

文章编号:1000-0550(2001)03-0405-05

济阳坳陷阳信—花沟—平南地区 CO₂ 气藏的储层和盖层

程有义

(胜利油田东胜精攻石油开发集团有限公司 山东东营 257000)

摘要 济阳坳陷是渤海湾盆地的一个次级构造单元,其中部阳信—花沟—平南地区是主要的二氧化碳(CO₂)气藏产出区。该地区 CO₂ 气藏的储层主要有下古生界海相碳酸盐岩、下第三系湖相碳酸盐岩和三角洲相砂岩,以及上第三系河流相砂岩。下古生界碳酸盐岩储层分布于其北部潜山带,储集空间以构造裂缝和溶蚀孔隙为主。下第三系湖相碳酸盐岩储层分布于平方王地区的沙四和沙一段。下第三系三角洲相砂岩储层主要发育于高青—平南、林樊家和阳信等地的沙河街组。上第三系河流相砂岩储层分布十分广泛,但总体来讲,其北部地层砂泥比(50%~70%)较高,砂岩单层厚度(20~40 m)大,孔隙度大,渗透率高;而南部地层砂泥比小,砂岩单层厚度薄,孔隙度小,渗透率低。研究区 CO₂ 气藏的盖层以泥质岩类为主,致密砾岩次之。它们均为有效盖层。沙三段、沙一段、馆陶组上部至明化镇组下部泥质岩集中段是 CO₂ 气藏最重要的三大区域盖层。沙四段致密砾岩盖层主要分布于八里泊残丘潜山的顶部,构成潜山圈闭的盖层,其渗透性很低。与烃类甲烷气藏相比,两者的储层类型基本相同,但对于盖层而言,由于 CO₂ 气分子半径较烃类甲烷气分子半径大,因而 CO₂ 气藏对盖层的要求比烃类甲烷气藏低。

关键词 储层 盖层 CO₂ 气藏 济阳坳陷

作者简介 程有义 男 1964 年出生 高级工程师 石油地质和沉积学

中图分类号 TE122.2 **文献标识码** A

1 地质背景

济阳坳陷是在古生代克拉通背景上经历了中、新生代演化形成的一个次级构造单元,其中部阳信—花沟—平南地区是最具资源意义的二氧化碳(CO₂)气藏产出区(图1)。

济阳坳陷地层发育与沉积特点具有渤海湾盆地之共性,即在太古界花岗片麻岩、片岩等区域变质岩褶皱基底上,发育下古生界海相碳酸盐岩沉积、中上石炭统与二叠系海陆交互相煤系地层、中下侏罗统陆相含煤碎屑岩系以及上侏罗统、白垩系和新生界裂谷旋回火山—碎屑岩建造。

济阳坳陷阳信—花沟—平南地区 CO₂ 气藏分布区一般具备以下条件:一是气藏以下或本身有碳酸盐岩分布;二是地史时期有多期火山活动或岩浆侵入;三是 CO₂ 气藏均分布在深切基岩的大断裂带附近。研究表明该区 CO₂ 气藏主要是幔源—岩石化学成因混气^{①②},与戴金星研究结果相同^[1-3]。

2 CO₂ 气藏的储层与盖层

2.1 储层

根据已发现的 CO₂ 气藏分布特点来看,研究区储层主要有古生界、下第三系和上第三系,就岩性而言,有碳酸盐岩和碎屑岩两类。

2.1.1 下古生界碳酸盐岩储层

济阳坳陷阳信—花沟—平南地区下古生界碳酸盐岩储层主要分布于其北部缓坡区及潜山带,分布范围约 2 500 km²,碳酸盐岩残余厚度 0~1 000 m。八里泊潜山与平南潜山奥陶系碳酸盐岩储层中均获工业 CO₂ 气流,平方王潜山寒武系碳酸盐岩油层伴生气也见 CO₂ 显示(滨 78 井寒武系油层伴生气 CO₂ 含量约 67%)。

