

文章编号:1672-9854(2009)-04-0035-07

桂中坳陷泥盆系生物礁分布预测

付立新¹, 于平¹, 李淑玲², 张清久³, 高勇¹

(1 中国石油大港油田分公司勘探开发研究院; 2 中国地质大学(北京))

(3 中国石油吉林油田分公司)



付立新

摘要 桂中坳陷泥盆系盆地经历了五大演化阶段,包括早泥盆世的初始裂陷和初始扩展,中泥盆世的抬升和裂解,以及晚泥盆世的扩展—萎缩。从早泥盆世埃姆斯期至晚泥盆世早期均有生物礁发育,但以中泥盆世的裂解阶段最为繁盛。泥盆系剩余重力异常总体特征表现为两高两低特点,其中心分别位于宜州、合山和马山、柳江附近。由重力资料划分出研究区的台地、台沟分布,再由地震异常圈定了中泥盆统分层系生物礁分布。在泥盆系应堂组—东岗岭组四个层段共圈出异常体17个,位于忻城县和大塘镇之间的异常体规模最大,面积达307km²。该带距离古断裂较远,油气保存的可能性较大,是未来桂中油气勘探的首选区带之一。

关键词 生物礁分布;生物礁预测;重力勘探;地震解释;泥盆系;桂中坳陷

中图分类号:TE111.3 **文献标识码**:A

付立新 博士,高级工程师。2001年博士毕业于北京石油勘探开发研究院,现在大港油田分公司勘探开发研究院工作,主要从事石油天然气勘探。通讯地址:300280 天津市大港区 大港油田分公司勘探研究院(新楼);电话:(022)25914209

1 概述

桂中坳陷为一海相残留盆地,位于雪峰古隆起南缘,被环江—柳城断裂褶皱带、龙胜—永福断裂带以及罗甸—都安断裂带围限(图1),是一个经历区域抬升改造的残留海相单元。区内主要沉积地层包括泥盆系、石炭系和二叠系,向斜区局部残留三叠系,累计厚度约5 000~7 000 m。

桂中坳陷泥盆系是湘桂海相盆地沉积的一部分^[1]。晚古生代,伴随被动大陆边缘裂陷的持续活动,桂中海相单元沉积经历了早期裂陷到晚期坳陷的全过程,泥盆系由下部的海相碎屑岩为主向上变为碳酸盐岩为主。桂中坳陷腹地长期远离雪峰古陆,“暖、浅、清”的古海洋条件为泥盆系生物礁的发育创造了有利条件,因而使桂中探区成为南方海相油气勘探的重点地区之一。

前人研究^[2]证实,桂中地区泥盆系原型盆地成油气基础优越,厚达400 m以上的富有机质烃源岩和广泛发育的生物礁体成就了多个巨型古油气藏。在

桂中周边泥盆系、二叠系露头区,大量的油气苗显示和古油藏证实该区曾发生过大规模的油气聚集。其中,位于南丹市大厂镇—河池市拉朝村地区的古油藏,残留沥青储量就可达数千万吨以上,推测原始聚集规模超过亿吨。这些巨型古油藏的储集体主要是生物礁,聚油气期间丰富的孔洞为油气大规模聚集提供了储集空间。在地层保存齐全的坳陷区内,泥盆系生物礁受古沉积环境的制约,具有成带分布、侧向相变快的特点。生物礁极易被海相泥岩所包围,成为有效的岩性圈闭体,这一条件有利于油气的保存。因此毗邻海相泥岩沉积区的泥盆系生物礁是桂中残留盆地油气勘探的首选目标。

前人曾针对桂中泥盆系生物礁分布做了大量的研究工作,但由于坳陷区泥盆系埋藏深,目前油气勘探程度仍较低,至今未能有突破性进展。生物礁分布规律不清成为制约桂中泥盆系油气勘探的关键。本文尝试以地质模型为指导,运用地质-地球物理综合研究手段,探索桂中泥盆系深埋区生物礁、滩的分布规律。

