

羌塘盆地雀莫错地区巴贡组包裹体特征及充注期次

程乐利^{1,2}, 陈文彬³, 王剑⁴, 陈恭洋^{1*}, 万友利³, 李学仁³

CHENG Leli^{1,2}, CHEN Wenbin³, WANG Jian⁴, CHEN Gongyang^{1*}, WAN Youli³, LI Xueren³

1. 长江大学录井技术与工程研究院, 湖北 荆州 434023;

2. 油气资源与探测国家重点实验室/中国石油大学(北京), 北京 102249;

3. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081;

4. 西南石油大学羌塘盆地研究院, 四川 成都, 610500

1. Institute of Mud Logging Technology and Engineering, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China;

4. Qiangtang Institute of Sedimentary Basin, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China

摘要:上三叠统巴贡组是羌塘盆地最重要的含油气层系之一, 针对盆地东部雀莫错地区的巴贡组储层开展了流体包裹体岩相学、显微测温及显微荧光分析。结果表明, 砂岩中的盐水包裹体共记录了4期热流体活动, 在第2~3期热流体活动中, 检测到了2类含油相包裹体: 数量较少的发黄绿色荧光油包裹体主要分布于石英颗粒内裂纹中, 数量较多的发蓝色荧光油包裹体主要分布于石英次生加大边中。根据2类油包裹体的产状分布和荧光光谱特征, 综合地层埋藏史和生烃史分析, 认为二者共同代表了一次晚侏罗世的油气充注, 与盆地中部地区一致。

关键词:羌塘盆地; 雀莫错地区; 巴贡组; 有机包裹体; 充注期次

中图分类号: P618.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2021)09-1493-09

Cheng L L, Chen W B, Wang J, Chen G Y, Wan Y L, Li X R. Organic inclusion and hydrocarbon charging events of the Bagung Formation in the Quemoco area, Qiangtang Basin. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(9): 1493-1501

Abstract: The Upper Triassic Bagung Formation is one of the most important hydrocarbon-bearing strata in the Qiangtang Basin. Based on the analysis of fluid inclusion facies, microscopic temperature measurement and microscopic fluorescence analysis, the brine inclusions in the sandstone of the Bagung Formation in Quemoco area recorded 4 stages of thermal fluid activity, of which the second to the third stage fluid contain two types of oil phase inclusions. In stage 2 to stage 3 of thermal fluid activity, a small number of yellowish fluorescent oil inclusions are mainly distributed in the cracks within the quartz particles, and a large number of blue fluorescent oil inclusions are mainly distributed in the quartz secondary enlarged side. Based on the occurrence and fluorescence spectrum characteristics of the two types of oil inclusions, combined with comprehensive analysis of stratigraphic burial history and hydrocarbon generation history, it is considered that they represent a period of Late Jurassic oil and gas filling, which is consistent with the central basin.

Key words: Qiangtang Basin; Quemoco area; Bagung Formation; organic inclusion; hydrocarbon charging events

羌塘盆地为中国陆域范围内仅存的尚未勘探的大型沉积盆地之一, 普遍观点认为羌塘盆地侏罗

系具有较好的烃源岩潜力^[1-5], 特别是在昂达尔错地区发现大规模的侏罗系古油藏带^[6-7]。然而多年

收稿日期: 2019-11-01; 修订日期: 2021-06-11

资助项目: 中国地质调查局项目《羌塘盆地金星湖—隆鄂尼地区油气资源战略调查》(编号: 121201010000161110) 和油气资源与探测国家重点实验室开放课题《典型陆相页岩油甜点成因及评价方法研究》(编号: PRP/open-2104)

作者简介: 程乐利(1987-), 男, 博士, 讲师, 从事储层地质及录井地质研究。E-mail: chengleli@yangtzeu.edu.cn

* 通信作者: 陈恭洋(1963-), 男, 博士, 教授, 从事石油地质研究。E-mail: gychen8888@126.com

来的地表地质调查证实,由于经历了白垩纪以来的隆升作用^[8],羌塘盆地的侏罗系大规模出露地表,其上覆盖层在平面上分布有限,因而侏罗系含油气单元的成藏条件较差^[9]。与侏罗系不同的是,上三叠统露头均分布于坳陷边缘,在北羌塘坳陷内部未见出露,因而从保存条件的角度考虑,上三叠统含油气单元的成藏前景较侏罗系更优。王剑等^[9]研究发现,上三叠统三角洲相砂岩(南部)和深水浊积砂岩(北部)发育,可作为储集层;其自身内部的泥页岩、那底岗日组火山岩和雀莫错组泥岩及膏盐岩作为盖层,据此推测,上三叠统可形成自生自储型的含油气系统。

