

鄂尔多斯南部奥陶系古岩溶带 对天然气储层的控制*

吴熙纯 李培华

(成都理工学院石油系, 四川成都 610059)

金香福 袁卫国

(华北石油地质局第三普查勘探大队, 陕西咸阳 712000)

鄂尔多斯南部奥陶系天然气勘探须重视风化壳古岩溶带和层间古岩溶带。风化壳古岩溶带的层位因地而异, 东北部的马家沟组五段为具溶蚀膏模孔洞型的白云岩储层, 具有优越的孔渗条件, V_1 区可望找到靖边气田式储层。层间古岩溶带可分为 4 期, 经多层层间岩溶改造的马家沟组三、五段可形成更为发育的溶蚀膏模型储层, 具有勘探前景, 勘探靶区应在黄陵-黄龙一带以北地区。中奥陶统台缘生物礁及礁后滩勘探靶区应在永寿-淳化-旬邑之间。

关键词 鄂尔多斯 奥陶系 风化壳岩溶带 层间岩溶带 天然气 储层

第一作者简介 吴熙纯 男 59 岁 教授 石油地质

1 风化壳古岩溶带

风化壳古岩溶带分布于奥陶系顶部, 但因鄂尔多斯南部奥陶系顶部暴露层位不同, 古岩溶带层位各异(图 1)。

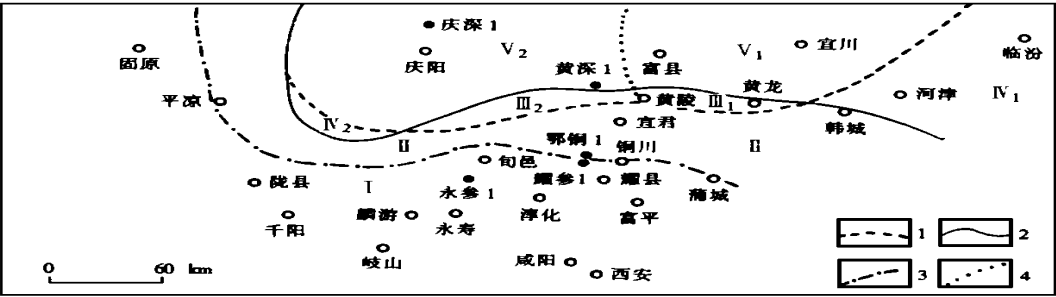


图 1 鄂尔多斯南部加里东风化壳层位组合及古岩溶带

1—峰峰组向北尖灭线; 2—泾河组向北尖灭线; 3—背锅山组向北尖灭线; 4—岩相界线; I—背锅山组-泾河组灰岩区岩溶带; II—泾河组-峰峰组灰岩白云岩区岩溶带; III₁—泾河组灰岩白云岩-上马家沟组含膏白云岩区岩溶带; III₂—泾河组白云岩灰岩-上马家沟组含泥白云岩区岩溶带; IV₁—峰峰组灰岩-上马家沟组含膏白云岩区岩溶带; IV₂—峰峰组-上马家沟组白云质泥岩-泥质白云岩区岩溶带; V₁—上马家沟组含膏白云岩区岩溶带; V₂—上马家沟组白云质泥岩-泥质白云岩区岩溶带

1.1 典型剖面

* 本文属国家八五重点科技攻关专题(85-102-05-03-04)

收稿日期: 1996-08-12 改回日期: 1997-03-18

蒲城尧山剖面是鄂尔多斯南部奥陶系顶部风化壳古岩溶带的典型剖面。古岩溶带可见厚度约 38 m, 自上而下分 4 个带。

1. 1. 1 残积带

上部为中石炭统本溪组灰绿、棕红、土黄色薄层泥页岩及粘土, 厚 3~ 5 m; 下部为奥陶系顶部风化残积, 为棕褐、棕黑色铁铝质泥岩及褐铁矿, 呈角砾状, 厚 30~ 50 cm, 底部侵蚀面凹凸不平。

1. 1. 2 渗流带

上部(渗流通道发育带)为褐灰色厚层白云质灰岩, 发育垂向及旁侧分支岩溶缝, 缝宽 0.3~ 2 m 不等, 为渗流通道, 见石炭系泥质物沿通道下渗(图版 I - 1), 岩层未见明显破碎。本带厚 14.2 m。