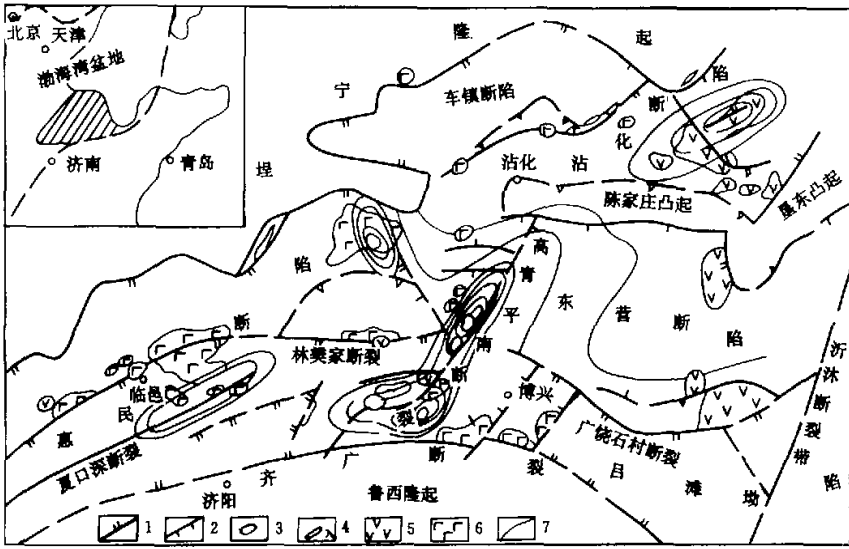
据滨古 11 井奥陶系 2 232.07~2 455.7m 井段 16 次 63.67 m 取心的岩心观察与薄片分析,下古生界碳酸盐岩储集空间以构造裂缝和溶蚀孔隙为主。

受加里东运动的影响,华北地区下古生界碳酸盐

① 程有义,王和平等. 济阳坳陷中浅层天然气成藏条件及勘探目标研究. “八五”国家重点科技攻关项目成果(编号:85-102-08-06-01). 胜利石油管理局地质科学研究院. 1994. 1~49

② 刘兴材,徐寿根等. 胜利油气区非烃类气(二氧化碳和氮)成因、成藏规律,勘探开发技术及综合利用. “八五”国家重点科技攻关项目成果(编号:85-925a-08). 胜利石油管理局. 1996. 20~62

收稿日期:2000-09-25 收修改稿日期:2001-01-05



1. 断裂; 2. 基底断裂; 3. CO₂ 气藏; 4. 中生代侵入岩; 5. 喷出岩; 6. 碱性玄武岩; 7. 铷同位素 R/Ra 等值线

图 1 济阳坳陷阳信—花沟—平南地区构造与 CO₂ 气藏位置^[1]

Fig. 1 Location of structures and CO₂ pools in Yangxing-Huagou-Pingnan area, Jiyang Depression

岩被抬升暴露时间长达 120~300 Ma, 形成广泛的岩溶发育带, 其垂向发育特征受控于岩溶地下水动力分带。潜山顶部岩溶最为发育, 易形成古风化带。奥陶系和寒武系内部也发育多个渗透带, 是碳酸盐岩沉积时多次抬升暴露的结果。岩溶作用改善了碳酸盐岩的储集性能。

2.1.2 下第三系湖相生物礁、滩碳酸盐岩储层

下第三系湖相生物礁、滩碳酸盐岩储层发育层位为沙四和沙一段, 白云岩化严重。沙四段生物礁、滩白云岩主要在平方王地区发育, 厚度较大, 获 CO₂ 显示。

2.1.3 下第三系水下扇、扇三角洲砂岩储层

早第三纪是济阳坳陷的断陷期, 地壳强烈下陷, 湖盆坡度大, 水体深, 沉积速率大, 大量陆源碎屑物质沿四周进入湖盆, 形成多个三角洲、扇三角洲和水下扇沉积体系。陡坡带最有利于水下扇和扇三角洲的发育, 其砂岩厚度大, 分布广。陡坡本身多是深断裂(CO₂ 气源断裂)发育部位, 无疑这些砂体是 CO₂ 气体的首选储集体。而缓坡区地层砂泥比低, 砂岩不甚发育, 且气源条件差, 不利于储集 CO₂ 气体。

