

华北下古生界碳酸盐岩储集性初步分析

陈霞

(地质矿产部华北石油地质局, 郑州 450006)

华北地区下古生界主要为一套浅海台地碳酸盐岩。其中奥陶系中统及寒武系下统是该区储集岩发育的主要层段。储集岩以溶蚀孔隙和裂隙为主。加里东期和燕山-喜山期的岩溶作用及断裂作用是储集岩形成的主要地质因素。

关键词 华北 碳酸盐岩 储集岩 岩溶作用 断裂作用

作者简介 陈霞女 35岁 工程师 石油与天然气地质

华北地区泛指北起燕山,南到大别山,东止郯-庐断裂,面积约 $36 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的地区。自1986年开展下古生界碳酸盐岩储集岩研究以来,先后对26口钻井共964块样品进行了常规物性、压汞、铸体、电镜扫描、碳氧同位素、阴极发光等多种项目测试。本文在上述实验数据和区域地质资料的基础上,结合测井及钻井资料作初步分析。

一、储集空间

(一) 类型

1. 受岩石组构控制的晶间孔及晶间、晶内溶孔(图版 I-1, 2, 3, 4)

由白云石、方解石的晶间、晶内微孔经溶蚀扩大而形成。溶孔间往往以小溶缝组成喉道相连,溶孔形状、大小受岩石组构控制。实测孔隙度4.3%—21%,是奥陶系中统碳酸盐岩的主要储集空间类型。

2. 溶缝及溶斑内晶间溶孔与溶洞(图版 I-4, 5)

被充填的溶缝、溶孔两次或多次溶解后形成。实测孔隙度0.9%—2.26%。由于受到溶蚀条件控制,分布具有局限性和不均质性。

3. 砾间溶孔(图版 I-6)

由选择性溶蚀作用形成或受岩石组构制约的不规则溶孔。实测孔隙度5.3%—22.1%。是本区奥陶系中统中等一较好储集岩的主要储集空间类型之一。

4. 裂缝及沿裂缝分布的溶孔、溶洞(图版 I-1, 2, 3, 4, 5, 6)

主要指各种构造缝、层间缝和缝合线等。沿裂缝常有溶蚀扩大的溶孔、溶洞分布。实测孔隙度1.1%—3.3%,渗透率 0.1×10^{-3} — $4532.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,是本区主要储集空间类型之一。

