

大牛地气田钻杆耐磨环失效原因分析

李建山

(中石化华北石油局第九普查勘探大队,山西 晋中 030600)

摘要 鄂尔多斯北部大牛地地区钻井施工中钻杆偏磨、耐磨环失效现象很普遍。通过对比分析研究,认为造成钻杆耐磨环失效的主要原因有地层研磨性、钻杆的井下工况、耐磨材料选择与敷焊工艺的影响。

关键词 钻杆 耐磨带 偏磨 研磨性 反转运动 碳化钨

中图分类号:TE921+.2 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2005)03-0044-04

Analyses on the Causes of Failures of Abrasion Resistant Ring on Drilling Pipes in Daniudi Gas Field/LI Jian-shan (No. 9 Brigade of Reconnaissance & Exploration, North China Bureau of Petroleum, Sinopec, Jinzhong Shanxi 030600, China)

Abstract: The failures of abrasion resistant ring on drilling pipes are common during drilling in Daniudi Area. After Analyses and research, it was thought that the main facts which affect drilling pipe abrasion resistant ring failure were abrasive property of formations, selection of high-abrasive material, and welding technique.

Key words: drilling pipes; abrasion resistant area; eccentric abrasion; abrasive property; counter revolution movement; tungsten

随着钻井技术的不断进步,深井、超深井、丛式井、大斜度井、水平井的大量出现,钻杆的磨损显著增加甚至出现技术套管经常磨穿的现象,造成重大的损失。为减少钻杆磨损,有效地保护套管,钻井施工中对钻杆接头耐磨带性能的要求越来越高,钻杆耐磨带已不仅局限于保护钻杆接头还要兼顾更有效地保护和减少套管磨损,必须针对不同类型钻井施工的需要慎重选择和使用耐磨材料。

我国各油田钻杆接头耐磨带多采用自动或半自动敷焊工艺加工,耐磨敷焊材料已由合金粉末升级到硬度相当、耐磨性更好的合金焊丝。这种材料敷焊的钻杆接头耐磨带摩擦系数小,可以在钻杆接头与套管间形成摩擦副,从而有效地保护钻杆和套管,降低钻杆旋转阻力。如目前广泛使用的100XT等材料。

鄂北大牛地地区多采用 $\varnothing 311$ 、215 mm两级长裸眼井身结构,钻井施工中钻杆偏磨耐磨环失效现象很普遍。通过对比分析研究,认为造成钻杆耐磨环失效的主要原因与地层研磨性、钻杆的井下工况、耐磨材料选择与敷焊工艺的影响有关。

1 钻杆接头偏磨及耐磨环失效情况

钻杆在井眼中工作时,一方面要围绕其本身的轴线旋转(自转),另一方面,在离心力和钻压的作

用下,钻杆会发生弯曲,围绕井眼轴线旋转(公转)。一般认为,自转引起均匀磨损,公转引起偏磨。在井眼偏斜和弯曲的情况下,偏磨更加严重。另外,接头的偏磨也受地层因素的强烈影响,地层硬度越高,偏磨越严重。鄂北工区地层具强研磨性,长裸眼井身结构致使井下起出的钻杆磨痕和偏磨十分明显,存在着严重偏磨和耐磨环失效问题。

1.1 钻杆本体的磨损情况

通过对30521HB钻井队磨后(钻井7口进尺19969.06 m)的宝钢G-105钻杆本体的壁厚随机抽样超声波测厚仪测量,同宝钢新钻杆平均壁厚^[1]对比,该批钻杆平均壁厚9.04 mm,最小8.04 mm,为新钻杆(9.54 mm)的95%。个别钻杆磨损更严重,如钻杆本体刺漏失效部位采样酸洗后实测壁厚仅为7.4 mm,且内壁腐蚀麻坑深度一般0.45~0.65 mm。

1.2 钻杆接头耐磨带磨损情况

通过对40679HB钻井队敷焊100XT的宝钢G-105新钻杆耐磨带的监测,发现单井磨损高达6 mm之多,鄂北大牛地工区100XT耐磨带的使用寿命约为3000 m进尺,FA-60等铁基粉类耐磨带寿命小于3000 m。对监测钻杆耐磨带磨损情况分析认为:直罗组以上地层研磨性一般,下部地层自延安组地层以下研磨性随井深增强(钻杆耐磨带磨损情况见图1)。根据实测数据分两段拟合出钻杆耐磨

