

四川盆地东北部元坝地区中三叠统雷口坡组四段古岩溶特征及其油气地质意义

马治鸾¹, 陈洪德², 钟怡江², 林良彪², 李 洁^{3,4}, 王 琦⁵, 龙 宇⁶

MA Zhi-luan¹, CHEN Hong-de², ZHONG Yi-jiang²,

LIN Liang-biao², LI Jie^{3,4}, WANG Qi⁵, LONG Yu⁶

1. 成都理工大学旅游与城乡规划学院, 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室/沉积地质研究院, 四川 成都 610059;

3. 油气资源与探测国家重点实验室重庆页岩气研究中心, 重庆 400042;

4. 外生成矿与矿山环境重庆市重点实验室(重庆地质矿产研究院), 重庆 400042;

5. 内蒙古地质矿产勘查院, 内蒙古 呼和浩特 010011; 6. 四川省核工业地质局二八一一大队, 四川 西昌 615000

1. *College of Tourism and Urban-Rural Planning, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;*

2. *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation/Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;*

3. *Chongqing Shalegas Research Center of State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, Chongqing 400042, China;*

4. *Chongqing Key Laboratory of Exogenic Mineralization and Mine Environment, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing, 400042, China;*

5. *Inner Mongolia Institute of Geology and Mineral Exploration, Hohhot 010011, Inner Mongolia, China;*

6. *No. 281 Geological Party, CNNC, Xichang, 615000, Sichuan, China*

摘要:四川盆地东北部元坝地区雷口坡组四段中的油气突破显示了其重要的油气地质意义。通过对野外露头、岩心、薄片、阴极发光、钻井、录井、测井和地震资料的综合分析,认为研究区发育地表残积相、洞穴垮塌堆积相、地下暗河搬运充填相、基岩溶蚀破裂相、基岩溶蚀相和基岩溶蚀交代相 6 种岩溶相类型。根据不同岩溶带的水动力作用特征,由上而下将其分为地表岩溶带、垂直渗流带、水平潜流带和深部岩溶带。以上部地层印模法为主并结合雷口坡组的残余地层分布、风化壳厚度发育情况恢复古岩溶地貌,进一步刻画元坝地区的微地貌情况,认为岩溶斜坡为最有利的储层发育地貌单元,其中以中上斜坡更优,岩溶残丘为最有利的储层发育微地貌单元。古岩溶对雷口坡组四段储层的形成具有重要的作用,有利储层的平面和纵向发育、分布受古岩溶作用特征的控制。

关键词:四川盆地东北部;雷口坡组四段;古岩溶;油气地质意义

中图分类号:P534.51; P642.25

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2012)04-0577-09

Ma Z L, Chen H D, Zhong Y J, Lin L B, Li J, Wang Q, Long Y. Paleokarstification in carbonates of 4th Member of Middle Triassic Leikoupo Formation in northeastern Sichuan basin and its petroleum geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(4):577-585

Abstract: The hydrocarbon breakthrough in the 4th member of the Leikoupo Formation shows important geological significance for

收稿日期:2011-08-10;修订日期:2011-11-14

资助项目:国家自然科学基金重点项目《中国南方中上扬子区叠合盆地沉积充填过程与物质分布规律》(批准号:40739901)、四川省科技厅基础研究项目《川东二叠系硅质岩特征、成因及油气成藏意义》(编号:2010JY0031)和四川省教育厅自然科学基金项目《川东二叠系硅质岩特征及成因意义》(编号:09ZB006)

作者简介:马治鸾(1971-),男,博士,讲师,从事古生物学与地层学方面的教学与科研工作。E-mail:505595784@qq.com

petroleum exploration. Based on comprehensive analyses composed of outcrop and drill-core observations, thin-section petrographic examinations, well log analysis, fluid inclusion studies, and carbon, oxygen, strontium isotopic composition measurements, the authors divided paleokarst faces of the study area into six types, i.e., surface eluvium, speleothem composed of break-down clasts, fillings from underground rivers, crack of base rock, solution of base rock, and dissolution and replacement of base rock. According to hydrodynamic conditions, the paleokarstification can be divided in descending order into surface-karst zone, vertical vadose zone, horizontal phreatic zone and deep-karst zone. Using the impression method and based on the distribution characteristics of relict stratum, the authors restored palaeokarst geomorphology for the 4th Member of the Leikoupo Formation and presented more details of micro-geomorphology for Yuanba area. It is held that karst slope is the most advantageous geomorphic unit for the formation of reservoirs, with the most favorable place being middle-upper slope. Karst hammock is the most advantageous micro-geomorphic units for the formation of reservoirs. Paleokarstification plays an important role in the reservoir formation of 4th Member of Leikoupo Formation and its features control the distribution of favorable reservoirs in both vertical and planar directions.

Key words: northeastern Sichuan basin; 4th Member of Leikoupo Formation; paleokarstification; petroleum geological significance

海相碳酸盐岩层系已成为中国油气勘探的重要接替领域,这些层系发育的储层非均质性强、孔隙系统复杂,主要受沉积作用、成岩作用、构造作用的影响和控制。沉积相是储层形成的物质基础,成岩作用是储层发育的关键,构造破裂是储层发育的纽带,古岩溶作用是碳酸盐岩储层孔隙系统形成的重要成岩作用之一。古岩溶风化壳储层是常见而又十分重要的碳酸盐岩储层类型,目前已在塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地、渤海湾盆地等中生界—古生界中发现了大量古风化壳岩溶型储层,并找到了塔河、轮南、长庆等许多大型油气田^[1-4]。四川盆地东北部中三叠统雷口坡组是四川盆地沉积的最后一套海相碳酸盐岩地层,不仅沉积厚度大、分布稳定、类型多,而且经历了长期的表生期大气淡水成岩作用,形成了一定规模的古岩溶风化壳储集体。目前在该套古岩溶风化壳储集体中取得了一定的油气突破,显示出其重要的油气地质意义。本文在野外地质调查、岩心观察、薄片鉴定、测井、录井、阴极发光等分析测试和综合分析的基础上,详细分析了古岩溶作用的特征及其控制因素,以期对该地区下一步的油气勘探开发提供重要的地质依据。