中部(巨岩溶角砾发育带)为黄灰色中厚层白云质灰岩, 发育树根状岩溶缝系, 缝宽 0.01~ 1.5 m 不等, 充填小角砾及石炭系渗漏泥质物(图版 I - 2)。缝隙被巨角砾限制, 巨角砾 0.5 m 至 7 m 不等, 棱角磨失, 有转移。本带厚 9.2 m。

下部(岩溶角砾岩带)岩性与中部相同, 溶缝呈网脉状, 喀斯特袋及喀斯特室发育, 其中充填岩溶角砾(图版 I - 3), 1~ 20 cm 不等, 次棱角状。角砾间石炭系泥质充填由上而下渐减, 代之以淡水亮晶方解石填隙。本带厚 9 m。

1. 1. 3 潜流带

深灰色纹层-薄板状微晶灰岩, 沿层面见岩溶角砾条带及层间溶缝。潜流带溶孔 1~ 5 mm, 呈近圆球形, 已被亮晶方解石充填(图版 I - 4), 溶孔有顺层集中, 纵向分带的趋势。本带厚 5.5 m。

1. 1. 4 潜流层底板

深灰色薄层片状微晶灰岩, 含燧石条带, 已不见溶孔分布, 厚 13 m。

1. 2 典型井剖面

鄂铜 1 井上石炭统太原组盖在中奥陶统泾河组之上, 自上而下分出 4 个古岩溶带(图 2):

1. 2. 1 盖层

井深 2 479.5 m 以上为太原组黑色碳质泥页岩夹煤层, 含黄铁矿, 未见铁铝质泥岩, 乃因滑脱断层使太原组底部与奥陶系界线层位缺失。

1. 2. 2 渗流带

上部: 井深 2 479.5~ 2 489.0 m, 见大的岩溶缝形成渗流通道, 宽 3~ 8 cm, 充填石炭系泥岩及角砾。

中部: 井深 2 489.0~ 2 492.5 m, 见间隔性斜分支状渗流通道, 宽 2~ 3 cm, 含岩溶角砾, 直径 1~ 2 cm, 缝隙充填石炭系碳质泥岩及黄铁矿。

下部: 井深 2 510.0~ 2 517.0 m, 见细分支状渗流通道, 宽 1 cm 以下, 充填石炭系碳质泥岩、细碎岩溶角砾及亮晶方解石。

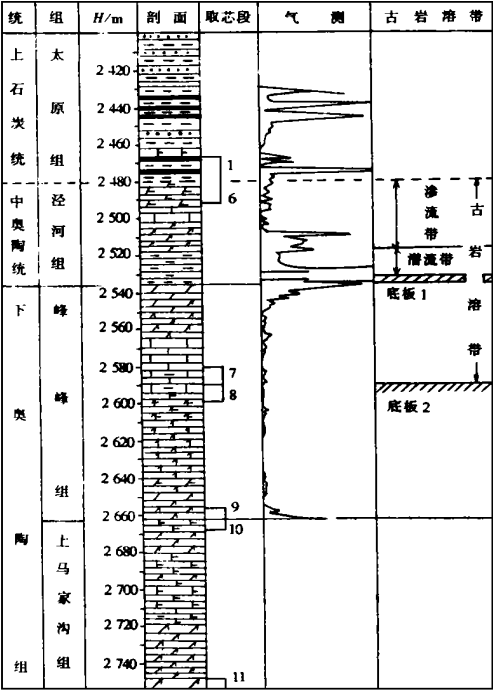


图 2 鄂铜 1 井综合解释剖面

1.2.3 潜流带

上部: 井深 2 517.0~2 525.0 m, 相当潜流带的溶解带, 见气测异常, 可能发育呈水平带状分布溶孔。

下部: 井深 2 525.0~2 532.0 m, 见最大气测异常, 表明溶孔发育。本带不一定是潜流带的沉淀带或饱和带, 与潜流强度及第一底板的隔水能力有关。

1.2.4 潜流层底板

井深 2 532.0~2 535.0 m, 为泾河组底部泥岩夹凝灰岩段, 相当于潜流层底板。

本井古岩溶带共厚 52.5 m, 其中在加里东侵蚀面下(自上述滑脱断层面算起)约 30.5 m 见气测异常, 进入潜流带孔隙段, 气测异常带共厚 22 m。

1.3 奥陶系顶部风化壳古岩溶带特征

加里东侵蚀面下渗流带见有铅垂并旁侧分支的渗流通道及喀斯特袋, 充填上古生界岩屑渗漏物, 基岩垮塌并角砾化; 潜流带见有水平分布溶孔及层间溶缝, 溶孔为膏盐模、鸟眼、晶间孔及其他非选择性溶孔, 经溶蚀扩大成圆形或半圆形, 常有示底沉积物。潜流带下部若岩溶水滞缓可使溶孔胶结充填。隔水底板若再有渗漏, 则其下可产生第二套渗流-潜流带组合, 并进入深部压释水循环带^[1]。

