

螺纹紧固件轴向载荷疲劳试验方法

Axial load fatigue testing for threaded fasteners

1 主题内容与适用范围

本标准规定了螺纹紧固件轴向载荷疲劳试验方法和数据处理方法。

本标准适用于需进行疲劳试验的螺栓、螺柱等外螺纹紧固件,其他外螺纹零件亦可参照采用。

2 引用标准

GB 3075 金属轴向疲劳试验方法

GB 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱

3 符号、定义及单位

本标准中所使用的符号、定义及单位按表1规定。

表1

| 符 号 | 名 称 | 定 义 | 单 位 |
|-----------------|--------|------------------------|-----|
| σ_{\max} | 最大应力 | 应力循环中的最大应力 | MPa |
| σ_{\min} | 最小应力 | 应力循环中的最小应力 | MPa |
| σ_m | 平均应力 | 最大应力和最小应力的平均值 | MPa |
| σ_a | 应力幅 | 最大应力和最小应力差的一半 | MPa |
| r | 应力比 | 最小应力和最大应力之比 | |
| f | 频率 | 单位时间内应力循环次数 | Hz |
| N | 疲劳寿命 | 试验至试件失效的应力循环次数 | 次 |
| σ_N | 条件疲劳极限 | 对应于规定疲劳寿命 N 的中值疲劳强度 | MPa |
| σ_D | 无限疲劳极限 | 当疲劳寿命 N 为无穷大时的中值疲劳强度 | MPa |
| P | 失效概率 | 失效试件与试件总数之比 | % |

本标准中使用的尺寸代号均与普通螺纹和紧固件国家标准一致。

4 试验原理

将试件安装在疲劳试验机上,按 GB 3075 规定的不对称拉伸循环应力型式施加载荷,在恒定平均应力 σ_m 或恒定应力比 r 下持续进行试验,直至试件失效或超过规定的应力循环次数为止。试验应力循环次数根据试件材料的耐疲劳性能确定,对于钢制螺纹紧固件,一般取 5×10^5 。

