

塔河油田稠油有杆泵井杆断裂研究与治理对策

袁波, 涂东, 杜林辉, 蒋磊, 王磊磊

(中国石化西北油田分公司塔河采油二厂, 新疆轮台 841604)

摘要:通过对塔河油田采油二厂杆断裂情况、监测的功图载荷及杆柱应力评价、注气及断杆腐蚀情况、断杆前的生产异常情况的综合分析, 结合送检断裂杆的失效分析报告, 认为抽油杆断裂主要影响因素是高负载、高交变载荷下的疲劳断裂以及注气及硫化氢腐蚀; 通过进一步分析认为: 泵型的合理选择、泵深的合理确定、杆柱设计的优化、严格的生产管控及抽油杆的合理优选可以有效地降低抽油杆断裂几率。

关键词: 抽油杆; 交变载荷; 疲劳断裂; 塔河油田

中图分类号: TE2

文献标识码: A

Research of fractured sucker rod in heavy oil of Tahe Oilfield and countermeasures

Yuan Bo, Tu Dong, Du Linhui, Jiang Lei, Wang Leilei

(Tahe No.2 Oil Production Plant, SINOPEC Northwest Company, Luntai, Xinjiang 841604, China)

Abstract: Through the comprehensive analyses of the rod fracture situation, the diagram of load monitoring, the rod stress evaluation, the fractured sucker rod corrosion and the abnormal situation before broken, combined with the failure analysis report of fractured rod, the main influencing factors of sucker rod fracture mainly include high load, high alternating load and corrosion of hydrogen sulfide and injection gas. The reasonable choice of pump and pump depth, the optimization of rod string design, the strict production control and the reasonable optimization of pumping rod can effectively reduce the probability of sucker rod fracture.

Key words: sucker rod; alternating load; fatigue fracture; Tahe Oilfield

塔河油田位于新疆巴音郭楞蒙古自治州轮台县与库车县境内, 主力油藏为奥陶系碳酸盐岩缝洞型油藏, 平均井深 6 200 m, 原油密度 0.693 5~1.072 4 g/cm³, 黏度大于 10×10⁴ mPa·s, 硫化氢浓度 150~20 000 mg/L, 属于典型的超稠油油藏, 开采难度极大^[1-2]。随着油田挖潜力度加大, 地层能量逐渐下降, 有杆泵采油成为主要的机械举升方式^[3]。由于抽油杆疲劳强度加大, 杆断裂井次不断增加, 因此迫切需要对有杆泵井断裂情况进行分析, 寻找解决抽油杆断裂的方法。

1 抽油杆断裂现状及特征

1.1 应用的抽油杆类型

塔河油田采油二厂有杆泵井应用的抽油杆类型为 HL 型抽油杆, 属于材料型超高强度 H 级抽油杆, 该型号抽油杆的主要技术参数见表 1^[4-5]。

1.2 抽油杆断裂现状

截至 2014 年 6 月底, 全厂有杆泵井 344 口, 占机械采油井数的 75.3%, 是最主要的稠油机械举升

方式。自 2013 年以来, 有杆泵井杆柱断裂井次快速增加, 其中 2014 年上半年抽油杆断裂 30 井次, 是 2012—2013 年断杆井次的总和, 断杆检泵占总检泵井次的 58.8% (表 2), 抽油杆断裂已成为有杆泵井检泵的最主要原因。

2 抽油杆断裂原因的分析及认识

2.1 抽油杆断裂特征及认识

2.1.1 断裂井主要集中在 70/32 大排量抽稠泵井
断杆井泵型统计表明, 70/32 大排量抽稠泵占比为 66.7%, 显著高于 56/38 小排量抽稠泵, 且寿命仅 195 d。根据抽稠泵的杆柱受力分析^[6], 在相同井况条件下, 70/32 泵承受的交变载荷, 较 56/38 泵大 129%。在高载荷及高交变载荷下, 产生疲劳裂纹及断裂的速度越快, 因此 70/32 抽稠泵杆柱断裂井次多于其他泵型。

2.1.2 断裂深度由杆柱中下部上移至上部

从杆柱断裂情况看, 在泵挂深度不断上提 (2 601 ↑ 2 449 m) 的情况下, 杆断裂井次由 10 井

表 1 各型号抽油杆技术参数

Table 1 Main technical parameters for sucker rod

等级	材料	机械性能 Mechanical properties					
		抗拉强度/MPa	屈服强度(0.2%的残余变形)/MPa	伸长率 A200 mm/%	断面收缩率/%	表面硬度	心部硬度
C	优质碳素钢或合金钢	620~795	≥415	≥13	≥50		
K	镍钼合金钢	620~795	≥415	≥13	≥60		
D	优质碳素钢或合金钢	795~965	≥590	≥10	≥50		
KD	镍钼合金钢	795~965	≥590	≥10	≥50		
HL	合金钢	965~1 195	≥795	≥10	≥45		
HY	合金钢	965~1 195				≥42	≥224

