

# 中扬子区晚石炭世碳酸盐岩的古岩溶成岩相<sup>\*</sup>

梁百和<sup>1)</sup> 王英华<sup>2)</sup> 朱素琳<sup>1)</sup>

(1) 中山大学地球科学系, 广州 510275; 2) 北京大学地质学系)

**摘要** 中扬子区晚石炭世碳酸盐岩与上覆早二叠世地层之间存在沉积间断 剥蚀面, 并发育古风化壳. 剥蚀面之下, 碳酸盐岩古岩溶作用广泛发育, 具有层间不平整剥蚀 溶解面、岩溶砾一角砾岩、溶解裂隙及与之连通的岩溶洞穴等古岩溶作用特征. 将古岩溶作用叠加于先成碳酸盐岩地质体的一种特殊成岩环境的物质表现称为古岩溶成岩相. 成岩环境可以暴露地表、近地表, 成岩介质主要是大气淡水. 区域碳酸盐岩古岩溶成岩相有特定的岩石学、粘土矿物、微量元素、氧碳同位素特征. 垂向可以分带, 横向可以对比, 是一种对油气储集空间形成极为有利的特殊成岩相.

**关键词** 碳酸盐岩, 成岩作用, 古岩溶成岩相

**分类号** TE 1

国内外研究证明<sup>[1]</sup>, 地质历史中沉积间断 剥蚀面的下伏碳酸盐岩可以形成良好的油气储集空间. 区域晚石炭世黄龙组碳酸盐岩, 与上覆二叠系呈假整合接触, 二者之间发育古风化壳或古侵蚀面. 黄龙组内部亦有不同程度的多次间断. 各种间断 剥蚀面之下的碳酸盐岩地质体在晚期成岩阶段古岩溶作用叠加改造下, 形成新的成岩组分和结构. 作者将在古岩溶成岩环境下的物质表现称为古岩溶成岩相<sup>[2]</sup>. 其特征可以通过古风化壳或古岩溶面、裂隙与洞穴、岩石的组分和结构、地球化学等特征判别. 各种特征均受到晚期淡水成岩作用影响. 它与先成岩石在早、中期成岩阶段的大气淡水成岩环境下形成的组分和结构不同. 在早、中期成岩阶段可以经历各种成岩环境, 包括淡水成岩环境<sup>[3]</sup>. 作者研究发现, 由多种成岩相组成的区域晚石炭世碳酸盐岩的成岩地质体中, 储集性较好的首当古岩溶成岩相<sup>[4]</sup>. 因此, 研究古岩溶作用具有重要的现实意义.

## 1 古风化壳特征及其与古岩溶作用的关系

晚石炭世黄龙组受云南运动影响, 抬升暴露地表. 古地形高处剥蚀作用占主导, 无风化壳发育. 古地形低处, 剥蚀与原地风化、沉积作用伴随发生, 形成古风化壳. 例如江汉盆地中部北缘京山县金泉寺南采石场, 西部松滋县欧家河等地均有古风化壳发育. 黄龙组内部, 局部沉积间断亦可形成极薄的泥岩型古风化层及起伏不平的古岩溶面.

古风化壳厚约 1.9~ 2.67 m, 岩性及厚度较为稳定, 垂向有明显分带性, 横向可以对比,

\* 国家自然科学基金 (49772120) 资助项目

收稿日期: 1997-07-21 梁百和, 男, 59岁, 副教授

如京山县金泉寺南采石场古风化壳剖面(图 1), 3个层带各有一定成因联系的岩石共生组合, 岩石疏松, 充填铁、泥及灰质, 普遍裂隙化和角砾化. 中、下部垂直网状裂隙发育, 是大

