

从桂林岩溶特征 谈碳酸盐岩潜山储层研究

邢云

(中国海洋石油总公司开发生产部, 北京 100027)

本文通过对桂林地区岩溶地貌考察和调研, 提出了认识碳酸盐岩潜山储层的3个重点内容, 即对砂岩产状的预测; 潜山溶孔、裂缝发育与岩性、结构的关系; 储集空间发育与构造的关系。

关键词 桂林岩溶 碳酸盐岩 潜山储层

作者简介 邢云 男 38岁 高级地质师 石油地质

在诸多油气藏的储层类型中, 碳酸盐岩潜山储层尤为复杂。它既有原生孔隙, 又有后生裂缝、溶孔和溶洞, 这些储集空间常组成复杂的系统。它除受本身岩性、结构因素影响外, 还受到古构造、古气候的制约, 当深埋地下后, 还可受到高温高压条件的深部岩溶的改造作用。因此, 认识其储集空间的分布规律, 找出其主要影响因素, 是一项艰苦细致的工作。一般来讲, 潜山储层研究大多是以钻井、取心资料为主, 结合地震、测井和试油资料综合分析来完成的。我国海上近几年来相继发现了一些碳酸盐岩潜山油气藏, 如北部湾的涠10-3N, 涠6-1和渤海的渤中28-1等。由于海上钻井少, 给研究潜山储层带来了一定的困难, 为了弥补其不足, 我们对桂林地区岩溶地貌进行了考察和调研, 笔者认为把现代岩溶研究成果应用于潜山储层研究, 对进一步指导潜山勘探乃至开发具有重要的意义。

1 岩层产状预测

在碳酸盐岩潜山储层研究中, 岩层产状是主要内容之一, 它不仅控制储层分布, 还对储集空间及其演化有重要影响。我们在桂林地区野外岩溶地质考察和调研中发现, 桂林石山千姿百态, 但同种类型的石山其地层产状是一致的, 如石山形态为塔型、峰簇型、马鞍型的地层产状都接近水平; 锥形和螺旋型的石山地层产状不平缓; 单斜型的石山地层产状与其缓坡的产状一致(表1)。

我们在研究北部湾涠10-3N潜山储层的产状时, 首先根据地震资料得到了该潜山顶面地震波反射特征为一单斜型, 钻井中发现潜山储层为一块状层, 没有明显的层理和层面构造, 因此, 其产状只能通过所钻两口井的倾角测井资料来预测。为了搞清产状, 根据潜山风化壳以上地层为继承性沉积的特点, 在上部地层、风化壳底部以及潜山碳酸盐岩岩层内寻找一些含泥质较重的层段来推测(表2)。潜山储层倾向为 $323^{\circ}\sim 347^{\circ}$, 即倾向北北西, 倾角 $11^{\circ}\sim 21^{\circ}$, 这些产状数值正好与其缓坡的产状一致。我们根据倾角测井资料绘出了涠10-3N储层产状推测图(图1)。

表 1 桂林石山形态类型与岩性结构一览表

石山形态	示意图	碳酸盐岩结构成因类型	原始孔隙	力学强度	岩层厚度	岩层产状	洞穴节理发育程度	平面形状	坡角	高宽比	构造位置
塔型		亮晶颗粒灰岩	较低	大	厚	接近 0°	洞穴化程度高, 但规模较小, 往往发育洞洞	圆形、椭圆形、长方形	> 60°	≥ 1	向斜轴部
峰棱型		亮晶颗粒灰岩	较低	大	厚	接近 0°	洞穴化程度高、洞穴大	不规则多边形	山体边缘边坡较陡	≤ 1	向斜轴部
马鞍型		亮晶颗粒灰岩	较低	大	厚	接近 0°	鞍部有垂直走向断层, 洞穴化程度高、洞穴大	哑铃形	外缘较陡	≈ 1	向斜轴部
单斜型		① 泥晶灰岩和泥晶颗粒灰岩夹白云岩	中等	中等	中—薄	20°~30°	节理比较发育, 但受层面控制		一侧较缓 20°~30° 一侧较陡 60°~70°	取决于层角 (α)	背斜两翼
锥型		② 斑状灰质云岩或泥晶颗粒灰岩和白云岩互层+①+③	较高	较低或变化大	单层厚度较薄	平缓	洞穴化程度低、节理不发育或无定向	圆形	45°~60°	≈ 1	背斜轴部
螺旋型		③ 扁豆状泥质灰岩或泥晶颗粒灰岩和白云岩互层	变化大	变化大	中—厚	平缓	洞穴化程度低	圆形	60°	> 1	近背向斜一侧
圆丘形		中晶白云岩	变化大	变化大			发育小洞穴	圆形	上陡下缓		向斜轴部
冠岩型		上部为泥壳颗粒灰岩 下部为白云岩、泥晶灰岩等			上厚下薄						

