

气体钻井钻铤磨损后的安全性分析

祝效华¹, 刘少胡¹, 陈绍安², 单代维², 闫明明³

(1. 西南石油大学机电工程学院, 四川成都 610500; 2. 中国石油川庆钻探工程有限公司川东钻探公司, 重庆 400021; 3. 大港油田集团中成机械制造有限公司, 天津 300280)

摘 要: 气体钻井中, 由于缺少钻井液润滑, 钻铤与井壁容易发生剧烈摩擦碰撞, 导致钻铤快速磨损, 严重时造成钻具失效。首先, 分析了钻铤磨损形貌, 发现主要有均匀磨损、一侧偏磨和两侧偏磨 3 种情况。然后, 针对气体钻井钻铤磨损较为严重的问题, 基于川东北地区 LJ-1 井 NC61-90 钻铤磨损失效数据和剩余强度、剩余强度率、强度校核、安全系数方法, 建立了磨损后钻铤的有限元模型, 对钻铤均匀磨损、一侧偏磨和两侧偏磨后的剩余强度、剩余强度率和安全系数进行了计算分析。结果表明: 钻铤磨损后剩余强度降低较快, 磨损较严重钻铤的强度和安全系数较低, 其原因为磨损钻铤壁厚局部变薄, 且在钻井过程中承受非均匀载荷。建议气体钻井采用低转速的空气锤钻井工艺, 也可适当使用气体钻井专用稳定器, 并加强对磨损钻铤的管理。

关键词: 气体钻井 钻铤 磨损 安全分析 剩余强度 强度校核

中图分类号: TE921⁺.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2011)06-0095-04

Safety Analysis on Worn Drill Collar in Gas Drilling

Zhu Xiaohua¹, Liu Shaohu¹, Chen Shaoan², Shan Daiwei², Yan Mingming³

(1. College of Mechatronic Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China; 2. Eastern Sichuan Drilling & Exploration Co., CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Limited, Chongqing, 400021, China; 3. Zhongcheng Machinery Manufacturing Co. Ltd., Da-gang Oilfield Group, Tianjin, 300280, China)

Abstract: In gas drilling, severe friction and collision may occur between drill collar and well wall due to the lack of the lubrication of drilling fluid. Therefore the drill collar wears rapidly, and may cause failure under complex loads. The worn morphology of drill collar was analyzed and results showed that there are uniform wear, one-side wear and two-side wear. On the basis of data of NC61-90 drill collar failure of Well LJ-1 in northeastern Sichuan and theory of residual strength, residual strength ratio and safety factor, a finite element model was established. The residual strength, residual strength ratio and safety factor were calculated for uniform, one-side and two-side wear respectively. The simulation results showed that the worse of the drill collar wear, the residual strength declines quicker and the strength and safety factor were lower. The reason was that the non-uniform load happened to the worn drill collar while drilling, because of the reduced local thickness of worn drill collar. It is suggested to use low rotate speed of air hammer or the suitable stabilizer in the process of gas drilling, as well as strengthen the management of worn drill collar.

Key words: gas drilling; drill collar; wear; safety analysis; residual strength; strength check

气体钻井因其在钻井提速、发现和保护油气层、防漏等方面有优势, 而在国内外被广泛应用。川渝地区气体钻井实践表明, 相比于常规钻井液钻井, 气体钻井平均机械钻速提高 2~14 倍^[1]。但是, 气体钻井时钻具容易因摩擦磨损等原因而失效^[2-6]。其中, 钻铤失效发生的概率很高, 如文献[7]统计的 45 起钻具失效事故中, 钻铤失效 13 起, 占失效总数的 28.9%。

收稿日期: 2010-12-07; **改回日期:** 2011-10-11。

作者简介: 祝效华(1978—), 男, 山东菏泽人, 2000 年毕业于西南石油学院机械制造专业, 2005 年获西南石油大学机械设计及理论专业博士学位, 副教授, 主要从事杆管柱力学及井下工具等方面的科研工作。

联系方式: (028)83037226, zxhth113@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目“气体钻井钻具与井壁碰摩机理及量化评价方法研究”(编号:50804040)部分研究内容; 国家自然科学基金项目“高温腐蚀环境下套管的结构完整性评价方法研究”(编号:51004082)和油气藏地质及开发工程国家重点实验室开放基金项目“高温腐蚀环境下热采井筒的结构完整性评价研究”(编号:PLN0912)资助。