流体包裹体技术可以较好地检测岩石内部丰富的成藏成矿信息^[10-11],也可以提供油气藏形成的时间、古地温、古流体成分及化学组成、运移路径、成藏成矿位置等^[12],是研究油气运移,聚集成藏时间、期次等关键油气地质问题的有效方法。针对羌塘盆地上三叠统的油气成藏前景,已有学者在盆地内不同地区开展了流体包裹体研究:许建华等^[13]在成岩作用研究的基础上,对盆地西部吓先错地区的肖茶卡组泥晶灰岩储层的裂缝充填物进行了流体包裹体研究,认为方解石胶结物有2期,其包裹体测温结果对应的沉积时期约为上侏罗统索瓦组沉积时期,而油气运移充填时间晚于胶结作用,不利于油气成藏;卢明国等^[14]在坳陷北部多格错仁地区上三叠统中采集了断层充填物样品进行流体包裹体测试,推测该套地层中包裹体形成时的埋深区间主要为2272~3980 m,形成的地质时代为早侏罗世中期—中侏罗世早期,运移方式以液态烃为主;杨文光等^[15]对北羌塘坳陷拉雄错地区菊花山组的流体包裹体进行了研究,认为该地区晚三叠世有2期含油气流体活动,分别对应油气大量生成的成熟阶段和凝析油生成的高成熟阶段;占王忠等^[16]对盆地中部鄂纵错地区羌资6井的上三叠统储层样品进行了包裹体分析,认为存在4期油气充注。这些研究多集中于灰岩或裂缝充填物方面,且结论差异较大。本文对雀莫错地区巴贡组砂岩储层进行了流体包裹体研究,结合盆地的古地温资料和储层埋藏史,确定了烃类包裹体形成的古埋深及地质时代,综合地表露头的油气显示,确定了巴贡组储层可能的油气充注时间,为下一步勘探选区工作提供地质依据。

1 地质背景

羌塘盆地北界为拉竹龙—金沙江缝合带,南界为班公湖—怒江缝合带,整体呈近东西向长条状展布,其构造格局具有“两坳一隆”^[17]的特点。根据地球物理资料反映的基底构造、中生代地层充填类型及构造变形特点,可将羌塘中生代沉积盆地划分为南羌塘坳陷、中央隆起带和北羌塘坳陷3个次级构造单元^[18](图1-a)。参照区域构造、地层特征、岩浆作用及变质作用的特点,羌塘盆地的构造演化可划分为3个阶段:第一阶段为基底形成阶段,羌塘地块的前泥盆纪是一套变质的杂岩组合,在经过加里东运动的改造后,由褶皱基底和结晶基底共同形成古隆起区,说明该区在泥盆纪之前经历了裂谷—大洋—大陆的构造旋回;第二阶段为沉积建造期,该时期羌塘盆地主要经历了裂谷盆地—前陆盆地—裂陷盆地的演化过程,形成羌塘盆地沉积地层的主体部分;第三阶段为变形改造期,侏罗纪末期以来的燕山运动和喜马拉雅运动使盆地进入全面改造时期,大致可分为侏罗纪末期—白垩纪的萎缩阶段和古近纪之后的区域强烈抬升阶段。

2 测试方法

以北羌塘坳陷巴贡组砂岩储层为研究对象,在雀莫错剖面(图1-b)采集包裹体样品10件。在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室进行了包裹体均一化温度(T_h)和冰融点温度测定、有机包裹体荧光分析等测试,所用仪器为Linkam THMS 600G冷热台(分析精度 0.1°C 左右)。本次样品共获得108个测温数据,同时收集了羌塘盆地其他地区流体包裹体和生烃史研究成果,用于对比研究。

3 实验结果

3.1 包裹体岩相学特征

根据镜下包裹体的特征和室温下的相态,砂岩样品中包裹体可分为盐水溶液包裹体和烃类包裹体两大类。

(1)盐水包裹体。在巴贡组砂岩中较常见(图版I),大部分产出于石英的破裂愈合缝中,其次产出于石英的次生加大边中。盐水包裹体的直径主要为 $2\sim 5\ \mu\text{m}$,平均 $4\ \mu\text{m}$,形态以椭圆形或圆形为