1 构造—沉积背景

研究区四川盆地东北部主要位于米仓山—大巴山弧形构造带前缘通南巴拗陷内(图1),属于上扬子地台^[5]。中三叠统是四川叠合盆地海相碳酸盐岩演化阶段的最后层段,此后四川盆地结束了台地演化,进入陆相沉积及盆地形成时期^[6]。该层段以开江、泸州古隆起为界,在城口—梁平—涪陵一线东南地区沉积了一套以碎屑岩为主的巴东组,西北为碳

酸盐岩沉积的雷口坡组和天井山组(天井山组也被认为是雷口坡组第五段)。雷口坡组的时代属安尼期,天井山组属拉丁期。中三叠世末期,受印支运动抬升的影响,地层遭受剥蚀,天井山组只在江油马角坝、绵竹汉旺一带有残留^[7]。雷口坡组沉积时期该地区主要发育上扬子克拉通稳定碳酸盐台地沉积体系,由于此时为印支运动的初始阶段,发生与构造运动相对应的全球性海平面下降^[8],研究区由开阔的陆表海环境逐渐演化为受限的陆表海环境,主要发育一套以局限—蒸发台地相白云岩、膏质白云岩和石膏为主的碳酸盐岩。雷口坡组按岩相、岩性自下而上可划分为4个岩性段,雷四段为灰岩、膏质白云岩、白云岩和石膏岩组合,与上三叠统须家河组为不整合接触关系。雷四段自下而上可划分为3个亚段,分别为灰岩段、膏质白云岩段和白云岩段。由于剥蚀强度不同,3个亚段在研究区的残存情况有差异。

2 古岩溶作用特征

2.1 古岩溶标志

表生岩溶又称风化壳岩溶,其发育与重大的海平面下降或构造运动造成的沉积区大面积暴露有关,常常是地层学中的主要不整合面。地质历史记录中的古风化壳岩溶主要是根据其广泛存在的侵蚀不整合、地下岩溶作用及伴生的孔洞系统、内部充填物的特征等加以识别的^[9]。研究区雷口坡组不整合面之下约90m厚的地层内发育规模不等、形态各异的岩溶缝洞系统及各异的内部充填物。表明其经历了强烈的风化壳岩溶作用,识别标志主要反映在地质、钻井、地球物理等方面。

(1)中三叠世末期,受印支运动抬升的影响,川

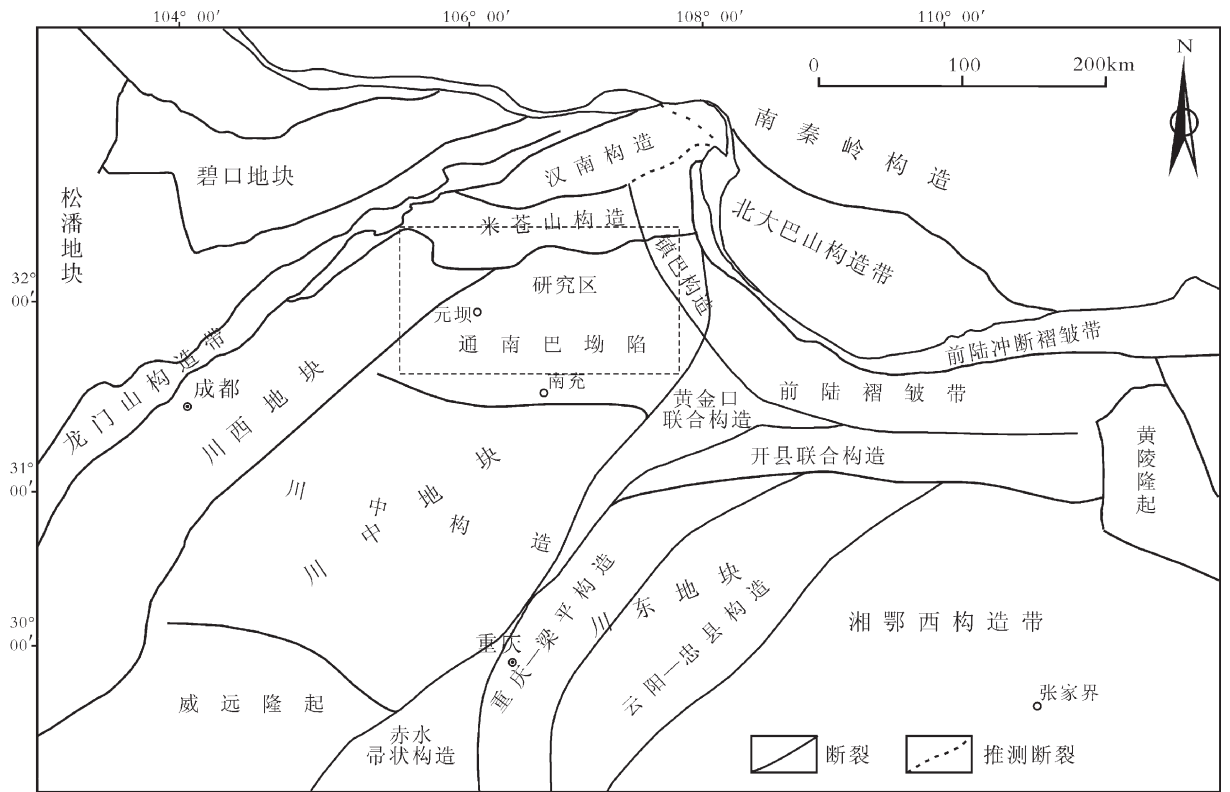


图 1 研究区位置图(据参考文献①修改)

