

北羌塘坳陷早—中侏罗世雀莫错期岩相古地理特征与成钾意义

占王忠^{1, 2)}, 谭富文^{1, 2)}

1) 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都, 610081;

2) 自然资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 成都, 610081

内容提要:北羌塘坳陷下—中侏罗统雀莫错组广泛发育一套巨厚的蒸发岩沉积。本文依据羌科-1井、羌资-16井和地表露头资料,通过地层划分对比、沉积微相分析、沉积序列研究等方法,对北羌塘坳陷早—中侏罗世岩相古地理环境进行了恢复,分析了成钾条件。研究表明,北羌塘坳陷早—中侏罗世受班公湖—怒江中特提斯洋盆进一步扩张的影响,进入了被动大陆边缘盆地演化阶段,裂陷作用在坳陷内形成的两个裂陷槽控制着雀莫错组沉积。羌塘中部地带的隆起,使得海水仅从双湖狭小的通道向北漫漫。受海水和淡水的共同作用,在坳陷内发育一套咸水—半咸水陆缘近海湖泊相沉积。北羌塘坳陷雀莫错期海(湖)平面和古气候经历了多次旋回,半封闭的古构造格局,频繁的海侵的盐类物源补给和极端炎热干旱气候条件耦合下,北羌塘坳陷雀莫错期古盐湖具备成盐成矿条件,其中半岛湖—普若岗日底隆起区是成盐成钾的有利区。

关键词:成钾作用;岩相古地理;雀莫错组;北羌塘坳陷

中国盐湖资源的研究,主要集中在第四纪(Q)陆相盐湖,并取得了一大批成果(郑绵平等,1998;赵元艺,2003;郑绵平,2006;宋彭生等,2011;Du Guangwei,2014),而对第四纪(Q)地质时期以前形成的盐湖,仅在云南兰坪—思茅盆地南部获得了勐野井古盐湖钾盐矿床(岳维好等,2011;高翔等,2013;郑绵平等,2014;Li Minghui and Wang Xingfu,2014)。国家科技部曾经于2011年执行过国家973计划“中国陆块海相成钾规律及预测研究”项目,旨在解决我国古盐湖找钾关键问题,由于羌塘盆地特殊的地理位置,使得研究者仅对交通便利的青藏公路附近雁石坪地区中侏罗统夏里组、布曲组开展过少量研究工作(潘佳秋等,2015),而侏罗系最大的一次区域性蒸发岩沉积地层雀莫错组,在雁石坪剖面仅出露上部,地表露头未见雀莫错组中—下部蒸发岩层。从雀莫错晚期开始,羌塘盆地古气候环境逐渐由干热向温暖湿润转变(王剑等,2004;付修根等,2010a),不具备成盐成矿气候条件。深入北羌塘坳陷腹地工作的油气地质工作者,在羌塘盆地油气

勘探程度低的背景下,对这套仅可作为区域性盖层的地层关注较少(李亚林等,2008;付修根等,2020)。20世纪末,国内外地质学者总结盐类资源和石油、天然气在成矿条件,认为具有一致性,提出了“油钾兼探”(郑绵平等,2006,2012),特别是在藏北缺氧高海拔的羌塘盆地,油、钾、锂、硼等稀有矿产兼探显得非常重要。

早—中侏罗世,北羌塘坳陷从前陆盆地灭亡向裂谷盆地开启的沉积转换时期,炎热—干旱的沉积环境形成的古盐湖与可能存在的盐类资源的研究,仍处于空白。在同处于羌北—滇西构造带的兰坪—思茅盆地、万象盆地、呵叻盆地均形成了盐类学,沉积区(韩元红等,2011;时林等,2011;方勤方等,2015),对北羌塘坳陷雀莫错期古盐湖的盐类资源研究显得十分有必要。笔者依据在北羌塘坳陷近十年来地表地质调查和地质钻井资料,重新编制了北羌塘坳陷早—中侏罗世雀莫错期岩相古地理图,并在此基础上对该时期成盐成矿条件进行了分析,为羌塘盆地古盐湖资源研究提供依据。

注:本文为中国地质调查局项目“西藏羌南—措勤地区油气地质调查”(编号:DD20190116)、中石油勘探开发研究院项目“《中国石油地质志》第二版·卷十九《西藏探区》”(编号:RIPE-2018-JS-638)的成果。

收稿日期:2020-07-16;改回日期:2020-08-31;责任编辑:黄道衰。Doi:10.16509/j.georeview.2020.05.013

作者简介:占王忠,男,1985年生,工程师,主要从事沉积地质研究工作;Email: zhanwangzhong@qq.com。

1 地质背景

羌塘盆地主体位于青藏高原北部,夹持于可可西里—金沙江缝合带和班公湖—怒江缝合带之间。依据重力、航磁、二维地震等地球物理资料,羌塘盆地是一个在前寒武系结晶基底上发育形成的叠合盆地,盆地从南向北依次划分为南羌塘坳陷、中央隆起带和北羌塘坳陷 3 个 I 级构造单位(王剑等,2009;王剑和付修根,2018;占王忠等,2019;图 1)。

早二叠世盆地北侧的可可西里—金沙江古特提斯小洋盆洋关闭(付修根等,2007;王剑和付修根,2018),羌塘盆地进入了受北侧造山带控制的前陆盆地演化,晚三叠世前陆盆地逐渐消亡,受南侧的班公湖—怒江洋盆扩张作用羌塘盆地进入被动大陆边缘盆地演化阶段。此时中央隆起带的隆起(王剑等,2004;谭富文等,2016),使得南北羌塘坳陷进入了各自沉积演化阶段。陆缘地壳的拉伸减薄,在北羌塘坳陷形成的 2 个裂陷槽和 2 个隆起带控制着整个侏罗纪时期的沉积演化(谭富文等,2016)。

2 个裂陷槽和 2 个隆起带从北向南分别为白滩湖—雀莫错裂陷槽、半岛湖—普若岗日隆起带、吐波错—吐错裂陷槽和中央隆起带(谭富文等,2016)。裂陷槽以晚三叠世诺利期—瑞替期(那底岗日组沉

积期)火山活动为开始,经历了早—中侏罗世巴柔期(雀莫错组沉积期)发育成型阶段,中侏罗世巴通期(布曲组沉积期)的充填衰亡阶段。

雀莫错组由白海生在羌塘盆地的东部雀莫错剖面所创立,专指北羌塘坳陷早—中侏罗世地层,代表晚三叠世火山岩之上的一套海侵退积序列地层,岩性由下部紫红色厚层状砾岩,中部紫红色—灰绿色岩屑石英砂岩和上部灰绿色粉砂岩、泥岩、泥灰岩组成(白海生,1989)。那底岗日组(坳陷东部为鄂尔陇巴组,下同)火山岩年代归属间接控制着雀莫错组地层的沉积年代,前人采用 K-Ar 同位素测年,认为那底岗日组沉积年龄为 197~209 Ma(赵政璋等,2001),按照最新的国际地层划分原则和方案(2019 年),属于晚三叠世瑞替期—早侏罗世西涅缪尔期[过去采用王鸿祯和李光岑(1990)地层划分方案,三叠纪与侏罗纪时间界限为 208 Ma,故认为那底岗日组属于下侏罗统],王剑等(2007,2008)、付修根等(2007,2010b)根据那底岗日组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分析,表明该套地层时代归属为晚三叠世诺利期—瑞替期。雀莫错组在北羌塘坳陷内整合或不整合于那底岗日组之上,顶部与中侏罗世巴通期布曲组整合接触,为早—中侏罗世巴柔期沉积(李乾等,2006;陈文西和王剑,2009)。

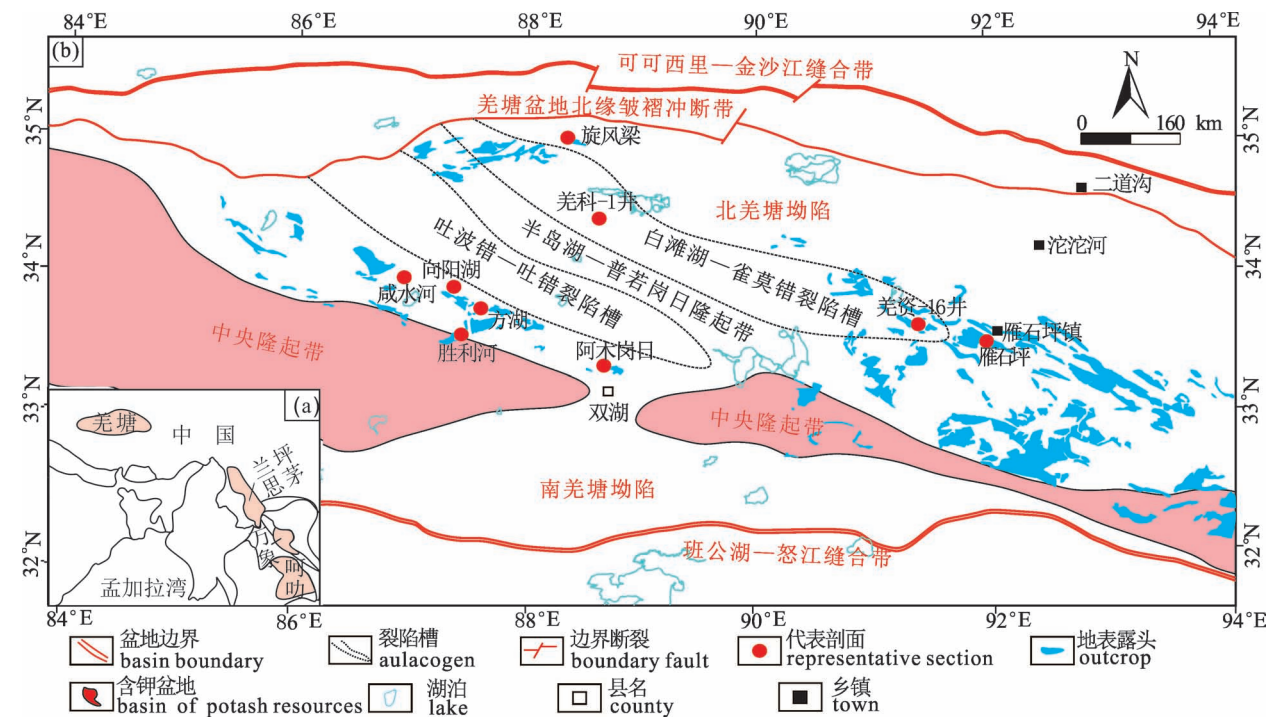


图 1 羌塘盆地位置图(a)和北羌塘坳陷中—下侏罗统地表出露图(b)