收稿日期 2004-12-03

作者简介 李建山(1972-)男(汉族),山西人,中石化华北石油局第九普查勘探大队副大队长、钻井工程师,石油工程专业,从事石油钻井施工与管理工作,山西省晋中市榆次区道北街99号。

带的磨损方程:

$$y = 0.006x + 0.4388 \quad (1)$$

$$y = 0.00008x^2 - 0.0011x + 7.3658 \quad (2)$$

式中: y ——耐磨带磨损量, mm; x ——研磨时间, min。

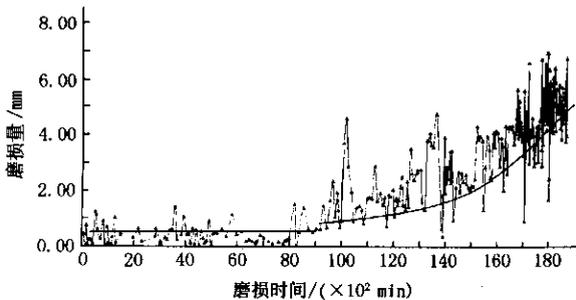


图1 钻杆耐磨带磨损监测分析图

2 钻杆接头偏磨及耐磨环失效原因分析

2.1 地层研磨性强

钻杆在工作过程中,其外壁尤其是接头部位要与井壁或套管接触,承受剧烈的磨料磨损,特别是下部目的层段使用屏蔽暂堵钻井液时,钻杆工作在含砂多(含砂量有时高达5%~10%)、粘度高、相对密度大,并且有一定腐蚀性的钻井液中。因此钻杆在承受磨料磨损的同时还承受冲蚀磨损。从磨损机理来说,钻杆的磨损主要是显微切削,同时兼有腐蚀作用。

井壁和钻井液中一般都有硬度很高的固相如石英砂,其硬度为HV300~1280,而钻杆接头硬度一般为HV300左右,因此钻杆在旋转钻井过程中,接头外壁很容易发生磨料磨损失效。磨料磨损失效与敷焊材料的硬度和地层硬度的相对大小、钻杆构件与井壁的相对运动速度、材料特性、载荷情况、表面粗糙度、温度及润滑等因素密切相关。

鄂北大牛地工区钻遇地层地质年代跨度大,自新生界第四系风化流砂到下古生界的奥陶系石灰岩、片麻岩等,上古生界钻遇地层主要以砂泥岩为主,并普遍含有砾石。地层岩石中非粘土矿物石英含量一般在10%~60%^[2],下部目的层高达85%以上。砾石成分主要有石英、燧石等,胶结物以钙质为主^[3]。综合分析认为地层研磨性强、长裸眼井身结构导致钻杆偏磨、耐磨带失效几率增加。

2.2 钻杆井下工况影响

钻杆在井内以转盘的转数按顺时针方向绕自身轴线旋转时,由于离心力的作用钻杆接头均有贴向井壁的可能,与井壁间产生摩擦力,整个弯曲的钻柱各处接头将会以各自所处的条件,以一定的转速按

反时针方向绕井眼轴线旋转,即产生反转运动(见图2)。

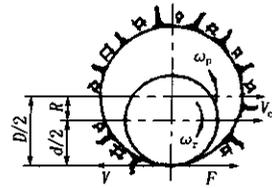


图2 钻杆反转运动示意图

研究表明:钻具的反转运动无论是空转时还是钻井过程中,在受压和受拉段均会出现,钻具与井眼的环隙愈小,转盘转速愈高,愈容易出现反转运动;钻杆接头反转运动的轨迹不是圆周运动,它时刻改变而且不具有规律性,钻杆接头并不总是与井壁保持接触,常常有跳离和敲击井壁的现象。且转盘转速愈高,接头与井壁间隙愈小,敲击频率愈高。

研究认为,当钻杆接头沿井壁作纯滚动时摩擦力是反转运动的动力,也是构成旋转钻柱功率消耗的主要成分。

且钻柱反转速度(n_p)与转盘速度(n_r)有关系式:

$$n_p = [d/(D-d)]n_r = \beta n_r \quad (3)$$

式中: d ——回转体的外径,m; D ——井筒直径,m; R ——回转体贴井壁反转时的回转半径,m; n_p ——钻柱的反转转速,r/min; n_r ——钻柱的自转转速,r/min; β ——回转体的直径与双面环隙的比值, $\beta = d/(D-d) = d/(2R)$ 。

