

◆钻井与完井◆

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2010.04.015

# 新926-2井沙溪庙组气层射孔完井后突发井喷原因分析

张仕强<sup>1</sup> 吴月先<sup>2</sup> 张杰<sup>3</sup> 陈怀高<sup>2</sup> 钟水清<sup>3,4</sup> 李闻<sup>3</sup>

(1. 中国石化西南油气分公司, 四川德阳 618000; 2. 中国石油川庆钻探工程公司, 四川成都 610051; 3. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(西南石油大学), 四川成都 610050; 4. 中国石油西南油气田分公司, 四川成都 610051)

**摘要:**气井射孔完井后,仍有突发井喷出现,值得引起高度重视。针对新926-2井沙溪庙组气层射孔完井后突发性井喷的问题,剖析了新场气田沙溪庙组复杂气藏的地质特征,介绍了新926-2井井喷及压井的概况。分析了井喷原因:气藏高压是动力,较大产气量是物质基础,I类储层是气源,裂缝是气的高导流通道,井喷推迟由堵塞引起的,未观察到溢流、失去防范时机,油管高速流使井喷来势猛烈。得到的启示是:注重裂缝储层预测,提高钻井水平,改进完井技术,完善压井后期的处理措施。

**关键词:**复杂油气藏;气井;射孔;完井;地质特征;井喷

中图分类号:TE28 文献标识码:A 文章编号:1001-0890(2010)04-0059-04

## Analysis of Well Xin926-2 Blowout after Perforation Completion

Zhang Shiqiang<sup>1</sup> Wu Yuexian<sup>2</sup> Zhang Jie<sup>3</sup> Chen Huaigao<sup>2</sup> Zhong Shuiqing<sup>3,4</sup> Li Min<sup>3</sup>

(1. Southwest Oilfield Branch Company, Sinopec, Deyang, Sichuan, 618000, China; 2. Chuanqing Drilling & Exploration Company, CNPC, Chengdu, Sichuan, 610051, China; 3. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610050, China; 4. Southwest Oil and Gas Field Company, PetroChina, Chengdu, Sichuan, 610051, China)

**Abstract:** The occurrence of gas well blowout after perforation completion is worthy of high attention. According to the blowout in Well Xin926-2 after perforation completion, the geological information of Shaximiao was analyzed, and the blowout and measures used in this well were presented. The analysis shows that high pressure reservoir is the reason; high gas rate is the basis; type I zone is the gas resource; fracture is the flow path; and the delay of blowout is caused by form plug. The chance of preventing blowout was lost due to not observing overflow. The lessons learned from this are that we should focus on prediction of fractured reservoir, improve drilling and completion techniques, and complete measures after well killing. This discussion is beneficial.

**Key words:** complex reservoir; gas well; perforation; well completion; geologic feature; blowout

新926-2井是新场气田沙溪庙组气藏中的一口新钻开发井,储层结构为裂缝-孔隙型,高导流裂缝发育,气层高压异常。该井在射孔完井后出现井喷险情,经过现场施工人员的努力,在较短时间内压井成功,避免了重大经济损失。笔者针对这一事件,在分析气藏地质特征的基础上,探讨了完井井喷发生的原因,提出了一些技术性启示,以利于气藏钻采水平的提高。

收稿日期:2009-09-14;改回日期:2010-06-14

基金项目:中国石化集团公司“川东北先导试验”项目(编号:GCQ-07-ZS-0017)和“十一五”国家科技支撑计划项目(编号:2006BAB03B07)资助

作者简介:张仕强(1971—),男,四川平昌人,1994年毕业于西南石油学院石油工程专业,1997年获西南石油学院油气井工程专业硕士学位,高级工程师,主要从事天然气开发生产管理和研究工作。

联系方式:(0838)2401825,zh\_sq@tom.com

## 1 气藏地质特征

新场构造位于川西坳陷中段,是一个向东倾没的鼻状背斜,西邻孝泉背斜,东连青岗咀、合兴场南北向构造,总体呈西高东低,南陡北缓的对称分布<sup>[1]</sup>。新场构造内共发育有7条逆断层,断层规模差别很大,其中有一条大逆断层分布在构造的东部(长14 km,宽2 km),与一条小逆断层构成南北弧形断裂带;另有5条小逆断层分布在构造的中部,构成另一条南北弧形断裂带。背斜构造和逆断层促使地层内天然裂缝发育,多为构造缝和微缝,也有局部发育的高导流缝存在。沙溪庙组地层为三角洲相和湖缘相交替沉积形成,砂体为水下三角洲平原分流河道沉积、三角洲前缘和前三角洲沉积,砂体呈透镜状分布。其中,上沙溪庙组气藏由上到下有4个主力气层( $J_{S_2^1}$ 、 $J_{S_2^2}$ 、 $J_{S_2^3}$ 和 $J_{S_2^4}$ 层),各气层地质特征有所差异。

