

川西致密含气砂岩 钻井完井地层损害控制战略 *

康毅力 * * 罗平亚 (中国工程院院士) 焦 棣 孟英峰
(西南石油学院“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室)
刘映金 徐 进 何仿元
(中国新星石油公司西南石油局)

康毅力等. 川西致密含气砂岩钻井完井地层损害控制战略. 天然气工业, 1999; 19(4): 46~50

摘 要 储层特征和损害机理研究表明, 先天不足和极大的损害潜力在川西裂缝性致密砂岩气藏中得到集中体现。经过十几年不懈探索, 川西致密气层保护与改造技术获得重大突破, 基本形成过平衡水基工作液体系的配套工艺技术系列。实践进一步明确了致密气地层损害控制的三个原则: ①气层保护与气层改造并举; ②气层保护以裂缝为重点, 兼顾基块; ③以效益为中心, 实现三个有利于。为适应川西致密气藏立体勘探开发形势, 提出要逐步形成适合于不同压力系统、不同井眼轨迹、不同流体体系的配套技术系列。指出现阶段要在完善过平衡水基工作液体系基础上, 发展“火攻气层”技术, 与现行过平衡水基体系相结合。气体类工作流体及配套工艺技术将成为下一世纪致密气开发的主导技术, 应不失时机地做好技术储备。强调必须用非常规的地质和工程技术思路, 解决非常规致密砂岩气藏中的关键问题。

主题词 四川盆地 致密砂岩 气藏 裂缝 钻井 完井 地层损害

四川盆地致密砂岩气研究历史悠久, 70 年代发现并开发了中坝须二气藏, 以后在川西、川西北一直致力于寻找类似中坝的气藏, 并将勘探目标较多地局限于上三叠统须家河组, 虽也找到部分如九龙山、合兴场、平落坝等气藏, 但勘探理论上未有大的进展。80 年代中期, 原地质矿产部西南石油地质局在孝泉侏罗系红层取得新的发现, 勘探思路的转变促使新场气田发现^[1], 并随后带动洛带气田的突破。川西致密气藏赋存地质条件复杂, 存在许多具挑战性的世界级工程技术难题。

致密含气砂岩地层损害控制的 工程地质条件

四川盆地存在着海相碳酸盐岩和致密砂岩两大含气领域。在川西坳陷, 上三叠统至侏罗系为陆相碎屑岩沉积, 最厚达 6 000 m。从浅层白垩系至深层须家河组, 深度 300~5 500 m 井段内均有较活跃的天然气显示, 并对须二、须四段、千佛崖组、沙溪庙

组、遂宁组、蓬莱镇组气藏进行工业开发。

1. 多层、长含气层段, 砂层厚度和规模差异显著
浅层白垩系仅 250~300 m 即发现气层。蓬莱镇组共识别出厚度大于 5 m 的砂层 25 层, 厚度 5~25 m 不等, 划分为 4 套开发层系, 砂体多呈带状展布。遂宁组埋深 1 500~1 800 m, 发育几个砂层, 厚 6~10 m, 属大型曲流河的边滩沉积。沙溪庙组埋深 2 100~2 500 m, 发育 3~4 层三角洲相分支河道砂体, 单层厚 10~30 m, 累厚 40~60 m。千佛崖组气层储集体为底部的冲积扇前缘沉积砂砾岩, 厚 2~5 m, 连续性差。须家河组气层, 埋深 3 200~5 500 m, 须二、须四段砂层异常发育, 为叠置状河道砂坝、扇三角洲网状河道砂坝砂体, 单层砂体厚可达上百米, 横向可连续追踪。

2. 地层压力剖面为超高压异常, 呈现多个压力系统

川西坳陷碎屑岩沉积剖面具压力异常, 一般分为 4 个压力段: 正常压力段、升压过渡段、异常高压

* 本文系“九五”国家重点科技攻关项目 (96-110-03-04) 部分成果。

* * 康毅力, 1964 年生; 1986 年毕业于大庆石油学院, 1989 年在西南石油学院获石油地质与勘探专业硕士学位, 1998 年获石油工程博士学位, 主要研究方向为粘土矿物与油气层保护。地址: (637001) 四川省南充市。电话 (0817) 2603430 转 2934。

