

# 羌塘盆地海相中生界石油地质条件与勘探潜力评价

沈安江<sup>1,2,3</sup>, 付小东<sup>1,2,3</sup>, 熊绍云<sup>1,2,3</sup>, 王 剑<sup>4</sup>, 宋春彦<sup>5</sup>, 胡安平<sup>1,2,3</sup>, 刘思琪<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国石油 杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 国家能源碳酸盐岩油气重点实验室, 浙江 杭州 310023; 3. 中国石油 碳酸盐岩储层重点实验室, 浙江 杭州 310023; 4. 西南石油大学, 四川 成都 610500; 5. 中国地质调查局 成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

**摘要:**为持续推进羌塘盆地海相中生界油气勘探,开展区域油气地质调查和石油地质再评价,建立了烃源岩和储层基于剖面。研究表明:①羌塘盆地发育波里拉组、巴贡组和曲色组3套主力烃源岩。发育波里拉组灰岩岩溶和布曲组白云岩3套碳酸盐岩储层,巴贡组、雀莫错组和夏里组3套砂岩储层,以致密砂岩储层为主。发育雀莫错组/曲色组和夏里组3套膏盐岩区域盖层。②根据油气显示研究证实羌塘盆地海相中生界发生过油气生成、运移和聚集的地质过程。③生油层、储集层和盖层时-空匹配关系好。形成上三叠统-下侏罗统盐下和下中侏罗统盐间2个含油气系统。发育波里拉组烃源岩-波里拉组岩溶储层-巴贡组下部泥岩盖层、波里拉组+巴贡组泥岩烃源岩-雀莫错组+巴贡组砂岩储层-雀莫错组中、上部膏盐岩盖层及曲色组烃源岩-布曲组白云岩储层+夏里组砂岩储层-夏里组膏盐岩/泥岩盖层3套成藏组合。④羌塘盆地具有常规油气、页岩油气和致密砂岩油气3类油气资源。玛曲地区有利区面积 $0.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,基于波里拉组-巴贡组烃源岩的生烃强度和聚集系数评价,资源丰度取最小值 $10 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 估算,区带常规油气资源量约 $5 \times 10^8 \text{ t}$ 。毕洛错—鄂斯玛地区有利区面积 $0.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,根据曲色组和巴贡组烃源岩生烃强度和聚集系数评价,资源丰度取最小值 $10 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 计算,区带资源量约 $8 \times 10^8 \text{ t}$ 。巴贡组和曲色组是页岩油有利勘探层系。毕洛错—鄂斯玛地区有利区面积为 $0.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,巴贡组页岩油资源量约 $16 \times 10^8 \text{ t}$ ,曲色组页岩油资源量约 $8 \times 10^8 \text{ t}$ 。玛曲地区有利区面积为 $0.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,巴贡组页岩油资源量约 $10 \times 10^8 \text{ t}$ 。胜利河地区有利区面积为 $0.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,曲色组页岩油资源量约 $10 \times 10^8 \text{ t}$ 。

**关键词:**源-储-盖;成藏组合;含油气系统;勘探潜力评价;海相;中生界;羌塘盆地

中图分类号:TE132

文献标识码:A

## Assessment of petroleum geology and exploration potential of the marine Mesozoic strata in the Qiangtang Basin

SHEN Anjiang<sup>1,2,3</sup>, FU Xiaodong<sup>1,2,3</sup>, XIONG Shaoyun<sup>1,2,3</sup>, WANG Jian<sup>4</sup>, SONG Chunyan<sup>5</sup>, HU Anping<sup>1,2,3</sup>, LIU siqi<sup>1,2,3</sup>

(1. Hangzhou Research Institute of Geology, PetroChina, Hangzhou, Zhejiang 310023, China; 2. State Energy Key Laboratory for Carbonate Oil and Gas, Hangzhou, Zhejiang 310023, China; 3. Key Laboratory of Carbonate Reservoirs, PetroChina, Hangzhou, Zhejiang 310023, China; 4. Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China; 5. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081, China)

**Abstract:** To support ongoing hydrocarbon exploration of the marine Mesozoic strata in the Qiangtang Basin, we conduct surveys and reassessments of the regional petroleum geology. Accordingly, several benchmark sections of the basin's source rocks and reservoirs are established. The results indicate that the Qiangtang Basin contains three dominant source rock sequences (the Bolila, Bagong, and Quse formations), two suites of carbonate reservoirs (the limestone karst of the Bolila Formation and the dolomites of the Buqu Formation), three suites of sandstone reservoirs (the Bagong, Quemocuo, and Xiali formations) dominated by tight-sand reservoirs, and three suites of well-developed regional evaporite cap rocks (the Quemocuo/Quse and Xiali formations). Analysis of oil and gas shows reveals that the marine Mesozoic strata in the Qiangtang Basin experienced the hydrocarbon generation, migration, and accumulation processes. In this basin, oil-generating strata, reservoirs, and cap rocks are well-matched both temporally and

收稿日期:2025-10-13;修回日期:2025-11-16。

第一作者简介:沈安江(1965—),男,博士、正高级工程师、博士研究生导师,海相碳酸盐岩沉积储层和油气成藏。E-mail: shenaj\_hz@petrochina.com.cn。

通信作者简介:付小东(1980—),男,博士、高级工程师,油气地质和油气地球化学。E-mail: fuxd\_hz@petrochina.com.cn。

基金项目:地球深部探测与矿产资源勘查国家科技重大专项(2025ZD10054);国家自然科学基金企业创新发展联合基金项目(U23B20154);国家油气重大专项(2025ZD1400703)。

spatially, forming two petroleum systems: the Upper Triassic-Lower Jurassic pre-salt system and the Lower-Middle Jurassic intrasalt system. Three hydrocarbon plays are identified in the basin. The first play consists of the source rocks of the Bolila Formation, the karst reservoirs of the Bolila Formation, and the mudstone cap rocks of the lower Bagong Formation. The second one is composed of the mudstone source rocks of the Bolila-Bagong formations, the sandstone reservoirs of the Quemocuo-Bagong formations, and the evaporite cap rocks of the middle-upper Quemocuo Formation. The third one comprises the source rocks of the Quse Formation, the dolomite reservoirs of the Buqu Formation, the sandstone reservoirs of the Xiali Formation, and the evaporite/mudstone cap rocks of the Xiali Formation. Three types of hydrocarbon resources occur in the Qiangtang Basin: conventional, shale, and tight hydrocarbons. In the Maqu area, play fairways cover an area of about  $5 \times 10^3 \text{ km}^2$ . An assessment of the hydrocarbon generation intensity and hydrocarbon accumulation coefficients (HACs) of source rocks in the Bolila-Bagong formations reveals that the Maqu area has conventional hydrocarbon resources of about  $0.5 \times 10^9 \text{ t}$  when estimated using a minimum resource abundance of  $100 \times 10^3 \text{ t/km}^2$ . Meanwhile, the Bagong Formation contains shale oil resources of approximately  $1 \times 10^9 \text{ t}$ . In the Biluocuo-Esima area, play fairways with an area of about  $8 \times 10^3 \text{ km}^2$  are identified. An assessment of the hydrocarbon generation intensity and HACs of source rocks in the Quse and Bagong formations reveals that this area contains conventional hydrocarbon resources estimated at  $0.8 \times 10^9 \text{ t}$  based on a minimum resource abundance of  $100 \times 10^3 \text{ t/km}^2$ . In this area, the Bagong and Quse formations are identified as play fairways for shale oil exploration, with shale oil resources of approximately  $1.6 \times 10^9 \text{ t}$  and about  $0.8 \times 10^9 \text{ t}$ , respectively. In the Shenglihe area, play fairways span an area of  $5 \times 10^3 \text{ km}^2$ , where the Quse Formation holds shale oil resources of about  $1 \times 10^9 \text{ t}$ .

**Key words:** source rock-reservoir-cap rock assemblage, hydrocarbon play, petroleum system, exploration potential assessment, marine facies, Mesozoic, Qiangtang Basin

引用格式:沈安江,付小东,熊绍云,等. 羌塘盆地海相中生界石油地质条件与勘探潜力评价[J]. 石油与天然气地质, 2026, 47(1): 44-63. DOI: 10.11743/ogg20260104.

SHEN Anjiang, FU Xiaodong, XIONG Shaoyun, et al. Assessment of petroleum geology and exploration potential of the marine Mesozoic strata in the Qiangtang Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2026, 47(1): 44-63. DOI: 10.11743/ogg20260104.

羌塘盆地与中东油气区同属特提斯构造域,是中国面积最大勘探程度最低的中生界海相油气勘探新区,勘探前景被寄予厚望<sup>[1-6]</sup>。羌塘盆地油气勘探研究大致经历了4个阶段:①1956—1993年石油地质预查阶段,主要开展路线调查,区调填图工作,取得了大量野外露头资料,揭示了露头区地层发育情况,发现系列油苗和沥青点;②1994—1999年石油地质普查阶段,中国石油天然气总公司在羌塘盆地开展了大量区域地质调查,以及重力、航空磁测、大地电磁和二维地震勘探等地球物理勘探工作,初步搭建了盆地地层格架、划分了盆地构造单元,并且基于露头资料初步评价了烃源岩与储层品质,预测了平面分布;③2000—2008年第一轮战略选区阶段,各研究单位通过钻探一批浅井证实了盆地内发育优质烃源岩与储层,并从沉积、构造、烃源岩以及储层与保存条件各方面开展综合评价,优选出一批有利远景区;④2009—2020年第二轮战略选区阶段,由自然资源部和中国地质调查局组织先后实施了大量二维地震和非震勘探工作,钻探了数十口浅井和首口科探井羌科1井(井深4 696.18 m),首次通过科

探井揭示了北羌塘上侏罗统一上三叠统较完整的地层沉积序列,证实北羌塘坳陷腹地发育雀莫错组和夏里组2套区域性膏盐岩优质盖层,发现多层油气显示<sup>[4]</sup>。

历经多轮调查研究,认为羌塘盆地具备形成大油气田的地质条件,初步形成了以下5个方面的油气地质认识:①露头及地质浅钻发现上三叠统巴贡组和下侏罗统曲色组2套黑色泥页岩烃源岩<sup>[2-3]</sup>。②北羌塘坳陷侏罗系发育巨厚膏岩及含膏泥岩盖层(雀莫错组膏岩厚度302 m,夏里组含膏泥岩厚度262 m),证实具有较好的区域封盖条件<sup>[4]</sup>。③中生界海相层系发育2套主力生-储-盖组合,即下侏罗统雀莫错组碎屑岩储层与巴贡组烃源岩构成“下生上储”组合,雀莫错组上部的膏岩为区域盖层,曲色组烃源岩与布曲组白云岩储层构成“下生上储”组合,中侏罗统夏里组膏岩为区域盖层<sup>[5]</sup>。④南羌塘广泛分布的隆鄂尼-昂达尔错-鄂斯玛白云岩古油藏带以及沿盆地周缘与中央隆起带分布的250余处油气显示表明羌塘盆地曾经有过大规模的生烃-成藏史<sup>[6]</sup>。⑤预测盆地石油远景资源量为 $(50 \sim 100) \times 10^8 \text{ t}$ <sup>[5]</sup>。

但是,历经60多年的油气勘探,仍未取得突破,盆地

的油气地质条件、有效成藏组合及后期保存条件再次受到质疑。受自然环境、勘探和研究程度的制约,目前羌塘盆地油气勘探仍面临覆盖区构造-岩相古地理格局、烃源岩、储层与保存条件不清以及成藏有效性与有利富集区不落实等科学问题。本文以建立生-储-盖及成藏组合基干剖面为切入点,投入大量露头地质调查、浅钻取心和样品分析测试工作,重新厘清羌塘盆地海相中生界油气地质条件、成藏组合有效性及后期保存条件,旨在客观评价其大油气田形成地质条件并指明勘探方向。

## 1 区域地质背景

羌塘盆地构造单元受控于区域缝合带体系,空间上呈现显著的三分构造格局(图1a)。盆地北缘以可可西里-金沙江缝合带为界,中部发育龙木错-双湖缝合带,南部受班公湖-怒江缝合带控制,整体由南羌塘坳陷、中央隆起带及北羌塘坳陷3个二级构造单元组成,总面积约 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[1-7]</sup>。中央隆起带广泛出露泥盆系-石炭系海相碳酸盐岩建造,表明龙木错-双湖缝合带闭合发生于中生代构造旋回之前<sup>[8]</sup>,即中生代早期南、北羌塘坳陷已形成统一的构造块体。中央隆起带缺失中生代海相地层,现存2种成因解释:①早期沉积序列在后构造隆升过程中遭受剥蚀;②中生代构造阶段该隆起处即存在古地貌高地,分割南、北羌塘形成2个独立的海域沉积体系。

区域构造研究表明:可可西里-金沙江缝合带闭合始于晚二叠世一早三叠世(约260~250 Ma),并在晚三叠世晚期(约220~200 Ma)完成闭合,标志着古特提斯洋消亡并转入前陆盆地演化阶段<sup>[9]</sup>。班公湖-怒江缝合带于早-中三叠世(约250~240 Ma)经历伸展裂陷形成中特提斯洋,晚三叠世-侏罗纪(约220~145 Ma)向南发育广海陆棚沉积体系,至晚侏罗世一早白垩世(约145~110 Ma)进入构造闭合阶段,最终在早白垩世(约145 Ma)完成陆内造山过程<sup>[10]</sup>。从出露的地层分析,羌塘盆地可划分出4个构造-沉积层序(图1b,c)<sup>[11-12]</sup>:①前奥陶纪结晶基底,埋深大于10 000 m;②古生代褶皱基底,埋深6 000~10 000 m;③中生代海相沉积层序,埋深1 000~6 000 m;④新生代陆相沉积层序,埋深小于1 000 m。

南、北羌塘坳陷中生代海相沉积体系差异特征明显(图2)。①地层接触关系差异:北羌塘坳陷中-下三叠统地层与下伏上二叠统呈角度不整合接触,该事件对应于可可西里-金沙江缝合带在 $T_1/P_3$ 之交开始闭合;而南羌塘坳陷缺中-下三叠统,上三叠统与下伏上

