

川东石炭系*天然气富集因素

陈宗清

(四川石油地质勘探开发研究院)

川东石炭系的天然气勘探已经四年,除早期连续发现了相国寺等四个气田和一个含气构造外,近两年来勘探成效不大。为探求油气富集规律,谨写此文,以期对勘探能有所裨益。

一、孔隙发育,有较好的储气空间

川东石炭系主要为一套潮间—潮上带的白云岩、角砾白云岩夹石灰岩沉积。白云岩以粉晶结构为主,晶间孔较发育,并常见藻间孔、粒(砾)间孔、粒(砾)内孔、生物铸模孔、膏盐铸模孔、鸟眼孔、溶缝、压溶缝、构造缝等多种不同类型的孔缝。更重要的是,沉积时地处潮间和潮上带,沉积物间有暴露,后来又长期上升为陆,遭到严重侵蚀,形成大量溶孔,致使川东石炭系成为以孔为主,以缝为辅,既有储集空间,又有连通通道的较好储集层,而以中段(福成寨段, C_2^2) 最佳。

图1系据已钻各井取得的2000余个岩心物性资料,编绘的川东石炭系有效孔隙率及其厚度变化图。它表明,除重庆—涪陵一线以南储集条件差外,以北都较好,孔隙率大于2%的厚度一般皆在10米以上,最厚可达30余米;且孔隙率大于2%的厚度加权平均孔隙率,在残存区中,北部大部分地区内皆在4%以上,最高可达9%。因此,除东、南缘仅残存下段(官店口段, C_2^1) 的井外,储集条件普遍较好,故影响川东石炭系天然气富集因素主要不在于储集条件。

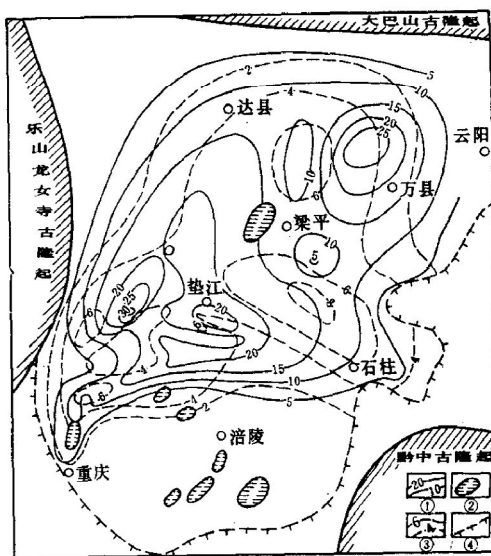


图1 川东地区石炭系有效孔隙率及其厚度变化图

- ① 孔隙率大于2%的等厚线(米); ② 侵蚀窗;
- ③ 孔隙率大于2%的厚度加权平均等孔隙率线(%); ④ 残存边界

二、气的富集不全受制于古构造,且高、低、潜三种类型的背斜构造均见气田

川东石炭系的古构造对气的富集确实有一定的控制作用^[1],如相国寺气田长期处于

* 川东石炭系缺失下统和上统,仅有中统黄龙组

古构造的隆起部位。然而, 张家场与卧龙河背斜均居于古构造的低处, 也已成为川东石炭系的主要气田; 川鄂边境的建南背斜古构造部位亦低, 也已多井产气。说明古构造并不是控制川东石炭系天然气聚集的唯一因素, 还有其它条件。

现有气田中, 既有高陡背斜(相国寺), 也有低缓背斜(福成寨、卧龙河及建南)和潜伏背斜(张家场), 表明不论其高陡、低缓或潜伏, 在适当条件下俱可形成气田。可是, 在其它更多的高、低、潜背斜上却未钻获天然气, 其原因何在? 这就是本文下面将要着力探讨的问题。

三、早期地壳活动频繁、断层发育, 对油气的运移与聚集起着重要控制作用

本区中石炭统黄龙组沉积后, 曾经历过多次地壳活动, 今择主要者分述如下:

1. 昆明运动 表现在本区缺失上石炭统, 中石炭统黄龙组直接与下二叠统梁山组接触, 其接触关系虽为假整合, 然其侵蚀幅度较大, 钻探证实不仅梁山组可与黄龙组不同层位接触, 并常见黄龙组缺失, 即使是地处残存中心的梁向1井也缺失(图2、4)。这固然与古地貌和古构造有关, 然亦可能受断裂活动的影响。从图2可看出, 残厚走向线主要为北东向, 与西部华蓥山断层和川东地区今构造线近于平行。开江古隆起此时可能已开始活动, 且其西侧等厚线密集并呈北东向延伸, 显示出有断层存在的迹象, 该带即大天池—明月峡背斜带, 正在遵义—松坎大断层向北东延伸线上, 因此推测昆明运动时该断裂在本区可能已有活动。华蓥山断层在早古生代处于西侧的乐山—龙女寺古隆起区上升、东侧下降的枢纽带上; 而在印支期则处于东侧的开江—泸州古隆起区上升、西侧下降的枢纽带上。因而, 推测该断层在昆明运动时可能就有活动。东部, 大池干井背斜池a、b、c三井相距很近(图4), 前两者位于断层上盘, 黄龙组残厚薄, 池a井紧邻断层, 缺失上段(川东段, C_2^3), 池b井虽有上段, 但厚仅0.8米; 池c井居断层下盘, 残厚则显著增加, 上段厚达17米, 这可能是由于早期断层所致。

2. 东吴运动 表现在上、下二叠统之间呈假整合接触, 茅口组顶部层位常有缺失; 雷2、邓1及梁向1井二叠系乐平统底部均见有玄武岩或辉绿岩, 其中以梁向1井最厚(35米), 雷9井并有火山碎屑。表明本区已非单纯的升降运动, 已伴随有深大断裂的活动, 致使岩浆喷溢。这种深大断裂可能有二: 其一, 即华蓥山断裂, 在华蓥山东侧的邻水一带, 于二叠系乐平统底部见有玄武岩, 故认为该断裂此时已经存在。其二, 即与

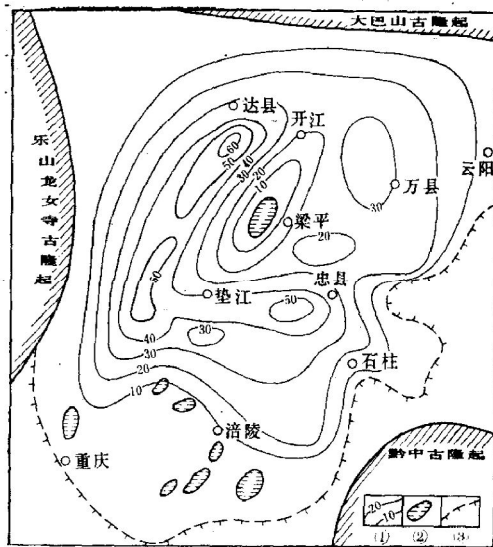


图2 川东地区石炭系残存厚度变化图

① 等厚线(米); ② 侵蚀窗; ③ 残存边界

梁向1和邓1井的侵入体有关的断裂。可见,东吴期本区是不乏断裂的。

3. 印支运动 是开江古隆起的定型期,雷口坡组在该隆起上仅残存雷一、二段(Tr_{1+2}),表明隆起幅度较高,侵蚀程度较强。虽然总的看来以上隆起为主,但也可能伴有褶皱和断裂。由图3可见,香一段(Tx_1)等厚线走向与川东今构造线走向基本吻合,西部呈北东走向的背斜带和北部呈北东东走向的背斜与香一段等厚线也近于全相叠合。而且这些高陡背斜和背斜带的轴部香一段常常缺失,如七里峡—凉水井背斜带、大天池—明月峡背斜带,以及铁山、梓里场等背斜;或轴部香一段厚度显著减薄,如铜锣峡与温泉井背斜;而于它们的两翼香一段则迅即增厚。这显然不是简单的偶合,它反映了二者之间的内在联系,即印支期川东并非是一单纯的上升运动,还伴随有褶皱,局部构造于本期已具雏形。其次,川东地区的背斜,断层发育,常呈扇形地垒,但断层很少断达香溪群,绝大多数皆消失于三叠系雷口坡组及其以下地层,这种上、下地层断层发育的殊异,若认为是一次受力而成是很难解释的,这也说明在产生褶皱的同时,还可能伴随有断层。从香溪群等厚图可见,印支期末黄泥堂背斜东翼即有断层发生。