表2 涠10-3N古潜山地层产状推测表

涠10-3N-1井						涠10-3N-2井											
	深度(m)	倾角(度)	倾向(度)	平均倾角(度)	平均倾向(度)	备注	深度(m)	倾角(度)	倾向(度)	平均倾角(度)	平均倾向(度)	备注					
长流组	1302.0	9	327	9.5	330.8		1415.5	8.5	320	8.12	333.7						
		10	327				1416.5	11	332								
	1361.0~1363.0	8	334				1528.5	7	346								
		8.5	336				1529.0	6	337								
		10	335														
	1381.5~1382.5	10	339														
		10	315														
	石炭系	1487.5~1497.5						21	以西北西为主 347	为风化壳残山, 见图	1599.0~1602.0				12.6	以西北西为主	风化壳底部
											1602.5		7.8	345			剥蚀面上
	系	1570.0	10				325	11	323		1637.5		18	325	21.1	327.5	
10			325	1754.0	24.3	330											
13			320														

2 岩性结构与溶孔、裂缝发育的关系

2.1 与岩性的关系

就碳酸盐岩而言,其矿物主要为白云石和方解石以及它们之间的过渡类型。桂林地区岩溶发育中溶孔和裂缝与岩性有如下关系:

(1)白云石及灰质白云岩表现为整体岩溶作用,这是因为白云石晶体颗粒一般较粗大,当水体与其接触时,很快沿晶间孔隙渗透,充满其晶间孔隙,经溶蚀使孔隙逐渐扩大延伸。随溶蚀作用继续进行,有些晶粒开始脱落,这样结构变得疏松,岩石的力学强度降低,从而岩石的物理破坏作用加剧,最终导致崩塌。一般白云岩要经过渗透-溶蚀-分解-淋滤-崩塌5个阶段,很难形成大型管道和溶洞,只能形成缓丘状馒头山(表1)。

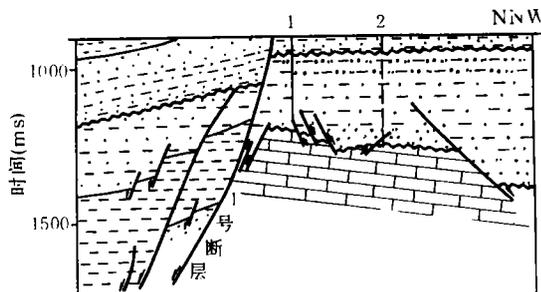


图1 涠10-3N构造产状推理图

图2为涠10-3N-1井几种测井曲线在裂缝中的响应,最右一栏为岩性剖面。网状裂缝的响应是:裂缝识别测井(FRRC)4个极板均有差异;井径测井出现椭圆井眼特征;中子-密度测井中中子增大、密度降低;能谱测井钍、铀增大;声波出现周波跳跃;变密度出现“人”字型和“V”字型干扰。垂直裂缝的响应是:裂缝识别测井有一到二个极板有差异;中子-密度测井

无异常；声波测井无显示；能谱测井一般无显示；变密度测井也出现干扰。把这些裂缝响应与岩性剖面对比后发现，在白云岩或含白云质的井段对应发育网状裂缝，通过取心证实这是晶间孔隙和微裂缝的综合反映，而在灰岩井段则裂缝不发育或只发育垂直裂缝。