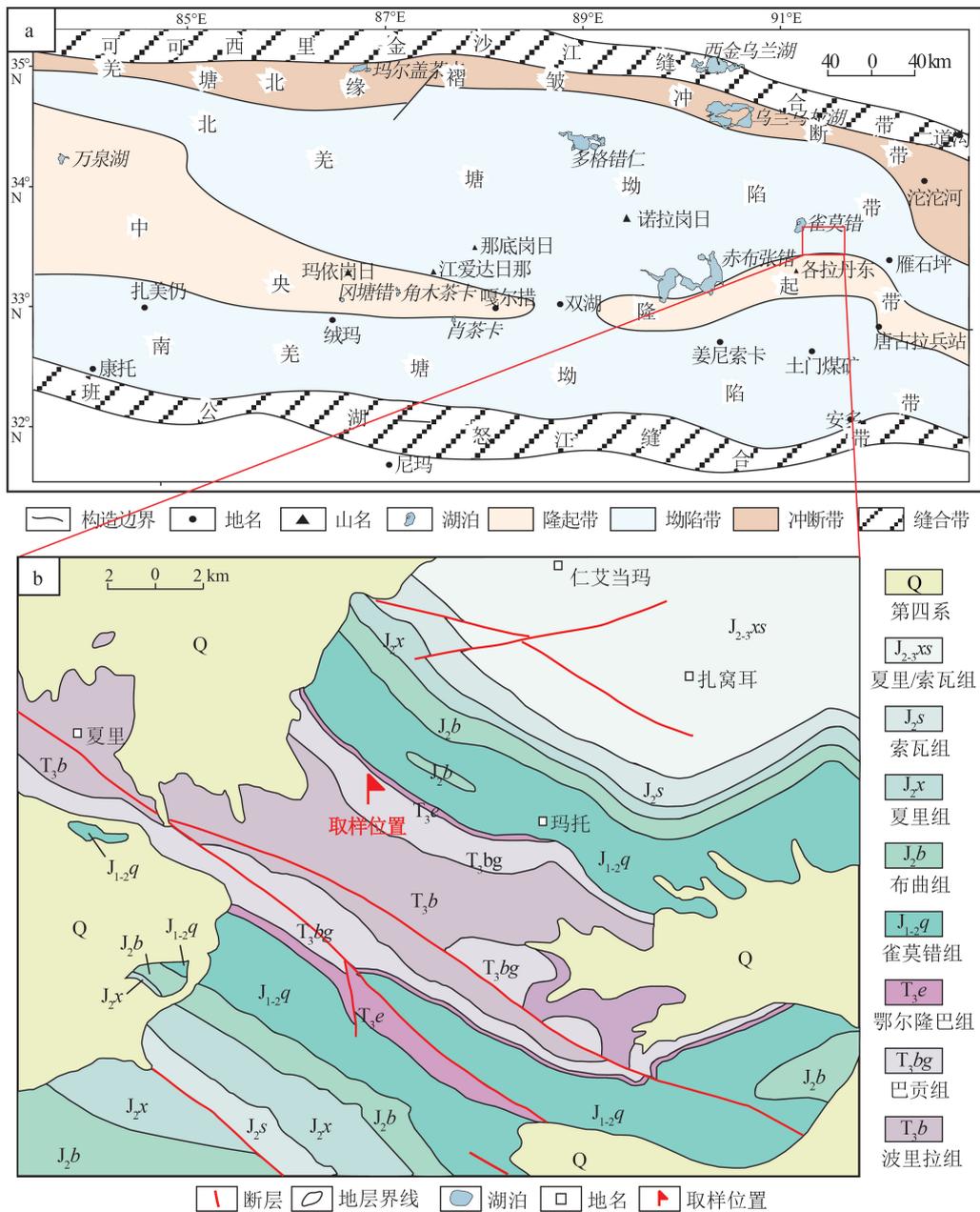


图 1 羌塘盆地构造分区(a)及取样位置(b)

Fig. 1 Tectonic subdivisions(a) of the Qiangtang Basin and the location of samples(b)

主,多沿石英破裂愈合缝呈带状分布,少量呈孤立状分布,在镜下呈无色透明状。根据包裹体相态,可细分为气液两相和纯液相 2 种类型。

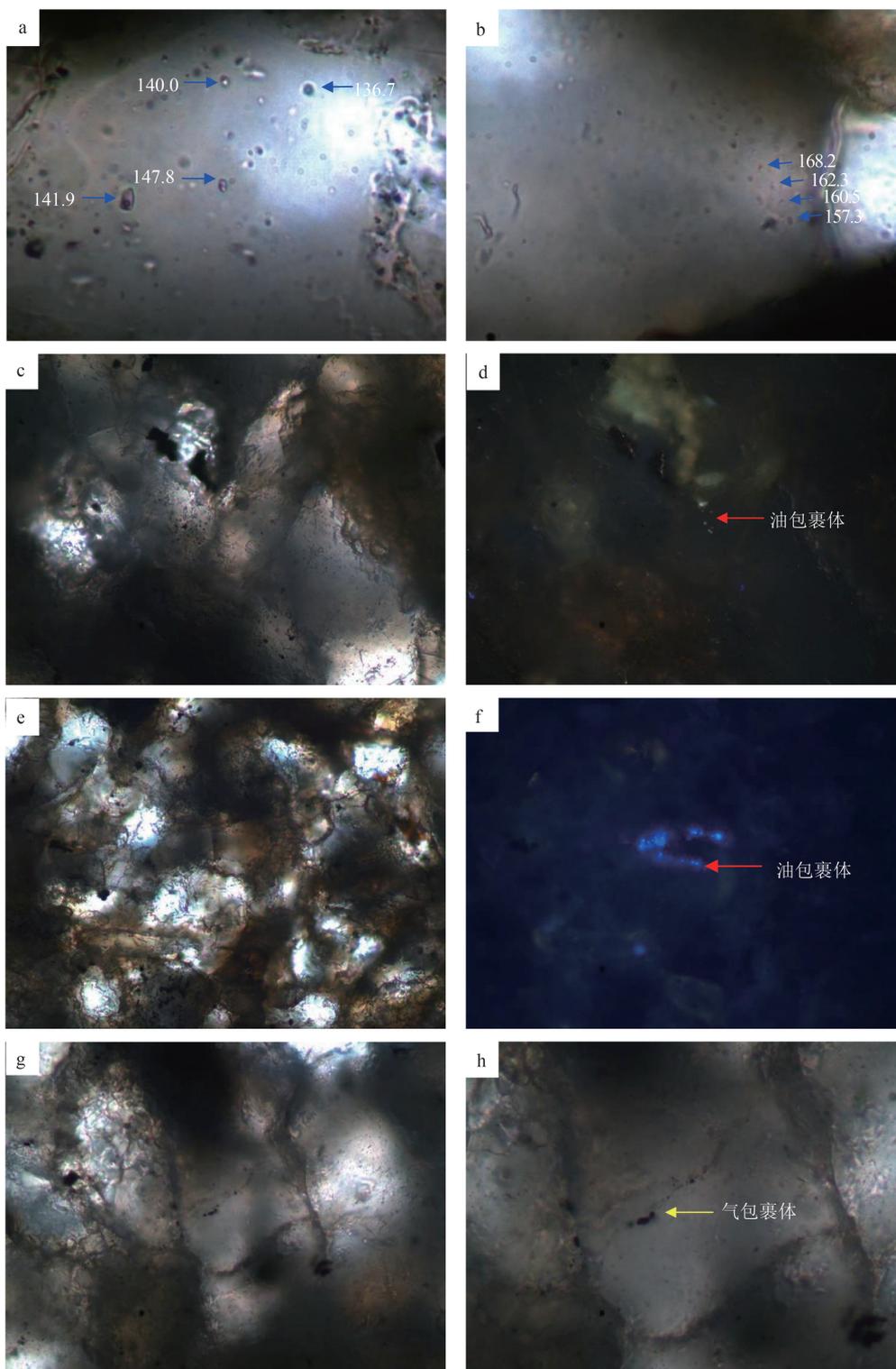
(2) 烃类包裹体。在巴贡组储层中主要分布于石英破裂愈合缝和加大边中(图版 I -a、b),大小介于 3~5 μm 之间,形状多为圆形或不规则状。在荧光显微镜和偏光显微镜下可见有纯液相、气液两相和纯气相 3 种类型。含液态烃包裹体的荧光颜色有蓝色和黄色 2 种类型,其中以荧光为蓝色的液态烃

