

普光气田长井段延时起爆射孔技术

赵开良¹, 黎洪², 吴永清¹, 王培禹¹

(1. 中石化中原石油勘探局地球物理测井公司, 河南濮阳 457001; 2. 中国石化川气东送建设工程指挥部, 四川达州 635000)

[摘要] 普光气田具有井深、射孔井段长、高含 H₂S 等特点, 射孔作业潜在的安全风险较大。针对普光气田射孔面临的技术问题和难点, 从射孔工艺选择、射孔枪及射孔参数确定、抗硫材料选取、油管保护、起爆及传爆可靠性设计等方面进行阐述。通过对普光气田主体的射孔作业效果分析, 证实采用防硫 114 射孔枪并进行变孔密射孔等技术设计能满足普光气田射孔后的酸压改造要求, 不同壁厚管柱组合、分段延时射孔、纵向和径向减震器组合等技术措施可有效地防止油管脱扣, 增强型固弹系统可以满足长井段射孔可靠传爆的要求。

[关键词] 普光气田; 硫化氢; 长井段; 射孔; 射孔管柱

[中图分类号] TE375 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)10-0108-05

1 前言

普光气田是我国近年来新探明的大型天然气藏, 地质条件非常复杂, 储层埋藏深度达 5 000 ~ 6 000 m, 储层厚度 200 ~ 600 m, 天然气中硫化氢含量 11% ~ 17%, 二氧化碳含量 8% ~ 14%, 开采难度大。为满足大流量产出的需要, 目的层套管为 7" 高抗硫材质套管。因为高含硫化氢, 按投产设计要求进行射孔完井时, 对每口井的所有储集层段要一次打开, 进行酸压改造后同时开采, 避免二次作业可能带来的安全风险。

图 1 为普光 302-2 井身结构示意图。

普光气田射孔施工难度和安全风险巨大, 需要解决以下几项关键技术问题:

1) 纯天然气井射孔, 射孔井段超长, 地层中高含硫化氢剧毒强腐蚀性气体, 必须选择合适的射孔工艺以确保射孔施工安全、可靠。

2) 射孔枪和射孔参数的选择要满足地质和工程的要求, 特别是应满足酸压改造的要求, 尽量提高地质效果。

3) 地层打开后, 硫化氢气体大量涌入井筒, 而普通的射孔枪材不具备抗硫化氢腐蚀性能, 所以需要使用满足高含硫化氢环境要求的射孔枪材, 防止

在井下被硫化氢氢脆腐蚀断裂。

4) 井深, 射孔井段长, 导致射孔施工失败的因素多。消除这些影响因素, 是确保射孔施工一次成功的关键。

2 射孔工艺选择

普光高含硫气田射孔工艺选择应遵循安全、成功率高、地质效果好、施工周期短、同时满足其他开发要求的原则。

目前, 国内外较成熟的射孔工艺有 5 种, 它们是电缆输送射孔、过油管射孔、油管输送式射孔、模块化射孔和悬挂式射孔。其中后两种是国外成熟技术, 在国内还没有推广应用。

电缆输送射孔时井内没有油管, 一旦发生气体上窜, 无法及时循环压井液, 安全风险大, 此工艺不适合普光气田射孔。其余 4 种工艺都是在井内下油管状态下射孔, 可有效防止井喷或气体逸出。但过油管射孔、模块化射孔和悬挂式射孔都是将射孔枪通过油管下放到目的层段, 射孔枪直径小, 射孔参数不能满足酸压要求, 也不宜采用。油管输送式射孔可选用大直径的射孔枪, 一次输送数百米射孔枪, 将储层全部射开, 工艺技术成熟, 是普光气田射孔最佳选择。