表 2 塔河油田采油二厂近 3 年有杆泵井断裂状况对比

Table 2 Sucker rod fracture in the past 3 years in Tahe No.2 Oil Production Plant, Tahe Oilfield

年度	有杆泵井数/口	检泵井次/口	断杆井次/口	断杆检泵占比/%
2012 年	230	67	10	14.9
2013 年	327	68	21	30.9
2014 年上半年	344	51	30	58.8

次上升至 30 井次,断裂位置由 2012 年的杆柱中下部断裂变化为杆柱上部断裂。主要原因是:油井供液能力下降,导致杆柱最大载荷及交变载荷增加;油井含水上升,硫化氢腐蚀及氢脆越来越严重;杆柱设计的变化,1"抽油杆交变载荷或应力增加幅度大。

2.1.3 断裂位置主要集中在抽油杆墩粗位置

从杆柱断裂位置看,断裂部位主要集中于抽油杆墩粗位置,达 37 井次,占总断裂井次的 61%。断裂部位集中于抽油杆墩粗部位,主要是由于抽油杆墩粗部位是整个抽油杆应力比较集中的地方,因此断杆多集中于此位置。

2.1.4 断裂井交变载荷大,有稠油上返现象

断裂抽油杆井均表现出交变载荷高、运行寿命短的特点。有 28 口井(占比 55%)在断杆前有稠油上返的现象,说明在杆断裂前,杆柱承受的交变

应力将更大。

2.1.5 断裂井主要集中于高含硫化氢井及注气井

从断裂井硫化氢含量分布看,杆断裂井中硫化氢含量大于 $5\ 000 \times 10^{-6}$ 共有 40 井次,占比高达 78.4%,显著高于低含硫化氢井。

从断裂井含水情况看,有 27 井次平均含水 55.3%,寿命仅 130 d,起出的断裂抽油杆发现有明显的腐蚀现象。

塔河油田采油二厂从 2013 年开始进行注 N_2 采油,截至 2014 年 6 月底总共对 78 口井注气 102 轮次。由于注入 N_2 含氧量在 5% 左右,且为降低注入压力进行伴注水,注气后油井的管柱、杆柱及泵存在不同程度的腐蚀现象(图 1)。注气井杆断裂井次从 2013 年的 2 井次快速增加至 2014 年的 13 井次。

2.2 杆断裂的失效检测分析及认识

2.2.1 杆断裂的失效检测分析

2014 年 3 月,针对稠油有杆泵井杆断裂井次多、寿命短的问题,选取 TH12333 和 TH12132 井 2 个断裂抽油杆样品,委托西安摩尔石油工程实验室有限公司(中国机械工程学会失效分析分会会员单位)做抽油杆失效分析。依据 SY/T 5029-2006 等标准^[4-5],对所送抽油杆进行宏观分析、理化检