目前,关于气体钻井钻铤失效问题的研究,主要集中于钻铤失效机理分析和预防措施研究方面,对钻铤基于剩余强度、剩余强度率、强度校核和安全系数等的安全评定研究较少。磨损后,钻铤壁厚变薄、钻铤等级降低,再下井易塑性变形或断裂,所以有必要对其进行安全性评估,以有效预防或减少钻铤断裂失效事故的发生。

1 钻铤磨损后的形貌

现场钻铤摩擦磨损主要有均匀磨损、一侧偏磨和两侧偏磨3种形式^[7],其磨损后的结构如图1(图中 O 为钻铤轴心, d 为钻铤外径, b_1 和 b_2 为钻铤两侧磨损的最大厚度)^[8]所示。

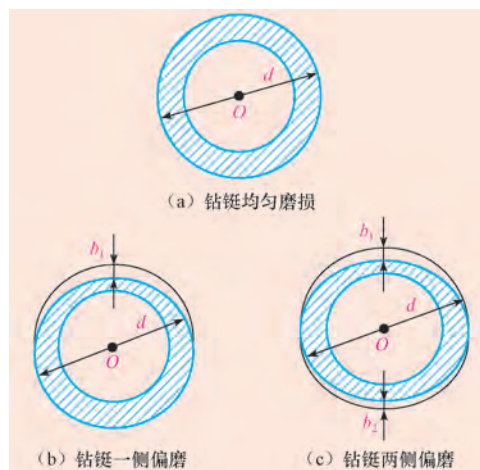


图1 现场钻铤磨损形式

Fig. 1 Schematics of worn drill collar

2 钻铤安全评价方法

笔者应用剩余强度、剩余强度率、强度校核和安全系数方法^[9-11]对磨损后钻铤的安全性能进行了评价。

磨损后钻铤剩余强度 σ_r 是指钻铤材料的屈服强度减去磨损后钻铤的最大等效应力强度,其关系式为:

$$\sigma_r = \sigma_s - \sigma_R \quad (1)$$

式中: σ_r 为剩余强度,MPa; σ_s 为钻铤钢材的屈服强度,API规范的钻铤最小屈服强度为689 MPa; σ_R 为磨损后钻铤的最大等效应力强度,MPa。

剩余强度率:

$$\delta_r = \frac{\sigma_r}{\sigma_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中: δ_r 为剩余强度率,%。

若剩余强度 $\sigma_r = 0$,即钻铤内的最大等效应力

强度等于钻铤的屈服强度,此时钻铤进入塑性状态。

根据应力强度 σ_i 对磨损后的钻铤进行强度校核,其计算公式为:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2} < \sigma_s \quad (3)$$

式中: σ_i 为应力强度,MPa; σ_r 为径向应力强度,MPa; σ_θ 为周向应力强度,MPa; σ_z 为轴向应力强度,MPa。

若 $\sigma_i < \sigma_s$ 则钻铤处于弹性状态,否则处于塑性状态。

因为应力从钻铤内壁到外壁是变化的,因此取其最大值进行安全系数的计算。

$$S_a = \frac{\sigma_s}{\sigma_{i \max}} \quad (4)$$

式中: S_a 为安全系数; $\sigma_{i \max}$ 为截面上的最大应力,MPa。

3 实例计算分析

川东北地区LJ-1井大尺寸钻铤失效居多^[7],基于此对磨损后的NC61-90钻铤进行了安全性分析,对该钻铤均匀磨损、一侧偏磨和两侧偏磨情形下的剩余强度、剩余强度率和安全系数分别进行了计算。其有限元力学模型如图2所示(钻铤一端固定一端自由,自由端受轴向载荷 F 和一个周向的扭矩 M_n)。