收稿日期:2009-08-24

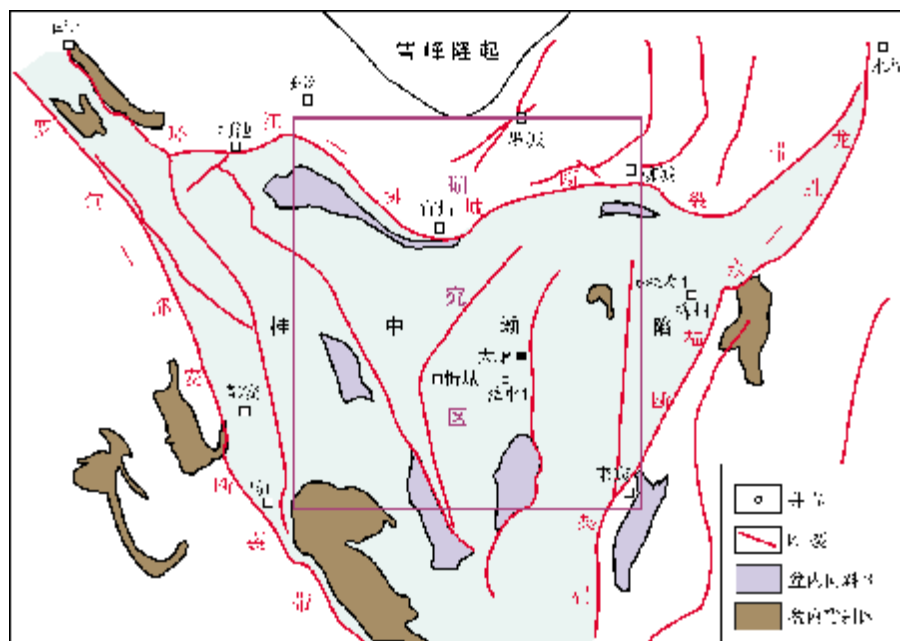


图1 桂中坳陷构造及研究区位置

2 泥盆系生物礁发育的地质基础

2.1 生物礁发育阶段

桂中泥盆系生物礁的发育阶段跨度较长,从早泥盆世埃姆斯期至晚泥盆世早期均有发育。生物礁的发育和分布与沉积盆地的演化、古地理格局、海平面升降以及生物群分布有直接关系。其中盆地构造演化特点对生物礁形成有重要的影响。根据地层研究结果,广西地区泥盆系盆地经历了五个大的演化阶段^[1]。

海盆初始裂陷阶段(对应于下泥盆统莲花山组—那高岭组沉积期间) 受海西期被动大陆裂解的影响,滇黔桂海盆出现多个裂陷和断陷盆地。由于桂中盆地为陆缘供给区,盆内主要接受滨浅海相碎屑岩沉积,尤其靠近雪峰古陆的地区,莲花山组发育厚层含砾砂岩。泥盆纪早期物源供给充分,桂中地区海盆不适合生物礁生长,该期生物礁基本不发育。

海盆初始扩展阶段(对应于下泥盆统郁江组沉积时期) 自早埃姆斯期开始,海平面开始快速上升,桂中地区陆源碎屑物逐渐减少,古海洋环境向有利于生物礁形成的“暖、浅、清”条件发展,底栖生物繁盛,生物礁开始出现。但受基底断裂强烈活动的影响,桂中地区海盆结构起伏较大,台地与台凹、海槽

的分异加剧了古地貌的差异性。礁体主要沿着台地边缘地形转折处形成。这个阶段,由于古雪峰隆起陆源碎屑的注入,对造礁生物的生长有一定的抑制作用。礁体一般规模不大,以层状礁、点礁为主,其次为小型丘状叠置礁。

海盆抬升阶段(对应于中泥盆统应堂组沉积早期) 至艾菲尔期早期,受海口运动影响^[1],海盆东北部陆壳抬升,桂中地区发生不同程度的海退,陆源碎屑物增多,碳酸盐台地面积缩小,局部地区出现蒸发岩坪,生物礁大量减少。

海盆裂解阶段(对应中泥盆统应堂组—东岗岭组沉积期间) 到中泥盆世埃菲尔期晚期—吉维特期,桂中地区海侵范围扩大。暖、浅、清的海洋环境进一步形成,生物大量繁殖,为礁体规模发育创造了有利条件。而同沉积断裂活动,又为生物礁的形成与发育创造了有利的古地貌背景。这一阶段的生物礁最为繁盛,规模也最大。

