

鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌 及天然气富集特征*

夏日元 唐健生 关碧珠 罗伟权

(国土资源部岩溶地质研究所, 广西桂林 541004)

马振芳 周树勋 于忠平 潘令红

(长庆石油勘探局, 甘肃庆阳 745101)

鄂尔多斯盆地中东部奥陶系风化壳古岩溶地貌形态对天然气储集起着控制作用, 划分为岩溶高地、岩溶台地、岩溶盆地3种二级和9种次一级(三级)类型。岩溶台地的岩溶作用最强烈, 是天然气富集的最有利地区; 岩溶高地中的平台、岩溶台地中的缓丘、岩溶盆地中的残丘层状岩溶比较发育, 主力气层保存完整, 是天然气富集的有利地区; 岩溶高地与岩溶台地接触部位, 为水动力转换带, 天然气比较富集。沟槽两侧上方的斜坡地带是高产气井的有利分布区。

关键词 古岩溶地貌 天然气富集 风化壳 鄂尔多斯盆地

第一作者简介 夏日元 男 36岁 副研究员 岩溶地质及水文地质

鄂尔多斯盆地是我国第二大含气盆地^[1], 气藏主要发育在奥陶系顶部古风化壳内。盆地在早奥陶世沉积后受加里东构造运动作用整体抬升, 经受了长达 1.5×10^8 a的风化剥蚀^[2]。当时的古地形为西高东低, 以米脂至绥德一带为汇水中心呈环带状分布。古水流总体由西向东流动, 呈放射状向汇水中心排泄。受地层岩性分布、古构造、古地理环境及古水动力场等多种因素制约, 形成了形态多样的古岩溶地貌, 导致空间上(平面、剖面)岩溶作用的差异, 从而影响储层储集性质。

古岩溶地貌是岩溶作用与各类地质作用综合作用的结果, 不同地貌形态对岩溶发育起着控制作用^[3]。所以研究古岩溶地貌特征及其区域分布规律对掌握岩溶发育的空间分布规律、评价储层特性有着重大意义。本文在对鄂尔多斯盆地中东部奥陶系风化壳进行古岩溶地貌类型划分的基础上, 分析了各类型区地貌特征及其对岩溶发育的影响, 结合勘探成果对比分析, 得出不同古岩溶地貌类型对天然气富集的制约规律。

1 类型

对古岩溶地貌类型划分的依据是: (1) 奥陶系风化壳上覆地层石炭系的厚度及分布趋势; (2) 奥陶系风化壳马家沟组的残余厚度及风化性质; (3) 风化壳表面侵蚀、溶蚀特征及沉积物性质; (4) 古水动力场特征。鄂尔多斯盆地在经历了中奥陶世至早石炭世沉积间断后, 于中石炭世又再度接受沉积。中晚石炭世沉积初期首先是对基底填平补齐, 形成了3~15 m厚的残积铝土岩系; 本溪组主要沉积于盆地东部的汇水补给区及盆地中部的侵蚀区, 盆地西部则缺乏该组沉积, 故该组的特点表现为厚度相对变化大、分布具有不连续性; 上石炭统太原组沉积分布广泛, 厚度小而稳定。区内石炭系总厚度小于150 m, 整体与风化壳古侵蚀面呈镜像关系。虽然由于其厚度不同在成岩过程中会产生一定差异压实, 但由于整体厚度小, 差异误差较小, 故利用石炭系在区域上的展布特征及其厚度变化来分析区域性的古地貌形态是可行的^[4]。根据石炭系总厚度这一定量指标, 结合古地理环境、古水动力分析, 将工作区划分3种二级地貌类型即I: 岩溶高地(石炭系厚度小于50 m), II: 岩溶台地(石炭系厚度50~90 m), III: 岩溶盆地(石炭系厚度大