研究区内水下扇和扇三角洲砂体的发育主要受高青—平南、阳信和林樊家三条基岩断裂控制, 它们往往多期发育, 相互叠置构成复式扇体和扇三角洲复合体(图 2)。

以高青复式扇三角洲为例, 其砂体分布面积达 1 200 km², 沙三沉积中期开始发育, 沙二沉积时期才

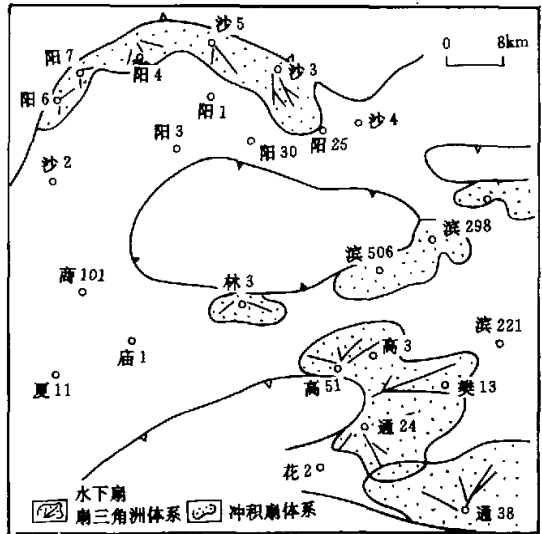


图 2 济阳坳陷阳信—花沟—平南地区下第三系沙河街组沙三段沉积体系

Fig. 2 Sedimentary systems of Shahejie Formation of Eogene, Yangxing-Huagou-Pingnan area, Jiyang Depression

结束, 沙三中砂岩累计厚度 20~150 m, 沙三上 50~400 m, 沙二段 20~50 m。岩性自凸起边缘由块状岩屑长石粗砂岩、中细砂岩、含砾砂岩、砾岩过渡为薄层粉细砂岩、泥质粉砂岩。

花 17 扇三角洲是高青复式扇三角洲的一个分支,花 17 井钻遇该扇三角洲侧翼砂嘴,砂岩厚度 44.5 m,平均孔隙度 11.5%,最大 18%,平均渗透率 $6.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大 $43.79 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

商店复式水下扇是研究区内发现 CO₂ 气体的另一个扇体,其发育期为沙四上—沙三沉积期,砂体分布面积约 300 km²。扇根部位位于北部陡坡沙 3 至沙 5 井一带,沙 5 井钻遇砾岩 463.5 m,沙 3 井 300.5 m,阳 25 井钻遇砂岩 95 m。据阳 26 井岩心分析砂岩粒径 0.1~0.25 mm,孔隙度 20~33%,渗透率 $83 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2.1.4 上第三系河流相砂岩储层

研究区上第三系河流相砂岩储层包括馆陶组(Ng)和明化镇组(Nm)砂岩。晚第三纪以来,盆地分割性消失,上第三系河流相砂岩分布十分广泛。总的来讲,研究区北部地层砂泥比较高,砂岩单层厚度大,物性好,向南地层砂泥比减小,砂岩单层厚度减薄,物性变差(图 3)。

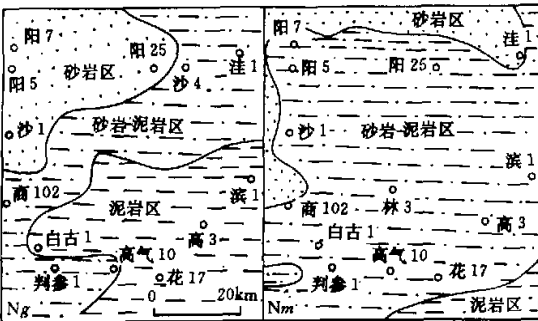


图 3 济阳坳陷阳信—花沟—平南地区上第三系馆陶组和明化镇组岩相分区

Fig. 3 Rock facies of Guantao Formation and Minghuazheng Formation of Neogene in Yangxing-Huagou-Pingnan area, Jiyang Depression