Fig. 1 Location of the study area

东北地区地层遭受剥蚀,缺失天井山组,雷口坡组四段和三段地层也遭受不同程度的剥蚀,导致研究区地层残存情况不一,雷口坡组与上覆须家河组呈不整合接触关系。

(2)大型溶洞充填物:大型溶洞是识别风化壳古岩溶作用的重要标志之一,为水平潜流岩溶带的产物。溶洞大多数被各种类型的机械沉积物和化学沉淀物不同程度地充填。溶洞洞径一般在1~3m之间,最大可达几十米,充填程度较高,主要为溶洞角砾和泥砂充填。广元工农镇雷口坡组四段雷口坡组顶部见大型溶洞垮塌机械沉积物和化学沉淀物不同程度地充填(图版 I-A),元坝 12 井第 1 回次中见溶洞中充填溶洞角砾及黑色粘土(图版 I-B)。

(3)高角度溶沟和溶缝:高角度溶沟和溶蚀加宽缝是雷口坡组四段遭受岩溶作用的一种常见和极易识别的特征。这些被岩溶作用扩宽的节理或构造缝常被黑色粘土、石英砂或少量碳酸盐岩角砾充填(图版 I-C)。

(4)坍塌层及坍塌角砾岩(图版 I-D):它们是

大型溶洞的顶板在重力、上覆压力作用下发生坍塌作用而形成的。坍塌层由碎屑支撑的角砾灰岩/白云岩和破裂缝密集的镶嵌状角砾灰岩/白云岩组成,角砾呈尖棱角状或镶嵌状,大小不一,向上逐步过渡到只发育少量溶缝的白云岩/灰岩层,向下常与充填溶洞的角砾岩呈突变接触。

(5)古生物标志:在雷口坡组四段溶缝或溶洞充填的砂泥质岩中发现来自上覆地层须家河组中的炭屑(图版 I-E),是风化壳岩溶的重要标志。

(6)钻、录井标志:在钻井过程中出现的钻速加快、钻具放空、钻井液漏失、井涌、井漏等钻时异常现象一般为识别古岩溶较为直接的标志。井漏现象是识别未被充填或部分充填洞穴层的重要标志。元坝 2 井、元坝 5 井、元坝 4 井分别在雷口坡组四段中出现钻时加快现象,元坝 12 井雷四上亚段出现了泥浆漏失现象。

(7)电测曲线上表现出高自然伽马和低电阻率的特征,高自然伽马与岩溶缝洞中的泥质充填物的存在有关,电阻率的降低除了泥质充填物的影响外,

还与残余缝洞中地层水流体的存在、泥浆滤液的渗入等因素有关。

(8)地震反射剖面上出现明显的低波阻抗带,表现为波谷反射特征,这是对雷口坡组四段中经过风化壳岩溶作用改造所形成的多孔层的地震响应。

2.2 岩溶相特征

袁志祥^[10]认为岩溶相是岩溶环境的古代产物,主要通过岩溶产物的岩石学特征来划分;Esteban^[11]认为是岩溶作用的产物,包括不同岩溶地貌、岩溶岩的类型及次生溶蚀空隙;蒋春雷等^[12]将岩溶相划分为风化壳(地表岩溶带)、垂直渗流带、季节变动带、水平潜流带和深部缓流带5个带;郑荣才等^[13]根据岩溶角砾岩的结构-成分特征结合其成因将岩溶相划分为6种。本文采用郑荣才的划分方法,将研究区的岩溶产物分为6种岩溶相。

(1)地表残积相

发育于风化壳顶部,系地表基岩经风化淋滤改造而成的,往往形成角砾堆积。以灰色白云岩、粉砂岩、残积角砾状白云岩等岩溶残积物为主(图版 I-F)。该岩溶相测井特征明显,自然伽马呈高值特征,可能与风化壳长期遭受淋滤造成放射性物质附着沉淀有关。

(2)洞穴垮塌堆积相

此岩溶相厚度一般为0.5~4m,岩性以角砾支撑岩溶角砾岩为主,角砾大小不一,棱角状为主,杂乱堆积,甚至可以彼此拼接(图版 I-D)。角砾间充填基质可以为基岩溶蚀供给的晶屑、灰泥和不溶残渣或上覆须家河组充填的砂泥质充填物,也可以是亮晶胶结物,胶结物主要为等轴粒状或块状连晶方解石,或环角砾边缘生长的方解石晶簇。此种角砾是溶蚀作用溶解先期的承压物质,造成负荷卸载,原岩失去支撑,垮塌所致,因而没有发生明显的位移或再搬运^[14]。

(3)地下暗河搬运充填相

此岩溶相以充填潜水面以下活跃潜流带发育的地下暗河为主要特征,厚度一般为2~6m。层内充填物主要由基质支撑的岩溶角砾岩、角砾支撑岩溶角砾岩和外来炭质泥岩、泥质粉砂岩等组成,2类角砾岩的基质主要为外来的砂质和泥炭质组分。陆源物质多为粘土,还可见石英、长石、炭屑等。碳酸盐岩角砾往往具有一定的磨圆和分选,呈次棱角状—次圆状,显示经历了一定的搬运距离。基质支撑的岩溶角

砾岩中的角砾呈“漂浮”状产于陆源碎屑物质中(图版 I-G),大小多为0.2~6cm。泥砂充填物中见水流改造作用形成的水平层理、沙纹层理等(图版 I-H)。该岩溶相系地下暗河携带上覆地层碎屑物质夹杂溶蚀碳酸盐岩角砾沉积充填所致。

