程涛,陶维祥,李明刚,等. 大坎波斯盆地盐构造变形及其对盐上层系油气成藏的控制[J]. 海洋地质前沿, 2025, 41(5): 55-64. CHENG Tao, TAO Weixiang, LI Minggang, et al. Salt structural deformation and its control over hydrocarbon accumulation of post-salt layer system in the Great Campos Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2025, 41(5): 55-64.

大坎波斯盆地盐构造变形及其对盐上层系 油气成藏的控制

程涛,陶维祥,李明刚,尹川,贾怀存 (中海油国际有限公司,北京100027)

摘 要:大坎波斯盆地是含盐岩的富油气盆地,其盐下层系近年来获得了重大发现,而盐上层 系则处于勘探低谷。为了明确盐上层系的勘探潜力,系统分析了盐构造变形对盐上层系地层 结构、沉积演化和油气成藏的控制作用。结果表明,受盐构造变形控制,盐上层系由西向东发 育滑脱盐筏带、底碎盐脊带和推覆盐墙带。盐构造变形限制和改造了盐上层系深水沉积,早 期的盐构造变形一般对晚期的深水沉积起到溢出、导向和遮挡等局限作用,晚期的盐构造变 形一般对早期的深水沉积起到底辟和截切等改造作用。盐构造变形为盐上层系油气成藏提 供了圈闭和运移通道。滑脱盐筏带一般发育与盐岩滚动相关的构造-地层圈闭,主要包括滚 动背斜圈闭、地层尖灭型圈闭和断层阻挡型圈闭;底辟盐脊带主要发育与盐岩上拱相关的构 造圈闭,如盐顶背斜圈闭、盐侧翼遮挡圈闭和龟背斜圈闭。盐窗与长期处于开启状态的盐相 关断层构成了油气运移的优势通道。该研究成果对指导大坎波斯盆地下一步油气勘探具有 重要参考价值。

关键词: 盐构造变形; 深水沉积; 大坎波斯盆地; 圈闭; 运移通道 中图分类号: P618.13; P736 文献标识码: A DOI: 10.16028/j.1009-2722.2024.065

0 引言

盐岩一般在干旱或半干旱的气候条件下,沉积 在封闭和稳定沉降的盆地内。与砂岩、砾岩和泥岩 等相比,盐岩具有密度较小、抗压强度较弱、弹性模 量较小等特殊的力学性质。当温度、压力等外在条 件发生变化的情况下,盐岩一般会在各种地质作用 影响下发生复杂的流动变形,盐岩流动形成的盐变 形体本身及受其影响的周围其他变形岩层统称为 盐构造^[1-5]。盐构造既可形成于伸展环境,也可以发 育于挤压和走滑背景,分布范围非常广泛,在克拉 通盆地、裂谷盆地、被动大陆边缘盆地以及前陆盆

收稿日期: 2024-03-21

资助项目:中国海洋石油有限公司"十四五"重大科技项目"'两岸一带' 重点盆地油气富集规律和成藏差异性研究"(KJGG2022-0901)

第一作者: 程涛(1978—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事海外油气勘探 方面的研究工作. E-mail: ctjpu@sohu.com 地中均有发育^[6-10]。含盐盆地是全球油气资源最丰富的一类盆地,其已探明的油、气储量分别占全球已探明油、气储量的 89% 和 80%,且绝大部分油气成藏与盐构造活动相关^[11]。因此,盐构造因含盐盆地内巨大的油气储量而受到学术界和工业界的普遍关注。