[收稿日期] 2010-07-25

[作者简介] 赵开良(1965-), 男, 河南淮阳县人, 高级工程师, 主要从事射孔技术研究工作; E-mail: zhaokailiang@sina.com

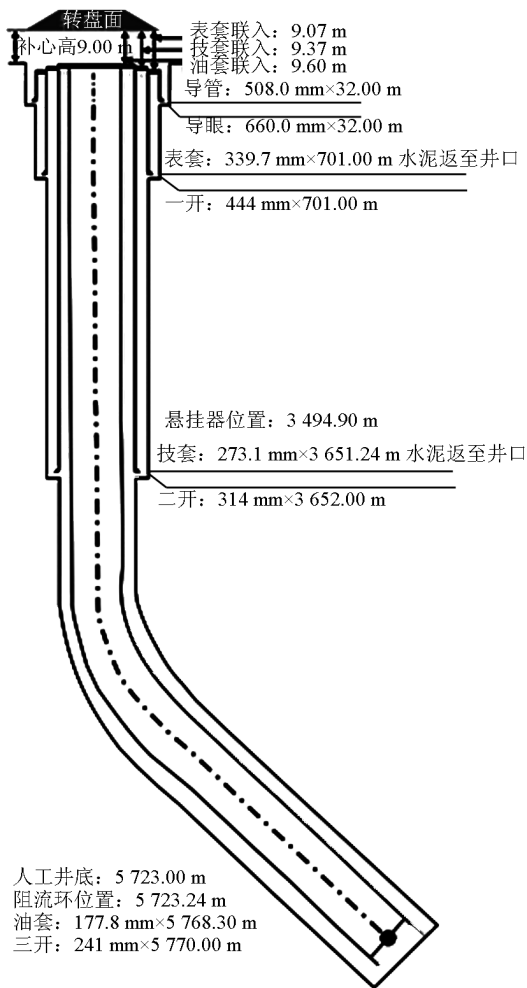


图1 普光302-2井井身结构示意图
Fig.1 Puguang 302-2 well structure schematic drawing

为了保证射孔后酸压作业的顺利实施和井内足够的气体流通空间,油管输送式射孔可以采取压井提枪、自动丢枪或使用全通径射孔枪3种方式。压井提枪的作业周期长,压井液对储层造成不同程度污染,作业过程中存在潜在硫化氢逸出风险,但风险可控程度高;自动丢枪方式需要较长井底口袋,但普光主体所有开发井的口袋都短,不具备丢枪条件;全通径射孔枪的长井段射孔成功率低,而且要求井下射孔枪材具备高抗硫性能,成本高。所以只有采取射孔后压井提枪方式。

综合以上分析,普光气田射孔采取油管输送式射孔工艺,射孔后压井提枪。

3 射孔枪及射孔参数选择

3.1 射孔枪规格确定

普光气田生产套管外径 177.8 mm,壁厚

12.65 mm,内径 152.5 mm。针对这种规格的套管,有 $\phi 114$ mm 和 $\phi 127$ mm 两种规格的射孔枪可供选择。若使用 $\phi 127$ mm 的射孔枪,射孔弹和射孔枪的配合更趋合理,穿孔深度和孔径比较大,但基于以下4个原因,最终选择了 $\phi 114$ mm 射孔枪:

1) 普光气田多为大斜度井,在套管内壁上可能残留有固井水泥浆形成的固形物或套管变形,射孔枪爆炸后会膨胀和弯曲变形,上提射孔枪至“狗腿弯处”或缩颈点存在卡枪的风险,射孔枪外径越大,风险越大;

2) $\phi 127$ mm 射孔枪重量比 $\phi 114$ mm 射孔枪重量高 16%,射孔后形成的爆轰冲击力也明显增大,进一步降低了射孔管柱的安全系数,射孔管柱脱落的风险增加;

3) 考虑到射孔后需对地层进行酸压改造, $\phi 114$ mm 射孔枪装配“一米弹”的射孔参数能满足地质的需要;

4) 普光气田高含硫化氢,打开气层后的井下事故处理作业存在巨大的安全风险,所以对普光气田射孔优先考虑工程安全和工艺可靠,在此基础上尽量满足地质要求和提高射孔效果。

3.2 射孔参数选择

普光气田储层为碳酸盐岩,以孔隙溶洞型发育为主,纵向上物性差异较大,投产方式采取射孔后酸压投产,所以射孔施工必须以提高酸压效果为目的,在确保安全可靠的前提下,进行射孔参数优化。根据射孔优化设计结果,采用深穿透、中等孔密和多相位,对产能的发挥比较有利。