国家技术监督局 1992-09-22 批准

1993-06-01 实施

5 试验条件

5.1 试验机

可以使用不同类型的轴向载荷疲劳试验机,应按最大试验载荷大于或等于试验机额定载荷的 10% 选定试验机型号。试验时,应满足以下要求。

5.1.1 静载荷示值精度

- a. 载荷示值误差应在±1%之内;
- b. 载荷示值变动度应在±1%之内。

5.1.2 在连续试验 10 h 内,动载荷示值波动度

- a. 平均载荷示值波动度应在使用载荷满量程的±1%之内;
- b. 载荷振幅示值波动度应在使用载荷满量程的±2%之内。

5.1.3 试验频率应在 4.2~250 Hz 范围内。载荷应按正弦规律变化。

5.1.4 试验机应能自动记录试验循环次数,并具有防止在停电等意外停机后再次自动启动的装置。

5.2 试件

疲劳试验试件为实际零件,不必进行再加工。如因特别原因必须加工时,应保证不改变其耐疲劳性能。

5.3 试验夹具

试验夹具应能将试验载荷传递给试件,并能自动定心。图 1 和图 2 给出了试验夹具的基本要求,但不包括自定心部分。

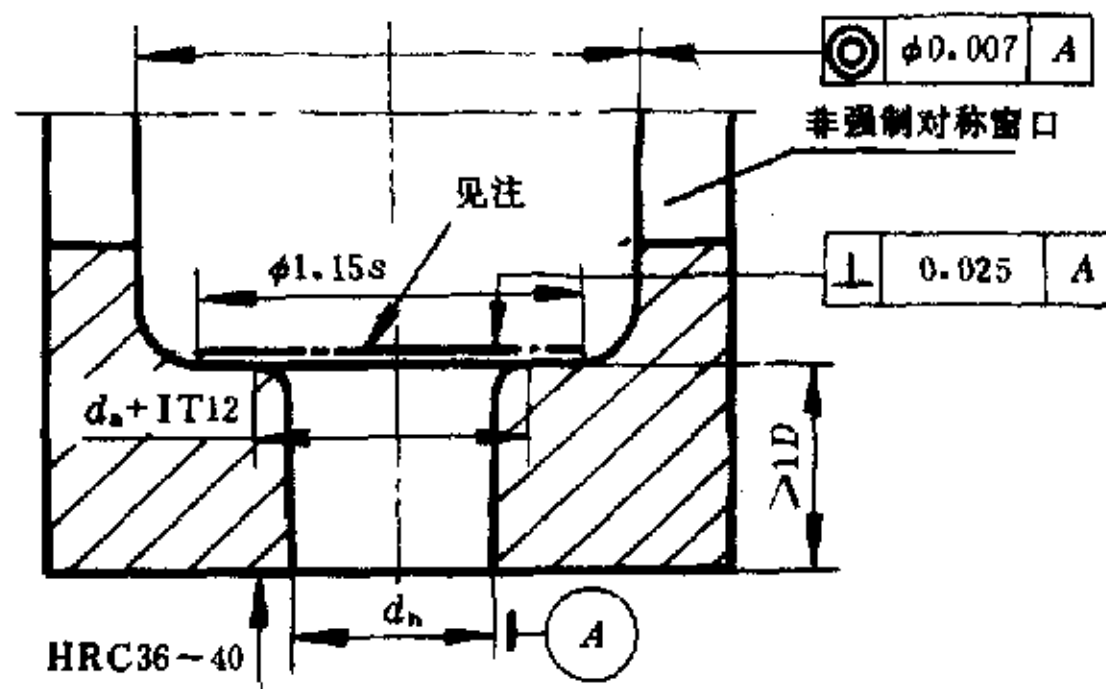


图 1 无衬套夹具

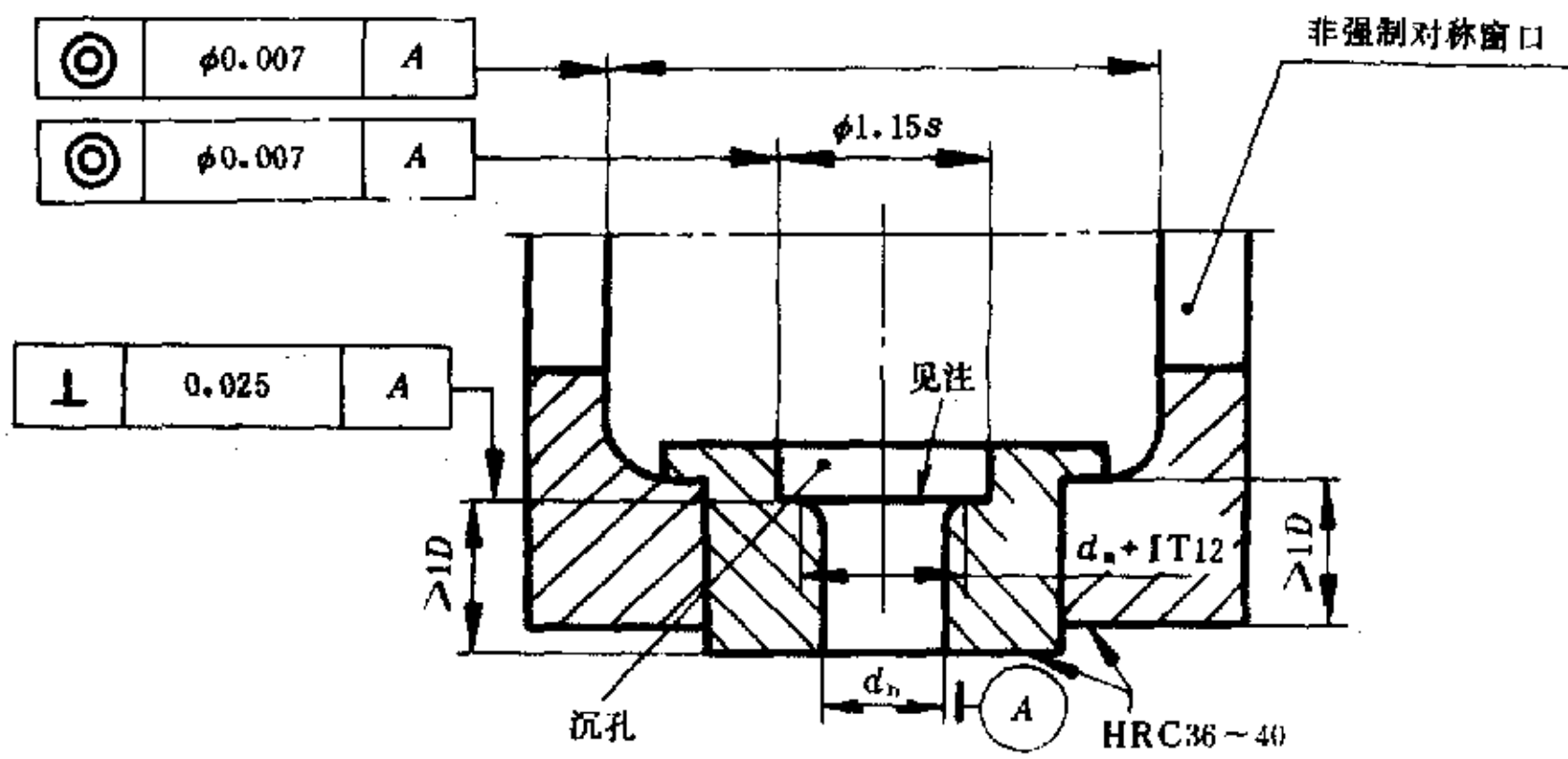


图 2 带衬套夹具

注：表面渗碳深度可以为 0.25~0.5 mm，最高硬度 HRC60，最低硬度可比试件高 5(HRC)度。

5.4 试验校准

试验装置应定期按下述方法校准：使用图 3 所示的载荷校准双头螺柱，其中间测应力部分长度至少应是其直径的 4 倍。将校准双头螺柱装夹在试验机上，施加最大试验载荷的 50%，测算试验校准双头螺柱中部圆柱面上圆周方向相间 90°的 4 点处应力，其中最大应力与最小应力之差应小于平均应力的 6%。