(二) 结构

根据压汞曲线形态,铸体孔隙测定及常规物性等资料分析,下古生界碳酸盐岩的储集空间结构可划为孔洞型、裂缝型及复合型(图1,2)。

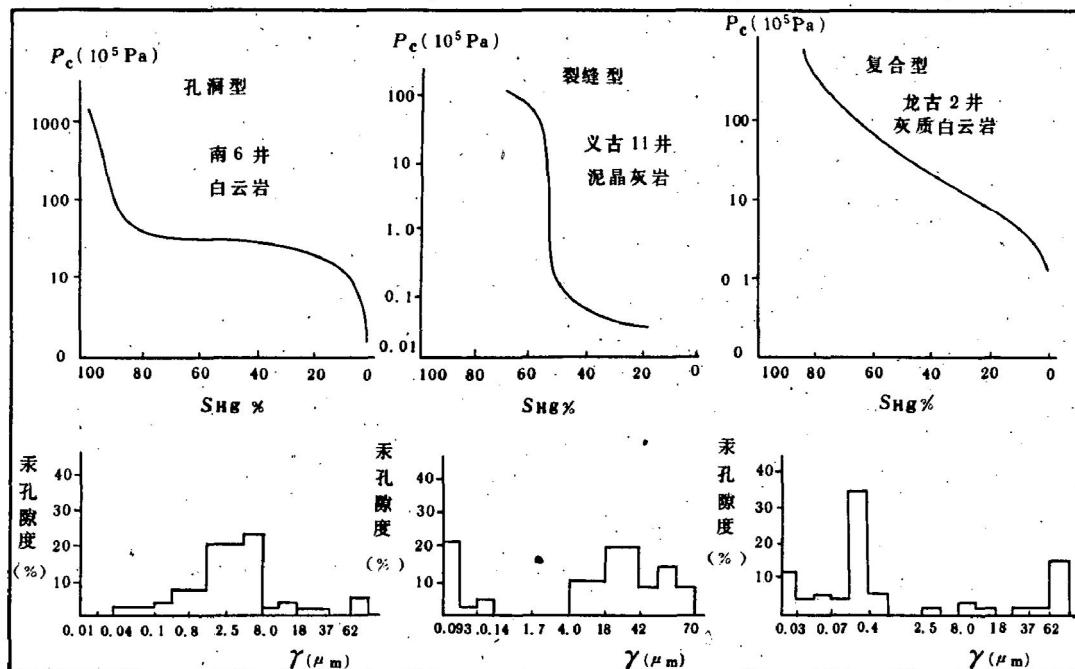


图1 不同储集空间结构毛管压力曲线

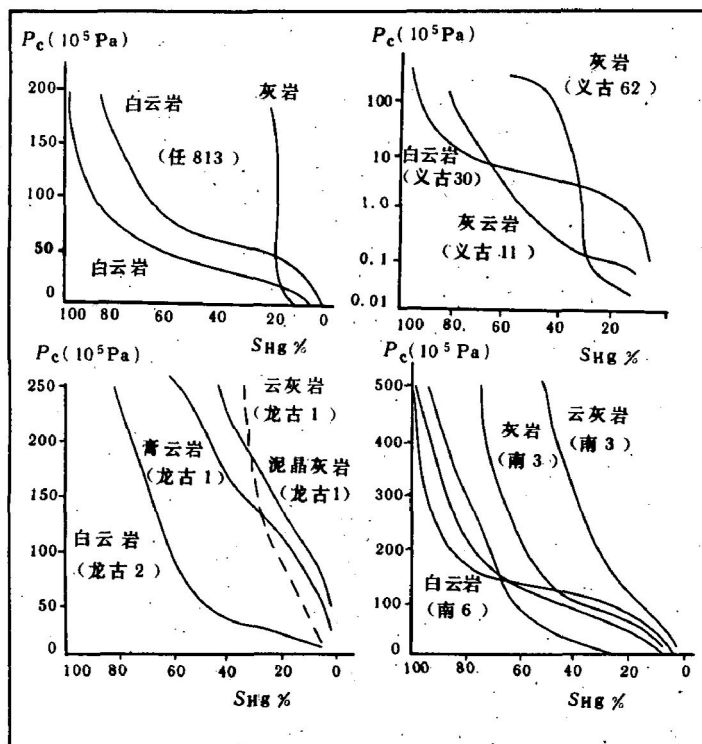


图2 不同岩类毛管压力曲线

孔洞型储集岩多为白云石化作用和岩溶作用叠加形成。以微晶、粉晶白云岩、藻团粒白云岩、石膏白云岩为主。常见的储集空间为晶间、晶内溶孔及砾间、砾内溶孔溶洞等。孔隙度较高,渗透率较低,压汞曲线形态和砂岩相似,表现为平行横坐标轴延伸较长,汞饱和度较高,排驱压力较低,孔喉半径略呈正态分布。

裂缝型储集岩多为断裂和岩溶作用所致。以泥晶、微晶灰岩及白云质灰岩为主,储集空间类型多为构造溶蚀缝、风化缝、节理缝等。渗透率较高,孔隙度较低。压汞曲线呈平行纵坐标轴延伸较长,汞饱和度较低,孔喉半径分布呈断续状。

复合型储集岩是白云石化作用、岩溶作用及构造断裂作用叠加

产物。以白云岩、白云质灰岩、灰质白云岩为主。裂缝、溶孔、溶洞均较发育，孔隙度、渗透率均较高，压汞曲线具双重储集空间结构特征，孔隙喉道半径分布呈多峰态。

图2 不同岩类毛管压力曲线

二、储集特征

下古生界碳酸盐岩具有显著的非均质性，据964块样品统计，孔隙度最大者达22.1%，最小为0.06%，渗透率最大者达 $4532 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，最小可低于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。这种差异主要与白云岩类型、岩溶及断裂作用有关。

