

天然气井钻井应重点考虑的几个技术问题

程常修*
(四川石油管理局川西北矿区)

曾时田
(四川石油管理局)

程常修等. 天然气井钻井应重点考虑的几个技术问题. 天然气工业, 2002; 22 (2): 50 ~ 53

摘 要 四川是一个以天然气为主的碳酸岩裂缝性油气藏盆地。天然气井独有的特点, 给钻井工作带来很大的难度。通过几十年的钻井实践和不断探索, 四川已经形成了一整套天然气井的钻井工艺技术, 至今还在不断完善和发展。文章介绍了四川地区钻天然气井的特点, 并从井身结构设计、平衡钻井与井控、钻井液、固井等几个方面, 阐述了天然气井在钻井中经常遇到的一些技术问题, 提出应重点考虑和解决的工艺技术问题。

主题词 天然气 气井 钻井 钻井液 固井

天然气气藏的特点

天然气与石油有某些共性和密切联系, 但由于成因不同, 天然气有它自身的发生、发展、形成矿藏的地质规律, 所以气井与油井的钻井工艺技术自然有很多不同之处。

四川盆地是一个压扭性盆地, 形成不同类型的构造。在已发现的油气田中 90 % 以上为气田。大多数气田纵向上有 2 ~ 3 个产气层, 最多可有 13 个 (卧龙河气田)。同一构造同一井眼可交互出现从异常低压 (近静水柱) 到异常高压 (p_s 为 0.023 5 MPa/m) 数个压力带和多个压力系统 (川东地区)。在同一产层横向上受多裂缝性影响, 地层压力梯度差异较大, 天然气产量差异亦大。同一构造的有效圈闭内, 最高天然气日产量无阻流量近千万立方米 (巴 9、鹿 3 等井), 而也有的井则仅产微气。多数地层压力异常, 为了平衡气层压力, 关 2 井曾使用密度高达 2.50 ~ 2.70 g/cm³ 的钻井液; 丰谷 1 井 4 547 m 油层套

管固井水泥浆密度高达 2.45 g/cm³。已发现气田 80 % 以上含硫化氢量大于 20 mg/m³, 卧 63 井最高达 493 g/m³。不少井还含有 CO₂ 等酸性气体。地温梯度较高, 自深 1 井 (5 533.50 m) 井底温度达 191 。

天然气井的特点

1. 溢流显示种类多, 来得快, 烈度大

钻天然气井, 易发生溢流, 显示种类多。从溢流到井喷, 虽然与诸多因素有关, 但由于天然气的密度低和可压缩易膨胀等特性, 其间隔时间比油井短得多。据一百多井次资料统计, 从发现溢流到井喷的间隔时间, 小于三十分钟的占三分之二, 其中一半在十分钟以内, 且来势凶猛, 容易失控。中 29 井下油管至井深 896.46 m 发生井喷, 井内 89 根油管全部喷出。天东 5 井钻至井深 3 570.72 m 起钻井喷, 井内重 150 kN 的 Ø158.8 mm 钻铤全部从井内冲出, 断成 9 节, 落点最远处距井口 91.4 m。井喷空后压

参 考 文 献

1 陈谱. 钻井技术手册 (四) 钻具. 北京: 石油工业出版社, 1992
2 石晓兵, 施太和. 深井中带钻柱稳定器的下部钻具组合失效的动力学机理研究, 石油矿场机械, 1999; 28 (6)
3 航空工业部科学技术委员会. 应力集中系数手册. 北京:

高等教育出版社, 1990
4 朱以文等. 微机有限元前后处理系统 ViziCAD 及其应用, 北京: 科学技术出版社, 1993
5 赵国珍, 龚伟安. 钻井力学基础. 北京: 石油工业出版社, 1988

(收稿日期 2001 - 10 - 28 编辑 钟水清)