二叠统呈角度不整合接触,地层缺失应与班公湖-怒江洋缝合带在 $T_3/T_2$ 之交开始拉张有关。②上三叠统岩性组合差异:北羌塘坳陷上三叠统肖茶卡组(藏夏河组)与南羌塘坳陷上三叠统日干配错组(土门格拉组)沉积特征相似,均为砂砾岩与灰岩沉积,均具三分性;但南羌塘坳陷的灰岩位于层序的下部、北羌塘坳陷的灰岩位于层序的中部,反映海水由南向北扩张的过程。同时北羌塘坳陷在肖茶卡组顶部还出现那底岗日组凝灰岩与安山岩,与可可西里-金沙江洋缝合带在 $T_3$ 晚期闭合时的构造岩浆活动有关。③早-中侏罗世沉积特征差异:北羌塘坳陷雀莫错组与南羌塘坳陷曲色组+色哇组层位相当,均为早-中侏罗世地层,沉积特征相似,主体为一套含钙质砂、泥岩,但北羌塘坳陷砂/地比明显高于南羌塘坳陷;曲色组的下部和雀莫错组的中、上部还发育膏盐层,揭示古蒸发中心由南向北迁移的特点。④中-晚侏罗世沉积特征差异:南、北羌塘坳陷中-上侏罗统布曲组、夏里组和索瓦组沉积特征基本趋同,主体为碳酸盐岩夹砂、泥岩或呈互层,但在北羌塘坳陷发育膏岩夹层,反映了中-晚侏罗世为向南开口的广海。南羌塘坳陷索瓦组海相碳酸盐岩为上白垩统阿布山组陆相碎屑岩直接覆盖,缺下白垩统陆相碎屑岩或残留海盆碳酸盐岩沉积,应该与晚侏罗世一早白垩世班公湖-怒江洋缝合带的关闭有关,北羌塘坳陷索瓦组海相碳酸盐岩主体为下白垩统雪山组(白龙冰河组)陆相碎屑岩覆盖,局部为泥晶灰岩和鲕粒灰岩覆盖,反映早白垩世仍有残留海盆的存在。

综合南、北羌塘坳陷三叠纪-白垩纪地层序列、岩性组合和空间展布特征,龙木错-双湖缝合带的拼合发生于晚古生代之前,表现为弱构造耦合性碰撞(无典型造山带发育),这导致了中央隆起发育泥盆纪-石炭纪浅海生屑灰岩。中央隆起带缺失中生代海相地层并非源自原始沉积的缺失,而是燕山期-喜马拉雅期构造隆升导致的强烈剥蚀作用的结果。沉积古地理重建表明,中生代南、北羌塘坳陷属于统一沉积海域,中央隆起带在该时期应为水下低隆地貌单元。

综上所述,可可西里-金沙江缝合带、龙木错-双湖缝合带和班公湖-怒江缝合带的开启-闭合史及沉积响应,控制了羌塘盆地构造-岩相古地理格局、油气成藏要素(源-储-盖)及成藏组合的时-空展布。

## 2 油气地质条件

为系统评价羌塘盆地油气地质条件,本研究分为3个阶段开展分析:①基础地表地质踏勘阶段,基于地



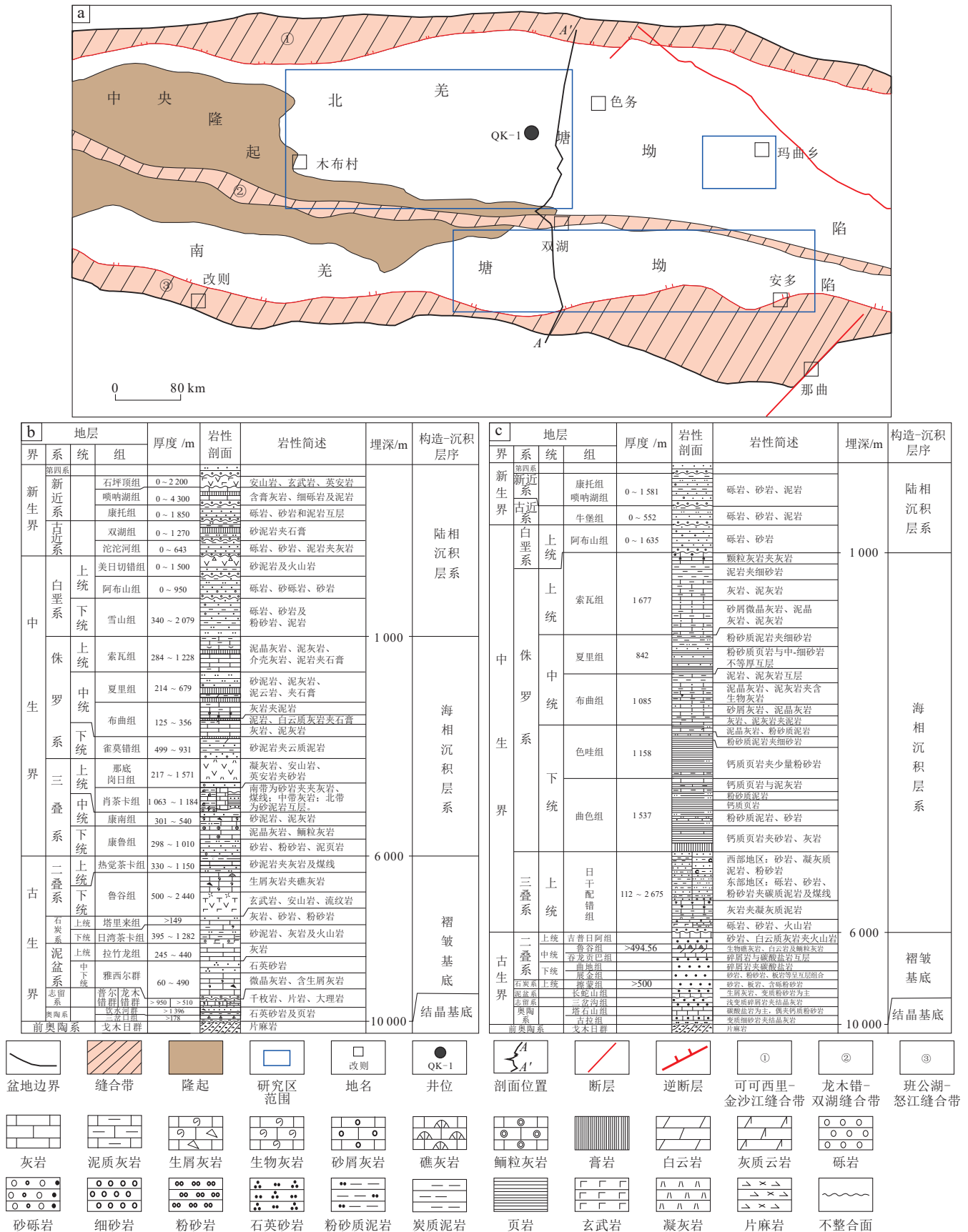


图1 羌塘盆地中生代构造区划与地层序列

Fig. 1 The Mesozoic tectonic division and stratigraphic sequence of the Qiangtang Basin

a. 羌塘盆地中生代构造区划; b. 北羌塘坳陷构造-沉积层序与岩性特征柱状图; c. 南羌塘坳陷构造-沉积层序与岩性特征柱状图



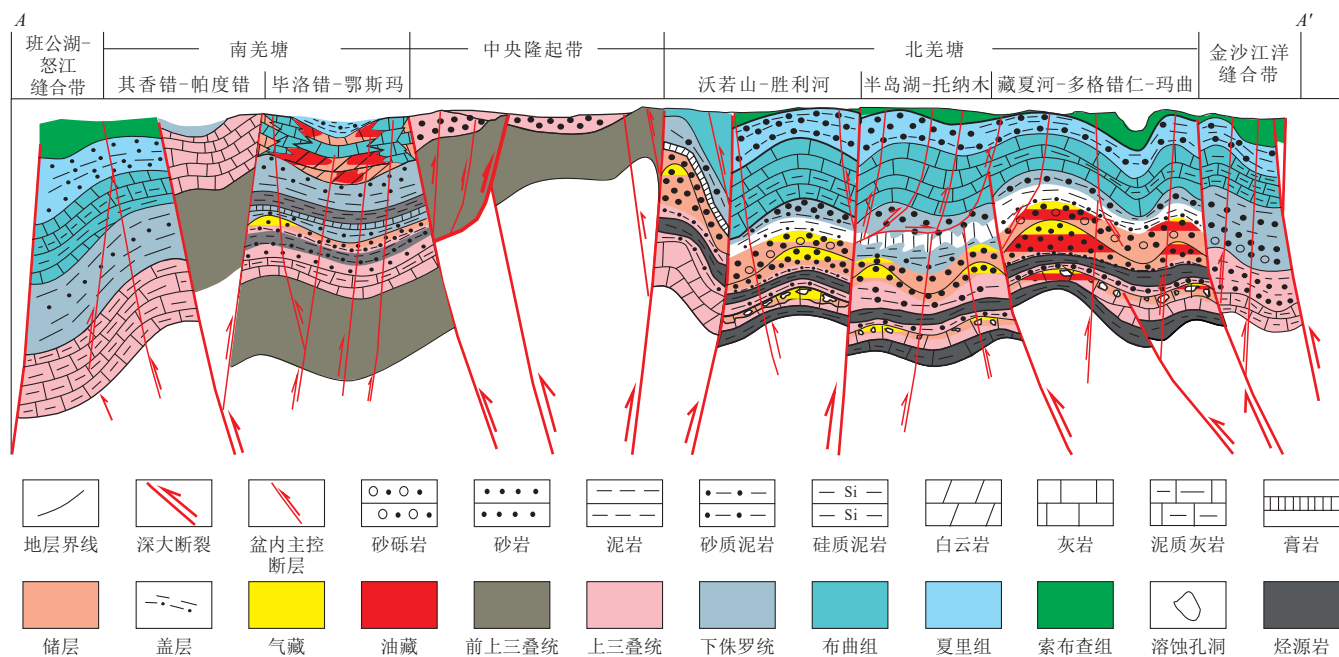


图2 羌塘盆地南北向中生代地层沉积特征剖面

Fig. 2 Section showing the depositional characteristics of the Mesozoic N-S-oriented sequences in the Qiangtang Basin

层连续性、构造完整性和相带代表性评价条件,优选59条具备烃源岩-碳酸盐岩储层-碎屑岩储层有机结合特征的基准剖面,完成30条剖面的实测(累计长度>200 km)。②烃源岩浅井评价阶段,针对14条关键烃源岩剖面实施浅钻验证(钻孔数量 $n=17$ ,累计进尺1 950 m,取心1 872 m)。③储层评价阶段,通过27条储层剖面的岩石物性取样(碳酸盐岩 $n=1\ 080$ ,碎屑岩 $n=590$ ,样品直径及长度3.8 cm,35 cm),结合历史井资料系统分析( $n=48$ ,岩心观察2 099.6 m,取样 $n=2\ 630$ )形成多源数据约束,全流程数据点覆盖盆地主要构造单元(图3)。

## 2.1 构造-沉积环境

此前,研究团队针对羌塘盆地中生代不同时期构造-岩相古地理重建已经开展了系统研究<sup>[13]</sup>,通过对可可西里-金沙江洋缝合带、班公湖-怒江洋缝合带及龙木错-双湖洋缝合带闭合动力学过程的演化历史反演,系统厘定羌塘地块中生代盆地演化属性。指出北羌塘地块在晚三叠世一早白垩世依次发育复合前陆盆地、陆内弱挤压残留海盆地和褶皱-冲断快速抬升剥蚀三阶段构造体制,而南羌塘地块同时期演化序列为被动陆缘、活动陆缘和褶皱-冲断快隆升三阶段。基于此框架,成功恢复羌塘盆地晚三叠世一早白垩世10个关键地质时期的构造-岩相古地理格局。上三叠统波里拉组-巴贡组烃源岩主要赋存于前陆拗陷带与被动陆缘深水陆棚构造单元;下侏罗统曲色组烃源岩

则受控于弧后伸展盆地及残留海盆构造单元;中侏罗统布曲组白云岩储层严格受台缘带相控成储<sup>[11-13]</sup>。

## 2.2 烃源岩条件

基于地层-构造单元差异划分,系统构建北羌塘( $n=24$ )与南羌塘( $n=35$ )两大分区共计59条基干剖面(图4a),包括上三叠统波里拉组-巴贡组(北15条/南7条)、下侏罗统雀莫错组(北4条)/曲色组(南17条)、中侏罗统布曲组(北3条/南5条)、上侏罗统夏里组(北1条/南2条)和索瓦组(北1条/南4条)。

### 2.2.1 上三叠统烃源岩评价与分布

北羌塘拗陷玛曲地区石油沟剖面SYG01浅孔钻遇巴贡组一段和波里拉组(未见顶底),完钻深度250.0 m(图4b)。该浅孔钻揭波里拉组烃源岩真厚度97.0 m(下同),SYG01浅孔钻揭巴贡组一段烃源岩真厚度48.5 m。北羌塘拗陷雀莫错剖面QMC01浅孔钻遇巴贡组二段和巴贡组三段(未见顶、底),完钻深度200.0 m(图4c)。该浅孔揭示巴贡组烃源岩真厚度160.5 m。南羌塘拗陷尕尔曲地区露头剖面巴贡组实测地层厚520.0 m(图4d),烃源岩总厚约44.03 m。各组烃源岩地球化学分析指标对比见表1,有机显微组分与干酪根指标对比见表2。

露头地质调查和钻孔资料揭示波里拉组泥灰岩与钙质泥页岩烃源岩发育在早期拉伸应力场的被动陆缘与伸展盆地背景<sup>[13]</sup>。北羌塘拗陷有2个厚度中心,半