(一) 白云岩类型

华北地区下古生界的白云岩具有不同的储集性能（图3）。

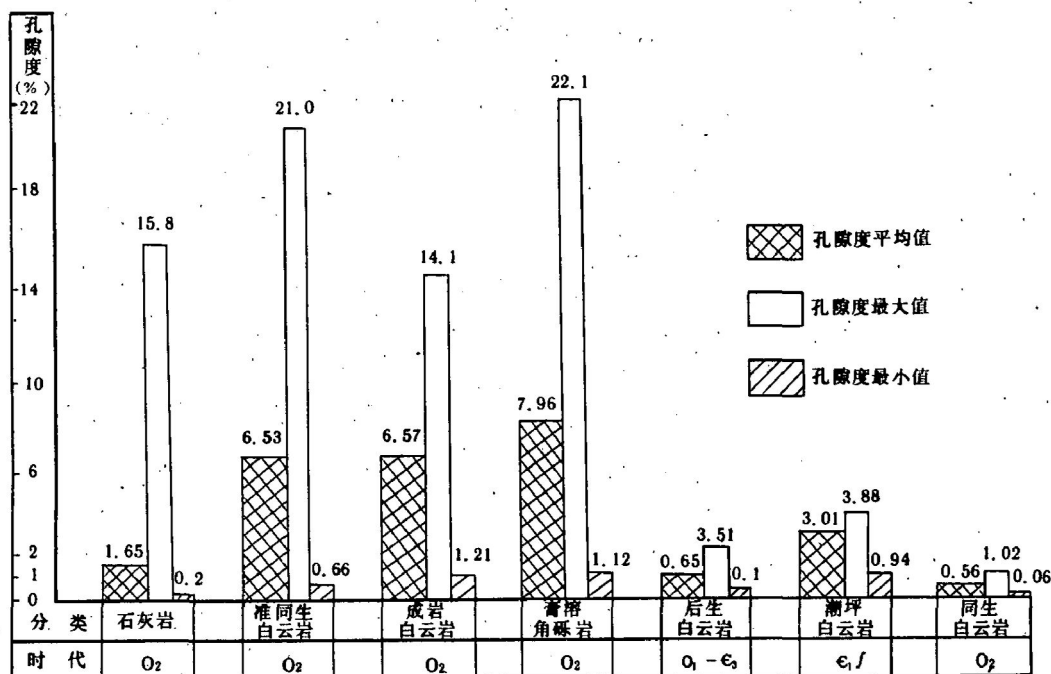


图3 华北地区下古生界各类白云岩与石灰岩孔隙度对比图

同生白云岩平均孔隙度仅0.56%，平均喉道宽度 $0.007 \mu\text{m}$ ，排驱压力高达 $250 \times 10^5 \text{Pa}$ ，饱和和中值压力达 $1000 \times 10^5 \text{Pa}$ 左右，汞饱和度在50%以下，属非储集岩类。

准同生白云岩平均孔隙度为6.53%（与加拿大红水油田礁相白云岩、灰岩储集层平均孔隙度值相近），最大值21%（义古12井，O₂s¹），渗透率最大值为 $308.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ （任813井，O₂x¹）。储集空间为分布均匀的晶间孔、晶间溶孔、晶内溶孔和颗粒粒间溶孔、溶洞及裂隙。排驱压力一般低于 $10 \times 10^5 \text{Pa}$ ，汞未饱和孔隙体积一般小于10%，属于较好—中等储集岩类。

成岩白云岩平均孔隙度为6.57%，最高达14.1%，渗透率最高可达 $395 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，储集空间类型为分布均匀的晶间孔、晶间溶孔及非组构溶孔和裂隙。排驱压力一般小于 $20 \times 10^5 \text{Pa}$ ，汞饱和度大于80%，是下古生界区域性较好储集岩之一。

后生白云岩层位跨越寒武系上统至奥陶系下统。是一套结晶粗大,风化后呈砂糖状的中细晶白云岩。由于叠加了两期或两期以上具有造岩规模的强白云石化作用,晶体骨架空间普遍被竞相生长的附生晶和共轴增生白云石,以及交代残余物占据,形成缝合镶嵌结构和次生加大结构以及粘土充填,极大的降低了它的孔渗性。平均孔隙度仅 0.65%,绝大多数岩样渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 储集空间类型为沿后期断裂、裂缝发育的晶间溶孔、晶内溶孔和非组构性溶孔、溶缝。排驱压力 $4 \times 10^5 - 200 \times 10^5 \text{Pa}$ 不等,饱和中值压力 $100 \times 10^5 - 900 \times 10^5 \text{Pa}$, 汞饱和度小于 75%, 属较差到非储集岩类。