海盆扩展—萎缩阶段(对应上泥盆统榴江组、融县组沉积期间) 晚泥盆世弗拉斯期以来,桂中地区海盆整体坳陷,早、中泥盆世形成的沟壑纵横格局逐渐被填平补齐,台地与台凹区沉积已无太大差异。在经历了弗拉斯期海侵以后,法门期又出现大海退,造成水体咸化,白云岩大量发育,部分台地沉积了膏盐层。受弗拉斯—法门期生物灭绝事件的影响

响,生物礁发育规模大大减退,仅在局部地区发育小型礁滩沉积。

由此可以推测,桂中泥盆纪生物礁以早埃姆斯末期为初始造礁期,吉维特期为鼎盛期,早弗拉斯期为衰亡期。生物礁规模发育的阶段主要集中在郁江组、应堂组及东岗岭组沉积期间。

2.2 造礁生物特点与露头礁体分布

桂中泥盆系露头主要分布在周缘复杂断裂构造

带,象州地区、都安地区、贵港地区以及河池地区泥盆系野外剖面研究比较系统,发现并厘定了多个生物礁滩体。这些礁滩体类型多样,主要以滩礁、堤礁、环礁和点礁为主,平面分布有一定的规律性^[1](图2)。按照造礁生物出现的频率来看,桂中泥盆系礁具有南北分带的特点,靠近雪峰古陆的局限海台地相区以及都安、隆桑等地主要发育层孔虫礁或生物碎屑滩,中间地带(田林—河池—象州—贵港一带)则发育层孔虫—珊瑚礁。

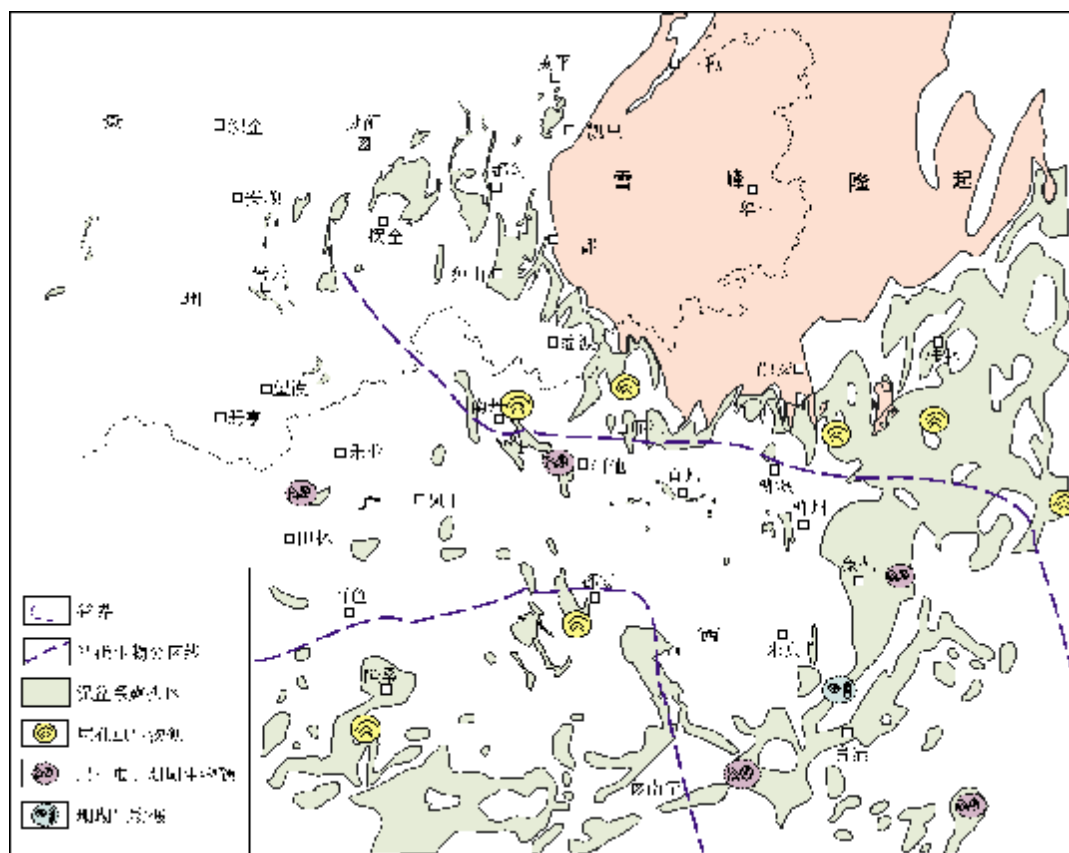


图2 桂中及周边地区生物礁露头分布(据文献[1]修改)