渤中 28-1 潜山 1 号井的电测处理曲线(图 3)及岩心资料也同样证实了上述结论。

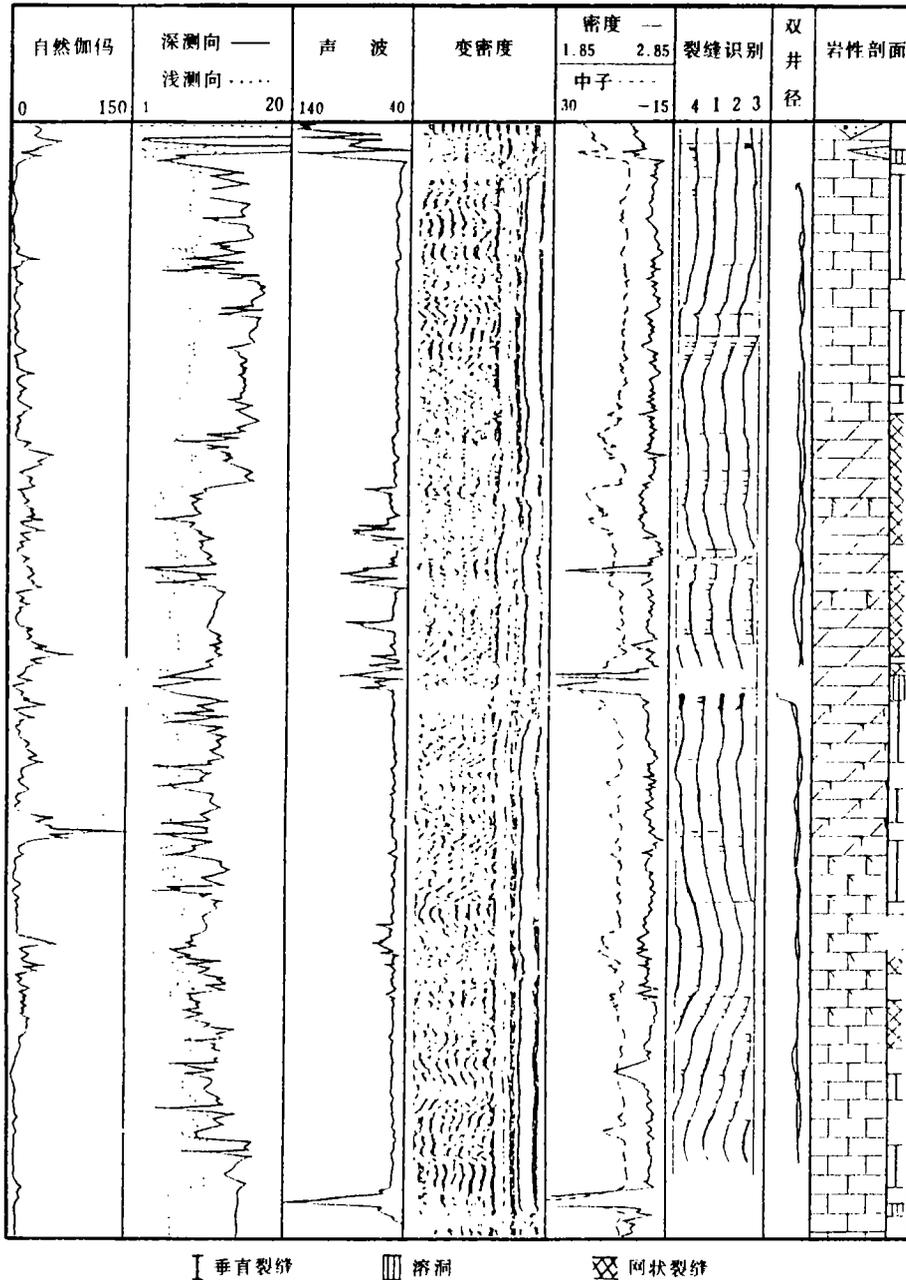


图 2 潜山碳酸盐岩储层各种测井信息综合图

(2) 桂林地区方解石含量高的地层，由于颗粒细小，坚硬，晶间孔隙不发育，则表现为局部岩溶作用，即沿着微裂缝或次生孔隙水体进入，部分溶解而形成溶缝，发展成为溶沟、溶