(二) 岩溶作用

1. 垂向展布

早古生代末的加里东运动及中、新生代的燕山-喜山运动,使下古生界碳酸盐岩多次抬升

表 1 不同侵蚀面以下溶孔溶缝机遇率统计表

侵蚀面以下 深度带 (m)	加里东末期			燕山期			喜山期		
	钻遇该深度 总钻井数	放空漏失 井数	频率 (%)	钻遇该深度 总钻井数	放空漏失 井数	频率 (%)	钻遇该深度 总钻井数	放空漏失 井数	频率 (%)
0—50	115	10	8.7	145	45	31	115	36	31.3
50—200	104	23	22.12	93	21	22.6	39	9	23
大于 200	65	8	12.3	57	3	5.3	13	2	15.4

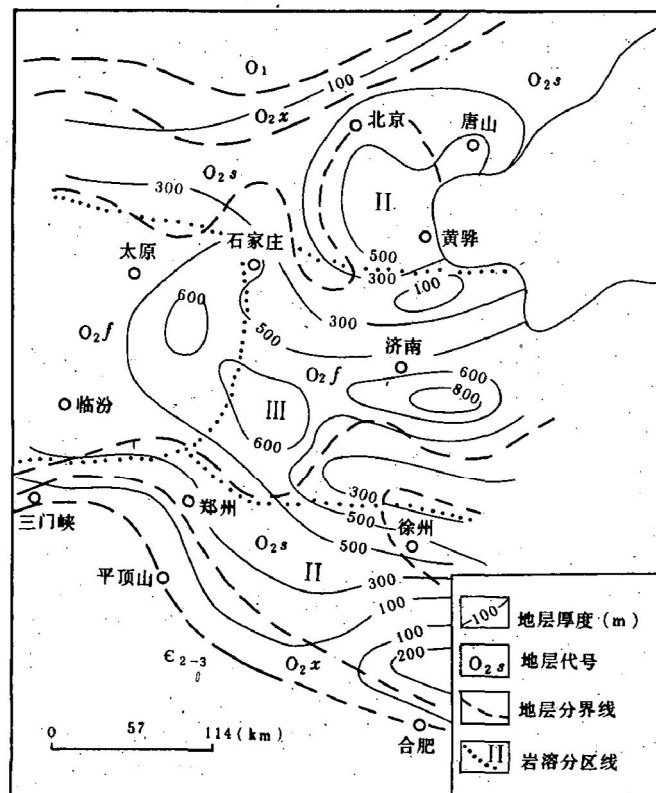


图 4 华北地区加里东期古岩溶程度略图

暴露地表,遭受大气降雨及地下水的淋滤、渗透、溶蚀,使侵蚀面以下几百米内岩溶储集岩较发育。加里东末期侵蚀面以下 0—50 m, 50—200 m 和大于 200 m 三个带内,其溶洞、溶缝机遇率分别为 8.7%、22.13% 和 12.3% (表 1), 以 50—200 m 带内岩溶作用最强烈。据岩样物性分析,孔隙度大于 5%, 渗透率大于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的岩样大部分位于该带内。燕山期和喜山期侵蚀面以下 0—50 m, 50—200 m 和大于 200 m 三个带内,其溶洞、溶缝机遇率分别为 30%、22.6%、5.3% 和 31.3%、23%、15.4% (表 1)。因此,燕山-喜山期岩溶作用以 0—50 m 内最强烈; 50—200 m 内较强, 大于 200 m 相对较弱。

2. 平面展布

华北地区中奥陶世末加里东上升表现为南、北区强,中区较弱(图 4)。北区和南区平均孔隙度分别为 4.43% 和

3.94%; 渗透率分别为 0.1×10^{-3} — $1736.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 0.1×10^{-3} — $1241.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 溶洞溶缝机遇率为 31.3% 和 33.5%, 均为较强岩溶区; 中区东部平均孔隙度 2.6%, 绝大多数岩样渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为较弱岩溶区; 中区西部平均孔隙度仅 0.58%, 渗透率极低, 为弱岩溶区。