从形态来看,在靠近雪峰古陆南缘的泥盆系露头区,野外发现的生物礁以近岸滩礁为主,礁体平面分布广,呈层状展布,如环江北山滩礁、融安古当滩礁等。剖面上,生物礁滩体与不同岩性地层相互叠置,一般以层孔虫黏结灰岩和滨海相碎屑岩交互重复出现,具明显旋回性。在雪峰古陆西缘,发现的礁体则以大型堤礁为主,这些礁体多沿泥盆纪大型控盆断裂带呈带状展布,明显受古海盆陡坡带控制。已发现的礁体具有规模大、分布广的特点,如南丹六寨

堤礁,该礁体野外露头长近4.5 km,宽约300 m,礁灰岩组合厚度可达160 m以上。主要造礁生物由层孔虫、刺毛虫构成,附礁生物则由藻类、珊瑚、棘皮类及腕足类生物构成。

此外,在南丹、象州等地的大型台地、台沟区还发现有零星分布的环礁、点礁。这些礁体呈星点状分布于台地或台沟内的基岩隆起之上。礁体厚度受海平面升降速度与造礁生物生长速率控制。该类礁体以南丹大厂龙头山生物礁为代表,该礁体分布在早、

中泥盆世台沟相区,露头礁体长3.5 km,宽2.75 km,生物礁灰岩厚达900 m,是孤立的基岩隆起背景上发育起来的大型生物礁。根据露头分布推测,桂中坳陷主体,直至象州一带的礁体均属此类。

2.3 影响泥盆系生物礁发育的主要地质因素

控制生物礁发育的因素很多,海平面变化、古气候、古风向、古海洋环境和古盆地构造等均对生物礁形成分布起重要的控制作用^[3-5]。对于桂中地区而言,其中以海平面变化和古盆地构造为最重要的控制因素,前者影响到生物礁发育层段,后者则控制生物礁平面分布。

广西地区泥盆纪被动大陆边缘裂陷活动强烈,基底差异升降造就了台地、台沟相间分布的复杂格局,使泥盆系横向相变加剧,为礁灰岩发育奠定了宏观地质基础。泥盆纪早中期,由于沟壑丛生的古地貌景观,沉积相变较快。根据露头标准剖面研究结果,工区既发育代表台地相的象州型地层,也发育以南丹型为代表的深水地层。部分分割台地与台沟的基底断裂控制着泥盆系生物礁的生长与发育,如南丹大厂牛头山环礁的发育与台沟边缘大型同沉积断裂有很大的关系。

3 泥盆系深埋区生物礁分布预测

在地表露头极少,且无钻井揭示的地区,地球物理方法无疑是开展地层与礁体预测的最佳手段。然而,由于地质体本身的复杂性以及地球物理探测手段的局限性,利用单一手段预测生物礁存在较大的风险。考虑到桂中地区独特的“台—沟”构造相间古地貌背景,以及生物礁发育的地质约束条件,本文明确预测生物礁的思路,即:首先在地质模型约束下,利用重、磁、震联合预测台地分布;其次,在台地轮廓基本明确的前提下,在台地相区或沿台地边缘,基于地震资料搜索生物礁异常。

3.1 桂中泥盆系台地相分布预测

根据岩石密度统计结果,碳酸盐岩岩石密度往往要比碎屑岩高0.2~0.56 g/cm³。由于台地相区累积的碳酸盐岩厚度远较台沟相区大,因此在扣除其它影响因素的前提下,台地相与台沟相在重力场上应产生明显

的重力差。为了剔除复杂构造、深部区域场以及地形的影响,获得单纯反映沉积盖层岩相变化异常场,笔者采用地震约束的方法,并参照莫霍面起伏对布格重力异常总场进行了剥离处理。根据地震、区域莫霍面埋深趋势、航磁资料,建立了本区四个界面的起伏形态模型,作为剥离沉积层异常的主要约束条件。考虑到区域地层变化特点,笔者认为上泥盆统和石炭系—二叠系海相地层也可视为相对的均质密度层,利用地震构造信息将该套地层造成的重力异常进行剥离,提取出泥盆系中、下统剩余重力异常信息。

