

桂中坳陷天然气组分特征 及其非烃组分成因

董庸, 黄羚, 王鹏万, 罗宪婴, 李丽

(中国石油杭州地质研究院)

摘要 桂中坳陷浅层泥盆系—石炭系、二叠系—三叠系天然气显示丰富,其组分主要包括 CH_4 、 CO_2 和 N_2 三种。自北向南,天然气的组分呈现明显分异,石炭系广泛出露区多见富 N_2 气聚集,体积分数达 80%~90%,忻城—合山一带二叠系—三叠系残存区,烃类相对富集;中部桂中 1 井 CH_4 与 CO_2 共存,体积分数相当;向南至 D907 井见到 CH_4 体积分数达 80%。区内 CO_2 为深部热作用下碳酸盐岩分解成因; N_2 来源于大气,与地面淡水下渗、岩溶作用发育有关。认为坳陷内天然气的较好显示及其组分在空间分布上的差异系由该区保存条件存在差异性所致。

关键词 桂中坳陷;天然气类型;天然气成因;油气成藏;保存条件

中图分类号: TE122.1¹¹

文献标识码: A

桂中坳陷为滇黔桂盆地次级单元,泥盆系—石炭系广泛出露,局部残存二叠系—三叠系(图1)。2007年桂中1井的钻探,有力地推进了坳陷生储盖组合^[1-4]、沥青成因^[5]、保存条件^[6-8]、天然气成藏^[9]等方面的研究。桂中坳陷裂解气藏为主要勘探方向、忻城—合山一线以西地层深埋区具有较好的保存条件等已成共识。该坳陷浅层泥盆系—三叠系天然气显示丰富,但目前对其组分类型、空间分布特点、非烃组分的成因以及对烃类天然气成藏研究的意义等尚缺乏系统的论述。笔者以此为线索,整理了区内11口井的气体组分资料(除桂中1井外,其余为20世纪70年代的钻井),从成因定性分析入手,对气体组分类型的空间分布与保存条件的关系进行了梳理与研讨。

1 天然气显示及其组分类型

桂中坳陷浅层(埋深一般小于2000m),气显示较丰富(图1),平面上集中在柳城(下石炭统气苗)、柳江、南丹(泥盆系气苗)及合山(三叠系油气苗)(表

1),钻井中多次发生气喷。气体组分主要包括富 N_2 气体和富 CH_4 气体两类。结合天然气显示所在地质层位的分析,可见下列特征:

(1)下石炭统泥灰岩、石灰岩气样中, N_2 体积分数占主导,为76%~99%。

(2)南丹县 ZK-1 井中下泥盆统泥岩(214.8~228.3m)气样中 CH_4 体积分数52.1%~54.9%, N_2 体积分数在44.99%~47.9%,两者比例相当;柳江县柳1井在中泥盆统1260.5~1267m和1360~1390m两处,气体组分 N_2 体积分数均超过91%, CH_4 体积分数在10%以内。

(3)对于二叠系—三叠系残存部位,如合山县 D907 井,泥灰岩气样中 CH_4 的体积分数达82%。

与上述石炭系富 N_2 不同,近年完钻的桂中1井富 CH_4 和 CO_2 (表2)。其中,仅1207~1209m石灰岩中气测异常明显,全烃含量最高为4.721%,烃类组分全; CH_4 相对含量高达93.98%,解释为差气层。其余井段 CH_4 与 CO_2 共存, CO_2 的含量均大于25%。

从气体组分类型看,桂中坳陷主要存在 CH_4 、

收稿日期: 2012-07-04; 改回日期: 2013-10-30

基金项目: 本文为全国油气资源战略选区调查与评价项目“黔南桂中海相地层油气资源前景评价”(编号: XQ-2007-01)资助成果

董庸: 1970年生,高级工程师。1993年毕业于大庆石油学院,1996年中国地质大学(北京)硕士研究生毕业。现主要从事油气地质综合评价。通讯地址: 310023 浙江杭州市西溪路920号; 电话: (0571)85224922