燕山-喜山期的岩溶作用多发生在迴返型和中隆新凹型地质结构的高部位及断裂的上升盘, 地层层序上常为下古生界直接被新生界不同层位所覆盖。由于经历了多期次岩溶作用的叠加, 断裂、裂缝又组成了极其复杂的岩溶网络, 因此较好地发育有岩溶储集岩。该期岩溶作用在平面上可划分为五类(图5), 强岩溶区(I类)是加里东期和燕山-喜山期多次岩溶作用的叠加区, 平均孔隙度 5.9%—19.1%, 渗透率 0.1×10^{-3} — $4532.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均临界气柱高度 88—177 m, 溶洞机遇率 66.7%—99.8%, 是下古生界好—较好储集岩发育的有利地区; 较强岩溶区(II类)是加里东期和燕山期岩溶作用叠加区, 平均孔隙度 9.31%, 渗透率 0.1×10^{-3} — $225 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均临界气柱高度 91.6 m, 溶洞机遇率 30.1%—75%, 是下古生界较好—中等储集岩发育的有利区; 较弱—弱岩溶区(III—IV类)是加里东期岩溶作用和燕山期较弱岩溶作用叠加区, 平均孔隙度 0.84%—2.44%, 渗透率 0.1×10^{-3} — $195 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 临界气柱高度 118.43—589 m, 是较差储集岩发育区; 极弱岩溶区(V类)是中、新生代以来的拗陷区, 燕山-喜山期岩溶作用极弱, 平均孔隙度 0.06%—2.1%, 渗透率 $< 0.1 \times 10^{-3}$ — $46.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 临界气柱高度 246—1000 m, 是下古生界储集岩发育最差的地区。

(三) 断裂作用

燕山-喜山期断裂作用是下古生界裂缝型储集岩及孔、洞、缝复合型储集岩形成的重要时期。通过对距主断裂 1 km 以内钻遇下古生界钻井统计: 在 51 口钻具放空、泥浆漏失井中, 46 口井位于断裂带附近 100 m 内, 频率为 90%。其中又有 31 口井放空, 漏失深度位于侵蚀面以下 200 m 内, 频率为 61% (图6)。由此可见, 那些既位于断裂附近, 又位于侵蚀面以下浅处的岩层, 由于经历了断裂、岩溶双重作用, 使孔渗条件大大改善。对山东邹县奥陶系燕山-喜山期岩溶作用的研究(图7), 进一步证实了断裂作用和岩溶作用叠加可形成良好储集岩。