大坎波斯盆地是含盐岩的富油气盆地,已发现 石油可采储量超过了 600 亿桶。近年来,该盆地的 盐下湖相碳酸盐岩领域油气勘探获得了巨大成功, 陆续发现了 Lula、Buzios 和 Mero 等多个百亿桶级 特大油田,且目前仍有新发现,显示了较好的勘探 前景。然而,盐上漂移期深水浊积砂岩领域油气勘 探近年来一直处于低谷,虽有多个油气发现,但都 没有达到商业性开发的门槛。大坎波斯盆地盐上 漂移期领域的剩余勘探潜力如何,还能否发现大油 气田引起了很多石油工作者和地质家的关注。大 坎波斯盆地盐上漂移期领域受到下伏盐构造变形 的影响,沉积和油气成藏特征非常复杂。前人主要 针对盐上漂移期领域的深水沉积做了大量研究,而 在盐岩对油气成藏影响方面涉及较少,缺乏系统性 研究^[12-14]。本文在盐构造变形特征分析的基础上, 重点探讨了盐岩对盐上漂移期领域结构、沉积和成 藏的控制作用,进而指导该盆地下一步的油气勘探 工作。

1 区域地质背景

大坎波斯盆地位于巴西东南海域,是南大西洋 中段一个重要的含盐被动大陆边缘盆地^[15]。该盆 地的形成演化受控于中生代以来冈瓦纳大陆的裂 解和大西洋的扩张,在前寒武系结晶基底上沉积了 白垩纪以来的地层(图1)。与其他被动大陆边缘盆 地类似,大坎波斯盆地先后经历了裂陷期陆内裂谷、 过渡期陆间裂谷和漂移期被动陆缘3个构造演化 阶段^[16-18]。早白垩世欧特里夫—阿普特早期裂陷 阶段,盆地充填了河流-湖相砂泥岩沉积体系,湖相 泥岩是盆地主力烃源岩,裂陷晚期在远岸凸起带发 育湖相碳酸盐岩储层。阿普特晚期——阿尔布早期 过渡阶段,盆地处于局限海环境,由于蒸发量超过 降雨量,主要沉积了1套由石盐、硬石膏和白云岩 等组成的厚层盐岩,构成了盆地区域盖层。早白垩 世阿尔布期以来,盆地进入被动陆缘阶段,早期发 育浅海局限台地相碳酸盐岩沉积,晚期为开阔海深 水沉积,发育了巨厚的海相泥岩,局部夹深水扇浊 积砂岩沉积。其中,赛诺曼—土仑期海相泥岩是盆 地另1套主力烃源岩,浊积砂岩为盐上主要储层。

以盐岩为界,大坎波斯盆地发育盐下裂陷和盐 上漂移2套勘探层系。其中,盐上漂移期层系是大 坎波斯盆地的传统勘探领域,从20世纪70年代就 陆续获得油气发现,这一勘探层系的油气成藏受下 伏过渡期盐构造变形控制异常复杂。目前盐上漂 移领域已发现油气主要来自2套烃源岩,分别为盐 下裂陷期湖相泥岩和盐上赛诺曼—土伦阶的海相 泥岩,成熟烃源岩生成的油气主要通过盐窗和盐相 关断裂在漂移早期局限台地相的碳酸盐岩和漂移 中、晚期的深水浊积砂岩储层中聚集成藏。

2 盆地盐构造特征

2.1 盐岩发育背景

大坎波斯盆地盐岩发育在早白垩世阿普特阶

中晚期。这一时期大坎波斯盆地处于裂谷末期的 拗陷演化阶段,构造活动微弱,断层基本停止活动, 以热沉降构造变形为主。随着南美板块和非洲板 块由南到北"剪刀式"裂离,在阿普特阶中晚期,大 坎波斯盆地北部南美和非洲板块仍连为一体,而盆 地南部大西洋初步形成,同时由于特里斯坦-高夫 (Tristan-Gough)热点持续喷发形成了呈近 EW 向分 布的东沃尔维斯脊(Walvis Ridge)。因此,大坎波斯 盆地南部受到东沃尔维斯脊和圣保罗高原(Sao Paulo Plateau)的阻隔,形成了相对封闭的泻湖环境。 板块恢复结果表明,在阿普特阶中晚期,大坎波斯 盆地大致处于10°-30°S的亚热带地区,具有高温、 干旱的气候条件,有利于蒸发盐岩的形成^[19-20]。随 着全球海平面在阿普特(Aptian)时期不断上升,海 水周期性越过东沃尔维斯脊和圣保罗高原形成的 屏障,对沃尔维斯脊以北的大坎波斯盆地进行阶段 性持续的海水补给,导致这一区域在高温、干旱、蒸 发量巨大的相对封闭泻湖环境中,发育了一套分布 范围广且厚度大的以盐岩为主的蒸发岩(图 2)。