a. 断裂抽油杆上的坑状腐蚀

b. 注气井断裂抽油杆腐蚀

图 1 断裂抽油杆上的腐蚀情况

Fig.1 Corrosion pits on cracked sucker rod

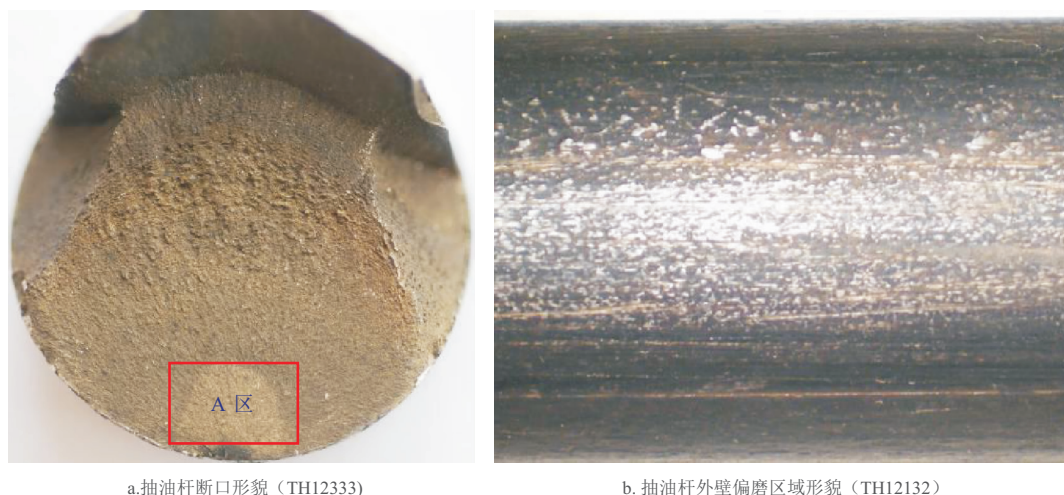


图 2 抽油杆断裂形貌

Fig.2 Morphology of sucker rod fracture

表 3 TH12333 井杆体拉伸及冲击性能试验

Table 3 Tests of rod body tensile and impact properties in well TH12333

杆体拉伸性能试验			杆体冲击性能试验		
测试项目	抽油杆	SY/T 5029-2006	测试项目	抽油杆	SY/T 5029-2006
R_m /MPa	1 152	965~1 195	1	97.7	
Rel/ MPa	1 082	≥795	2	88.8	
A/%	11.6	≥10	3	92.8	≥60
Z/%	49	≥45	平均值	93.1	

验、金相分析及微观分析,主要检测结果如下:

(1)该井断裂从 A 区(断口源区,图 2a)开始,垂直于杆体轴线内部,直至裂纹扩展至对侧面而最终断裂。另外,TH12132 井抽油杆断口附近杆外壁一侧存在明显的偏磨现象(图 2b)。

(2)理化检验表明,所送抽油杆材质、力学性能(冲击、拉伸和硬度)符合 SY/T 5029-2006 标准对 HL 级抽油杆的要求(表 3)。

(3)金相分析表明,两井断裂抽油杆本体金相组织为回火索氏体,外壁组织较亮,存在脱 C 现象。

(4)微观分析表明,TH12333 井断口源区半圆形区域内存在一层腐蚀产物;断口源区附近的扩展区存在疲劳辉纹;扩展区其他部位晶粒间存在撕裂棱,为氢脆特征;断口源区可扩展区 EDS 分析表明源区中 O 元素和 S 元素含量较高,说明断裂前存在腐蚀情况。TH12132 井断口扩展区全为韧窝形貌,为典型的韧性断裂特征。

2.2.2 杆断裂失效检测分析的认识

(1)两井所用抽油杆拉伸性能及冲击性能均符合 SY/T 5029-2006 标准对 HL 级抽油杆的要求。

(2)TH12333 井杆断裂认识:抽油杆在高载荷及高交变负载下产生疲劳裂纹,在高含硫化氢及含

水环境下,裂纹尖端聚集大量 H 原子,使钢的塑性下降、裂纹扩展,最终导致抽油杆断裂。

(3)TH12132 井杆断裂认识:注水后初期能量强、油稠导致杆柱弯曲偏磨,在弯曲应力下,一侧容易产生裂纹;由于能量下降快,抽油杆最大拉应力及交变应力均较大且在快速变化,易产生疲劳裂纹或使已存在的裂纹扩展,而稠油上返进一步加大该裂纹,最终导致杆断裂。

2.3 杆断裂原因的综合认识

(1)目前塔河油田采油二厂抽油杆断裂至少受 4 种因素影响:高载荷及高交变载荷、杆柱弯曲应力、硫化氢腐蚀及硫化氢氢脆。高载荷及高交变载荷是杆断裂的主要因素,硫化氢腐蚀、氢脆及弯曲偏磨是杆断裂的次要因素。

(2)能量下降、含水上升、抽稠泵泵型增大、杆柱设计变化、掺稀优化引起的混合液液体黏度增加、稠油上返以及注气腐蚀,是导致近两年来抽油杆断裂井次显著增加、断裂深度上移的主要原因。

3 抽油杆断裂治理对策

3.1 加强选型设计配套的优化管理

(1)选泵选型:泵型设计要尽量在追求产量及

杆柱寿命之间平衡。

(2)杆柱设计:等应力设计是以某一稳定黏度进行设计,受掺稀优化黏度增加及稠油上返影响,导致 1"杆柱变成杆柱系统薄弱点,断裂较多。目前设计已优化为 1"杆顶部应力比 $<7/8 < 3/4$ ",差距在 15%左右,达到 2 个目的:①降低杆柱载荷;②提高 1"杆安全系数。同时在杆柱中性点^[7]上部及 7/8"杆之间增加 2 个防脱器,以预防设计优化后下部杆柱断脱的增加。