4. 燕山(或喜山)运动 是川东今构造的最后定型期,是在前述几期运动的基础上继续发展、加强而成,其断褶规模都远远超过了上述几期。

由上,不难看出川东地区石炭系沉积后,断裂是很发育的,其总的趋势是以北东走向的逆断层为主,把整个川东地区切割成若干北东向条形窄块,这就为油气的运聚造成了复杂局面,特别是早期形成的大断裂,限制了油气不能作大规模的横向运移,只能在一定的连通范围内遇圈闭而择高聚集。同时,由于构造变动频繁,如果新生和继承性的断裂打破了早期运聚的平衡,则油气又将再次发生运移而聚集到新的圈闭高处,使油气的运聚更加复杂化。实则,这即是川东石炭系油气运聚的特点,也是导致其古、今构造高、低都有气的主要原因之一^[1]。

由于石炭系的气源主要来自下伏志留系,其大量生气时期是在晚侏罗世沙溪庙期及其以后,因此气的运聚,亦主要在该期及其以后,或川东构造主要形成期燕山(或喜山)期以后^[1]。如是,则可明显地见到,由于断层的分割所造成的气的运聚与分配局面,古构造已严重失去其控制作用。对一个背斜而言,其所捕聚的气只能是其周邻由志留系直接垂向运移上来的气,如其断层越少,其气的充满程度则可能越高,这就是为什么卧龙河、张家场及建南气田气的充满程度都很高的重要原因。相反,如背斜断层越

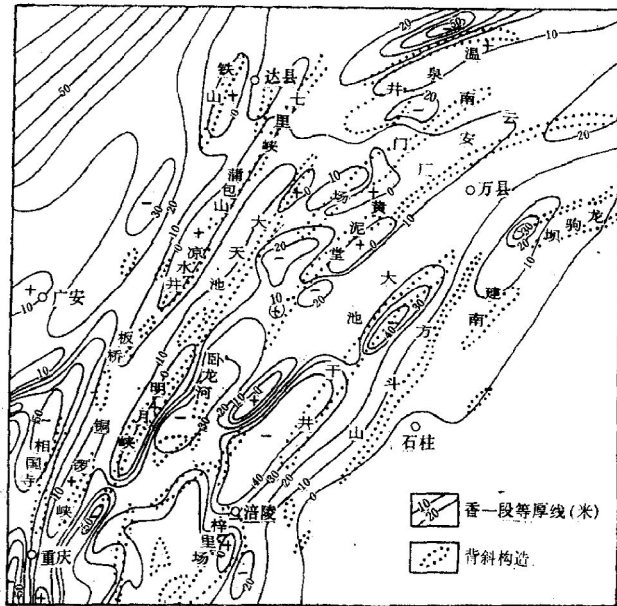


图3 川东地区上三叠统香溪群香一段厚度变化与局部构造发展关系图

多,则分割越剧,特别是高陡背斜,即使再大,其捕聚志留系向上运移的气的范围,也只能是在其两翼断层所夹持的以轴线附近为主体的狭长地带。但相国寺式高陡背斜比较特殊,其气的富集主要是长期处于华蓥山东侧古鼻状突起之高处,大量捕聚了志留系早期生成的气的结果。

那些在宽向斜中心的完整或断层少的背斜,因其区域构造部位低,只能控制其影响范围内由下面垂向运移上来的气,故气量也不一定最丰富。

气富集的最理想部位,应是宽向斜两翼上翘而为高陡背斜侧翼扇形逆冲断层遮挡所形成的各类圈闭,包括背斜、断层、残丘以及地层圈闭等,因其紧邻宽向斜,构造部位又相对较高,其控制油气运聚的范围宽广,只要圈闭完好,应是气富集最有利的地区。张家场气田气产量较高,看来即与此有关,虽其所处古构造部位一直很低,但它位于罗成寨大向斜东翼上翘部位,东侧为断层所圈闭,其所控制的气源范围显然较宽,故气相对较丰。