$J_{S_2^1}$ 气层是近两年的开发重点,该气层有两个沉积厚度较大的区域(中心位于川孝134井区和川孝136井区),因而也可划分为两个连通透镜状砂体。由9口井的统计地质资料分析可知,A段地层埋深为2 139.0~2 250.5 m,地层厚度为15.5~25.0 m,岩性为细—中砂岩。砂岩胶结物中的黏土含量为5%~10%,有中偏强水敏特性。有效储层厚度为12~18 m,平均厚度为15.5 m。其中Ⅰ类和Ⅱ类储层的厚度为5~9 m,平均厚度为6.75 m,自然产能主要由Ⅰ类储层提供。

沙溪庙组储集层结构有孔隙型和裂缝-孔隙型。不同类型的储集层结构,其导流能力有很大的区别,裂缝及其发育程度是决定自然产能大小的重要因素。裂缝与孔隙的搭配关系越好,气井的产出能力越强,其稳定性也越好。例如川孝136井,尽管Ⅰ类储层也较发育,而自然产能无阻流量仅有 $1.20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;而川孝129井的自然产能无阻流量却高达 $7.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

沙溪庙组气藏性质综合评价:短轴背斜,透镜状砂体具有有限边界,气藏圈闭受构造、断层、岩性和裂缝等的综合影响。储集层为薄层状,与非储层构成薄互层,纵向上和横向上的非均质性严重。致密岩块具有中孔、低渗和含水饱和度高的特征。气藏为含自由水凝析气藏,自由水和凝析油的产量都很少,自由水总矿化度仅有18.95 g/L,气藏内无统一的气水界面。气藏中温(58~76 °C),压力系数大于1.5。气藏高压、低产,供给能力弱,气井开采中地层压力和产

气量的下降幅度都很大,稳产的技术难度很大。

## 2 新926-2井井喷概况及起因

### 2.1 井喷过程

新926-2井位于四川省德阳市旌阳区德新镇文泉村,是一口以 $J_{S_2^1}$ 气层为主要产层的开发井。2009年4月4日开钻,2009年5月7日完钻(井深2 840 m)。2009年5月19日射孔完井,射开沙溪庙组气层。在下压裂管柱作业过程中,井口突然发生井喷险情,井下发出巨大响声,气柱高度超过10 m,井口压力一度维持在30 MPa左右。由于井口失控,只能暂时用数支水枪集中喷水,对井喷气柱进行稀释处理。6 h后,抢装四通将井喷气流导入四通管汇进行分流减压。然后抢接井口放喷管线,约2 h后成功实施点火放喷,使井喷险情得到了有效控制。井喷得到控制10 h后,在地面压井管汇试压合格后进行了压井作业,1.5 h内共泵80 m<sup>3</sup>注压井液入井,井口放喷火焰熄灭,压井取得成功,确保了气井安全。

### 2.2 井喷原因探讨

#### 2.2.1 井喷的地质基础

新926-2井是新场气田沙溪庙组气藏发现的具有较大产气量的气井,从客观的地质条件分析:Ⅰ类储集层是气源,大于0.025 μm的孔喉占60%以上,具有自然产出能力;高导裂缝发育,是获得较高产气量的主要通道;裂缝-孔隙型储层结构是气井连续产出的重要条件。据放喷火焰较均匀的火焰柱高度估计,气井的自然产能约为 $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。气井井喷时的井口压力一度维持在30 MPa左右,这与沙溪庙组气藏高压异常的性质相符,若井筒内无积液,井口压力估计可大于40 MPa。

#### 2.2.2 堵塞推迟井喷

新926-2井射孔完井后数小时才出现井喷,显得有些迟缓,原因在于井壁附近储集层有较为严重的堵塞。该井沙溪庙组气藏储集层采用了低密度钻井液欠平衡钻井技术揭开,储集层堵塞由钻井液滤液浸泡引起,中偏强水敏是形成的内因,还有滤液侵入引起的水锁效应。对于低渗孔隙型储层,钻井堵塞局限于井壁附近,但渗流通道可能完全被堵塞。天然裂缝发育的储层,堵塞是非均匀的,而堵塞的范围则较大。固井和完井造成的堵塞,更加重了地层

的堵塞程度。中国石油渝东地区的池 30 井石炭系裂缝-孔隙型云岩储集层,钻井中测试的表皮系数为 25.29,自然产能损失 76%;固井完井后的表皮系数增至 35.14,自然产能损失增至 82%(自然产气量损失  $91.55 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )。新场气田沙溪庙组气藏,射孔完井时储集层堵塞也很严重,表皮系数高达 9,自然产能损失幅度很大。射孔完井后,井壁附近裂缝-孔隙型储集层的滤饼较厚,在向外挤压差的作用下,有一个破裂的过程,这是新 926-2 井在射孔后并未立即发生井喷的原因,也是许多高产井自行解堵的原因。