经剥离处理后的剩余重力场基本可以反映桂中地区泥盆系岩相变化引起的重力异常形迹(图3)。泥盆系剩余重力异常总体特征表现为两高两低特点,其中心分别位于宜州、合山和马山、柳江附近。两个相对高异常总体走向北北西向,位于探区中部。其中,忻城以北的相对高重力异常区呈现倒三角形态,而忻城以南的相对高异常区则呈现弧形展布特点。两个相对低重力异常分别位于相对高重力异常分布带的东西两侧,其中,西侧的相对低异常区总体呈北西向条带状,推测向北可延至南丹一带(位于图3之外,参见图1)。

结合本区露头地质剖面及钻井地质研究,推断东部相对低异常区是由于低密度泥岩、泥灰岩加厚的结果,可能对应于台沟(或台间洼地)相区。马山以南相对低异常则可能是岩体侵入与低密度泥岩、泥灰岩加厚的叠加效果,也对应于台沟相区。而中间的相对高异常带主要是由高密度碳酸盐岩加厚引起的,推测对应于碳酸盐岩台地相区。研究区北部宜州地区高重力异常区对应近地表强烈挤压变形的地区,根据地震资料分析^①,泥盆系—石炭系地层重复加厚,严重影响了剩余重力异常特征,该区泥盆纪—石炭纪应存在东西向展布的台间沟槽。

由此,笔者提出桂中地区中、下泥盆统沉积相由北部滨岸台地(环江—罗城台地)、中间开阔海台地(忻城台地、合山台地)、东部局限海台地(象州台地)与河池—柳江台沟、南丹—都安台沟相间组成(图4)。其中,河池—柳江台沟将北侧的接陆台地与桂中腹地的台地分割开来。总体上讲,忻城台地与合山台地基底相连,但受泥盆纪断裂作用的影响,忻城东侧在早泥盆世晚期—中泥盆世曾出现比较大的沉降,成为浅

① 汪新文,白忠峰,汪新伟,等. 桂中坳陷构造特征及其与油气关系研究. 北京森诺技术开发有限公司,2006.