四、关键在于圈闭与保存条件

川东地区石炭系截至目前为止,探井总成功率为47.1%,钻探构造和地区成功率为33.3%。除石炭系是否缺失目前尚无法完全预测外,成功的井有两条,一是在构造圈闭以内,二是盖层保存好,轴部出露最老地层在雷口坡组以上。虽然含气背斜上都有断层,有的断层还相当发育,但因未严重破坏盖层,故气藏仍然得以保存。不过,有与没有断层,断层少与多,仍然是有区别的。如将相国寺气田的压力统一折算到海拔-2000米,则发现北段(断裂发育)压力低(相18井304公斤/平方厘米);南段(可能为残丘,断裂少)压力高(相22井413公斤/平方厘米),显然,前者的气有散失,后者才更接近其原始状况。有人认为保存条件的好坏,应以雷口坡组石膏层的多寡、厚薄来确定。但从相国寺的情况来看,这也未必,该气田轴部所钻的井大部分都缺失雷口坡组,显然石膏早已不存,何起保存之理?因此只要轴部未出露雷口坡组以下地层,都能起到较好的保存作用。

已钻干井主要位于中石炭统残存区南部和东部边缘,大多仅存下段(C_2^1),厚度薄,物性差。水井则未钻在圈闭内和轴部已出露嘉陵江组或飞仙关组,保存条件差。其中,虽然有部分井打的是断层下盘,但多数断层下盘并未形成圈闭,如板1、池C及蒲1井,而且断层重叠,有的已穿达地表,故也见水。梁1井(图4)所在的断层下盘虽已形成圈闭,但黄①号断层破坏甚剧,井下二叠系茅口组至三叠系飞仙关组连续出现六次断层重复,断距达1936米,在主高点竟达2400米,远远超过了逆冲上来可作为遮挡层的志留系的厚度,显然未起到封闭作用,故也导致钻探失误。实践证明,钻前搞清地腹构造情况是十分重要的。

然而,川东石炭系所有水井都产盐水,表明虽然断裂发育,盖层也遭到一定程度的破坏,但主要对气起了散失作用,而尚未造成地表水渗入地腹淡化储层等严重恶果,水文条件仍然是较好的。

因此,川东石炭系天然气勘探,圈闭与保存条件应视为首要条件,故应给予足够的

重视；储层则是次要的。至于地腹有无石炭系，那是另一方面的问题了。

五、进一步勘探的方向和有利地区

综上所述，川东石炭系的进一步勘探，除应继续钻探已获的圈闭与保存完好的背斜构造（包括高陡背斜）外，应着力在宽向斜内寻找各种不同类型的圈闭，特别是向斜两翼上翘部位，并为高陡背斜侧翼大型逆冲断层所遮挡或影响而形成的各类圈闭，这些地区正如前述是控制志留系上移来的气的最有利地区，其出露地层常常较新，只要能形成圈闭，一般都是有希望的。但问题却在于有关断层能否起到真正的遮挡作用，这就必须对每条断层都作具体而认真的分析，因为如果断层两盘储盖层配置不好，已断开盖层，或有局部开敞（储层未被另一盘盖层严密封堵），均可导致气藏的破坏。

因此，当前川东石炭系的勘探应加速地震详查，宜着重查明各高陡背斜带之间的宽向斜，如石柱、忠县、万县、拔山寺、梁平、罗成寨、大竹等向斜的地腹构造情况。寻找并查明圈闭，最好能作出全区石炭系（或二叠系阳新统）顶面连片构造图。对各类圈闭都必须详细研究其有关断层，着重研究其断层性质、沿断线岩层破碎程度、两盘储盖层配置关系，以及断层组合特点和相互切割情况，必要时并进行地震追踪，然后择优钻探。

基于前述，笔者对川东已有的地震资料进行了一些研究，着重在背斜侧翼逆冲断层下盘寻找圈闭，发现确实存在着一些有利的圈闭。兹举二例以说明之（图4）：

1. 池西断闭（指断层圈闭，下同） 位于大池干井背斜西

翼③号断层与大山坪地区①号断层下盘。笔者在研究万县向斜地震连片测量资料时，发现池③逆断层与大①逆断层很可能为一条断层（图4、5），其断层性质、走向、断开层位、断距、海拔高程、两侧地层与构造情况都很相似，甚至地震反射资料质量也相似。如是，则在大池干井背斜之西可能形成一大型断闭，称池西断闭，其走向与大池干井背斜近于平行，北东段特宽，南西段极狭窄，形如鳄鱼，长约90余公里，宽约10公里，闭合