2.2 盐岩变形特征与构造样式

大坎波斯盆地属于典型的被动大陆边缘盆地。 学术界普遍认为,这种类型盆地内盐岩主要在陆缘 倾斜形成的重力滑脱作用和沉积楔差异负载作用 驱动下发生塑性流动变形^[21-23]。陆架、陆坡的抬升、 掀斜引发的重力势能引起盐岩在重力滑脱作用下 发生向重力势能低的深海方向横向流动。同时,沉 积楔差异负载作用导致盐岩在垂向上上拱,形成强 度不一的底辟构造变形。大坎波斯盆地最终在上 述两者共同作用下发生复杂变形进而形成了各种 盐构造。

大坎波斯盆地主要发育 5 类盐岩构造样式,分 别为盐枕、盐窗、盐筏、盐脊和盐墙。盐枕、盐窗和 盐筏没有刺穿上覆地层,属于隐刺穿盐构造。盐枕 在剖面上表现为上凸下平呈凸的镜状特征,如果盐 岩层流失殆尽使上下层粘在一起可称为盐窗。盐 筏下宽上窄,多与断层共生,剖面上形似"筏"状。 盐脊和盐墙对上覆地层改造较大,一般会刺穿几套 或多套上覆地层,属于刺穿盐构造。盐脊具有较大 的高宽比,刺穿幅度非常明显,剖面上形似"塔"状。 盐墙具有较大的宽高比,在剖面上盐岩横向延伸长, 稳定分布形成"墙"状。依据构造应力和盐岩构造 样式的不同,大坎波斯盆地盐岩层由西向东可依次 划分为滑脱盐筏带、底辟盐脊带和推覆盐墙带





(图 3)。滑脱盐筏带位于盆地西侧的陆坡区,具有 拉张应力背景,盐岩主要在重力滑动作用下发生横 向流动变形,导致盐岩整体厚度薄,局部存在盐岩 缺失,且不易流动的脆性残余成分多,进而制约了 盐岩垂向底辟变形。因此,这一构造带主要发育盐 筏、盐窗以及盐枕等没有刺穿上覆地层的盐岩构造。 底辟盐脊带位于陆坡前端的坡脚位置,地层趋于平 缓,陆坡区大量盐岩卸载导致这一区域具有挤压应





力背景,主要发育大规模的盐脊构造样式,盐岩厚 度变化大,向上刺穿上覆地层明显。推覆盐墙带位 于盆地东侧的深水平原区,是盆地内大部分盐岩最 终的聚集区,具有极强的挤压应力背景,可见逆冲 断层、盐推覆等构造变形,发育大规模盐墙构造样 式,盐岩厚度大,向上刺穿、侵占沉积地层可容空间, 盐顶较为平整,连续分布。

平面上,盐岩发育规模由南到北明显变小。南部的桑托斯盆地厚盐岩发育的推覆盐墙带非常宽缓,宽度可达 183 km;北部的坎波斯-埃托盆地推覆盐墙带急剧变窄,宽度仅有 70 km 左右,以盐岩厚度较小的滑脱盐筏带发育为主,盐筏区域最宽可达 138 km。

3 盐岩变形对盐上层系的影响

盐岩是盆地盐下和盐上层系构造变形的桥梁 和纽带,其构造变形不仅受到盐下层系结构的制约, 厚层的盐岩更能从根本上改变盆地构造样式,进而 控制盐上层系的盆地结构和油气成藏要素的发育 及空间匹配关系。

3.1 盐岩变形控制了盐上层系构造样式

大坎波斯盆地在阿普特期过渡阶段沉积了一 套厚层盐岩,盐岩塑性流动控制了盐上漂移层系的 构造变形。大坎波斯盆地盐上漂移层系构造单元 与盐岩层一致,由西向东可分为滑脱盐筏带、底辟 盐脊带和推覆盐墙带 3 个 NE—SW 走向的构造带 (图 4)。