洞。就岩石整体而言,有支撑骨架,易形成带有溶洞的奇异山峰。

涠 10-3N 潜山 1、3 井除风化壳外,大溶洞发育有 6 处,钻进中出现了放空现象,最大放空达 10m,除一处溶洞发育在白云岩段外,其余均发育在灰岩段。也同样证实桂林岩溶地区得出的结论。

2.2 与岩石结构的关系

桂林地区研究表明,就同一种岩性的碳酸盐岩,其结构不同也会造成不同的岩溶效果。为简单起见,其结构大致分为颗粒结构和泥晶结构,通过溶蚀速度试验和野外观察,多数人认为颗粒结构的岩石有利于岩溶发育,但也有人得出了完全相反的结论。

从储层研究角度考虑,我们关注的是经溶蚀、淋滤后残存的储集空间。我们在研究渤中 28-1 潜山储层时发现,最好的储层 I、I 类,多为具颗粒结构的白云岩,孔隙度为 1.5%~7.8%,孔隙喉道大,平均大于 0.1 μm 的孔隙体积占 60%以上,渗透率为 $25 \times 10^{-3} \sim 69.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要由粒间孔、溶蚀缝组成;而 III、IV、V 类储层为具粉晶、细晶结构的白云岩,孔隙度一般 0.09%~8.5%,平均大于 0.1 μm 的孔隙体积小于 47.6%,渗透率 $0.098 \times 10^{-3} \sim 0.197 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙类型主要是溶蚀微裂缝和构造微裂缝。

华北其他地区潜山研究也表明,粗晶白云岩,如凝块石白云岩、锥状叠层石白云岩,经铸体薄片观察证实,除具备好的孔隙外,裂缝宽度一般较大,裂缝进一步沟通岩石孔隙,形成良好的储油空间系统,而泥晶、微晶白云岩一般都是差储层或非储层。

3 构造与裂缝的关系

桂林地区岩溶研究工作者从地貌景观出发,找出了构造与岩溶洼地和洞穴的内在联系,这一思路无疑是值得我们借鉴的。

3.1 断层与裂缝的关系

我们在研究涠 10-3N 潜山裂缝分布规律时,采用测井资料得出了潜山有两组裂缝组系,1、3 井区主要裂缝发育方向为北 $50^\circ \sim 70^\circ$ 东,次要裂缝发育方向为北 $20^\circ \sim 45^\circ$ 西;2 井区主要裂缝发育方向为北 45° 西,次要裂缝发育方向为北 $65^\circ \sim 85^\circ$ 东(图 4),它们的主要发育方向分别与邻近的断层走向一致。南海西部石油公司刘春兰等根据双侧向测井幅度差,还计算出了裂缝张开度,而且得出离断层越近,裂缝越发育。如 3 井紧靠断层,风化壳裂缝张开度为 $949.32 \mu\text{m}$,而距断层 87.5m 的 2 井风化壳裂缝张开度为 $228.67 \mu\text{m}$,距离断层 100m 的 1 井风化壳裂缝张开度仅为 $38.60 \mu\text{m}$ 。再如渤海渤中 28-1 的 6 井和 7 井两个含油断块,处于断裂交错带,与其他断块区相

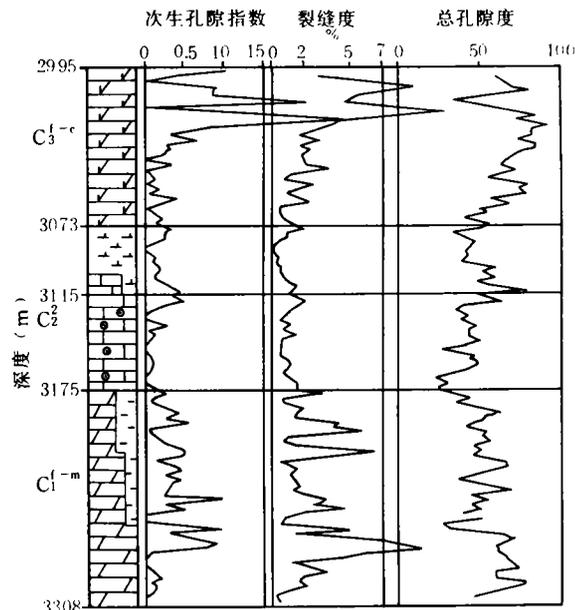


图 3 渤海海域渤中 28-1-1 井 SPI 、 φ_T 、 FIL 垂向变化图

SPI —次生孔隙指数 φ_T —总孔隙度(%)