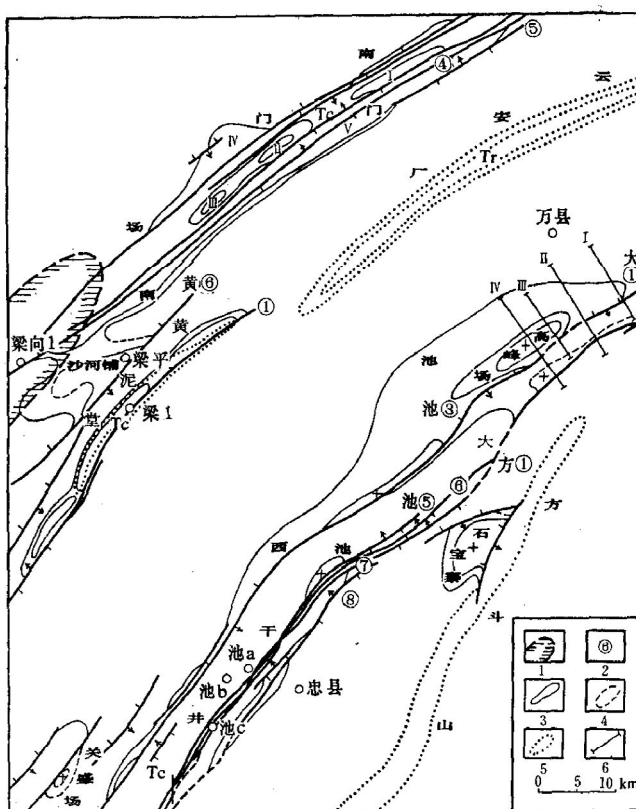


图4 川东池西及门南断闭二叠系阳新统顶界构造圈闭图

1. 侵蚀窗； 2. 断层编号； 3. 圈闭线； 4. 断层
下盘圈闭线； 5. 非地震圈闭线； 6. 地震测线

差1000米, 闭合面积约400平方公里。具三个高点, 次高点即高峰场潜伏高。整个圈闭内仅南西段近端部有一条与池③断层平行的逆断层, 对圈闭无大影响。至于主断层池③—大①断层两盘储盖层的配置关系, 总的来说是好的, 其断距北东段一般皆在600米以下, 唯南西段在万顺场以西最大断距可达800—900米, 显得太大, 但逆断上来可作遮挡的盖层志留系厚度, 据地震资料计算皆在1000米以上, 正好盖而不露。因此, 池西断闭巨大而圈闭良好, 聚气的范围宽广, 是油气富集十分有利的场所。唯池③与大①断层是否相连, 尚需请地震工作的同志再进行研究, 或补作工作确定。

同时, 整个池西断闭出露地层都很新, 无疑二、三叠系目的层的保存条件也好, 显然它对勘探上覆的二、三叠系气藏也具有十分重要的意义。

2. 门南断闭 位于南门场背斜南翼④号逆断层下盘, 呈长条形紧随④号断层分布, 走向与南门场背斜一致, 长70余公里, 宽约2公里, 闭合差1000米, 闭合面积约90平方公里。南邻梁平宽向斜, 具捕聚志留系上移气的良好条件。除主断层④外, 北东段尚有一条平行逆断层⑤, 断距不大, 并作为圈闭边界而存在。主断层④两盘储盖层的配置关系稍差, 其断距一般约200—500米, 唯局部可达940米, 略为超过了该处志留系900米的厚度, 是其不利因素; 但川东志留系有向斜薄、背斜厚的特点, 它们往往相差很大, 地震计算的厚度是以向斜正常相位为基础计算的, 因此也许可能会因褶皱增厚而遮挡住, 故总的说来还是比较好的。值得一提的是, 南门场背斜北翼的巫山坎断鼻(图4之IV), 虽然圈闭很好, 捕聚气位置理想, 也有一定面积, 评价较高, 准备上钻, 但其遮挡断层①两盘储盖层的配置关系比门南还差, 其断距常常大于1000米, 因此, 与其先探巫山坎断鼻, 不如先钻门南断闭。