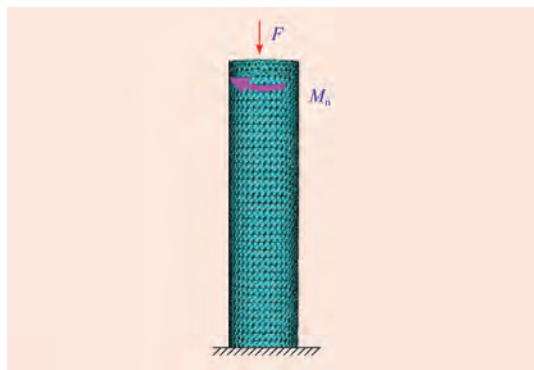


图2 钻铤有限元力学模型

Fig. 2 FEM Mechanical model of drill collar

3.1 钻铤磨损对剩余强度的影响

为了进行对比,首先计算了扭矩6 kN·m下未磨损钻铤在不同轴向载荷下的剩余强度;然后计算了钻铤均匀磨损43,53和63 mm时的剩余强度;并对钻铤一侧偏磨38,53和63 mm时的剩余强度进行了计算;最后对钻铤两侧分别偏磨52和43,52和48,52和63 mm的剩余强度进行了模拟,结果见图3。从图3可看出,随着钻铤均匀磨损、一侧偏磨和两

侧偏磨厚度的增加,钻铤剩余强度依次降低,两侧偏磨后的钻铤剩余强度明显小于一侧偏磨和均匀磨损钻铤的剩余强度。管壁较薄的钻铤偏磨和均匀磨损将会导致剩余强度降低较快,易引起钻铤失效。NC61-90 钻铤管壁较厚(壁厚为 78.6 mm)两侧分别偏磨 52 和 63 mm,钻铤剩余强度降低非常明显,轴向载荷 500 kN 时,钻铤剩余强度为 566.8 MPa,剩余强度率为 82.3%。

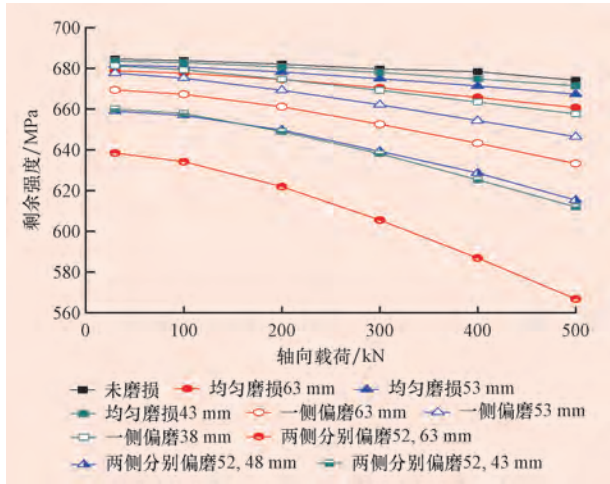


图 3 轴向载荷对钻铤剩余强度的影响
Fig. 3 The effect of axial load on residual strength of drill collar

扭矩对钻铤剩余强度的影响的计算结果见图 4。由图 4 可知,钻铤均匀磨损、一侧偏磨和两侧偏磨 3 种工况下,轴向载荷为 200 kN,扭矩小于 10 kN·m 时随着扭矩的增大剩余强度降低较缓慢,而扭矩大于 10 kN·m 时随着扭矩的增大剩余强度降低较快。分析可知,两侧偏磨钻铤剩余强度相对一侧偏磨和均匀磨损剩余强度降低较快。NC61-90 钻铤两侧分别偏磨 52 和 63 mm 时,轴向载荷为 200 kN,扭矩为 40 kN·m 时其剩余强度为 319 MPa,剩余

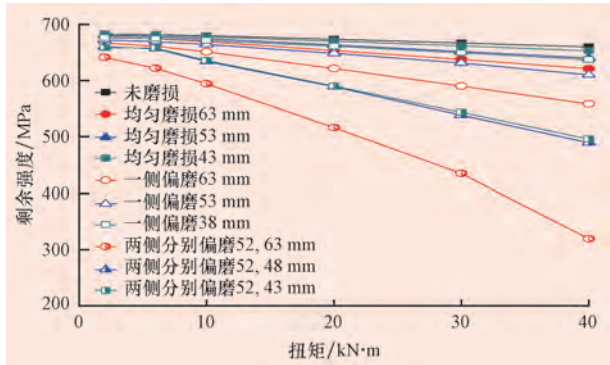


图 4 扭矩对钻铤剩余强度的影响
Fig. 4 The effect of torque for residual strength

强度率为 46.3%。由此看出,与轴向载荷相比,扭矩对钻铤剩余强度和剩余强度率的影响较大。

3.2 磨损钻铤强度校核

为进一步对磨损钻铤进行安全性分析和评定,基于保守算法,只对钻铤两侧分别偏磨 52 和 63,52 和 48,52 和 43 mm 等 3 种磨损较严重的钻铤进行了应力计算,结果如图 5 所示。由图 5 可知,3 种磨损钻铤在计算扭矩范围内应力虽小于其屈服强度,但在实际钻井过程中钻铤承受瞬时纵横弯扭振动、还要承受钻具涡动和空气锤高频冲击引起的瞬时冲击载荷。在多种载荷耦合和瞬时加载过程中,钻铤应力强度急剧上升,钻铤易发生塑性变形。