*程常修, 教授级高级工程师; 长期从事钻井及管理工作。地址: (621709) 四川省江油市。电话: (0816) 3611113。

井,常导致井内钻具被卡,许多井常因此而侧钻甚至报废。据统计,历年来四川井喷失控约占全国井喷失控的 20%。

2. 关井压力高

由于天然气密度低,仅为原油的千分之零点七,不能靠自重平衡大部分地层压力,不仅井涌井喷临时关井压力高,完井后井口关井压力也高。龙 4 井钻达井深 6 026 m,完井试油最高关井达 103.95 MPa,压力还在上升,超过安装使用的 15 000 psi 卡麦隆采气井口允许关井压力 103.42 MPa,被迫放喷,最后导致该井暂闭。关基井井深 7 175 m,预计地层压力约为 153 MPa,完井试油亦用 15 000 psi 采气井口测试,测试完不能实行关井求压,只好随即压井。1988 年 4 月 5 日完钻的埡 1 井,完钻井深 6 006 m,各种解释气显示很好,测算地层压力为 126~129 MPa,含硫,因当时缺乏完井条件,最近才决定射孔测试完井。

3. 地层压力梯度差异大,产量差异亦大

四川地区既有因地层压力异常而出现的高压气井,如官 3 井(3 809 m)在钻井液密度已达 2.54 g/cm³ 情况下,井口仍出现溢流,地层压力系数 0.028 2 MPa/m。也有因开采气层压力梯度已低于 0.01 MPa/m 的气田。有的区块产层纵横压力梯度差异大,同一井场同一产层所钻的两口井中,一口井的压力可为另一口井的 1.8 倍,而两井井底位移仅相差 10 m(卧 88 和卧 111 井)。同一井眼,直井为干井(池 35 井),换一定方位从井下某处侧钻的池 35-1 井却为测试日产达 62 × 10⁴ m³ 的大气井。由于天然气可压缩可膨胀的特性,因而对压力特别敏感。它既具有高压强烈显示的一面,而在一些低压区块,它又表现出易漏易伤害的一面。

4. 天然气井易窜漏

由于天然气的分子小,密度小,粘度小,吸附能力小,易滑脱,扩散能力大,因此具有很大的活动能量。气层中钻进钻井液容易气侵,使平衡地层压力的液柱压力降低,导致井涌,甚至井喷;固井时容易出现气窜,关基井、文 6 井等井在固井候凝水泥浆“失重”时还曾发生过井喷;关井时,套管、油管丝扣及井口装置易渗漏刺漏;浅气层井或若表层套管下得较浅时,遇气显示易发生气窜,有时出现地下井喷,有时表现为地面窜漏。温泉 4 井钻至井深 1 869.60 m 意外地发生井喷(同构造,同层位,已钻 4 口井均无气显示),估计天然气日产量 70 × 10³ m³,处理时天然气窜至距井口周围 750~800 m 范围内

的好几个煤窑,有二个煤洞燃起熊熊大火,井场周围地面大面积冒气。

5. 天然气井易燃易爆易中毒

天然气井在发生井喷后,由于各种原因容易引起钻机着火。含硫天然气井钻具易氢脆折断,含硫天然气井一旦井喷失控,大大增加了处理的难度,此方面的例子是很多的。

天然气井井身结构设计

1. 表层套管要有一定的控制能力

浅气层井或下次开钻有可能出现气层,表层套管要有一定的控制能力,这个能力有时则特指套管鞋至其上易窜易渗漏段的段长。白马地区地表一般有 180 m 左右的流砂砾石层,白马 4 井(浅气层井)在井涌关井时,气就经套管鞋(Ø44.5 mm × 61.39 m)下砂层窜至井口周围地面。后来在该地区钻井采取钻过砂层后必须再钻至少 50 m 下套管的措施,这个问题就解决了。由于表层套管下得浅,遇气层关井时地面大面积严重窜气,往往会造成构造破坏、资源浪费、环境污染,打乱正常生活生产秩序。