1) $\phi 114$ mm 射孔枪装配“一米弹”,在 API 混凝土靶上穿深接近 1 000 mm,入口孔径达到 13 mm,经过校正并在井下实际穿深达到 420 mm,入口孔径达到 11 mm,能满足穿透泥浆污染带和酸压低摩阻的基本要求。

2) 射孔密度 I 类储层为 6~8 孔/m, II 类储层为 10~12 孔/m, III 类储层为 16 孔/m,保证大厚层酸压时 3 种类型储层都能获得较好的酸压效果。

3) 对于直井及大斜度井,选择 60° 相位角,螺旋排列,以利于沟通裂缝和提高酸压效果。

4 抗硫材料的选取

虽然射孔是在压井状态下进行的,但射孔枪起爆瞬间的负压驱使地层内大量硫化氢气体进入井筒和射孔枪内,射孔后射孔枪要在井下停留一周左右,

存在被氢脆腐蚀断裂的风险。普通的射孔枪材质抗硫化氢腐蚀性能差,使用高抗蚀合金钢的成本太高,也没必要。

27CrMoXX 钢材,钢级 TP110S,屈服强度 890 MPa,抗拉强度 936 MPa,延伸率 22%,经过硫化氢应力(拉伸)腐蚀试验,满足在普光气田井下停留 15 d 的要求。用 27CrMoXX 材质的钢材制成射孔枪管,外径 $\phi 114$ mm/壁厚 11 mm 和外径 $\phi 110$ mm/壁厚 9.5 mm,抗外压达到 120 MPa 以上。地面模拟试验,射孔后枪管上孔眼规则,孔眼直径平均 12.3 mm,射孔枪外径膨胀不明显,最小 $\phi 116.9$ mm,最大 $\phi 119$ mm,毛刺高度最小 1.5 mm,最大 4.2 mm,符合 GB/T20489-2006 规定指标。

5 多级延时起爆技术

射孔枪引爆时会产生强烈的爆炸冲击波和爆炸震动效应,冲击波会对油管柱产生不同程度的破坏和损伤。爆轰产物的直接破坏作用是由爆炸产物的总功来决定的。对于 600 m 射孔枪,一次装配 7 000 多发射孔弹(合计 300 kg HMX 炸药),它们同时爆炸时,总做功能力大约为 1 400 MJ。如此巨大的爆轰冲击能量将引起油管串强烈震动,爆炸瞬间会增加油管负荷,使油管串的安全系数降低。

为尽量减小射孔对管柱引起的破坏,应用多级延时起爆技术将长射孔枪串分段延时起爆,减少单段起爆药量。根据夹层段长度、射孔弹数量、射孔层厚度等具体情况将数百米长的射孔枪串分成若干个独立的起爆单元,使每个起爆单元按设计时间顺序依次起爆,每个起爆单元长度 150 m 左右,每次爆炸做功能力减小至 370 MJ 左右,有效减小射孔弹爆炸对管柱的冲击。由于导爆索传爆自然衰减的特性,数百米射孔枪传爆失败的风险较大,分段起爆的起爆点多,可在一定程度上降低传爆失败的几率。

为保证每个起爆单元可靠起爆,每个起爆单元的上下端各安装一个双效压力延时起爆器,使起爆可靠性提高 3 倍(普光气田射孔管柱结构示意图 2。)从图 2 可看出,整个射孔枪串分为 3 个起爆单元,3 个顶部起爆器设计的延时起爆时间由下至上依次是 3,4,5 min,3 个底部起爆器设计的延时起爆时间均为 7 min。这样井口加压后整个射孔枪串自下往上逐级起爆,起爆间隔 1 min 左右。底部起爆器的作用是避免一旦某个顶部起爆器瞎火,底部起爆器将发挥后续补充作用,从而确保所有起爆