段和降压过渡段。浅层具正常压力(白垩系和 J_3p)。超压顶界在新场最浅,仅850 m左右。孝泉—合兴场为1 300~2 000 m,玉泉—丰谷为2 800~3 000 m。蓬莱镇组浅气层500~1 350 m井段处于由正常压力段至升压过渡段范围,实测压力梯度1.15~1.45 MPa/100 m。沙溪庙组A砂体压力梯度1.45 MPa/100 m,B砂体1.80 MPa/100 m,C砂岩体为1.90~2.05 MPa/100 m。千佛崖组达2.05 MPa/100 m。须五段压力梯度降至1.83 MPa/100 m,须二段仅1.58~1.61 MPa/100 m(合兴场、丰谷)。压力剖面总体表现为中部高,上、下部有减少的趋势,这给钻井作业带来严重困难。

3. 储层由浅部的近常规渐变为致密、超致密类型,基块毛细管压力急剧升高

蓬莱镇组岩性以粗粉砂岩和细砂岩为主,保留了较多的粒间孔;沙溪庙组粒间孔亦常见,但长石溶孔占相当大的比例;千佛崖组砾缘微缝、高岭石晶间孔是重要孔隙类型;须四、须二段长石溶孔呈孤立状,微缝、晶间孔常见。由浅到深压实作用和石英加大作用增强。

蓬莱镇组(J_3p_1)为常规储层,原地层渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔喉尺寸0.1~10 μm ,中值压力小于1.5 MPa。 J_3p_2 为近致密储层, $K = 0.1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,中值压力1.5~3.0 MPa。 J_3p_3 至须四段为致密—很致密储层,并有相当部分的超致密储层,中值压力5~30 MPa。须二段岩样甚至超过50 MPa。很高的毛细管压力使进入储层的液体反排困难,一定程度上限制了水基工作液的使用,或必须采取相应措施防止液相侵入。

4. 裂缝发育具明显的非均质性

在研究区钻井、取心、薄片观察、物性测定、压汞分析、测井和地层测试中都揭示了天然裂缝存在的客观性。从裂缝产状大致可分为三种类型:①以水平缝为主,代表层位是蓬莱镇组和沙溪庙组,岩心呈饼状,缝密度25~40条/m;②以斜缝—高角度缝为主,须二段为代表,缝密度较低,0.75~3条/m;③网状裂缝为主,出现在须四段砾岩和千佛崖组底部砂砾岩,岩心破碎程度高,裂缝密度166条/m(CX164井)。裂缝发育程度在同一层不同井中差异明显,例如上沙溪庙组CX164井裂缝密度仅2.7条/m。多种方法求出的地下裂缝宽度平均值分布范围是5~35 μm ,最大缝宽一般低于100 μm 。裂缝提供了 J_3p_3 以下层位的主要渗透性。裂缝和异常高压的结合,是产生井喷、井漏的地质基础。

5. 粘土矿物控制储层主要敏感性

分析表明,粘土矿物含量浅层平均7.1%,须二段仅3.7%。粘土类型蓬莱镇组有高岭石、绿泥石、伊利石、伊/蒙间层、绿/蒙间层和蒙皂石。沙溪庙组仅少数样品存在绿/蒙间层。千佛崖组—须二段以伊利石、绿泥石、伊/蒙间层为主。从浅到深粘土微结构的稳定性逐渐增加,其敏感性亦逐渐减弱。敏感性评价实验结果指出,储层碱敏性、水敏性、酸敏感性较强,速敏和盐敏为弱—中等程度。

6. 储层具强烈的应力敏感性

这是裂缝性致密储层的特有性质。基块孔喉是扁平片状,天然裂缝亦以微缝(5~35 μm)为主。实验证实,近井壁处有效应力的增加或降低将导致渗透率的大幅度变化,从而导致钻井复杂性事件发生的机会增大。

裂缝性致密含气砂岩储层损害机理

裂缝性致密砂岩储层的工程地质特点决定了其损害机理不同于常规储层。裂缝和基块是储层岩石介质的两个组成部分,两者既有区别,又相互联系,尤其体现在地层损害过程中。损害机理研究是制定有针对性的保护气层方案的科学依据。