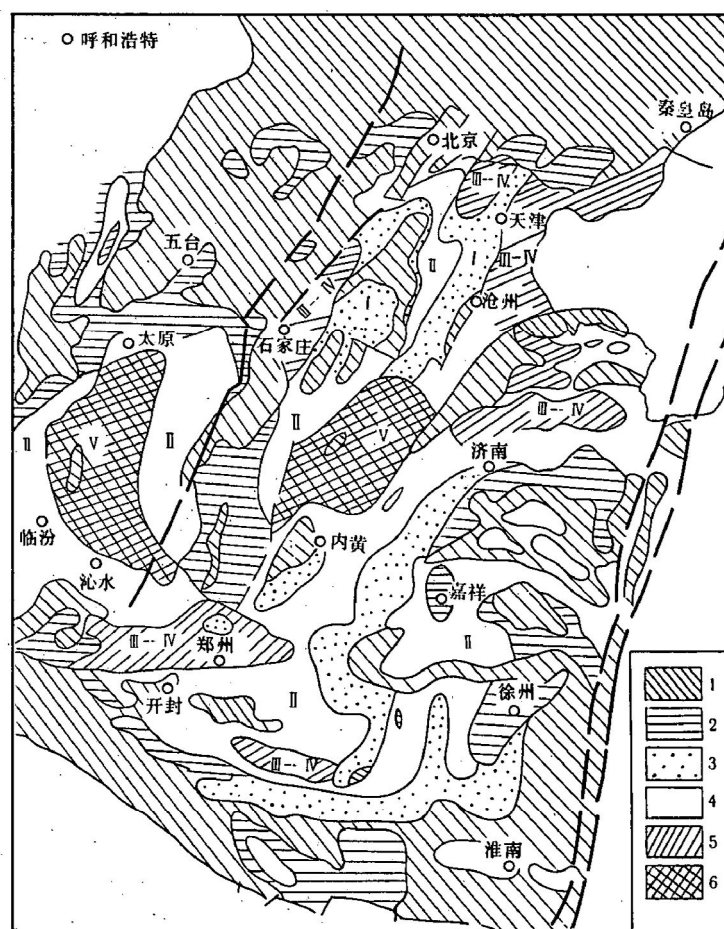


图5 华北地区燕山-喜山期岩溶程度略图

1—剥蚀区, 2—露头区, 3—I类区,
4—II类区, 5—III—IV类区, 6—V类区

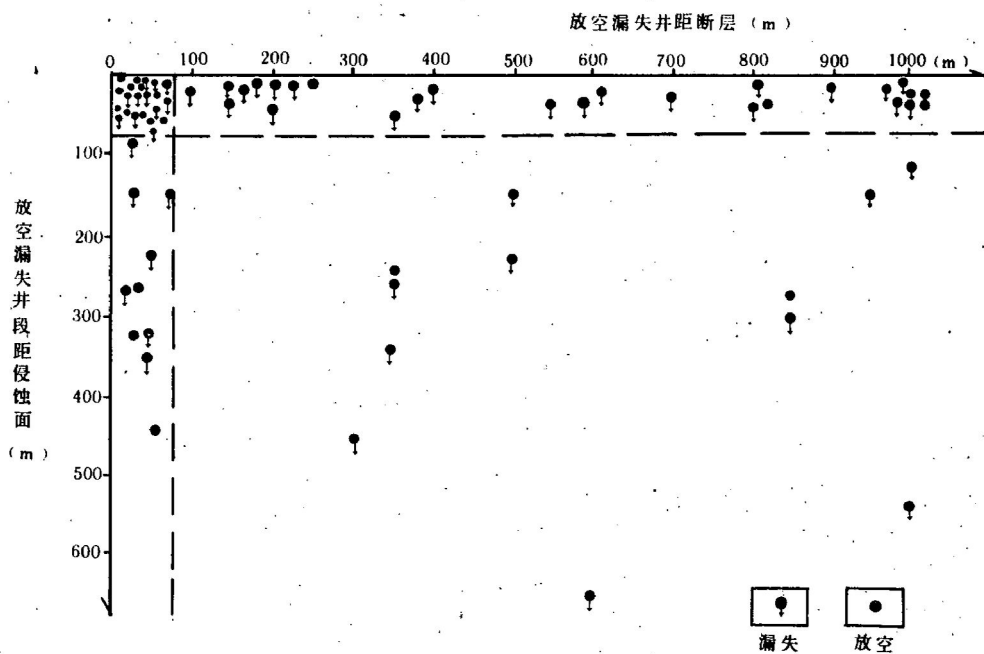


图6 钻井放空漏失与断层及侵蚀面关系图

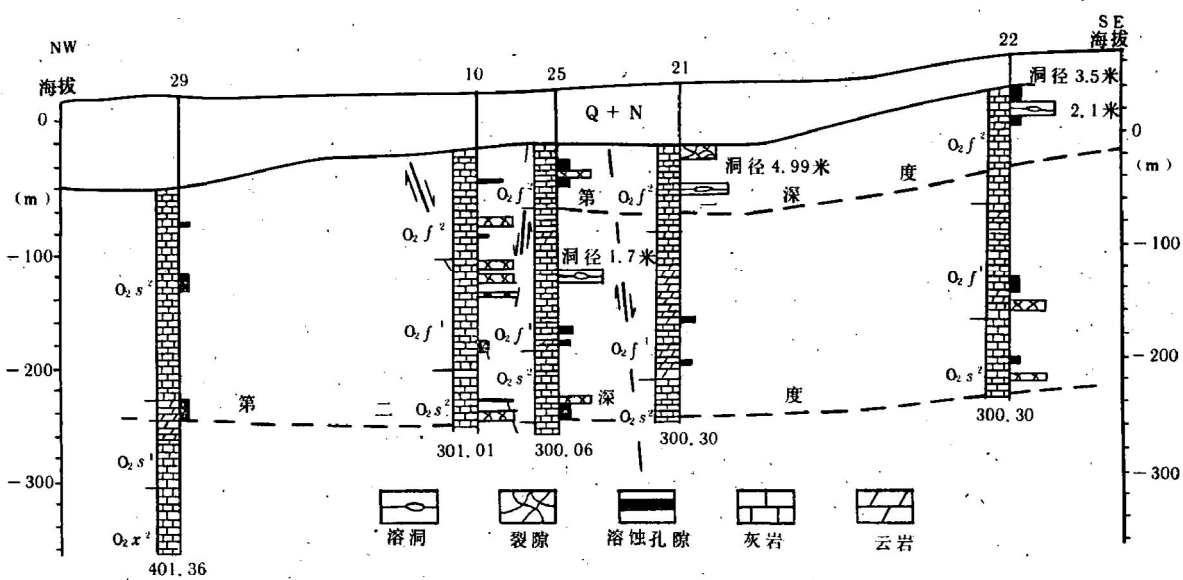


图7 山东邹县下古生界岩溶剖面图

三、储集岩评价

各类参数综合归纳为表 2:

表 2 储集岩划分标准表

储集岩类型	孔 隙 结 构					电 性			
	孔隙度 (%)	渗透率 ($10^{-3}\mu\text{m}^2$)	排驱压力 (10^5Pa)	喉道中值 (μm)	孔喉半径 (μm)	电阻率 (Ωm)	自然伽玛 (API)	中子伽玛 (条件单位)	声波时差
I 类(良好)	>5	>10	<1	>0.2	>0.15	<1500	≤20	4.5	高值或跳跃
II 类(中等)	5—3	10—1	1—10	0.2—0.1	0.15—0.075	1500	20	4.5	较高值
III 类(差)	3—1	1—0.1	10—100	0.1—0.06	0.075—0.04	4000	25	5.1	或跳跃
IV 类 (非储集岩)	<1	<0.1	>100	<0.06	<0.04	>4000	>25	>5.1	中低值

I 类储集岩具有良好的储集空间及渗滤条件, 多为粉晶白云岩、藻团粒白云岩、膏溶角砾岩、次生灰岩等。储集空间一般为晶间孔、晶间溶孔、粒间溶孔及裂隙, 以复合型及孔隙型为主。该类储集岩主要发育在奥陶系中统下马家沟组、上马家沟组及峰峰组, 主要分布于冀中、济阳、东明、南华北等地。

II 类储集岩多为微晶白云岩、白云质灰岩、灰质白云岩等, 具有多种储集空间类型, 多为孔洞型、裂隙型及复合型, 为中等储集岩。主要发育在奥陶系中下统及寒武系下统辛集组, 分布于冀中、济阳、南华北等地。