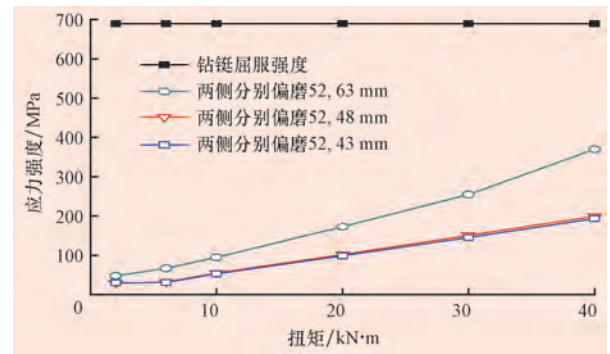


图 5 扭矩对钻铤应力强度的影响
Fig. 5 The effect of torque on stress intensity of drill collar

3.3 磨损钻铤安全系数

磨损钻铤安全系数随扭矩增加而变化的曲线如图 6 所示。对未磨损钻铤、均匀磨损 63 mm、一侧偏磨 63 mm 和两侧分别偏磨 52,63 mm 钻铤,计算了其安全系数,结果见图 6。由图 6 可知,随着扭矩增大,安全系数降低。两侧分别偏磨 52 和 63 mm 时钻铤的安全系数最小,在扭矩为 20 kN·m 时,其安全系数接近 2.5,如考虑波动载荷和冲击的作用,

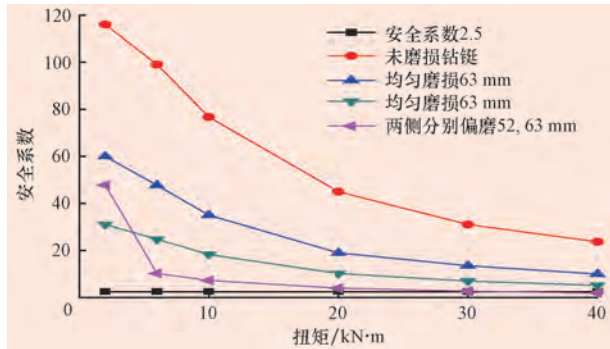


图 6 钻铤扭矩与安全系数
Fig. 6 The torque and safety factor of drill collar

在钻井过程中易发生塑性变形或者断裂失效。

通过对磨损钻铤剩余强度、剩余强度率、强度校核和安全系数的安全评定发现,相对于未磨损钻铤,不同形貌的磨损钻铤在服役过程中强度呈现出不同程度的下降。分析钻铤磨损引起强度降低的主要原因,认为表现在两方面:1)磨损后的钻铤由于磨损量较大,钻铤壁厚局部减薄,承载能力降低,使用等级降低;2)磨损后钻铤的外表面呈不规则状,在服役过程中钻铤承受非均匀载荷。

3.4 磨损钻铤失效模式

图7为钻铤磨损后应力云图。从图7可以看出:钻铤均磨应力分布比较均匀,应力主要集中在钻铤的外表面,钻井过程中钻铤易发生弯曲变形或者整体塑性变形;钻铤一侧偏磨和两侧偏磨应力主要集中在偏磨区域,形成了应力带,其中两侧偏磨中应力峰值主要分布在偏磨量较大的区域。磨损使钻铤壁厚减薄,由此造成钻铤螺纹连接部位强度减低,这样钻铤易产生裂纹,发生疲劳断裂。这些钻铤失效模式与现场钻铤失效部位相吻合^[7]。