1. 液相圈闭

外来液相的侵入会极大地降低气相渗透率,致密砂岩毛细管压力高,侵入的液相需相当大的压力梯度才能被驱动。若将喉道半径 $r \leq 0.075 \mu\text{m}$ 孔喉内的水排驱,所需压降 $\Delta p \geq 10 \text{ MPa}$ 。滤液沿裂缝的侵入使缝壁两侧水饱和度升高,从而导致基块向裂缝供气受阻,最终使天然裂缝失去作用。液相侵入在钻井、完井、压裂、酸化作业中使用水基、油基工作液时都不可避免,只是侵入量的多少问题。

川西气藏都含有少量的凝析油,若井底流压低于露点压力,在气藏中呈气相的凝析油组分将在井筒附近以液相形式浓集,最终形成油相圈闭。

地质研究指出,川西侏罗系气源主要为上三叠统,气藏形成时间介于燕山—喜山期,随着盆地抬升、剥蚀,源岩变冷逐渐停止生气,所形成的气藏亦表现为散失量超过聚集量,这种过程一直持续至今,所以目前气层的含水饱和度(S_{wi})应低于不可动水饱和度(S_{wir}),即气层处于饥渴状态。由于气层是水润湿的,一旦与水接触,就将快速自吸,即使在负压钻进时也不可避免。

2. 固相侵入

一般认为固相颗粒侵入对于致密储层的损害程

度弱于中—高渗层,但是当裂缝发育时则情况并不那么简单。当钻井完井液中的固相粒子与基块孔喉不匹配时,固相可以侵入基块,这主要发生在常规储层中。当固相粒子与地下裂缝宽度分布不匹配时,固相及液相在正压差作用下长驱直入,不仅将裂缝堵塞,而且裂缝壁两侧还可形成类似井壁处的内、外泥饼。固相颗粒堵塞裂缝后,裂缝在应力作用下的闭合规律也将发生变化。

在模拟地下裂缝宽度时,实验揭示,钻井液中人工钠土的损害严重,而重晶石和钛铁矿等加重剂损害程度中等。固相侵入在钻井、射孔、压井、酸化、压裂过程中都存在。固相侵入主要损害天然裂缝。

3. 粘土矿物引起的损害

致密砂岩表现为先天不足(物性差,流动阻力大)和极大的地层损害潜力,粘土矿物是最重要的内伤害源^[2]。对于基块而言,粘土矿物的膨胀、运移对渗透率将产生致命的损害。而对于裂缝,由于地下裂缝宽度恰与粘土粒径处于同一量级,因此储层具强烈的水敏、碱敏、酸敏性,速敏和盐敏略弱,这已得到实验的证实。故气井作业中使用粘土稳定剂十分必要。

4. 化学剂吸附

致密砂岩孔喉细小,一些长链聚合物吸附在孔喉壁面,会严重降低基块孔喉的有效尺寸。对稳定常规砂岩粘土十分有效的有机阳离子聚合物,分子直径可达 $1\ \mu\text{m}$ 以上,若进入致密储层,将对渗透率造成致命的损害。

5. 应力敏感性损害

储层损害地质模型分析指出,井筒与裂缝连通,而与裂缝连接的喉道也是细长的喉道,当气层高速开采或发生井喷时,井底附近压差很大,有效应力增加将使微裂缝和细小狭长喉道趋于闭合,大大降低裂缝的导流能力,使产量经过一段高产期不久,或大喷后迅速递减。泥岩粘土矿物 XRD 分析显示,粘土具较强的水化膨胀能力,当淡水泥浆侵入泥岩裂缝时,将产生膨胀应力,对邻层砂岩有推挤作用,已知地下裂缝孔隙度小于 0.1% ,即只要有 0.1% 的净体积增加就可以使裂缝闭合。

其它类型的损害,如置换性漏失、岩面釉化、结垢仅在特定作业中表现显著。欠平衡泥浆钻井、固井可出现置换性漏失,结垢在生产中较明显。综上所述,对研究区储层基块渗透率有较大影响的损害方式为碱敏、水敏、酸敏、高分子处理剂损害和液相圈闭,次为盐敏和速敏,应力敏感、结垢和固相侵入