单元全部起爆。

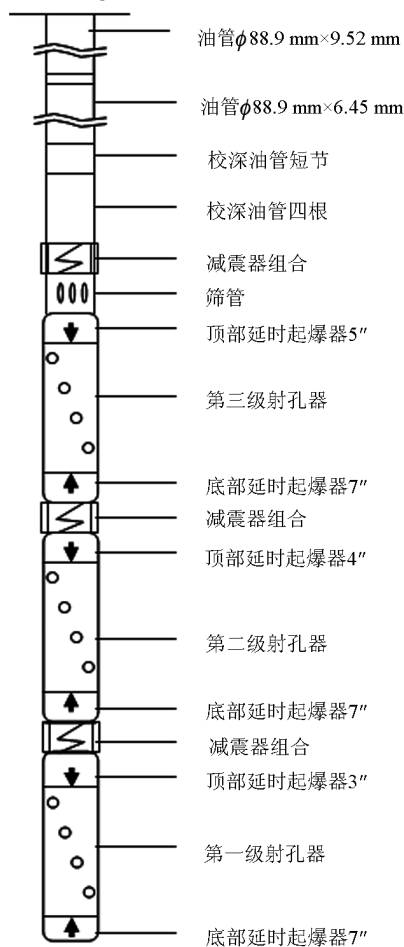


图 2 普光气田射孔管柱结构示意图

Fig. 2 Puguang gas field schematic of perforated string

多级延时起爆、在每一级起爆单元上部安装纵向和径向减震器、下井油管使用不同壁厚油管组合等措施有效降低射孔枪起爆对油管柱的冲击,最大限度地提高射孔管柱的抗拉强度和抗拉安全系数,确保射孔时油管不会脱扣或断裂。

6 加强型传爆系统

射孔枪传爆失败一直是造成油管输送式射孔施工失败的主要原因,数十米长的射孔枪传爆失败现象时有发生,数百米长的射孔枪传爆失败的几率更高。造成射孔枪传爆失败的原因较多,其主要原因是传爆系统的可靠性差。射孔传爆系统由固弹架组件和传爆火工件等组成,射孔枪在井下由多种原因引起的震动容易导致固弹架轴向压缩,传爆接点距离拉长,或火工件受损,从而造成传爆中断或爆燃。

加强型传爆系统通过以下设计显著提高了传爆可靠性(加强型传爆射孔枪结构示意图见图3)。

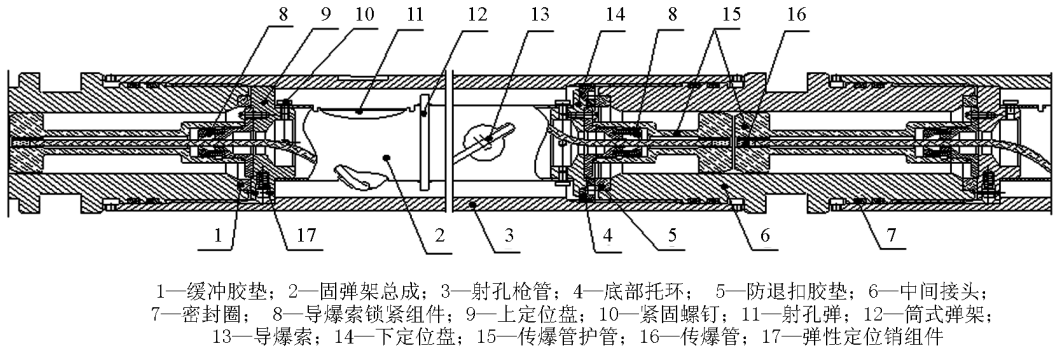


图3 加强型传爆射孔枪结构示意图

Fig.3 Structure profile of reinforced explosion perforated gun

1) 固弹架采用 $\phi 65 \times 2$ mm 的 Q235 直缝焊管, 抗拉能力比以往的弹架管提高了 77.8%, 在固弹架上间隔 1 m 安装一个扶正环, 防止固弹架弯曲和磨损导爆索。

2) 固弹架总成在射孔枪管内上挂下托, 在纵向上同时受到两个支撑力的作用, 可以保证数十千克固弹架总成在强烈的冲击下不断裂、不下移。在固弹架上部安装一个缓冲胶垫, 减缓固弹架总成向上的冲击, 防止其上窜; 在固弹架下部安装一个防退扣胶垫, 防止在射孔枪运输和下井途中由于颠簸、震动造成底部托环松扣。