Fig. 1 Location map of the Qiangtang Basin (a) and outcrop map of Middle—Lower Jurassic in the North Qiangtang Basin (b)

2 单井沉积特征

2.1 羌科-1 井

羌科-1 井位于北美塘拗陷中北部的万安湖地区(图 1),完整钻遇了早—中侏罗世雀莫错组,井段 2500~4057 m,视厚度 1557 m,自下而上依次发育雀

莫错组一段、二段和三段(图 2)。
雀莫错组一段:本段视厚度 257 m,底部岩性为紫红色砾岩夹含砾粗砂岩,向上过渡为紫红—红棕色粉砂质泥岩和泥质粉砂岩互层,顶部为紫红色泥岩。自然伽马曲线呈增大趋势,泥质含量逐渐增多。钙质含量较少,为一套陆相冲积扇—湖泊三角洲相

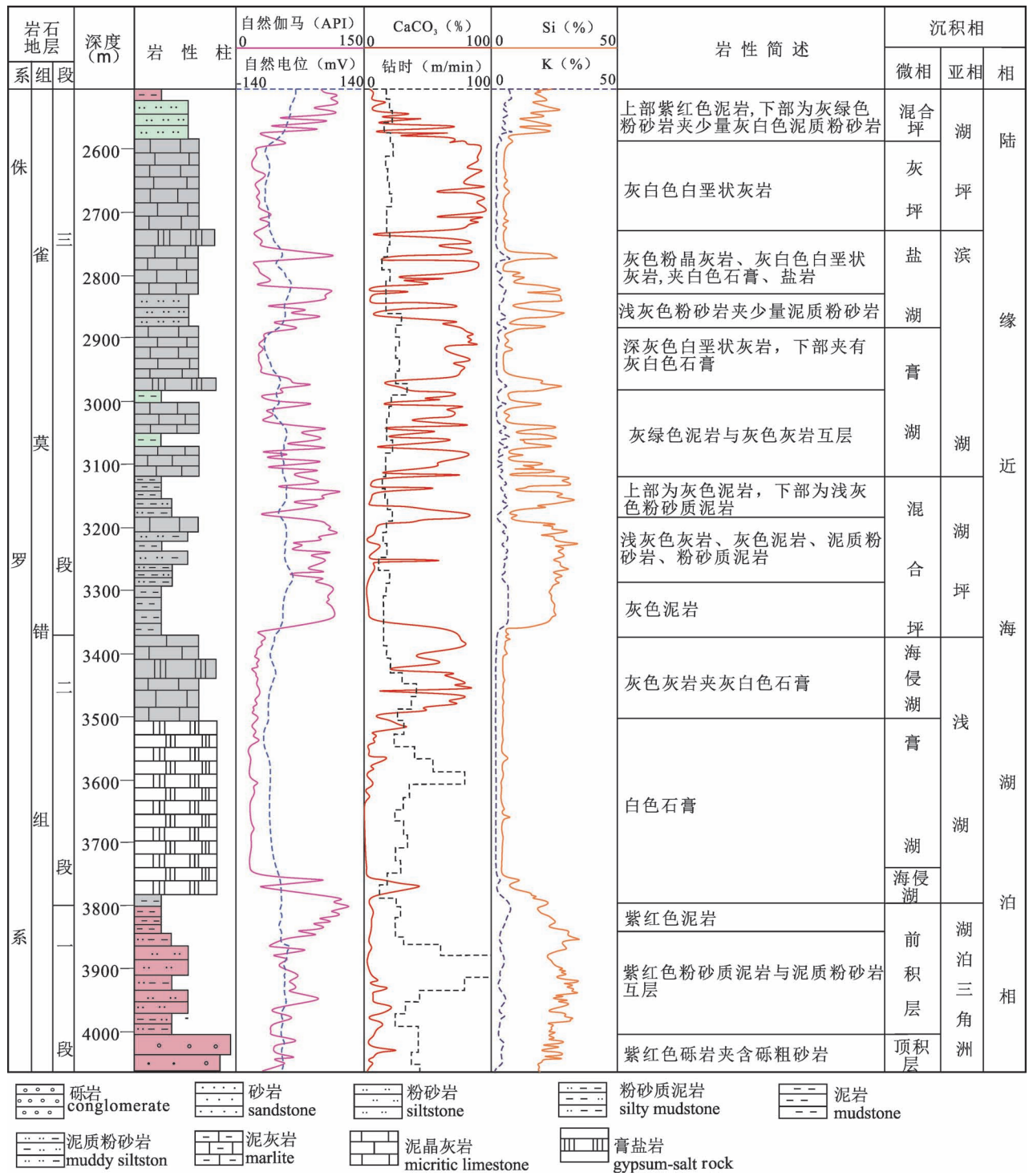


图 2 羌科-1 井下—中侏罗统雀莫错组综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive column of the Lower—Middle Jurassic Quemocuo Formation in the Well QK-1

沉积。

雀莫错组二段:本段视厚度 143 m,岩性以白色膏盐为主,上部和下部夹有灰色灰岩、白云质灰岩、灰色钙质泥岩。岩性简单,自然伽马值较小,自然电位趋势平稳, CaCO_3 含量在底部和顶部变大外,在膏盐段普遍较少,钾、硅含量均较少。沉积环境为海侵湖—咸化膏盐浅湖—海侵湖。陆源碎屑供应较少,属于炎热干旱的气候特征。

雀莫错组三段:本段视厚度 857 m,底部为混合湖坪亚相沉积,岩性为灰色泥岩、浅灰色灰岩、粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩,测井曲线表现为多种岩性相互混杂,钾含量较高,硅含量呈不规则锯齿状,硅、钾含量增加,且如自然伽马值增加变化一致,陆源碎屑供应增多。中部为滨湖亚相沉积,岩性主要为灰绿色泥岩、灰色灰岩、深灰色白垩化碳酸盐岩夹灰白色石膏、盐岩。自然伽马呈锯齿状减少。 CaCO_3 含量大小不一,变化幅度较大。硅、钾含量较高,呈锯齿状。上部为湖坪亚相灰坪—混合坪沉积,岩性为灰白色白垩化碳酸盐岩、灰绿色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,顶部见有少量紫红色泥岩。自然伽马和自然电位呈增多高趋势, CaCO_3 含量经历灰坪段异常高值后逐渐减少,钾和硅含量与 CaCO_3 含量变化趋势相反,在灰坪段异常低值后逐渐增高。

2.2 羌资-16 井

羌资-16 井位于北羌塘坳陷的东部雀莫错东南部(图 1),开孔地层雀莫错组三段,井深 1592.7 m,其中雀莫错组位于井段 0~857.5 m,分别钻遇雀莫错组三段、二段和一段,其中雀莫错组三段未见顶,雀莫错组一段与下伏鄂尔陇巴组(类似于那底岗日组)地层平行不整合接触(图 3)。

雀莫错组一段:位于井段 628.28~857.5 m,视厚度 229.22 m。底部岩性为紫红色砾岩、灰色粉砂岩和灰黑色岩屑石英细砂岩,为湖泊三角洲相顶积层沉积。自然伽马曲线呈锯齿状增高趋势,自然电位趋于高值平稳,深浅双侧向、密度呈稳定减小趋势,声波时差和中子呈增多趋势。表明泥质含量向上逐渐增多,砂岩粒度向上变细。上部为湖泊三角洲前积层沉积,岩性为灰绿色岩屑石英细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩。测井曲线特征,表明此层段泥质含量维持在较高的范围。

雀莫错组二段:位于井段 256.12~628.28 m,视厚度 372.16 m。以蒸发咸水浅湖亚相沉积为主,岩性主要为灰白色和黑色膏岩、盐岩,夹有少量的碳质泥岩、角砾岩。在盐岩层段含有高伽马、高中子、高

声波时差、低电阻率、低密度等三高两低性质的富含钾的黏土矿物(蒲杰等,2013),视厚度约为 50 m。其余层段均为纯膏盐或含有少量泥质成分的测井曲线特征(李延丽等,2017;Wang Jiangong et al.,2020)。