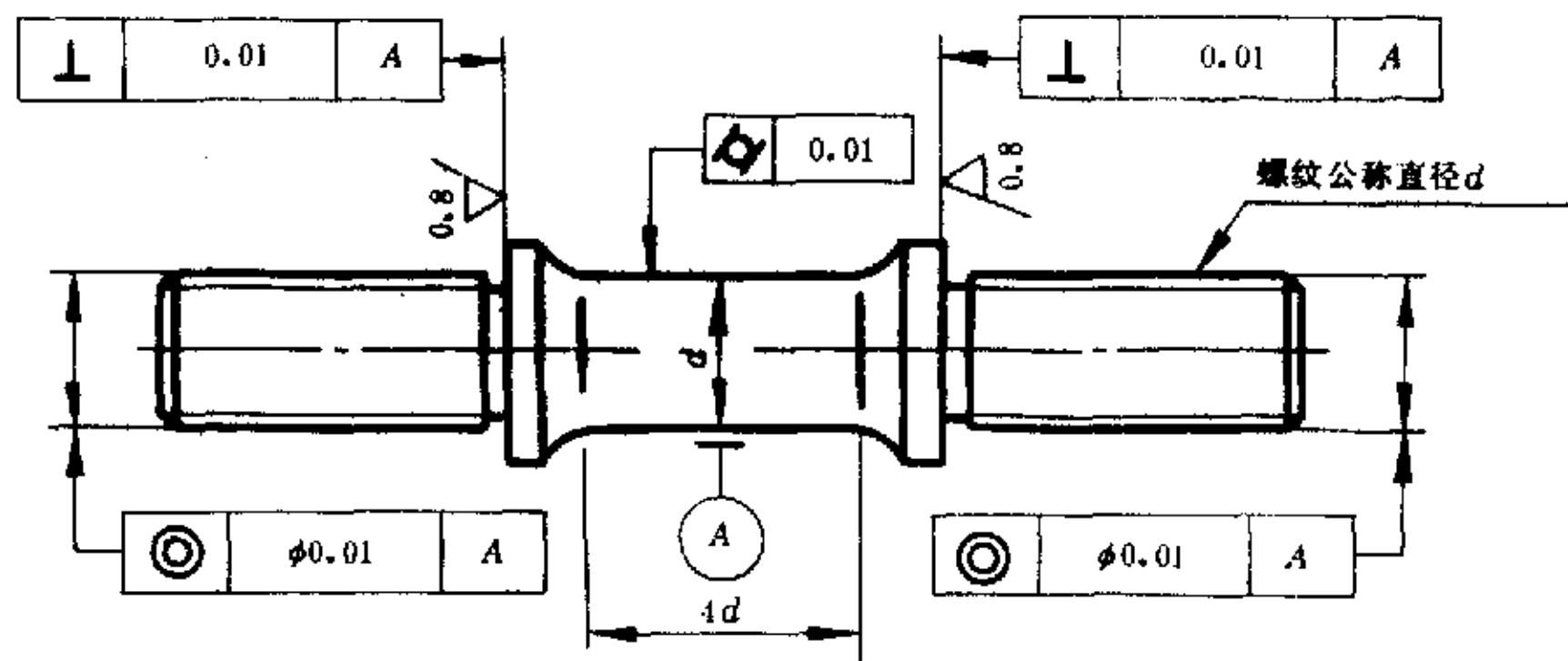


图 3 载荷校准双头螺柱

5.5 试验螺母

可以使用图 4 所示的螺纹衬套或标准螺母进行试验。螺纹衬套和螺母的精度及机械性能应与被试零件相匹配。

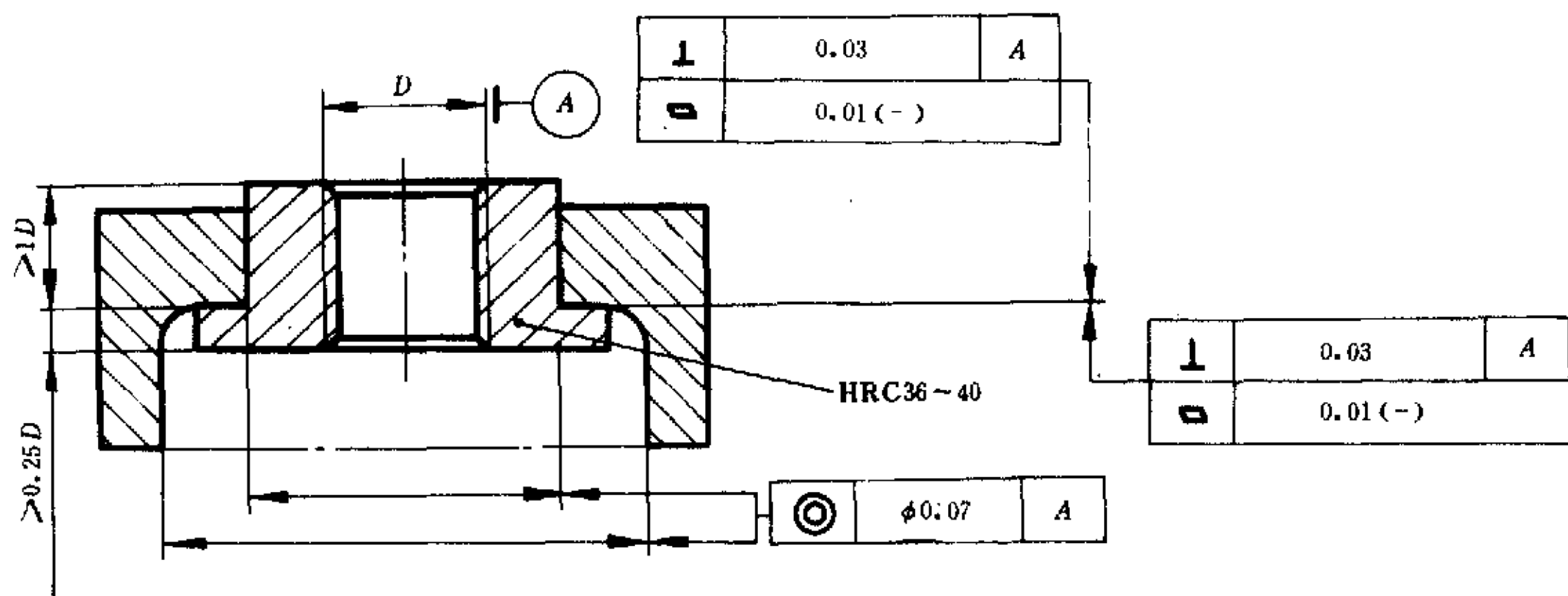


图 4 螺纹衬套

5.6 试验垫圈

为了在螺栓头下圆角处留有足够的间隙，在螺栓头下应垫上带有 45°倒角的试验垫圈。倒角直径应等于螺栓头下过渡圆角外直径加 IT12 公差，也可以在夹具上制出相同尺寸和公差的倒角。试验垫圈的两端面平行度应在 0.01 mm 之内，硬度应与夹具一致(如图 5 所示)。