较弱;对裂缝损害的主要途径为固相侵入、应力敏感、碱敏、水敏、速敏和酸敏,次为无机垢和高分子处理剂损害,水锁和盐敏微弱。

川西致密砂岩气层保护技术探索历程

川西致密砂岩气藏的勘探开发取得重要突破,其中气层保护与改造技术的作用功不可没。“七五”期间开展保护气层工作使人们认识到钻井过程中造成的损害,实现近平衡钻井、缩小压差和浸泡时间,降低泥浆滤失量成为关注的焦点。钻井技术和泥浆工艺的进步,使地层损害得到一定程度的控制,并出现表皮系数 $S < 0$ 的井,但多数井损害依然存在。室内实验也证实,现用钻井液体系对储层有中等—强程度的损害,损害主要来自液相、处理剂和人工钠土。

完井方式的选择经历了曲折的过程。须二气藏和沙溪庙组气藏都有一定数量的衬管完成(裸眼)井。裸眼完井对及时发现气藏、缩短泥浆浸泡时间、防止固井水泥浆损害有利,但也暴露出某些致命的弱点,如川合 100 井的水淹,难于进行压裂改造等弊端。在浅层蓬莱镇组气藏开发初期,相当部分的井采用衬管完成。但应用实践表明,在通用的水基泥浆体系钻井作业前提下,裸眼完成并不是最好的完井方式,目前几乎所有的井都选择了射孔完成^[3]。

气层改造技术已取得长足进展,技术手段包括酸化、压裂和鱼雷径向聚能爆轰。但实践表明,若气井损害严重,仅靠改造措施难以达到预期效果。例如 CF125 井钻进 T_3x^4 底部发生后效井涌、井喷,压井时漏失密度 $2.43\ \text{g/cm}^3$ 、 $\text{pH}11.0$ 的泥浆 $457.5\ \text{m}^3$,后对该井 $3\ 825\sim 3\ 910.5\ \text{m}$ 段解堵酸化,间歇放喷,洗井助喷,最终产气 $200\ \text{m}^3/\text{d}$,水 $0.9\ \text{m}^3/\text{d}$ 。该井还会运用鱼雷径向爆轰技术。 T_3x^2 $4\ 388\sim 4\ 351\ \text{m}$ 段 YD73 弹油管传输射孔后,油、套压低,进行两次酸化,产天然气仅 $79\ \text{m}^3/\text{d}$ 。径向鱼雷聚能爆轰,天然气产能无明显变化。取心证实该段岩心破碎,裂缝发育。钻进泥浆密度 $1.90\sim 2.10\ \text{g/cm}^3$,而地层压力梯度仅为 $1.61\ \text{MPa}/100\ \text{m}$ 。

水力加砂压裂在浅层蓬莱镇组(常规—近致密储层)效果显著,85 井/层统计,压前单井产能 $0.40\times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$,压后增至 $6.68\times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$,平均增产 16 倍以上。而在中深层沙溪庙组的压裂技术正处于完善试验阶段。

近期在新场上沙溪庙组气藏进行了屏蔽式暂堵技术试验和水力加砂压裂。CX164 井射孔完井,压

前产能(无阻流量)近 $6\,000\text{ m}^3/\text{d}$,压后产能增至 $78\,415\text{ m}^3/\text{d}$ 。该井裂缝发育程度相对较差,远不及 CX129、CX132、CX133、CX136、CX160 等井,自然产能仅居中等水平,但压裂改造后产能跃为第一位,成为该气藏日输气量最高的井(超过 $3 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)。

历史回顾表明,川西致密砂岩气层保护与改造技术仍处于探索、试验阶段,要形成配套技术系列还需付出艰苦的努力。实践经验也给我们启示,即钻井完井中必须予以裂缝性致密砂岩气藏有效的保护。只有将损害带(半径、程度)控制在最小范围,增产措施才能取得预期效果。

