

A633D 钢疲劳寿命的实验研究

常 马永忠 邢荣娟

(太原重型机械学院,太原 030024) (太原重型机械集团公司,太原 030024)

摘 要 本文介绍了 A633D 钢的等概率疲劳寿命曲线($P-S-N$ 曲线)的测定方法,为掌握 A633D 钢的疲劳性能,提供了可靠性设计依据。

关键词 疲劳寿命;可靠性;应力水平

中图分类号 TG405

常规的疲劳试验所得到的疲劳曲线,即 $S-N$ 曲线(一般未指明参数 P 时,均系指 $P = 50\%$ 时的 $S-N$ 曲线),无论对设计和材料疲劳强度的研究都有重要的参考价值。但由于疲劳寿命的离散性很大,而每一应力水平下又只试验一根试样,结果的可靠性就差,在应用中具有一定的局限性。如果单纯以这种曲线作为产品寿命估算的依据,则往往偏于危险。这就意味着一半产品在达到预期寿命之前会过早地发生破坏。因此使用时不得不取足够大的安全系数,以保证结构的安全。由于材料的疲劳强度本身就具有统计性质,也就是说疲劳强度是与一定的概率相联系的,只有把 $S-N$ 曲线和疲劳试验的可靠程度存活率 P 建立起关系,才能全面地认识和评价材料的疲劳强度。因此,必须用数据统计方法处理疲劳数据得到 $P-S-N$ 曲线,根据不同零部件要求不同的可靠性,分别选用不同的 $P-S-N$ 曲线来估算它的寿命。

1 材料及试样

名称:A633D 钢

常规性能: $s_s = 375\text{MPa}$ $b_s = 539.5\text{MPa}$
 = 26% = 69.5%

试样名义直径: $d = 7\text{mm}$

试验设备:PW3-10 型程序控制高频万能疲劳试验机

试验温度:室温

收稿日期:1998-04-15 本文第一作者:女,1957年3月生,太原重型机械学院数理系工程师,研究方向为金属材料机械性能测试与断裂力学研究。

秆环比: = 0

加载频率: 120 ~ 135 Hz

2 试验方法

测定概率疲劳寿命曲线要制备一批光滑小试样(30~40根),将试件分成四组,每组5~8根,每组试样在各自选定的应力水平下进行试验(第一组应力可选为 $0.8\sigma_b$,以后按 $\nabla = 20\text{MPa}$ 的差值递减),测定各个试样的疲劳寿命 N_i 。显然,由于疲劳强度的随机特性,同一应力水平下的疲劳寿命是不相同的,我们把各试样疲劳寿命由低至高的顺序排列成表1~4。

因为大量的试验表明,钢材疲劳寿命的对数值(简称对数疲劳寿命)近似地符合正态分布,所以,我们在表1~4中列入一行 $\lg N_i$ 。表1~4中所列的 P_i 表示的存活率是指试样在一定应力循环 N_i 下的幸存概率,它与破坏概率 f_i 的关系是:

$$P_i = 1 - f_i \quad (1)$$

因此,只要算出一定应力循环次数 N_i 下的破坏概率 f_i ,即可求得存活率

$$f_i = \frac{i}{n+1} \quad (2)$$

式中 n —— 一组试样的数量; i —— 试样的序数

由(1)~(2)式即得以百分数计算的存活率

$$R = \left[\text{曲线} \frac{i}{n+1} \right] 100\%$$

根据表1~4不同应力水平下所列数据 P_i 用 $\lg N$,画在以 $\lg N_i$ 为横坐标,以 P 为纵坐标的正态概率纸上,则近似地落在一条直线上,并用线性回归作出不同应力下的 $P-\lg N_i$ 回归直线。根据回归直线,即可确定所需存活率下的对数疲劳寿命,则很容易作出各种存活率下的 $S-N$ 曲线(即: $P-S-N$ 曲线)。

3 试验结果

3.1 各应力水平下疲劳寿命(见表1~4)

表1 $\sigma = 431.2\text{MPa}$ 的疲劳寿命

序 号	1	2	3	4	5	均值
试样号	A5 - 2	A5 - 1	A5 - 4	A4 - 6	A4 - 8	1
寿命 N (千次)	63	78	104	121	196	1
$\lg N$	4.799	4.892	5.017	5.083	5.292	5.017
存活率 $P\%$	83.3	66.6	50.0	33.3	16.6	1
标准正态偏量 N_P	0.97	0.43	0	-0.43	0.97	1