* “九五”国家重点科技攻关项目之专题“鄂尔多斯盆地中东部奥陶系风化壳储层溶蚀孔洞研究(96110-04-0201)”部分成果。

收稿日期: 1999-01-18

于90 m)(图1)。

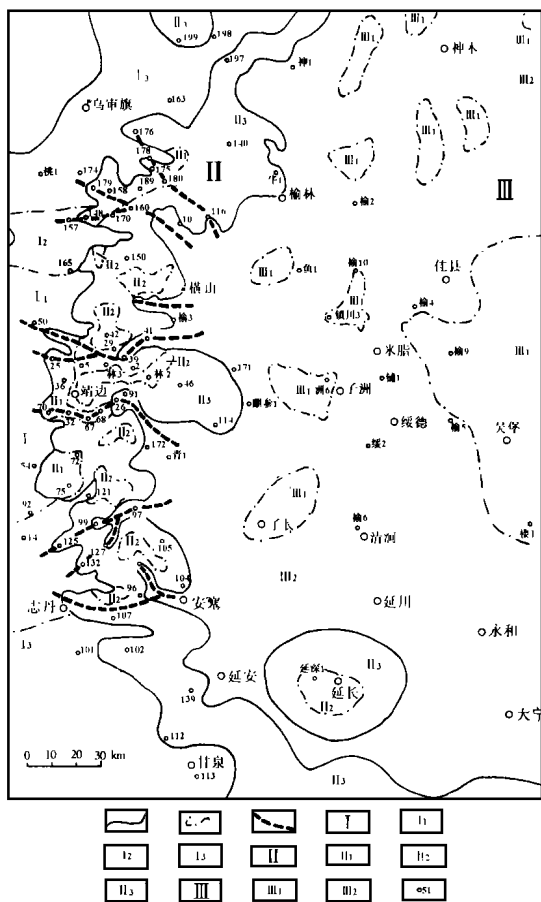


图1 鄂尔多斯盆地中东部奥陶系风化壳古岩溶地貌类型图

Fig. 1 Palaeokarst landform types of Ordovician weathered crust in mideast Ordos Basin

1—二级古岩溶地貌单元界线; 2—三级古岩溶地貌单元界线; 3—沟槽;
4—岩溶高地; 5—洼地; 6—平台; 7—斜坡; 8—岩溶台地; 9—浅洼; 10—缓丘; 11—台坪; 12—岩溶盆地; 13—残丘; 14—谷地;
15—钻孔及编号(除写明外均为“陕”字号)

在上述二级地貌类型划分的基础上, 结合马家沟组的残余厚度、残积岩的性质、局部地形对比特征等因素进行次一级(三级)地貌类型划分。K₁标志层为马家沟组五段(以下简称马五段)一亚段第四小层底部的一层凝灰岩及白云质泥岩, 除在古侵蚀沟谷中被剥蚀外, 在全区分布广泛, 厚度0.8~1.0 m, 比较稳定。针对K₁标志层这一特性, 选用K₁标志层以上马五段一亚段的残余厚度(下用HK₁表示)作为三级地貌类型划分的参考依据。区内HK₁变化范围0~40 m, 由于地形整体起伏较小, HK₁差异亦较小; 但它却是古地形微弱起伏以及风化壳表面经受侵蚀、溶蚀等作用程度的直观反映。根据天然气勘探资料分析, 即使较小的HK₁差异也能引起天

然气储集特性的较大变化, 这是因为K₁标志层以上马五段一亚段第一小层至马五段一亚段第四小层, 特别是马五段一亚段第三小层, 为区内天然气富集的主要层位。同位, 该段位于风化壳的最上部, 是接受风化剥蚀、岩溶作用的最直接、最敏感层位。区内三级地貌共划分9种类型: 岩溶高地(I)可划分出洼地(I₁)、平台(I₂)、斜坡(I₃)3种类型; 岩溶台地(II)可划分出浅洼(II₁)、缓丘(II₂)、台坪(II₃)、构槽(II₄)4种类型; 岩溶盆地(III)内可划分出残丘(III₁)、谷地(III₂)2种类型。

2 天然气富集特征

2.1 岩溶高地(I)