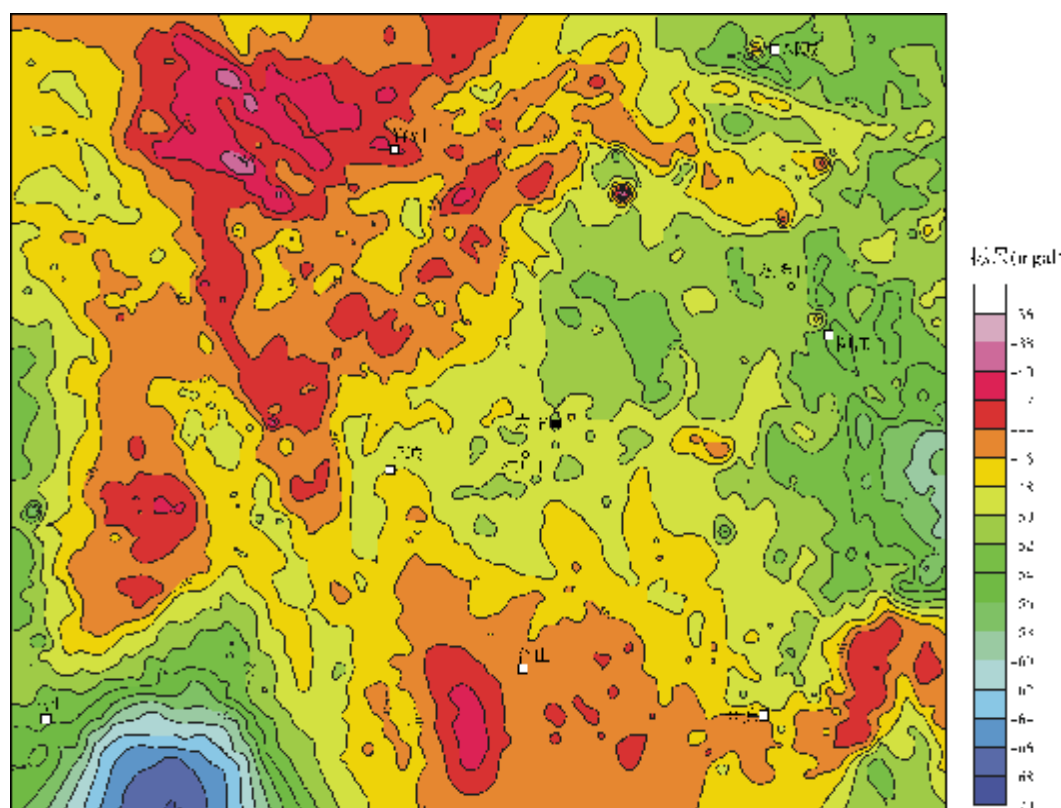


图3 桂中坳陷泥盆系布格剩余重力异常分布

水台地与深水台沟的过渡区,海平面下降时与忻城、合山台地连为一体,海平面上升时,则成为明显的台间洼地或斜坡。台地边缘相及台地相区是生物礁及白云岩发育的有利场所,而台沟相区是烃源岩发育的有利地区。台间洼地与斜坡区则是礁灰岩与泥灰岩互层区,也是生储盖组合条件较好的地区。

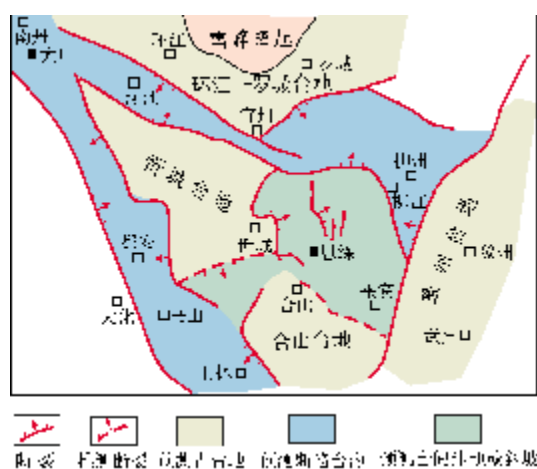


图4 桂中坳陷泥盆纪早—中期台地、台沟分布

3.2 地震相预测

由于生物礁特殊的产状以及与围岩的接触关系,通常情况下,生物礁在地震速度、反射结构、反射能量以及波形特征上均存在比较明显的特征,可作为异常识别的标志^[6]。

地震反射结构方面,由于生物礁体多为上隆的块状岩性体,通常被围岩超覆,因此,地震剖面上多表现出丘状的反射特点,顶部呈现超覆结构,内部反射杂乱或空白。当生物礁与周边正常地层之间相变较快时,地震反射突然中断或产生较大的绕射异常。

地震能量方面,生物礁丘地震反射速度高,当礁体在盆地相泥岩、泥灰岩中时,礁顶易出现较强振幅,不连续反射,地震剖面上形成较强的反射能量团,有时还可出现明显的同相轴“上提”现象。

此外,生物礁层状结构不明显,单层厚度大,地震反射频率相对较低。

根据上述生物礁识别依据,笔者在地震工区范围内进行了分小层的生物礁异常体追踪识别(图5)。纵向上看,中泥盆统中下段是丘状、空白反射异常体

出现频率较高的层段,而中泥盆统上段地层厚度变化较小,主要为层状强连续反射结构,推测与泥岩、

泥灰岩互层有关,礁灰岩出现频率小。上泥盆统则主要为空白反射,岩性以各类灰岩为主。

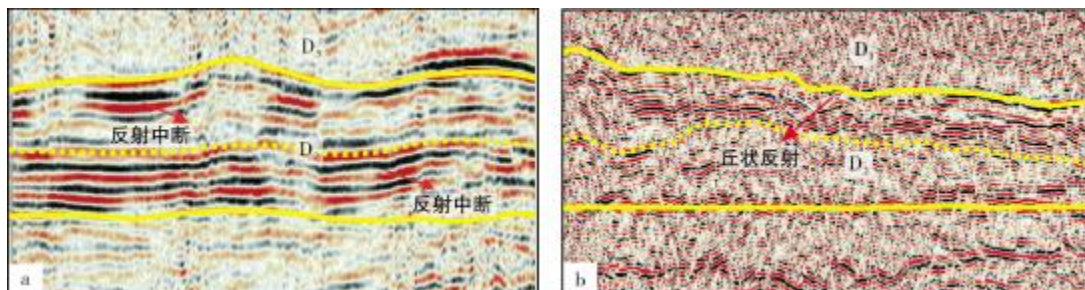


图5 桂中坳陷泥盆系生物礁地震反射特征

(a) 台缘斜坡相区中泥盆统,强反射、强连续地震同相轴中间局部中断,异常宽约1km,推测与孤立点礁有关;(b) 台地边缘中泥盆统下部存在大型丘状空白反射异常,异常宽达13km,上部被较强连续反射地层覆盖。剖面左侧推测为台地,右侧为台缘斜坡过渡相区,异常区推测为台地边缘礁滩相

