiang, et al. Petroleum geological characteristics of the Qiangtang Basin [M]. Beijing: Science Press, 2020.
- [25] SHEN Lijun, ZHANG Jianyong, XIONG Shaoyun, et al. Evaluation of the oil and gas preservation conditions, source rocks, and hydrocarbon-generating potential of the Qiangtang Basin: new evidence from the scientific drilling project [J]. China geology, 2023, 6(2): 187-207.
- [26] 王剑, 付修根, 陈文西, 等. 藏北羌塘盆地晚三叠世古风化壳地质地球化学特征及其意义[J]. 沉积学报, 2007, 25 (4): 487-494.
WANG Jian, FU Xiugen, CHEN Wenxi, et al. The Late Triassic paleo-weathering crust in the Qiangtang Basin, northern Tibet: geology, geochemistry and significance [J]. Acta sedimentologica sinica, 2007, 25(4): 487-494.
- [27] 王剑, 汪正江, 陈文西, 等. 藏北羌塘盆地那底岗日组时代归属的新证据[J]. 地质通报, 2007, 26(4): 404-409.
WANG Jian, WANG Zhengjiang, CHEN Wenxi, et al. New evidence for the age assignment of the NadiKangri Formation in the North Qiangtang Basin, northern Tibet, China [J]. Geological bulletin of China, 2007, 26(4): 404-409.
- [28] 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 青藏高原羌塘中部果干加年山上三叠统望湖岭组的建立及意义[J]. 地质通报, 2007, 26 (8): 1003-1008.
LI Cai, ZHAI Qingguo, DONG Yongsheng, et al. Establishment of the Upper Triassic Wanghuling Formation at Guogan-jianian Mountain, central Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau, and its significance [J]. Geological bulletin of China, 2007, 26(8): 1003-1008.
- [29] 白云山, 李莉, 牛志军, 等. 羌塘中部各拉丹冬一带鄂尔陇巴组火山岩特征及其构造环境[J]. 地球学报, 2005, 26(2): 113-120.
BAI Yunshan, LI Li, NIU Zhijun, et al. Characteristics and tectonic setting of Eerlongba Formation volcanic rocks in Geladandong area of central Qiangtang [J]. Acta geoscientia sinica, 2005, 26(2): 113-120.
- [30] 王剑, 付修根, 陈文西, 等. 北羌塘沃若山地区火山岩年代学及区域地球化学对比: 对晚三叠世火山-沉积事件的启示[J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2008, 38(1): 33-43.
WANG Jian, FU Xiugen, CHEN Wenxi, et al. Geochronology and geochemistry of the volcanic rocks in the Woruoshan area of north Qiangtang: implications for Late Triassic volcanic sedimentary events [J]. Science in China: series D, earth sciences, 2008, 38(1): 33-43.
- [31] WANG Jian, FU Xiugen, CHEN Wenxi, et al. Chronology and geochemistry of the volcanic rocks in Woruo Mountain region, northern Qiangtang Depression: implications to the Late Triassic volcanic-sedimentary events [J]. Science in China: series D, earth sciences, 2008, 51: 194-205.
- [32] FU Xiugen, WANG Jian, TAN Fuwen, et al. The Late Triassic rift-related volcanic rocks from eastern Qiangtang, northern Tibet (China): age and tectonic implications [J]. Gondwana research, 2010, 17(1): 135-144.
- [33] 李莉, 牛志军, 白云山, 等. 长江源各拉丹冬一带晚三叠世那底岗日组[J]. 地层学杂志, 2012, 36(1): 49-54.
LI Li, NIU Zhijun, BAI Yunshan, et al. Volcanic rocks of the Late Triassic NadiKangri Group of the Geladandong area,