表 2 $\sigma = 411.6\text{MPa}$ 的疲劳寿命

序 号	1	2	3	4	5	6	均值
试样号	A1 - 6	A1 - 3	A2 - 7	A5 - 5	A1 - 7	A1-2	
寿命 N (千次)	96	107	112	246	257	460	
$\lg N$	4.982	5.029	5.049	5.391	5.410	5.663	5.254
存活率 $P\%$	85.7	75.4	57.1	42.8	28.6	14.1	1
标准正态偏差 N_p	1.07	0.57	0.18	- 0.18	- 0.57	- 1.07	1

表 3 $\sigma = 392.4\text{MPa}$ 的疲劳寿命

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	均值
试样号	A2 - 2	A1 - 5	A4 - 5	A5 - 6	A1 - 8	A4 - 1	A2-6	A4-4	1
寿命 N (千次)	113	123	190	197	842	925	1682	2146	1
$\lg N$	5.053	5.090	5.279	5.294	5.925	5.966	6.266	6.332	5.639
存活率 $P\%$	88.8	77.7	66.6	55.5	44.4	33.3	22.2	11.1	1
标准正态偏差 N_p	1.22	0.76	0.43	0.14	- 0.14	- 0.43	- 0.76	- 1.22	1

表 4 $\sigma = 372.8\text{MPa}$ 的疲劳寿命

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	均值
试样号	A3 - 3	A3 - 8	A3 - 6	A3 - 4	A3 - 1	A3 - 2	A3-7	A2-5	1
寿命 N (千次)	200	3.6	462	1183	1617	2935	3277	3833	1
$\lg N$	5.301	5.486	6.073	6.209	6.468	6.515	6.584	6.040	
存活率 $P\%$	88.8	77.7	66.6	55.5	44.4	33.3	22.2	11.1	1
标准正态偏差 N_p	1.22	0.76	0.43	0.14	- 0.14	- 0.43	- 0.76	- 1.22	1

3.2 在正态概率坐标纸上作 $P-\lg N$ 曲线

根据表 1 ~ 4 作出不同应力水平下的 $P-\lg N_i$ 数据点如图 1 所示,将表 1 ~ 4 中的 N_p 与 $\lg N_i$ 进行线性回归得到下列结果:

$$= 431.2\text{MPa 时} : N_p = 19.63 - 3.915\lg N \quad \text{相关系数 } R = 0.987 \quad (3)$$

$$= 411.6\text{MPa 时} : N_p = 14.04 - 2.672\lg N \quad \text{相关系数 } R = 0.947 \quad (4)$$

$$= 392.4\text{MPa 时} : N_p = 8.313 - 1.473\lg N \quad \text{相关系数 } R = 0.954 \quad (5)$$

$$= 372.8\text{MPa 时} : N_p = 9.419 - 1.559\lg N \quad \text{相关系数 } R = 0.966 \quad (6)$$

