

文章编号:1672-9854(2007)-02-0017-06

江汉平原及邻区海相碳酸盐岩的古岩溶特征及控制因素

盛贤才¹, 郭战峰¹, 陈学辉¹, 田戈江¹, 肖传桃²

(1 中国石油化工股份公司江汉油田分公司勘探开发研究院; 2 长江大学地球科学学院)



盛贤才

摘要 对于露头剖面的观察、相关样品分析及钻井资料的研究表明,区内碳酸盐台地在形成、发展及消亡过程中,由于不同级次的相对海平面下降,台地沉积过程中断,出现暴露并伴随溶蚀作用,在台地埋藏后还受到地下热水的溶蚀改造。将区内古岩溶划分为同生期层间岩溶、裸露期古风化壳岩溶、埋藏期热水岩溶等三类。同生期层间岩溶多与相对短时间的海平面下降有关,以发育溶蚀残积物、溶孔(铸模孔)等为特征。裸露期古风化壳岩溶表现为台地长时间的暴露及溶蚀,一般可见明显的古风化壳岩溶垂向分带;埋藏期热水岩溶以非选择性溶蚀为特征。控制碳酸盐台地古岩溶发育的主要因素有气候、全球性海平面变化、古地形、古构造等因素。初步探讨了区内古岩溶与储层发育的关系。

关键词 岩溶特征;控制因素;海相地层;碳酸盐岩储层;江汉油田

中图分类号 TE112.23

文献标识码 A

盛贤才 1965年出生,高级工程师,主要从事石油地质及沉积储层研究。通讯地址:433124 湖北省潜江市广华;电话:(0728)6502636

1 概述

江汉平原及邻区地处扬子陆块中部,南北为江南造山带和东秦岭造山带,腹地发育海陆叠合盆地,是典型的南方海相碳酸盐岩发育区。自南华纪到三叠纪,随着陆块南北多次“开”与“合”,陆块边缘多期造山、腹地多期成盆,总体表现为海盆发育期长、造山弱的特点(图1)^[1],沉积厚度在10 000 m以上。全国第三次油气资源评价认为江汉平原海相地层的天然气地质资源量达 $6\,936.73 \times 10^8 \text{ m}^3$,显示出较大勘探潜力,已经开展的石油地质条件综合研究成果表明其具有良好的油气勘探前景^[2-5]。震旦系灯影组、寒武系石龙洞组、中—上寒武统、石炭系黄龙组、二叠系茅口组以及三叠系嘉陵江组等层系不仅是油气赋存的有利场所,其本身亦是油气运移的主要通道。基于此,本文试图通过多条碳酸盐岩剖面古岩溶现象观察、相关样品分析及钻井资料的了解,研究古岩溶发育特点,分析控制古岩溶发育的主要因素,探讨古岩溶与储层发育之间的关系,进而为区内基础石油地质条件及油气成藏研究提供基础。

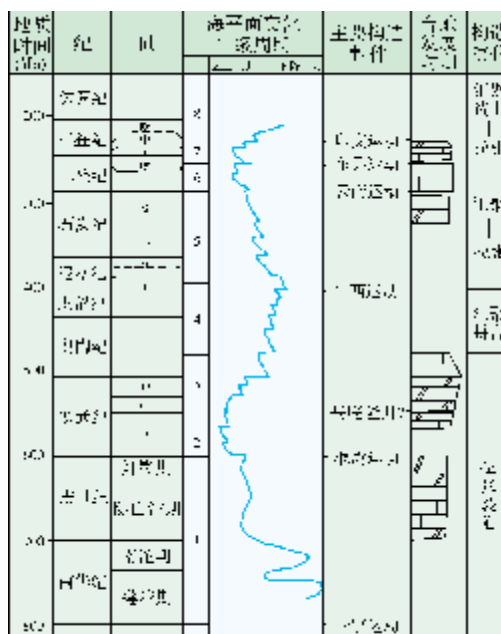


图1 研究区主要构造事件及海平面变化周期
(地质年代时限及二级海平面变化周期据文献[1])