在研究门南断闭时, 还发现其西南端向南, 越过一低鞍即与黄泥堂背斜西翼⑥号断层下盘的沙河铺断鼻相接, 再研究其侧向相邻构造则发现, 如以海拔-4300米的构造等

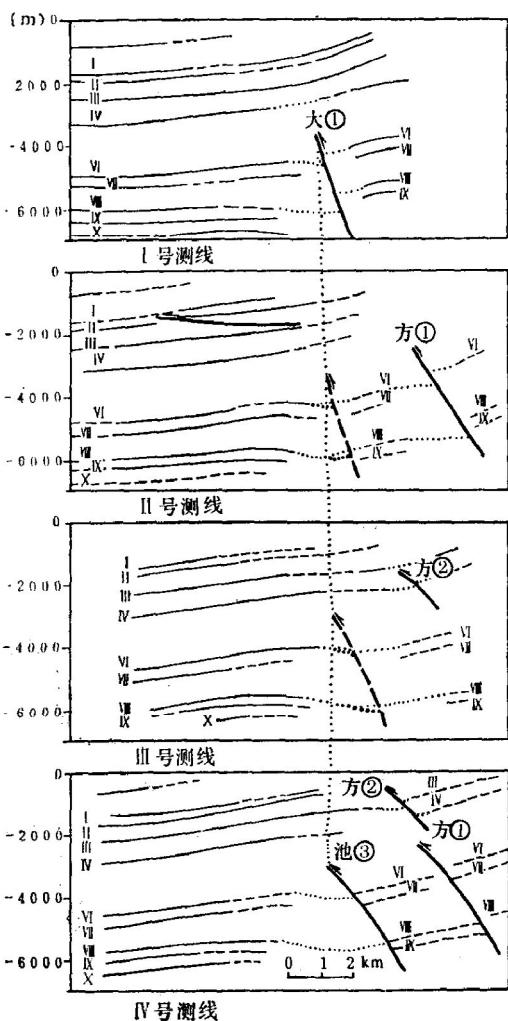


图5 大池干井③号断层与大山坪①号断层对比图

(据吴忠友、罗富美, 1978, 编辑、略改)

池③—大池干井背斜③号断层;

大①—大山坪地区①号断层;

方①—方斗山地区①号断层;

方②—方斗山地区②号断层。

I—自流井群珍珠冲组顶; II—香溪群顶;

III—三叠系雷口坡组顶; IV—三叠系嘉陵江

组T₁C₄³顶; V—二叠系阳新统顶;

VI—二叠系阳新统底; VII—中奥陶统顶;

IX—寒武系顶; X—下寒武统九老洞组顶

高线相连,则沙河铺断鼻两侧的-4300米构造等高线两端都可闭合在断层线上,而使门南断闭与沙河铺断鼻形成一完整的圈闭整体,可称“门沙断闭”,其闭合总面积近200平方公里。但需重视的是:(1)梁向1井紧邻其西,沙河铺以西与其相邻地带可能缺失石炭系,或可能形成地层圈闭;(2)形成沙河铺断鼻的黄⑥号断层,在沙河铺断鼻上断距最大达1100米,比较多地超出了该处志留系的厚度,能否起到封闭作用,值得进一步研究;(3)门南断闭构造部位远较沙河铺断鼻为高,气的富集条件也远较后者为好。因此,门南断闭优于沙河铺断鼻。

其它,如卧龙河背斜①号断层下盘的“卧西断鼻”,双龙与黄草峡背斜之间的“邻封断闭”,铁山背斜东翼断层下盘的“铁东断闭”,以及邓家坝背斜南翼的“邓南断闭”等,这些断闭都处于捕聚气的有利地带,出露地层新,有一定的闭合差和闭合面积,遮挡断层两盘储盖层的配置关系也好,是油气富集的有利场所,亦应给予足够重视。从新近在相东断鼻上钻获石炭系气藏来看,证实在川东石炭系寻找断层圈闭的气藏是很有前途的。