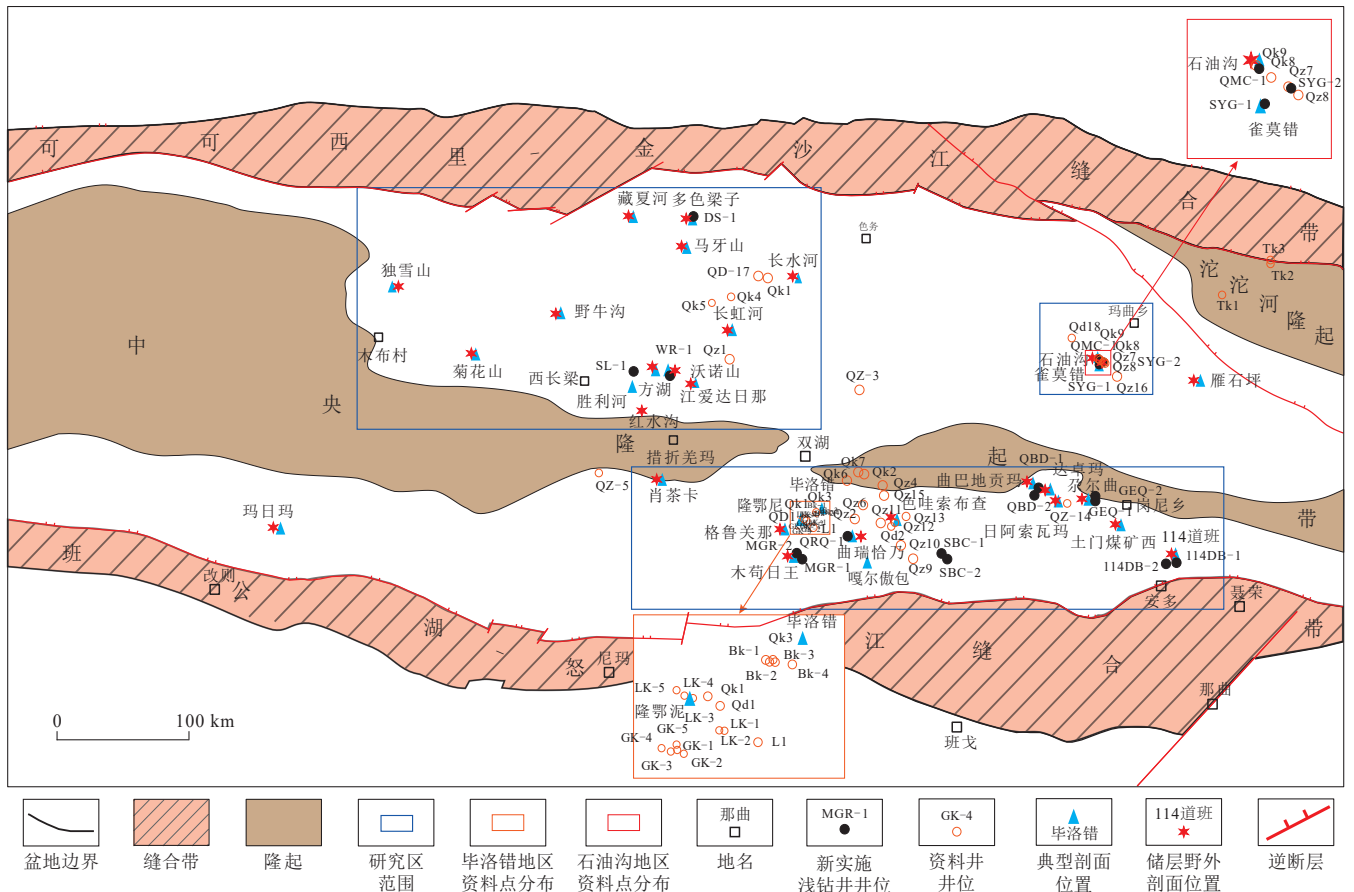


图3 羌塘盆地海相中生界油气地质条件研究资料平面分布

Fig. 3 Distribution of available data for petroleum geological research on the marine Mesozoic strata in the Qiangtang Basin

表1 羌塘盆地上三叠统烃源岩地球化学指标对比

Table 1 Comparison of geochemical indicators of the Upper Triassic source rocks in the Qiangtang Basin

| 构造单元  | 剖面、钻孔    | 层位    | 烃源岩等级 | 累计厚度/m | TOC/%        | 平均 TOC/% | $R_o$ /%    | 平均 $R_o$ /% | 成熟度    |
|-------|----------|-------|-------|--------|--------------|----------|-------------|-------------|--------|
| 北美塘坳陷 | SYG01 浅孔 | 波里拉组  | 优质    | 17.3   | 2.23 ~ 6.86  | 2.97     | 1.28 ~ 1.33 | 1.30        | 成熟-高成熟 |
|       |          |       | 中等    | 24.2   | 1.01 ~ 1.98  | 1.43     |             |             |        |
|       |          |       | 差     | 55.4   | 0.31 ~ 0.93  | 0.66     |             |             |        |
|       | QMC01 浅孔 | 巴贡组一段 | 优质    | 14.7   | 2.03 ~ 5.81  | 3.18     | 1.09 ~ 1.35 | 1.30        | 成熟-高成熟 |
|       |          |       | 中等    | 30.3   | 1.02 ~ 1.79  | 1.22     |             |             |        |
|       |          |       | 差     | 3.5    | 0.31 ~ 0.93  | 0.52     |             |             |        |
| 南羌塘坳陷 | 孜尔曲剖面    | 巴贡组   | 优质    | 16.6   | 2.05 ~ 2.64  | 2.32     | 1.40 ~ 1.56 | 1.49        | 高成熟    |
|       |          |       | 中等    | 55.1   | 1.00 ~ 1.94  | 1.39     |             |             |        |
|       |          |       | 差     | 88.8   | 0.32 ~ 0.99  | 0.52     |             |             |        |
| 南羌塘坳陷 | 孜尔曲剖面    | 巴贡组   | 优质    | 7.7    | 2.15 ~ 10.30 | 4.78     | 1.39 ~ 1.87 | 1.70        | 高成熟    |
|       |          |       | 中等    | 299.0  | 1.00 ~ 1.89  | 1.19     |             |             |        |
|       |          |       | 差     | 136.7  | 0.30 ~ 0.99  | 0.75     |             |             |        |

注:TOC为总有机碳含量; $R_o$ 为镜质体反射率。

岛湖—沃若山厚度为100~200 m,多格错仁—玛曲厚度为100~300 m;南羌塘由中央隆起南缘向南逐渐增厚,厚度为50~200 m(图5a),总有机碳含量(TOC)范围在0.50%~2.50%,镜质体反射率( $R_o$ )范围在

1.00%~3.00%(图5b,图6a)。

巴贡组泥岩烃源岩在北美塘形成于前陆坳陷背景<sup>[13]</sup>,厚度为200~600 m,在南羌塘形成于被动陆缘背景<sup>[13]</sup>,帕度错—毕洛错—鄂斯玛一带厚度可达300 m

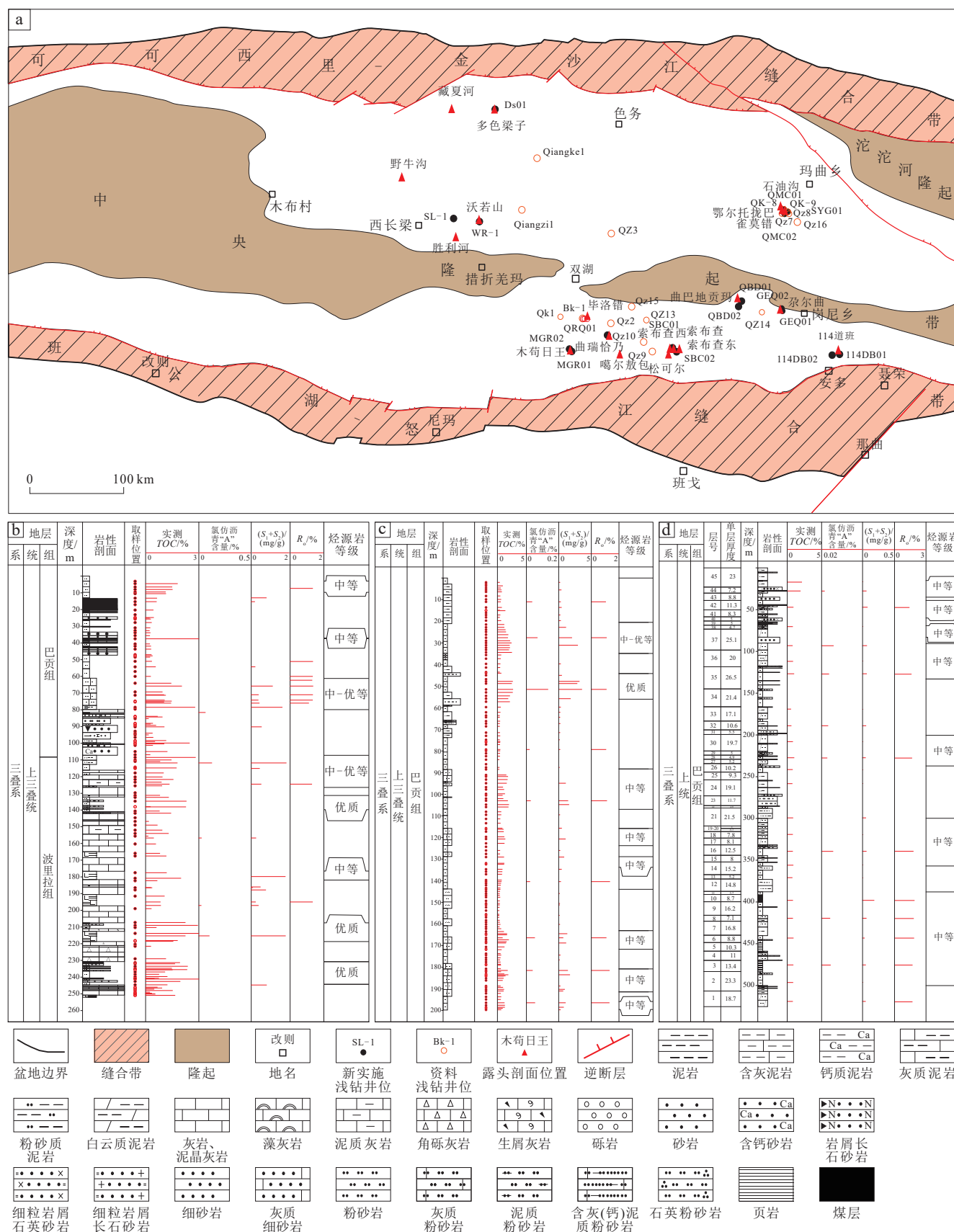


图4 羌塘盆地上三叠统烃源岩有机地球化学基干剖面

Fig. 4 Benchmark section showing the geochemical characteristics of organic matter in the Upper Triassic source rocks of the Qiangtang Basin

a. 烃源岩有机地球化学基干剖面分布; b. 北羌塘坳陷石油沟地区SYG01井波里拉组-巴贡组剖面; c. 北羌塘坳陷雀莫错地区QMC01井巴贡组剖面; d. 南羌塘坳陷尕尔曲地区巴贡组露头剖面



表2 羌塘盆地上三叠统烃源岩有机显微组分与干酪根指标对比

Table 2 Comparison of organic macerals and kerogen indicators of the Upper Triassic source rocks in the Qiangtang Basin

| 层位   | 有机显微组分含量/%           |                      |                      | $\delta^{13}\text{C}$ 干酪根/‰ | 干酪根类型             |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------|
|      | 腐泥组+壳质组              | 镜质组                  | 惰性组                  |                             |                   |
| 波里拉组 | 33.80~98.00<br>71.71 | 0~34.90<br>15.90     | 0~34.90<br>11.22     | -28.10~-25.70<br>-26.90     | II <sub>1</sub> 型 |
| 巴贡组  | 42.80~55.20<br>43.90 | 19.40~56.30<br>28.80 | 10.50~58.20<br>27.30 | -28.00~-23.00<br>-25.40     | II型为主,部分为I型或III型  |

注:表中数据格式为  $\frac{\text{最大值}-\text{最小值}}{\text{平均值}}$ 。

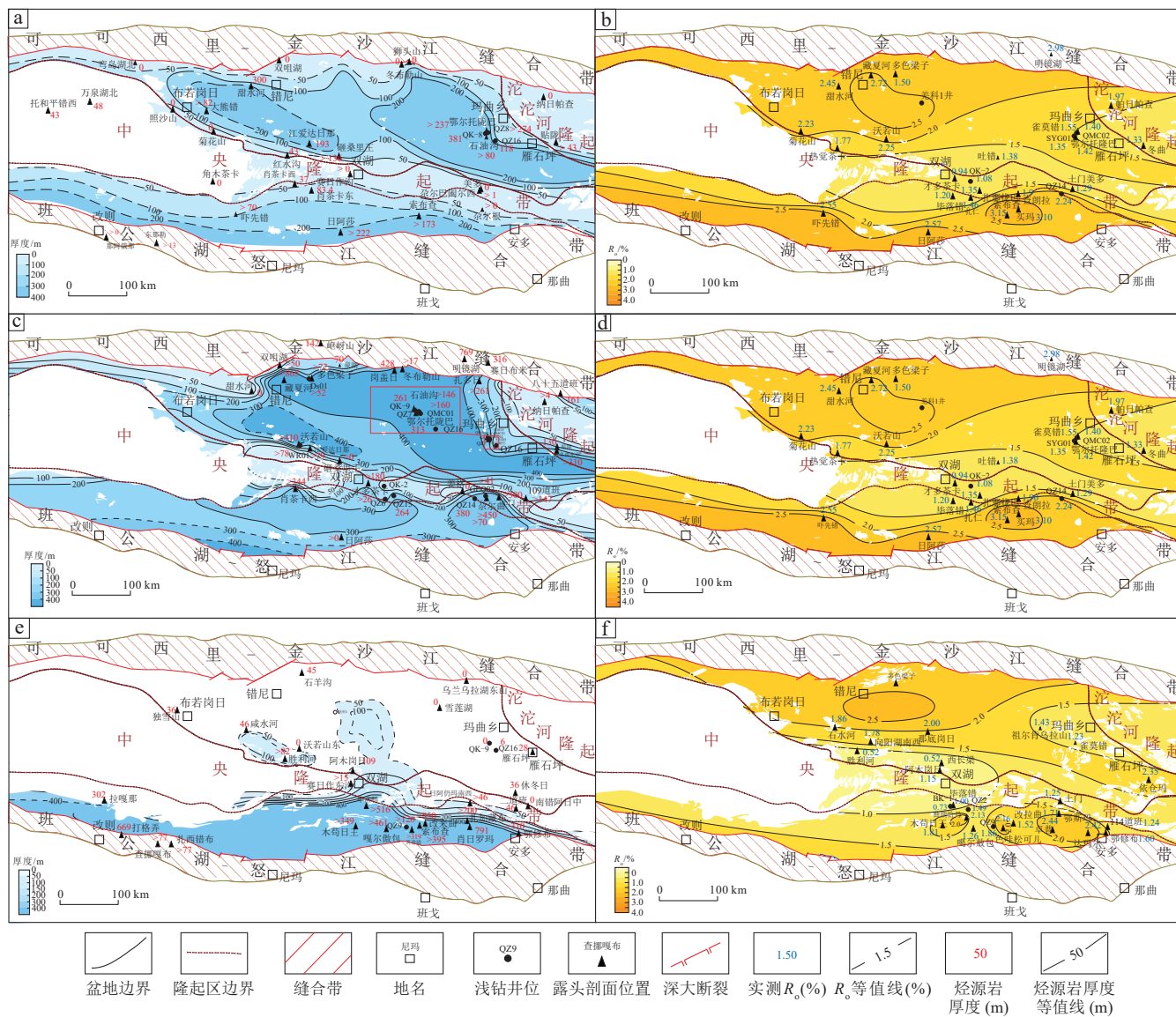


图5 羌塘盆地上三叠统-下侏罗统烃源岩厚度和有机质成熟度平面分布

Fig. 5 Maps showing the distribution of the thicknesses and organic matter maturity of the Upper Triassic-Lower Jurassic source rocks in the Qiangtang Basin

a. 波里拉组烃源岩 ( $TOC > 0.5\%$ ) 厚度; b. 波里拉组烃源岩有机质成熟度; c. 巴贡组烃源岩 ( $TOC > 0.5\%$ ) 厚度; d. 巴贡组烃源岩有机质成熟度; e. 曲色组烃源岩 ( $TOC > 0.5\%$ ) 厚度; f. 曲色组烃源岩有机质成熟度 ( $TOC$  为总有机碳含量;  $R_o$  为镜质体反射率)。