滑脱盐筏带,盐上地层厚度大,整体具有向海 倾伏的斜坡背景。在重力滑动和盐体滑脱作用下, 盐上地层发生伸展破裂,形成一系列顺层正断层和 相关褶皱。由于盐岩规模有限,盐岩活动仅影响阿 普特—阿尔布期的地层沉积与构造变形。底辟盐 脊带,盐上地层厚度变化大,整体表现为盐脊分隔 的一系列盐微盆结构。具体的构造变形受盐岩底 辟作用控制明显,盐脊侧翼发育明显的盐边洼陷, 地层下凹,具有明显的厚度增加。盐脊顶部因盐岩



剖面位置见图 3a-A
图 3 大坎波斯盆地盐构造区域分布与构造样式

Fig.3 Regional distribution and structural styles of salt structures in the Great Campos Basin



剖面位置见图 3a-B

- 图 4 大坎波斯盆地盐上构造单元划分
- Fig.4 Division of post-salt tectonic units in the Great Campos Basin

上拱产生一系列的破裂正断层和背斜褶皱。推覆 盐墙带,由于盐岩的大规模聚集占据了可容纳空间, 导致盐上地层整体较薄,也未有明显的构造变形, 稳定沉积。

3.2 盐岩变形限制和改造了盐上层系深水沉积

大坎波斯盆地过渡期盐岩沉积后在重力滑动 作用和上覆地层差异负载作用下发生了复杂的构 造变形,进而改变了漂移期深水沉积的赋存状态。 依据盐岩活动期次和深水沉积发育的先后关系,认 为大坎波斯盆地盐岩变形对上覆漂移期深水沉积 的影响主要表现为局限作用和改造作用(图 5)。早期的盐岩变形一般对晚期的深水沉积起到局限作用,且不同的盐岩变形强度对深水沉积的局限作用存在差异。当盐岩变形强度弱,形成的盐构造幅度小时,对晚期水道的局限作用有限,虽然在盐体上方形成了正地形,但并不足以阻碍深水沉积体的展布,表现为晚期水道在盐构造上的溢出作用。



图 5 大坎波斯盆地盐岩变形对漂移期深水沉积的影响

Fig.5 The influence of salt deformation on deep-water sedimentation during drift period in the Great Campos Basin

相反若盐岩变形强烈,形成的高幅度盐构造会 对晚期深水沉积起到遮挡作用,表现出连片发育的 盐构造(如盐墙构造)阻挡晚期水道沉积向前推进。 盐岩变形对晚期深水沉积的影响主要表现为导向 作用。早期盐岩底辟形成了大量幅度不等的正向 盐构造,进而约束引导晚期水道沿着底辟盐核周边 构造低的区域发育。晚期的盐岩变形一般对早期 的深水沉积起到改造作用。当盐岩强烈底辟刺穿 上覆地层时,表现出对早期深水沉积的截切作用, 水道砂体在盐岩两侧出现,两者间突变接触。如果 盐岩活动没有刺穿上覆地层,则表现出对早期深水 沉积的底辟作用,引起早期水道沉积发生上拱褶皱 变形,在现今剖面的高部位分布。

滑脱盐筏带具有向海顷伏的斜坡背景,盐岩在 重力滑动作用下主要发生了横向流动变形,垂向底 辟变形弱,进而形成了大量低幅度的盐筏、盐枕等 盐构造。这些低幅度盐构造对上覆深水沉积的影 响较小,表现出溢流的作用。底辟盐脊带位于陆坡 前端的坡脚位置,接收了大量来自陆坡区的盐岩, 导致这一区域具有挤压应力背景,主要发育大规模 的盐脊构造。这一区域的盐脊构造一般表现出多 期次发育的特征,不但能够导向和遮挡晚期的深水 沉积,而且能截切和底辟早期的深水沉积,从而使 得底辟盐脊带的水道体表现出复杂多变的展布形 态。如图 6 所示,在底辟盐脊带某区,渐新世水道 的展布明显受到了早期形成的盐构造限制。水道 绕着高幅度盐脊构造穿行,最终受到盐墙的遮挡而 终止。