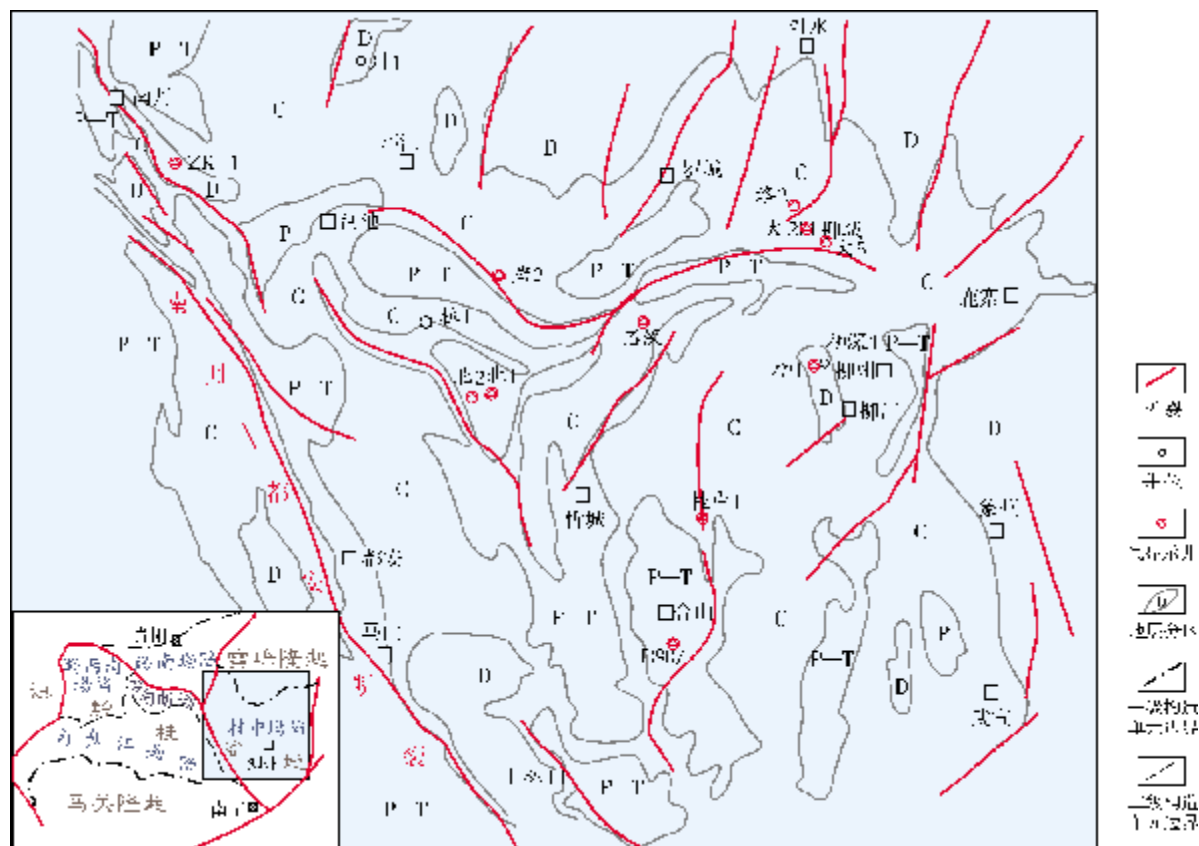


图 1 桂中坳陷出露地层与天然气显示分布图

表 1 桂中坳陷天然气显示表(据文献[8],①整理)

井号	层位	岩性	井段 (m)	油气类型	主 要 组 分	
					CH ₄ 体积分数(%)	N ₂ 体积分数(%)
D907	T ₁	泥灰岩	397.3~397.8	气、油	82.00	5.50
岩 2	C ₁ y ²	泥 岩	597.9~612.8	气 层	10.54	88.46
北 1	C ₁ d ³	石灰岩、白云岩	193.2~306.0	气 层	0.21~3.32	95.44~100.00
洛 2	C ₁ d ¹	石灰岩、泥岩	771.0~853.0	气 层	1.50	98.39
大 2	C ₁ d ¹	泥灰岩	303.0~450.0	气 层	1.09	98.69
大 5	C ₁ d ²	砂 岩	376.0~542.0	气 层	0.70~8.47	76.20~99.20
ZK-1	D ₁₊₂	泥 岩	214.8~228.3	气 层	52.10~54.90	44.99~47.90
北 2	D ₂ y	石灰岩	408.2	气 层	0.47	98.55
石深 1	D ₂ d	泥灰岩	—	—	—	80.54~80.94
柳 1	D ₂ d	泥灰岩	1260.5~1267.0 1360.0~1390.0	—	3.56~8.88	91.33~94.55

注: D₂y 应堂组; D₂d 东岗岭组; C₁y² 岩关阶二段; C₁d 大塘阶

① 楼章华,金爱民,朱蓉,等. 黔南桂中海相地层油气成藏和保存条件研究[R]. 浙江大学,2008.