- source region of Yangtze River[J]. Journal of stratigraphy, 2012, 36(1): 49–54.
- [34] WU Hao, LI Cai, CHEN Jingwen, et al. Late Triassic tectonic framework and evolution of central Qiangtang, Tibet, SW China[J]. Lithosphere, 2016, 8(2): 141–149.
- [35] 吉林省地质调查院. 1:25万区域地质调查报告: 昂达尔错幅[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2006.
- Jilin Provincial Geological Survey Institute. 1: 250000 regional geological survey report: Andar[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2006.
- [36] ZHANG Jian, WANG Jian, ZHENG Bo, et al. Age assignment of dolomite occurred in palaeo-reservoirs in the Qiangtang Basin: new evidence from palaeontology and carbonate in situ U–Pb dating [J]. Marine and petroleum geology, 2023, 158: 106545.
- [37] 郝治纯, 裴松余, 林甲兴, 等. 有孔虫[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- HAO Yichun, Qiu Songyu, LIN Jiaxing, et al. Foraminifera [M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [38] KRAINER K, LUCAS S G, STRASSER M. Vertebrate fossils from the Northalpine Raibl beds, western northern calcareous Alps, Tyrol (Austria)[J]. Austrian journal of earth sciences, 2011, 104(1): 97–106.
- [39] BASSOULLET J P, BOUTAKIOUT M, ECHARFAOUI H. Deux nouveaux genres, *Palaeocyclammina* et *fjdranella*, foraminifères (textulariina) D'un niveau liasique à *Orbitopsella praecursor* (Gümbel) du moyen atlas (Maroc)[J]. Revue de micropaléontologie, 1999, 42 (3): 213–230.
- [40] FUGAGNOLI A, BROGLIO C L. Revised biostratigraphy of Lower Jurassic shallow water carbonates from the Venetian Prealps (Calcarei Group, Trento Platform, northern Italy)[J]. Studi Trentini di scienze naturali, acta geologica, 1998, 73: 35–73.
- [41] KABAL Y, TASLI K. Biostratigraphy of the Lower Jurassic carbonates from the Aydinçik area (central Taurides, S. Turkey) and morphological analysis of *Lituolipora termieri* (Hottinger, 1967)[J]. The journal of foraminiferal research, 2003, 33(4): 338–351.
- [42] WU Zhenhan, YE Peisheng, BAROSH P J, et al. Early Cenozoic multiple thrust in the Tibetan Plateau[J]. Journal of geological research, 2013: 784361.
- [43] 伊海生, 林金辉, 赵兵, 等. 藏北羌塘地区地层新资料[J]. 地质论评, 2003, 49(1): 59–65.
- YI Haisheng, LIN Jinhui, ZHAO Bing, et al. New biostratigraphic data of the Qiangtang area in the northern Tibetan Plateau[J]. Geological review, 2003, 49(1): 59–65.
- [44] XIA Guoqing, MANSOUR A, GENTZIS T, et al. Depositional paleoenvironment and source rock characterization across the Toarcian Oceanic Anoxic Event from the eastern Tethys, Tibet, SW China[J]. International journal of coal geology, 2021, 243: 103780.
- [45] CHEN Lan, JENKINS H C, XU Guiwen, et al. Preliminary nannofossil and geochemical data from Jurassic black shales from the Qiangtang Basin, northern Tibet[J]. Journal of Asian earth sciences, 2016, 115: 257–267.
- [46] YIN Jiarun. A revision and new data on the Jurassic ammonites from the Biluoco area, southern Qiangtang block (North Tibet) [J]. Newsletters on stratigraphy, 2022, 55(1): 1–19.
- [47] FU Xiugen, WANG Jian, FENG Xinglei, et al. Early Jurassic carbon-isotope excursion in the Qiangtang Basin (Tibet), the eastern Tethys: implications for the Toarcian oceanic anoxic event[J]. Chemical geology, 2016, 442: 62–72.
- [48] ZHANG Haowei, WANG Jian, MANSOUR A, et al. New age constraints of the Bilong Co oil shale in the Qiangtang Basin, Northern Tibet: evidence from in situ U–Pb dating and palaeontology[J]. Minerals, 2024, 14: 246.
- [49] HOWARTH M K. The ammonite family Hildoceratidae in the Lower Jurassic of Britain[J]. Monography of the Paleontographical Society, 1991, 145: 1–106.
- [50] 白生海. 青海西南部海相侏罗纪地层新认识[J]. 地质论评, 1989, 35(6): 529–536.
- BAI Shenghai. New recognition of the marine Jurassic strata in southwestern Qianghai[J]. Geological review, 1989, 35(6): 529–536.
- [51] 朱同兴, 李宗亮, 张惠华, 等. 西藏1:25万江爱达日那幅区域地质调查报告[R]. 成都: 成都地质矿产研究所, 2005.
- ZHU Tongxing, LI Zongliang, ZHANG Huihua, et al. 1: 250000 regional geological survey report of Jiang'aidari in Tibet[R]. Chengdu: Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, 2005.
- [52] 朱同兴, 董瀚, 石文礼, 等. 西藏1: 25万吐错幅区域地质调查报告[R]. 成都: 成都地质矿产研究所, 2005.
- ZHU Tongxing, DONG Han, SHI Wenli, et al. 1: 250000 regional geological survey report of Tucuo in Tibet[R]. Chengdu: Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, 2005.
- [53] 付修根, 王剑, 吴滔, 等. 羌塘盆地胜利河地区侏罗组地层及其古环境[J]. 中国地质, 2010, 37(5): 1305–1312.
- FU Xiugen, WANG Jian, WU Tao, et al. Stratigraphy and paleoenvironment of the Quemo Co Formation in Shengli River area, northern Tibet[J]. Geology in China, 2010, 37 (5): 1305–1312.
- [54] FANG Xiaomin, SONG Chunhui, YAN Maodu, et al. Mesozoic litho- and magneto-stratigraphic evidence from the central Tibetan Plateau for megamonsoon evolution and potential evaporites [J]. Gondwana research. 2016, 37: 110–129.
- [55] LIU Mu, JI Changjun, HU Hewei, et al. Variations in microbial ecology during the Toarcian oceanic anoxic event (Early Jurassic) in the Qiangtang Basin, Tibet: evidence from biomarker and carbon isotopes[J]. Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology, 2021, 580: 110626.
- [56] 王剑, 付修根, 李忠雄, 等. 藏北羌塘盆地胜利河—长蛇山油页岩带的发现及其意义[J]. 地质通报, 2009, 28(6): 691–695.
- WANG jian, FU xiugen, LI zhongxiong, et al. Discovery of the Shenglihe–Changsheshan oil shale belt in the Qiangtang Basin, northern Tibet, China and its significance[J]. Geological bulletin of China, 2009, 28(6): 691–695.
- [57] 汪正江, 王剑, 陈文西, 等. 青藏高原北羌塘盆地胜利河上侏罗统海相油页岩的发现[J]. 地质通报, 2007, 26(6): 764–768.
- WANG Zhengjiang, WANG Jian, CHEN Wenxi, et al. Discovery of the Late Jurassic Shenglihe marine oil shale in the northern Qiangtang Basin, Qinghai–Tibet Plateau [J]. Geological bulletin of China, 2007, 26(6): 764–768.