钻柱空转时的扭矩消耗(M_{ds})随转盘转速的提高,扭矩会大幅度地增加,消耗在旋转钻柱的功率可高达转盘功率的80%以上。

$$M_{ds} = KM_1 = KFd/2 \quad (4)$$

式中: M_{ds} ——单个接头反转时的摩擦阻力矩,N·m; K ——钻柱与井壁相接触的接头数; M_1 ——任一接头的摩擦力矩,N·m; F ——接头与井壁的摩擦力,N。

反转运动普遍存在,钻杆在筒形井壁中反转运动更多的是带滑动的滚动,这是钻杆接头外径和耐磨带磨损的根本原因。钻杆接头所接触的井壁不同,磨损速度也不一样。井中的磨砾性颗粒的含量和物性对其磨损速度有很大影响。由公式(3)分析,在一定转速下,钻杆接头反转转速是钻柱自转转速的 β 倍。 β 值愈大,接头的反转角速度和离心力愈大,接头与井壁间的摩擦力也就愈大,加之实际上接头的运动并非纯滚动,故在其他条件相同的情况

下,同一直径的钻杆接头在小直径井中工作时,磨损必然加大。在高 β 值(小环隙)时,钻柱的扭矩会急剧增加。由公式(4)反推出的平均摩擦力必然大,同样可以证明小环隙井中的钻杆接头与套管间的彼此磨损会加剧。

当井间隙很小时,钻杆接头会频繁地跳离和敲击井壁,尽管此时反转角速度不因 β 值的增大而线性增加,然而由于敲击现象存在,其磨损就不完全是摩擦磨损而是具有冲击磨损性质了。旋转钻柱沿井壁作无滑动的滚动,定会使套管产生均匀磨损。对套管中出现沟槽状的磨损,一般说来应着重考虑是因起下钻柱而引起的,不应认为主要是钻杆接头在磨蚀性钻井液中作贴于井壁绕自身轴线旋转所造成。如果套管由于起下钻柱在某些段已形成了沟槽,使钻杆接头在这些段的滚动时出现冲击,必将加剧其不规则的彼此磨损^[4]。研究认为受压钻杆在不同转速条件下的横向运动表现出有规则摆动、无规则摆动和规则反转运动三种状态。随转速的增加,钻杆运动逐渐由有规则摆动向无规则摆动和规则反转运动转化。随着钻压增加,底部钻柱的运动状态由规则摆动向无规则摆动和规则反转运动转变的转速临界值也增加^[5]。

钻杆耐磨带的磨损与井眼轨迹变化、井壁岩石性质和泥浆性能关系密切,反转运动的直接后果是使钻杆偏磨和磨损,使钻具承受高频应力而导致钻具疲劳破坏。钻杆的井下旋转的不定性、与井壁摩擦、碰撞、磨削的客观存在必然影响着钻杆偏磨及耐磨带失效。在致密砂岩、灰岩和白云岩井段,采用无固相或低固相钻井液,由于不能形成泥饼或泥饼质量很差,钻杆和刚度较大岩石碰摩形成的反转运动对钻柱的损坏不容低估。在高深透性砂岩井段,泥饼过厚或压差也会引起强烈的反转运动。反转运动是不可避免的,反转运动的存在使钻杆在井下旋转工况恶化而引起接头偏磨和耐磨环失效。

2.3 耐磨材料的选择及敷焊工艺

接头外表面的磨损机理以显微切削为主同时兼有腐蚀作用。对于这种磨损其基本对策是大幅度提高接头工作面的硬度。一般接头寿命约为管体寿命的几分之一,如果在接头外径部分敷焊耐磨带,可大幅度提高接头的耐磨性,延长使用寿命。为了提高接头的使用寿命,目前外表面喷涂或堆焊耐磨合金带的方法在国内外已被广泛采用。