→120°

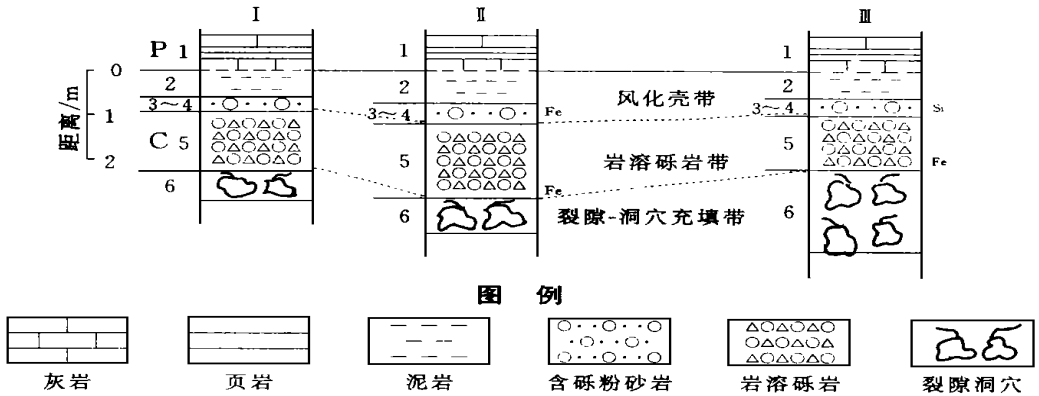


图 1 京山县金泉寺南采石场石炭—二叠系风化壳剖面柱状对比图

Fig. 1 Correlations of C-P weathering crust sections in the stone pit to the south of Jinquan Temple in Jingshan

气淡水成岩介质的通道, 有利于改造地表以下或埋藏较深的先成岩石. 古风化壳的许多特征是大气淡水成岩环境的标志. 例如, 泥岩或泥质裂隙充填物的粘土矿物以高岭石为主,  $w$  (高岭石) 为 48%~100%. 各类岩石含铁较高,  $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$  为 9.1%~56.7%. 泥岩大部分微量元素如 Ba, Bi, Co, Cr, Cu, Ga, Mo, Ni, P, V, Zn, Ce 等质量分数偏高, 例如 Ba 的平均质量分数为  $218.97 \times 10^{-6}$ , Ga 为  $41.68 \times 10^{-6}$ . 如与海相沉积泥岩比较, 前者高于后者 2 倍以上. 只有 Li, Mn, Sr 等略低于海相泥岩. 其中 Mn 质量分数平均为  $177.65 \times 10^{-6}$ , Sr 为  $47.90 \times 10^{-6}$ . 氧、碳同位素分析显示, 风化壳中的灰质填隙物及砾石包壳的  $W(^{13}\text{C})$ ,  $W(^{18}\text{O})$  均为负值. 其中  $W(^{13}\text{C})$  为  $-0.882\% \sim -0.434\%$  (PDB),  $W(^{18}\text{O})$  为  $-1.116\% \sim -0.823\%$  (PDB),  $Z$  值为 105~112. 反映在淡水岩环境下形成.

通常古风化壳仅指由碎屑岩、泥岩组成的剖面上部层带. 但中、下部的岩溶砾岩带和裂隙—洞穴充填带与上部层带有极为密切的成因联系. 它们都是暴露或者非常接近地表的产物, 所受大气淡水作用和古岩溶改造十分深刻. 疏松多孔的岩石, 先成碳酸盐岩的砾岩化, 垂直网状裂隙的发育和淡水溶解作用形成的洞穴为下伏古岩溶碳酸盐岩成岩相提供了物质、空间和作用条件.

## 2 古岩溶成岩相特征

### 2.1 岩石矿物学特征

根据地表及钻孔剖面研究, 古风化壳或不平整剥蚀/溶解面之下, 碳酸盐岩溶解, 碎裂和充填作用广泛发育, 主要表现为见于不同层位的岩溶砾—角砾岩. 呈朵状、透镜状孤立分布, 与围岩界线清楚. 岩溶砾—角砾岩按成因可分 3 种: ① 压裂(碎)角砾岩, 几乎全为岩石原地碎裂, 砾石无位移分选, 有的砾间实际是微裂隙(图 2a); ② 压溶砾—角砾岩, 也是岩石原地破碎产物, 但砾石多被溶圆, 有的圆度极好, 堆叠不甚紧密, 时有溶解裂隙分

布; ③ 塌积砾—角砾岩, 砾石有明显位移, 不同类型岩溶砾岩及围岩组分酸不溶物 X 射线衍射分析结果 (表 1) 表明, 多数岩石 (组分) 的粘土矿物以伊利石和高岭石为主. 高岭石的较高含量, 反映风化壳物质及大气淡水成岩产物对先成岩石的充填和改造作用.