FIL —裂缝度=解释段厚度/地层总厚度 $\times 100\%$

比,岩石破碎厉害,裂缝十分发育(表3)。

3.2 裂缝段的分带性

桂林地区岩溶洼地、洞穴除在平面上与断层、褶皱有成生关系外,在纵向上与地壳升降也有很好的对应关系。这是因为构造运动造成了某一地质时期的地形高差,为水体流向、汇水区域提供了外部条件;侵蚀基准面的不同高程,造成不同高程的岩溶发育段。

我们通过测井、取心、录井等资料,对涸10-3N潜山裂缝发育进行了分段,发现在纵向上可分为4个带(表4)。南海西部公司还根据测井标定地震,由井出发,按相位对比追踪,确定出裂缝发育带(图5)。

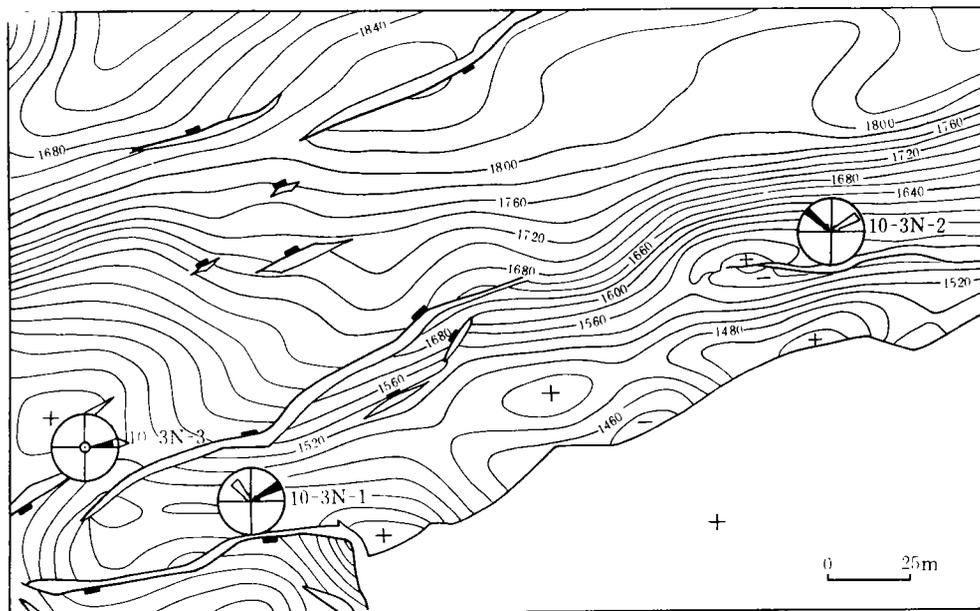


图4 涸10-3N潜山裂缝发育方向

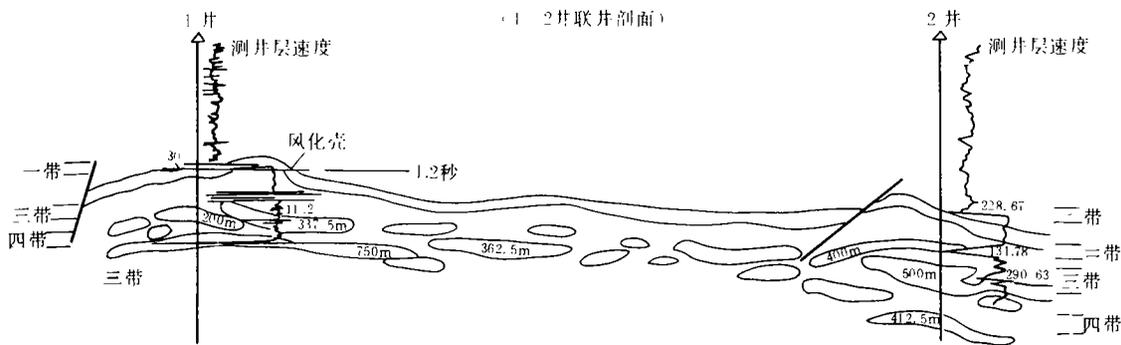


图5 涸10-3N1,2井纵向裂缝发育带

表3 渤中28-1构造裂缝、溶蚀孔洞比率表

含油断块		孔隙类型	
		裂缝 (大岩心+镜下) 溶蚀、构造缝	溶蚀孔洞 (大岩心+镜下)
1~2井 含油断块	下油组	12 $\frac{0.09}{0.8}$ 0.59	12 $\frac{0.5}{8}$ 2.13
	上油组	32 $\frac{0.86}{5.55}$ 2.61	32 $\frac{0}{6}$ 1.24
6井含油断块		22 $\frac{1.02}{17.5}$ 5.64	22 $\frac{0}{2}$ 0.43
7井含油断块		6 $\frac{2.54}{12.6}$ 11.0	7 $\frac{0}{10}$ 2.64

注:表中数据表示法:样品数 $\frac{\text{最大值}(\%)}{\text{最小值}(\%)}$ 平均值(%)

表4 涪10-3N潜山裂缝发育带

带数	井号及深度		
	涪10-3N-1	涪10-3N-2	涪10-3N-3
一带	1487.5~1491.0	1603.0~1613	1556.0~1560.0
二带	1579.0~1633.0	1750.0~1770.0	1588.0~1590.5
三带	1695.0~1715.0	1820.0~1831.5	1677.5~1683.0(斜深)
四带	1766.0~1771.6	1915.0~1930.0	1715.0~1719.0(斜深)

4 结论

(1)在利用地震资料作出潜山构造形态图的基础上,结合倾角测井、钻井等资料,确定其岩层产状是可行的。

(2)一般情况下,白云岩和灰质白云岩次生孔隙、裂缝比灰岩发育,灰岩易发育溶洞。

(3)裂缝发育程度与断层关系密切,即离断层越近,裂缝越发育;一定的构造活动可形成相应的裂缝发育带。

(收稿日期:1992年1月28日)

