

抽油杆疲劳试验研究

徐永君^① 张传绪^② 赵清清^① 刘曰武^① 余俊波^②

(^①中国科学院力学研究所, 北京; ^②大庆油田第九采油厂, 大庆)

摘 要: 游梁式抽油系统主要包括抽油机、抽油泵及连接两部分的抽油杆, 结构简单、运行可靠, 得到了普遍使用。疲劳断裂、偏磨是主要破坏形式, 严重时影响油井正常生产, 给油田带来较大的经济损失。本文针对普通 D 级抽油杆进行了一系列三点弯曲疲劳实验研究, 对实验结果进行了统计分析, 得到了相应的 P-S-N 统计规律, 为进一步进行现场抽油杆本体的剩余寿命评估并指导油井的维护维修等奠定了实验和理论基础。

关键词: 抽油杆; 疲劳; 三点弯曲; P-S-N 曲线

1 引言

抽油杆是游梁式抽油系统的主要关键部件之一, 疲劳断裂是抽油杆的主要破坏形式, 它的安全服役寿命直接影响着油井的产能及修井作业的费用和工作量。文献[1]通过对抽油杆断口的宏观形貌特征, 显微组织等进行了分析, 断口形貌呈疲劳断裂特征, 存在冶金缺陷及强度偏低等是造成抽油杆发生早期疲劳断裂的主要原因。对抽油杆疲劳断裂研究主要集中在两个方面, 一是从无初始缺陷开始到破坏进行疲劳实验研究, 统计分析得到 P-S-N 曲线后进行寿命评估研究。文献[2-3]对 C 级的目标寿命进行了估算, 文献[4]对 D 级的目标寿命进行了估算, 由于为了模拟完整抽油杆在试验研究过程试件中间采用焊接, 加之杆体及接箍丝口的相互影响, 试验结果分散性比较大, 可能会对寿命评估结果有影响。文献[5]将不同使用年限不同部位的抽油杆加工成标准拉伸试件, 应用疲劳强度理论及累积损伤理论, 由静特性推测疲劳特性。另一方面, 文献[6-7]从初始裂纹开始利用 Paris 公式进行扩展寿命研究, 这种研究方法只考虑了产生裂纹后的寿命情况, 可能与实际情况有一定差别。本文对 D 级抽油杆本体进行了三点弯曲疲劳实验研究, 利用文献[8-10]给出的疲劳统计方法对实验数据进行了分析。

2 试验简介

实验目的: 确定抽油杆 S-N 曲线。

实验方式: 如图 1 所示四点弯曲或三点弯曲实验

实验试件: 19mm 抽油杆; 160mm 长。试件来源为大庆油田第九采油厂。

实验数量: 6 组(不同应力水平和幅值)疲劳试验, 第一组 5 个试件, 第六组 8 个试件, 其余每组试件个数 7 个。

实验方案: 采用国际通用的 10^7 或 20×10^6 为无限寿命概念, 但考虑抽油杆在随机载荷作用下, 其抗随机疲劳的行为不同与常幅的静疲劳, 疲劳寿命是有限的, 不是无限的, 随机载荷下的损伤过程是不可逆的耗散过程, 其有限寿命的大小与损伤速率有关系, 在低于疲劳极限的情况下同样造成疲劳损伤破坏, 所以拟以 200×10^6 为无限寿命概念, 以 10^7 作为试验调整依据。试验中由于加载方式是非对称循环的, 为得到基本 S-N 曲线, 对每组应力进行 Goodman 公式转换。表 1 给

出了每组加载转换为应力加载情况。

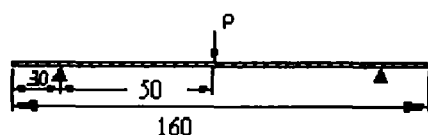


图1 三点弯曲示意图

表1 应力加载情况

组号	杆直径 (mm)	应力均值(MPa)	应力幅值(MPa)	log(S)
1	23	917	458	2.82
2	19.1	1433	716	3.14
3	19.1	1154	577	2.97
4	19.2	1007	576	2.94
5	19.2	863	576	2.91
6	19.2	719	576	2.88

实验结果：表2给出了每组应力水平下的疲劳试验结果。

表2 疲劳试验结果(单位: kc)

	一	二	三	四	五	六
1	179.6	10	41.8	75	123	229
2	245.5	24	50	79.8	138	243.3
3	420	25	60	84	141	310
4	668.6	25	62.8	85.9	172.8	340
5	30000	28.4	70	90	250	384.8
6		29	78.6	131	271	408
7		29	93.5	132	352	505
8						538