收稿日期:2006-11-14

2 古岩溶特征

江汉平原在震旦纪及中、古生代主要包括震旦纪陡山沱期—灯影期、早寒武世晚期—中奥陶世以及晚石炭世—早三叠世三个碳酸盐岩台地发展时期(图1)。台地在形成、发展及消亡过程中经历了不同级次的相对海平面下降,出现频繁暴露并伴随溶蚀作用,而埋藏阶段还会进一步受到压释水、地下热水的溶蚀,不同阶段以及不同成因的古岩溶具有不同特点。前人对区内碳酸盐古岩溶作用作了一些研究^[6-9],主要认识包括以下几个方面:(1)研究区内古岩溶发育层位多,如灯影组顶部、石龙洞组顶部、黄龙组顶部、茅口组顶部、嘉陵江组顶部存在古岩溶作用面;(2)构造隆升是控制古岩溶发育的重要因素之一;(3)大部分古岩溶面均有大气淡水溶蚀作用特征,如碳氧同位素向负值偏移,Ba、Bi、Co、Cr、Cu、Ga、Mo、Ni、P、V、Zn、Ce等元素含量增加,高岭石含量较高等。但总体上对区内岩溶特征缺乏相对系统的研究,认识欠深入。

侯方浩等^[10]将地质时期的古岩溶划分为同生期层间岩溶、裸露期古风化壳岩溶、中—深埋藏期压释水岩溶和深埋藏期热水岩溶等四个类型。由于区内中—深埋藏期压释水岩溶和深埋藏期热水岩溶难

以分开,因而本文仅将区内岩溶划分为同生期层间岩溶、裸露期古风化壳岩溶及埋藏期热水岩溶三个类型,并通过区内典型实例力图分析其发育特点。

2.1 湖北兴山上寒武统三游洞群中的同生期层间岩溶

在晚寒武世三游洞群沉积时期碳酸盐台地总体高差不大,水体较浅,海水深度变化小,与广海连通性差,气候较为炎热干旱,出现含石膏、石盐的白云岩^[11],区内鄂西兴山一带以潮坪发育为特征,经常出现准同生及渗透回流白云石化作用,薄层状泥粉晶白云岩以及中—厚层状细晶白云岩中发育波痕、鸟眼构造以及藻纹层理。伴随相对海平面的下降,台地暴露,一定范围内遭受淡水淋滤和溶蚀,以起伏不平的古剥蚀面及渣状层发育为特点(图2a, 2b),渣状层成分主要为泥质不溶物以及下伏岩层的砾石,厚度一般为数厘米,最厚可达60 cm,横向厚度不稳定,代表沉积后不久的溶蚀残余堆积,古剥蚀面之下十余厘米可见溶孔发育带,溶孔呈不规则状或圆形,孔径以1~5 cm的居多,全充填或半充填。纵向上可见多个以发育渣状层为特征的层间岩溶层,局部可见以白云岩层—渣状层为基础单元组成的沉积韵律。



(a) 层间岩溶形成渣状层, 横向不稳定, 最厚60cm, 底面起伏不平。三游洞群中部



(b) 层间岩溶形成的渣状层, 顶面微起伏, 底部与白云岩过渡, 白云岩角砾化, 厚度6~9cm。三游洞群上部

图2 湖北兴山古洞口上寒武统三游洞群剖面

2.2 湖北京山下寒武统石龙洞组顶部裸露期古风化壳岩溶

早寒武世晚期(石龙洞组沉积时期)区内碳酸盐台地已有相当规模,但与广海连通性较差,以潟

湖—潮坪沉积为主,在经历了短暂的浅埋藏成岩作用之后,早寒武世末期相对海平面下降,台地有一段时间相对较长的暴露过程,在鄂北京山惠亭山一带出现了明显的古岩溶作用,剖面上可划分出渗流带、水平潜流带和深部缓流带(图3)。各带有如下特征。

(3) 深部缓流带与基岩过渡,以鲕粒云岩为主,仅受微弱溶蚀,裂缝发育,但与渗流带不同,仅有一组,宽度不大,大多被方解石全充填,且被岩溶角砾岩所截切(图5)。



鲕粒白云岩与岩溶角砾状白云岩突变接触,鲕粒白云岩中裂缝发育,明显被角砾状白云岩所截切。石龙洞组近顶部

图5 湖北京山惠亭山下寒武统石龙洞组岩溶特征(2)

2.3 湖南慈利南山坪震旦系灯影组埋藏期热水岩溶作用

湖南慈利南山坪震旦系灯影组据赵宗举等^[6]研究可见明显深埋有机溶蚀,其特征为:(1)孔、洞、缝中充填的粗晶粒状、块状富铁白云石及异形白云石被溶蚀成港湾状、残缕状,形成白云石晶内溶孔、溶洞并被沥青充填;(2)镜下观察到部分裸露期风化壳岩溶形成的溶蚀孔隙经埋藏期胶结物充填后,再次被深埋溶蚀而形成孔隙;(3)溶孔、溶洞的发育直接与裂缝有关,裂缝、脉内溶孔与砾间溶孔、溶洞相通,说明砾间溶孔、溶洞形成于晚期埋藏阶段。