3) 固弹架两端设计导爆索螺口锁紧机构, 对导爆索密度影响小, 方便调整, 防止人为操作失误造成导爆索损伤。

加强型传爆射孔枪地面撞击实验: 3.5 m 射孔枪装满射孔弹, 1 m 高自由落体, 连续以 4.4 m/s 的速度撞击钢板 6 次, 固弹架没发生明显轴向偏移, 传爆系统固定良好, 地面点火引爆射孔枪, 各项参数指标正常。撞击时的加速度远大于射孔枪在井下震动的加速度, 因此可以保证射孔枪在井下的传爆可靠性。

7 现场应用效果

自 2008 年 7 月至 2010 年 4 月, 应用长井段延

时起爆射孔技术完成普光气田主体 36 口井的射孔施工, 单井射孔枪最大长度 838.8 m, 累计射孔跨度 14 282 m, 平均单井射孔跨度 397 m, 累计射孔层厚度 11 225 m, 平均单井射孔厚度 312 m。射孔成功率 100%, 射孔弹发射率 100%。

这 36 口井射孔后, 随即进行了酸压改造及试气作业, 单井产量超过或接近预期产量, 地质效果令人满意。

8 结语

1) 普光高含硫碳酸盐岩气藏长井段射孔, 采用油管输送式射孔工艺, $\phi 114$ mm 射孔枪装配 1 m 弹, 不同储层类型采用不同射孔密度, 工艺安全, 地质效果好。

2) 27CrMoXX 材质的射孔枪可以满足普光气田高含硫化氢环境下油管输送式射孔的要求。

3) 深井长井段油管输送射孔, 采用不同壁厚油管的组合射孔管柱, 双向双效多级延时起爆射孔, 纵向和径向减震器组合使用, 可确保起爆成功并保护油管不致断脱。

4) 加强型传爆射孔枪可承受井下的冲击震动, 显著提高长井段射孔传爆可靠性。

Long channel delayed ignition perforation technology in Puguang Gas Field

Zhao Kailiang¹, Li Hong², Wu Yongqing¹, Wang Peiyu¹

(1. Zhongyuan Oilfield Geophysical Logging Company, Puyang, Henan 457001, China;

2. The Headquarters of Sichuan – to – East Gas Transmission Project, SINOPEC, Dazhou, Sichuan 635000, China)

[**Abstract**] Puguang Gas Field is characteristic of deep reservoir, long hole interval to be perforated and rich H₂S. These features bring risks to perforation and operation safety. This paper presents the choice of perforation technology, definition of perforating gun and perforation parameters, selection of sulfide resistance material, tubing protection, design of ignition and detonation propagation reliability related to technical problems and difficulties on perforation operation in Puguang gas field. The perforation effectiveness analysis shows such technical designs can satisfy the requirement of acid fracturing after perforating in Puguang gas field as using anti – sulfur 114 perforators and changing the perforation density. Tubing tripping can be prevented effectively by using some technical measures such as different tubing thickness combination, partition time delayed perforation, combination of longitudinal shock absorber and radial direction shock absorber. Enhancement type fixed bullet system can meet the request of reliable detonation of long – channel perforation.

[**Key words**] Puguang Gas Field; hydrogen sulfide; long channel; perforation; perforation string

(上接 107 页)

The influence of Wenchuan Earthquake on Puguang Gas Field development

Ge Hongkui¹, Shen Chen², Song Lili¹, Wang Xiaoqiong¹

(1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China,

2. Exploration and Production Dept. SINOPEC, Beijing 100728, China)

[**Abstract**] Well casings of Puguang Gas Field took place abnormal deformation before and after Wenchuan Earthquake, but the conventional theory was unable to explain it. By seismicity and seismic load analysis, it was concluded that Wenchuan Earthquake was an important factor to the deformation. Seismic load caused static stress change, dynamic load, fault slip, inconsistent deformation between strata, salt/gypsum creep speedup and casing deformation. The analysis showed that not only the stress size affected the deformation, but also the stress change imposed important influence. Drilling in seismic area should pay attention to the effect of structural stress change.

[**Key words**] earthquake load; oilfield production; Wenchuan Earthquake; Puguang Gas Field; well casing deformation; mechanism