岩溶高地位于工作区西部乌审旗至志丹一线以西, 古地势整体较高, 以接受侵蚀、溶蚀为主。马五段一亚段破坏严重, 零星分布。裸露风化期该区为地下水的补给区, 岩溶作用以垂向渗滤为主, 形成垂向溶蚀带、落水洞等岩溶形态, 非均一性明显。其东侧与岩溶台地交接的部位为水动力能量集中带及转换带, 地下水由垂向补给状态转为水平径流状态, 岩溶发育强烈, 形成了相对较好的溶蚀孔洞储层。如陕121井无阻流量达 $154.00 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。岩溶高地天然气储集性能中等偏差, 一方面由于强烈的侵蚀作用, 大部分地区缺失马五段一亚段有利层位, 仅以马五段四亚段第一小层为主力气层; 另一方面岩溶作用方式以垂向溶蚀为主, 未能形成有利于天然气储集的层状岩溶带。

岩溶高地的洼地(I₁)主要分布于城川1井至陕92井及乌审旗一带, 侵蚀作用最强烈, HK₁均小于10 m, 普遍缺乏马五段一亚段, 大部分地区古风化壳表面出露层位以马五段二亚段为主, 为古地表最高地带。平台(I₂)主要分布于志丹及陕165井一带, 地势相对平坦, HK₁厚度10~20 m, 变化幅度较小, 风化壳表面出露层位以马五段一亚段第二小层及马五段一亚段第一小层为主, 岩溶发育较好, 为相对较好的有利储层分布区。斜坡(I₃)主要分布于盆地南端及北端, 风化壳表面出露层位以马六段及马五段一亚段第一小层为主, HK₁大于20 m, 受古沉积相的控制, 该类型位于蒸发潮坪相边缘地带, 岩性以膏质白云岩、白云质膏岩为主, 故岩溶发育不甚强烈, 富气条件偏差。

2.2 岩溶台地(II)

岩溶台地位于工作区的中部, 呈环带状, 以靖

边为中心向西弧形突出, 分布范围达 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该类型区为蒸发潮坪的主体带——含膏白云岩坪微相带的主要分布区, 风化壳表面出露层位以马五段一亚段第一小层为主, 稳定、连片分布, 岩性以细粉晶白云岩为主, 极利于溶蚀孔洞的形成。由于处于岩溶高地与岩溶盆地的中间地带, 地下水以水平径流状态为主, 地形平缓, 水力梯度较小。岩溶作用方式以慢速扩散流溶蚀为主, 形成了良好的溶蚀孔洞, 为气藏提供了有利储集空间。近几年勘探实践证明, 该类型区储层相对厚度大、物性好, 气层钻遇率高, 为长庆气田所在区。

浅洼(Ⅱ₁)为古风化壳表面经受较强侵蚀的地带。主要分布于台地的西侧, 如陕 179 井至陕 189 井区、陕 50 井至陕 36 井区、陕 72 井区至陕 75 井区, HK_1 小于 10 m, 古风化壳表面出露层位以马五段二亚段为主, 受到了较强的侵蚀作用, 由于缺乏主力气层马五段一亚段, 整体富气性较差。

缓丘(Ⅱ₂)为台地上古地势相对较高、地表侵蚀较弱、丘岭相对集中连片分布的岩溶地带, 主要在台地中部呈团块状分布, HK_1 大于 20 m, 古风化壳表面出露层位以马五段一亚段第一小层及马六段为主, 主要产气层完整, 厚度大而稳定, 溶蚀作用强烈, 为区内最有利储层的主要分布区。

台坪(Ⅲ₃)为岩溶台地的主体部分, 地势平坦开阔, HK_1 变化范围 10~20 m, 比较稳定。其上古风化壳表面出露层位以马五段一亚段第二小层为主, 岩溶作用亦比较强烈, 但成藏条件略差于缓丘类型区。