古岩溶潜流带的不饱和带或溶解带是主要造孔带, 若潜流带直接改造马家沟组五段含膏白云岩, 则可造成靖边气田式溶蚀膏模孔洞型储层(图版1-5)。潜流带也可改造其他层位白云岩晶间孔, 或其他选择性及非选择性孔隙, 其造孔规模及孔渗性都不如改造含膏白云岩好。



图3 鄂尔多斯南部台缘生物礁-滩地震剖面
O_{1f}—下奥陶统峰峰组; O_{2j}—中奥陶统泾河组(丘状体是礁-滩组合); O_{3b}—上奥陶统背锅山组

由于奥陶系顶部沉积层位和剥蚀强度在不同地点有差别, 因此, 古岩溶带并非分布在同一层位。由图1可见本区东北部, 黄陵-黄龙一线以北(V₁区)具有与靖边气田类似的风化壳古岩溶带改造马家沟组五段含膏白云岩的模式。其他地区风化壳则有不同层位组合, 古岩溶的层控性及造孔效果各异。

鄂尔多斯南部中奥陶世台缘生物礁-滩东起铜川, 经耀县、淳化, 西至永寿^[2], 在铜川、耀县露头剖面见生物礁顶部恰好位于加里东风化壳部位, 生物礁中混合水及压实流体白云石化白云岩受古岩溶改造, 多溶蚀孔洞。铜川至淳化的礁带已暴露, 而淳化至永寿一带的礁及其北侧的礁后滩仍深埋地腹, 受古岩溶改造的礁顶部白云岩段可作为勘探目标(图3)。

2 层间古岩溶带

2.1 成岩早期岩溶带

产生于成岩早期淡水渗流及潜流带, 系沉积表层岩溶带, 淡水来自本区北方庆阳古陆及生物礁-滩中淡水透镜体。

成岩早期暴露面或暴露带可由微喀斯特构造, 如喀斯特袋、喀斯特室、渗流-潜流通道、岩溶角砾及潮上沉积标志(如鸟眼、石膏晶模、钙结岩)等判断。成岩早期岩溶带可由渗流带中渗流粉砂示底构造、重力胶结物、藻葡萄等标志判断。潜流带中棘屑共轴增生、溶孔中向心变粗镶嵌方解石、混合水白云石等也是本带标志。

成岩早期的潜流带是主要造孔带, 易形成水平分布溶孔及层间溶缝, 为后期成岩水的溶蚀提供了最早期的作用空间。下奥陶统潜流带溶孔以选择性溶蚀的膏模孔具有良好储集性, 孔隙常保留石膏晶形, 面孔率可达 10%~20%。中奥陶统生物礁-滩组合中也发现层间岩溶形成的白云石晶间溶孔, 如永参 1 井遇台缘礁后滩相带, 白云岩中溶蚀孔洞发育。

早奥陶世鄂尔多斯南部与中、北部相似, 马家沟组三段及五段中各发现 10 余个暴露带及膏模孔发育层位。中奥陶世台缘生物礁-滩组合中发现有 23 个三级层序, 其中 16 个层位发现有早期暴露。

2.2 早构造期岩溶带

产生于燕山期前的成岩晚期浅埋-中埋环境。此时层间及供水区泥质岩压实排驱地下水活跃, 此外还有压溶水及停滞孔隙水作用。从地下水动力场分析, 高势区可能在本区以南古秦岭海槽中, 岩溶水的流向可能由南而北。

压实排驱地下水进入孔隙带后为顺层流动, 继承改造成岩早期保留的溶孔, 使溶蚀孔洞常与层间溶缝及缝合线串连。膏模孔常溶蚀扩大成圆形或半圆形, 顺层分布。压实流体白云石化白云岩中的晶间溶孔也是在本带产生的(图版 1-6)。