(3)泵挂深度确定:2013 年提高各型号抽稠泵泵筒强度,且全面推广应用了泵下加深尾管设计,以提高稀稠油混配效果^[8]。在此基础上,70/32、70/44 抽稠泵泵深由 2 400~2 600 m \uparrow 2 000~2 200 m,56/38 抽稠泵由 2 800 m \uparrow 2 400 m,以进一步降低杆柱载荷及应力^[9-10]。

(4)抽油机配套:目前主要抽油机类型已由原来的 14 型及 16 型游梁式抽油机转变为 900 型长冲程抽油机。长冲程、低冲次及更低的加速度及惯性载荷,更加适合于稠油井的举升^[11-12]。

(5)抽油杆选用:一是严禁新旧抽油杆混用;二是高产井及高载荷井选用新抽油杆。

3.2 加强有杆泵井的生产管理

(1)加强有杆泵井的生产管理:一是根据油井生产情况及地面集输系统等的要求,确定有杆泵井举升混合液的合理经济黏度,并确保稳定;二是定期对杆柱应力状况进行评价,及时对工作制度进行合理优化。

(2)定期对地面掺稀系统进行排查,确保掺稀注入平稳。

(3)规范有杆泵井异常的处理,严格禁止稠油上返后采用间抽措施。

3.3 其他治理建议

(1)推广应用稠油减载器;(2)超高强度杆表面硬度高,不适合在腐蚀严重的环境中使用。建议开展调研,以选用更加适合稠油有杆泵工况环境的抽油杆。

参考文献:

[1] 王世杰,林江,梁尚斌.塔河油田碳酸盐岩深层稠油油藏开发实践[M].北京:中国石化出版社,2005:121-134.

[2] 张荣军,李海军,任月玲.塔河油田深层稠油掺稀降黏技术[J].西安石油大学学报,2009,24(3):84-87.

[3] 吴健,朱明,曹光朋,等.液压反馈式抽稠泵抽油系统悬点载荷计算[J].石油钻采工艺,2011,33(5):76-78.

[4] 国家发展和改革委员会.SY/T 5029-2006 抽油杆[S].2006-11-03.

[5] 国家能源局.SY/T 5643-2010 抽油杆维护和使用推荐作法[S].2010-08-27.

[6] 袁波,杜林辉,梁志艳,等.稠油掺稀液压反馈式抽稠泵杆柱设计优化[J].西南石油大学学报,2013,35(5):157-164.

[7] 马建杰,杨海滨,李汉周,等.抽油杆中性点的计算方法研究[J].钻采工艺,2001,34(4):63-65.

[8] 杜林辉,梁志艳,蒋磊,等.稠油机采泵深与掺稀混配点分离设计及应用[J].特种油气藏,2014,21(3):145-147.

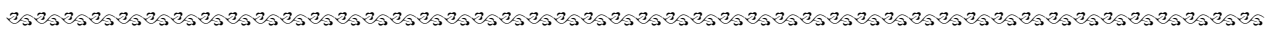
[9] 甘振维,赵普春.塔河油田机抽井合理沉没度分析[J].中外能源,2008,13(1):40-44.

[10] 杨志,梁政,祝新清,等.抽油机井合理下泵深度的优化设计[J].西南石油大学学报,2007,29(5):149-151.

[11] 杨献平.钢质连续抽油杆配套皮带抽油机实现深抽工艺[J].石油矿场机械,2005,34(3):90-93.

[12] 周汉鹏,但永军,张建成,等.稠油热采井用抽油机的选型与使用[J].新疆石油科技,2013,23(4):37-40.

(编辑 徐文明)



(上接第 134 页)

参考文献:

[1] 冯定,李成见,薛敦松.油水乳化作用对潜油电泵黏温特性的影响[J].石油学报,2008,29(1):132-134.

[2] 孙粤华,贾星兰.潜油电泵系统的安全评价方法研究[J].石油矿场机械,2003,32(5):15-17.

[3] 张玉斌,于海春.潜油电泵机组可靠性研究[J].石油学报,2003,24(4):103-107.

[4] 董振刚,张铭钧,庞向东,等.潜油电泵油嘴调参与变频调参与对比分析[J].石油钻采工艺,2008,30(1):54-57.

[5] 杜林辉,刘玉国,刘瑞,等.超稠油潜油电泵尾管装置的研制与应用[J].石油钻采工艺,2013,35(4):103-105.

[6] 董振刚,张铭钧,张雄,等.潜油电泵合理选配工艺研究[J].石油学报,2008,29(1):128-131.

[7] 刘敏林,高祺,李杰.原油粘度及其对潜油电泵性能的影响[J].油气采收率技术,1999,6(2):72-75.

(编辑 黄娟)