参考文献

- 1 翁金桃. 桂林岩溶与碳酸盐岩. 重庆出版社, 1987
- 2 冯展云, 邢云, 苏华. 用测井资料研究涪10-3N古潜山构造与储层. 中国海上油气(地质), 1991, 5(4)

STUDY ON BURIED HILL RESERVOIR OF CARBONATE ROCKS IN VIEW OF THE KARST CHARACTERS IN GUILLIN AREA

Xing Yun

(Department of Exploration and Production, China Marine Petroleum Corporation)

Abstract

After an investigation and survey on the karst topography in Guilin area, the paper concludes that three important topics should be considered for a better understanding of carbonate buried hill reservoirs, namely a prediction on the occurrence of sandstones, the relation of the occurrence of solution openings and fissures in a buried hill with their lithologies and textures; and the relation of reservoir spaces with tectonics.

《石油地质实验测试技术新进展》征订启事

《石油地质实验测试技术新进展/钱志浩等编著》一书已由地质出版社出版。该书系统汇集了地质矿产部石油地质中心实验室近年来有机地球化学各领域研究中的一些新的实验技术方法。这些成果和方法不仅丰富了石油地质实验测试理论,在石油普查勘探实践中也取得了显著成效,有些已取得良好的经济效益。本书包括有机质分离、气相色谱、色谱-质谱、稳定同位素、红外光谱、原子吸收光谱、元素分析、热模拟实验、有机岩相、储盖测定、矿物包裹体、样品采集和测试质量管理及实验测试应用于石油地质研究和东海、塔里木、扬子、松辽等地区勘查中的一些论文,反映了当前中心实验室测试技术的新理论、新方法,希望对从事石油地质、海洋地质实验测试及研究人员有所裨益。

定价:12.00元

联系人:曹寅 邮编:214151 地址:江苏无锡 916 信箱 电话:(0510)3708043

汇款:银行——石油地质中心实验室 2232210386 无锡市建行

邮汇——江苏无锡 916 信箱曹寅收

收到汇款,即寄出书及发票。