表 1 中扬子区晚石炭世碳酸盐岩酸不溶物的粘土矿物

Tab. 1 Clay minerals of acid materials in late Carboniferous carbonates in the middle Yangzi area

样品地点	岩石 (或组分) 名称	w (不溶物) %	w (伊利石) %	w (高岭石) %
西野山	重结晶灰岩	0.67	46.5	53.5
西野山	含砾屑泥晶灰岩 <sup>1)</sup>	4.44	63.8	35.1
官塘驿	岩溶角砾岩 <sup>2)</sup>	5.36	16.9	83.1
笔架山	泥晶白云岩 <sup>1)</sup>	0.76	75.0	25.0
雁门口	岩溶砾岩 <sup>3)</sup>	7.30	11.9	85.3
欧家河	细晶白云岩	25.74	66.7	33.3
梯子口	泥岩 <sup>1)</sup>	79.18	20.8	79.2

1) 洞穴充填物, 2) 填隙物, 3) 砾石包壳 (a) (b) (c) (d)



图 2 中扬子区晚石炭世碳酸盐岩结构图

Fig. 2 Structures of late Carboniferous carbonates

(a) 西野山细晶白云岩 ( $C_{2h}^1$ ), 网脉状裂隙使岩石角砾化, 单偏光,  $\times 56$

(b) 欧家河叠层灰岩 ( $C_{2h}^2$ ), 古石柱沿垂直洞穴充填, 具不规则纹层状构造, 露头照片;

(c) 欧家河叠层灰岩 ( $C_{2h}^3$ ), 洞穴充填物的垂直穹状叠层组构, 溶孔垂直纹层发育, 正交偏光,  $\times 56$

(d) 官塘驿粉晶白云岩 ( $C_{2h}^4$ ), 次生溶孔发育, 沿缝合线断续分布, 单偏光,  $\times 56$

## 2.2 洞穴和裂隙特征

洞穴和裂隙发育是古岩溶成岩相的重要标志. 洞穴规模数 cm 至数 m, 多数孤立分布, 少数成群出现. 按形态特征可分口袋状洞穴, 溶解裂隙扩展而成的洞穴, 沿缝合线断续分布的层状洞穴 3 种, 它们均被岩溶砾—角砾岩和塌积、沉积物充填.

溶解裂隙在空间上与洞穴构成一定组合, 裂隙是淡水成岩介质的通道. 按分布可分为

垂直裂隙、水平裂隙和网状裂隙。垂直裂隙与袋状洞穴关系密切；水平裂隙沿层面或缝合线发育，与水平洞穴有成因联系；网状裂隙导致岩石角砾化。裂隙充填物因溶解、局部溶解形成次生溶孔，成层分布者则为串珠状。裂隙和缝合线附近常发生去白云石化，并相应晶出淡水白云石及中、粗晶方解石。

### 2.3 微量元素及氧碳同位素特征

古岩溶成岩相物质的微量元素含量及氧、碳同位素特征反映大气淡水作用。元素分析结果显示，La, Ti, Ba, Ga, Bi 等的质量分数，与一般大气淡水成岩环境的特征近似<sup>[4]</sup>。古岩溶产物的  $W(^{13}\text{C})$ 、 $W(^{18}\text{O})$  为高负值或负值 (表 2)， $Z$  值 106~119，反映淡水成岩环境。

表 2 中扬子区晚石炭世古岩溶物质的  $W(^{13}\text{C})$ 、 $W(^{18}\text{O})$  值<sup>1)</sup>

Tab. 2 Carbon and oxygen isotopes of late Carboniferous ancient karst materials

样品地点	分析组分	$\delta(^{13}\text{C}, \text{PDB}) \text{‰}$	$\delta(^{18}\text{O}, \text{PDB}) \text{‰}$	$Z$ 值
丰 #	溶洞方解石	- 0.316	- 1.143	115
夏 #	裂缝充填物	- 0.158	- 1.452	117
夏 #	裂缝期充填物	- 0.040	- 1.539	119
西野山	泥晶灰岩 (塌积物)	- 0.025	- 0.876	112
梯子口	洞穴砾岩的充填物	- 0.227	- 0.807	119
官塘驿	泥晶灰岩的方解石充填物	- 0.044	- 1.612	118
官塘驿	洞穴中砾间泥灰质充填物	- 0.143	- 1.106	119
笔架山	晶洞方解石	- 0.801	- 0.809	106