雀莫错组三段:位于井位 0~256.12 m,视厚度大于 256.12 m。岩性下部以灰白色岩屑石英细砂岩、灰色粉砂岩、粉砂质泥岩、灰黑色泥岩为主,含有少量海侵特征的泥晶灰岩,为湖泊三角洲前积层沉积,自然伽马较高,但有减少趋势。深浅双侧向呈跳跃式增高。声波时差、密度和中子变化较大。

羌科-1 井和羌资-16 井在雀莫错组沉积中后期(二段和三段)存在差异,特别是雀莫错三段差异较大,两口井均位于北羌塘坳陷白滩湖—雀莫错裂陷槽内。羌科-1 井位于坳陷的中部,离物源区可可西里金沙江缝合带和中央隆起带均较远,陆源碎屑供应不足,受海侵作用影响,以碳酸盐岩沉积为主。羌资-16 井位于坳陷的东部,离物源区东部隆起带较近,陆源碎屑供给充足,受淡水作用为主,海水作用为辅,以碎屑岩沉积为主。二者沉积岩性和厚度上的差异一定程度上反应了雀莫错组沉积中后期,北羌塘坳陷发生了进一步的构造分异。

3 地层剖面对比

对北羌塘坳陷不同地层分区内的雀莫错组地表露头 and 钻井资料进行对比,参考前人认识(王成善等,2001;南征兵等,2013),建立了北羌塘坳陷雀莫错组南—北和东—西两个地层对比大剖面(图 4、图 5)。钻井和露头剖面自北向南依次为:旋风梁剖面—咸水河剖面—向阳湖剖面—方湖剖面—胜利河剖面—阿木岗日剖面(图 4);自西向东依次为:咸水河剖面—向阳湖剖面—方湖剖面—羌科-1 井—羌资-16 井—雁石坪剖面(图 5)。

雀莫错组一段,由北向南和由西向东对比剖面显示(图 4、图 5),雀莫错组一段在坳陷北部的旋风梁、南部的阿木岗日和东部的雁石坪最厚,胜利河、羌资-16 井和羌科-1 井次之,咸水河和方湖最薄,向阳湖缺失。岩性差异也表现为,坳陷南部、北部和东部以近物源的紫红色岩屑石英砂岩、长石石英砂岩等为主,底部含有砾石沉积,坳陷内部以结构和成分成熟度较高的紫红色石英砂岩和粉砂岩为主,底部同样存在砾岩。

雀莫错组二段:本段是北羌塘坳陷最大规模海侵沉积的产物,海侵是由双湖地区狭窄的通道向北

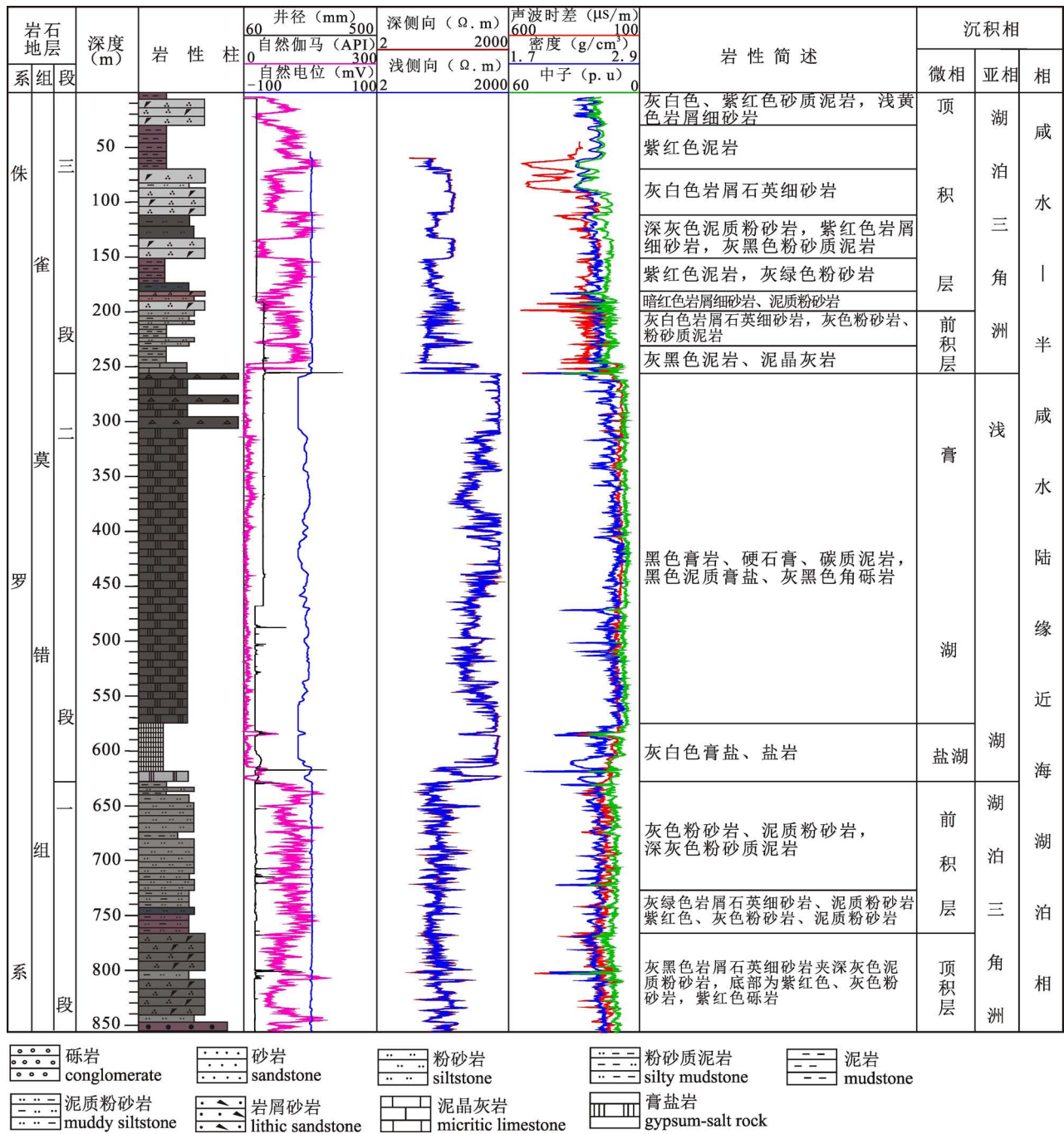


图 3 羌资-16 井下—中侏罗统雀莫错组综合柱状图

Fig. 3 Comprehensive column of the Lower—Middle Jurassic Quemocuo Formation in the Well QZ-16

浸漫到北羌塘坳陷。此时海水和淡水共同作用,其中咸水河、向阳湖、方湖、阿木岗日等靠近中央隆起带地区,主要受海水作用,产生稳定的碳酸盐岩沉积。坳陷东部地势较高,海水侵入较少,淡水仍是起主要作用,沉积河流—湖泊三角洲相的岩屑石英砂岩和细砂岩。坳陷北部的旋风梁地区沉积由湖坪亚相的泥灰岩、泥晶灰岩、砂屑灰岩夹长石石英砂岩。

表明此时期的海侵规模较大,北羌塘坳陷受到海侵作用的影响,原先位于水平面以上绝大多数地区被海水淹没。处于白滩湖—雀莫错裂陷槽内的羌科-1井和羌资-16井,虽然经过了雀莫错早期的快速充填,但受裂陷槽的继续发育影响,羌科-1井和羌资-16井水体较深,主要受海水作用,以浅海亚相沉积为主。此时期的中期,随着海退,海水供给的减少,