3.3 盐岩变形为盐上层系油气成藏提供了圈闭和 运移通道

盐岩的横向流动和垂向底辟导致盐上层系发 生了复杂的构造变形,形成了大量的盐相关的构造 样式和断裂,进而为油气成藏提供了聚集场所和充



图 6 大坎波斯盆地底辟盐脊带某区渐新世水道与 盐构造叠合图

Fig.6 Overlapping map of Oligocene waterways and salt structures in a certain area of the diaper salt ridge belt in the Great Campos Basin

注条件。

大坎波斯盆地盐上层系不同构造带由于受到 的下伏盐岩的作用存在差异而具有不同的圈闭类

型(图 7)。滑脱盐筏带具有斜坡构造背景,盐岩的 横向滚动诱导盐上地层发育了大量向海倾斜的铲 式断裂。这些断裂多在盐岩层内滑脱终止,进而控 制其上盘地层发生滚动变形。在这种构造背景下, 滑脱盐筏带形成了大量与盐岩滚动相关的构造-地 层圈闭,主要包括滚动背斜圈闭、地层尖灭型圈闭 和断层阻挡型圈闭。滚动背斜圈闭是在滚动褶皱 顶部发育的一种构造圈闭,若滚动褶皱上倾方向存 在储层尖灭,则形成地层尖灭型圈闭;若当滚动褶 皱上倾方向发育断层时,一般会形成断层阻挡型圈 闭。底辟盐脊带下伏盐岩主要发生垂向上拱变形, 进而导致盐上地层发育大量与盐岩底辟相关的构 造圈闭,如盐顶背斜圈闭、盐侧翼遮挡圈闭和龟背 斜圈闭。盐岩的底辟上拱能够引起底辟盐核上覆 地层发生横弯褶皱变形进而形成盐顶背斜圈闭,若 盐岩底辟强烈,刺穿了上覆地层,则会形成盐侧翼 遮挡圈闭:若盐岩晚期发生盐撤在局部区域聚集, 则会在盐撤区形成龟背斜圈闭。





大坎波斯盆地盐上漂移层系处于热沉降的坳 陷变形阶段,构造活动整体微弱。然而下伏盐岩的 变形能够使得盐上地层产生破裂,形成大量与盐岩 活动相关的断层。这些断层多与不同类型的圈闭 共生,是沟通烃源岩与圈闭的油源断裂。随着盐岩 的持续活动,盐上的油源断裂长期处于开启状态, 是油气运移的"高速公路",非常利于油气充注。因 此,盐上赛诺曼一土伦阶成熟的海相烃源岩生成的 油气可以沿着这些盐相关断裂运移到盐上层系圈 闭中聚集成藏。此外,在盐窗发育区,盐窗和盐上 断裂组合可以构成盐下裂陷期湖相烃源岩产生的 油气向盐上深水浊积砂岩储层中充注的通道,这些 浊积砂岩储层包裹在深水泥岩中,具有优越的成藏 条件。