1) 钻井数据选自江汉油田研究院海相室资料

## 3 区域古岩溶成岩相的垂直分带

古岩溶成岩相垂直向有明显分带性，横向可以对比，对孔隙发育和保存有重要控制作用。垂直分带受区域构造抬升、暴露程度、延续时间、地表径流和潜水面分布、先期成岩环境的成岩特征及岩石类型影响。例如，区域东部大冶西野山剖面底部的次生溶孔带，主要为白云岩，晶模孔、超晶孔发育，次为粒内孔、晶内孔。下部的溶解裂隙—洞穴充填带，除各类白云岩外，尚有亮晶生屑灰岩。溶解裂隙和洞穴多被碳酸盐砾、砂屑充填。上部的微裂隙带主要为泥晶生屑灰岩及泥晶灰岩，微裂隙及缝合线大部分被方解石及少量泥、铁、硅质充填，孔隙发育较差。顶部洞穴岩溶砾岩充填带，以泥晶灰岩为主。洞穴充填物类型复杂，孔隙发育差。相邻蒲圻官塘驿剖面岩溶分带与之极为相似。区域北部盆地边缘京山县笔架山与东部略有区别，其岩溶分带自下而上分为：① 溶解裂隙—洞穴及晶洞充填带。主要是各类白云岩，晶模孔、晶内孔、个别粒内孔发育。② 淡水粒状亮晶方解石胶结带。岩性为亮晶颗粒灰岩偶夹泥晶灰岩。地表岩溶效应不明显。钻孔中的亮晶颗粒灰岩选择性淡水溶解作用明显，砂屑粒内孔发育。③ 下部水平洞穴、晶洞充填带。主要为泥晶生屑灰岩，沿缝合线发育水平洞穴。④ 上部网状裂隙—洞穴塌积带。见于泥晶灰岩偶夹生屑泥晶灰岩中，近剥蚀面的洞穴塌积砾—角砾岩缝合线发育，但各种缝隙狭窄，仅充填铁泥质。

区域西部松滋县欧家河剖面岩溶成岩相的垂直分带与东部明显不同，下部出现陆源碎屑风化带。岩性为含陆源石英的各类白云岩，其间夹多层泥岩薄层，层面起伏。古岩溶作用前经历了较为复杂的成岩环境，具有海水—大气淡水（短期暴露）—埋藏成岩环境序列。

之后的再次抬升接受古岩溶改造, 表现在: (a) 短暂的沉积间断—剥蚀面存在于不同层位, (b) 岩溶洞穴发育, (c) 岩溶砾岩广泛分布, (d) 晶粒白云岩常见晶洞, 粗晶方解石充填为主; (e) 孔隙发育, 以超晶溶孔为主, 次为晶间孔及晶模孔. 上部洞穴塌积带为泥晶生屑灰岩, 岩层几乎全由溶解砾岩、塌积砾岩及洞穴沉积物组成, 面型分布. 偶见叠层灰岩构成古石柱充填于裂隙内 (图 2b). 孔隙发育, 但连通性差 (图 2c). 与之相邻的宜昌梯子口剖面岩溶作用规模也大, 垂直分带明显. 各地剖面岩溶成岩相垂向分带及横向对比如图 3.