(4)基岩溶蚀破裂相

此岩溶相岩性为网缝镶嵌状岩溶角砾岩(图版 I-I),产于洞穴顶板或底板,成因与洞穴顶底板被不规则的网状溶缝或裂缝分割成角砾状,但尚未发生明显的错位有关,因而又被称为假岩溶角砾岩^[13]。角砾间常充填有泥砂物质和方解石或白云石晶簇的小型溶蚀孔、洞。

(5)基岩溶蚀相

此岩溶相是基岩遭受大气水溶蚀作用造成的,发育粒间和粒内溶孔、晶间和晶内溶孔、铸模孔、膏盐假晶孔、超大溶孔、溶缝、小型溶洞等,孔径为0.01~2mm,溶洞2~10mm,大者达到30mm,且大多被不规则溶缝沟通。按照产出位置和发育产状可分为垂直发育和水平发育的孔、洞、缝,垂直发育孔洞缝类型往往伴随垂直裂缝产生,发育垂直或近于垂直的溶蚀缝(图版 I-J)或串珠状的小型溶孔、洞,多被垂向角砾、砂泥质等机械渗流物质,或方解石、白云石、硅质等化学物质充填或混合充填。另外一种为水平溶孔洞缝,呈水平状展布,孔洞缝中充填等轴粒状或连生方解石/白云石胶结物(图版 I-K)或外来物质和溶蚀碎屑,偶见半充填或未充填者,常常与水平裂缝平行,代表着水平径流带的溶蚀特征。

(6)基岩溶蚀交代相

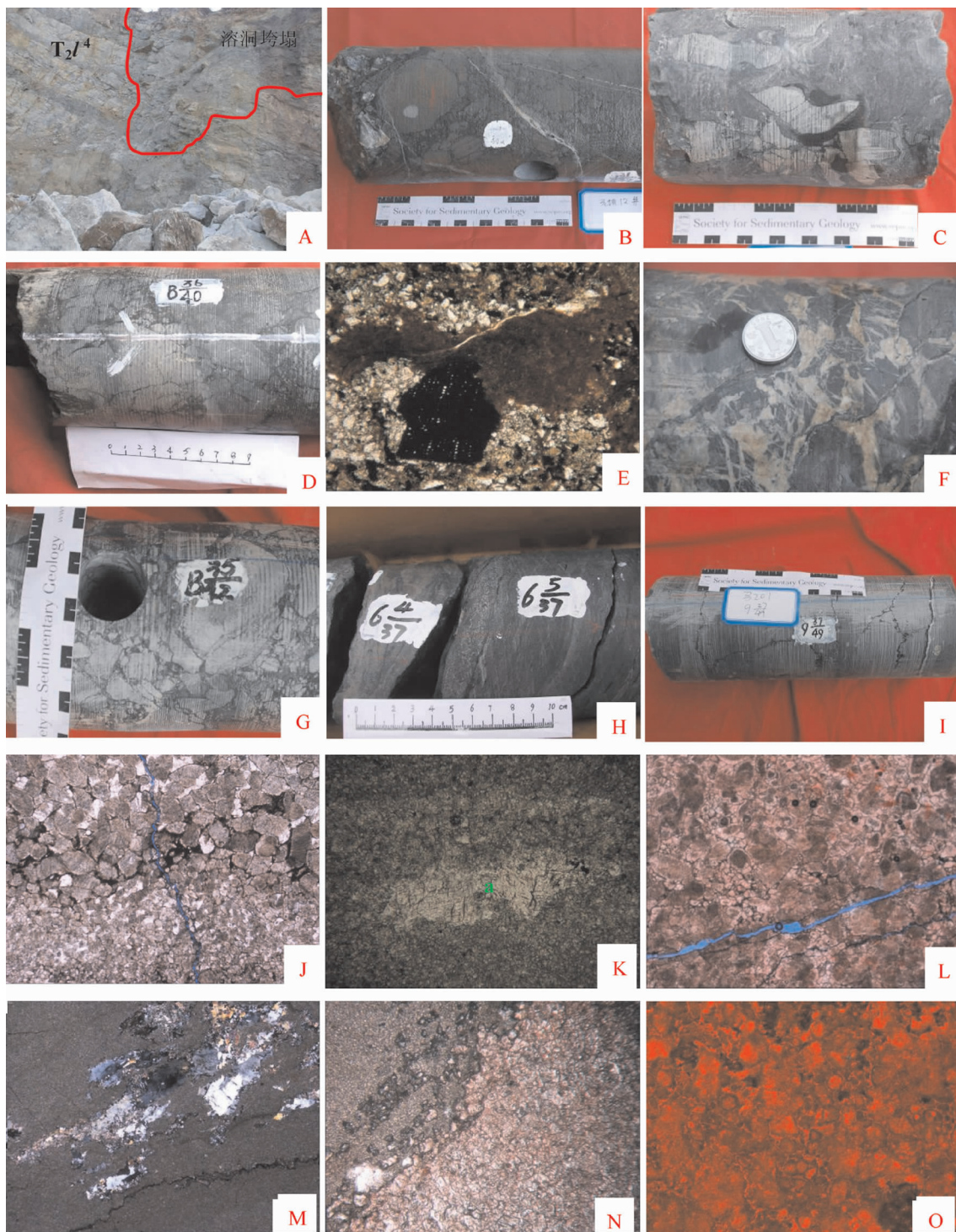
此岩溶相主要岩性为蒸发岩去膏盐或去白云岩化形成的次生晶粒灰岩、去膏化微晶云岩和去云化微晶云岩(图版 I-L、M、N),次生灰岩具有亮橙与暗红色交替的环带状阴极发光性(图版 I-O)。