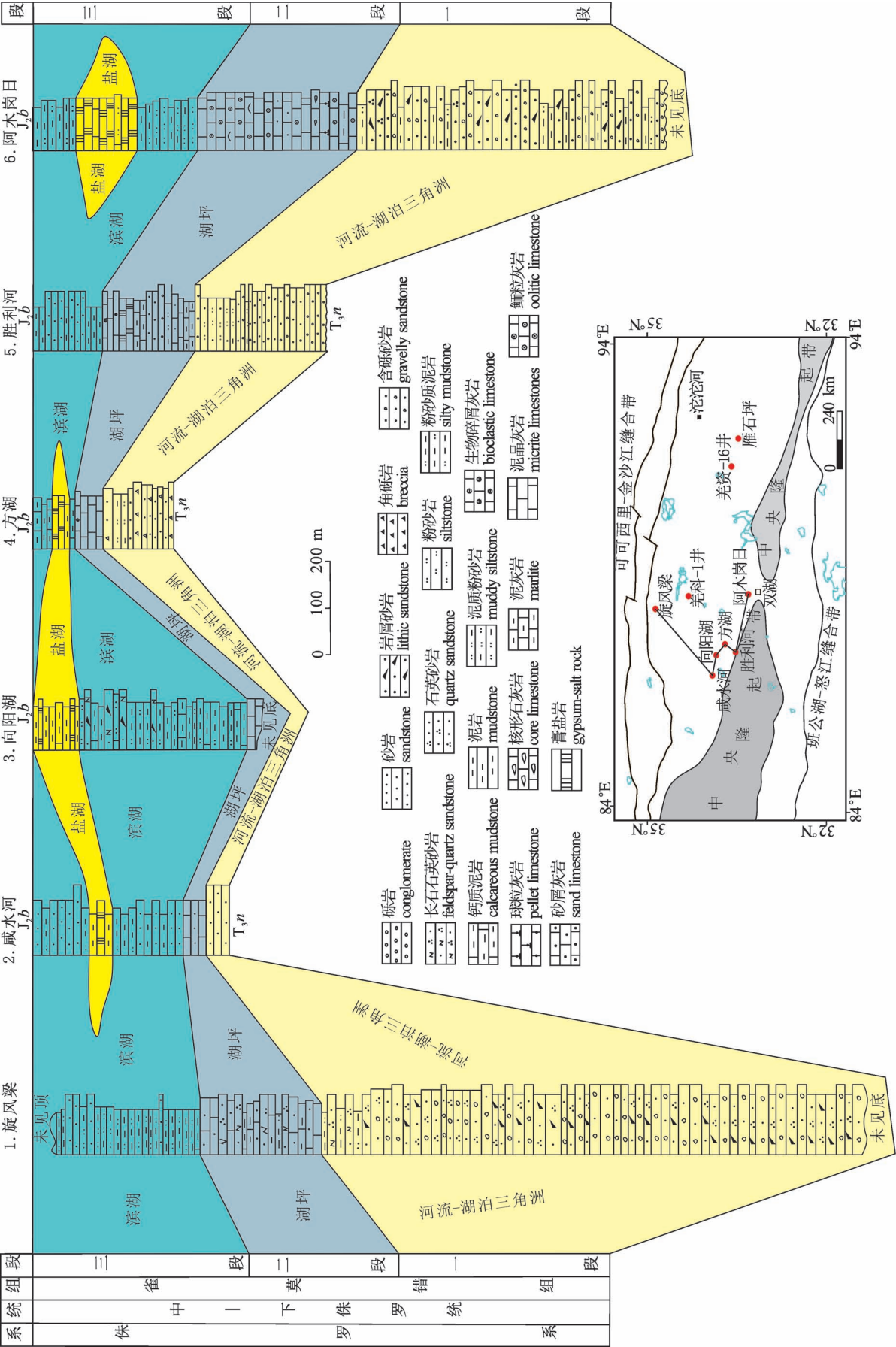


图4 北羌塘坳陷下一中侏罗统雀莫错组地层剖面北—南向对比剖面图

Fig.4 North—South correlation profile of the Lower—Middle Jurassic Quemocuo Formation in North Qiangtang Basin



图5 北羌塘坳陷下——中侏罗统莫错组地层剖面西——东向对比剖面图

逐渐演变成炎热干旱的干咸湖—盐湖微相沉积,成为北羌塘拗陷最重要的一次成盐期。

雀莫错组三段:本段为北羌塘拗陷第二波海侵,但规模较小。方湖、向阳湖剖面和羌科-1井见有泥灰岩、泥晶灰岩。北羌塘拗陷东部羌资-16井和雁石坪地区沉积有河流—湖泊三角洲亚相的岩屑石英砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩。咸水河、向阳湖和方湖,随着短暂海侵后的海退,淡水供应的减少,形成一套干盐湖微相膏岩和碳酸盐岩。羌科-1井所处万安湖地区可能位于拗陷最深处,也成为第二次小规模海侵海水的最终停留地,随着几次小规模的海进和海退,在此处沉积潮坪—滨湖亚相碳酸盐岩和细碎屑岩。此时期为北羌塘拗陷裂陷槽发育的成型期。

4 岩相古地理特征

羌塘盆地在 前陆盆地消亡后,经历了晚三叠世那底岗日期开始的被动大陆边缘盆地的发展,在北羌塘拗陷形成的两个裂陷槽、两个相对隆起区和拗陷边北部和东部边缘隆起区控制着早—中侏罗世雀莫错期沉积演化。此期北羌塘拗陷仍位于海平面以上,但经过前期的快速沉积和夷平之后,地形已大大趋缓,沉积物以雀莫错组为代表,广泛分布,几乎覆

盖北羌塘拗陷全区。沉积环境仍以炎热干旱的河流—湖泊相为主,为一套紫红色与灰绿色相间的紫色沉积物。但相对于前期,北羌塘拗陷在拉张作用下继续快速沉降,陆源剥蚀区大大缩小,拗陷范围明显扩大,海水频繁地越过中央隆起带向北浸漫,使拗陷内沉积物带有明显的海相色彩。海水和淡水共同作用,在北羌塘拗陷形成了咸水—半咸水陆缘近海湖泊相沉积。陆源沉积物供应十分丰富,堆积了一套厚达 2000 m 的陆源碎屑岩层,反映具有较强的差异沉降作用,沉降中心受裂陷槽发育的控制,位于白滩湖—雀莫错裂陷槽和吐波错—吐错裂陷槽内。

该时期古地理单元见图 6,主要包括:剥蚀区、河流—湖泊三角洲、滨湖—湖坪和半咸水—咸水浅湖。

- (1)陆源剥蚀区。古流向统计显示,拗陷内具有来自南、北两侧的双向物源特征,说明陆源区主要位于拗陷北侧的可可西里造山带和中央隆起带。靠近源区,砂岩比例较高,占该期总沉积的 90%,向拗陷内明显降低。随着拗陷的下沉和面积的大幅扩展,古陆范围大大缩小,中央隆起东段大部分地区被夷平接受沉积,但大部分以河流—湖泊三角洲沉积为主,向东至沱沱河以东地区仍处于隆起剥蚀区。
- (2)陆源近海湖泊。在北羌塘拗陷内,北浅南

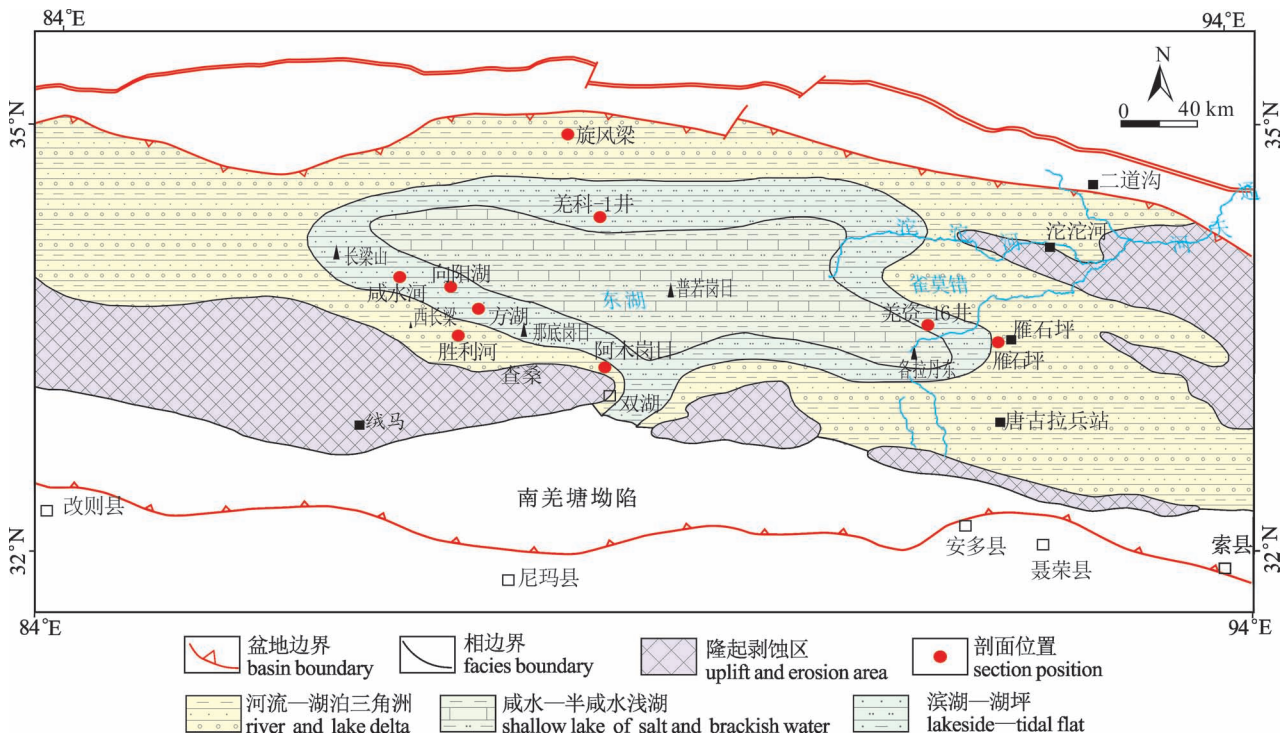


图 6 北羌塘拗陷早—中侏罗世巴柔期岩相古地理图

Fig. 6 Lithofacies palaeogeographic map of Early—Middle Jurassic Bajocian stage in the North Qiangtang Basin