表 2 桂中坳陷桂中 1 井气测解简表

层位	层号	解释井段 (m)	岩性	全烃含量 (%)	气体参数相对含量(%)			解释结论
					C ₁	C ₂₊	CO ₂	
C	1	65~70	灰色石灰岩	0.030~0.128	57.89	0	42.11	干层
	2	71~73	灰色石灰岩	0.070~0.124	54.02	0	45.98	干层
	3	74~77	灰色石灰岩	0.084~0.176	66.82	0.92	32.26	干层
	4	1207~1209	深灰色石灰岩	0.010~4.721	93.98	4.62	1.4	差气层
	5	1375~1377	深灰色白云质灰岩	0.025~0.056	34.21	0	65.79	干层
	6	1381~1385	深灰色灰质白云岩	0.058~0.116	60.11	0.56	39.33	干层
	7	1548~1555	黑色碳质泥岩	0.085~0.273	73.89	1.11	25	干层
	8	1564~1566	灰黑色灰质泥岩	0.051~0.112	44.55	0.99	54.46	干层
D ₃	9	1714~1722	深灰色石灰岩	0.049~0.090	46.75	0	53.25	干层

N₂、CO₂ 等三种。从天然气显示的空间分布看,自北向南,河池、柳城、柳江一带,地表石炭系广泛出露区的气样组分以 N₂ 为主;忻城、合山一带的桂中 1 井石炭系见 CH₄ 与 CO₂ 共存;合山的二叠系—三叠系残存区见到 CH₄ 相对富集。此外,据南丹 ZK-1 井揭示,泥盆系泥质岩发育段 CH₄ 也见相对富集。

由此可见,研究区气体的地质时空分布复杂,那么,形成不同类型气体聚集的地质条件,其特殊性又何在呢?这种分布现象对区内天然气成藏有何研究价值?笔者试图对这些问题进行尝试性的探讨。

2 非烃组成因分析

如上所述,桂中坳陷天然气的非烃组分主要是 N₂ 和 CO₂。关于其成因,主要是根据理论与具体地质条件进行定性分析,目前尚缺乏同位素等方面的数据。

中国多旋回地质演化的特点产生了海相碳酸盐岩地层油气成藏的整体观和晚期观^[10-12]。桂中坳陷具有两个基本地质特点:一是高热演化^[2,5,9],二是燕山期以来的强烈改造^[5-7],特别是喜马拉雅期以来滇黔桂地区整体抬升导致了碳酸盐岩裸露,岩溶广泛发育。桂中地区地面海拔高度一般为 200~400 m,总体上,发育岩溶的层系为上泥盆统和石炭系,中泥盆统泥岩由于区域分布广且较厚,起到隔层作用,阻止了区域性大气水下渗,因而中泥盆统及其以下地层岩溶不发育。钻井和录井资料显示,发生漏失井段一般为 420~873 m。柳深 1 井钻遇了中泥盆统泥岩隔

层,岩溶主要发育于泥岩隔层之上。

目前对“富二氧化碳气体主要属深部来源,或者是和深部热源有关的碳酸盐热分解”^[13-15] 已成为共识。具体到桂中 1 井区,这种 CO₂ 生成机制获得了等效镜质体反射率数据的支持,在 R₀-深度关系图(图 2)上,泥盆系与石炭系呈现明显的两段特征,石炭系镜质体反射率(2.6%~3.0%,变化梯度较大)高于上泥盆统(2.2%,向下呈线性增加,变化梯度明显小于石炭系),显示石炭系具有地温超补偿特征。考虑到海西期泥盆系—石炭系相对连续沉积的区域地质背景,邻区热演化研究中^[16-17]也未见到类似的石炭系地温超补偿的报道,因此推断所述的地温倒转为局部异常,可能与局部地区热事件例如深部热液或者岩浆上涌有关。

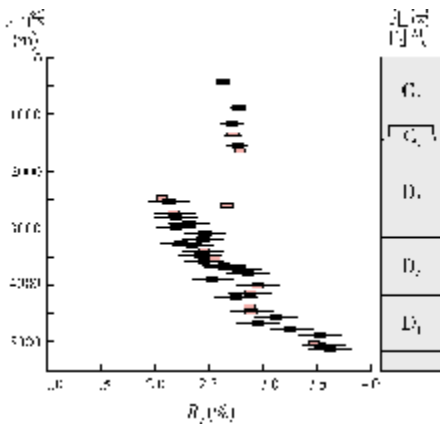


图 2 桂中坳陷桂中 1 井烃源岩等效镜质体反射率(R₀)与深度关系图^[5]