多年的实践表明,采用碳化钨耐磨带在裸眼中能较好地保护钻杆,但其与套管的摩擦力较大,无论

对套管还是钻杆接头磨损都比较快,因此在国际钻井工程招标中和国内较深井都被禁止使用^[6]。不同敷焊材料对套管磨损对比情况见图3。

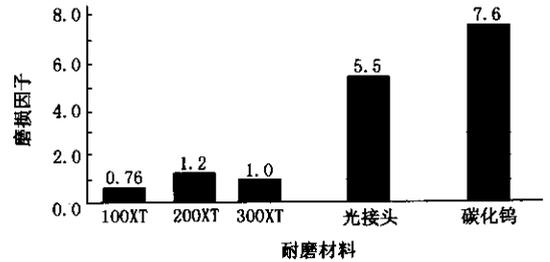


图3 套管磨损因子对比图

2.3.1 钻杆耐磨敷焊材料

目前我国的钻杆耐磨敷焊材料(见表1)主要以美国 ARNCO 公司的 ARNCO - 100XT、200XT、300XT 和国产金凌达的 EFD - 1 - 50、2 - 55、3 - 60 焊丝以及 PR 系列的铁基、碳化钨基自熔性合金粉末为主。针对深井、超深井磨损技术套管问题,从保护套管出发,美国 ARNCO 公司先后开发了 ARNCO100 ~ 400XT 系列耐磨带敷焊材料。从性能价格对比,铁基粉类价格偏低,进口焊丝价格偏高,各油田企业难以承受。不同敷焊材料耐磨性能对比情况见图4。

表1 国内目前常用钻杆耐磨敷焊材料表

敷焊材料	主要成分	耐磨带硬度	敷焊工艺
100XT	铁、铬、碳	HRC58 ~ 61	NBC 自动气体保护堆焊
200XT	铬、碳、锰	HRC58 ~ 61	NBC 自动气体保护堆焊
300XT	碳、锰、硅、镍、硼、钨	HRC61 ~ 65	NBC 自动气体保护堆焊
EFD - 1 - 50	铬、碳、锰、钨、磷、硫	HRC50 ~ 55	NBC 自动气体保护堆焊
EFD - 2 - 55	铬、碳、锰、钨	HRC55 ~ 60	NBC 自动气体保护堆焊
EFD - 3 - 60	碳化钨、铁	HRC65 ~ 67	NBC 自动气体保护堆焊
PR3321	铬、硼、硅、碳、铁	HRC55 以上	DP 自动气体保护喷涂堆焊
PR3332	镍、铬、硼、硅、碳、铁	HRC55 ~ 60	DP 自动气体保护喷涂堆焊
YZ20 - 80	碳化钨、铁	HRC89 ~ 92	氧 - 炔焰手工堆焊
FA - 60	铁、铬、碳	HRC50 ~ 55	DP 自动气体保护喷涂堆焊

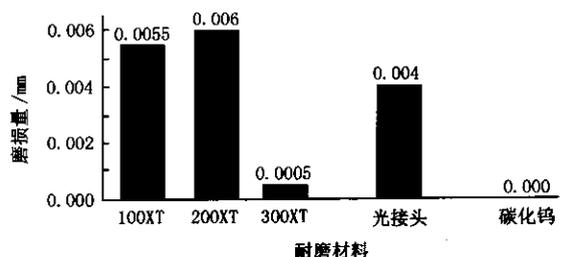


图4 钻杆接头耐磨带在套管中的径向磨损对比图

2.3.2 钻井耐磨带常用的敷焊工艺

常用的敷焊工艺有钻杆接头铠装焊、氧 - 炔焰堆焊、等离子堆焊、自动气体保护堆焊等。焊接设备一般选用自动或半自动气体保护焊机(如 DP - 500、NBC - 500)。针对不同耐磨材料选择不同的敷焊工艺, 要求耐磨带敷焊宽度 30 ~ 50 mm, 高度 2.5 mm 以上, 耐磨带表面鱼鳞状花纹均匀、致密、平整、光滑, 无过多残渣、飞溅, 无咬边现象, 边缘齐整; 与基体熔合较好, 无较大裂纹和针孔, 无脱落、掉块。焊前的预热、焊后的回火保温在一定程度上影响着耐磨带的性能, 多数钻杆耐磨敷焊材料存在碳冷裂、热微裂及铬冷裂现象。现场常用的钻杆耐磨敷焊工艺有: 铠装焊、氧 - 炔焰堆焊、自动气体保护喷涂或堆焊。