3.3 生物礁分布特征

根据地震异常追踪结果,笔者圈定了泥盆系中统分层系生物礁异常分布(图6),在泥盆系应堂组—

东岗岭组四个层段共圈出异常体17个。应堂组下段异常范围较广,丘状反射异常体具有成带展布特征,位于忻城县和大塘镇之间的丘状异常体规模最大,面积达307 km²。

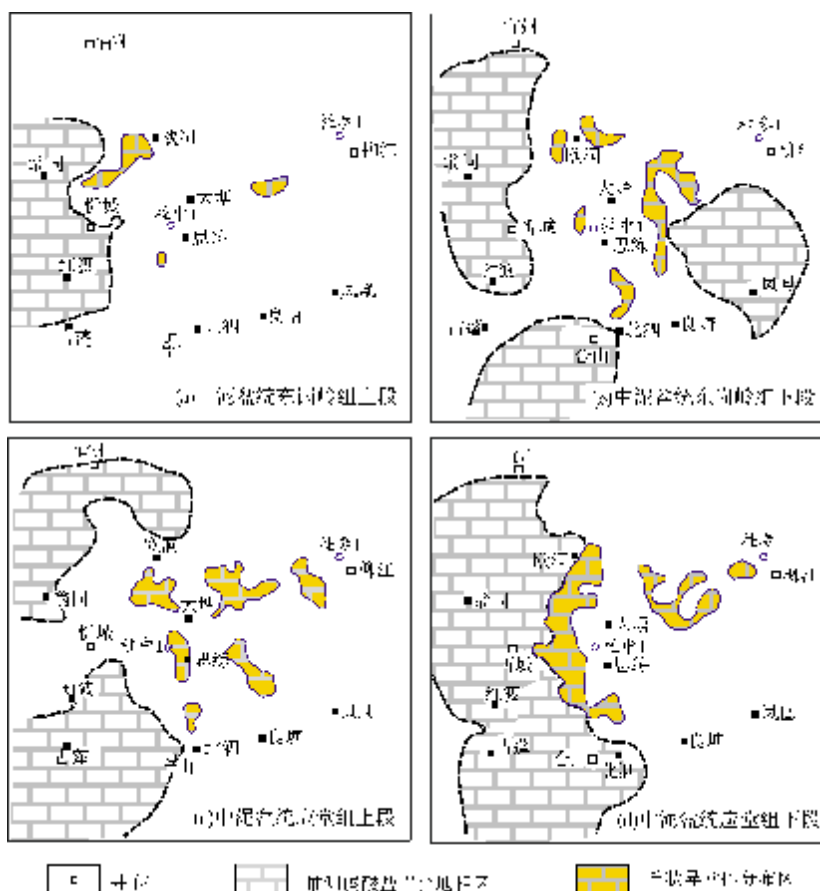


图6 桂中坳陷中泥盆统各地层地震反射异常分布

由地震反射异常分布的层段来看,从中泥盆统应堂组沉积开始至东岗岭组沉积末期,生物礁异常体面积似有逐渐缩少的趋势,丘状异常形态也由带状变为环状或孤立的点状。而从桂中1井、桂参1井区东岗岭组泥岩成分增多可看出,中泥盆世桂中腹地基底断裂可能造成忻城以东台间洼地区快速沉降,导致局部水深加大,生物礁丘被淹。