包裹体为主,分布于石英次生加大边中(图版 I -b),而荧光为黄色的液态烃包裹体数量较少,主要存在于石英破裂愈合缝中(图版 I -a)。

3.2 包裹体均一温度

测定与烃类包裹体共生的盐水包裹体均一温度分布情况,可用作油气成藏幕次划分的有效依据^[19]。根据流体包裹体宿主矿物的产状(图版 I),结合“15℃间隔原则”^[20-21],雀莫错地区巴贡组至少存在 4 期热流体活动。各时期流体包裹体的均一温

图版 I Plate I



a. 样品编号 BG-1, 石英颗粒裂缝中的盐水包裹体呈分散状分布, $\times 400$ tr; 图中数字为包裹体均一温度 ($^{\circ}\text{C}$);
 b. 样品编号 BG-1, 石英颗粒裂缝中的盐水包裹体呈带状沿裂缝分布, $\times 400$ tr; c. 样品编号 BG-4, 石英颗粒中见穿石英颗粒裂纹的单一液态烃包裹体, 颗粒间可见残留沥青, $\times 200$ tr; d. c 中的单一液态烃相包裹体在显微荧光下发黄色荧光, $\times 200$ uv; e. 样品编号 BG-1, 石英次生加大边中的单一液态烃包裹体, 颗粒间可见残留沥青, $\times 100$ tr; f. e 中的单一液态烃包裹体在显微荧光下发蓝色荧光, $\times 100$ uv; g. 样品编号 BG-1, 穿石英颗粒裂纹中见不发荧光单一气相包裹体, $\times 100$ tr; h. g 的局部放大, $\times 200$ tr. tr—透射光; uv—紫外光

度分别为:第1期 65~90℃,主峰 80~85℃;第2期 90~115℃,主峰 105~110℃;第3期 115~160℃,主峰 135~145℃;第4期 160~190℃,主峰 165~175℃,可以较好地与盆地中部鄂纵错地区^[16]发现的前4期热流体活动对应。其中,第2期至第3期的热流体活动中,检测到了同期的含油相包裹体(图版 I -d、f)。需要说明的是,关于纯气相包裹体,因产出较少,且未找到可供测试的共生盐水包裹体,故未获得均一温度数据。发现的黄色油包裹体的均一温度主要为 96.2~103.5℃,平均温度为 99.85℃;蓝色油包裹体的均一温度主要为 108~126.7℃,平均温度为 115.6℃。

3.3 油包裹体的显微荧光特征

有机包裹体特别是含油包裹体的荧光颜色是鉴定含油包裹体和划分油气成熟度最直接的手段^[22]。石油的荧光性来自芳烃的共轭 π 键体系和碳氧官能团,荧光的颜色与烃类中有机质的热演化程度息息相关,即随着有机质的热演化程度升高,液态烃的荧光颜色具有从褐色→橘黄色→浅黄色→蓝色→蓝白色的演变趋势^[23-24]。但仅通过镜下的肉眼观察判断烃类成熟度的途径受人为因素影响较大^[25],利用荧光光谱对烃类包裹体的荧光光谱进行研究则有效避免了这一问题^[26-27]。

油包裹体的显微荧光光谱特征是在观察包裹体荧光颜色的基础上,对荧光强度和光谱特征进行更加准确地测量,以便获得更多的与油气相关的信息^[25,28-29]。本次在巴贡组取得的10个油包裹体,在荧光下主要发黄光和蓝色荧光。数量较少的发黄光油包裹体主要分布于石英颗粒的裂纹中,数量较多的发蓝色荧光油包裹体主要分布于石英次生加大边中。利用 Maya2000 微束荧光光谱仪进行显微光谱测定,获得了前述样品中油包裹体的微束荧光光谱。测试结果显示(图3),同种荧光颜色的油包裹体的光谱结果,其光谱整体形态和结构大致相同,主峰波长基本相同,黄色荧光油包裹体的主峰波长约 440 nm,蓝色荧光油包裹体的主峰波长约 456 nm。