滑脱盐筏带沉积的盐岩断续分布,盐窗发育, 已有油气藏表现为盐上、盐下烃源岩"双源"供烃 的成藏模式(图 8)。Golfinho油田位于大坎波斯盆 地北部的滑脱盐筏带,石油地质储量为7亿桶。该 油田具有构造斜坡背景,在滚动背斜基础上发育构 造岩性复合圈闭,储层为坎潘—马斯阶的复合水道 砂岩。油源分析表明,油气来自盐下裂谷期湖相泥 岩和盐上赛诺曼一土伦阶海相泥页岩。在重力滑 动作用下,油田区发育大量盐岩活动伴生的海倾铲 式断裂,断裂水平位移引起盐岩多处断缺,形成了 盐相关断层和盐窗的油气运移路径,疏导盐上、盐 下烃源岩形成的油气在盐上砂岩储层内聚集成藏。 底辟盐脊带沉积的盐岩横向分布连续,封堵了盐下 烃源岩垂向供烃能力,已有油气藏表现为盐上烃 源岩"单源"供烃的成藏模式(图 8)。Pacoca 和 Quindim 油田位于大坎波斯盆地北部的底辟盐脊带, 石油地质储量分别为 1.5 亿桶和 1.9 亿桶。Pacoca 油田位于盐岩底辟核侧翼,储层为坎潘阶的水道砂 岩,Quindim 油田位于盐岩底辟核顶部,储层为坎 潘一马斯阶水道砂岩。这 2 个油田的油气都来自 盐上赛诺曼一土伦阶烃源岩,通过盐相关断层充注, 分别在盐侧翼遮挡的构造圈闭和盐底辟核顶部的 背斜圈闭中聚集。



图 8 大坎波斯盆地盐上层系油气成藏模式 Fig.8 Hydrocarbon accumulation model of the post-salt formation in the Great Campos Basin

4 结论

(1)大坎波斯盆地是一个 NE 走向的含盐被动 大陆边缘盆地。盐岩的发育规模南大北小,由西向 东依次划分为滑脱盐筏带、底辟盐脊带和推覆盐墙 带。滑脱盐筏带具有拉张应力背景,发育盐筏、盐 窗以及盐枕等没有刺穿上覆地层的盐岩构造。底 辟盐脊带和推覆盐墙带具有挤压应力背景,分别发 育盐脊和盐墙等刺穿上覆地层的盐岩构造。盐岩 的构造变形控制盐上漂移层系与盐岩层具有一致 的构造单元。

(2)大坎波斯盆地盐岩变形限制和改造了盐上 漂移层系深水沉积。早期的盐岩变形一般对晚期 的深水沉积起到局限作用,盐岩变形由弱到强依次 表现出溢出、导向和遮挡效应;晚期的盐岩变形一 般对早期的深水沉积起到改造作用,盐岩刺穿上覆 地层时,表现出截切效应;如果没有刺穿上覆地层, 则表现出底辟效应。

(3)大坎波斯盆地盐岩变形为盐上层系油气成 藏提供了圈闭和运移通道。盐上漂移层系各构造 单元因受到不同的盐岩作用而发育独特的圈闭类 型。滑脱盐筏带一般发育与盐岩滚动相关的构造-地层圈闭,主要包括滚动背斜圈闭、地层尖灭型圈 闭和断层阻挡型圈闭;底辟盐脊带主要发育与盐岩 底辟相关的构造圈闭,如盐顶背斜圈闭、盐侧翼遮 挡圈闭和龟背斜圈闭。盐窗和盐相关断层构成了 油气运移的优势通道。盐岩变形不仅能够形成盐 窗,也能导致盐上地层发育大量与圈闭共生的盐相 关断层,这些断层因盐岩的持续活动而长期处于开 启状态,是沟通烃源岩与圈闭的油源断裂。

参考文献:

[1] 余一欣,周心怀,彭文绪,等. 盐构造研究进展述评 [J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35(2): 169-182.
 YU Y X, ZHOU X H, PENG W X, et al. An overview on salt

structures[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2011, 35(2): 169-182.

- 【2】 戈红星, JACKSON M P A. 盐构造与油气圈闭及其综合利用[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1996, 32(4): 640-649.
 GE H X, JACKSON M P A. Salt structures, hydrocarbon traps and mineral deposits[J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences), 1996, 32(4): 640-649.
- [3] HUDEC M R, JACKSON M P A. Terra infirma: understanding salt tectonics[J]. Earth-Science Reviews, 2007, 82(1/2): 1-28.
- [4] 王莉, 吴珍云, 尹宏伟, 等. 含盐沉积盆地挤压盐构造研究及 其对油气成藏的意义 [J]. 地质科技通报, 2021, 40(5): 184-198.
 WANG L, WU Z Y, YIN H W, et al. Study on the compressional salt structures of salt-bearing sedimentary basins and its significance to hydrocarbon accumulation[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2021, 40(5): 184-198.
- [5] 杨帆,胡望水,蔡文杰,等. Burgos 盆地 Perdido 构造带盐泥底 辟构造特征及形成机制 [J]. 大庆石油地质与开发, 2020, 39(6): 31-38.