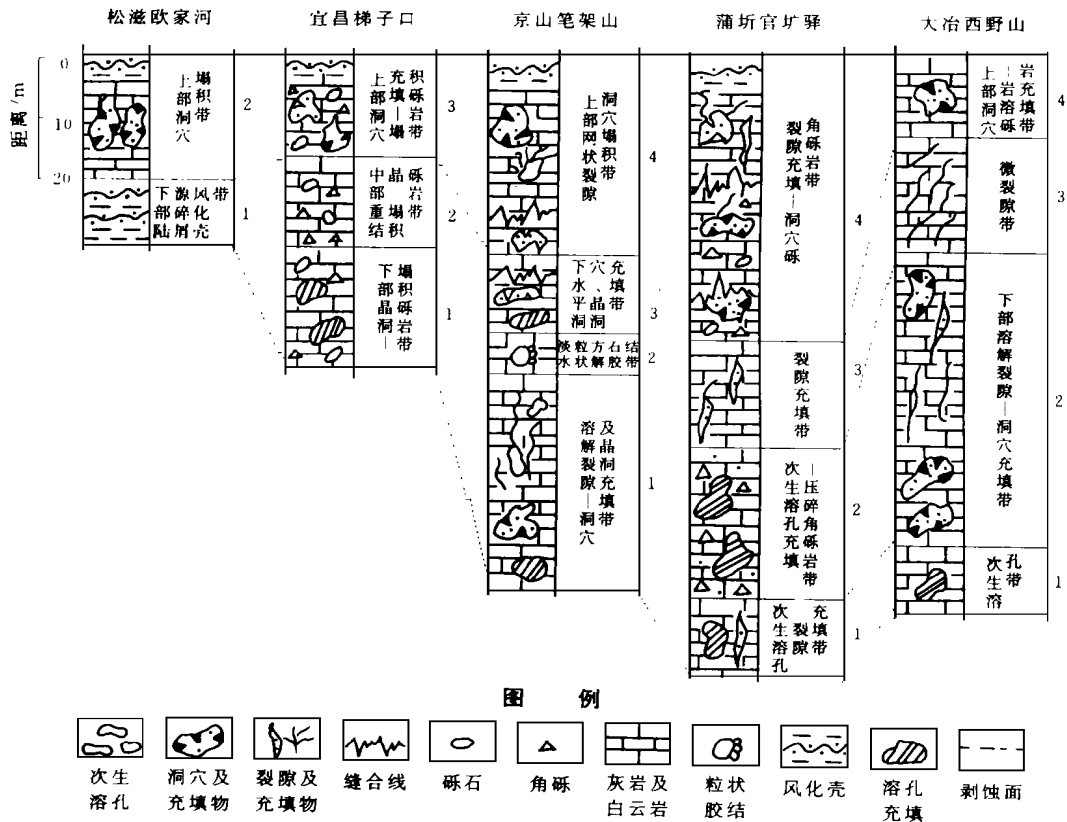


图 3 中扬子区 C-P 风化剥蚀面碳酸盐岩岩溶成岩相分带柱状对比图

Fig. 3 Correlations of carbonate karst diagenetic facies of the C-P weathering-erosion level in the middle Yangzi area

全区对比分析可知, 西部地区古岩溶作用受地壳抬升及海平面升降影响比较明显, 其中近剥蚀面附近, 洞穴及堆积充填的塌积砾岩、岩溶砾岩规模大, 溶解裂隙发育. 易受古岩溶作用改造的岩性主要为各类白云岩, 分布于各剖面下部, 层位稳定, 属下部岩溶成岩相带, 名称各有不同, 各类次生溶孔发育, 面孔率较高 (图 2d). 次为泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩, 分布于中、上部, 由于接近沉积间断—剥蚀面, 大气淡水沿裂隙向下渗滤、溶解, 形成洞穴及各种塌积物. 由于泥晶灰岩渗透性差, 沿晶间的溶解作用不甚明显, 裂隙又多被沉淀晶出的方解石充填, 溶解孔隙仅沿裂隙及缝合线缝隙串珠状分布, 孔隙性较差.

## 参 考 文 献

- 1 成都地质学院沉积地质矿产研究所译编. 古岩溶与油气储层. 成都: 成都科技大学出版社, 1991. 1-6, 106-120
- 2 王英华, 黄志诚, 王国忠, 等. 中、下扬子区海相碳酸盐岩成岩作用研究. 北京: 科学技术文献出版社, 1991. 4-20
- 3 Lonman M W. Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments. AAPG Bull, 1980, 164 (4): 416-485
- 4 梁百和, 朱素琳, 刘英霞, 等. 中扬子区晚石炭世碳酸盐岩的成岩作用. 中山大学学报 (自然科学版), 1996, 35 (2): 106-112

## The Ancient Karst Diagenetic Facies of Late Carboniferous Carbonates in the Middle Yangzi Area

*Liang Baihe*<sup>\*</sup> *Wang Yinghua* *Zhu Sulin*

**Abstract** A sedimentary depositional break erosional surface exists between the late Carboniferous carbonate and its overlying early Permian strata, and an ancient weathering crust developed in the same place. The ancient karstification of carbonate developed widely under the erosional surface. It is characterized by uneven interstrata erosion-dissolution surface, karst pebble-conglomerate, dissolution fissure and its connecting karst caves. The early formed carbonate superposed by ancient karstification in the special diagenetic environment is called karst diagenetic facies in the paper. The diagenetic environment may be exposed to the land surface or locate near the land surface. The diagenetic medium is mainly atmospheric fresh water. The regional ancient carbonate karst diagenetic facies is characterized by definite petrology, clay minerals, minor elements, oxygen and carbon isotopes. It can be divided into various zones in the vertical and compared in the lateral. It is a special diagenetic facies which is very advantageous to the formation of space for petroleum and natural gas.

**Keywords** carbonate, diagenesis, ancient karst diagenetic facies

<sup>\*</sup> Department of Earth Sciences, Zhongshan University, Guangzhou, 510275, China