(图5c),  $TOC$  范围在 0.50% ~ 2.00%,  $R_o$  范围在 1.00% ~ 3.00% (图5d, 图6b)。

### 2.2.2 下侏罗统烃源岩评价与分布

如表3所示, 南羌塘坳陷毕洛错地区曲色组发育典型优质烃源岩, 露头剖面曲色组总厚度为 639 m (未见顶) (图7a), 烃源岩厚度为 579 m,  $TOC$  大于 2.00% 的优质烃源岩段  $TOC$  平均值为 6.85% 且最高达 27.40%, 厚度可达 200 m (图5e),  $R_o$  范围在 0.62% ~ 1.32% (平均值为 0.94%), 指示其处于成熟生油阶段。BK-1, BK-2, BK-3 和 BK-4 浅孔进一步证实该区优质烃源岩横向连续性良好 (图7b—e), 如 BK-2 井浅孔  $TOC$  平均值为 7.03% (最高值 32.70%), 且优质烃源岩段下部与玄武岩的接触关系也揭示高有机质丰度层段与被动陆缘-弧后伸展构造背景的耦合特征。

南羌塘坳陷毕洛错地区曲色组烃源岩中发育优质油页岩段, 该段厚度 35 ~ 70 m (图7), 地球化学参数显示其  $TOC$  平均值达 8.34%, 并具有较高烃类生成潜力 (表4; 图5f)。显微组分分析揭示该套烃源岩形成于强缺氧环境, 腐泥组+壳质组平均含量高达 83.8% (范围 51.0% ~ 99.0%), 镜质组与惰性组分别占 12.04% 和 4.20% (平均值); 干酪根碳同位素比值

( $\delta^{13}C$ ) 分布于 -26.7‰ ~ -23.5‰ (平均值 -25.2‰), 综合显示其有机质类型以 I - II<sub>1</sub> 型为主, 具备强生油能力 (图6c)。

相对而言, 北羌塘坳陷仅在胜利河—西长梁地区零星发育数米至十几米厚的油页岩 (图5e) 并且同样具备强生油能力 (表4), 但其有效厚度不足 20 m 且层位归属存疑<sup>[14]</sup>。构造-岩相古地理分析表明, 北羌塘坳陷曲色组沉积期为向南开口的局限海, 古陆周缘冲积扇-三角洲-潮坪体系, 不利于烃源岩的规模发育<sup>[13]</sup>。

综上所述, 上三叠统波里拉组-巴贡组是北羌塘坳陷主力烃源岩, 在南羌塘坳陷也有一定规模的分布, 下侏罗统曲色组是南羌塘坳陷主力烃源岩, 在北羌塘坳陷仅在胜利河—西长梁地区有零星发现。中-上侏罗统布曲组、夏里组和索瓦组从构造-岩相古地理背景和目前出露的情况分析, 在南、北羌塘坳陷均为次要的烃源岩, 厚度薄, 分布局限 (出露少), 大多属于差烃源岩。如北羌塘 QK-1 井布曲组泥岩烃源岩  $TOC$  平均值仅为 0.33%, 北羌塘野牛沟剖面布曲组泥岩烃源岩  $TOC$  平均值仅为 0.14%, QK-1 井夏里组泥岩烃源岩  $TOC$  平均值仅为 0.26%, 北羌塘野牛沟剖面索瓦组泥岩烃源岩  $TOC$  平均值仅为 0.12%。

表3 羌塘盆地南羌塘坳陷下侏罗统曲色组烃源岩地球化学指标对比

Table 3 Comparison of geochemical indicators of the Lower Jurassic source rocks in the Qiangtang Basin

| 剖面、钻孔   | 烃源岩等级 | 累计厚度/m | $TOC$ /%     | 平均 $TOC$ /% | $R_o$ /%    | 平均 $R_o$ /% | 成熟度 |
|---------|-------|--------|--------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| 毕洛错剖面   | 优质    | 224    | 2.01 ~ 27.40 | 6.85        | 0.62 ~ 1.32 | 0.94        | 成熟  |
|         | 中等    | 273    | 1.05 ~ 1.97  | 1.48        |             |             |     |
|         | 差     | 82     | 0.50 ~ 0.87  | 0.64        |             |             |     |
| BK-1 浅孔 | 优质    | 52     | 2.00 ~ 24.50 | 7.10        | 0.84 ~ 1.01 | 0.91        | 成熟  |
| BK-2 浅孔 | 优质    | 47     | 2.04 ~ 32.70 | 7.03        | 0.74 ~ 0.91 | 0.84        | 成熟  |
| BK-3 浅孔 | 优质    | 89     | 2.00 ~ 16.00 | 5.22        | 0.71 ~ 0.91 | 0.81        | 成熟  |
| BK-4 浅孔 | 优质    | 70     | 2.17 ~ 26.30 | 6.97        | 0.58 ~ 0.92 | 0.76        | 成熟  |

注:  $TOC$  为总有机碳含量;  $R_o$  为镜质体反射率。

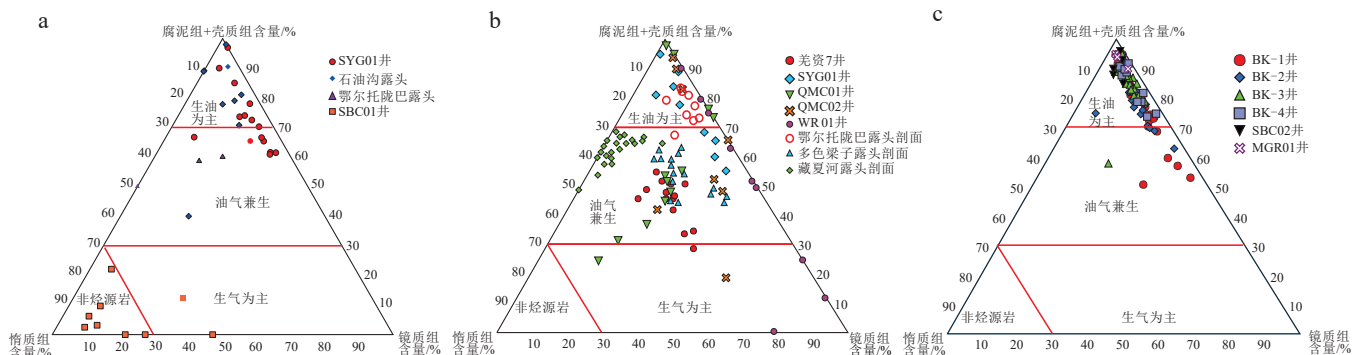


图6 羌塘盆地中生界烃源岩有机质显微组分含量三角图

Fig. 6 Ternary diagrams showing the organic maceral contents in the Mesozoic source rocks within the Qiangtang Basin

a. 波里拉组; b. 巴贡组; c. 曲色组

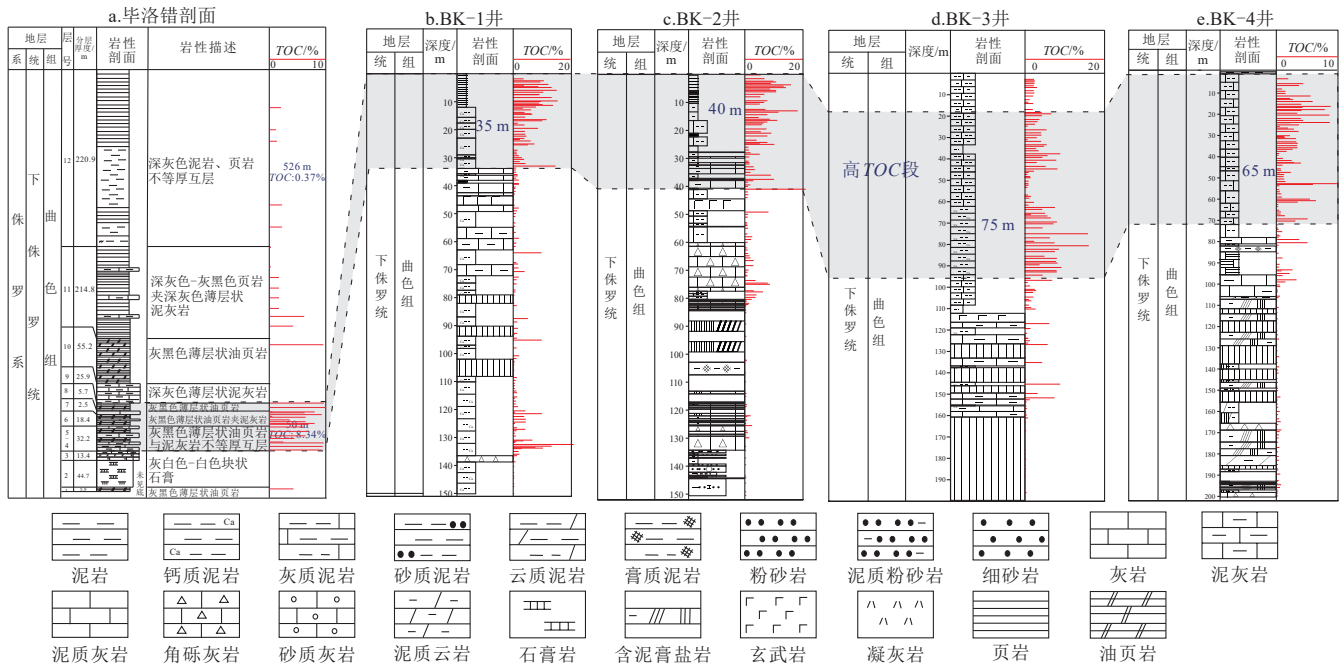


图 7 南羌塘坳陷毕洛错地区曲色组烃源岩有机地球化学基干剖面对比

Fig. 7 Benchmark sections showing the geochemical characteristics of organic matter in source rocks of the Quse Formation, Biluoco area, southern Qiangtang depression  
(TOC为总有机碳含量。)

表 4 羌塘盆地曲色组烃源岩油页岩段地球化学指标对比

Table 4 Comparison of geochemical indicators of oil shale intervals in the source rocks of the Quse Formation in the Qiangtang Basin

| 构造单元  | 剖面      | 厚度/m    | 平均 TOC/% | $R_o$ /%  | 氯仿沥青“A”含量/% | $S_1$ /(mg/g) | $S_2$ /(mg/g) |
|-------|---------|---------|----------|-----------|-------------|---------------|---------------|
| 南羌塘坳陷 | 毕洛错     | 35 ~ 70 | 8.34     | 1.0 ~ 3.0 | 0.66        | 7.20          | 22.73         |
| 北羌塘坳陷 | 胜利河-西长梁 | < 20    | 9.76     | 1.0 ~ 2.0 | 1.26        | 4.89          | 40.17         |

注: TOC 为总有机碳含量;  $R_o$  为镜质体反射率;  $S_1$  为游离烃含量;  $S_2$  为热解烃含量。

### 2.2.3 有机质发育背景及富集模式

前陆坳陷作为前陆盆地中烃源岩发育的核心构造单元,其演化过程通过控制沉积环境分异对烃源岩类型产生重要影响:初始的坳陷阶段形成半深湖-深湖相沉积,鼎盛期发育厚层湖相泥质烃源岩,晚期则过渡为海-陆交互相煤系烃源岩(如塔里木盆地库车坳陷中-上三叠统<sup>[15]</sup>)。同时,被动大陆边缘盆地深水区凭借稳定的构造沉降和缺氧环境(典型如大西洋白垩世被动陆缘盆地<sup>[16-17]</sup>),成为优质海相烃源岩的重要赋存区,也是近 10 年全球油气勘探的重点地区。而弧后伸展盆地因其独特的构造演化序列——早期裂谷阶段与晚期坳陷阶段叠加(如中国海盆地深水区白垩系—中新统<sup>[18]</sup>),有利于形成多套烃源岩层系。此外,火山活动通过营养输入促进藻类勃发,促进烃源岩的发育(如巴西桑托斯盆地盐下 Picarras 组-Itapema 组湖相烃源岩<sup>[19]</sup>与鄂尔多斯盆地长 7 油层组烃源岩<sup>[19-20]</sup>)。此外,

碳酸盐岩-膏盐岩组合中的咸化水体环境(如鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组<sup>[21-22]</sup>)通过嗜盐古菌增殖与封存效应,共同构成烃源岩发育的特殊地球化学机制。

上三叠统波里拉组-巴贡组烃源岩有机质富集和分布与前陆坳陷、被动陆缘背景及火山活动有关<sup>[13]</sup>,其中,南羌塘坳陷波里拉组-巴贡组烃源岩的发育与被动陆缘深水沉积环境+那底岗日组(与巴贡组同期异相)沉积期火山活动有关,北羌塘坳陷波里拉组-巴贡组烃源岩的发育与前陆坳陷半深湖-深湖还原沉积环境+那底岗日组(与巴贡组同期异相)沉积期火山活动有关,构成“两位一体”的烃源岩发育和分布模式(图 8a)。下侏罗统曲色组烃源岩有机质富集和分布与弧后伸展盆地强还原环境、蒸发咸化海水和火山活动有关<sup>[13]</sup>,主要分布于南羌塘坳陷,毕洛错露头剖面和 BK-1, BK-2, BK-3 以及 BK-4 井揭示曲色组烃源岩上覆于膏盐岩和火山岩之上,构成“三位一体”的烃源岩发育和分布模式(图 8b)。