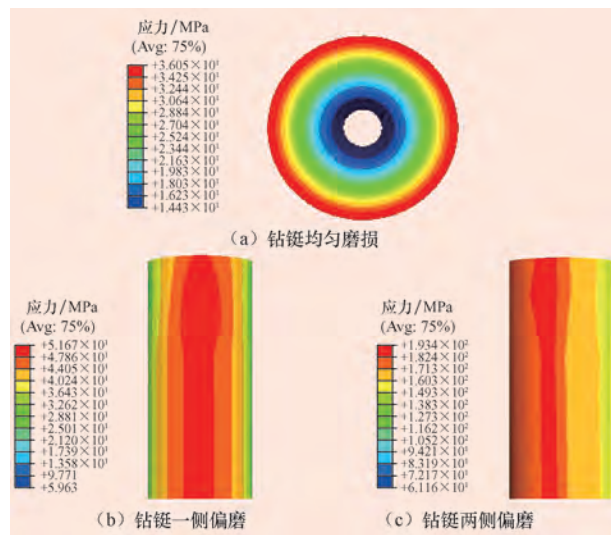


图7 钻铤均匀磨损和偏磨应力云图

Fig.7 The stress distribution for uniform and eccentric wear of drill collar

4 结论与建议

1) 钻铤磨损后剩余强度降低较快,磨损较严重钻铤的强度和安全系数较低,数值模拟失效部位与气体钻井钻铤易失效部位相吻合。

2) 磨损是引起钻铤失效的主要原因之一,为减小钻铤失效概率,建议气体钻井采用低转速的空气

锤钻井工艺,低转速空气锤钻井工艺可在很大程度上减小钻铤磨损,也可适当使用气体钻井专用稳定器。建议油田企业通过计算使磨损钻铤使用载荷不超过其最大许用载荷,并加强对在役钻铤的探测及管理,制定磨损钻铤的使用标准。

参考文献

References

- [1] 艾惊涛,余锐,廖兵,等.四川油气田气体钻井技术现状及发展方向[J].天然气工业,2009,29(7):39-41.
Ai Jingtao, Yu Rui, Liao Bing, et al. The status quo and future development of gas drilling technology in the Sichuan Gas Field [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(7): 39-41.
- [2] 祝效华,刘少胡.气体钻井防沉屑工具分流继能机理与可行性研究[J].石油钻探技术,2009,37(6):78-80.
Zhu Xiaohua, Liu Shaohu. Working mechanism and application of cutting suspension tool in air drilling wells [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(6): 78-80.
- [3] Shahani A R, Sharifi S M H. Contact stress analysis and calculation of stress concentration factors at the tool joint of a drill pipe [J]. Materials and Design, 2009, 30(9): 3615-3621.
- [4] Lü Shuanlu, Feng Yaorong, Luo Faqian, et al. Failure analysis of IEU drill pipe wash out [J]. International Journal of Fatigue, 2005, 27(10/11/12): 1360-1365.
- [5] 祝效华,蒋祖军,童华,等.气体钻井钻具失效因素与机理分析[J].石油钻探技术,2009,37(2):60-62.
Zhu Xiaohua, Jiang Zujun, Tong Hua, et al. Failure mechanism analysis of drill-string accidents in gas drilling wells [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(2): 60-62.
- [6] 祝效华,刘少胡,石昌师,等.基于CAE/CFD技术的套管防磨工具优化设计[J].石油钻探技术,2010,38(2):58-61.
Zhu Xiaohua, Liu Shaohu, Shi Changshuai, et al. Tool optimization of casing antigalling based on CAE/CFD technology [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(2): 58-61.
- [7] 马明宇.气体钻井钻具失效机理研究[D].成都:西南石油大学机电工程学院,2009.
Ma Mingyu. Mechanism analysis on drill-string failure during gas drilling [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, College of Mechatronic Engineering, 2009.
- [8] 祝效华,刘少胡,陈绍安,等.气体钻井用钻杆磨损后剩余强度分析[J].石油机械,2011,39(3):25-27.
Zhu Xiaohua, Liu Shaohu, Chen Shaoan, et al. An analysis of the residual strength of the drill pipe for gas drilling after abrasion [J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(3): 25-27.
- [9] 练章华.地应力与套管损坏机理[M].北京:石油工业出版社,2009:94-95.
Lian Zhanghua. Ground stress and the casing damage mechanism [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 94-95.
- [10] 何东升,郭简,张鹏.腐蚀管道剩余强度评价方法及其应用[J].石油学报,2007,28(6):125-128.
He Dongsheng, Guo Jian, Zhang Peng. Assessment method for remaining strength of corroded pipeline and its application [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(6): 125-128.
- [11] API 579—2000 Recommended practice for fitness-for-service [S].