钻井完井地层损害控制战略

对于致密气层钻井完井过程中的保护,国内外都曾做过研究。如加拿大和美国曾对负压—正常压力气藏使用油基泥浆、充气泥浆、空气、泡沫钻井液,以尽量实现与地层压力的近平衡。国内“七五”攻关以及川西地区的钻井实践也都以实现近平衡作为减少损害的重要措施。但是,由于川西复杂的地质条件,近平衡还仍然是个“理想”,在现有技术条件下难于实现。文献调研表明,国外欠平衡钻井主要针对正常压力或低于正常压力的地层剖面。对于异常高压的裂缝性气层,欠平衡钻井要求先进而昂贵的地面装备,且承担着井喷的巨大风险,欠平衡钻井对于须家河组这样埋藏很深的气层,实例仍不多见。在致密气层开发早、中期,美国对钻井过程中的气层保护并未像增产措施那样重视。一般认为致密气层自然产能很低,不采取增产措施很难达到经济开发产量。所以有效的增产措施是开发致密砂岩气的关键技术之一。国内外也的确朝着改进增产技术方面做了极大的努力,并取得一定的效果,但总的看来效果并不尽如人意,这主要决定于致密气层固有的特点,即先天不足和很大的地层损害潜力。

众所周知,随着常规储层物性变差,储层变致密的过程中岩石的脆性也相应增加,裂缝的作用越来越重要。在川西地区,成岩作用、构造作用和超压流体使侏罗系、上三叠统不同程度地发育裂缝,裂缝在油气运移和成藏中发挥了关键作用,是成藏的必要条件。充分地利用和保护天然裂缝是致密气藏开发的重要研究课题,也将成为致密气成功开发的必要条件。因此,在现阶段形成一套认识天然裂缝地下状态,并有效保护天然裂缝的综合技术,是充分解放致密气层生产力的必由之路。

在川西致密碎屑岩天然气勘探开发中,从浅层

至深层均存在着较活跃的气显示。录井和取心分析、测井和测试过程中都证实了天然裂缝在某些部位的优势分布,并造就了部分高产油气井,如揭开合兴场须二段的 CH100 井;新场构造沙溪庙组的 CX129 井,无阻流量近 $8 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$;钻遇千佛崖组的 CX135 井和 X806 井,分获无阻流量 $7 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 和 $41 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的工业气流。浅层蓬莱镇组的 CX113—浅井、CX153 井在井深 700 m 左右分别获得 $1 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 和 $6 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 工业气流;CX133—2 井、X77 井(与 CX806 井同井场)于井深 1 000 m 左右获得 $3 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 和 $11 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 工业气流^[4]。事实说明,若钻遇裂缝发育带,且钻井完井条件较有利时就能获得高产油气井。

川西地区的增产技术,特别是加砂压裂技术已在浅层蓬莱组见到明显的效果。然而对于沙溪庙组、须家河组这样的非常规气层,压裂技术仍有待取得新的突破。所以基于研究区天然裂缝比较发育这一基本事实,应用已在孔隙性油层保护中成效显著的屏蔽式暂堵技术思路,研究地下裂缝参数变化规律,建立适用于裂缝性储层特点的技术方案就成为很自然的事情,CX164 井正是按这套思路进行的。

对于裂缝性致密砂岩气层,宜遵循的技术原则是:①气层保护与气层改造并举;②气层保护以裂缝重点,兼顾基块;③以效益为中心,实现三个“有利于”(有利于及时发现气层,有利于准确评价气层,有利于高效开发气层)。

为顺应川西致密砂岩天然气立体勘探开发的形势,应逐步形成适合不同压力系统、不同井眼轨迹、不同流体体系的配套技术系列。技术环节之间保证相容性好,符合系统工程的需要,满足上述三原则。CX164 井 J_2s 气藏执行的技术路径为异常高压—垂直井—过平衡水基屏蔽式暂堵泥浆—固井、射孔(负压)—清水洗井(欠平衡)—水基压裂液加砂压裂。CX133 井则为异常高压—垂直井—近—微过平衡—裸眼(衬管)完成—清水洗井—盐酸酸化。

现阶段利用垂直井、过平衡钻井、射孔完成与水力加砂压裂已取得突破,并应继续完善。而近平衡钻井,由于地面装备不配套,尚不能完全实现。从长远来看,过平衡、欠平衡是主流。在过平衡中间歇近平衡,在欠平衡中间歇近平衡。过平衡中的间歇近平衡有利于及时发现。欠平衡中的间歇近平衡有利于测井、测试、换钻头等行业进行。

我们的祖先很早就认识到,并一直传递下来的一条简单而又朴素的道理就是“水火不相容”。储层

四川油气田高效侧钻的技术途径

石仲华 *

(四川石油管理局钻井处)