3 控制古岩溶发育的主要因素

3.1 气候与古岩溶

现今岩溶地貌主要分布于亚热带—温带气候区,降水充足,植被发育。依据将今论古原理,地质时期的古岩溶发育也需具备此种条件。工区岩溶发育时期包括震旦纪末—早寒武世最早期、早寒武世末、石炭纪末、早二叠世末、中三叠世末等,气候具有如下特点:(1)岩溶发展时期沉积建造总体反映了低纬度地区的特点,如巨厚的碳酸盐台地建造、“红层”等出现;(2)石炭纪、二叠纪的蕨及植物反映了

低纬度地区的生物面貌;(3)石炭纪末、早二叠世,可能还有中三叠世末的气候较为潮湿,古岩溶面之上均出现含煤层系,可以加快岩溶作用速度;早寒武世晚期由于出现少量膏盐岩类(清虚洞组),但研究区内出现陆源碎屑夹层,反映受到地表水注入的影响,推测为半潮湿半干旱气候,是古岩溶作用还处于溶洞发展阶段的主要原因。震旦纪末可能与早寒武世末的气候相似。

3.2 全球海平面下降与古岩溶

刘宝珺等^[1]认为我国南方震旦纪—三叠纪相对海平面升降可划分出三个不同级别的周期,与全球海平面变化相对应的超周期(二级周期)有8个(图1),其中震旦纪末、石炭纪末、早二叠世末、中三叠世末等四个全球海平面下降时期,分别与区内的4个古岩溶作用面(即震旦系灯影组顶面、石炭系黄龙组(船山组)顶面、二叠系茅口组顶面、三叠系嘉陵江组顶面)相对应,可以认为四次全球海平面的下降影响了区内四次古岩溶的发育。

3.3 古地形特征与古岩溶

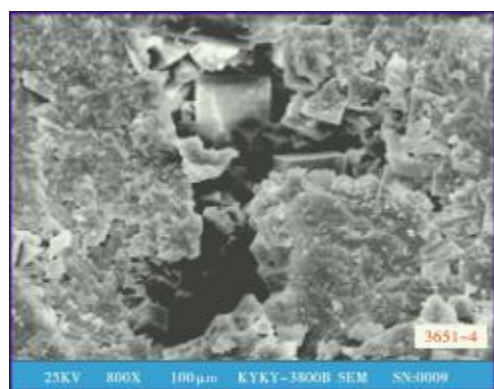
碳酸盐台上的潮坪、浅滩等古地貌高有利于古岩溶作用的进行,与高频海平面变化(周期几万~几十万年)有关的相对海平面下降就能导致大气淡水的有效溶蚀,可形成露头上或者显微镜下能够识别的溶蚀作用标志(如渣状层、铸模孔、粒内孔等);潟湖等古地貌低洼处则一般古岩溶作用微弱。与低频海平面变化(一级周期、二级周期、三级周期)有关的相对海平面下降可导致整个碳酸盐台地边缘以上的暴露,而台地边缘以下则较难以接受其影响。

3.4 古构造因素与古岩溶

研究区震旦纪—三叠纪发生多次构造运动(图1)。早寒武世早期由于“惠亭运动”的影响,区内沉积基底发生低幅度的差异升降,鄂中地区中北部由于相对上升成为古岛^[12],因此受全球海平面下降影响的灯影组顶部的岩溶面可能叠加了“惠亭运动”的影响;早二叠世末区内的古岩溶作用尽管受全球性海平面下降的影响,但更重要的影响却是茅口期末构造隆升活动促使海平面下降,造成台地暴露^[1]。晚三叠世末受印支运动的影响,区内发生差异隆升,在高隆起剥蚀区嘉陵江组只残存嘉一段,形成了嘉

陵江组顶部的古岩溶作用面^[9]。早寒武世晚期是全球海平面上升时期,但区内总体表现为进积沉积序列,乃至最终台地暴露并有古岩溶作用发生,显示出构造沉降减弱甚至出现构造隆升作用,石龙洞组顶部的岩溶特征亦显示岩溶作用发生之前白云岩已固结并有古裂缝形成,此也佐证了构造的影响,而与这一构造隆升作用有关的古岩溶不仅发现于鄂北京山一带,而且还见于宜昌泰山庙和石柱双流坝等地^①。