### 2.2.3 未及时发现溢流

新 926-2 井井喷出现似乎很突然,但应该与未及时观察到溢流有直接关系。形成井喷都有一个从流体进入井筒到井口外溢,再到井喷的过程。即便时间很短,这个过程也是存在的<sup>[2]</sup>。起出洗井管柱,井筒内的液面就要下降。起出射孔枪和电缆时,如果不补充压井液,井口无法观察到前期轻度溢流。下带封隔器压裂管柱的过程,也是井筒液面自然上升的过程,如果再不向井筒中补充压井液,就会存在潜在的井喷风险。即使此阶段向井筒内补充压井液至井口,如果不定时停止下管柱观察井口溢流,将潜在着更大的风险。到底是井喷前的溢流,还是下入管柱占有体积的液体被排出,势必造成很大程度的模糊性。由于压井液较长时间的浸泡,加之快速下管柱,接油管后又小幅度上提,如此多次重复进行,其搅拌振荡的作用,会加速孔眼附近堵塞滤饼的破裂,会使地层内挤入井底的堵塞物稠度降低,利于气窜。新 926-2 井喷前未观察到溢流,实际上井筒内的液面早已在缓慢上升了。该井之所以发生井喷很大程度上与观察方法不恰当有关。

### 2.2.4 油管通道形成高速气流

新 926-2 井下入的压裂管柱为形成井喷高速气流创造了条件。井下管柱中,封隔器本体与套管间的间隙很小,其环形过水断面较油管小且易于被地层内前期吐出的杂物局部堵塞,而进入井筒内的气体易于进入油管;油管的过水断面较环空小,进而形成高速气流,携水喷出井口,不仅井喷突然,来势也很猛。

## 3 重要启示

川西新场气田的新 851 井和川东北清溪气田的

清溪 1 井,都在完井后出现过恶性失控井喷,以至于在压井一封井后,重钻接替井,再现了高产气井的本来面目<sup>[3-4]</sup>。新场气田新 926-2 井沙溪庙组气藏裂缝发育,射孔完井后发生突发性井喷,再次展示出新场气田立体勘探开发的潜力较大<sup>[5]</sup>,也由此得到了有益的启示,应引起广泛重视。

### 3.1 注重裂缝性储集层预测

新井试气工程设计,要尽可能广泛地收集多专业施工作业的信息,进行综合地质分析,对裂缝性储集层进行科学预测<sup>[6]</sup>,提高工程措施的针对性。钻井岩心裂缝描述和录井显示、电测曲线中裂缝特征和发育的部位是进行试气工程设计时的重要地质信息依据,尤其要让试气作业队心中有数,细致地做好各个施工环节,及时准确获得井喷前的溢流信息。

### 3.2 提高钻井技术水平

新场气田沙溪庙组气藏有很明显的复杂性,特别是裂缝-孔隙型储集层区域,可实施欠平衡钻井,试用低密度油基钻井液钻开产层,避免水敏效应损害储集层。为增加钻遇裂缝的概率,要尝试钻水平井。尤其是要用岩心物性分析评价垂向渗透率和水平渗透率,因这是设计水平井的重要依据。国内水平井技术体系较为完善<sup>[7-8]</sup>,提供了更多的选择余地。为尽可能缩短水平段钻井液浸泡时间,可采用气体钻井及“干井固井”等有效的工艺技术,这些在川渝地区均有成功范例。

### 3.3 改进完井技术

裂缝-孔隙型储集层区域的气井,除采用射孔完井方式完井,也可尝试采用其他完井方式完井。射孔完井对储集层有一定的损害,特别是中偏强水敏储集层就更是如此。除前面所举中国石油渝东池 30 井的井例外,新场气田沙溪庙组储集层射孔完井后的表皮系数皆为正值,产气量很少;即使是裂缝-孔隙型储集层,射孔完井后的堵塞也较严重,新 803 井射孔完井后的表皮系数甚至于高达 9,自然产出能力难以有效发挥,采取解堵措施不仅技术难度大,也会增加开发成本,效果还难以达到理想程度,裂缝部位的非均匀堵塞范围较大,就更是如此。因而射孔前大排量冲洗必须彻底。常规射孔,井筒内压井液的下部可用稀酸,射孔后具有处理孔眼附近堵塞的作用,必要时(尤其是裂缝发育储集层)可短时间气举排液诱喷。尝试采用液氮加压超正压射孔,增大

射孔穿透深度。同时采用多功能管柱,不仅可以实现油管传输射孔的目的,还可采用联作实施相关的增产措施。前期入井的液氮在实施增产措施时,起降滤失作用,而措施后又起助排作用,在很大程度降低储集层二次损害。裂缝-孔隙型储集层射孔后,产气量较大时,一般应转入试采,以发挥其自行解除残余堵塞的能力,并控制生产压差防止发生速敏<sup>[9-12]</sup>。