深,湖盆中心靠近中央隆起带北侧吐波错—吐错裂陷槽、白滩湖—雀莫错裂陷槽内;周缘地区水体较浅,为滨湖亚相沉积;湖泊周缘近源广大地区发育河流和小型湖泊。沉积剖面显示湖盆的沉积中心具有从中西部咸水河一带向东北部雀莫错、雁石坪和乌兰乌拉一带迁移的特点。早期中心沉积物以咸水河剖面下部的细碎屑岩夹海相灰岩为代表,其后,由于沉积速率大于沉降速度,沉积物变为以粗碎屑物为主的三角洲相进积序列,导致沉积中心向北东逐步迁移。雁石坪地层剖面显示,下部以三角洲相沉积为主,向上变为以细碎屑沉积为主的湖盆(晚期中心)亚相或湖滨亚相沉积,总体表现为一个欠补偿退积序列;在向阳湖、方湖、羌科-1 井、羌资-16 井一带则处于过渡区,沉积速率和沉降速率均小,主要为一套细碎屑岩夹海相石灰岩和巨厚(达 370 m)的膏岩沉积,陆源物质供给差,沉积水体较为清澈,盐度大,反映其紧邻海水向北浸漫通道。

5 北羌塘拗陷早—中侏罗世成盐条件分析

古代盐湖成矿的条件非常苛刻,必须同时满足“构造—物源—气候”三要素耦合(Warren, 2010; 刘成林等, 2015, 2016),也就是必须满足稳定的构造环境、有充足的物源供给、相对干旱的古气候条件等方面因素。本文选取了羌科-1 井雀莫错组岩屑现场 X 衍射分析数据阐明北羌塘拗陷早—中侏罗世雀莫错期的成盐条件(图 7)。

5.1 海平面变化分析

铁(Fe)、锰(Mn)在沉积过程中分异现象明显,在海洋或者湖泊环境中,随着离岸距离的增加,铁含量逐渐减少,锰含量逐渐增加(田景春和张翔, 2016)。因此 $n(\text{Fe})/n(\text{Mn})$ 值可以作为离岸距离(水深)的参数, $n(\text{Fe})/n(\text{Mn})$ 值越小,离岸越远,水体越深,反之 $n(\text{Fe})/n(\text{Mn})$ 值越大,水体越浅(田景春和张翔, 2016)。

根据羌科-1 井岩屑测试数据(图 7),雀莫错组一段 $n(\text{Fe})/n(\text{Mn})$ 值呈锯齿状保持中等稳定, Ca(%) 和 Mg(%) 值均较小,表明此时还未(或较少)发生海侵,北羌塘拗陷仍然以淡水地表径流为主。雀莫错组二段 $n(\text{Fe})/n(\text{Mn})$ 值变化较大, Ca(%) 值表现为两个阶段的增加, Mg(%) 值先增多再减少。表明在雀莫错中期的早期北羌塘拗陷发生了一次较大规模的海侵,湖平面震荡变化,处于裂陷槽内部羌科-1 井地区大部分时间被海水覆盖。雀莫错

组三段, $n(\text{Fe})/n(\text{Mn})$ 值除顶部碳酸盐岩沉积处较小外,别的层段呈不规则锯齿状,大小不一,变化幅度较大。Ca(%) 值和 Mg(%) 值,与水平面参数 $n(\text{Fe})/n(\text{Mn})$ 值基本一致。表明在雀莫错组沉积晚期,频繁的遭受海侵,淡水和海水双重作用控制着此时的沉积。

5.2 古气候变化

利用元素地球化学研究古气候的变化,是依据沉积物中矿物和元素在地质营力和气候条件的作用下,重新组合和富集,这些沉积物既保留了原岩的组成特征,又记录了迁移和富集过程中所处的古气候环境(陈亮等, 2009; 田景春和张翔, 2016)。其中化学蚀变指数(CIA)作为判别源区风化程度的指标,用来反映与温湿度密切相关的古气候变化(冯连君等, 2003; Karin and Munir, 2010; 徐小涛和邵龙义, 2018; 郑杰等, 2019)。化学蚀变指数

$$CIA = \frac{n(\text{Al}_2\text{O}_3) \times 100}{n(\text{Al}_2\text{O}_3) + n(\text{CaO}^*) + n(\text{Na}_2\text{O}) + n(\text{K}_2\text{O})}$$

CIA 值较高,指示气候温暖湿润,反之 CIA 值较低,反映气候的炎热干旱(王自强等, 2006; 刘兵等, 2007)。

综合分析羌科-1 井雀莫错组不同层段化学蚀变指数(CIA),雀莫错组一段 CIA 值较高, $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{K}_2\text{O})$ 和 $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值均较低,化学风化作用较强,指示相对湿润的气候条件。之后雀莫错组二段 CIA 值较低, $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{K}_2\text{O})$ 和 $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值呈不规则在较小值和较大值间跳动,化学分化作用较弱,属于炎热干旱的气候时期。雀莫错组三段下部, CIA 值由低稳定在较高值, $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{K}_2\text{O})$ 和 $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值稳定处于较低值,此层段化学分化较强,反映古气候经历了炎热干旱后,转向温暖湿润时期。雀莫错三段中部, CIA 值大小不一,变化幅度较大, $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{K}_2\text{O})$ 和 $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值同样不稳定跳动,化学风化强度变化较大,反映气候在温暖湿润和炎热干旱不断变化。雀莫错组三段上部, CIA 值经历了稳定较低值后,然后逐渐增大,表明在雀莫错组沉积后期,经历了短暂的炎热干旱后,迅速变得温暖湿润,然后进入中侏罗世布曲期湿润的广海沉积(夏国清等, 2009; 陈文彬等, 2011; Xue Weiwei et al., 2020)。

5.3 成盐条件分析

早—中侏罗世雀莫错期,羌科-1 井所处的裂陷

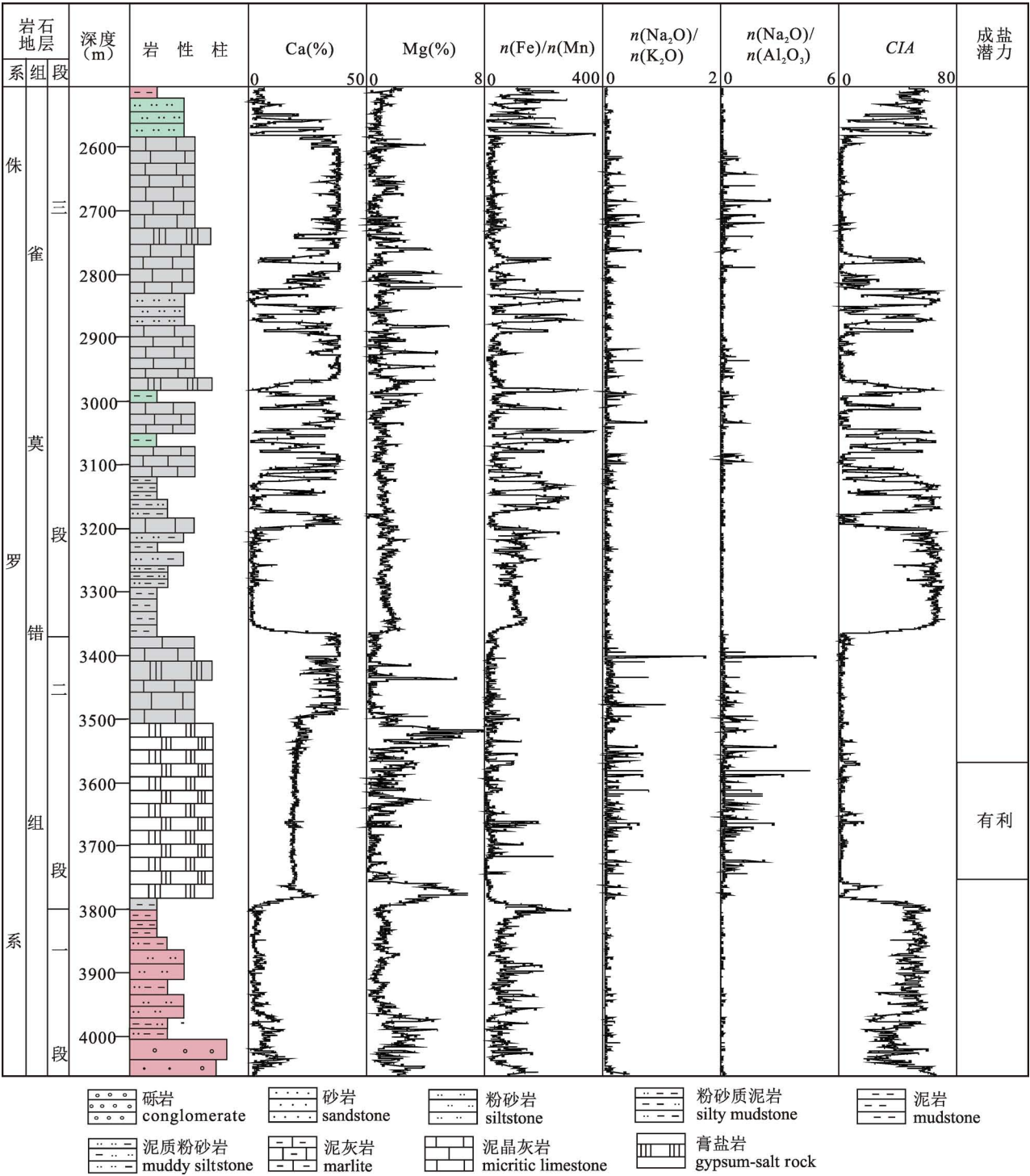


图7 羌科-1井下—中侏罗统雀莫错组成盐潜力探讨

Fig. 7 Discussion on salt formation potential of the Lower—Middle Jurassic Quemocuo Formation in the Well QK-1