2. 高低压层须下技术套管封隔

在许多时候,当同一个裸眼井段内出现两类性质相差甚大的显示层段时,不要说平衡钻井不能进行,就连正常的钻井工作也难维持。中深 1 井(5 913.66 m)、龙 4 井(6 026 m)都用高密度钻井液(2.25 g/cm³ 以上)在气层中钻进,都因井下有数个压力梯度各不相同的显示层,在钻进中出现能钻进就不能起钻(停泵起钻即外溢),能起钻但不能钻进(开泵循环就漏)的复杂局面。一般来说,若已知上部地层为漏层,下部为高压气层,则必须先对上部漏层进行堵漏,使其能承受下部高压;若压力梯度悬殊甚大,则须下套管封隔,如川东地区三叠系低压层与二叠系高压层之间就必须用套管封隔。若上部为高压气层,下部将出现低压漏层,则需下技术套管将上部气层封住。

3. 油层套管常先悬挂后回接

在一些异常高压地区、深井和含硫气井,由于气井关井压力较高,以及含硫气田深井既要求井口套管有抗硫性能,又要具有较高抗滑扣强度,有时还为避免钻进时上部油层套管,特别是井口附近的套管磨损后承压能力降低,一些先期完成、下部目的层钻井井段较长的井及一些含硫深井,油层套管常采用先悬挂,钻完目的层后再回接,或者先悬挂接着又回接固井工艺。这样也给上部需要使用强度较低的抗

硫套管创造了条件。对前一种情况,这样做也有利采用复合钻具,对深井钻井有利。尾管悬挂固井,在下部钻井无显示时还可省去套管回接。尾管悬挂固井也是高压气层平衡压力固井的有力措施。先期完成的、超深(6 006 m)、超高压(为 2.15 g/cm^3)、含硫、多产层的埕1井, $\Phi 177.8 \text{ mm}$ 油层套管先悬挂(4 639.84~5 824.5 m),钻到目的层 $\Phi 127 \text{ mm}$ 尾管固井后,接着又进行 $\Phi 177.8 \text{ mm}$ 套管回接固井,是一个成功的井例。

4. 水泥浆返至地面

四川地区从中生界开始,各层均有气显示,故天然气井各层套管固井水泥浆都要返至地面,以提高套管的抗内压强度,增强井控能力。

天然气井的井控技术

1. 天然气井钻井液安全附加压力值的确定

大家都知道,钻井液安全附加压力值主要考虑到了起钻时的抽汲压力和起钻未灌钻井液间隙钻井液静压力的降低值。由于天然气在钻井液中滑脱快,上窜快,膨胀厉害,引起的液柱压力降低值远大于油井,因此,钻井技术操作规程规定,钻井液安全附加压力当量密度值,油井按 $0.05 \sim 0.10 \text{ g/cm}^3$,气井则应按 $0.07 \sim 0.15 \text{ g/cm}^3$ 设计;或按井底安全附加压力,油井 $1.5 \sim 3.5 \text{ MPa}$,气井 $3 \sim 5 \text{ MPa}$ 计算钻井液密度。若为含硫天然气井,应取二者的高限。

2. 气层中钻进钻井液操作

钻天然气井要密切注意气侵、气泡增多、气测烃类含量增高、硫化氢味浓等天然气显示特征。四川总结、推行出的“四、七”动作、坐岗制以及“一方报警,二方关井”等措施,可操作性强,是防止井喷的有效措施。由于取心井段往往是气显示好的井段,并且在出现井涌井喷时处理的难度大,因此应当特别重视气层井段取心的井控工作。气层井段起钻要等迟到时间过后才能开始起钻,起钻时,尤其是在取心起钻时,在气层井段上提速度要严格控制。虽然天然气不致使钻井液性质发生质的变化,但气侵使钻井液密度和粘度值发生相当大的变化,在积极采取措施除气的同时,及时弄清溢流量和出入口钻井液的真实密度是很重要的。