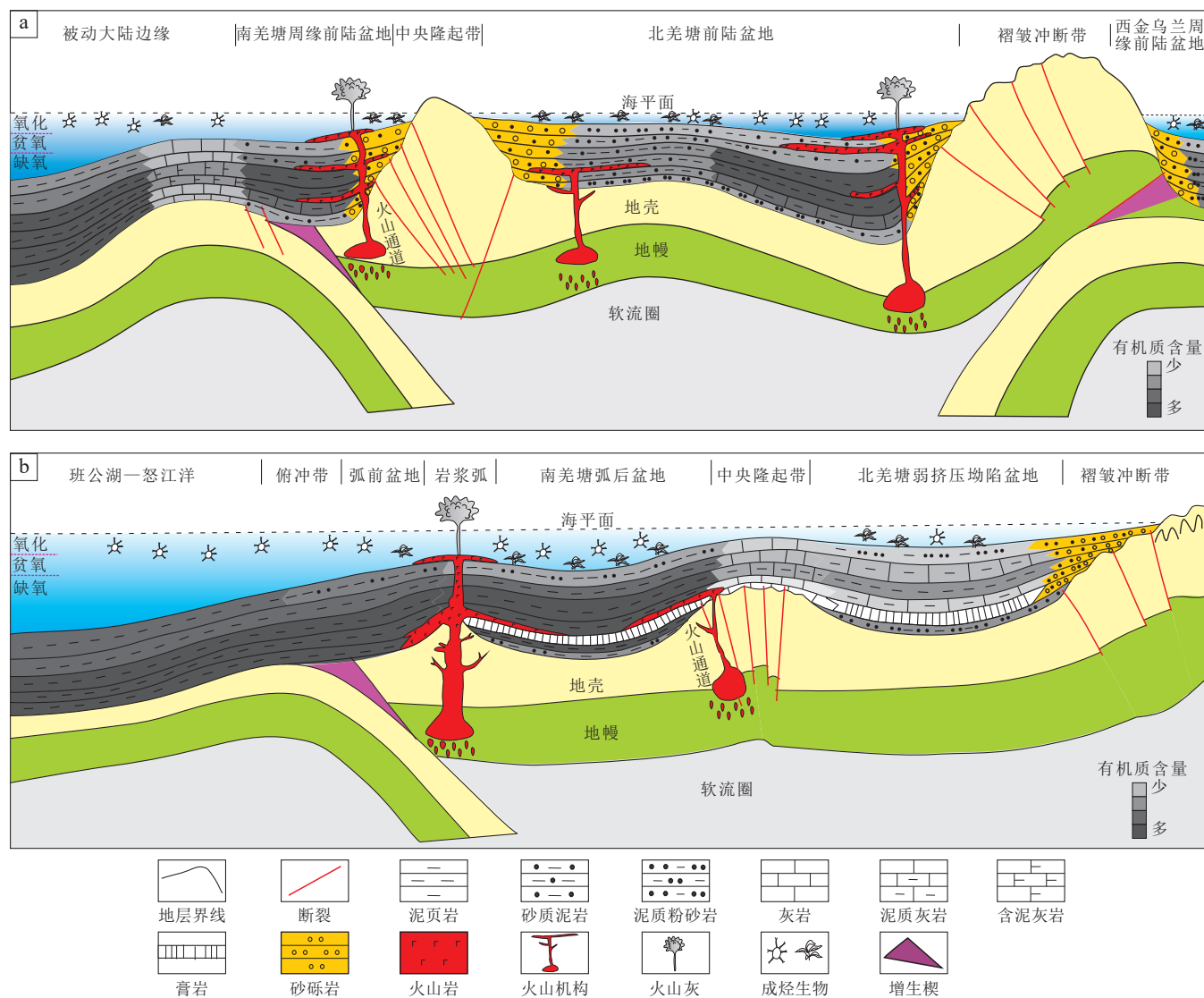


图8 羌塘盆地中生界烃源岩有机质富集模式

Fig. 8 Organic matter enrichment model of the Mesozoic source rocks in the Qiangtang Basin

a. 波里拉组-巴贡组烃源岩“前陆拗陷半深湖-深湖还原环境+火山活动”二位一体有机质富集模式;b. 曲色组烃源岩“弧后盆地还原环境+蒸发咸化海水+火山活动”三位一体有机质富集模式

## 2.3 储集层条件

露头 and 浅钻资料揭示波里拉组发育岩溶储层,布曲组发育白云岩储层;碎屑岩储层总体不发育,主要见于巴贡组、雀莫错组和夏里组,为低孔-特低渗致密砂岩储层。

### 2.3.1 碳酸盐岩储层

北羌塘拗陷玛曲地区SYG01井钻遇波里拉组地层厚120.0 m(未见底),为一套潮坪相的薄藻纹层泥晶灰岩,局部见藻砂屑灰岩;垂向上发育3套岩溶储层,厚度分别为6.0、6.2和4.6 m(图9a),形成于准同生期多旋回的暴露溶蚀,同时受同沉积断裂的控制,全

直径实测孔隙度高达11.24%,以厘米级溶蚀孔洞为主,见沥青充填。SBC01井波里拉组还钻遇11.0 m厚的鲕粒灰岩,其中厚度约2.0 m的鲕粒灰岩孔隙呈蜂窝状,软沥青充满。波里拉组岩溶储层虽然发现于北羌塘拗陷玛曲地区,但明显具有相控性,潮坪相带+古地貌高地是岩溶储层的有利发育区。根据构造-岩相古地理特征和储层成因<sup>[13]</sup>,预测羌塘盆地波里拉组岩溶储层普遍发育,根据SYG01井的岩溶发育厚度/灰岩厚度比,岩溶储层厚度范围在15.0~40.0 m(图9a)。

南羌塘拗陷毕洛错地区露头和浅钻均发现了布曲组白云岩储层,达卓玛剖面见布曲组白云岩上覆于膏岩层之上。GK-1井钻遇碳酸盐岩地层厚度100 m(未见底)(图9b),灰岩与白云岩互层,白云岩储层厚度达



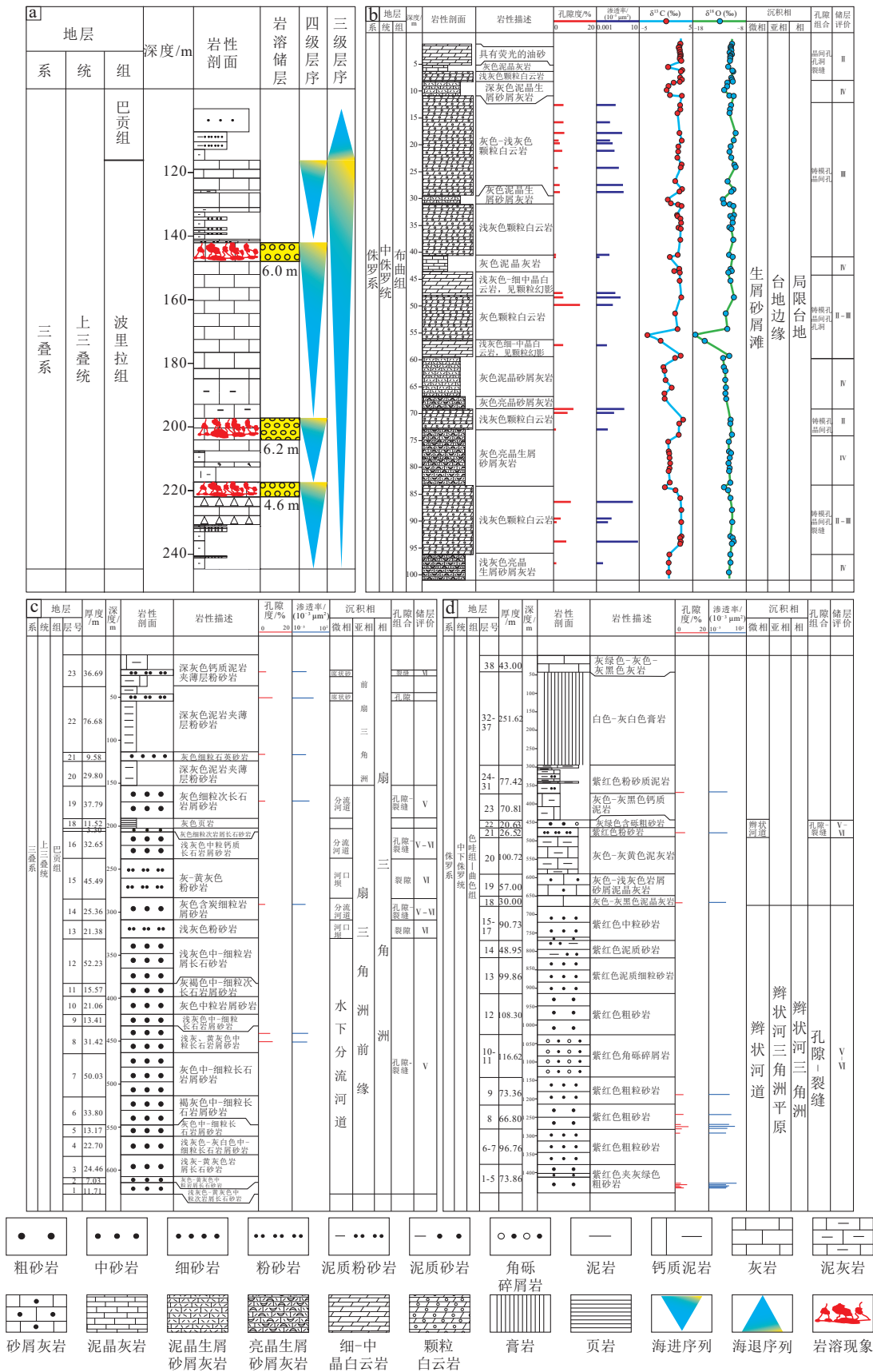


图9 羌塘盆地储层综合柱状图

Fig. 9 Composite stratigraphic columns of reservoirs in the Qiangtang Basin

a. 北羌塘凹陷玛曲地区SYG01井波里拉组岩溶储层; b. 南羌塘凹陷洛洛错地区GK-1井布曲组白云岩储层; c. 北羌塘凹陷多色梁子露头剖面巴贡组砂岩储层; d. 北羌塘凹陷方湖露头剖面雀莫组砂岩储层

55 m。可分为3类白云岩储层:①旋回上部Ⅰ类储层的岩性为残留颗粒结构的细晶白云岩,储集空间为晶间孔、溶蚀孔洞、铸模孔与裂缝组合,孔隙度12.03%,渗透率 $82.100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;②旋回中部Ⅱ类储层的岩性为细-中晶白云岩,储集空间为晶间孔与埋藏溶孔组合,孔隙度8.09%,渗透率 $2.580 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;③旋回下部Ⅲ类储层的岩性为粉晶白云岩,储集空间为晶间微孔与溶蚀孔洞组合,孔隙度6.03%,渗透率 $0.590 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。其成因是颗粒滩叠加成岩早期2期白云石化的产物<sup>[10]</sup>,颗粒滩是储层发育的物质基础,表生溶蚀形成铸模孔和溶蚀孔洞是对储集空间的重要补充,膏岩层和残留颗粒结构的出现及白云石189.3 Ma的U-Pb同位素年龄揭示颗粒滩经历了早期白云石化作用,白云石154 Ma的U-Pb同位素年龄揭示颗粒滩经

历了浅埋藏期的白云石化作用,2期白云石化作用有利于早期孔隙的保持,白云岩的孔隙是对原岩孔隙的继承与调整。虽然布曲组白云岩储层发现于南羌塘坳陷毕洛错地区,但台缘带和台内颗粒滩都是白云岩储层发育的有利相带,根据构造-岩相古地理特征、储层成因和露头剖面以及GK-1, GK-2, GK-3, GK-4, GK-5, LK-1, LK-2, LK-3, LK-4和LK-5井的储层/地层厚度比,预测羌塘盆地布曲组白云岩储层普遍发育,但台缘带储层厚度和连续性优于台内(图10b)。

### 2.3.2 碎屑岩储层

北羌塘坳陷藏夏河和多色梁子露头剖面均发育有上三叠统巴贡组砂岩储层(图9c);岩性为灰绿色长石-岩屑质细-中砂岩,少量粉砂岩;储集空间以残留粒间

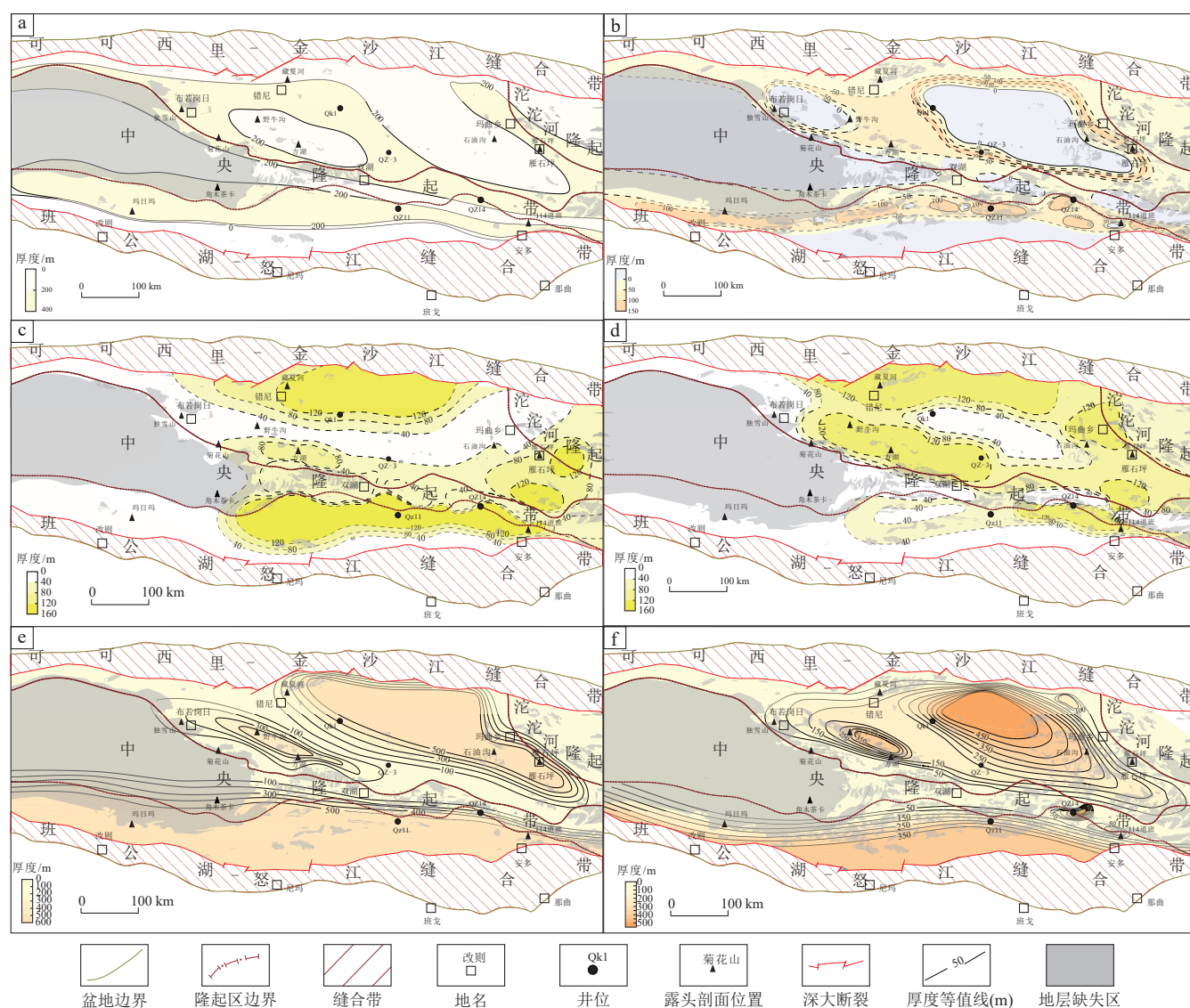


图10 羌塘盆地储层和区域盖层平面分布

Fig. 10 Maps showing the distribution of reservoirs and regional cap rocks in the Qiangtang Basin

a. 波里拉组岩溶储层; b. 布曲组白云岩储层; c. 巴贡组砂岩储层; d. 雀莫错组砂岩储层; e. 雀莫错组膏盐岩、泥岩盖层; f. 夏里组膏盐岩、泥岩盖层