此外,古构造运动形成的古裂缝的发育,有利于古岩溶的发育。一般认为区内天门(天12井)、红丰、簪洲以及当阳一带嘉陵江组中的古岩溶与燕山及喜马拉雅期构造运动产生的各种类型的裂隙发育有关^[10]。由断层作用形成的裂隙沟通不同性质的流体,造成了地球化学环境的失衡,导致嘉陵江组遭受不同程度溶蚀改造,嘉四、嘉五段因有易溶的膏质云岩存在,地层中形成了多种孔隙类型。石炭系黄龙组中见大量的溶孔(图6),伴生有大量的受溶蚀作用改造的溶缝,可以认为溶蚀作用与裂缝关系密切。



泥粉晶白云岩中的溶孔,孔隙内被白云石自形晶半充填。黄龙组,夏4井3392.3~3392.5m, ×21.6

图6 夏4井石炭系黄龙组薄片

总体上看,石龙洞组、茅口组、嘉陵江组等地层的古岩溶发育主要受构造隆升控制,而灯影组、黄龙组等地层的古岩溶则主要受全球海平面下降的影响。

4 古岩溶作用与储层发育

研究区同生期层间岩溶、裸露期古风化壳岩溶及埋藏期热水岩溶与有效储层发育关系密切,层间岩溶形成的溶孔白云岩层(石灰岩)、渗流带及潜流

带的未充填孔洞带、与裂缝有关的埋藏岩溶发育区都是有效储层发育有利区域(图7)。神农架武山剖面震旦纪灯影组一段、长阳地区中上寒武统发育针孔白云岩,经研究与层间溶蚀有关^[11],形成了区内有效储集层段,其中神农架武山剖面灯影组灯一段所见针孔白云岩孔隙度平均达5.7%,最大值为12.2%。海9井钻井资料表明,灯影组顶部存在与暴露有关的古岩溶面,距剥蚀面以下45.18m处见井漏,平均漏速达10m³/h,40m开始出现溶孔发育带,岩心孔隙度达6.5%,渗透率可达 $0.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;湖北京山惠亭山剖面下寒武统石龙洞组顶部为裸露期古风化壳岩溶面,渗流带常见未充填裂缝,而水平潜流带中半充填孔、洞极为发育(图4b),最大可达5cm以上,储渗性能由于古岩溶作用而得到极大的改善。区内天门(天12井)、红丰、簪洲以及当阳一带嘉陵江组中的古岩溶与埋藏期热水岩溶有关,嘉四、嘉五段发育多种孔隙类型,局部出现的膏溶角砾岩中砾间可发育超大孔隙,孔隙度大者达10%以上。

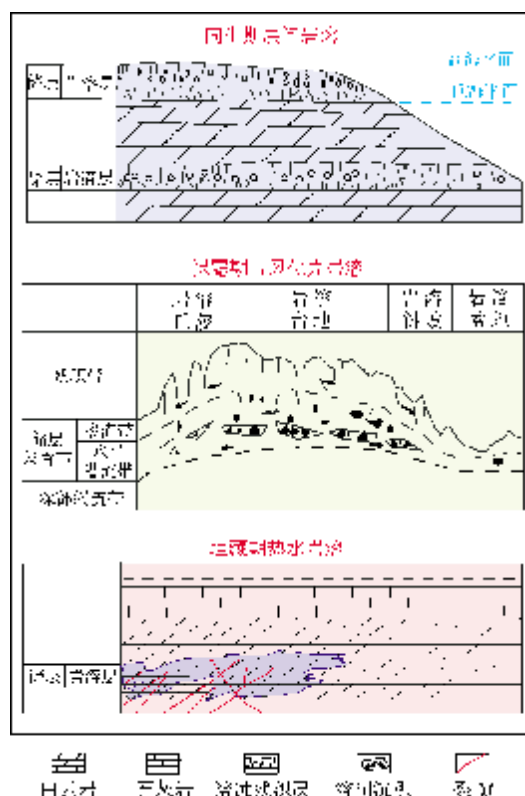


图7 研究区三种类型的岩溶与储层对比示意图

① 周雁,梁西文,陈仁学,等.中扬子区海相地层构造—层序岩相古地理研究及编图.中国石油化工股份有限公司勘探开发研究院,2001.