YANG F, HU W S, CAI W J, et al. Characteristics and their forming mechanisms of the salt-mud diapiric structure in Perdido Structure Belt of Burgos Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2020, 39(6): 31-38.

- [6] 景紫岩, 李国斌, 张亚军, 等. 滨里海盆地东缘盐构造及变形 机制: 物理模拟的启示 [J]. 地质学报, 2021, 95(5): 1459-1468. JING Z Y, LI G B, ZHANG Y J, et al. Salt structure characteristics and deformation mechanism in the eastern margin of Pre-Caspian Basin: the implication of physical simulation[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(5): 1459-1468.
- [7] 卞青,陈琰,张国卿,等.柴达木盆地膏盐层岩石物理特征及 其对构造变形的影响 [J].石油学报, 2020, 41(2): 197-204.
 BIAN Q, CHEN Y, ZHANG G Q, et al. Petrophyscal characteristics of the gypsum-salt layer in Qaidam Basin ad its influences on tectonic deformation[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(2): 197-204.
- [8] 余一欣,马宝军,汤良杰,等. 库车坳陷西段盐构造形成主控 因素 [J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(1): 23-27.
 YU Y X, MA B J, TANG L J, et al. Major factors controlling salt structures in western Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(1): 23-27.
- [9] 余一欣,陶崇智,史帅雨,等.南大西洋中段盆地盐构造发育
 特征及其影响因素模拟 [J].石油勘探与开发,2021,48(1):
 118-126.

YU Y X, TAO C Z, SHI S Y, et al. Physical modeling of salt structures in the middle south Atlantic marginal basins and their controlling factors[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(1): 118-126.

 [10] 葛智渊. 被动大陆边缘盐构造研究进展 [J]. 地质论评, 2021, 67(1): 159-172.
 GE Z Y. Advances of salt tectonics in salt-bearing passive mar-

gins[J]. Geological Review, 2021, 67(1): 159-172. [11] 史帅雨, 余一欣, 殷进垠, 等. 下刚果盆地盐构造变形特征及

其形成机理 [J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(5): 1092-1099.

SHI S Y, YU Y X, YIN J Y, et al. Deformation characteristics and formation mechanisms of salt structures in the Lower Congo Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(5): 1092-1099.

- [12] 康洪全, 孟金落, 程涛, 等. 巴西坎波斯盆地深水沉积体系特征[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(1): 93-104.
 KANG H Q, MENG J L, CHENG T, et al. Characteristics of deep water depositional system in Campos Basin, Brazil[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(1): 93-104.
- [13] 刘子玉, 吕栋, 解东宁. 巴西东缘桑托斯盆地盐上碎屑岩系沉 积特征及其演化规律 [J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(8): 1-8.
 LIU Z Y, LYU D, XIE D N. Sedimentary characteristics and evolution of post-sat clastic deposits of santos basin, eastern margin of Brazil.[J]. Marine Geology Frontiers, 2021, 37(8): 1-8.
- [14] 孟金落,康洪全,贾怀存,等.埃斯皮里图桑托盆地盐上油气 成藏特征及主控因素分析 [J].海洋地质前沿,2022,38(7):48-56.

MENG J L, KANG H Q, JIA H C, et al. Characteristics and main controlling factors of post-salt hydrocarbon accumulation in Espirito Santo Basin, Brazil[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(7): 48-56.

 [15] 章雨,李江海,杨梦莲,等.南大西洋两岸被动大陆边缘构造 分段性特征及其成因探讨[J].中国石油勘探,2019,24(6): 799-806.

> ZHANG Y, LI J H, YANG M L, et al. Characteristics and genesis of structural segmentation of the passive continental margins of the South Atlantic[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(6): 799-806.