沟槽(Ⅱ₄)为台地内部古地表经受较强侵蚀、溶蚀的槽谷地带, 宽度较窄, 展布方向与岩溶台地环带近于正交, 呈放射状, 显示地表径流切割迹象。相对集中发育的侵蚀带主要有 3 处: (1) 北部陕 10 井至陕 176 井一带, 在 25 km 宽度内发育 2 条, 一条沿陕 176 井—陕 178 井—陕 175 井—陕 180 井—陕 116 井延伸, 方向为 NW—SE, 延伸长度约 50 km, 切割最深层位马五段二亚段第一小层, 深度约 10~15 m; 另一条上游呈树枝状, 北叉沿陕 174 井—陕 179 井—陕 158 井—陕 160 井发育, 南叉沿陕 157 井—陕 148 井—陕 170 井—陕 160 井发育, 两分支在陕 160 井一带汇合后向陕 10 井延伸。(2) 中部靖边缓丘两侧各发育一条, 北侧沿陕 50 井—陕 25 井—陕 5 井—林 3 井—陕 39 井—陕 41 井—榆 3 井弯曲延伸, 延伸长度约 80 km, 深 15~25 m,

切割层位马五段二亚段第一小层至五马段三亚段第二小层; 南侧沿陕 70 井—陕 32 井—陕 67 井—陕 68 井—陕 19 井—陕 172 井旁—青 1 井弯曲延伸, 延伸长度约 80 km, 深 10~15 m, 切割最深层位马五段二亚段第二小层。(3) 南部志丹一带发育 2 条, 一条呈枝状, 其中一支沿陕 125 井—陕 99 井延伸, 另一支沿陕 132 井—陕 127 井—陕 96 井旁与前一分支汇合后向陕 97 井方向延伸, 深 10~20 m, 切割最深层位为马五段二亚段第二小层, 整体延伸方向 SW—NE; 另一条由志丹向安塞方向延伸, 近东西向, 在陕 96 井向陕 129 井方向有一小的分支。

沟槽对天然气储集既有破坏性作用, 又有建设性作用。破坏作用是使岩溶台地遭受切割而缺失主力气层, 故在沟槽直接经过的位置很少有高产气井。建设性作用表现在两方面: 一方面沟槽位置形成岩性遮挡带起圈闭作用; 另一方面沟槽附近往往水动力能量高, 岩溶作用强烈, 其周围(两侧上方)易形成岩溶化程度高的良好储层。陕 39 井位于沟槽中, 其无阻流量仅有 $1.35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 而位于该带南北两侧的勘探井钻遇了中高产气流, 陕 29 井无阻流量 $58.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 陕 2 井无阻流量 $29.68 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (图 2)。

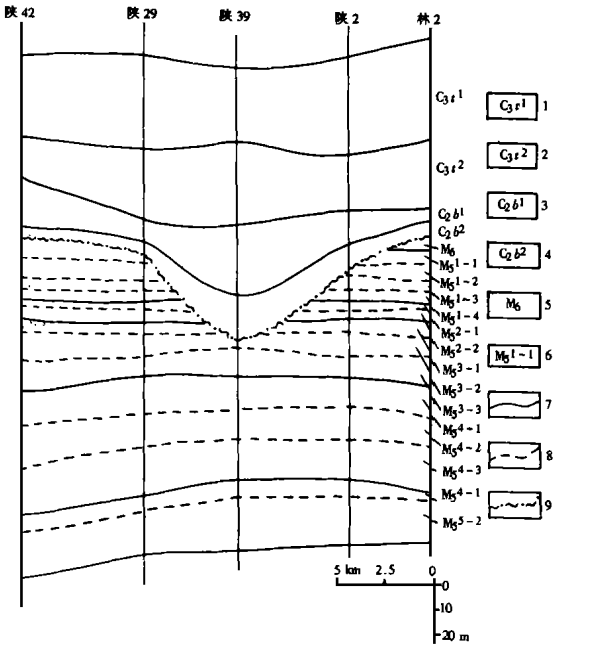


图 2 沟槽与其两侧储集性能对比

Fig. 2 Correlation of reservoiring performances between palaeokarst flute and its sides

1—太原组上段; 2—太原组下段; 3—本溪组上段; 4—本溪组下段; 5—马家沟组六段; 6—马五段各亚段小层代码; 7—一段(亚段)界线; 8—小层界线; 9—奥陶系顶部古风化面

2.3 岩溶盆地(III)