3 古岩溶发育控制因素分析

3.1 气候对古岩溶的控制

气候对风化壳岩溶作用的影响,主要通过降水量与气温来表现。降雨量越大气温越高,越有利于岩溶或喀斯特作用^[15]发育。因此,岩溶或喀斯特作用多活跃在温暖潮湿的热带和亚热带地区。从雷口坡组四段岩溶岩系内充填的炭屑、煤组分和上覆须家河组一段富含陆相植物化石等特征可知,风化壳形成时期为植物繁盛的湿热气候。

图版 I Plate I



A. 广元工农镇雷四段顶部溶洞垮塌;B.元坝 12 井, T_2l_4 (雷口坡组四段), 1 回次 1(31/47) 溶洞中充填溶洞角砾及黑色粘土;C. 马 201 井, $T_2l_4^3$, 8 回次, 8(26/40), 高角度溶缝被黑色渗流粘土及碳酸盐岩角砾充填;D. 马 201 井, $T_2l_4^3$, 8 回次, 8(36/40), 网缝镶嵌状白云质岩溶角砾岩;E. 马 201 井, 3437.3m, 炭屑见植物细胞, 对角线长为 3.2mm(-);F. 元坝 204 井, $T_2l_4^3$ 6 回次, 6(33/37) 溶塌角砾灰岩, 角砾间充填亮晶方解石;G. 马 201 井 $T_2l_4^3$ 8 回次 8(35/40) 角砾支撑岩溶角砾岩;H. 元坝 204 井 $T_2l_4^3$ 6 回次 6(5/37) 砂泥质暗河充填物中见水平层理;I. 马 201 井 $T_2l_4^3$, 9 回次, 9(37/49) 网缝镶嵌状岩溶角砾岩;J. 元坝 204 井, 4871.5m, 垂向微溶缝, (-);K. 马 201 井, 3428.4m, 水平溶洞被细晶白云石(a) 充填, $10 \times 10(-)$;L. 元坝 204 井, 4857.5m, 次生灰岩, $10 \times 4(-)$;M. 元坝 204 井, 4889.88m, 去膏化微晶云岩, $10 \times 4(-)$;N. 仁和 1 井, 3900m, 斑块状去云化泥微晶云岩, $10 \times 10(-)$;O. 元坝 204 井, 4878.44m, 次生灰岩阴极发光特征, 10×10

3.2 海平面变化对古岩溶的控制

碳酸盐岩岩溶作用与海平面的相对升降变化密切相关。以大型不整合界面为主的1、2级层序界面是控制古岩溶平面分布的直接因素。由于印支运动I幕的影响,雷口坡组沉积后川东北地区整体抬升,遭受了长时期的大气淡水成岩作用的改造,并形成了二级构造层序界面。

3.3 岩性对古岩溶的控制

不同类型的碳酸盐岩决定了其溶蚀作用的差异。研究表明,在埋深不大的条件下碳酸盐岩的溶解性为:石灰岩>白云质灰岩>灰质白云岩>白云岩^[6]。在大气淡水环境中,石膏和硬石膏要比任何一类碳酸盐岩都更易溶解,因此在近地表条件下,含石膏或硬石膏层的岩溶作用将更发育。石灰岩结构致密,溶蚀作用主要沿断裂、裂缝和层面以管流的方式进行(图2-A),溶蚀成大孔、大洞、大缝。白云岩结构较疏松、原始孔渗性好,溶蚀作用不仅沿断裂、裂缝和层面以管流的方式进行,同时在基岩中有更大规模的散流溶蚀作用(图2-B),除了溶蚀成大孔、大洞、大缝外,更以发育各种溶孔、溶洞和溶缝为显著特征。

3.4 地貌特征对古岩溶的控制

不同的岩溶地貌单元具有不同的古水文地质条件,并对古岩溶的发育起着重要的控制作用。岩溶高地是地下水的主要补给区,且水流速度强、碳酸盐含量低、潜水面较低,因此以垂直渗流溶蚀为主,溶蚀厚度大,碳酸盐岩的溶蚀作用强充填作用也强。岩溶斜坡的侵蚀底界面一般也高于潜水面,由于流速相对于岩溶高地低,且具有自上而下减慢的特点,因此有利于地表水快速下渗和侧向运移排泄,溶蚀作用强且充填作用较弱,溶蚀作用自上而下减弱。由于侵蚀基准面不断变化,岩溶旋回的叠加改造作用强烈,因而岩溶斜坡是各岩溶地貌单元中溶蚀作用最强的部位。

3.5 构造对古岩溶的控制

中三叠世末,受印支运动I幕的影响,川东北地区雷口坡组被整体抬升、剥蚀并遭受岩溶作用,形成了时间间断至少20~26Ma的风化壳岩溶。另一方面,构造作用可使碳酸盐岩地层产生大量的断层和裂缝,为岩溶作用提供了地下水的渗透和运移空间,并增加了水与碳酸盐岩的接触面积。在断层发育的地方,特别是张性断裂发育的部位,结构松散,孔隙

大,有利于岩溶作用的增强,常沿这些断裂发育溶洞。构造节理虽然规模较断层小,但节理交叉部位有利于岩溶作用,是岩溶水渗流的主要通道,也是控制层状岩溶的主要构造因素,一些微裂隙穿插于溶孔之间,还可增加岩石的孔隙度。多期构造应力作用形成相互切割、相互交叉的网状裂缝系统(图3),从而改善了岩石的渗透性,使古岩溶作用向着更有利的方向进行^②。