N_2 成因是多方面的^[18-20],热液气中富 CO_2 贫 N_2 ^[21],伴随烃类热解产生的有机氮一般小于5%^[19,22],结合坳陷晚期改造强烈的特点看,河池、柳城、柳江一带 N_2 富集应当与岩溶作用有一定关系。

对于南方海相地层,富氮气体(N_2 体积分数大于20%的气体)中绝大部分 N_2 主要来自于大气,通过地面水下潜携带到地下(例如盆地边缘地层露头区或断裂破碎带),然后以过饱和方式脱出并达到一定程度富集。富氮气体通常与淡化地层水相伴,反映了地层水曾经或至今仍与地表水发生缓慢交替^[22-23]。

把现有气体组分分析结果与井区水型资料结合起来分析,有助于理解两者的关系。

(1)石深1井中泥盆统泥灰岩中的 N_2 体积分数高达80%,在454~455 m深度时水型为 Na_2SO_4 ,到460 m时向 $NaHCO_3$ 型转化。

(2)柳1井中泥盆统泥灰岩中的 N_2 体积分数达95%,附近的柳深1井200~649 m(上泥盆统)水型为 $NaHCO_3$ 。桂参1井820 m深处上泥盆统所采集的水样矿化度为11.253 g/L,水型为 $NaHCO_3$;在1920 m深处中泥盆统测得水样矿化度为5.756 g/L,水型为 $NaHCO_3$ 。

(3)北1井石炭系 N_2 体积分数高达95%~100%,于478.14 m采集的水样水型为 Na_2SO_4 ,处于水文自由交替带;值得注意的是,北2井在上泥盆统408.2 m处 N_2 体积分数达98.5%,未见水型资料,在下伏深部地层2565.5~2567.5 m和2824.6~2852.9 m两处取得水样的水型均为 $MgCl_2$ 型,矿化度分别为206.93 g/L和255.84 g/L,这说明桂中坳陷区存在垂直水文地质分带,深部发育相对封闭的环境。

结合储盖组合、保存条件评价成果^[6-8]分析,桂中坳陷天然气显示及其组分的空间分布特点正是保存条件空间差异的响应。

桂中坳陷主要发育两套储盖组合:中泥盆统泥岩盖层是最重要的区域盖层,岩溶作用主要发育在其之上,在ZK-1井该套泥岩内气体组分中 CH_4 与 N_2 体积分数比例相当,这与其它井石炭系高 N_2 含量形成了鲜明的对比(表1);下石炭统泥岩盖层局部残留。自北向南,天然气组分类型随盖层残存程度不同,呈现明显的分异。河池、柳城、柳江一带石炭系广泛出露,石炭系残存厚度小,区域盖层之上的上泥盆统—石炭系保存条件差,天然气显示多见岩溶作

用下的富 N_2 气体聚集,钻进中常发生气喷,烃类聚集应当发育于中泥盆统区域盖层之下;忻城、合山一带中泥盆统区域盖层与石炭系局部盖层均发育,岩溶程度低,保存条件较好,反映到气体组分上,桂中1井区石炭系气测组分分析为 CH_4 与 CO_2 共存;合山二叠系—三叠系覆盖区D907井钻进中在下三叠统发生了 CH_4 气喷。据此分析,天然气组分类型及其空间分布可作为桂中坳陷保存条件的直接反映,它可为区带评价提供参考。

3 结 论

(1)桂中坳陷浅层天然气显示丰富,主要包括 CH_4 、 CO_2 、 N_2 三种组分;

(2)自北向南,石炭系广泛出露区,天然气组分富 N_2 ,体积分数达80%~90%;忻城—合山一带二叠系—三叠系残存区,烃类相对富集,桂中1井石炭系见 CO_2 与 CH_4 共存,体积分数相当,D907井下三叠统 CH_4 体积分数达82%;

(3)非烃气体主要包括 CO_2 和 N_2 , CO_2 为深部热作用下碳酸盐岩分解成因, N_2 来源于大气,与岩溶发育带地面淡水下渗有关。气体组分类型与分布是区内保存条件的响应。