岩溶台地以东大片地区古地势平坦开阔,从石炭系沉积厚度及风化壳表面残留层位分析看出,周边地区略高于中心地带,故称其为岩溶盆地类型区。米脂至绥德中心地带古风化壳马五段六亚段为膏盐湖相,外围则为膏盐湖相向蒸发潮坪相的过渡相,故该类型区岩性虽仍以白云岩、泥质白云岩、白云质膏岩为主,但其岩石中所含的石膏砂(砾)屑及石盐晶体等易溶矿物明显少于中部岩溶台地,这是该区整体储层特性比中部台地区差的关键原因。受这一岩性因素制约,区内岩溶作用方式与岩溶台地区有明显差异,表现为层状溶蚀作用偏弱,以沿地表侵蚀带的溶蚀及浅层地下径流带的岩石溶解为主,非均一性更加明显。同时,由于该区处于水流的汇水排泄区,充填、淀积作用强,岩溶空间充填程度较高,由于钙、泥质的充填胶结,形成致密岩性带,影响了储层的储集性能。

残丘(III₁)为古地形相对较高、风化壳表层马五段一亚段层位相对保留完整的缓丘地带,一般分布于溶蚀沟谷的两侧,层位相对保留完整,岩溶作用相对较强,为岩溶盆地内寻找有利勘探区的主要靶区。

谷地(III₂)为岩溶盆地的主体部分,地势相对平坦开阔,地表微岩溶形态有溶洼、溶斗等,堆积、充填作用占主导地位,地下岩溶发育非均一性明显。岩溶台地中发育的近东西向侵蚀带在谷地中

汇集,形成侵蚀深度相对较大、发育比较集中的潜沟,据勘探资料分析,在岩溶台地与岩溶盆地交接部位,潜沟相对集中发育,谷地中潜沟整体延伸方向指向排泄中心米脂至绥德一带。该类型区整体储层较差,为油气勘探不利地区。

3 结论

(1) 岩溶高地、岩溶台地、岩溶盆地 3 种地貌类型中,岩溶台地岩溶作用最强烈,是天然气富集的最有利区。

(2) 岩溶高地与岩溶台地接触部位,为水动力转换带,天然气比较富集。

(3) 岩溶台地中的缓丘,岩溶高地中的平台,盆地中的残丘地带,主力气层保存完整,层状岩溶比较发育,是天然气富集的有利地区。

(4) 沟槽两侧上方斜坡,岩溶作用最为强烈,溶蚀孔洞空间较大,是高产气井的有利分布区。

参 考 文 献

- 1 戴金星. 国家“八五”天然气科技攻关丰硕成果梗概. 天然气工业, 1996, 16(5): 1~5
- 2 杨俊杰. 陕甘宁盆地地下古生界天然气的发现. 天然气工业, 1991, 11(2): 1~6
- 3 成都地质学院, 长庆石油勘探局勘探开发研究院. 古岩溶与油气储层. 成都: 成都科技大学出版社, 1991. 142~149
- 4 郝蜀民, 司建平, 许万年. 鄂尔多斯盆地北部古生代岩溶及有利油气勘探区块预测. 中国岩溶, 1994, 13(2): 176~179

ORDOVICIAN PALAEOKARST LANDFORM IN ORDOS BASIN AND GAS ENRICHMENT CHARACTERISTICS

Xia Riyuan Tang Jiansheng Guan Bizhu Luo Weiquan

(Institute of Karst Geology, MLR, Guilin, Guangxi)

Ma Zhenfang Zhou Shuxun Yu Zhongping Pan Linghong

(Changqing Petroleum Exploration Bureau, Qingyang, Gansu)

Abstract

Palaeokarst landform developed in the top of Ordovician weathering crust in mideast Ordos Basin controls the reservoiring of natural gas and could be divided into 3 types such as karst highland, karst platform, karst basin and 9 subtypes. The karst platform that underwent intense karstification is most favourable for gas enrichment; the terrace in the highland, the gentle hill in the platform and the remnant hill in karst basin are favorable areas of gas accumulation. High yield gas wells are located at the upper part of the slopes in both sides of the eroded karst flute.

Key words: palaeokarst landform gas enrichment weathered crust Ordos Basin