- [58] FU Xiugen, WANG Jian, QU Wenjun, et al. Re-Os (ICP-MS) dating of marine oil shale in the Qiangtang Basin, northern Tibet Plateau, China[J]. Oil shale, 2008, 25(1): 47-55.
- [59] 蒋兴州, 许继峰, 李杰, 等. 西藏羌塘盆地胜利河地区油页岩 Re-Os 同位素定年研究[C]// 2013 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文集. 广州: 中国地质学会, 2013: 562-563.
- JIANG Xingzhou, XU Jifeng, LI Jie, et al. Re-Os isotopic dating of oil shales in Shenglihe area, Qiangtang Basin, Tibet [C]//Proceedings of the 2013 National Symposium on Petrology and Geodynamics. Guangzhou: Chinese Geological Society, 2013: 562-563.
- [60] SHEN Lijun, WANG Jian, SHEN Hualiang, et al. Geochemistry of the Eocene clastic sediments (Suonahu Formation) in the north Qiangtang Basin, Tibet: implications for paleoclimate conditions, provenance and tectonic setting[J]. Canadian journal of earth sciences, 2020, 57(1): 40-55.
- [61] 钟华明, 刘俊, 童劲松, 等. 羌塘西北部松西地区康托组火山岩年龄及意义[J]. 安徽地质, 2008, 18(2): 92-94.
- ZHONG Huaming, LIU Jun, TONG Jinsong, et al. Age and significance for the volcanic rocks of Cantor Formation in Songxi region in northwest of Qiangtang [J]. Geology of Anhui, 2008, 18(2): 92-94.
- [62] 姜高磊, 袁爱华, 张克信. 西藏改则盆地晚始新世康托组介形类动物群及地质意义[J]. 微体古生物学报, 2014, 31(4): 405-419.
- JIANG Gaolei, YUAN Aihua, ZHANG Kexin. The ostracod fauna and its geological significance from the Late Eocene Kangtuo Formation, Gaize Basin, south Tibet Plateau, China [J]. Acta micropalaeontologica sinica, 2014, 31(4): 405-419.
- [63] SHEN Lijun, WANG Jian, FU Xiugen, et al. Sedimentary environments of middle Eocene sediments in the northern Qiangtang Basin, northern Tibetan Plateau: implications for paleoclimate and paleoelevation [J]. Journal of Asian earth sciences, 2023, 245: 105551.
- [64] 赵嘉峰, 王剑, 付修根, 等. 西藏羌塘盆地古近纪康托组沉积物源及构造背景分析[J]. 地质论评, 2022, 68(1): 93-110.
- ZHAO Jiafeng, WANG Jian, FU Xiugen, et al. Provenance and tectonic setting analysis of the Paleogene Kangtuo Formation in the Qiangtang Basin, Xizang (Tibet)[J]. Geological review, 2022, 68(1): 93-110.