3 试验数据分析

采用规范[8]中给出的统计分析方法, 疲劳寿命很好地服从正态分布, 通过分析得到第一组试件5和第二组试件1对应的两个点为坏点, 该两点数据应舍弃。对应的疲劳寿命的均值、方差、期望值、标准差列于表3。表4给出了各组50%概率所对应拟合直线各参数, D级抽油杆本体的S-N曲线见图2。

表3 统计分析参数值

组号	均值($\hat{\mu}$)	方差($\hat{\sigma}^2$)	期望值(μ)	标准差(σ)
1	2.523193	0.145765	2.814608	0.116448
2	1.364887	0.067165	1.441215	0.017238
3	1.801084	0.048009	1.867191	0.040147
4	1.975346	0.04131	2.033364	0.045906
5	2.284857	0.071271	2.38187	0.07171
6	2.642406	0.077769	2.769939	0.090015

表 4 50%的概率所对应各拟合直线参数

组号	截距	斜率	中值对数寿命	对数应力
1	-7.05331	2.68361	2.814608	2.819712
2	-25.6275	18.1288	1.441215	3.136994
3	-14.034	7.78389	1.867191	2.971893
4	-13.342	6.80742	2.033364	2.937769
5	-9.87976	4.35782	2.38187	2.90749
6	-9.11626	3.47165	2.769939	2.879185

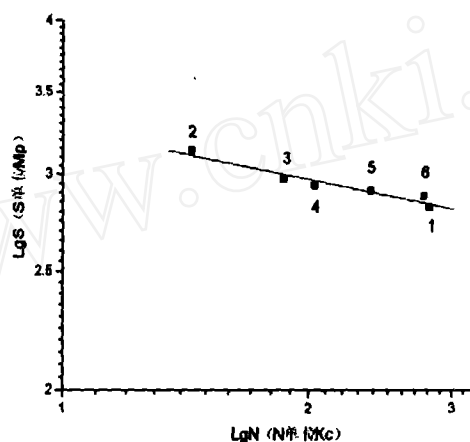


图 2 D级抽油杆本体 S-N 曲线

直线方程 $LgS = 0.51414 - 0.13667LgN$

4 结论

从统计结果和 P-S-N 曲线可以得出如下结论:

1. 抽油杆本体的疲劳实验结果满足正态分布统计规律;
2. S-N 曲线拟合直线的线性度比较好;
3. 本文统计得到的 P-S-N 曲线可以作为抽油杆本体寿命评估的基础。

参考文献

- 1 王文青等.抽油杆断裂分析.理化检验—物理分册, Vol. 37, No. 7, 2001, pp.309-312
- 2 胡雨人.抽油杆疲劳断裂研究—寿命预估.石油学报, Vol. 10, No. 1, 1989, pp. 122-131
- 3 李华屏.用 P-S-N 曲线改进抽油杆的疲劳寿命检测和评定.石油矿场机械, Vol. 22, No.4, 1993, pp. 8-10
- 4 黄东升, 陈国明, 方华灿.抽油杆可靠性的实验研究.石油大学学报(自然科学版), Vol. 17, No. 5, 1993, 71-75
- 5 李其, 刘殿魁, 李晓秋.在用抽油杆服役期限的确定方法.东北林业大学学报, Vol. 34, No. 1, 2006, pp.111-112,114
- 6 张效羽, 宋瑜.用 Paris 公式处理含表面裂纹抽油杆疲劳断裂问题的研究.油田地面工程, Vol. 13, No. 6, 1994, pp. 58-63
- 7 徐小兵, 袁祥忠.表面有横向裂纹的抽油杆寿命估算.石油机械, Vol. 21, No. 5, 1993, pp. 28-33, 38
- 8 ISO 12107: 2003(E), Metallic materials - Fatigue testing - statistical planning and analysis of data. International standard
- 9 陈传尧.疲劳与断裂.华中科技大学出版社, 2005

10 高镇同.疲劳应用统计学.国防工业出版社, 1986

Experimental Study on Fatigue of Sucker Rod

Xu Yongjun^①, Zhang Chuanxu^②, Zhao qingqing^①, Liu Yuewu^①, Yu Junbo^②

(^①Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China;

^②The 9th Oil Production Plant of Daqing Oilfield, Daqing, China)

Abstract: Sucker-rod pumping systems are used in approximately about 70 per cent and still the most widely used means for artificially lift wells. The two main failure styles are fatigue fracture and abrasion, which could bring huge losing of economic and affect the normal production. In this paper, a series of fatigue experimental study on sucker rod by using the three point bending test method, the P-S-N curve is given by statistical analysis based on the experimental results.

Keywords: sucker rod; fatigue; three point bending test; P-S-N curve