孔和裂缝为主,但物性总体偏差,孔隙度为1.27%~8.15%、平均值3.34%,渗透率为 $(0.005 \sim 7.240) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、平均值 $0.248 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,综合评价为IV-V类致密砂岩储层。

北羌塘坳陷方湖露头剖面发育下侏罗统雀莫错组砂岩储层(图9d);岩性主要为紫红色中-粗砂岩夹砾岩;储集空间以残留粒间孔和裂缝为主,但物性总体偏差,孔隙度为1.01%~8.04%、平均值3.71%;渗透率为 $(0.002 \sim 4.193) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、平均值 $0.505 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,综合评价为IV-V类致密砂岩储层。另中侏罗统夏里组发育一套滨岸相带的粉-细砂岩储层,与巴贡组和雀莫错组一样,为IV-V类致密砂岩储层,储层孔隙度小于8.00%,厚度范围在40~120 m,沿古陆周缘的滨岸带分布;夏里组中、下部同样发育一套致密砂岩储层。

砂岩储层具明显的相控性,主要发育在三角洲前缘分流河道砂体中。砂岩的成分和结构成熟度低,分选和磨圆差,抗压实能力低,加上埋藏早期胶结作用弱,进一步降低了抗压实能力,埋藏中、晚期强压实、强压溶和硅质加大胶结使粒间孔快速减少,导致砂岩储层致密化。基于储层成因、储/地比和构造-岩相古地理展布,编制三叠系巴贡组和下侏罗统雀莫错组砂岩储层分布图(图10c,d)。

## 2.4 盖层条件

羌塘盆地发育3套膏盐岩与泥岩盖层,其中雀莫错组膏盐岩/泥岩盖层和夏里组膏盐岩/泥岩盖层为区域盖层,曲色组底部膏盐岩盖层为局部盖层。①雀莫错组膏盐岩/泥岩盖层:位于雀莫错组中、上部,北羌塘厚度高值区位于半岛湖—多格错仁与南羌塘帕度错—毕洛错—鄂斯玛一带,厚度范围在100~500 m(图10e)。②夏里组膏盐岩/泥岩盖层:位于夏里组中、上部,南、北羌塘广布,厚度范围在50~500 m,厚度高值区位于多格错仁一带(图10f)。③曲色组膏盐岩/泥岩盖层:膏盐岩位于曲色组底部,主要分布于南羌塘毕洛错—鄂斯玛与北羌塘半岛湖—托纳木一带,厚度范围在10~100 m;膏盐岩与泥岩累积厚度范围在100~500 m。

## 3 成藏组合与勘探潜力

### 3.1 成藏组合

羌塘盆地3套烃源岩、5套储集层和2套区域盖层

构成2个盐下、盐间含油气系统。3套烃源岩分别为波里拉组泥灰岩夹泥质条带、巴贡组暗色灰黑色泥岩和曲色组灰黑-黑色泥岩;5套储集层分别为波里拉组灰岩岩溶储层、布曲组礁滩白云岩储层、雀莫错组与巴贡组三角洲砂岩储层和夏里组滨岸砂岩储层;2套区域盖层分别为雀莫错组膏盐岩盖层和夏里组膏盐岩/泥岩盖层。

波里拉组-巴贡组烃源岩、波里拉组岩溶储层、巴贡组-雀莫错组砂岩储层与雀莫错组膏盐岩盖层构成盐下含油气系统,主要分布于北羌塘坳陷。该油气系统可进一步划分为2套有利成藏组合:①波里拉组烃源岩-波里拉组岩溶储层+巴贡组砂岩储层-巴贡组泥岩盖层成藏组合;②波里拉组+巴贡组泥岩烃源岩-雀莫错组砂岩储层-雀莫错组中、上部膏盐岩盖层成藏组合(图11a)。

曲色组下部膏盐岩(相当于雀莫错组膏盐岩)、曲色组烃源岩、布曲组白云岩储层-夏里组砂岩储层与夏里组膏盐岩/泥岩盖层构成盐间含油气系统的成藏组合(图11b),主要分布于南羌塘坳陷。由于构造抬升较为强烈,夏里组地层(包括膏泥岩盖层)大多被剥蚀,甚至部分曲色组也暴露于地表,该油气系统的成藏组合保存条件存在较大的风险。

### 3.2 勘探潜力

综上所述,羌塘盆地具备烃源岩、储集层和盖层等基本石油地质条件,2套区域性膏盐岩盖层构成上三叠统-下侏罗统盐下和中-下侏罗统盐间2个含油气系统和3套成藏组合,波里拉组、巴贡组和布曲组多层系见到规模不等的沥青,证实曾经有过油气的生成、运移和聚集的过程。自2000年以来多轮次资源评价,羌塘盆地油气资源量达 $(50 \sim 100) \times 10^8 \text{ t}$ 油当量,勘探前景值得期待。

基于烃源岩特征和储层特征分析,羌塘盆地存在3类油气资源的勘探前景,分别为常规油气、页岩油气和致密砂岩油气资源。常规油气资源的储层为波里拉组岩溶储层和布曲组白云岩储层,对圈闭和后期保存条件的要求高。致密砂岩油气的储层为巴贡组、雀莫错组和夏里组致密砂岩储层,页岩油气资源主要分布于巴贡组和曲色组2套主力烃源岩中。

#### 3.2.1 常规油气资源

波里拉组-巴贡组和曲色组2套烃源岩为波里拉组岩溶储层和布曲组白云岩储层提供烃源,2套膏盐岩区域盖层控制了波里拉组盐下和布曲组盐间2个含



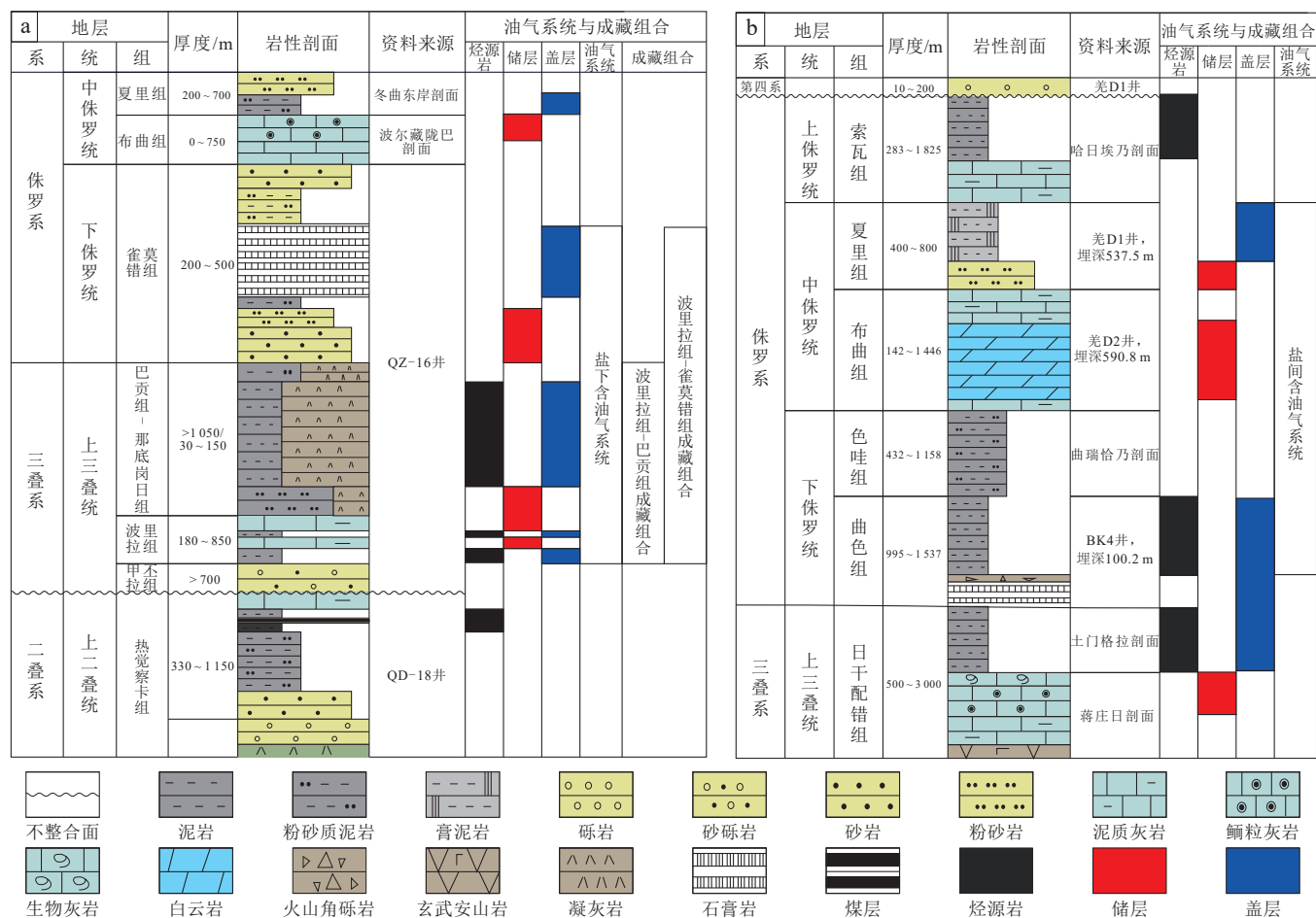


图 11 羌塘盆地上三叠统-侏罗系含油气系统与成藏组合

Fig. 11 The Upper Triassic-Jurassic petroleum systems and hydrocarbon plays in the Qiangtang Basin

a. 北羌塘坳陷上三叠统-下侏罗统; b. 南羌塘坳陷中-下侏罗统

油气系统,巴贡组和雀莫错组下部泥岩作为波里拉组岩溶储层和布曲组白云岩储层的直接盖层,控制了油气成藏。以烃源岩、储集层和盖层出露最好的玛曲与毕洛错—鄂斯玛地区为例,探讨其勘探潜力。

玛曲地区有利区面积  $0.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。波里拉组烃源岩厚度范围在  $100 \sim 200 \text{ m}$ ,  $TOC$  范围在  $0.10\% \sim 8.00\%$ , 平均值  $1.53\%$ ,  $II_1$  型有机质,为优质烃源岩;巴贡组烃源岩厚度范围在  $100 \sim 200 \text{ m}$ ,  $TOC$  范围在  $0.10\% \sim 5.80\%$ , 平均值  $0.81\%$ ,  $II_1 - II_2$  型有机质,为中等烃源岩。波里拉组灰岩岩溶储层厚度范围在  $10 \sim 30 \text{ m}$ , 全直径孔隙度  $11.24\%$ 。巴贡组直接泥岩盖层厚度范围在  $100 \sim 400 \text{ m}$ ;雀莫错组膏盐岩区域盖层厚度约  $200 \text{ m}$ 。它们构成“自生自储”和“上生下储”成藏组合(图 12a)。基于波里拉组-巴贡组烃源岩生烃强度和聚集系数评价,资源丰度取最小值  $10 \times 10^4 \text{ t/km}^2$  估算,区带资源量约在  $5 \times 10^8 \text{ t}$ 。

毕洛错—鄂斯玛地区有利区面积  $0.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。曲色组烃源岩厚度约  $200 \text{ m}$ , 其中曲色组二段优质烃

源岩厚度约  $50 \text{ m}$ ,  $TOC$  平均值高达  $5.30\%$ , 为优质烃源岩;巴贡组烃源岩厚度范围在  $50 \sim 100 \text{ m}$ , 为中等-差烃源岩。布曲组滩相白云岩厚度范围在  $50 \sim 100 \text{ m}$ , 孔隙度  $2.00\% \sim 15.00\%$ , 平均值  $8.00\%$ , 为优质储层。夏里组下部直接泥岩盖层厚度范围在  $100 \sim 200 \text{ m}$ ;夏里组中、上部膏盐岩区域盖层因剥蚀而不连续分布。它们构成“下生上储”成藏组合(图 12b), 保存条件存在风险。基于曲色组和巴贡组烃源岩生烃强度和聚集系数评价,资源丰度取最小值  $10 \times 10^4 \text{ t/km}^2$  计算,区带资源量约在  $8 \times 10^8 \text{ t}$ 。

### 3.2.2 页岩油气资源

羌塘盆地 2 口曲色组浅钻井(SBC02 井和 MGR01 井)和 2 口巴贡组浅钻井(SYG01 井和 SYG02 井)随清水循环液见油花,原油族组分由饱和烃、芳烃、沥青质和非烃构成,烃源岩处于中-高成熟液态烃演化窗口,“四性”(含油性、储集性、可压裂性和油的可动性)指标<sup>[23-32]</sup>佳(表 5),证实了羌塘盆地海相页岩油的客观存