传统观点认为,随着光谱主峰值的减少,其荧光存在“蓝移”现象,石油包裹体成熟度增加;反之,主峰值增大,荧光“红移”,石油包裹体成熟度减少^[30-32]。从荧光颜色和主峰波长结果看,发黄光油包裹体的成熟度稍低,而发蓝色荧光油包裹体

的成熟度稍高。与盆地中部鄂纵错地区^[16]相比,本次在雀莫错地区发现的油包裹体成熟度更高。

4 埋藏史和生烃史

烃源岩有机质向烃类的转化,主要取决于温度和埋藏时间。根据构造发展史、地层厚度、古地温梯度等资料,可以得到研究区的烃源层埋藏史曲线,用以恢复烃源层在不同地质时期所经历的温度和深度,结合有机包裹体结果,可以划分油气生成期次^[33]。羌塘盆地纵向上发育多套烃源岩层系,对巴贡组的致密砂岩储层而言,垂向上距离最近、生烃条件最好的烃源岩层系为巴贡组内部的三角洲相煤系地层烃源岩^[4,18,34],因此生烃史分析主要围绕巴贡组进行讨论。需要补充的是,由于缺乏油源对比资料的支持,本次发现的油气包裹体不排除来自上覆地层的可能。

4.1 埋藏史恢复

本次对埋藏史的恢复主要依据地表剖面进行模拟,并利用井下资料进行部分校正,结果显示(图4):受金沙江缝合带会聚碰撞的影响,前上三叠统在约 225 Ma 之前一直处于下降,之后经历了短暂的抬升剥蚀;在 220 Ma,由于受到区域性火山活动的影响,埋深迅速增加,这一变化可持续到约 205 Ma。在 205~175 Ma,北羌塘仅部分地区接受沉积,而其他地区可能仍处于剥蚀区,上述地层的埋藏深度略有下降;进入中侏罗世后,北羌塘盆地巴贡组再次进入快速埋藏阶段,此时埋深可达 6000 m;白垩纪以来,上述地层的埋藏经历了抬升、下降、抬升、再下降、再抬升的过程。

4.2 生烃史分析

通过埋藏史的恢复,结合古地温史,可以重建盆地的热史模型,进而为下一步生排烃史模拟提供温度场。因缺乏深钻井资料且露头数据有限,关于羌塘盆地的古地温梯度尚存一定分歧^[35]。王剑等^[4]通过计算同一区域内不同深度的同期包裹体温度之差的方法,得到了羌塘盆地各地区的地温梯度值为 26.3~26.5℃/km,本次研究取其平均值 26.4℃/km。利用时间-温度指数(TTI)的有机质成熟度预测方法^[36],结合古埋藏史,建立了北羌塘坳陷巴贡组烃源岩的生烃演化史(图4)。