王俊良

(四川石油管理局钻采工艺研究院)

石仲华等. 四川油气田高效侧钻的技术途径. 天然气工业, 1999; 19(4): 50~52

摘 要 文章全面系统的分析、总结, 提出了一整套避免侧钻失败的工艺技术措施, 即提高四川油气田侧钻成功率的技术途径, 主要内容包括: 根据井径曲线、原井眼井斜情况、地层岩性、井下地层流体压力情况等因数优选侧钻点和设计侧钻井眼轨迹, 根据不同地质条件优选弯接头、钻头和侧钻方法, 合理地设计水泥塞长度和保证水泥塞强度, 正确定向, 合理控制钻时, 优选侧钻参数, 保持良好的钻井液性能, 合理使用钻头, 准确判断钻头使用寿命及侧钻后控制井眼轨迹使新旧井眼保持适当距离等技术措施, 以确保侧钻成功。在工艺和装备上, 继续加强套管井侧钻科研攻关, 配套完善套管井侧钻工艺技术。

主题词 四川 油气田 侧钻 地质特征 钻具组合 钻头 技术

侧钻技术在石油钻井工程中应用广泛, 常用于处理钻井工程事故, 绕过落鱼障碍钻达目标及修井作业等。近年来, 国内外许多油公司把这项技术应用于干井(落空套管井或枯竭井)回填侧钻, 重新钻达有利的油气区, 重新完井开发挖潜增产, 效果显著。“八五”期间侧钻技术在四川油气田得到了比较广泛的应用, 据不完全统计, 钻成了各类侧钻井约 60 余口, 共获气 $1\,026.61 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 获油 $11 \text{ t}/\text{d}$, 年增收金额(技术效益) 5.61 亿元, 获得了巨大的经济效益和社会效益。实践证明: 侧钻技术在四川油气田具

有十分广阔的应用前景。但是, 由于四川油气田幅员辽阔, 油气田本身的地质情况复杂等客观原因和各钻井公司定向井专业技术力量分散且交流少的客观原因, 制约了一些成熟、有效的经验推广应用, 造成在一些区域的个别井侧钻施工失败或在一些区域侧钻成功率不高的情况, 给钻井工程带来了一定的经济损失, 因此, 探索提高钻井速度、降低侧钻井综合成本的高效侧钻的技术途径很有必要, 这对于提高侧钻成功率, 进而提高四川油气田勘探开发的综合经济效益, 增储上产具有十分重要的意义。

特点和损害机理研究明确指出, 致密气层最忌讳“水”。如何火攻气层, 即用火来消除侵入的水, 消除储层的水敏性, 消除含水敏性组分(如滤饼)的损害将成为今后的重要技术发展方向。在目前水基工作液为主体的时代(且未来相当长时间仍将以水基工作液为主导), 发展、应用“火”的技术, 使之与现有技术配套实施具有重大的现实意义。热力采油中的技术可以引入致密气的开发中, 如热干惰性气体注入、井下电加热等。

综上所述, 川西致密气层在许多方面表现出显著的不同于常规油气层之处。川西致密气层的开发和寻找更大规模的储量, 都呼唤着有针对性的与致密气层特点相适应的配套气层保护技术系列。勘探开发非常规气藏, 必须突破常规思维, 强调非常规的

地质和工程技术思路, 采用非常规的技术解决非常规的问题。

参 考 文 献

- 1 郭正吾. 四川盆地西部浅层致密砂岩天然气勘探模式. 天然气工业, 1997; 17(3): 5~9
- 2 康毅力, 罗平亚, 高约友. 储层伤害源一定义、作用机理和描述体系. 西南石油学院学报, 1997; 19(3): 8~13
- 3 秦晓庆, 刘正朝. 川西蓬莱镇组浅层气藏油气层保护技术探讨. 天然气工业, 1997; 17(3): 43~48
- 4 符晓, 邓少云. 川西新场气田中、浅层气藏特征及立体勘探开发的技术思路. 天然气工业, 1997; 17(3): 14~19

(收稿日期 1999 - 02 - 03 编辑 钟水清)

* 石仲华, 作者简介见本刊 1997 年第 17 卷第 2 期。地址: (610051) 成都市府青路一段 3 号。电话: (028) 6011755。