### 3.4 对新 926-2 井后期处理的建议

新 926-2 井的突发性失控井喷的全过程表明:该井Ⅰ类储集层较发育,地层内的高导流裂缝也较发育,裂缝与孔隙搭配的供给能力强。因而储集层受到一定程度的堵塞时,在产出过程中有自行解除部分堵塞的能力,地层内的高压就是良好推动力。新 926-2 井压井成功后,应尽快创造条件进行气举诱喷,以降低钻井液浸泡对储集层的损害,最大限度地发挥裂缝-孔隙型储集层的自然产出能力。中国石油渝东池 30 井的经验值得借鉴:该井射孔完井后,更换钻井液压井(创造条件下采气管柱),替喷后的表皮系数增加 16.77,自然产能损失增加 10%,采取大型酸化措施,才彻底解除全部堵塞(表皮系数降至 -1.469),气井自然产能高达  $111.65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。新 926-2 井替钻井液诱喷成功后,如果仍有较大的产气量,便可直接转入试采,否则进行乳化酸解堵作业,再转入试采。求取气藏动态分析地质资料时,最好在气井自行解除残余堵塞以后进行。

## 4 结 论

1) 新 926-2 井发生突发性井喷,关键在于未观察到井口溢流,这与不具备观察条件有很大的

关系。

2) 新 926-2 井射孔后发生突发性井喷,为沙溪庙组气藏发现一口较大产量气井提供了依据,展示了这一地区勘探开发的较大潜力,也为调整裂缝-孔隙型储集层区域勘探开发部署提供了有益启示。

致谢:在本文的前期工作及写作过程中,许期聪、张尧两位同志做了部分工作,在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] 蔡左花,匡建超,曾剑毅,等.新场气田沙溪庙组气藏单井产能预测[J].钻采工艺,2009,32(3):34-37.
- [2] 王忠生,林安村.重温事故吸取教训提高井控技术水平[J].钻采工艺,2009,32(3):1-4.
- [3] 吴月先,钟水清.川渝地区不同条件下钻接替井的工程技术及实例分析[J].中外能源,2009,14(5):68-71.
- [4] 钟水清,徐进,甘升平,等.已封固发现天然气井重钻接替井的配套技术研究[J].钻采工艺,2009,32(3):20-22,37.
- [5] 吴月先,钟水清,潘用平,等.四川盆地天然气“立体勘探”新进展[J].岩性油气藏,2009,21(1):128-132.
- [6] 张虹.3D3C 技术在川西裂缝性储层预测中的应用[J].天然气勘探与开发,2008,31(4):13-16.
- [7] 吴月先.中国陆上油气水平井技术成效及新思考[J].石油钻探技术,2007,35(2):83-86.
- [8] 钟水清,熊继有,张元泽,等.我国 21 世纪非常规能源的战略研究[J].钻采工艺,2005,28(5):93-98.
- [9] 孙永兴,林元华,舒玉春,等.ISO 10400 油套管强度新模型[J].石油钻探技术,2008,36(1):42-44.
- [10] 谢晓永,孟英峰,唐洪明,等.裂缝性低渗砂岩气藏水基钻井液欠平衡钻井储层保护[J].石油钻探技术,2008,36(5):51-53.
- [11] 程仲,熊继有,程昆,等.物理法随钻堵漏技术的试验研究[J].石油钻探技术,2009,37(1):53-57.
- [12] 张桂林.置换法压井操作方法[J].石油钻探技术,2010,38(2):1-4.

[审稿 王宝新]

## 中国石化西北油田分公司超深油藏深抽工艺取得新突破

塔河油田缝洞型碳酸盐岩超深油藏埋深超过 6 000 m,部分油井地层能量下降快,常规机采工艺已经不能满足其生产要求。目前,塔河油田有 17% 的油井液面下降到常规有杆泵的极限泵挂深度,只能采用间开方式维持生产。为提高塔河油田的开发效益,西北油田分公司自主研发了侧流减载泵配套 24 型长冲程智能抽油机。2009 年 5 月,该抽油机在 TK839 井成功实施深抽工艺先导试验,泵挂深度 4 716 m,创造了全国当时有杆泵下深纪录。该抽油机在 TK716 井成功进行率深抽工艺先导试,泵挂深度首次突破 5 315 m。2010 年,西北油田分公司先后成功实施深抽工艺 45 井次,平均泵效提高 41.6%,累计增油 52 399.7 t,已经形成了侧流泵、侧流减载泵和抗稠电泵等技术系列。

超深油藏深抽工艺的试验成功,为塔河油田低产低效机采井开采提供了全新思路,有望拉开西北油田分公司大规模机采深抽的序幕。