由(3) ~ (6) 式作出 $P-\lg N$ 回归直线如图 1 所示。

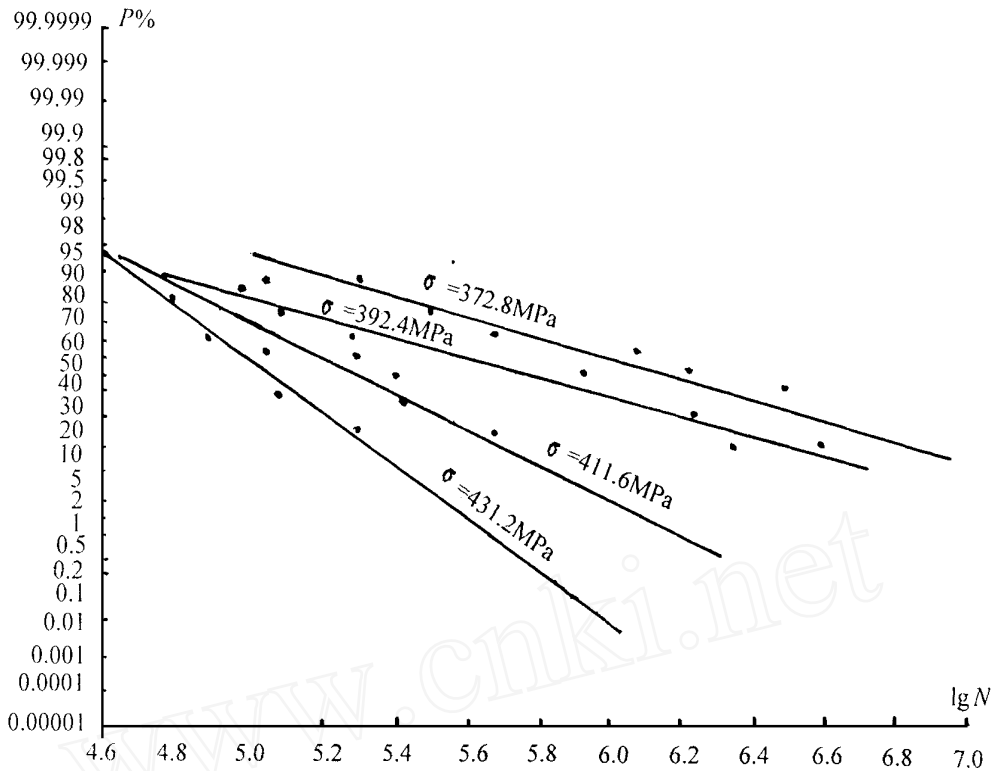


图 1 $P-\lg N$ 曲线

3.3 作指定存活率下的 $S-N$ 曲线(即 $P-S-N$ 曲线)

根据图 1 作出存活率 P 为 90 %、80 %、70 %、60 % 及 50 % 时的 $S-N$ 曲线如图 2 所示:

具体做法是央图 1 中确定一存活率(例如: $P = 50\%$), 作一水平线与不同 σ 下的 $\lg N-P$ 曲线相交, 得各交点之横坐标 $N_1、N_2、N_3$ 及 N_4 , 然后在图 2 中找到相应的点, 将这些点连成曲线, 即 50 % 活率下的 $S-N$ 曲线。

各应力水平 σ 及存活率 P 对应的对数寿命 $\lg N$ 如表 5 所列:

表 5 对数寿命 $\lg N$ 值

$P\%$	431.2	411.6	392.4	372.8
90	4.706	4.765	4.805	5.200
80	4.816	4.926	5.090	5.490
70	4.900	5.050	5.305	5.700
65	4.970	5.150	5.480	5.865
50	5.033	5.245	5.658	6.030

3.4 估算疲劳寿命

将不同存活率 P 下的疲劳极限 $S-N$ 曲线进行线性回归, 然后求出 $N = 10^7$ 的疲劳强度, 即为该存活率下的疲劳极限。

$P = 50\%$ 时的回归方程由表 5 得到: $\sigma = 710.6 - 56.19 \lg N$ 相关系数 $R = 0.992$ (7)

$P = 60\%$ 时: $\sigma = 739.8 - 62.95 \lg N$ 相关系数 $R = 0.988$ (8)

$P = 70\%$ 时: $\sigma = 769.9 - 70.22 \lg N$ 相关系数 $R = 0.979$ (9)

$P = 80\%$ 时: $\sigma = 814.8 - 81.24 \lg N$ 相关系数 $R = 0.956$ (10)

$P = 90\%$ 时: $\sigma = 879.4 - 98.04 \lg N$ 相关系数 $R = 0.876$ (11)