研究区北部阳信洼陷区馆陶组地层砂泥比 50%~70%,局部高达 80% 以上(阳 2 井),砂岩单层厚度一般为 20~40 m,最厚达 80 m(阳 30 井),累计厚度达 80~120 m。岩性为厚层块状粗砂岩、粉细砂岩、含砾砂岩和少量细砾岩。

中部林樊家至里则镇地区地层砂泥比 15%~50%,砂岩单层厚度一般 10 m 以上,累计厚度 30~80 m。岩性为中厚层粉细砂岩。据林樊家油田分析资料,该砂岩平均孔隙度 34%,最大 39.9%,平均渗透率 $1.038 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大 $3.875 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。该砂岩结构疏松,成熟度低。南部里则镇至花沟地区砂泥比一般在 15% 以下,砂岩单层厚度一般小于 5 m,累计厚度 5

~30 m。岩性为薄层粉细砂岩,泥质含量高。据花沟气藏高 53 井岩芯分析,该区砂岩平均孔隙度 27.4%,平均渗透率 $287 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,粒度中值 0.14 mm。馆陶组已探明 CO₂ 地质储量 $9.03 \times 10^8 \text{m}^3$,表现出良好的储集性能。

2.2 盖层

研究区内盖层以泥质岩类为主,其次是致密砾岩。非渗透性碳酸盐岩和火成岩可能构成潜在的非烃气盖层。

2.2.1 泥岩盖层

研究区泥质岩类盖层自古生界至上第三系均发育,石炭系、沙四上、沙三段、沙一段、上第三系下部是泥岩盖层集中发育的层段。从泥质岩的纯度、连续厚度和分布规模来看,沙三段、沙一段、馆陶组上部至明化镇组下部泥质岩集中层段是 CO₂ 气藏最重要的三大区域盖层^①。

上第三系盖层集中在明化镇组上部,林樊家以南地区较为发育。地层泥砂比一般大于 60%,南部花沟一带超过 90%。泥岩厚度北部一般 100~200 m,南部 200~400 m。该套盖层分布最广且发育稳定,面积约 3 000 km²,覆盖了全区的 3/4,其封盖性能自北向南变好(图 3)。

沙一段泥岩盖层除了林樊家和青城凸起外,其它地区均有分布,其分布范围仅次于上第三系。一般厚度 50~200 m,洼陷中心部位最厚,向盆地边缘方向变薄。泥砂比一般在 80% 以上。

沙三段发育多套泥质岩集中段,不同地区和构造部位泥质岩厚度和质量存在较大差异。盆地中心部位厚度较大,泥砂比较高,边缘部位则相反。从层位来看,沙三段上部优于沙三段中下部。沙三段分布面积比沙一段略小。

岩石微孔隙结构是控制泥岩盖层性能的微观因素,突破压力、中值半径、封盖饱和度和气柱高度等参数是衡量盖层优劣的有效标准。

研究区已发现的 CO₂ 气藏均为常压气藏,压力系数 0.92~1.05。如表 1 所示,研究区泥岩突破压力均大于气藏剩余压力,为有效盖层。以花沟西部高 53 块为例,馆陶组泥岩突破压力为 2.0~10.54 MPa,而气藏剩余压力一般低于 0.11~0.35 MPa,前者远大于后者,中值半径 3.8~8.59 nm,封盖饱和度 83%~93%,遮盖系数大于 100%,为一类盖层(表 1)。

① 郑和荣,李趁义. 阳信—花沟地区非烃气(二氧化碳)成藏模式、分布规律与勘探目标评价。“八五”国家重点科技攻关项目成果(编号:85-925a-01-03). 胜利石油管理局地质科学研究所,1995.1~70

表1 济阳拗陷阳信—花沟—平南地区
CO₂气藏盖层物理特性^①

Table 1 Physical characteristics of seals of
CO₂ pools in Yangxing-Huagou-Pingnan area, Jiyang Depression