4 油气地质意义

古岩溶对碳酸盐岩的储集性能具有较强的优化改造能力,碳酸盐岩地层中不整合岩溶储层在油气田开发中占有非常重要的地位^[8],古岩溶不整合面可以作为油气长距离运移的优质通道^[9]。中三叠世末雷口坡组被整体抬升、剥蚀并遭受岩溶作用,对雷口坡组碳酸盐岩储集性能的改造具有至关重要的作用。根据岩石薄片和物性分析认为,川东北地区雷口坡组储层主要为孔、洞、缝发育的裂缝-孔隙型储层,储层孔隙度多集中在2%~5%之间,平均值为3.06%,渗透率介于0.007~3.041md之间,平均值为0.0424md,具有中低孔中低渗的特点。储层的分布受古岩溶作用的控制,具有一定的规律性。

从单个岩溶旋回剖面来看(图4),水平潜流带大气淡水改造较为强烈,且具有水流搬运改造的特征,储层最为发育,发育的储集空间主要为半充填或未充填的溶蚀孔洞缝和河成角砾粒间孔、粒间溶孔、晶间孔;其次为以地表及地下水沿裂缝或断层向下渗流溶蚀基岩为主要特征的垂直渗流带,发育储集空间主要为半充填或未充填的高角度溶缝和溶蚀孔洞;地表岩溶带虽然大气淡水改造较为强烈,但是地表泥砂充填作用也较强,只有局部泥砂充填较弱的地表岩溶角砾发育带储层发育较好,该带发育的碎屑支撑的角砾灰岩、角砾云岩中发育的砾间孔、粒间溶孔等为油气提供了有效的储集空间。纵观岩溶的垂向剖面,中上部由于经过多期次垂直渗流带和水平潜流带的叠加改造,成为储层的主要发育段,其次为晚期的水平潜流带和地表岩溶带。深部岩溶带由于大气淡水改造不强且大气淡水趋于饱和,导致胶结作用较为强烈,因此储层发育较差(图5)。

从平面展布来看,古岩溶储层主要受古岩溶地貌特征的控制。岩溶高地由于剥蚀作用强,风化壳保存厚度小,地下水流量和流速都较低,且以垂直渗流

带为主,水平潜流带发育较弱,因此储层发育较差。岩溶斜坡区由于风化壳厚度发育最大,且地下水流速增加,溶蚀作用增强,岩溶旋回发育最好,是储层发育最好的区带。中上斜坡区与下斜坡区相比,由于溶蚀厚度较大,岩溶水的次生沉淀物少,为更有利于储层发育的区域,其中又以岩溶残丘为最有利的微地貌单元。岩溶洼地由于风化壳厚度薄、充填作用强、次生沉淀物多等因素,是不利于岩溶型储层发育的地貌单元。

5 结 论

(1)通过地层缺失、岩石学、矿物学、古生物学、钻录井、测井、地震等多种识别标志分析了川东北地区中三叠统雷口坡组古岩溶作用的特征。认为研究区的岩溶产物可划分为地表残积相、洞穴垮塌堆积相、地下暗河搬运充填相、基岩溶蚀破裂相、基岩溶蚀相和基岩溶蚀交代相 6 种岩溶相类型。

(2)根据不同岩溶带的水动力作用特征,认为研

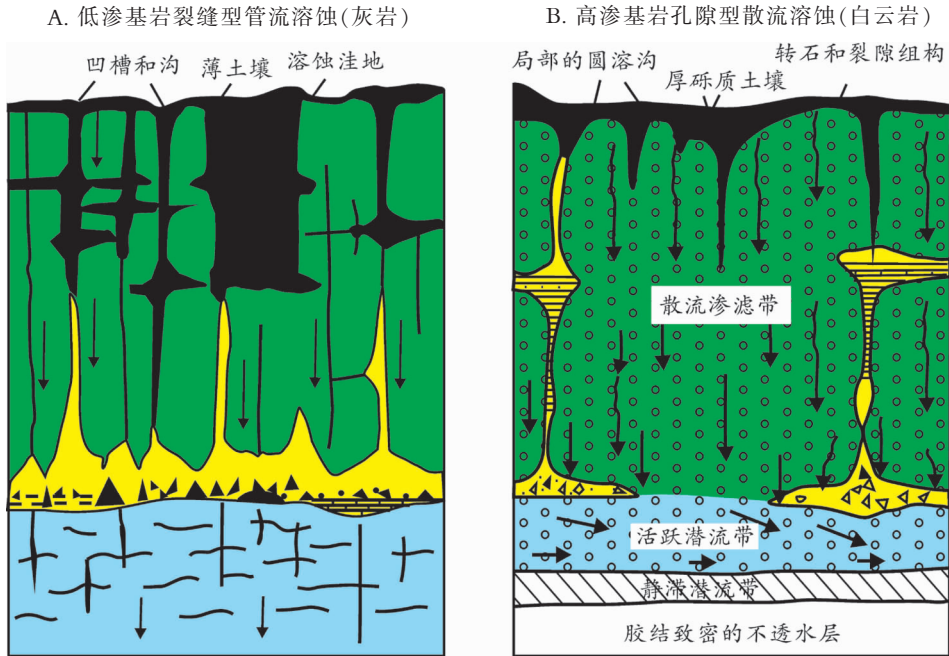


图 2 基岩岩性对岩溶作用的影响(据参考文献[17]修改)

Fig. 2 Schematic diagram showing the influence of lithologic characteristics of the basement rock on karstification