将 $N = 10^7$ 代入(7) ~ (11) 式得各存活率下的疲劳极限列入表 6 中

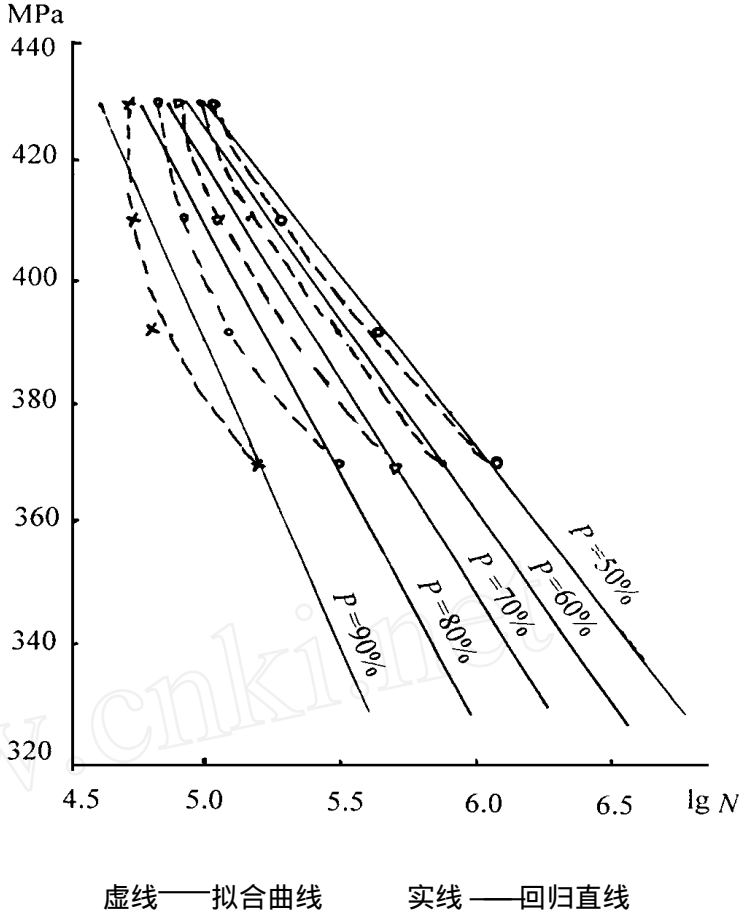


图 2 $P-S-N$ 曲线

表 6 各存活率下的疲劳极限 σ_0

存活率 $P\%$	50	60	70	80	90
$\sigma_0(\text{MPa})$	31703	29902	278.4	246.1	193.1

4 结果分析

(1) 从图 1、2 可知, 对数疲劳寿命较好地服从正态分布;

(2) 文献[2] 推荐估算疲劳极限公式: $\sigma_0 = 1.42 \sigma_{-1}$ (12)

式中 σ_{-1} ——拉压对称循环疲劳极限

取 $\sigma_{-1} = 0.23(\sigma_s + \sigma_b)$. 将 A633D 钢的 σ_s 及 σ_b 代入即得:

$$\sigma_0 = 1.42 \times 0.23(375 + 539.5) = 298.7 \text{MPa}$$

由表 6 知, 这相当于存活率 $P = 60\%$ 时的测定值, 略低于 $P = 50\%$ 的 σ_0 值, 故测试结果是

可靠的。

(3) 若将表 1 ~ 4 的对数疲劳寿命均值画在图 2 上, 则与 $P = 50\%$ 的 $S-N$ 曲线基本上吻合, 证实了 $P = 50\%$ 的 $S-N$ 曲线即代表了均值的 $S-N$ 曲线。

参 考 文 献

- 1 高镇同. 疲劳性能测试. 北京: 国防工业出版社, 1980. 133 ~ 140
- 2 张祖明. 机械零件强度的现代设计方法. 北京: 航空工业出版社, 1990. 239 ~ 245

Experimental Study of A633D Steel Fatigue Span

Chang Lili Ma Yongzhong

(Taiyuan Heavy mach. Inst., Taiyuan 030024)

Xing Rongjuan

(Taiyuan Heavy Machinery Grope Co. lad., Taiyuan 030024)

Abstract In this paper, the probability-fatigue span curve and its determination were introduced. The result lay an reliable probability design basis for the camman of A633D steel fatigue properties.

Key Words fatigue service span; probability; stress level

(上接第 234 页)

第五章 保障与奖励

第三十九条 国家制定有关政策、保障、促进出版事业的发展与繁荣。

第四十条 国家支持、鼓励下列优秀的、重点的出版物的出版：

(一) 对阐述、传播宪法确定的基本原则有重大作用的；

(二) 对在人民中进行爱国主义、集体主义、社会主义教育和弘扬社会公德、职业道德、家庭美德有重要意义的；

(三) 对弘扬民族优秀文化和及时反映国风外新的科学文化成果有重大贡献的；

(四) 具有重要思想价值、科学价值或者文化艺术价值的。

第四十一条 国家对教科书的出版发行, 予以保障。

国家扶持少数民族语言文字出版物和盲文出版物的出版发行。

国家对少数民族地区、边疆地区、经济不发达地区和在农村发行出版物, 实行优惠政策。

第四十二条 报纸、期刊交由邮政企业发行的, 邮政企业应当保证及时、准确发行。

承运出版物的运输企业, 应当对出版物的运输提供方便。

(下转第 267 页)