编辑:董庸

Advances in division and correlation of stratigraphy in the oil-bearing Qiangtang Basin, North Tibet

WANG Jian^{1,2,3}, ZHANG Haowei^{2,3}, ZHANG Jian^{2,3}, SHEN Lijun^{2,3},
ZHANG Jianyong⁴, FU Xiugen^{1,2,3}

1. National Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation; 2. Qiangtang Institute of Sedimentary Basin, Southwest Petroleum University; 3. School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University;
4. PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology

Abstract: Due to lower exploration degree, the stratal pattern and correlation is still controversial in the oil-bearing Qiangtang Basin, one of the largest sedimentary archives with thick organic carbon-rich strata in the Tibetan Plateau, which impacting the basin evaluation of petroleum conditions and oil-bearing systems. Based on investigations of biostratigraphy, chronostratigraphy, sequence stratigraphy and basin evolution of the Qiangtang Basin, we conduct a comprehensive data compilation to analyze the depositional history and ages of the basin rock record. The results reveal that: (1) New isotopic chronology data confirm that there is a Precambrian metamorphic crystalline basement in the Qiangtang Basin. The Paleozoic basement fold system is buried at a depth of 7-15 km, which is overlaid unconformably by the Mesozoic deposits. (2) The proposed age of the Nadikangri Formation is the Upper Triassic, contradicting previous suggestion of Lower-Middle Jurassic. (3) The dolomites of the paleo-reservoir in the southern Qiangtang Basin belong to the Late Triassic rather than the Middle Jurassic in age, and the dolomites are probably "allochthonous root-less" and tectonic contact with the Buqu Formation. (4) The Bilong Co oil shales in the southern Qiangtang Basin belong to the Lower Jurassic rather than the Middle Jurassic. (5) The Quemo Co Formation has an age not younger than the Middle to Lower Jurassic rather than the original suggestion of the Middle Jurassic. (6) Facies changes and paleontological analysis combined with isotopic data indicate that the Shenglihe-Changsheshan oil shale was deposited in a marine environment during the Early Cretaceous. (7) Isotopic chronology and field geological survey confirm that the Kangtuo and Suonahu Formations comprise simultaneous strata with different sedimentary facies. The data synthesis and progress in stratigraphic research of the Qiangtang Basin provide a new basis for the development of the stratigraphic division and correlation scheme of the basin, as well as the analysis of its petroleum system and potential.

Key words: stratigraphic division and correlation; chronostratigraphy; biostratigraphy; Mesozoic-Cenozoic; Qiangtang Basin
WANG Jian, First author: PhD, Professor, mainly engaged in teaching and scientific research on tectonic sedimentology and analysis of hydrocarbon-bearing basins. Add: No. 8 Xindu Rd., Xindu District, Chengdu, Sichuan 610500, China. E-mail: w1962jian@163.com