区,经历了前期河流—湖泊三角洲大量的陆源碎屑物的充填后,地形已大大趋缓。雀莫错期发生的多次完整的海侵—海退旋回,有利于将海水中的盐类物质沉积于坳陷内部,特别是两个裂陷区以及半岛湖—普若岗日低隆起区。为坳陷成盐成矿提供了良

好的物质来源。

北美塘坳陷早—中侏罗世古纬度位于赤道以北低纬度区(余辉龙等,2002;宋春彦等,2012;Song Peiping et al., 2017)。具备有炎热干旱的古气候条件,其中雀莫错组 3570~3758 m 层段, CIA 值较低,

$n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{K}_2\text{O})$ 和 $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值较高,气候干燥炎热。另外 $n(\text{Fe})/n(\text{Mn})$ 值虽然变化较大,但在不同层段仍处于高值, $\text{Ca}(\%)$ 和 $\text{Mg}(\%)$ 值较低,显示此时的湖(海)平面经过前期的海侵后,在间歇性的地表淡水径流作用下,湖(海)平面动荡中,总体保持较低水平,沉积环境属于相对封闭的孤立膏湖环境,有利于保留海水中带来的成盐物质。

由于羌科-1 处于白滩湖—雀莫错裂陷槽内,虽然在井下岩芯和岩屑中见有盐类矿物石膏、硬石膏、白垩状灰岩等,但未发现石盐、钾盐、杂卤石等矿物。根据古地理研究,羌科-1 井所处的万安湖地区水体相对较深,炎热干旱的气候,形成的古盐湖未达到析出钾盐矿物盐度,就发生了稀释盐度的下一次海侵。依据成盐多要素耦合分析(刘成林等,2016),白滩湖—雀莫错裂陷槽和吐波错—吐错裂陷槽之间的半岛湖—普若岗日低隆起区可能是未来研究和寻找盐类矿床主要远景区。

6 结论

北羌塘坳陷早—中侏罗世,随着班公湖—怒江洋盆的进一步扩张,坳陷进入被动大陆边缘盆地发展阶段,受其影响,地壳逐步拉伸减薄,北羌塘坳陷经历了强烈的裂陷作用后,发生热冷却和快速沉降作用,羌塘中部地带则处于相对隆升状态,从而形成了影响南北羌塘坳陷沉积格局的中央隆起带,海水仅沿双湖一带狭窄的通道向北漫漫。裂陷作用形成的两个裂陷槽及其之间的低隆起带、北部可可西里造山带、东部岛链状隆起和中央隆起带控制着北羌塘坳陷古地理格局。沉积类型为咸化—半咸化陆缘近海湖泊,受海水和淡水共同作用,在坳陷周缘为河流—湖泊三角洲相沉积,海水向北漫漫地区形成滨湖—湖坪和浅湖沉积。

通过岩性、全岩 X 衍射分析,北羌塘坳陷雀莫错期海(湖)平面经历了低—高一低—高一低的旋回。利用化学蚀变指数(CIA)建立了北羌塘坳陷早—中侏罗世古气候曲线,雀莫错组气候经历了湿润—干热—湿润—干热—湿润的变化。

通过研究表明,半封闭的古构造格局,频繁海侵的盐类物源补给,干旱炎热的气候条件耦合,决定了北羌塘坳陷成盐成钾的关键,坳陷中部的半岛湖—普若岗日低隆起带是最有利的盐类聚集地。

致谢:感谢责任编辑和审稿专家对论文提出的建设性意见。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

白生海. 1989. 青海西南部海相侏罗纪地层新认识. 地质论评, 35 (6): 529~536.

陈文彬, 谭富文, 伊海生, 付修根, 冯兴雷. 2011. 羌塘盆地那底岗日地区布曲组碳酸盐岩烃源岩稀土元素分布特征及意义. 沉积学报, 29(3): 529~536.

陈文西, 王剑. 2009. 晚三叠世—中侏罗世羌塘盆地的形成与演化. 中国地质, 26(3): 682~693.

陈亮, 刘春莲, 庄畅, 车晓光, 吴洁. 2009. 三水盆地古近系下部湖相沉积的稀土元素地球化学特征及其古气候意义. 沉积学报, 27 (6): 1155~1162.

方勤方, 高翔, 彭强. 2015. 云南兰坪—思茅盆地勐野井矿区钾盐盐的特征及其沉积环境. 地质学报, 89(11): 220~225.

冯连君, 储雪蕾, 张启锐, 张同钢. 2003. 化学蚀变指数(cia)及其在新元古代碎屑岩中的应用. 地学前缘, 10(4): 539~544.

付修根, 王剑, 汪正江, 陈文西. 2007. 藏北羌塘盆地上三叠统那底岗日组与下伏地层沉积间断的确立及意义. 地质论评, 53(3): 329~336.

付修根, 王剑, 吴滔, 何江林. 2010a. 羌塘盆地胜利河地区雀莫错组地层及其古环境. 中国地质, 37(5): 79~86.

付修根, 王剑, 陈文彬, 冯兴雷. 2010b. 羌塘盆地那底岗日组火山岩地层时代及构造背景. 成都理工大学学报(自然科学版), 37(6): 605~615.

付修根, 王剑, 宋春彦, 刘中戎. 2020. 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. 沉积与特提斯地质, 40(1): 15~25.

高翔, 方勤方, 姚薇. 2013. 云南兰坪—思茅盆地勐野井钾盐矿床物质组分对成因的指示. 地球学报, 34(5): 19~26.

韩元红, 马海州, 袁小龙, 张西营, 高东林. 2011. 兰坪—思茅盆地与呵叻高原钾盐矿床综合对比. 盐湖研究, 19(3): 5~11, 29.

李延丽, 王建功, 石亚军, 张平, 徐丽. 2017. 柴达木盆地西部盐湖相有效烃源岩测井识别. 岩性油气藏, 29(6): 69~75.

李亚林, 王成善, 李永铁. 2008. 西藏羌塘盆地侏罗系膏盐岩与油气成藏. 石油学报, 29(2): 173~178.

李乾, 陆刚, 张能, 莫丽群, 许华, 唐朝霞, 卫小彦. 2006. 羌北双壳类祁阳蚌组合的发现及其地层学意义. 地质学报, 80(6): 781~784.

刘成林, 宣之强, 曹养同, 王立成, 王春连, 赵艳军. 2015. 探索中国陆块找钾——中国东特提斯域成钾作用及模式. 化工矿产地质, 37(4): 193~197.

刘成林, 吴驰华, 王立成, 方小敏, 赵艳军, 颜茂都, 张永生, 曹养同, 张华, 吕凤琳. 2016. 中国陆块海相盆地成钾条件与预测研究进展综述. 地球学报, 37(5): 581~606.

刘兵, 徐备, 孟祥英, 寇晓威, 何金有, 卫巍, 米合. 2007. 塔里木板块新元古代地层化学蚀变指数研究及其意义. 岩石学报, 23(7): 1664~1670.

南征兵, 张艳玲, 李永铁, 谭富文. 2013. 羌塘中生代盆地演化特征. 天然气地球科学, 24(3): 534~540.

潘佳秋, 宋春晖, 鲍晶, 马丽芳, 颜茂都, 方小敏, 应红, 杨一博. 2015. 羌塘盆地侏罗系元素地球化学特征与成盐层位分析. 地质学报, 89(11): 2152~2160.

蒲杰, 吴霞, 李航. 2013. 四川盆地固态钾盐测井方法研究. 石油工业计算机应用, (1): 31~34.