- [16] 温志新, 徐洪, 王兆明, 等. 被动大陆边缘盆地分类及其油气 分布规律 [J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(5): 678-688.
 WEN Z X, XU H, WANG Z M, er al. Classification and hydrocarbon distribution of passive continental margin basins[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(5): 678-688.
- [17] 李明刚,程涛,蔡文杰,等.桑托斯盆地盐下裂谷系构造特征 及其对油气成藏的控制作用[J].中国海上油气,2021,33(6):
 44-51.

LI M G, CHENG T, CAI W J, et al. Structural characteristics of pre-salt rift system in Santos Basin and its control on hydrocarbon accumulation[J]. China Offshore Oil and Gas, 2021, 33(6): 44-51.

[18] 李明刚. 桑托斯盆地盐下裂谷系构造特征及圈闭发育模式 [J]. 断块油气田, 2017, 24(5): 608-612.

LI M G. Structural characteristics and trap development patterns of pre-salt rift system in Santos Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24(5): 608-612.

- [19] HAY W W, FLOEGEL S. New thoughts about the Cretaceous climate and oceans[J]. Earth-Science Reviews, 2012, 115(4): 262-272.
- [20] PEREZ-DIAZ L, EAGLES G. South Atlantic paleobathymetry since early Cretaceous[J]. Scientific reports, 2017, 7(1): 11819.
- [21] 洛怡,李江海,杨梦莲.南大西洋西非岸盆地群构造、沉积演 化对比[J].中国地质,2021,48(1):120-128.

LUO Y, LI J H, YANG M L. A comparative study of tectonic and sedimentary evolution of West African coastal basins in the south Atlantic Ocean region[J]. Geology in China, 2021, 48(1): 120-128. versus models[J]. Marine and Petroleum Geology, 2011, 28(6): 1123-1145.

[23] ROWAN M G, PEEL F J, VENDEVILLE B C, et al. Salt tectonics at passive margins: geology versus models-discussion[J]. Marine and Petroleum Geology, 2012, 37(1): 184-194.

[22] BRUN J-P, FORT X. Salt tectonics at passive margins: geology

Salt structural deformation and its control over hydrocarbon accumulation of post-salt layer system in the Great Campos Basin

CHENG Tao, TAO Weixiang, LI Minggang, YIN Chuan, JIA Huaicun (CNOOC International Limited, Beijing 100027, China)

Abstract: The Great Campos Basin is a salt rich oil and gas basin, with significant discoveries made in recent years in the pre-salt layers, while the post-salt layers are in a low exploration valley. In order to clarify the remaining exploration potential of the post-salt strata in the Great Campos Basin, a systematic analysis was conducted on the control effect of salt structural deformation on the stratigraphic structure, sedimentary evolution, and hydrocarbon accumulation of the post-salt strata. The results are as follows: under the control of salt structure deformation, the post-salt layers develop detachment salt raft zone, diapir salt ridge zone, and nappe salt wall zone from west to east. The deformation of salt structures has restricted and transformed the deep water sedimentation of the postsalt drift strata. Early-stage salt structure deformation generally plays a limited role in overflow, guidance, and shielding of late-stage deep-water sedimentation, while late-stage salt structure deformation generally plays a transformation role in diapir and cutting of early-stage deep-water sedimentation. The deformation of salt structure provides traps and migration pathways for the hydrocarbon accumulation in post-salt strata. Tectonic stratigraphic traps related to salt rock roll are generally developed in the detachment salt raft belt, mainly including rollover anticlines traps, stratum pinch out traps and fault block traps; The diapir salt ridge zone mainly develops structural traps related to salt rock diapirs, such as salt top anticline traps, salt flank barrier traps, and turtle back anticline traps. Salt windows and salt related faults that have been in an open state for a long time constitute the dominant channels for oil and gas migration. The research findings provide significant reference value for guiding the next-phase oil and gas exploration in the Great Campos Basin.

Key words: salt structure deformation; deep water sedimentation; the Great Campos Basin; traps; transport pathway