在含硫地区钻井,对含硫地层必须实行平衡钻井,钻井液密度附加值取高限,不允许地层中含硫天然气进入井筒。在气层中处理复杂情况需泡油、注解卡剂等作业,总的液柱压力不能小于气层压力。避免使用高强度钻杆。钻井液中应加入除硫剂、缓

蚀剂及钻具保护剂,pH值不低于10。四川研制的碱式碳酸锌是很好的硫化氢防腐处理剂。研究证实,井温在 66°C 以上就可防止硫化氢腐蚀,硫化物应力腐蚀敏感度低;井温高于 92°C 就更能防止硫化物应力破坏,记住这一点对指导钻井是有益的。在气层中钻进,应当特别重视和处理好井漏,因为漏层往往就是气层,大漏有可能出大气。许多井发生井喷往往是先井漏,处理不及时或欠妥当,液面降到一定程度后,随即发生溢流和井喷。上喷下漏和上漏下喷,处理不好都有可能演变为井喷。自2井钻至井深2 260.55 m放空,下探4.45 m(方钻杆方入放完)未探到底,未再接单根下探,放空后发生大漏,井筒钻井液被漏空,随即发生井喷,后被迫用钻杆完井采气。1960年投产至今已采气近 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$,被誉为“功勋井”。卧77井钻至井深3 618.20 m,放空1.35 m后井漏,随即发生溢流、井喷。天东5井在3 570.72 m飞仙关组气层两次发生井喷,也都是先井漏后演变为井喷的。对于气层井漏,应当给予比其它油水层、复杂层更多关注。一旦在气层中钻进发生漏失,首先要设法采取措施保持平衡气层压力的液柱压力,也就是吊灌措施。在井下基本稳定的情况下,设法调整合适的钻井液密度,然后才着手考虑在安全的情况下采取堵漏等措施。要认真对待浅气层钻井的井控工作。浅气层钻进一般钻井液密度较低,天然气滑脱、上窜速度较快,膨胀迅速,距地面也较近,能在很短的时间内,甚至在液面上涨还不明显时就发生井涌、井喷。加之套管一般下得较浅和地层破裂压力低阻碍压力控制,稍有疏忽井下就会发生窜流、地下井喷,甚至发生套管外井喷。早期所打的长9井井喷后关井,地面窜气 $4.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,事故完井;合2井地面窜气面积达 3.7 km^2 ,被迫封井。钻浅层气井或钻遇浅层气,重要的是一次井控,避免发生井涌,井涌后要立即进行压井,不要过多地指望用关井来控制它。放喷或测试放出的天然气要及时点火烧掉。四川已研制出远距离自动点火及防回火装置。

3. 钻天然气井井控装置

在井控装备上,钻气井应当比钻油井以更高的要求,必须配置以液压防喷器为主体的井口装置,以节流管汇为主的井控管汇,钻具内防喷工具,以监测溢流为主的井控仪器仪表,钻井液加重、除气、自动灌钻井液设备等。四川地区的天然气井,无论浅井、深井,一律安装正规的套管头。井控装置压力等级尽量接近地层压力,一定要按规定试压。放喷管线

必须接四条,其内径不小于 $\varnothing 100$ mm。渡 1 井在处理井喷时,就新接和整改放喷管线共 8 条。在气层中进行欠平衡钻井,虽然在工艺上与在油层中欠平衡钻井无太大的区别,但若在气层中进行充气钻井液欠平衡钻井,充入的介质必须是氮气、天然气或以 CO_2 为主要成分的柴油机尾气。