巴贡组在约 175 Ma 之前经历了快速埋藏-隆升-快速埋藏-缓慢隆升的过程,有机质成熟度一直

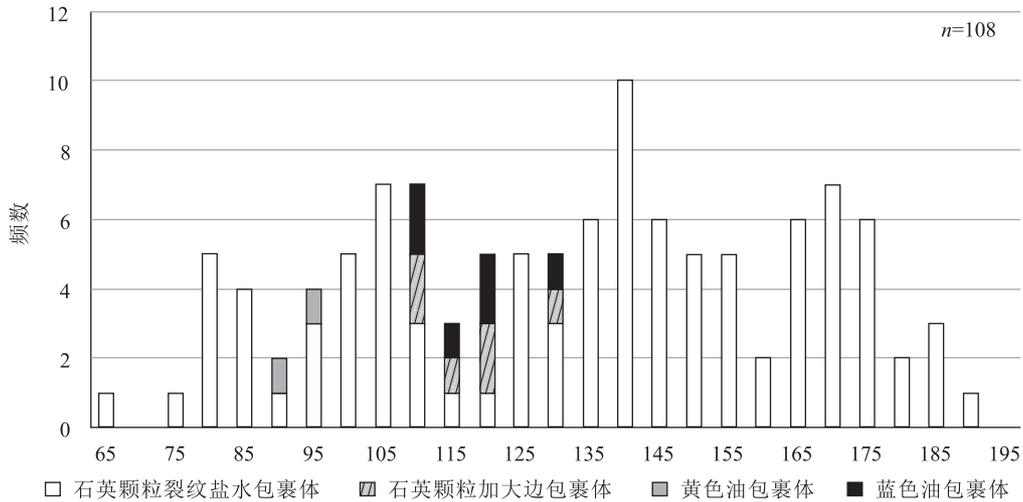


图2 巴贡组不同类型包裹体均一温度分布

Fig. 2 The temperature of different fluid inclusions in the Bagung Formation

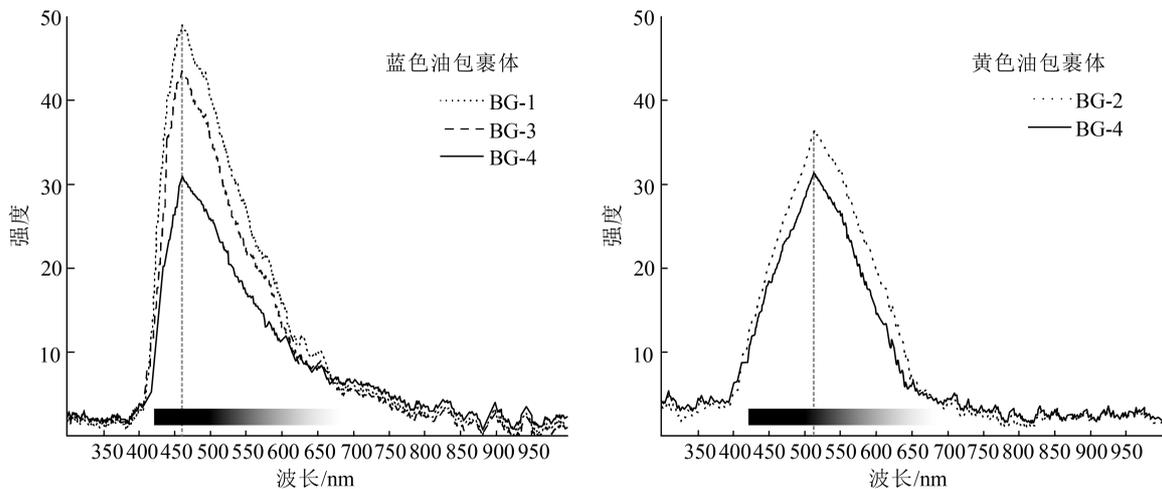


图3 油包裹体显微荧光光谱特征

Fig. 3 The microspectrofluorimetric graph of oil inclusions

较低;直到早侏罗世晚期(约 175 Ma), TTI 达到 3, 干酪根镜质体反射率达到 0.5%, 开始进入生油门限;到中侏罗世晚期(约 164 Ma), TTI 达到 20, 干酪根镜质体反射率达 0.7%, 进入生油高峰;随着埋藏深度的不断增加,到晚侏罗世早期(约 157 Ma), 巴贡组烃源岩 TTI 达到 160, 干酪根镜质体反射率达到 1.3%, 进入湿气阶段;到晚侏罗世晚期(约 148 Ma), TTI 达到 900, 干酪根镜质体反射率达到 2.0%, 有机质进入过成熟演化阶段, 已形成的液态烃和重质的气态烃发生强烈裂解, 形成甲烷, 进入干气阶段, 持续至今。尽管之后羌塘盆地经历了再

次埋深与抬升的过程, 但对巴贡组烃源岩有机质演化过程的影响并不明显。

5 充注期次分析

由于羌塘盆地内尚未发现地下油气藏, 因此本次主要通过地表样品中的含烃流体包裹体及地表油气显示进行分析。

从荧光颜色和主峰波长结果看, 发黄色荧光油包裹体的成熟度稍低, 而发蓝色荧光油包裹体的成熟度稍高(图 3)。但需要考虑的是, 油包裹体的荧光特性主要来自于多环芳烃及杂环化合物

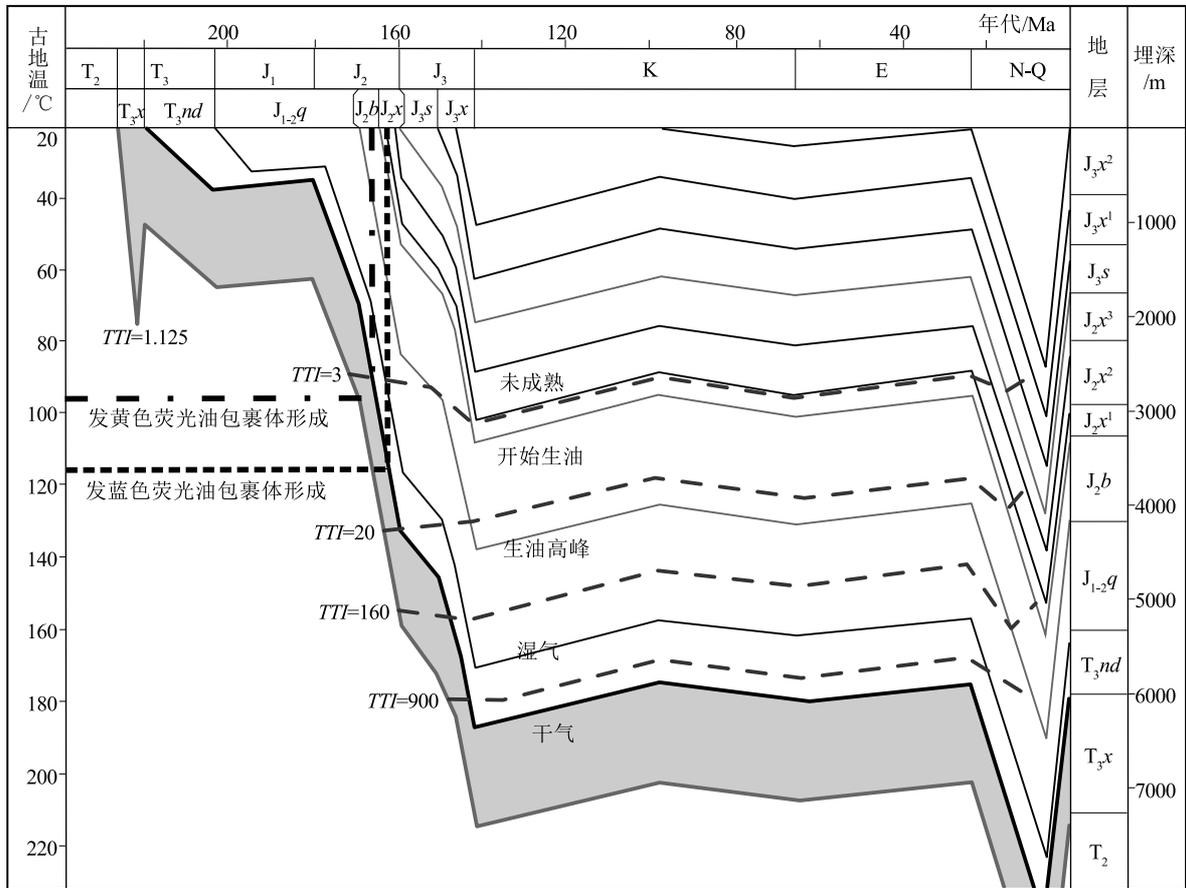


图 4 北羌塘坳陷巴贡组地层埋藏-生烃史(据参考文献[9]修改)