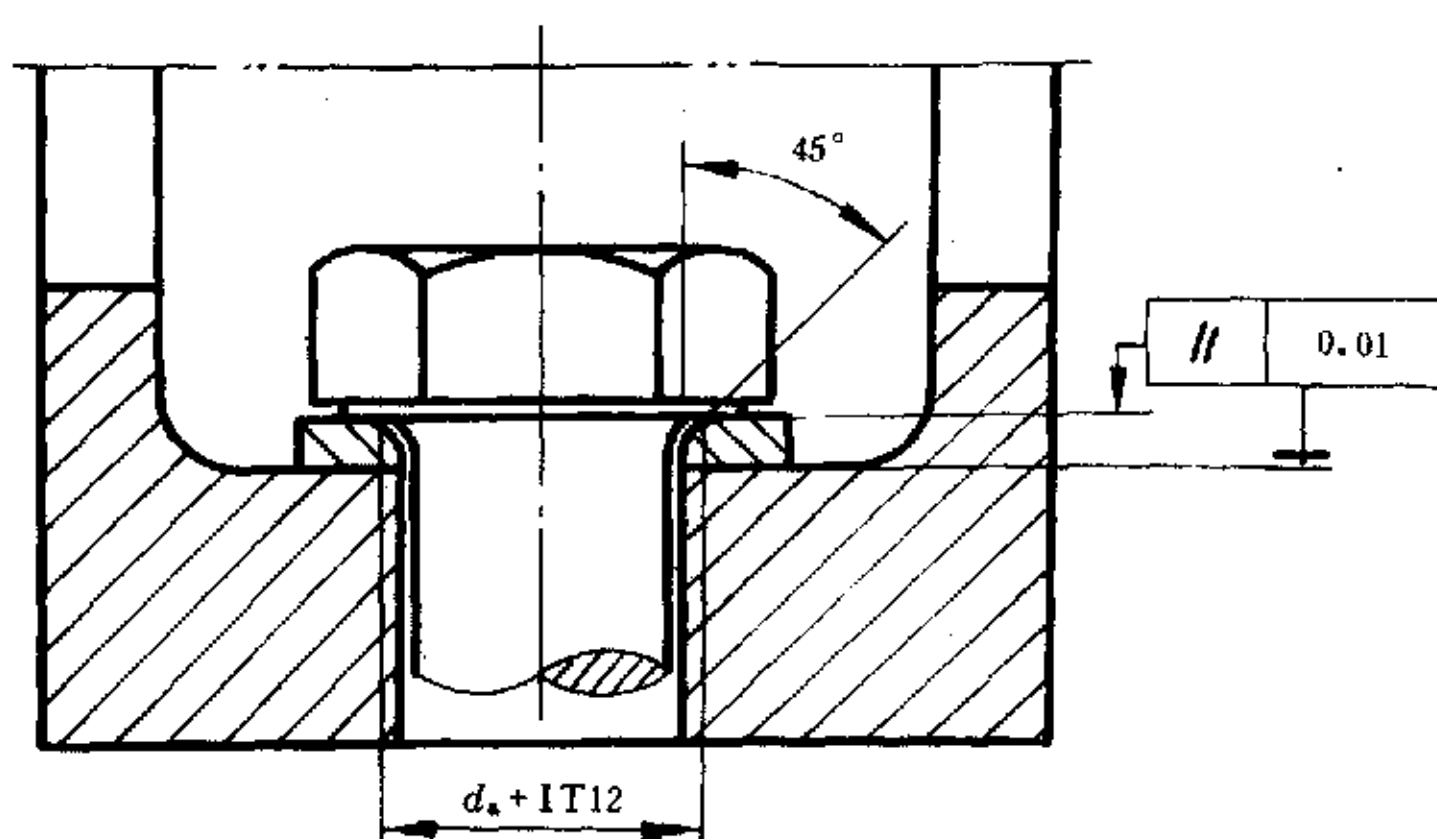


图5 试验垫圈

6 试验与计算

6.1 试件

从尺寸和机械性能合格的产品中随机抽取试件,不进行任何机械加工,并将试件清理干净,防止磕碰和损伤其表面,在各配合表面涂以润滑油。

6.2 安装

将试件安装在试验螺母或螺纹衬套上,使试件螺纹收尾至夹具支承面距离至少为4倍螺距,末端露出试验螺母或螺纹衬套部分长度至少1倍螺距(见图6)。试验螺母及螺纹衬套在保持原规定精度且无破损的条件下,可重复使用。