盖层特性	花沟西部	平方王	平南
盖层位	N _g	E ₅₃	E ₅₁
产层位	N _g	E ₅₄	E ₅₁
突破压力 PA/MPa	2.0~10.54	0.69~3.07	1.17~11.4
剩余压力 Pt/MPa	0.11~0.35	0.02~0.90	1.73~3.32
中值半径 Rm/mm	3.8~8.59	7.29~46.6	2.8~7.1
盖层类型	I	I-II	I
封盖饱和度 S _g /%	83~93.5	58~91	87.9~96.5
盖层类型	I	I	I
气柱高度 H _{gas} /m	194~1 021	67~298	104~1 017
盖层系数 K _f /%	323~1 700	45.6~196	70.7~69
			157~180

2.2.2 致密砂砾岩盖层

致密砂砾岩盖层发育于沙四段,一般发育于角度不整合上覆地层的底部,以底砾岩的形式出现,目前在八里泊和平方王两个残丘潜山的顶部见到,构成潜山圈团的盖层。以八里泊潜山为例,阳5井钻遇厚度150 m,阳7井88 m的沙四段致密砂砾岩。虽无取心资料,但从电性看,其自然电位幅值接近基线,渗透性很差,封盖性能不亚于泥岩。其下方均发现CO₂气层。

2.2.3 非渗透性碳酸盐岩和火成岩盖层

由于大套的碳酸盐岩和玄武岩非均质性严重,裂缝发育带表现为渗透层,致密层段则可封堵气体,其本身可以构成有利的储盖组合。例如,八里泊下古生界碳酸盐岩气层呈层状分布,非渗透性碳酸盐岩段可构成直接盖层,阳信东部商店地区沙三段玄武岩厚度近千米,多口井(如阳16井)玄武岩裂缝中获低产油流,表明玄武岩既可储存流体,也可封堵流体。

3 与烃类甲烷气藏储盖层比较

3.1 关于储层

勘探开发实践表明,济阳拗陷烃类甲烷气藏储层类型十分丰富,既有碎屑岩、也有碳酸盐岩、还有火成岩和变质岩,并且储集性能也随气藏埋藏深度和发育位置存在较大差异。前述研究也表明,济阳拗陷CO₂气藏储层类型多,物性差别大。因此对于储层而言,两类气藏基本相似。

3.2 关于盖层

从济阳拗陷已发现的气藏来看,构成烃类甲烷气

藏盖层与CO₂气藏盖层并没有本质的不同,构成甲烷气藏的盖层亦可构成CO₂气藏盖层。如花沟气田分成东部烃类甲烷气藏,而西部则为CO₂气藏。两类气藏埋深均在800~1 150 m之间,盖层都是馆陶组上部到明化镇组下部河流泛滥平原亚相厚层泥岩。再如平方王气藏,其盖层均是下第三系沙三段泥岩和沙一段灰质泥岩(图4)。

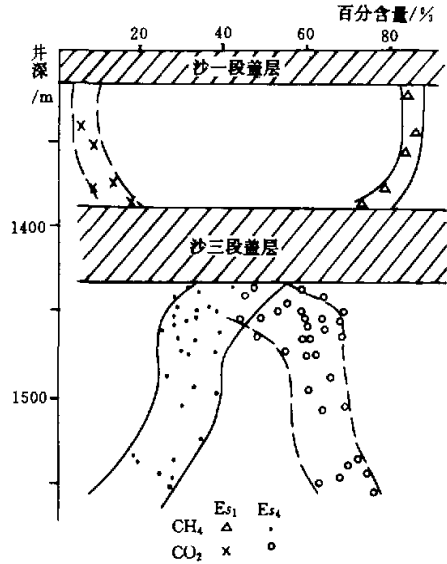


图4 两类不同天然气与盖层关系图

Fig. 4 Relationship of between seal and CO₂ gas and hydrogen-gas

由于两类气藏中的天然气化学成份不同,即分子半径不同,因而扩散作用的程度不同,从而对盖层条件要求必然存在差异。由图4可明显看出,沙三段盖层以上,沙一段盖层以下,甲烷含量远远大于CO₂气含量。主要原因在于与CO₂气相比,甲烷具有较小的分子结构,因而活动性较强,扩散较快,结果在沙三段盖层以上的气藏中,以甲烷占优势;而扩散较慢的CO₂气则大部分被沙三段盖层遮挡,并保留在原来的气藏中。