Fig. 4 The burial history and hydrocarbon generation history in Bagong Formation in the northern Qiangtang depression

Q—第四系;N—新近系;E—古近系;K—白垩系;J₃x—雪山组;J₃s—索瓦组;J₂x—夏里组;J₂b—布曲组;

J₁₋₂q—雀莫错组;T₃nd—那底岗日组;T₃x—肖茶卡组;T₂—中二叠统;TTI—时间温度指数

等发光团,而荧光光谱分布与复杂的液体烃化学结构并未建立很好的对应关系^[37]。在初次油气充注之后继续埋藏的地层中,已形成的油包裹体会经历更高温度(较形成时而言),可能发生的等容油裂解作用会导致油包裹体的内压发生改变,其组成成分和显微荧光颜色也会随之变化,所以单纯利用油包裹体的荧光颜色划分油气成藏期次并不可靠^[38]。综合各方面分析,认为这 2 种油包裹体共同代表了巴贡组储层中的一次油气充注,原因如下。

(1) 2 种不同荧光颜色的油包裹体均一温度较接近,平均差值不足 16℃(图 2),从包裹体期次划分角度看,二者的生成时间非常接近,可能形成于同一期地层流体活动。

(2) 二者在生烃史曲线的投影(图 4)均处于巴

贡组烃源岩开始生油到生油高峰之间的阶段,在未考虑其他因素的情况下,2 种包裹体内部的烃类均归属于烃源岩初始排烃时期,其初始物质组成没有太大差别。

(3) 盆地东部的巴贡组在早侏罗世晚期(约 175 Ma)—中侏罗世晚期(约 164 Ma)一直处于快速埋藏过程中,地层中初期充注的油气在埋深不断增加、温度不断升高(流体包裹体均一温度最高可达 190℃)的情况下,可以裂解形成有机成熟度较低的烃类,后者被包裹体捕获,形成显微荧光呈蓝色的油包裹体。

(4) 发黄色荧光油包裹体的数量比发蓝色荧光油颜色包裹体少得多,可能是由于部分早期捕获的成熟度较低的发黄色荧光油包裹体经历了热裂解作用,转化为发蓝色荧光油包裹体。

结合前文的埋藏史和生烃史模拟结果推测,雀莫错地区巴贡组储层至少经历了1期液态油充注(图4);进入早侏罗世晚期(约175 Ma)后,巴贡组烃源岩进入生烃门限,中侏罗世晚期—晚侏罗世早期达到成熟阶段,进入生油高峰,下伏的泥质烃源岩开始大量生烃,并形成以发黄色荧光油包裹体为代表的成熟油气,粒间见到的残留沥青(图版 I-c、e)可能为此期充注的油遭受破坏而形成。而于中侏罗世晚期形成的发蓝色荧光油包裹体有2种成因:①由前期捕获的发黄色荧光油包裹体经历热裂解形成;②由前期充注的油气经历热裂解后被次生加大石英所捕获形成。该时期可与盆地中部鄂纵错地区的第2~3期油充注对应^[16]。

6 结论

(1)雀莫错地区巴贡组储层中发育盐水包裹体和烃类包裹体2类,根据均一温度的分布特点,盐水包裹体代表了4期热流体活动;第1期65~90℃,主峰为80~85℃;第2期90~115℃,主峰为105~110℃;第3期115~160℃,主峰为135~145℃;第4期160~190℃,主峰为165~175℃。其中,第2~3期热流体活动中,检测到同期的含油相包裹体。含油包裹体的赋存形式以石英次生加大边和石英破裂愈合缝为主。

(2)根据油包裹体的显微荧光特征,发黄色荧光油包裹体的成熟度稍低,而发蓝色荧光油包裹体的成熟度稍高。根据2种油包裹体的产状和分布特点,结合地层埋藏史和生烃史分析,认为2种油包裹体共同代表了一次油气充注,大致相当于晚侏罗世。这期充注与在盆地中部该时期的液态油充注同步。