继承改造的膏模溶孔和压实流体白云石化白云岩晶间溶孔层位, 都具有良好的储集性, 如某井 9 次取芯段, 井深 1 494.0~1 497.6 m, 上马家沟组下部孔隙度高达 19.0%, 平均 8.44%, 渗透率最大 $13.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $2.42 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

继承改造的膏模溶孔带集中在马家沟组三段及五段潮上坪相, 压实流体白云石化晶间溶孔带在下-中奥陶统各组都有分布, 以中奥陶统礁、滩中白云岩较好。

2.3 燕山早期岩溶带

产生于燕山早期, 即晚构造期的前期(中侏罗世末至早白垩世), 属于成岩晚期深埋阶段区域地下水环境, 以压释水的层间溶蚀为特征。本期岩溶与油气运移聚集同步, 也是区域逆冲构造及构造圈闭主要形成时期。本带形成的溶孔可见垂直孔洞壁片状亮晶方解石和斑晶状深埋白云石化白云岩。膏模溶孔及白云石晶间溶孔壁常有沥青膜, 是油气运移残迹。

多次反复溶蚀仍保持张开的继承性膏模溶蚀孔洞及白云石晶间溶孔形成的孔隙带, 仍是主要储集空间, 前者集中在马家沟组三段及五段; 后者主要见于下奥陶统亮甲山组, 在马家沟组三段及五段仅以夹层出现。

2.4 燕山晚期至喜山期岩溶带

包括晚构造期后期, 即燕山回返期及喜山期构造运动中(晚白垩世至新生代)产生的岩溶后生-表生期岩溶。燕山回返期后以张裂运动为主, 裂谷性张裂运动是地幔热液的“气垫作用”造成, 故可见充填低温热液型矿物标志, 如具波状消光的亮晶方解石、石英、玉髓、鞍状白云石等。后生-表生期的溶缝及孔洞则充填具滑动双晶、栅状亮晶淡水方解石, 偶见淡水白云石。含膏白云岩受近地表岩溶改造成膏溶角砾岩。本期岩溶所形成的溶蚀缝串孔洞产生在油气聚集之后, 已不具储集作用。

3 勘探靶区

3.1 风化壳古岩溶带

勘探目标宜集中在东北部黄陵-黄龙一线以北地区,即图 1 之 V₁ 区,这里距米脂膏盐湖南带及临汾膏湖近,蚀蚀膏模孔洞发育,可望找到靖边气田式储层。中奥陶统台缘生物礁-滩受古岩溶改造的白云岩储层勘探靶区,应以淳化、永寿、旬邑之间为佳(图 3)。

3.2 层间古岩溶带

IV区河津剖面马家沟组三段厚 103 m,含膏云坪相占主导,见膏模孔发育层位 6 层,单层厚度达 3~ 10 m;马家沟组五段厚 88 m,中下部含膏云坪相发育。黄陵-黄龙一带及以北地区,接近临汾膏湖及米脂膏盐湖南带,含膏模孔层段更发育,宜作为勘探靶区(图 4)。中奥陶统台缘生物礁滩带,非风化壳岩溶部位,层间岩溶改造形成的晶间溶孔白云岩储层,勘探靶区亦在淳化、永寿、旬邑之间。