时林, 高东林, 张从伟, 张西营, 唐启亮. 2011. 兰坪—思茅盆地古新统

- 粘土矿物研究与成盐环境探讨. 盐湖研究, 19(4): 8~14.
- 宋春彦, 王剑, 付修根. 2012. 青藏高原原羌塘盆地晚三叠世古地磁数据及其构造意义. 吉林大学学报(地球科学版), 42(2): 241~250.
- 宋彭生, 李武, 孙柏. 2011. 盐湖资源开发利用进展. 无机化学学报, 27(5): 12~26.
- 谭富文, 张润合, 王剑, 斯春松, 马立桥. 2016. 羌塘晚三叠世—早白垩世裂陷盆地基底构造. 成都理工大学学报(自科版), 43(5): 513~521.
- 田景春, 张翔. 2016. 沉积地球化学. 北京: 地质出版社: 46.
- 王成善, 伊海生, 李勇. 2001. 羌塘盆地地质演化与油气远景评价. 北京: 地质出版社: 184~251.
- 王鸿祯, 李光岑. 1990. 国际地层时代对比表. 北京: 地质出版社.
- 王剑, 谭富文, 王小龙, 杜佰伟, 陈明. 2004. 藏北羌塘盆地早侏罗世—中侏罗世早期沉积构造特征. 沉积学报, 22(2): 198~205.
- 王剑, 汪正江, 陈文西, 付修根, 陈明. 2007. 藏北羌塘盆地那底岗日组时代归属的新证据. 地质通报, 26(4): 404~409.
- 王剑, 付修根, 陈文西, 谭富文, 汪正江, 陈明, 卓皆文. 2008. 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. 中国科学: 地球科学, 38(1): 33~43.
- 王剑, 丁俊, 王成善, 谭富文. 2009. 青藏高原油气资源战略选区调查与评价. 北京: 地质出版社: 164~422.
- 王剑, 付修根. 2018. 论羌塘盆地沉积演化. 中国地质, 45(2): 237~259.
- 王自强, 尹崇玉, 高林志. 2006. 宜昌三斗坪地区南华系化学蚀变指数特征及南华系划分、对比的讨论. 地质论评, 52(5): 3~11.
- 夏国清, 伊海生, 黄华谷, 李军鹏. 2009. 北羌塘盆地中侏罗统布曲组缓坡相及沉积演化. 岩性油气藏, 21(2): 29~34.
- 徐小涛, 邵龙义. 2018. 利用泥质岩化学蚀变指数分析物源区风化程度时的限制因素. 古地志学报, 20(3): 515~522.
- 岳维好, 高建国, 李云灿. 2011. 云南省勐野井式钾盐矿找矿模型及预测. 地质与勘探, 47(5): 75~88.
- 余辉龙, 邓宏文, 胡勇. 2002. 从古地磁资料看柴达木盆地古构造环境. 石油勘探与开发, 29(6): 41~44.
- 占王忠, 彭清华, 陈文彬. 2019. 羌塘盆地东部冬曲地区上三叠统巴贡组沉积环境分析. 海相油气地质, 24(1): 27~34.
- 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 张昱文. 2001. 青藏高原地层. 北京: 科学出版社, 125~139, 439.
- 赵元艺. 2003. 中国盐湖锂资源及其开发进程. 矿床地质, 22(1): 101~108.
- 郑绵平, 赵元艺, 刘俊英. 1998. 第四纪盐湖沉积与古气候. 第四纪研究, (4): 297~307.
- 郑绵平. 2006. 盐湖学的研究与展望. 地质论评, 52(6): 19~28.
- 郑绵平, 齐文, 张永生. 2006. 中国钾盐地质资源现状与找钾方向初步分析. 地质通报, 25(11): 1239~1246.
- 郑绵平, 张震, 张永生, 刘喜方, 尹宏伟. 2012. 我国钾盐找矿规律新认识和进展. 地球学报, 33(3): 26~40.
- 郑绵平, 张震, 尹宏伟, 谭筱虹, 于常青, 施林峰, 张雪飞, 杨尖絮, 焦建, 武国朋. 2014. 云南江城勐野井钾盐成矿新认识. 地球学报, 35(1): 11~24.
- 郑杰, 阳正熙, 刘石磊, 安显银, 桑永恒, 马健飞. 2019. 黔东北地区南华系两界河组 $\delta^{13}C$ 指数特征及意义. 沉积与特提斯地质, 39(1): 52~61.
- Bai Shenghai. 1989. New recognition of the marine Jurassic starata in Southwestern Qinghai. Geological Review, 35(6): 529~536.
- Chen Wenbin, Tan Fuwen, Yi Haisheng, Fu Xiugen, Feng Xinglei. 2011. REE characteristics and its geological significance of Buqu Formation carbonate source rocks in Nadigangri Area, Qiangtang Basin of Tibet. Acta Sedimentologica Sinica, 29(3): 529~536.
- Chen Wenxi, Wang Jian. 2009. The formation and evolution of the Qiangtang Basin during the Late Triassic—Middle Jurassic period in northern Tibet. Geology in China, 26(3): 682~693.
- Chen Liang, Liu Chunlian, Zhuang Chang, Che Xiaoguang, Wu Jie. 2009. Rare earth element records of the Lower Paleogene sediments in the Sanshui Basin and their paleoclimate implications. Acta Sedimentologica Sinica, 27(6): 1155~1162.
- Du Guangwei. 2014. New thoughts of comprehensive development and utilization of salt lake resources in Qinghai Province. Acta Geologica Sinica(English Edition), 88: 435.
- Fang Qinfang, Gao Xiang, Peng Qiang. 2015. Characteristics of sylvite at the Mengyejing potash deposit in the Lanping—Simao Basin, Yunnan. Acta Geologica Sinica, 89(11): 220~225.
- Feng Lianjun, Chu Xuelie, Zhang Qiyue, Zhang Tonggang. 2003. CIA (Chemical Index of Alteration) and its applications in the Neoproterozoic clastic rocks. Earth Science frontiers, 10(4): 539~544.
- Fu Xiugen, Wang Jian, Wu Tao, He Jianglin. 2010a. Stratigraphy and paleoenvironment of the Quemo Co Formation in Shengli River area, northern Tibet. Geology in China, 37(5): 79~86.
- Fu Xiugen, Wang Jian, Chen Wenbin, Feng Xinlei. 2010b. Age and tectonic implications of the Late Triassic Nadi Kangri volcanic rocks in the Qiangtang basin, northern Tibet, China. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 37(6): 605~615.
- Fu Xiugen, Wang Jian, Song Chunyan, Liu Zhongrong. 2020. Petroleum geological achievements and exploration significance of the first oil and gas scientific drilling well in the Qiangtang Basin. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 40(1): 15~25.
- Fu Xiugen, Wang Jian, Wang Zhengjiang, Chen Wenxi. 2007. Identification of sedimentary gap between the Late Triassic Nadi Kangri Formation and its underlying strata in the Qiangtang Basin, Northern Xizang (Tibet) and its geological significance. Geological Review, 53(3): 329~336.
- Fu Xiugen, Wang Jian, Feng Xinlei, Wang Dong, Chen Wenbin, Song Chunyan, Zeng Shengqiang. 2016. Early jurassic carbon-isotope excursion in the qiangtang basin (tibet), the eastern tethys: implications for the toarcian oceanic anoxic event. Chemical Geology, 442: 62~72.
- Gao Xiang, Fang Qinfang, Qao Wei. 2013. Genesis of the mengyejing potash deposit in Lanping—Simao Basin, Yunnan: Indication from the components of the deposit. Acta Geoscientia Sinica, 34(5): 19~26.
- Han Yuanhong, Ma Haizhou, Yuan Xiaolong, Zhang Xiyi, Gao Donglin. 2011. Comprehensive comparison of potash deposits between Lanping Simao basin and Khorat Plateau. Journal of Salt Lake Research, 19(3): 5~11, 29.
- Karin Goldberg, Munir Humayun. 2010. The applicability of the Chemical Index of Alteration as a paleoclimatic indicator: An example from the Permian of the Paraná Basin, Brazil. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 293(1~2): 175~183.
- Li Minghui, Wang Xingfu. 2014. The new understanding of potash development scale and the comprehensive utilization of resources in Chaerhan Salt lake. Acta Geologica Sinica(English Edition), 88: 455.
- Li Yanli, Wang Jiangong, Shi Yajun, Zhang Pin, Xu Li. 2017. Logging identification of effective source rocks in salt-lake facies in