致谢:衷心感谢中国地质调查局成都地质调查中心羌塘油气项目组全体成员在野外工作中提供的帮助,感谢审稿专家提出的有益建议。

参考文献

[1] 胡明毅, 龚文平, 文志刚, 等. 羌塘盆地三叠系、侏罗系石油地质特征和含油远景评价[J]. 石油实验地质, 2000, 22(3): 245-249.
 [2] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原原羌塘盆地石油地质[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 23-26.
 [3] 秦建中. 羌塘盆地有机质热演化与成烃史研究[J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 350-358.
 [4] 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.
 [5] 陈文彬, 廖忠礼, 刘建清, 等. 西藏南羌塘盆地侏罗系烃源岩地球化学特征[J]. 现代地质, 2010, 24(4): 654-661.
 [6] 赵政璋, 李永铁, 王岫岩, 等. 羌塘盆地南部海相侏罗系古油藏例析[J]. 海相油气地质, 2002, 7(3): 34-36.
 [7] 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.
 [8] 陈文彬, 付修根, 谭富文, 等. 藏北羌塘盆地上三叠统典型剖面烃源岩地球化学特征研究[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 1151-1160.
 [9] 王剑, 丁俊, 王成善, 等. 青藏高原油气资源战略选区与评价[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 25-28.
 [10] 侯建国, 任丽华, 董春梅. 有机包裹体技术在油气运移与聚集中的应用研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(4): 409-413.
 [11] 谢小峰, 杨坤光. 黔东盘石—盘信地区铅锌矿床 Rb-Sr 等时线年龄与流体包裹体特征及其找矿意义[J]. 地质通报, 2021, 40(5): 772-781.
 [12] 欧光习, 李林强, 孙玉梅. 沉积盆地流体包裹体研究的理论与实践[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25(1): 1-11.
 [13] 许建华, 候中昊, 王金友, 等. 羌塘盆地流体包裹体特征及其在储层成岩研究中的应用[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 81-86.
 [14] 卢明国, 童小兰. 羌塘盆地油气运移史探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(3): 380-384.
 [15] 杨文光, 朱利东, 付巧园, 等. 羌塘盆地上三叠统菊花山组(T_{3j})流体包裹体特征研究[C]//2015年全国沉积学大会沉积学与非非常规资源论文摘要集, 2015: 263.
 [16] 占王忠, 格桑旺堆. 羌塘盆地鄂纵错地区上三叠统储层流体包裹体研究[J]. 断块油气田, 2018, 25(1): 52-56.
 [17] 王成善, 伊海生, 李勇, 等. 西藏羌塘盆地地质演化与含油气远景评价[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 187.
 [18] 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: 89-90.
 [19] Mark D F, Parnell J, Kelley S P, et al. Dating of multistage fluid flow in sandstones[J]. Science, 2005, 309(5743): 2048-2051.
 [20] Goldstein R H, Reynolds T J. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals[M]. SEPM Short Course, 1994, 310: 1-85.
 [21] 陈红汉, 吴悠, 肖秋荷, 等. 昌都盆地古油藏的流体包裹体证据[J]. 地质学报, 2010, 84(10): 1457-1469.
 [22] Goldstein R H. Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems[J]. Lithos, 2001, 55(1/4): 159-193.
 [23] Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. Englewood Cliffs, NJ(United States). Prentice Hall, 1993.
 [24] Przyjalowski M A, Ryder A G, Glynn T J. Analysis of hydrocarbon-bearing fluid inclusions (HCFI) using time-resolved fluorescence spectroscopy[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2016, 5826: 173-184.
 [25] 方欣欣, 甘华军, 姜华, 等. 利用石油包裹体微束荧光光谱判别塔北碳酸盐岩油气藏油气充注期次[J]. 地球科学, 2012, 37(3): 580-586.

- [26] 柳少波, 顾家裕. 流体包裹体成分研究方法及其在油气研究中的应用[J]. 石油勘探与开发, 1997, 3: 29-33.
- [27] 吕修祥, 周新源, 李建交, 等. 塔里木盆地塔北隆起碳酸盐岩油气成藏特点[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1057-1064.
- [28] Liu K, Eadington P. Quantitative fluorescence techniques for detecting residual oils and reconstructing hydrocarbon charge history[J]. *Organic Geochemistry*, 2005, 36(7): 1023-1036.
- [29] 李纯泉, 陈红汉, 刘惠民. 利用油包裹体微束荧光光谱判识油气充注期次[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2010, 35(4): 657-662.
- [30] Dumke I, Teschner M. Application of fluorescence spectroscopy to geochemical correlation problems[J]. *Organic Geochemistry*, 1988, 13(4/6): 1067-1072.
- [31] Munz I A. Petroleum inclusions in sedimentary basins: systematics, analytical methods and applications[J]. *Lithos*, 2001, 55(1): 195-212.
- [32] Chang Y J, Huang W L. Simulation of the fluorescence evolution of "live" oils from kerogens in a diamond anvil cell: Application to inclusion oils in terms of maturity and source[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008, 72(15): 3771-3787.
- [33] 向才富, 冯子辉, 王富东, 等. 构造控制的油气晚期快速成藏: 松辽盆地大庆长垣流体包裹体和自生伊利石证据[J]. 地质学报, 2012, 86(11): 1799-1808.
- [34] 丁文龙, 李超, 苏爱国, 等. 西藏羌塘盆地中生界海相烃源岩综合地球化学剖面研究及有利生烃区预测[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 878-896.
- [35] 陈红汉, 吴悠, 肖秋荷. 青藏高原中—新生代沉积盆地热体制与古地温梯度演化[J]. 地球科学, 2013, 38(3): 541-552.
- [36] Lopatin N V. Temperature and geologic time as factors in coalification[J]. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR Seriya Geologicheskaya*, 1971, 3: 95-106(in Russian).
- [37] 陈红汉. 单个油包裹体显微荧光特性与热成熟度评价[J]. 石油学报, 2014, 35(3): 584-590.
- [38] 赵艳军, 陈红汉. 油包裹体荧光颜色及其成熟度关系[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2008, 33(1): 91-96.