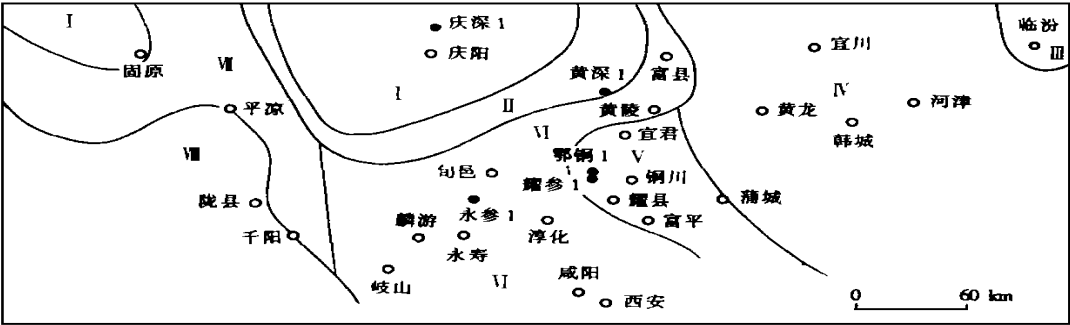


图 4 鄂尔多斯南下-上马家沟组层间岩溶区

I 一地层尖灭区; II 一下马家沟组缺失区, 上马家沟组泥质白云岩层间岩溶区; III—膏盐溶滤区; IV—含膏白云岩层间岩溶区; V 一下马家沟组含膏白云岩, 上马家沟组灰岩白云岩层间岩溶区; VI—灰岩白云岩间含膏白云岩层间岩溶区; VII—下马家沟组白云岩, 上马家沟组灰岩层间岩溶区; VIII—灰岩层间岩溶区

4 结论

鄂尔多斯南部天然气勘探新局面的开拓,须充分重视奥陶系两种古岩溶带对天然气储层的控制。古风化壳岩溶控气模式已在北部得到证实。南部尽管因蚀蚀强度不同,层位组合比较复杂,但与靖边气田类似的风化壳岩溶改造马家沟组五段含膏白云岩储层模式,在东北部仍有分布。马家沟组三段及五段下部的膏模孔段由于埋深大,不可能受到风化壳岩溶改造,分明是层间岩溶形成的。层间岩溶的强度和规模虽不如风化壳岩溶大,但是层间岩溶在地史中延续时间更长,如果造孔带持续保持低势水动力场机制,则多期继承性层间岩溶可以形成更为发育的膏模溶孔型储层。

致谢:感谢冯增昭,刘景平,田义德同志的指导。

参 考 文 献

1 Saller A H. Unconformities and porosity development in carbonate strata: ideas from a Heidelberg Conference. AAPG Bull, 1994, 6(78): 857~ 862
2 吴熙纯, 袁卫国. 鄂尔多斯地台南缘中奥陶世斜坡及生物礁组合. 见: 王英华, 鲍志东, 朱筱敏编. 沉积学及岩相古地理

学新进展. 北京: 石油工业出版社, 1995. 193~ 196

图版 I 说明

1. 风化壳渗流带上部, 垂向及旁侧分支渗流通道, 充填石炭系渗漏泥质(放铁锤部位)。蒲城尧山, 露头, 奥陶系顶部。
2. 风化壳渗流带中部, 渗流通道(放铁锤之左侧, 宽约 1m) 从巨角砾间通过, 通道充填杂乱堆积小角砾及石炭系渗漏泥质。蒲城尧山, 露头, 奥陶系顶部。
3. 风化壳渗流带下部, 见大量次棱角状角砾嵌在石炭系渗漏泥质中。蒲城尧山, 露头, 奥陶系顶部。
4. 风化壳潜流带, 岩溶改造的薄层灰岩中密集溶孔, 已被成岩晚期亮晶方解石充填。蒲城尧山, 露头, 奥陶系顶部。
5. 鄂尔多斯中北部某井马家沟组五段岩芯, 见风化壳岩溶潜流带膏模溶孔(可与照片 4 对比)。
6. 层间岩溶带中水平分布的白云石晶间溶孔, 含残余沥青。下马家沟组剖面 Y30 号薄片, 单偏光, $\times 12.5$ 。

CONTROL OF ORDOVICIAN PALEOKARST ZONES IN SOUTH ORDOS ON GAS RESERVOIRS

Wu Xichun Li Peihua

(Department of Petroleum, Chengdu College of Technology, Chengdu, Sichuan)

Jin Xiangfu Yuan Weiguo

(No. 3 Survey and Exploration Brigade, North China Bureau of Petroleum Geology, Xianyang, Shaanxi)

Abstract

The paleokarst zone of Caledonian weathering crust at the top of Ordovician in south Ordos is different from the one in Middle Ordos' but the gypsum cast-corroded pore reservoirs of the 5th Member of the Lower Ordovician Majiagou Formation in the northeast part of south Ordos is similar to those in Middle Ordos. Different formations are located in different positions of the weathering crust of south Ordos. Reservoirs of the 3rd and 5th Members of the Majiagou Formation, undergone multi-stage interstratum karst corrosion in geohistory, can be induced into four major stages and develop into favourable gypsum cast reservoirs. The target area of oil and gas exploration should be set northward of Huangling-Huanglong area; that of the platform marginal reef and backreef beach of Middle Ordovician should be set between Yongshou-Chunhua-Xunyi areas.