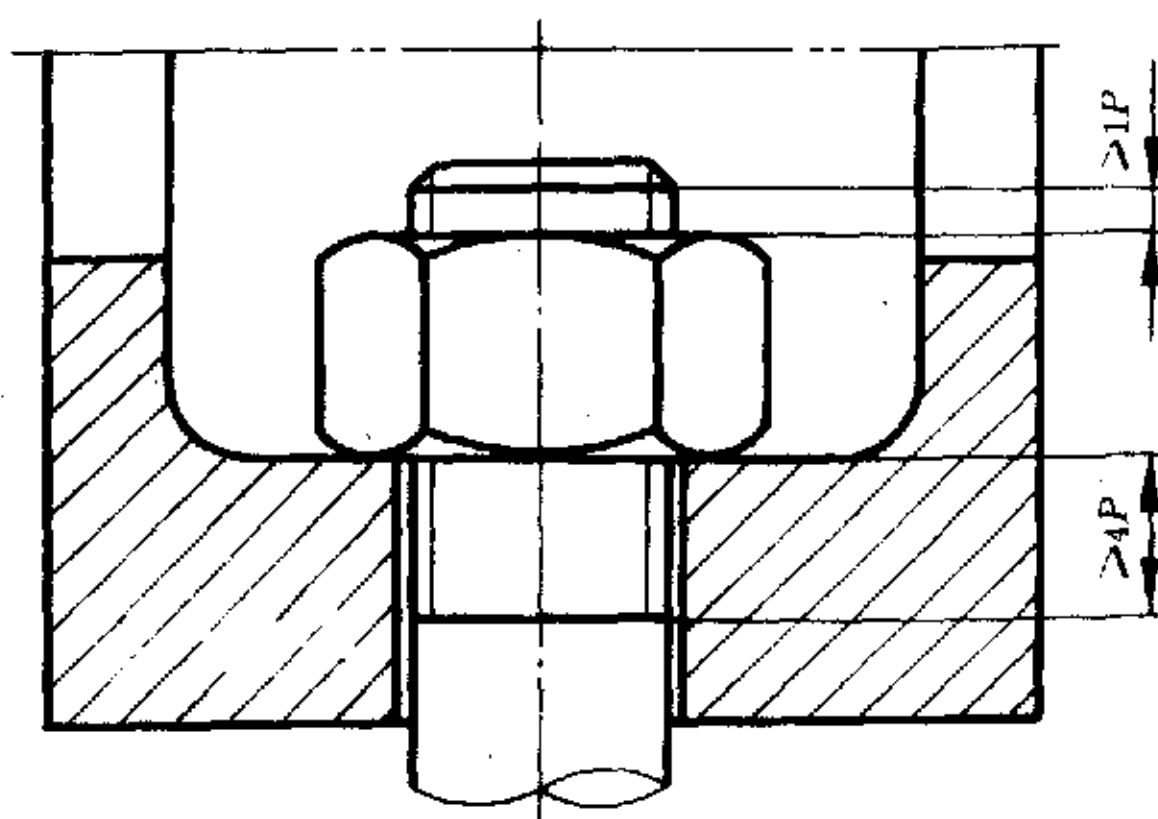


图6 试件安装要求

6.3 试验

6.3.1 试验通常持续进行,至试件失效或超过规定的应力循环次数为止。如果需要间断,应记录间断时间,控制载荷,使之保持一致,并在试验报告中说明。

6.3.2 失效一般指试件断裂、裂纹、局部变形或载荷明显变化。

6.4 条件疲劳极限的测定

用升降法测定条件疲劳极限,通常每组取14件试件,应力水平级差 $\Delta\sigma$ 一般在预计应力的5%以内,可在3~5级应力水平下进行。试验时,应使第一件试件的试验应力水平略高于预计疲劳极限。试件依次进行试验,根据上一试件的试验结果(失效或通过)确定下一试件的应力水平(降低或升高一级)。对

于第一次出现相反结果以前的试验数据,如果在以后试验数据波动范围以外,则予以舍弃,否则作为有效数据使用。

失效概率为 50% 的条件疲劳极限按公式(1)计算:

$$\sigma = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n V_i \cdot \sigma_i \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中: m ——有效试验的总次数(失效和通过的均计入);

n ——试验应力水平级数;

σ_i ——第 i 级应力水平;

V_i ——第 i 级应力水平下的试验次数。

6.5 S-N 曲线的测定

绘制一条完整 S-N 曲线一般至少取 14 件试件,其中 8 件用于确定 S-N 曲线的倾斜部分(按 4 级应力水平,每级 2 件);6 件用于确定 S-N 曲线的水平部分。

6.5.1 倾斜部分

6.5.1.1 参考以往相同材料、相同结构、相同应力形式的试件试验数据,预计试件疲劳寿命为 $N=5 \times 10^4$ 和 $N=10^6$ 的疲劳强度 σ_{AA} 和 σ_{BB} 。

6.5.1.2 按 $\Delta\sigma_{s1}=(\sigma_{AA}-\sigma_{BB})/3$ (数值经适当圆整)初步确定应力水平递差值。

6.5.1.3 以 $\sigma_s(1)=\sigma_{AA}-\Delta\sigma_{s1}$ 为第一级应力水平进行第一件试验,记录下至失效时的应力循环次数。

6.5.1.4 按照 $\sigma_s(2)=\sigma_s(1)-\Delta\sigma_{s1}$, $\sigma_s(3)=\sigma_s(2)-\Delta\sigma_{s1}$ ……依次试验,直至出现第一件不失效试件为止。

如果第一件试件在 10^6 次应力循环试验后不失效,则按 $\sigma_s(2)=\sigma_s(1)+2\Delta\sigma_{s1}$, $\sigma_s(3)=\sigma_s(2)+2\Delta\sigma_{s1}$ ……依次进行试验,每次上升 $2\Delta\sigma_{s1}$,而不是下降 $\Delta\sigma_{s1}$ 直至出现第一件失效试件为止。