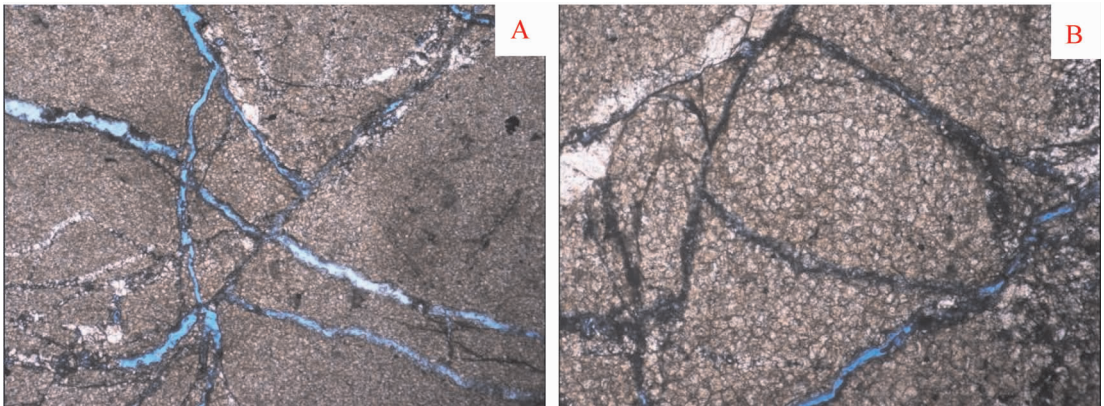


图 3 元坝地区雷口坡组碳酸盐岩中的网状裂缝系统

Fig. 3 Patterns of the net-fracture system in Leikoupo Formation carbonates of Yuanba area
 A—元坝 12 井, 4657.14m, 角砾化细-粉晶云岩中的网状溶缝(未充填/半充填), 对角线长为 4mm(-);
 B—元坝 12 井, 4657.14m, 角砾化细-粉晶云岩破裂缝中的碎基被溶, 对角线长为 1.6mm(-)