2.3.2.1 钻杆接头铠装焊

钻杆接头的铠装面通过电弧的短暂高温加热呈熔融状态, 与加入的耐磨材料(一般采用铸造 WC) 融合在一起, 冷却后形成约 3 ~ 6 mm 的耐磨带。耐磨层略高出接头表面, 硬度达 HRC55 以上, 具有较高的耐磨性。

2.3.2.2 氧 - 炔焰堆焊

将管装粒状 WC 焊条熔化后, 在钻杆接头外表面堆焊成耐磨层。堆焊温度一般为 1600 ~ 1700 °C, WC 不会发生组织转变仍保持其本身的高硬度和高耐磨性。在堆焊过程中, 铸造 WC 并不熔化, 而是借助焊条钢管与接头基体金属的熔化被粘在一起的, 耐磨层有细小裂纹, 会出现焊层掉块现象。

2.3.2.3 自动气体保护喷涂或堆焊

自动气体保护喷涂或堆焊就是使用特殊结构的焊枪产生等离子弧、埋弧, 在接头的表面融化堆上一层敷焊材料。这种方法熔深小、堆焊硬度合金稳定、组织均匀、无夹渣、不易产生裂纹和气孔。

目前鄂北工区多采用铁基粉类等离子喷涂堆焊耐磨带, 敷焊时不预热, 焊后采用铝 - 硅棉保温套保温 10 min 左右。如敷焊的 FA - 60 铁基粉耐磨带有明显的裂纹、掉块、咬边现象, 使用寿命不超过 3000 m。主要原因是耐磨材料偏软, 较高碳含量致使涂层组织中弥散分布的碳化物、硼化物硬质相的过共晶莱氏体等碳冷裂, 选择敷焊材料时没有针对长裸眼井身结构、地层的强研磨性的鄂北工区具体情况。

3 建议和结论

3.1 几点认识

从鄂北大牛地工区地层、钻杆耐磨材料特性对

比分析得出以下结论。

(1) 地层研磨性强、长裸眼井身结构导致钻杆偏磨、耐磨带失损几率增加。

(2) 直罗组以浅地层研磨性一般, 下部地层自延安组地层以下研磨性随井深增强; 反转运动普遍存在, 钻杆在筒形井壁中反转运动更多的是带滑动的滚动, 这是钻杆接头外径和耐磨带磨损的根本原因。

(3) 采用碳化钨耐磨带在裸眼中能较好地保护钻杆, 但其强硬的碳化钨与套管的较大摩擦力无论对套管还是钻杆接头磨损都比较快; ARNCO100 ~ 400XT 系列耐磨带敷焊材料摩擦系数小, 耐磨性与碳化钨接近, 可以在钻杆接头与套管间形成摩擦副以有效地解决保护钻杆接头和套管的问题。

3.2 几点建议

大牛地工区钻杆耐磨带失效的主要对策或建议:

(1) 加强钻机设备安装质量控制, 确保天车、转盘、井口三点一线垂直, 加强一开井段防斜控制, 保证表层套管垂直居中, 以防止或减轻钻杆接头磨套管。

(2) 钻杆接头敷焊碳化钨系列(如 EFD - 3 - 60) 耐磨材料, 提高耐磨带的强度, 解决在地层中石英等高磨砾含量强研磨性, 长段裸眼钻进过程中地层、钻井液中尖锐棱角固相对钻杆接头耐磨带的磨损问题。

(3) 加强钻井液固相的控制, 减轻钻杆接头钻进过程中的磨料磨损问题。

参考文献:

- [1] 宝钢钢管分公司石油钻杆研究所. 国内外高强度钻杆技术质量评述[Z]. 2001.
- [2] 雷耀州. 油气田地层特性与钻井液技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [3] 贾会冲. 鄂北塔庙地区上古生界储层发育的控制因素[J]. 天然气工业, 2001 (增刊).
- [4] 章杨烈. 钻柱运动学与动力学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [5] 管志川. 关于提高深井钻速相关问题的探讨[D]. 石油大学, 2003.
- [6] 汤大丰. 钻杆接头耐磨带论文集[M]. 美国安科技术公司, 2001.
- [7] 刘杰. 鄂北塔庙工区钻具失效原因分析与对策[A]. 中国石化石化工程技术与物装手册[C]. 北京: 中国财政经济出版社, 2004.
- [8] 刘杰, 等. 鄂北工区 G - 105 钻杆失效原因的探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程) 2004, 31(7).