III 类储集岩以泥晶灰岩、泥质白云岩、白云质灰岩等为主。该类储集岩孔隙和裂隙发育较差, 难以形成规模较大的油藏, 但对气体仍具有一定的储集能力。奥陶系中、下统及寒武系上统和下统均有发育。主要分布在东明、南华北及沁水等地。

四、结 语

(1) 华北地区下古生界碳酸盐岩储集岩的储集空间类型以溶蚀孔隙和裂隙为主。储集空间结构可划分为孔洞型、裂隙型和复合型。

(2) 准同生及成岩白云岩是本区主要储集岩类。在裂隙不发育的情况下, 绝大部分同生白云岩及灰岩为非储集岩。

(3) 岩溶作用及断裂作用相互叠加, 形成了侵蚀面以下 200 m 内储集岩发育带。

(4) 较好的储集岩主要发育在奥陶系中统及寒武系下统辛集组。冀中、济阳地区发育最好, 临清、东明南华北地区相对较差, 沁水地区发育最差。

此文在编写过程中, 得到了徐辉高级工程师的指导、帮助和支持, 在此深表谢意。

RESERVOIR PROPERTY ANALYSIS OF LOWER PALEOZOIC CARBONATE ROCKS IN NORTH CHINA

Chen Xia

(*North China Bureau of Petroleum Geology, MGMR*)

Abstract

Carbonate reservoir rocks of Lower Paleozoic in North China are mainly developed in Middle Ordovician and Lower Cambrian, and are characterized by solution pores and fissures. Karstification and faulting in Caledonian and Yenshan-Himalayan periods resulted in a reservoir zone (200m thick) below erosion surface with dolomite as the principal reservoir rocks.