在临近出现失效的最高级应力水平的 4 级应力水平上各获得 2 件失效数据,共 8 个数据。

6.5.1.5 将 8 个失效数据在单对数坐标纸上绘出 S-N 曲线,见图 7。

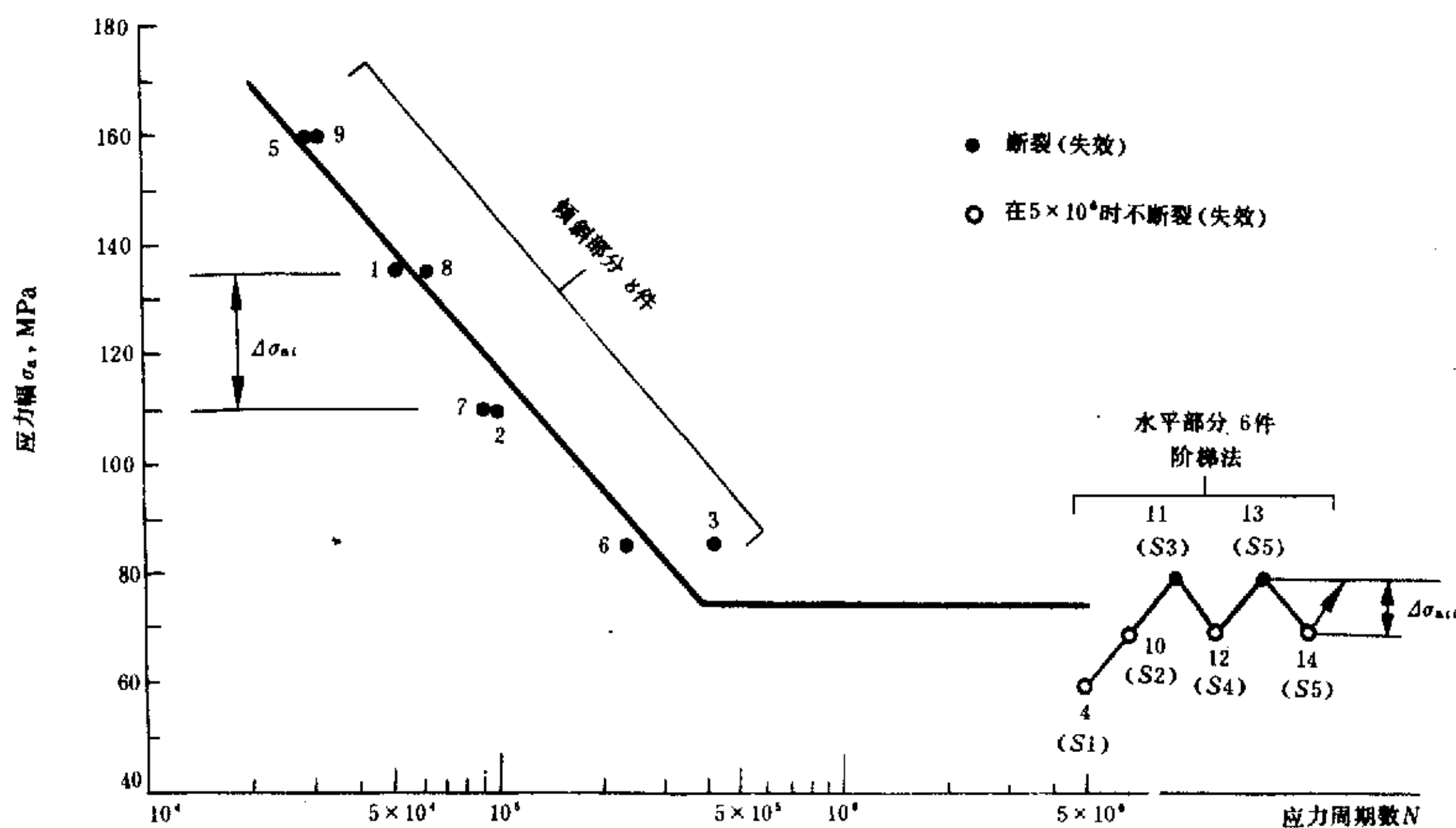


图 7 S-N 曲线

6.5.1.6 失效概率 50% 的 S-N 曲线的倾斜部分和标准偏差按公式(2)计算:

$$\lg N = \hat{a} + \beta \sigma_s \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$$\hat{a} = \overline{\lg N} - \beta \bar{\sigma}_s \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n [\sigma_s(i) - \bar{\sigma}_s][\lg N(i) - \overline{\lg N}]}{\sum_{i=1}^n [\sigma_s(i) - \bar{\sigma}_s]^2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\overline{\lg N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg N(i) \quad \dots\dots\dots(5)$$

疲劳寿命的对数标准偏差:

$$\hat{S}(\lg N) = \left\{ \frac{1}{6} \left[\sum_{i=1}^n \lg N(i) - \hat{a} - \beta \sigma_s(i) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

疲劳强度标准偏差:

$$\hat{S}(\sigma_s) = \left(\frac{1}{|\beta|} \right) \hat{S}(\lg N) \quad \dots\dots\dots(7)$$

6.5.2 水平部分

6.5.2.1 采用升降法,取 6.5.1 条试验中出现不失效的应力水平(如果该水平多于 1 级,取其中最高级)为第一级应力水平,但前面已经获得了试验数据,不必再用 $\sigma_s(1)$ 试验。

6.5.2.2 取 6.5.1 条计算的疲劳强度标准偏差(经适当圆整)为升降法的应力水平级差,即:

$$\Delta \sigma_{sii} = \hat{S}(\sigma_s)$$

6.5.2.3 用 $\sigma_s(2) = \sigma_s(1) + \Delta \sigma_{sii}$ 进行第 2 件试验。

6.5.2.4 用 $\sigma_s(j) = \sigma_s(j-1) \pm \Delta \sigma_{sii}$ [$j=3,4,5,6$; 第 $(j-1)$ 件失效取“-”号;否则取“+”号] 进行第 3~6 件试验。

6.5.2.5 对应于疲劳寿命 N (通常 $N=5 \times 10^6$),失效概率 50% 的疲劳强度为:

$$\sigma_{AN} = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^6 \sigma_s(j) \quad \dots\dots\dots(8)$$

6.5.3 P-S-N 曲线的确定

用公式(9)和(10)可以获得失效概率 $P=10\%$ 和 $P=90\%$ 的 P-S-N 曲线(见图 8)。

倾斜部分:

$$\lg N = \hat{a} + \beta \sigma_s \pm 1.28 S(\lg N) \quad \dots\dots\dots(9)$$

水平部分:

$$\hat{\sigma}_s = \sigma_{AN} \pm \frac{1.28}{|\beta|} \hat{S}(\lg N) \quad \dots\dots\dots(10)$$