另外,在阳信地区阳2—阳5井CO₂气藏的盖层是沙四段砾岩。而济阳拗陷烃类气藏中则未发现有这类盖层,也说明两类气藏对盖层的要求有一定差异。

4 初步认识

济阳拗陷CO₂气藏储层类型多,既有下古生界海

① 朱岳年,李趁义. 阳信—花沟—平南地区二氧化碳气藏勘探目标研究. 石油大学油气资源与环境地质研究所、胜利石油管理局地质科学研究所. 1998. 1—35

相碳酸盐岩储层,又有下第三系湖相碳酸盐岩储层、水下扇和扇三角洲砂岩储层,还有上第三系河流相砂岩储层。烃类气藏的储层也有上述类型,从这个角度评价,两类气藏的储层没有太大差异。CO₂ 气藏盖层类型主要有下第三系湖相泥岩和上第三系河流泛滥平原亚相泥岩及致密砾岩层。对于盖层而言,做为烃类气藏的盖层可做为 CO₂ 气藏的盖层,但做为 CO₂ 气藏的盖层未必能做为烃类气藏的盖层。CO₂ 气由于其分子半径较大,扩散作用较慢,因而与烃类气藏相比,CO₂

气藏对盖层质量的要求相对要低。

参 考 文 献

- 1 戴金星,戚厚发,郝石生. 天然气地质学[M]. 北京:石油工业出版社,1991
- 2 程有义. 花17井二氧化碳气藏形成条件讨论[J]. 石油勘探与开发, 1993,20(4):9~14
- 3 戴金星,宋岩,戴春森等. 中国东部无机成因气及其气藏形成条件[M]. 北京:科学出版社,1995.1~200

Reservoirs and Seals of CO₂ Pools in Yangxing-Huagou-Pingnan Area, Jiyang Depression

CHENG You-yi

(Dongsheng Jiyang Petroleum Development Group Co. Ltd., Shengli Oil Field, Dongying, Shandong 257000)

Abstract

Jiyang Depression is one of the sub-basins in Bohaiwan basin. Carbon dioxide (CO₂) pools occur in Yangxing-Huagou-Pingnan area, the center of Jiyang Depression. Reservoirs of the CO₂ pools are the marine carbonate rocks in lower Palaeozoic Era, the lake carbonate rocks and delta sandstone in Eogene System, and the fluvial sandstone in Neogene System. The marine carbonate rock reservoirs are in the north of the area and the reservoir spaces are the structural and solution gaps. The lake carbonate rock reservoirs are in No.4 and 1 sections of Shahejie Formation in Pinfangwang area. The delta sandstone reservoirs, which total thickness are 100m~600m, porosity range from 11.5%~33% and permeability from $6.5 \times 10^{-3} \text{m}^2 \sim 83 \times 10^{-3} \text{m}^2$, are in Shahejie Formation in Gaoqing-Pingnan, Lingfanjia and Yangxing area, respectively. The fluvial sandstone reservoirs are widely distributed in Yangxing-Huagou-Pingnan area. In generally, the sand and mud ratios, porosity and permeability of the fluvial sandstone reservoirs in the north are higher than that in the south of the area. Seals of CO₂ pools in Yangxing-Huagou-Pingnan area are mudstone and compact conglomerate and they all are effective seals. The mudstone seals are mainly distributed in No.3 and 1 sections of Shahejie Formation in Eogene System and upper Guantao Formation and Minghuazheng Formation in Neogene System. The compact conglomerate seals, which permeability are very low, occur in No.4 section on the sub-mountain in Balibo of the north of Yangxing-Huagou-Pingnan area. Comparison of reservoir and seal between CO₂ pools and hydrogen gas pools, two kinds of pools are of similar reservoir. And CO₂ pools have poor quality seal.

Key words reservoir seal CO₂ pool Jiyang Depression