参 考 文 献

- [1] 林良彪,陈洪德,陈子焯,等. 桂中坳陷中泥盆统烃源岩特征[J]. 天然气工业,2009,29(3):45-47.
- [2] 贺训云,姚根顺,贺晓苏,等. 桂中坳陷泥盆系烃源岩发育环境及潜力评价[J]. 石油学报,2011,32(2):273-279.
- [3] 王鹏万,姚根顺,陈子焯,等. 桂中坳陷泥盆纪生物礁储层特征及演化史[J]. 中国地质,2011,38(1):170-179.
- [4] 郭峰,郭岭. 桂中坳陷中泥盆统罗富组层序地层与沉积体系[J]. 桂林理工大学学报,2011,31(1):23-27.
- [5] 贺训云,姚根顺,贺晓苏,等. 桂中坳陷桂中1井沥青成因及油气成藏模式[J]. 石油学报,2010,31(3):420-426,431.
- [6] 楼章华,尚长健,姚根顺,等. 桂中坳陷及周缘海相地层油气保存条件[J]. 石油学报,2011,32(3):432-441.
- [7] 陈子焯,姚根顺,楼章华,等. 桂中坳陷及周缘油气保存条件分析[J]. 中国矿业大学学报,2011,40(1):80-88.
- [8] 金爱民,尚长健,李梅,等. 桂中坳陷现今水文地质地球化学与油气保存[J]. 浙江大学学报:工学版,2011,45(4):775-781.
- [9] 陈子焯,姚根顺,郭庆新,等. 桂中坳陷海相地层油气成藏与热作用改造[J]. 海相油气地质,2010,15(3):1-10.
- [10] 何登发,李德生,童晓光. 中国多旋回叠合盆地立体勘探[J]. 石油学报,2010,31(5):695-709.

- [11] 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探特殊性问题[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 15-22.
- [12] 吕宝凤, 夏斌. 中国海相碳酸盐岩地区油气成藏基本特征及勘探系统初探[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(5): 21-23.
- [13] 宋岩, 徐永昌. 天然气成因类型及其鉴别[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 24-29.
- [14] 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学: 卷一[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [15] 朱岳年, 吴新年. 二氧化碳地质研究[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1994.
- [16] 赵孟军, 张水昌, 赵陵, 等. 南盘江盆地主要烃源岩热演化史及油气生成史[J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 271-275.
- [17] 王洪江, 刘光祥. 中上扬子区热场分布与演化[J]. 石油实验地质, 2011, 33(2): 160-164.
- [18] 刘全有, 刘文汇, KROOSS B M, 等. 天然气中氮的地球化学研究进展[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(1): 119-124.
- [19] 陈安定. 氮气对海相地层油气保存的指示作用[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 85-89.
- [20] 朱岳年, 史卜庆. 天然气中 N_2 来源及其地球化学特征分析[J]. 地质地球化学, 1998, 26(4): 50-56.
- [21] SANO O A, et al. 日本热液气中二氧化碳和甲烷的碳同位素组成研究[G]. 张杰, 朱岳年, 编译//朱岳年, 吴新年. 二氧化碳地质研究. 兰州: 兰州大学出版社, 1994.
- [22] 陈安定. 地下富氮气体中氮主要来自地面大气水下渗[J]. 天然气地球科学, 1998, 9(6): 30-33.

编辑: 吴厚松, 金顺爱

Characteristics of Natural Gas Components and Origin of Non-hydrocarbon Gas in Guizhong Depression

Dong Yong, Huang Ling, Wang Pengwan, Luo Xianying, Li Li

Abstract: Natural gas is rich in shallow-buried Devonian-Carboniferous and Permian-Triassic reservoirs in Guizhong Depression. Natural gas generally consists of hydrocarbon gas, CH_4 , and non-hydrocarbon gas, CO_2 and N_2 . Gas presents obvious differentiation of components from north to south and as a result N_2 is getting rich and reaches up to 80% - 90% of volume fraction in the area of wide-exposed Carboniferous reservoirs. Hydrocarbon gas is relatively rich in the area of residual Permian-Triassic reservoirs. For instance, CH_4 is coexistent with CO_2 with equivalent volume fractions in Well GZ1 in the central of depression but southwards the CH_4 may accumulate to 80% of volume fraction in Well D907. It is shown that the CO_2 is derived from carbonate rock by decomposition of deep hydrotherm and the N_2 commonly comes from atmosphere, which is relative with karstification by infiltration of surface fresh water. It is suggested that the differentiation of gas components in spacial distribution are the result from different preservation conditions in this depression. Different gas components are the evidence of gas accumulation and preservation.

Key words: Type of natural gas; Origin of natural gas; Non-hydrocarbon gas; Hydrocarbon accumulation; Preservation condition; Guizhong Depression; Southern China

Dong Yong: male, MSc., Senior Geology Engineer. Add: PetroChina Hangzhou Institute of Petroleum Geology, 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang, 310023, China