其中: $P=10\%$ 取“-”号, $P=90\%$ 取“+”号。

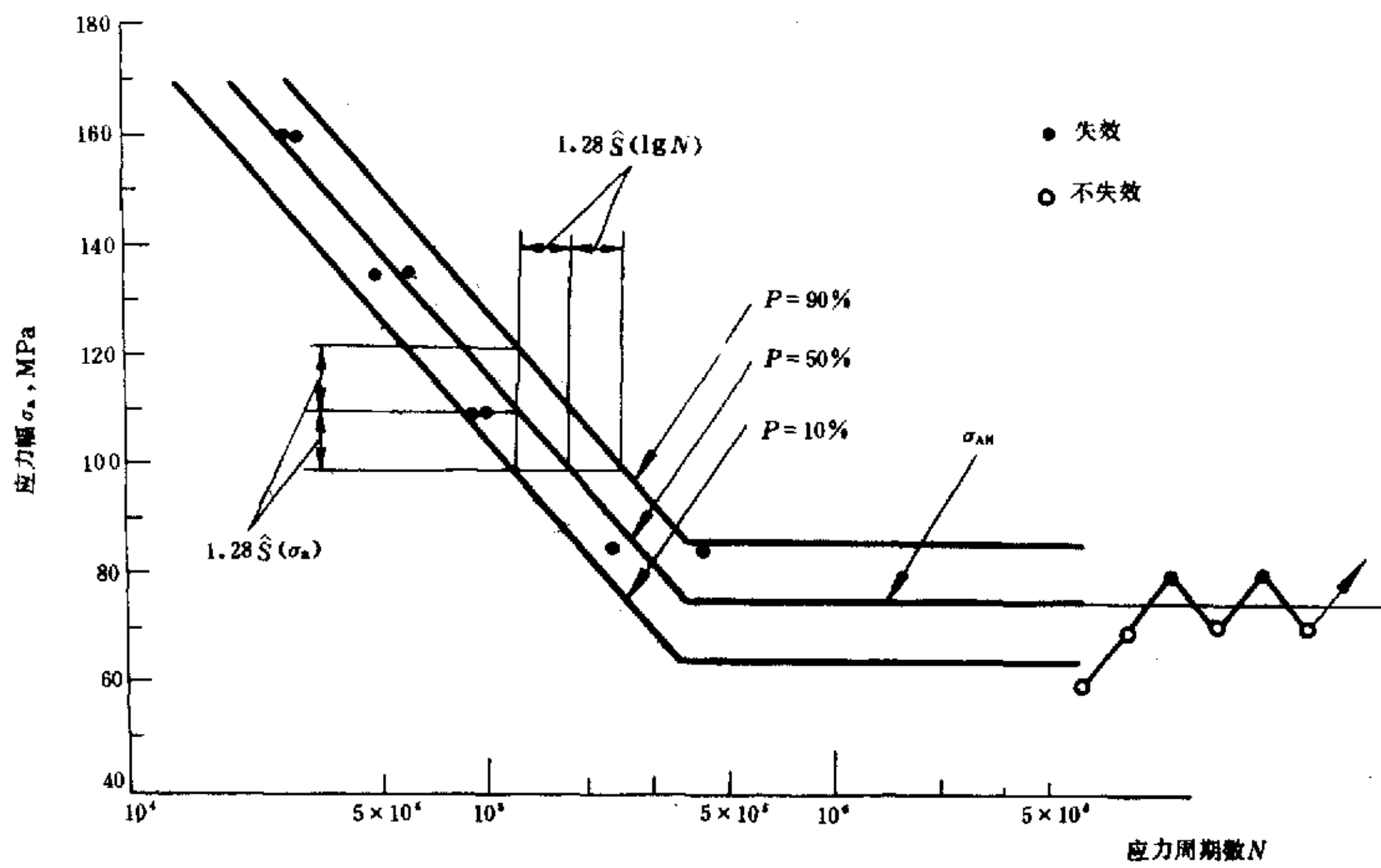


图8 P-S-N 曲线

7 试验报告

试验报告应包括如下内容：

- a. 被试产品的名称、规格、长度、螺距、性能等级(或材料及热处理)等基本数据,对于标准产品可只写产品标记；
- b. 试件螺纹加工方法；
- c. 材料抗拉强度和屈服强度；
- d. 表面处理；
- e. 螺母位置(从螺母端到螺纹收尾的距离)；
- f. 确定应力截面积的方法；
- g. 内螺纹的结构(标准螺母或螺纹衬套)、尺寸、材料、硬度及表面质量；
- h. 试验垫圈的种类；
- i. 润滑形式；
- j. 试验机的型号和频率；
- k. 应力循环形式, σ_m 、 σ_a 、 r 等；
- l. 疲劳失效的形式和位置；
- m. 试验中断情况；
- n. 试验过程中不符合要求条件的任何偏差；
- o. 试验环境温度和湿度。

附加说明：

本标准由中华人民共和国机械电子工业部提出。

本标准由全国紧固件标准化技术委员会归口。

本标准由机械电子工业部机械标准化研究所负责起草。