本文主要目的,在于试探川东石炭系进一步勘探的方向,指出有利的地区,对于那些明显的、已为人们瞩目和重视的构造和地区,这里就不一一评述了。

总之,川东石炭系的天然气勘探是有潜力的,前途宽广,但其富集规律尚待实践中探索和证实。除应选择有利构造和地区钻探外,更应加强地震详查和构造的研究,以找出更多更好的各式各样的有利于油气富集的圈闭来。问题在于我们必须做艰苦细致的工作,在实践中认真总结经验,广开思路,探寻规律。

本文参考了四川石油管理局地质调查处、川东矿区、川东北矿区、江汉石油管理局建南气矿、地质矿产部第一石油普查指挥部的有关资料,深表谢意。

(收稿日期 1982年3月22日)

参 考 文 献

- [1] 陈宗清, 1982, 川东石炭系气藏形成条件. 石油学报, 第1期.

ENRICHING FACTORS OF NATURAL GAS IN CARBONIFEROUS SYSTEM OF EAST SICHUAN

Chen Zongqing

(Sichuan Institute of Petroleum Exploration and Development)

Abstract

Carboniferous system of east Sichuan are dominantly a suit of intertidal-supratidal dolomites, breccia dolomites intercalated with limestones. They had locally developed into porous zones due to pre-Permian erosion. In recent years,

several gas fields were found there, but failures often appeared in exploration. The author suggests that the key point of gas enrichment depend upon reserve and trap conditions, the frequent movements of the earth crust and the abundant rifts there played an important role in controlling the migration and accumulation of gas. It is believed that various traps formed at two sides of wide synclines which are interrupted by upthrow faults of related high anticlines are the most potential parts for gas enrichment, and Chixi and Mennan fault-traps are favourable ones.

中原油田加快勘探开发

综合《人民日报》、《地质报》和中央电视台消息：今年3月，国务院决定加快勘探和开发中原油田。为此，有关方面已从全国各地集中近百台钻机、四万多名工程技术人员、工人和干部，投入紧张的夺油会战，并已取得初步成效。

中原油田是我国第六个五年计划期间投资建设的93个重大建设项目之一，它包括豫北、豫东和鲁西南的濮阳、长垣、东明等12个县，面积5300平方公里，远景勘探面积21000平方公里。它在大地上构造上属华北坳陷区的东明断陷。断陷呈一长条状，北北东向延伸，东西两侧分别为两条基底断裂所限制，成为地堑式断陷盆地；东邻鲁西隆起，西邻内黄隆起，北连莘县凹陷，南有一凸起与中牟凹陷相隔。这个断陷是中生代末燕山运动期形成，新生代沉积最厚达9000米，其中下第三系沙河街组厚达7000米，是主要的生储油层系。断陷东深西浅，中央为一隆起带，并有断层切割，形成六个次一级的构造单元。已知的油气聚集部位都与基岩隆起有关。油藏埋深通常在3000米以上。

早在五十年代，地质部的普查队就在这里开展工作；1975年，石油工业部的一支钻井队在这里打出了第一口高产天然气井；之后，这两个部的普查勘探队伍一直在这里并肩战斗，做了大量工作。1979和1980年，文留中部油田和濮城油田先后投入开发。至去年年底，全区已探明的石油地质储量达2.5亿吨，天然气储量近250亿立方米；去年原油产量达215万吨，今年在完成大规模基建任务的同时，将生产原油300万吨，天然气3亿立方米。

初步勘探结果表明，这个油田除有丰富的石油外，还有大量的伴生气和干气。文留构造的干气，一般认为是来自深部的石炭、二叠系煤系地层，气体通过断层向上运移到下第三系沙河街组的砂岩中聚集而成气藏。这就表明，今后不但还能继续找到这类“古生新储”的气藏，而且也能找到“古生古储”的气藏，中原油田将会成为我国东部地区的第一个天然气生产基地。

油田勘探将分两步走：1985年以前是第一步，先重点勘探黄河以北初步控制含油、气范围的400平方公里地区；1990年以前再勘探其它地区，届时可望形成相当规模的油气生产能力。