5 认识与结论

(1) 江汉平原及邻区海相碳酸盐岩可分为同生期层间岩溶、裸露期古风化壳岩溶及埋藏期热水岩溶。同生期层间岩溶与高频相对海平面下降有关,暴露时间短,以渣状层、溶孔或铸模孔发育为特点,裸露期古风化壳岩溶与低频相对海平面下降有关,暴露时间长,溶蚀范围广,以发育明显的古岩溶特征或古岩溶垂向分带为特征;埋藏期热水岩溶主要为非选择性溶蚀,与裂缝的关系较为密切;

(2) 控制碳酸盐台地上古岩溶发育的相关因素有气候、全球海平面变化、古地形特征、构造因素等,其中工区内灯影组及黄龙组顶部的古岩溶主要受全球性海平面变化的控制,而石龙洞组、茅口组以及嘉陵江组古岩溶主要受构造隆升影响;

(3) 同生期层间岩溶、裸露期古风化壳岩溶及埋藏期热水岩溶与工区有效储层发育关系密切,层间岩溶形成的溶孔白云岩层(石灰岩)、渗流带及潜流带的未充填孔洞带,与裂缝有关的埋藏岩溶发育区都是有效储层发育有利区域。

参考文献

- [1] 刘宝珺,许效松,潘杏南,等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京:科学出版社,1993:9-109.
- [2] 赵宗举,朱琰,徐云俊. 中国南方古生界—中生界油气藏成藏规律及勘探方向[J]. 地质学报,78(5):710-720.
- [3] 李大成,赵宗举,徐云俊. 中国海相地层油气成藏条件与有利勘探领域分析[J]. 中国石油勘探,2004(5):3-11.
- [4] 叶舟,支家生,梁兴,等. 江汉盆地前白垩系油气勘探前景展望[J]. 天然气工业,2005,25(2):14-27.
- [5] 郭战峰,杨振武,刘新民,等. 江汉平原古生界构造结构特征及油气勘探方向[J]. 海相油气地质,2006,11(2):9-16.
- [6] 赵宗举,冯加良,陈学时,等. 湖南慈利灯影组古油藏的发现及意义[J]. 石油与天然气地质,2001,22(2):114-118.
- [7] 梁百和,王英华,朱素琳. 中扬子区晚石炭世碳酸盐岩的古岩溶成岩相[J]. 中山大学学报:自然科学版,1998,37(2):91-96.
- [8] 牛志军,段其发,傅泰安,等. 湖北建始—巴东地区茅口组顶部古岩溶不整合面的发现[J]. 中国区域地质,2000,19(3):276-280.
- [9] 严金泉,陈学辉. 江汉盆地石炭系—下三叠统储集层控制因素及发育特征研究[J]. 石油天然气学报,2005,27(4):409-412.
- [10] 侯方浩,方少仙,沈昭国,等. 白云岩体表生成岩裸露期古风化壳岩溶的规模[J]. 海相油气地质,2005,10(1):19-30.
- [11] 刘伟新,朱樱. 湖北长阳地区中上寒武统碳酸盐岩储集性能扫描电镜研究[J]. 石油实验地质,2003,25(增刊):596-600.
- [12] 湖北省地质矿产局. 湖北省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1990.

编辑:金顺爱

Palaeokarst Characteristics and Controlling Factors of Marine Carbonate Rocks in Jiangnan Plain and its Neighboring Areas

Sheng Xiancai, Guo Zhanfeng, Chen Xuehui, Tian Gejiang, Xiao Chuantao

Abstract: Carbonate platforms underwent several interruptions of sedimentary process, subaerial dissolution and karstification during their formation and development in Jiangnan Plain and its neighboring areas because of multi-stage relative sea-level descent in Sinian, Palaeozoic and early Mesozoic. The carbonate rocks are corroded further by subterranean thermal water after burial. The palaeokarst in the studied area is divided into hypergenic depositional karst, the palaeoweathering crust karst and the burial thermal-water karst. The hypergenic depositional karst is characterized by ground residual deposits or selective dissolution pores (or casting pores) related to short-term depositional interruptions. The palaeoweathering crust karst generally shows weathered layers and obvious belts of karstification in vertical because of long-term exposure. The burial thermal-water karst displays nonselective dissolution pores and dissolution fissures caused by subterranean thermal-water corrosion. It is considered that main factors of controlling karstification development in the carbonate platforms are paleoclimate, eustatic sea level changes, palaeotopography, tectonic event, etc. The relationship of paleokarst and reservoirs is discussed also.

Key words: Carbonate reservoir; Paleokarst; Controlling factors; Jiangnan Basin

Sheng Xiancai: male, Senior Geologist. Add: Exploration & Development Research Institute of Jiangnan Oilfield Branch Company, SINOPEC, Qianjiang, Hubei, 433124 China