气井固井问题

1. 气井固井设计

在井身结构已确定套管尺寸、下深、水泥浆返高等之后,气井固井设计则要根据气井特点重点考虑套管强度和气密封问题。含硫气层极易造成井下管材的硫化物应力腐蚀和电化学腐蚀破坏。近年来聚磺类钻井液的广泛应用,在井下高温高压条件下热解产生硫化氢亦会造成管材的腐蚀失效。关基井在 7 058 m 的 $\varnothing 177.8$ mm 套管固井中就曾发生高强度套管氢脆破裂事故。威远、磨溪及盆地东部许多含硫气田开发中,由于酸性气和地层水共存而造成套管在短期内腐蚀穿孔甚至断落。针对下部钻开气体是否含有 H_2S 、 CO_2 等腐蚀气体,必须考虑是否采用抗腐蚀的特殊套管。高压气井还应关注套管丝扣密封问题。目前国内普遍使用的 API 圆扣套管,其丝扣本身不具有高压气密封特性,故在压力梯度较高时,应考虑采用金属密封特殊扣套管。四川已先后在近 40 口井采用了 8 种类型的金属密封套管。在分级固井管串设计中,须将分级箍置于气层以上 150 m 左右的井径较规则岩性较致密的地层段,并应保证该段的固井质量。龙 4 井 4 370 mm 的 $\varnothing 244.5$ mm 技术套管一级固井水泥浆未返至分级箍,当用清水钻至位于井深 3 170.79 ~ 3 172.06 m 的分级箍时,下部须二段气层上移的天然气将分级箍关闭套挤毁,以 $100.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的流量从分级箍处喷出,处理难度很大。

2. 气层中固井

针对天然气不同于液态流体的特点,固井中应重点考虑防气窜保证水泥环封固质量问题。必须实行平衡压力固井,即必须保证从下套管开始,整个施

工阶段井下液柱压力与地层压力保持平衡。水泥浆液柱应高于钻井液柱约 1 ~ 2 MPa。水泥浆密度的合理确定,水泥浆本身具有防气窜性能,合理控制水泥浆的稠化时间,即尽量缩短水泥浆在凝结过程中的过渡时间,产生所谓的“直角稠化”,是防气窜的有力措施。应针对水泥浆的凝结特点和“失重”机理,区别不同情况采取双级、悬挂回接、尾管悬挂、套管外封隔器等,以及双凝、多凝、井口憋回压等不同固井方法和注水泥技术。反憋压力在高压气井固井中是常用的工艺技术。计算反憋压时,环间反憋压力与环间液柱压力之和应不低于使用两凝水泥固井时,两凝水泥的界面应定在气层以上 200 ~ 300 m 处。快凝段水泥浆按清水柱计。反憋压时间宜在快凝段水泥初凝前 1 h 左右实施。对于又喷又漏的井,在固井前要认真进行堵漏,设法使之变成常规固井。如在下套管过程中或下套管完循环时,发生井漏诱发溢流或井喷时,可采取正注为主、井口反补挤水泥工艺,也可采取以正注为辅,一次或二次反注水泥工艺,具体办法应根据漏失的具体情况来确定。

目前四川气井固井防气窜技术主要从水泥浆体系、水泥浆添加剂和固井工艺着手。已研制出多种防气窜水泥浆体系和多种防气窜水泥添加剂。四川气层固井普遍推行的“压稳、多凝、憋回压”,“适当排量、连续施工”等措施,较好地解决了气井固井气体窜移问题。

参 考 文 献

- 1 曾时田. 依靠科技进步促进四川天然气工业发展. 天然气工业, 1995; 15(增刊): 3 ~ 5
- 2 夏述明, 程常修. 四川钻井技术发展和成就. 天然气工业, 1995; 15(增刊): 27 ~ 30
- 3 胥永杰, 杨万忠, 李毅. 四川固井技术. 天然气工业, 2000; 22(4): 36 ~ 40
- 4 郑开华. 高压气井固井技术研讨. 钻采工艺, 2001; 24(4): 1 ~ 4

(收稿日期 2001 - 10 - 28 编辑 钟水清)

the approach of the fractal dimension to each other may be taken as the principle of optimizing TPA, thus having established the shielding temporary plugging fractal theory of fractured reservoirs. The measurement and calculation of the fractal dimension were carried out for the cores collected from well Ke-84 at the northeast slope of Zhongguai uplift in Xinjiang Oil Field and for several TPAs commonly applied to the region. Through the optimization and laboratory testing of TPAs by use of the theory, it is shown that a good result has been achieved and the correctness of the theory has been initially examined.