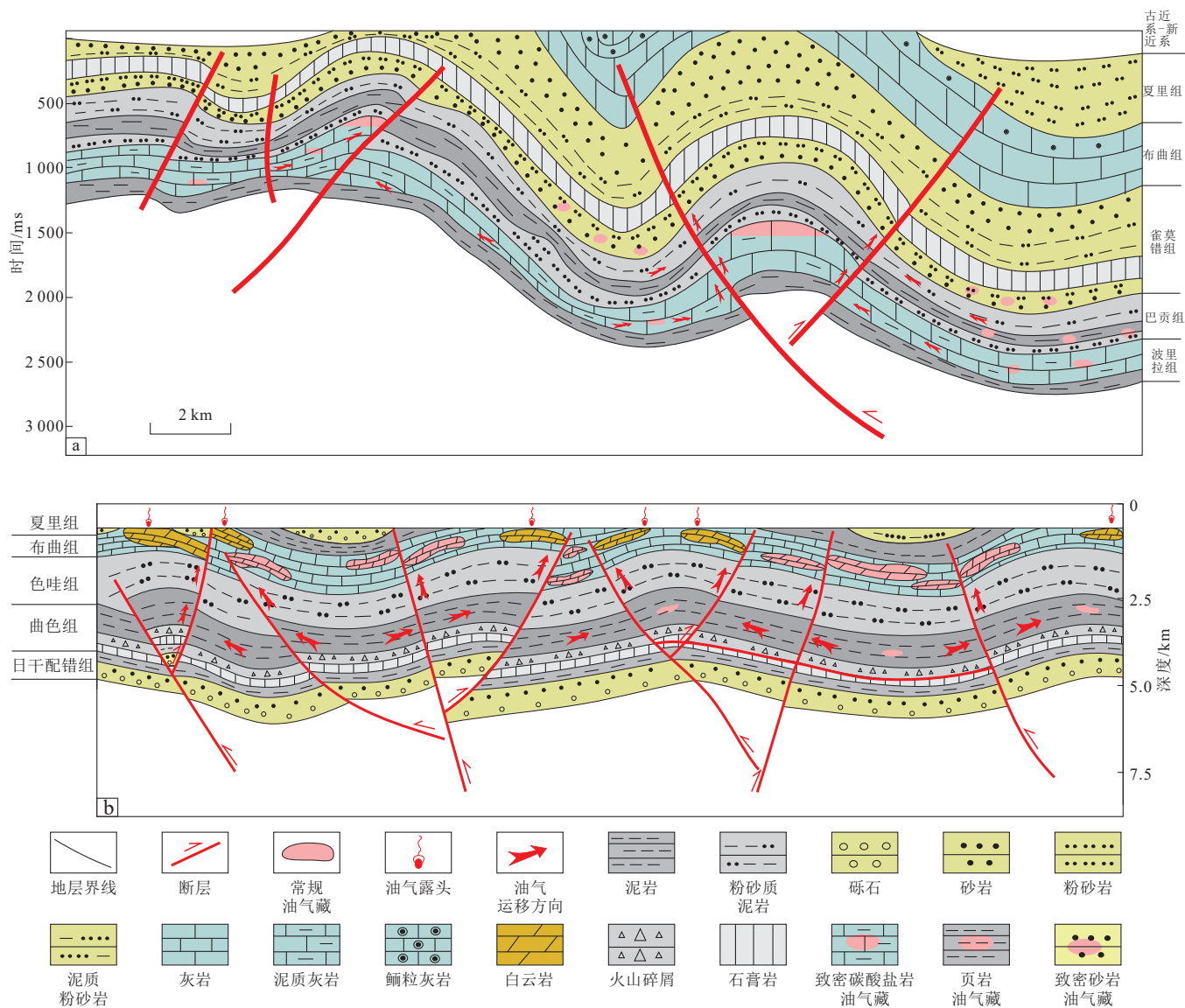


图12 羌塘盆地常规油气、页岩油气和致密砂岩油气藏剖面

Fig. 12 Sections of conventional, shale, and tight-sand hydrocarbon reservoirs in the Qiangtang Basin

a. 北羌塘坳陷波里拉组常规碳酸盐岩油气藏、波里拉组致密碳酸盐岩油气藏和巴贡组-雀莫错组致密砂岩油气藏剖面; b. 南羌塘坳陷布曲组常规碳酸盐岩油气藏和曲色组页岩油气藏剖面

在和商业价值<sup>[32-39]</sup>。

基于羌塘盆地巴贡组和曲色组2套烃源岩的厚度、TOC和 $R_o$ ,巴贡组和曲色组烃源岩生烃强度均按 $200 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 计算,巴贡组烃源岩分布面积按 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 计算、曲色组烃源岩分布面积按 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 计算,其生烃量分别达到 $2000 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $1000 \times 10^8 \text{ t}$ ,除去聚集的资源量、散失的资源量及残留在非甜点段的生烃量,即使按10%的残留率计算,残留在烃源岩(页岩油)甜点段的烃类也分别约为 $200 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $100 \times 10^8 \text{ t}$ ,它们构成了羌塘盆地页岩油非常重要的资源基础。

基于目前烃源岩“四性”评价成果,巴贡组和曲色

组是页岩油有利勘探层系,毕洛错—鄂斯玛地区、玛曲地区和胜利河地区是有利勘探区块。毕洛错—鄂斯玛地区有利区面积 $0.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,巴贡组页岩油资源量约 $16 \times 10^8 \text{ t}$ ,曲色组页岩油资源量约 $8 \times 10^8 \text{ t}$ (图12b)。玛曲地区有利区面积 $0.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,巴贡组页岩油资源量约 $10 \times 10^8 \text{ t}$ 。胜利河地区有利区面积 $0.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,曲色组页岩油资源量约 $10 \times 10^8 \text{ t}$ 。

羌塘盆地页岩油对圈闭和后期保存等成藏条件的要求远小于常规油气藏,导致与常规油气藏相比,分布面积广,这对强隆升、强改造的羌塘盆地来说具有更大的现实性。虽然采收率低、开发成本和技术要求高,但资源量大,是羌塘盆地非常重要的战略储备资源。

表5 中国陆相、海相页岩油与美国海相页岩油主要评价指标对比

Table 5 Comparison of major evaluation indicators between China's continental and marine shale oil and the marine shale oil of the United States

| 地区   | 盆地与层位              | 含油性                                |             |                   |                        | 储集性          |                    |            |
|------|--------------------|------------------------------------|-------------|-------------------|------------------------|--------------|--------------------|------------|
|      |                    | 有机质类型                              | TOC/%       | R <sub>o</sub> /% | S <sub>i</sub> /(mg/g) | 页岩岩相         | 储集空间类型             | 孔隙度/%      |
| 美国海相 | 威利斯顿盆地 Bakken 组    | I—II 型                             | 10.0 ~ 20.0 | 0.7~1.3           | 1.00 ~ 10.00           | 硅质页岩、粉砂岩     | 粒间孔、晶间孔、微裂缝、有机孔    | 2.5 ~ 12.0 |
|      | 墨西哥湾盆地 Eagleford 组 | II <sub>1</sub> —II <sub>2</sub> 型 | 4.0 ~ 7.0   | 0.5~2.0           | 0.40 ~ 7.40            | 硅质、钙质页岩及薄泥灰岩 |                    | 3.0 ~ 10.0 |
|      | 二叠盆地 Wolfcape 组    | I—II 型                             | 2.0 ~ 5.0   | 0.6~1.5           | < 4.00                 | 硅质、钙质泥页岩     |                    | 4.9 ~ 12.0 |
| 中国陆相 | 鄂尔多斯盆地延长组 7 段      | I—II 型                             | 5.0 ~ 16.0  | 0.6~1.1           | 1.00 ~ 6.00            | 泥页岩、粉砂岩      | 粒间孔、晶间孔、微裂缝、有机孔溶蚀孔 | 5.0 ~ 12.0 |
|      | 渤海湾盆地孔店组           | I—II 型                             | 1.5 ~ 10.0  | 0.4~1.1           | 1.00 ~ 10.00           | 泥灰岩、硅灰质泥页岩   |                    | 3.0 ~ 7.0  |
|      | 松辽盆地白垩系            | I—II 型                             | 0.9 ~ 3.8   | 0.5~1.2           | 1.00 ~ 3.00            | 硅质、灰质泥页岩     |                    | 4.0 ~ 8.0  |
|      | 准噶尔盆地二叠系芦草沟组       | II <sub>1</sub> 型                  | 3.0 ~ 12.0  | 0.6~1.2           | 1.00 ~ 6.00            | 云岩、云质砂泥岩     |                    | 6.0 ~ 16.0 |
| 中国海相 | 毕洛错—鄂斯玛地区曲色组       | II <sub>1</sub> —II <sub>2</sub> 型 | 5.4 ~ 8.3   | 0.5~1.3           | 0.20 ~ 6.60            | 硅质、灰质泥页岩     | 粒间孔、晶间孔、有机孔        | 3.8        |
|      | 玛曲地区巴贡组            | II <sub>1</sub> —II <sub>2</sub> 型 | 3.6         | 1.4~1.7           | 1.84                   | 硅质、灰质泥页岩     |                    | 2.8        |
|      | 胜利河地区曲色组           | II <sub>1</sub> —II <sub>2</sub> 型 | 8.4         | 0.7               | 7.20                   | 灰质泥岩         |                    | —          |

|      | 盆地与层位              | 可动性                      |          |             | 可压性      |           |               |
|------|--------------------|--------------------------|----------|-------------|----------|-----------|---------------|
|      |                    | 油密度/(g/cm <sup>3</sup> ) | 气/油比     | 压力系数        | 脆性矿物含量/% | 甜点段厚度/m   | 深度/m          |
| 美国海相 | 威利斯顿盆地 Bakken 组    | 0.81 ~ 0.83              | 50 ~ 375 | 1.30 ~ 1.60 | 73       | 20 ~ 50   | 2 100 ~ 3 300 |
|      | 墨西哥湾盆地 Eagleford 组 | 0.78 ~ 0.83              | 90 ~ 850 | 1.30 ~ 1.80 | 80       | 46 ~ 92   | 1 000 ~ 3 400 |
|      | 二叠盆地 Wolfcape 组    | 0.70 ~ 0.81              | > 350    | 1.50        | 70       | 40 ~ 135  | 2 200 ~ 3 300 |
| 中国陆相 | 鄂尔多斯盆地延长组 7 段      | 0.80 ~ 0.86              | 20 ~ 100 | 0.70 ~ 0.90 | 30 ~ 78  | 30 ~ 70   | 700 ~ 2 900   |
|      | 渤海湾盆地孔店组           | 0.67 ~ 0.86              | 50 ~ 100 | 1.30 ~ 1.90 | > 50     | 50 ~ 300  | 1 800 ~ 4 300 |
|      | 松辽盆地白垩系            | 0.82 ~ 0.85              | 50 ~ 100 | 1.00 ~ 1.20 | > 50     | 40 ~ 150  | 1 600 ~ 2 650 |
|      | 准噶尔盆地二叠系芦草沟组       | 0.87 ~ 0.92              | 10 ~ 20  | 1.20 ~ 1.50 | > 80     | 100 ~ 240 | 2 300 ~ 4 500 |
| 中国海相 | 毕洛错—鄂斯玛地区曲色组       | 0.84                     | —        | 1.20 ~ 1.45 | 78       | 35 ~ 65   | 2 000 ~ 2 500 |
|      | 玛曲地区巴贡组            | 0.86                     | —        | 1.20 ~ 1.45 | 55       | > 50      | 2 500 ~ 3 000 |
|      | 胜利河地区曲色组           | 0.89                     | —        | 1.20 ~ 1.45 | 63       | 21 ~ 72   | 2 000 ~ 2 500 |

注:“—”代表无数据。

### 3.2.3 致密砂岩油气资源

巴贡组烃源岩虽然品质不如曲色组烃源岩,但厚度大,生烃量大,与三角洲前缘分流河道细-中砂岩致密储层呈互层或夹层出现,可以形成互层或夹层型致密砂岩油气藏(图 12a)。夏里组泥岩虽然 TOC 小于 0.50%,甚至大多小于 0.30%,属差烃源岩,但厚度大,生成的烃类可以为夏里组滨岸相粉-细砂岩致密储层提供烃源,同样可以形成互层或夹层型致密砂岩油气藏。雀莫错组泥岩呈紫红色,难以为其所夹的致密砂岩储层提供烃源,但下部的巴贡组泥岩可以为其提供烃源,构成“下生上储”型致密砂岩油气藏。

致密砂(砾)岩油气藏,尤其是互层或夹层型致密砂岩油气藏,对圈闭和后期保存等成藏条件的要求远小于常规油气藏,导致与常规油气藏相比,其分布面积

广,这对强隆升、强改造的羌塘盆地来说具有更大的现实性。虽然采收率低、开发成本和技术要求高,但资源量大,是羌塘盆地非常重要的战略储备资源。

波里拉组碳酸盐岩除发育岩溶储层外,还发育纹层状泥质致密碳酸盐岩储层,其自身的 TOC 和泥灰岩、泥岩薄夹层的 TOC 均较高,是新的非常规油气资源类型(图 12a)。

## 4 结论

基于区域油气地质调查和烃源岩、储层基于剖面的建立,揭示羌塘盆地具备基本石油地质条件,并取得以下 3 项油气地质认识。

1) 羌塘盆地发育波里拉组、巴贡组和曲色组 3 套主力烃源岩,波里拉组灰岩岩溶和布曲组白云岩 2 套常规碳酸盐岩储层,巴贡组、雀莫错组和夏里组 3 套致



密砂岩储层,及雀莫错组和夏里组2套膏盐岩区域盖层,曾经发生过油气生成、运移和聚集的地质过程。

2) 生-储-盖的时-空匹配关系好,构成上三叠统-下侏罗统盐下和中-下侏罗统盐间2个含油气系统和波里拉组烃源岩-波里拉组岩溶储层-巴贡组下部泥岩盖层、波里拉组+巴贡组泥岩烃源岩-雀莫错组+巴贡组砂岩储层-雀莫错组中、上部膏盐岩盖层及曲色组烃源岩-布曲组白云岩储层+夏里组砂岩储层-夏里组膏盐岩/泥岩盖层3套成藏组合。

3) 羌塘盆地存在常规油气、页岩油气和致密砂岩油气3类油气资源。常规油气的储层为波里拉组岩溶储层和布曲组白云岩储层,致密砂岩油气的储层为巴贡组、雀莫错组和夏里组致密砂岩储层,页岩油气主要分布于波里拉组、巴贡组和曲色组3套主力烃源岩中。