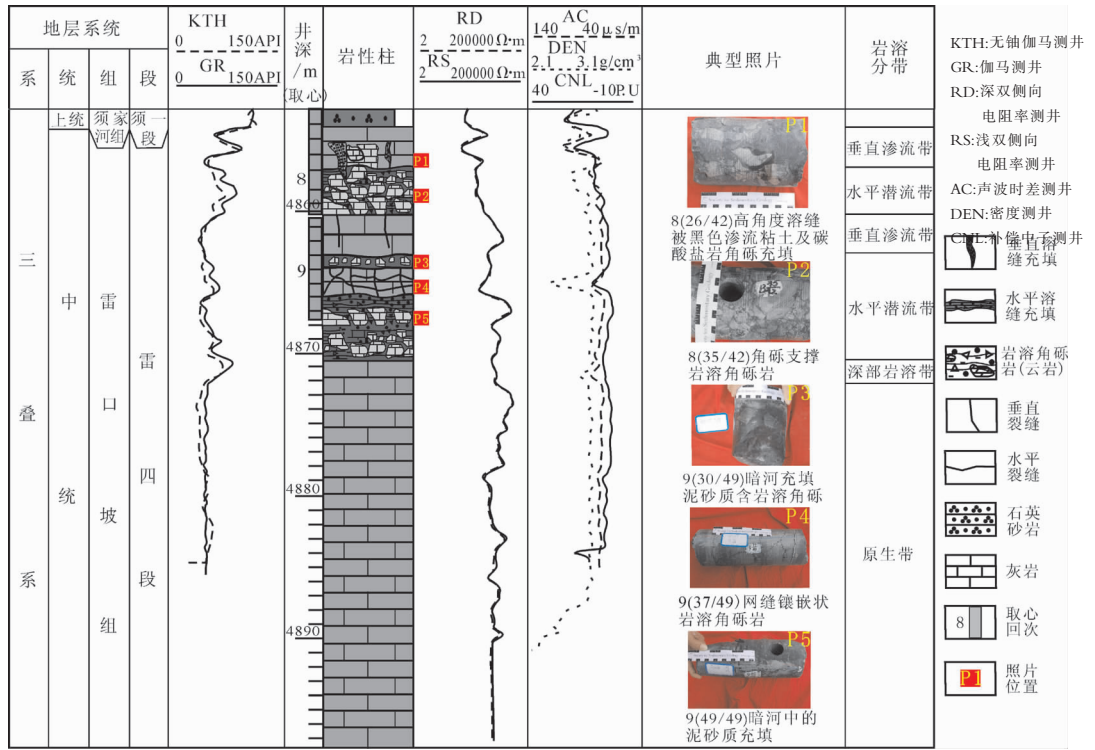


图4 马201井风化壳岩溶特征柱状图

Fig. 4 Column of weathering karst characteristics of well Ma 201

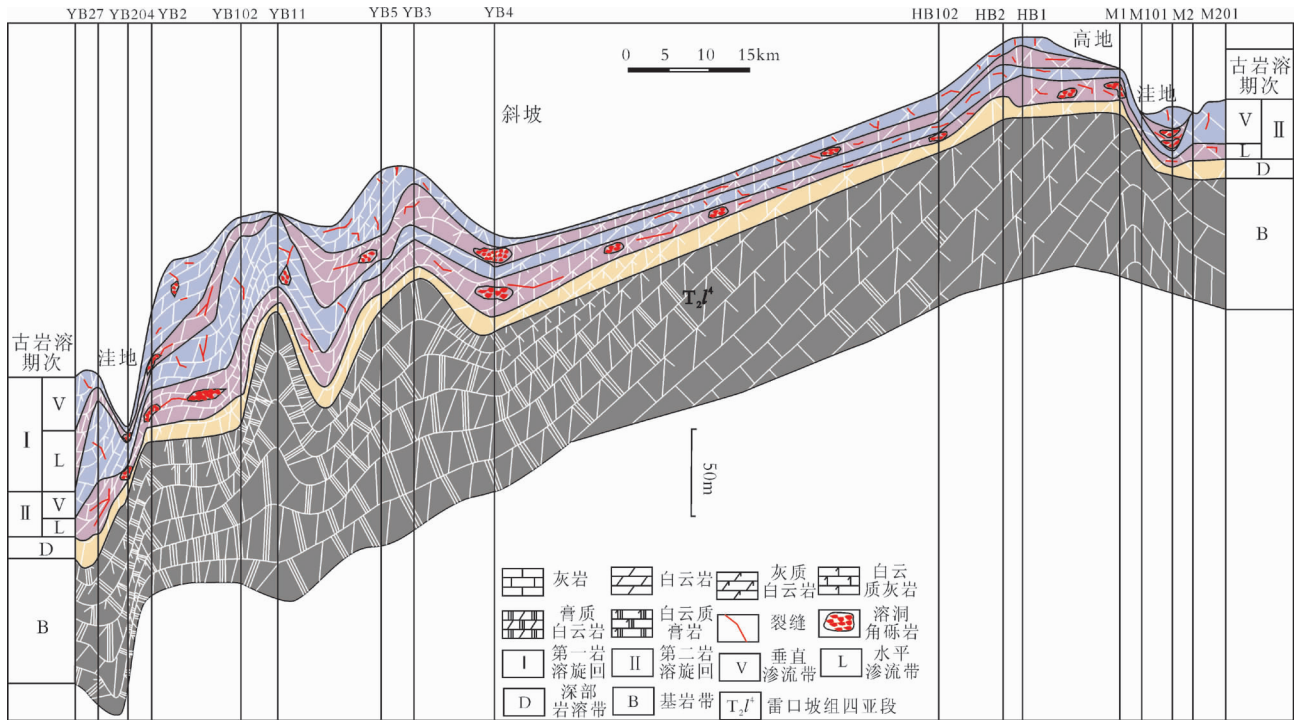


图5 四川盆地东北部表生岩溶剖面结构与储层发育的关系

Fig. 5 Relationship between structure of epigenetic karst profile and development of reservoirs in northeastern Sichuan basin

究区雷口坡组四段风化壳岩溶的垂向分带自上而下可分为地表岩溶带、垂直渗流带、水平潜流带、深部岩溶带,详细分析了各个岩溶带的岩溶相组合及其测井响应特征,认为地表岩溶带、垂直渗流带和水平潜流带均发育不同类型的油气储集空间。

(3)认为气候、海平面变化、岩性、地貌特征、构造5个因素影响和控制着研究区古岩溶的发育特征。

(4)古岩溶对雷口坡组四段储层的形成具有重要的作用,有利储层的平面和纵向发育、分布受古岩溶作用的控制。

致谢:在成文过程中,成都理工大学李秀华副教授提出了许多有益的建议,在此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1]陈学时,易万霞,卢文忠.中国油气田古岩溶与油气储层[J].沉积学报,2004,22(2):244-253.
- [2]顾忆.塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J].石油实验地质,2002,22(4):307-312.
- [3]周玉琦,黎玉战,侯鸿斌.塔里木盆地塔河油田的勘探实践与认识[J].石油实验地质,2001,23(4):363-367.
- [4]罗平,张静,刘伟,等.中国海相碳酸盐岩油气储层基本特征[J].地学前缘,2008,15(1):36-50.
- [5]四川省地质矿产局.四川省区域地质志[M].北京:地质出版社,1991:561-601.
- [6]刘树根,汪华,孙玮,等.四川盆地海相领域油气地质条件专属性问题分析[J].石油与天然气地质,2008,29(6):781-792.
- [7]汪华,刘树根,秦川,等.四川盆地中西部雷口坡组油气地质条件及勘探方向探讨[J].成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(6):669-674.
- [8]马永生,陈洪德,王国立,等.中国南方层序地层与古地理[M].北京:科学出版社,2009:310-311.
- [9]Jamed N P, Choquette P W. Paleokarst[M]. Springer Verlag, New York, 1988.
- [10]袁志祥.鄂尔多斯盆地塔巴庙地区奥陶系风化壳岩溶相特征[J].成都理工学院学报,2002,29(3):179-285.
- [11]Esteban M. Paleokarst facies analysis: general trends and Cretaceous occurrences[J].Cuadernos ed Geologia Iberica, 1993, 17: 81-82.
- [12]蒋春雷,金振奎.塔中地区寒武—奥陶系地层岩溶相研究[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2009,31(5):161-165.
- [13]郑荣才,彭军,高红灿.渝东黄龙组碳酸盐岩储层的古岩溶特征和岩溶旋回[J].地质地球化学,2003,31(1):28-36.
- [14]苏中堂,陈洪德,林良彪,等.鄂尔多斯盆地塔巴庙地区奥陶系古岩溶发育特征及储层意义[J].新疆地质,2010,28(2):180-185.
- [15]庞艳君,代宗仰,刘善华,等.川中乐山—龙女寺隆起奥陶系古岩溶发育地质因素分析[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2007,9(3):1-4.
- [16]陈清华,刘池阳,王书香,等.碳酸盐岩缝洞系统研究现状与展望[J].石油与天然气地质,2002,23(2):196-202.
- [17]文华国,郑荣才,沈忠民,等.四川盆地东部黄龙组古岩溶地貌研究[J].地质论评,2009,55(6):826-827.
- [18]何发岐.碳酸盐岩地层中不整合—岩溶风化壳油气田[J].地质论评,2002,48(4):391-397.
- [19]罗冰,谭秀成,李凌,等.蜀南地区长兴组顶部岩溶不整合的发现及其油气地质意义[J].石油学报,2010,31(3):408-414.
- ① 张国伟,等.中国中上扬子(南方)大陆构造与海相油气前景.西北大学,2009.
- ② 傅恒,等.川东北元坝地区三叠系中统雷口坡组四段上亚段储层研究.成都理工大学,2010.