- western Qaidam Basin. *Lithologic Reservoirs*, 29(6): 69~75.
- Li Yalin, Wang Chenshang, Li Yongtie. 2008#. Characteristics of the Jurassic saline deposits and its significance to hydrocarbon accumulation in Qiangtang Basin of Tibet area. *Acta Petrolei Sinica*, 29(2): 173~178.
- Liu Chenglin, Xuan Zhiqiang, Cao Yangtong, Wang Licheng, Wang Chunlian, Zhao Yanjun. 2015#. Exploration of potassium exploration in the Chinese landmass—potassic process and model in the East Tethys domain of China. *Chemical and Mineral Geology*, 37(4): 193~197.
- Liu Chenglin, Wu Chihua, Wang Licheng, Fang Xiaomin, Zhao Yanjun, Yan Maodu, Zhang Yongsheng, Cao Yangtong, Zhang Hua, Lv Fenglin. 2016#. Advance in the study of forming condition and prediction of potash deposits of Marine Basins in China's Small Blocks. Review. *Acta Geoscientia Sinica*, 37(5): 581~606.
- Liu Bing, Xu Bei, Meng Xiangying, Kou Xiaowei, He Jinyou, Wei Wei, Mi He. 2007#. Study on the chemical index of alteration of Neoproterozoic strata in the Tarim plate and its implications. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1664~1670.
- Nan Zhengbing, Zhang Yanling, Li Yongtie, an Fuwen. 2013#. Evolution characteristics of the Qiangtang Basin in the Mesozoic Era. *Natural Gas Geoscience*, 24(3): 534~540.
- Pan Jiaqiu, Song Chunhui, Bao Jing, Ma Lifang, Yan Maodu, Fang Xiaomin, Ying Hong, Yang Yiibo. 2015#. Geochemical characteristics and salt-forming Analysis of Jurassic strata in the Qiangtang Basin. *Acta Geologica Sinica*, 89(11): 2152~2160.
- Pu Jie, Wu Xia, Li Hang. 2013#. Study on solid potassium logging method in Sichuan Basin. *Computer Applications of Petroleum*, (1): 31~34.
- Shi Lin, Gao Donglin, Zhang Congwei, Zhang Xiyang, Tang Qiliang. 2011#. Clay minerals of Paleocene in Lanping—Simao Basin and a tentative discussion of salt-forming environment. *Journal of Salt Lake Research*, 19(4): 8~14.
- Song Chunyan, Wang Jian, Fu Xiugen. 2012#. Late Triassic paleomagnetic data from the Qiangtang Terrane of Tibetan Plateau and their tectonic significances. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(2): 241~250.
- Song Pengsheng, Li Wu, Sun Bai. 2011#. Recent development on comprehensive utilization of salt lake resources. *Chinese Journal of Inorganic Chemistry*, 27(5): 12~26.
- Song Peiping, Ding Lin, Li Zhenyu, Peter C. Lippert, Yue Yahui. 2017. An early bird from Gondwana: Paleomagnetism of Lower Permian lavas from northern Qiangtang (Tibet) and the geography of the Paleo-Tethys. *Earth and Planetary Science Letters*, 475: 119~133.
- Tan Fuwen, Zhang Runhe, Wang Jian, Si Chunqiao, Ma Liqiao. 2016#. Discussion on basement structures of the Late Triassic—Early Cretaceous Qiangtang rift basin in Tibet, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 43(5): 513~521.
- Tian Jingchun, Zhang Xiang. 2016#. *Sedimentary Geochemistry*. Beijing: Geological Publishing House: 46.
- Warren J K. 2010. Evaporites through time: tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. *Earth-Science Reviews*, 98(3~4): 217~268.
- Wang Chengshan, Yin Haisheng, Li Yong. 2001#. *Geological Evolution and Oil and Gas Prospect Evaluation of Qiangtang Basin*. Beijing: Geological Publishing House: 184~251.
- Wang Hongzhen, Li Guangcen. 1990#. *Correlation Table of Stratigraphic Subdivision, CTSS*. Beijing: Geological Publishing House.
- Wang Jian, Tan Fuwen, Wang Xiaolong, Du Baiwei, Chen Ming. 2004#. The sedimentary and tectonic characteristics of Qiangtang Basin in the Early Jurassic in Northern Xizang (Tibet). *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(2): 198~205.
- Wang Jian, Ding Jun, Wang Chengshan, Tan Fuwen. 2009#. Investigation and Evaluation of Strategic Selection of Oil and Gas Resources in Qinghai—Tibet Plateau. Beijing: Geological Publishing House: 164~422.
- Wang Jian, Fu Xiugen, Chen Wenxi, Tan Fuwen, Wang Zhengjiang, Chen Ming, Zhuo Jiewen. 2008#. Chronology and geochemistry of the volcanic rocks in Woruo Mountain region, northern Qiangtang depression: Implications to the Late Triassic volcanic—sedimentary events. *Science in China*, 51(2): 194~205.
- Wang Jian, Wang Zhengjiang, Chen Wenxi, Fu Xiugen, Chen Ming. 2007#. New evidences for the age assignment of the Nadi Kangri Formation in the North Qiangtang basin, northern Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 26(4): 404~409.
- Wang Jiangong, Zhang Daowei, Yang Shaoyong, Li Xiang, Shi Yajun, Cui Jun, Zhang Ping, Wang Yulin, Yi Dinghong, Chang Haiyan. 2020. Sedimentary characteristics and genesis of the salt lake with the upper member of the Lower Ganchaigou Formation from Yingxi sag, Qaidam basin. *Marine and Petroleum Geology*, 111: 135~155.
- Wang Ziqiang, Yin Chongyu, Gao Linzhi. 2006#. The character of the chemical index of alteration and discussion of subdivision and correlation of the Nanhua system in Yichang Area. *Geological Review*, 52(5): 3~11.
- Xia Guoqing, Yi Haisheng, Huang Huagu, Li Junpeng. 2009#. Carbonate ramp facies and sedimentary evolution of Middle Jurassic Buqu Formation in northern Qiangtang Basin. *Lithologic Reservoirs*, 21(2): 29~34.
- Xue Weiwei, Hu Xiumian, Ma Anlin, Eduardo Garzanti, Li Juan. 2020. Eustatic and tectonic control on the evolution of the Jurassic North Qiangtang Basin, northern Tibet, China: Impact on the petroleum system. *Marine and Petroleum Geology*, 120: 104558.
- Xu Xiaotao, Hao Longyi. 2018#. Limiting factors in utilization of chemical index of alteration of mudstones to quantify the degree of weathering in provenance. *Journal of Palaeogeography*, 20(3): 515~522.
- Yan Maodu, Wang Zhengrong, Liu Xiaoming, Fang Xiaomin, Li Jiao. 2015. The origins of the Mengyejing potash deposit in the Lanping - Simao basin, Yunnan province, western China. *Ore Geology Reviews*, 69: 174~186.
- Yue Weihao, Gao Jianguo, Li Yuncan. 2011#. The prospecting model and prediction of the Mengyejing-Type potash deposits in Yunnan Province. *Geology and Prospecting*, 47(5): 75~88.
- Yu Huilong, Deng Hongwen, Hu Yong. 2002#. Paleo-structural environment study by paleomagnetic data in Qaidam Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 29(6): 41~44.
- Zhan Wangzhong, Peng Qinghua, Chen Wenbin. 2019#. Analysis of depositional environment of the Upper Triassic Bagong Formation in Dongqu area of the eastern Qiangtang Basin, Marine Origin Petroleum Geology, 24(1): 27~34.
- Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Hefei, Zhang Yuwen. 2001#. *Strata of the Qinghai—Tibet Plateau*. Beijing: Science Press: 125~139, 439.

- Zhao Yuanyi. 2003&. Saline lake lithium resources of China and its exploitation. *Mineral Deposits*, 22(1): 101~108.
- Zheng Mianping, Zhao Yuanyi, Liu Junying. 1998&. Quaternary salt lake deposits and paleoclimate. *Research Quaternary*, (4): 297~307.
- Zheng Mianping. 2006&. Research and prospect of salt lake science. *Geological Review*, 52(6): 19~28.
- Zheng Mianping, Qi Wen, Zhang Yongsheng. 2006&. Present situation of potash resources and direction of potash search in China. *Geological Bulletin of China*, 25(11): 1239~1246.
- Zheng Mianping, Zhang Zhen, Zhang Yongsheng, Liu Xifang, Yin Hongwei. 2012&. Potash exploration characteristics in China; New

understanding and research progress. *Acta Geoscientia Sinica*, 33(3): 26~40.

- Zheng Mianping, Zhang Zhen, Yin Hongwei, Tan Youhong, Yu Changqing, Shi Linfeng, Zhang Xuefei, Yang Jianxu, Jiao Jian, Wu Guopeng. 2014&. A new viewpoint concerning the formation of the Mengyejing Potash Deposit in Jiangcheng, Yunnan. *Acta Geoscientia Sinica*, 88(1): 11~24.
- Zheng Jie, Yang Zhengxi, Liu Shilei, An Xianyin, Sang Yongheng, Ma Jianfei. 2019&. The chemical alteration indexes and their significance for the Nanhuan Liangjiehe Formation in northeastern Guizhou. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 39(1): 52~61.

Evolution of lithofacies paleogeography of the Early—Middle Jurassic Quemocuo Formation in the North Qiangtang Basin and its implication of potash formation

ZHAN Wangzhong^{1, 2)}, TAN Fuwen^{1, 2)}

1) *Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu*, 610081;

2) *Key Laboratory for Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Natural Resources, Chengdu*, 610081

Objectives: A set of extremely thick evaporite deposits are widely developed in the Early—Middle Jurassic Quemocuo Formation in the North Qiangtang Basin, Xizang (Tibet) Plateau. In this paper, the lithofacies paleogeographic environment of the Early—Middle Jurassic in the North Qiangtang Basin is restored and the conditions of salt and potassium formation are analyzed.

Methods: Based on the data of the Well QK-1, the Well QZ-16 and surface outcrop data, this paper uses the methods of stratigraphic division and correlation, sedimentary microfacies analysis, sedimentary sequence research and so on.

Results: Influenced by the further expansion of Bangong Lake—Nujiang middle Tethys ocean basin, the North Qiangtang Basin entered the passive continental margin basin evolution stage in Early—Middle Jurassic. Two rift troughs formed by rifting in the depression controlled the deposition of the Quemocuo Formation. The uplift of the central part of Qiangtang makes the sea water only diffuse northward from the narrow channel of Shuanghu Lake. Due to the joint action of seawater and fresh water, a set of coastal lacustrine sediments with saline and brackish water developed in the depression. The sea (lake) level and paleoclimate of the Quemocuo period in the North Qiangtang Basin have experienced many cycles.

Conclusion: Under the coupling of semi-closed paleotectonic framework, frequent transgressive salt source supply and extremely hot and arid climate conditions, the Quemocuo paleo-salt lake in the North Qiangtang Basin has the conditions of salt forming and mineralization, and the Bandaohu to Puruogangridi uplift area is the favorable area for salt and potassium.

Keywords: potash formation; lithofacies palaeogeography; Quemocuo Formation; North Qiangtang Basin

Acknowledgements: This study was supported by Project of China Geological Survey (No. DD20190116) and the Exploration and Development Research Institute of CNPC Project (No. RIPE-2018-JS-638)

First author: Zhan Wangzhong, male, born in 1985, geologists, mainly engaged in sedimentary geological study; Email: zhanwangzhong@qq.com

Manuscript received on: 2020-07-16; Accepted on: 2020-08-31; Edited by: HUANG Daomao

Doi: 10.16509/j.georeview.2020.05.013