羌塘盆地是一个强隆升复杂构造背景的含油气盆地,研究和勘探程度低,历经70余年的油气地质调查和勘探,未取得突破性进展。加速羌塘盆地油气勘探突破,需加强以下两方面的攻关工作:①加强地震攻关力度,受冻土层、强隆升构造背景等复杂地质条件的影响,基于目前地震技术获取的地震资料品质难以满足勘探需求。②加强油气地质基础研究工作,在此过程中可以部署一些参数井,结合露头与钻井资料,厘清生-储-盖条件及其时-空配置关系。

## 参 考 文 献

- [1] 朱日祥,赵盼,赵亮. 新特提斯洋演化与动力过程[J]. 中国科学(地球科学), 2022, 52(1): 1-25.  
ZHU Rixiang, ZHAO Pan, ZHAO Liang. Tectonic evolution and geodynamics of the Neo-Tethys Ocean[J]. Science China Earth Sciences, 2022, 52(1): 1-25.
- [2] 王忠伟,肖杨,占王忠,等. 羌塘盆地东部上三叠统巴贡组泥岩特征及油气地质意义[J]. 东北石油大学学报, 2022, 46(2): 1-12.  
WANG Zhongwei, XIAO Yang, ZHAN Wangzhong, et al. Geochemical characteristics of the upper Triassic Bagong Formation mudstones in Eastern Qiangtang Basin and its petroleum geological significance[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2022, 46(2): 1-12.
- [3] 李高杰,夏国清,伊海生,等. 西藏南羌塘坳陷泥质烃源岩评价及有利生烃区预测[J]. 地质论评, 2020, 66(5): 1241-1260.  
LI Gaojie, XIA Guoqing, YI Haisheng, et al. Characteristics of the Mesozoic marine argillaceous source rocks and prediction of favorable hydrocarbon generation area in South Qiangtang Depression, Xizang (Tibet)[J]. Geological Review, 2020, 66(5): 1241-1260.
- [4] 王剑,王忠伟,付修根,等. 青藏高原羌塘盆地首口油气科探井(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]. Chinese Science Bulletin, 2022, 67(3): 321-328.
- [5] 王剑,付修根,沈利军,等. 论羌塘盆地油气勘探前景[J]. 地质论评, 2020, 66(5): 1091-1113.  
WANG Jian, FU Xiugen, SHEN Lijun, et al. Prospect of the potential of oil and gas resources in Qiangtang Basin, Xizang (Tibet)[J]. Geological Review, 2020, 66(5): 1091-1113.
- [6] 彭清华,杜佰伟,谢尚克,等. 羌塘盆地昂达尔错白云岩古油藏地质特征及成藏条件[J]. 海相油气地质, 2016, 21(3): 48-54.  
PENG Qinghua, DU Baiwei, XIE Shangke, et al. Geological characteristics and hydrocarbon accumulation of Angdarco Jurassic dolostone paleo-reservoirs in Qiangtang Basin, Tibet[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2016, 21(3): 48-54.
- [7] 刘若涵,何碧竹,郑孟林,等. 羌塘盆地东部晚三叠世-侏罗纪构造-沉积演化[J]. 岩石学报, 2019, 35(6): 1857-1874.  
LIU Ruohan, HE Bizhu, ZHENG Menglin, et al. Tectonic-sedimentary evolution during Late Triassic-Jurassic period in the eastern part of the Qiangtang Basin, Tibet[J]. Acta Petrologica Sinica, 2019, 35(6): 1857-1874.
- [8] 赵珍,陆露,吴珍汉. 羌塘盆地中央隆起带的抬升演化: 构造-热年代学约束[J]. 地学前缘, 2019, 26(2): 249-263.  
ZHAO Zhen, LU Lu, WU Zhenhan. Uplifting evolution of the Central Uplift Belt, Qiangtang: Constraints from tectono-thermochronology[J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(2): 249-263.
- [9] 南征兵,张艳玲,李永铁,等. 羌塘中生代盆地演化特征[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(3): 534-540.  
NAN Zhengbing, ZHANG Yanling, LI Yongtie, et al. Evolution characteristics of the Qiangtang Basin in the Mesozoic Era[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(3): 534-540.
- [10] 王剑,付修根,谭富文,等. 羌塘中生代( $T_3-K_1$ )盆地演化新模式[J]. 沉积学报, 2010, 28(5): 884-893.  
WANG Jian, FU Xiugen, TAN Fuwen, et al. A new sedimentary model for the Qiangtang Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(5): 884-893.
- [11] 谭富文,张润合,王剑,等. 羌塘晚三叠世-早白垩世裂陷盆地基底构造[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2016, 43(5): 513-521.  
TAN Fuwen, ZHANG Runhe, WANG Jian, et al. Discussion on basement structures of the Late Triassic-Early Cretaceous Qiangtang rift basin in Tibet, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2016, 43(5): 513-521.
- [12] 李学仁,王剑,万友利. 羌塘盆地晚三叠世裂谷盆地演化——来自同裂谷期那底岗日组的证据[J]. 东北石油大学学报, 2018, 42(2): 23-32, 61.

- LI Xueren, WANG Jian, WAN Youli. Late Triassic rifted evolution of Qiangtang Basin: Evidence from the syn-rifting Nadigangri Formation[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2018, 42(2): 23-32, 61.
- [13] 沈安江, 熊绍云, 胡安平, 等. 羌塘盆地中生代岩相古地理研究新进展[J]. 海相油气地质, 2024, 29(1): 30-44.
- SHEN Anjiang, XIONG Shaoyun, HU Anping, et al. New progress in the study of Mesozoic lithofacies and paleogeography in Qiangtang Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2024, 29(1): 30-44.
- [14] 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.
- [15] 赵孟军, 张宝民. 库车前陆拗陷形成大气区的烃源岩条件[J]. 地质科学, 2002, 37(增刊1): 35-44.
- ZHAO Mengjun, ZHANG Baomin. Source rocks for a giant gas-accumulating area in the Kuqa foreland depression[J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(S1): 35-44.
- [16] 田纳新, 吴高奎, 刘静静, 等. 中大西洋被动陆缘盆地结构特征与勘探领域[J]. 石油实验地质, 2023, 45(3): 486-496.
- TIAN Naxin, WU Gaokui, LIU Jingjing, et al. Structural characteristics and exploration fields in passive continental margin basins of Central Atlantic[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2023, 45(3): 486-496.
- [17] 邓运华, 贾怀存, 刘琼. 大西洋被动陆缘盆地深水油气藏形成机理与勘探实践[J]. 中国海上油气, 2021, 33(6): 1-10.
- DENG Yunhua, JIA Huaicun, LIU Qiong. Formation mechanism and exploration practice of oil and gas reservoirs in deep water areas of passive continental margin basin in Atlantic Ocean[J]. China Offshore Oil and Gas, 2021, 33(6): 1-10.
- [18] 张功成, 米立军, 屈红军, 等. 中国海域深水油气地质[J]. 石油学报, 2013, 34(增刊2): 1-14.
- ZHANG Gongcheng, MI Lijun, QU Hongjun, et al. Petroleum geology of deep-water areas in offshore China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(S2): 1-14.
- [19] 李丹, 程涛, 尹川, 等. 巴西桑托斯盆地盐下拗陷期湖相烃源岩发育条件及其地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2024, 44(4): 145-154.
- LI Dan, CHENG Tao, YIN Chuan, et al. Potential of lacustrine source rock in the pre-salt depression stage and its geological significance in Santos Basin, Brazil[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2024, 44(4): 145-154.
- [20] 袁懿琳, 荆振华, 张斌, 等. 鄂尔多斯盆地北缘长7段烃源岩生物标志物特征与沉积环境分析[J]. 天然气地球科学, 2025, 36(2): 293-306.
- YUAN Yilin, JING Zhenhua, ZHANG Bin, et al. Biomarker characteristics and sedimentary paleoenvironment of Chang 7 source rocks in northern Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2025, 36(2): 293-306.
- [21] 胡安平, 沈安江, 张杰, 等. 碳酸盐岩-膏盐岩高频沉积旋回组合生-储特征——以鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组中-下组合为例[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(4): 943-956.
- HU Anping, SHEN Anjiang, ZHANG Jie, et al. Source-reservoir characteristics of high-frequency cyclic carbonate-evaporite assemblages: A case study of the lower and middle assemblages in the Ordovician Majiagou Formation, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(4): 943-956.
- [22] 张涛, 张亚雄, 金晓辉, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组碳酸盐岩-蒸发岩层系层序地层模式及其对源-储的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(1): 110-124.
- ZHANG Tao, ZHANG Yaxiong, JIN Xiaohui, et al. Sequence stratigraphy models of carbonate-evaporite successions and their controls on source rocks and reservoirs in the Ordovician Majiagou Formation, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(1): 110-124.
- [23] 金之钧, 朱如凯, 梁新平, 等. 当前陆相页岩油勘探开发值得关注的几个问题[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(6): 1276-1287.
- JIN Zhijun, ZHU Rukai, LIANG Xiping, et al. Several issues worthy of attention in current lacustrine shale oil exploration and development[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(6): 1276-1287.
- [24] 金之钧, 王冠平, 刘光祥, 等. 中国陆相页岩油研究进展与关键科学问题[J]. 石油学报, 2021, 42(7): 821-835.
- JIN Zhijun, WANG Guanping, LIU Guangxiang, et al. Research progress and key scientific issues of continental shale oil in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(7): 821-835.
- [25] 马永生, 蔡勋育, 赵培荣, 等. 中国陆相页岩油地质特征与勘探实践[J]. 地质学报, 2022, 96(1): 155-171.
- MA Yongsheng, CAI Xunyu, ZHAO Peirong, et al. Geological characteristics and exploration practices of continental shale oil in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2022, 96(1): 155-171.
- [26] 胡素云, 赵文智, 侯连华, 等. 中国陆相页岩油发展潜力与技术对策[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(4): 819-828.
- HU Suyun, ZHAO Wenzhi, HOU Lianhua, et al. Development potential and technical strategy of continental shale oil in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(4): 819-828.
- [27] 赵文智, 胡素云, 侯连华, 等. 中国陆相页岩油类型、资源潜力及与致密油的边界[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(1): 1-10.
- ZHAO Wenzhi, HU Suyun, HOU Lianhua, et al. Types and resource potential of continental shale oil in China and its boundary with tight oil[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(1): 1-10.
- [28] 杜金虎, 胡素云, 庞正炼, 等. 中国陆相页岩油类型、潜力及前景[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(5): 560-568.

- DU Jinhu, HU Suyun, PANG Zhenglian, et al. The types, potentials and prospects of continental shale oil in China [J]. *China Petroleum Exploration*, 2019, 24(5): 560–568.
- [29] 邹才能, 马锋, 潘松圻, 等. 全球页岩油形成分布潜力及中国陆相页岩油理论技术进展[J]. *地学前缘*, 2023, 30(1): 128–142.
- ZOU Caineng, MA Feng, PAN Songqi, et al. Formation and distribution potential of global shale oil and the developments of continental shale oil theory and technology in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2023, 30(1): 128–142.
- [30] 邹才能, 潘松圻, 荆振华, 等. 页岩油气革命及影响[J]. *石油学报*, 2020, 41(1): 1–12.
- ZOU Caineng, PAN Songqi, JING Zhenhua, et al. Shale oil and gas revolution and its impact [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2020, 41(1): 1–12.
- [31] 邹才能, 杨智, 崔景伟, 等. 页岩油形成机制、地质特征及发展对策[J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(1): 14–26.
- ZOU Caineng, YANG Zhi, CUI Jingwei, et al. Formation mechanism, geological characteristics and development strategy of nonmarine shale oil in China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(1): 14–26.
- [32] 沈安江, 付小东, 张建勇, 等. 羌塘盆地上三叠统一侏罗统海相页岩油特征及发现意义[J]. *石油勘探与开发*, 2023, 50(5): 962–974.
- SHEN Anjiang, FU Xiaodong, ZHANG Jianyong, et al. Characteristics and discovery significance of the Upper Triassic-Lower Jurassic marine shale oil in Qiangtang Basin, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2023, 50(5): 962–974.
- [33] 万友利, 王剑, 付修根, 等. 羌塘盆地南坳陷中侏罗统布曲组白云岩储层成因流体同位素地球化学示踪[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(1): 189–200.
- WAN Youli, WANG Jian, FU Xiugen, et al. Geochemical tracing of isotopic fluid of dolomite reservoir in the Middle Jurassic Buqu Formation in southern depression of Qiangtang Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(1): 189–200.
- [34] 张帅, 夏国清, 伊海生, 等. 羌塘盆地南部隆鄂尼地区布曲组鞍形白云石成因[J]. *石油与天然气地质*, 2016, 37(4): 483–489.
- ZHANG Shuai, XIA Guoqing, YI Haisheng, et al. Origin of saddle dolomites from the Buqu Formation of Longeni area in southern Qiangtang Basin [J]. *Oil and Gas Geology*, 2016, 37(4): 483–489.
- [35] 伍新和, 张丽, 王成善, 等. 西藏羌塘盆地中生界海相烃源岩特征[J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(3): 348–354.
- WU Xinhe, ZHANG Li, WANG Chengshan, et al. Characteristics of the Mesozoic marine source rocks in the Qiangtang Basin, Tibet [J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(3): 348–354.
- [36] 李亚林, 王成善, 黄继钧. 羌塘盆地褶皱变形特征、定型时间及其与油气的关系[J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(3): 283–289, 296.
- LI Yalin, WANG Chengshan, HUANG Jijun. Deformation characteristics and finalizing age of the folds in the Qiangtang Basin and their relations to oil and gas accumulation [J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(3): 283–289, 296.
- [37] 王成善, 伊海生, 刘池洋, 等. 西藏羌塘盆地古油藏发现及其意义[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 139–143.
- WANG Chengshan, YI Haisheng, LIU Chiyang, et al. Discovery of paleo-oil-reservoir in Qiangtang Basin in Tibet and its geological significance [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 139–143.
- [38] 赵光通, 李俊武, 邓翔, 等. 羌塘盆地隆鄂尼地区油砂矿地质特征及成藏模式[J]. *特种油气藏*, 2019, 26(2): 40–44.
- ZHAO Guangtong, LI Junwu, DENG Xiang, et al. Geology characterization and hydrocarbon accumulation pattern of oil sand in Longeni of Qiangtang Basin [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2019, 26(2): 40–44.
- [39] 夏国清, 伊海生, 李高杰, 等. 南羌塘坳陷布曲组油藏带特征及空间演化规律[J]. *岩性油气藏*, 2017, 29(1): 90–96.
- XIA Guoqing, YI Haisheng, LI Gaojie, et al. Characteristics and evolution of oil reservoir zones of Buqu Formation in the southern Qiangtang Depression [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2017, 29(1): 90–96.

(编辑 董奕含)