平面上看,桂中腹地丘状异常体主要分布于忻城开阔海台地镶边地带和东侧的台间洼地或斜坡区。由于生物礁埋藏在泥岩、泥灰岩地层中间,地震反射特点表现为丘状空白反射或反射间断,夹持在连续、强反射层内部。从异常体的产状来看,东岗岭组沉积早期,忻城台地东侧斜坡区的生物礁异常呈现明显的带状特点,推测可能是开阔海台地边缘生物礁;而思练以东的生物礁异常分布零散,以孤立的丘状或点状为主,部分大型异常体形态具有环状特点,可能代表斜坡区塔礁或环礁。这一分布规律暗示桂中坳陷腹地中泥盆统礁灰岩的分布总体上是沿忻城台地东缘及斜坡区成带发育的,忻城台地东侧古地貌基本控制生物礁丘的发育位置。

忻城台地、合山台地内部也可能是礁灰岩、白云岩发育的有利地区,但由于围岩同样为碳酸盐岩,速度界面不明显,地震丘状异常不突出。

4 有利地区初步分析

通过综合分析,笔者认为中、下泥盆统是桂中坳陷古生物礁丘发育的主要层系,其上部或侧缘被海

相泥岩、泥灰岩覆盖,构成较好的生储盖组合,有利于油气的规模聚集。钻于思练西构造的桂中1井,在中、下泥盆统钻遇了近400 m厚的生物灰岩沥青显示,表明桂中地区生物礁灰岩曾经形成过大型古油藏。目前油气之所以散失主要与中生代强烈的基底断裂活动有关。

相对而言,远离中生代活动断裂和褶皱带的地区,由于生物礁被泥岩、泥灰岩等盖层所包围,保存条件比较有利,有望形成一定规模的残留油气藏。因此晚期继续深埋、且远离活动断裂的地区是桂中坳陷泥盆系油气勘探的有利地区。根据桂中地震构造研究结果,作者认为忻城东侧大型生物礁异常带是未来桂中油气勘探的首选区带之一。该带距离大塘—思练南北向古断裂较远,油气保存的可能性较大。

参考文献

- [1] 钟铿,吴诒,殷保安,等. 广西的泥盆纪[M]. 北京:中国地质大学出版社,1992:196-212.
- [2] 王根海,赵宗举,李大成,等. 中国油气新区勘探:第五卷[M]. 北京:石油工业出版社,2001:1-160.
- [3] 里丁 H G. 沉积环境和相[M]. 周明鉴,陈昌明,张疆,等,译. 北京:科学出版社,1986:324-390.
- [4] Shen Jian-Wei, Webb G E. Famennian (Upper Devonian) stromatolite reefs at Shatang, Guilin, Guangxi, South China[J]. Sedimentary Geology, 2004, 170: 63-84.
- [5] Kiessling W, Flügel E, Golonka J. Paleoreef maps: evaluation of comprehensive database on Phanerozoic reefs[J]. AAPG Bull, 1999, 83(10): 1552-1587.
- [6] 蒋晓光,彭大钧,陈季高,等. 滨里海盆地东缘生物礁预测研究[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2005,32(5):492-497.

编辑:卢文忠,吴厚松

Prediction of Devonian Reef Distribution in Guizhong Depression

Fu Lixin, Yu Ping, Li Shuling, Zhang Qingjiu, Gao Yong

Abstract: Over than 5000-m thickness of marine Devonian carbonate system deposited in Guizhong Depression is a marine residual basin. The basin experienced for five main evolution stages during Devonian period. It is considered to be hydrocarbon potential in southern China. Organic reefs that developed from Early Devonian Emsian to early Late Devonian are distributed between mudstones and carbonate rocks, which plays an important role in hydrocarbon accumulation. Based on geological and geophysical data, the distribution rule of Devonian reefs is discussed. By seismic and gravity anomaly, the authors constructed the lithological stratification of the Devonian reefs, predicted the locations of paleo-platforms in the depression, and predicated zones where reef mounds are probably concentrated. 17 potential reef reservoir bodies of seismic anomaly are sited from Devonian Yintang Fm to Donggangling Fm, of which the largest one with an area of 307km² is located between Yicheng and Datang. It is suggest that it will be the first selective one for drilling target because it is far from ancient faults and so probably has a good preservation condition of hydrocarbon.

Key words: Reef distribution; Reef prediction; Fossil reservoir; Gravity exploration; Seismic interpretation; Devonian; Guizhong Depression

Fu Lixin: male, Dr., Senior Geologist. Add: Oil Exploration and Development Institute of Dagang Oil Company, PetroChina, Dagang, Tianjin, 300280 China