SUBJECT HEADINGS: Fractured reservoir, Shielding temporary plugging agent, Optimization, Fractal theory, Reservoir protection, Research

Cui Yingchun (Doctor), born in 1966, received his Doctor's degree in engineering from the China University of Geosciences in 1999, then studied at the postdoctoral mobile station in Qinghua University. Now he is engaged in the research on petroleum engineering. Add: No. 31. Xueyuan Road, Haidian District, Beijing (100083), China Tel: (010) 82312948

RESEARCH ON A NOVEL THREADED CONNECTION STRESS RELIEF GROOVE OF DRILLSTEM STABILIZER

Shi Xiaobing and Shi Taihe (Southwest Petroleum Institute). *NATURAL GAS IND.* v. 22, no. 2, pp. 48 ~ 50, 3/25/2002. (ISSN1000 - 0976; **In Chinese**)

ABSTRACT: The drilling circles have been plagued with the premature failures in drill tools for many years. Caused by cyclic bending stress, the fatigue failures of threaded connections accounted for a very large proportion in the drill tool failure cases. These cyclic bending stresses are concentrated near the last engaged thread and the fatigue life of the threaded connections may be extended by reducing their bending stresses. A novel drill tool threaded connection stress relief groove is proposed in the paper. The problem of the fatigue failures of drill tool threaded connections has been solved through setting up the stress relief groove at the drillstem stabilizer. Unlike other stress relief grooves, the contour of the novel stress relief groove is a continuous and smooth quadratic curve, as arc, parabola and ellipse, which may avoid the appearance of stress concentration and "thin neck" at the stress relief groove. And these curves are feasible in machine work. Finally, the geometric shape of the

stress relief groove is optimized by use of finite element method; the influence of the geometric parameters, such as the opening position, opening length and opening depth, of the stress relief groove on the stress release is analyzed; and the strength of the stress relief groove is evaluated also in the paper.

SUBJECT HEADINGS: Drill stem stabilizer, Threaded connection, Stress concentration, Stress relief groove, Finite element analysis

Shi Xiaobing (lecturer, Doctor), born in 1967, is engaged in the research on drillstem mechanics and drilling technology currently. Add: Nanchong, Sichuan (637001), China Tel: (0817) 2643801

SEVERAL TECHNICAL PROBLEMS CONSIDERED EMPHATICALLY FOR DRILLING NATURAL GAS WELLS

Cheng Changxiu (Northwest Sichuan Field District, SPA). and Zeng Shitian (Sichuan Petroleum Administration). *NATURAL GAS IND.* v. 22, no. 2, pp. 50 ~ 53, 3/25/2002. (ISSN1000 - 0976; **In Chinese**)

ABSTRACT: Fractured carbonate gas reservoirs have been mainly found in Sichuan Basin and the particularity of natural gas wells has brought on a great deal of difficulties in drilling. Through drilling practice and unceasingly probing for several tens of years, a set of techniques of drilling natural gas wells have been formed and they are uninterruptedly improved and expanded up to now. In the paper, the characteristics of drilling gas wells in Sichuan Basin are introduced; some technical problems met commonly in drilling gas wells are expounded from several aspects as casing program design, balanced pressure drilling and well control, drilling fluid, and well cementing, etc.; and several technological problems considered and solved emphatically are proposed.

SUBJECT HEADINGS: Natural gas, Gas well, Drilling, Drilling fluid, Well cementing

Cheng Changxiu (professorial senior engineer) has been engaged in the work of drilling and management. Add: Jiangyou, Sichuan (621709), China Tel: (0816) 3611113

DRILLING AND CEMENTING TECHNIQUES OF