

TB

中华人民共和国铁道行业标准

TB/T 2349—93

上海市铁路工程研究所
登记号 OT 940352

铁路钢桥连接疲劳试验方法

1993—04—22发布

1993—10—01实施

中华人民共和国铁道部 发布

铁路钢桥连接疲劳试验方法

1 主题内容与适用范围

本标准规定了铁路钢桥各种连接的疲劳试验方法。

本标准适用于铁路和公铁两用钢桥结构的母材和各种连接的高周疲劳试验。

2 引用标准

TBJ 2 铁路桥涵设计规范

TBJ 212 铁路钢桥制造规则

3 试样

试样应按“在实验室内再现实际结构疲劳破坏”的原则进行设计和制造。

3.1 一般要求

- a. 不超过试验机的加载能力和最大容许位移；
- b. 钢材材质、力学性能和化学成分应与桥梁结构所用钢材一致，试样的受力方向与钢材轧制方向一致；
- c. 试样的几何形状、制造工艺、非连续性、加工状态及焊后改善处理等应模拟实际结构或直接采用实际结构部件；
- d. 应考虑试样或构件的截面形状和大小；
- e. 试样的受力状态应与实际结构受力状态相近；
- f. 允许将不同构造细节串联在一个试样上，但需注意相邻细节之间不产生互相影响，即一种细节不导致另一细节应力集中的增大或减小；
- g. 同类型接头试样的加工数量应使试验后得到的有效数据不少于8~12个，以保证绘制一条疲劳曲线时的统计质量。

3.2 试样的分类及技术要求

3.2.1 非焊接连接

3.2.1.1 母材

母材应采用板试样。板试样需保留原轧制表面，侧边加工条件与实际钢桥相同。

3.2.1.2 空孔板试样

制孔方法为钻孔，孔径不小于23mm，孔径与板宽之比为1:4。其余要求同板材试样。

3.2.1.3 带节点板试样（图1）

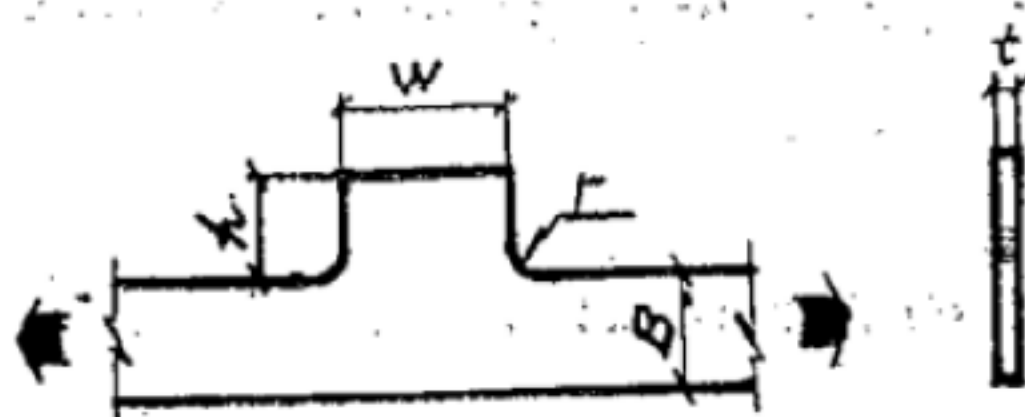


图1 带节点板试样

应注意节点板宽度 W 、高度 h 、过度圆弧半径 r 和杆件宽度 B 、板厚 t 对应力集中的影响。

3.2.1.4 铆接连接试样

铆接连接试样设计的原则应符合TBJ2规范的有关规定。如对接拼接试样，制孔方法为钻孔，孔径为23mm，拼接板截面积不小于1.1倍主板截面积，铆钉数量按与拼接板等强设计，孔壁承压应力与试样净面积公称应力之比应等于1.5。

3.2.1.5 高强度螺栓连接试样

高强度螺栓连接试样的设计应符合TBJ2规范的有关规定，如螺栓预紧力，连接板表面处理方法和抗滑动系数，净截面积与毛截面积之比，螺栓排列数量等。

3.2.2 焊接连接

焊接连接试样的设计应考虑以下共同的影响因素：

a. 焊接残余应力的影响；

b. 焊接材料、焊接工艺、焊缝尺寸、焊缝外观、焊接缺陷等应符合TBJ2和TBJ212的有关规定；

c. 焊后加工状态。

主要焊接接头的类型及特殊要求：

3.2.2.1 传力焊缝连接

a. 横向对接接头

试样可分为等宽等厚对接焊试样，等厚不等宽对接焊试样，等宽不等厚对接焊试样。保留焊缝余高的连接其疲劳裂纹应起始在焊趾处，试样对接组装焊接时应考虑组装偏心和焊后变形的因素。

b. 十字型接头（图2）

焊脚尺寸的大小应确保裂纹出现在主板的焊趾处，不应从焊缝根部产生裂纹。同时应考虑焊缝外夹角 θ 的因素。

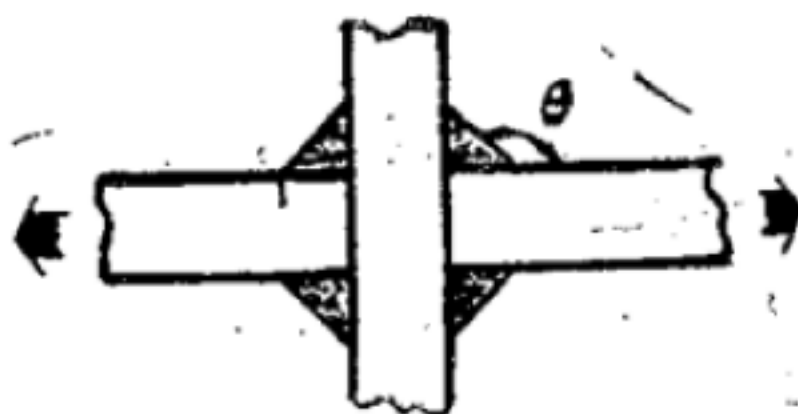


图2 十字型接头

c. 搭接接头 (图3) 焊脚尺寸的大小应确保裂纹产生在主板焊趾处, 不应从焊缝根部产生裂纹。

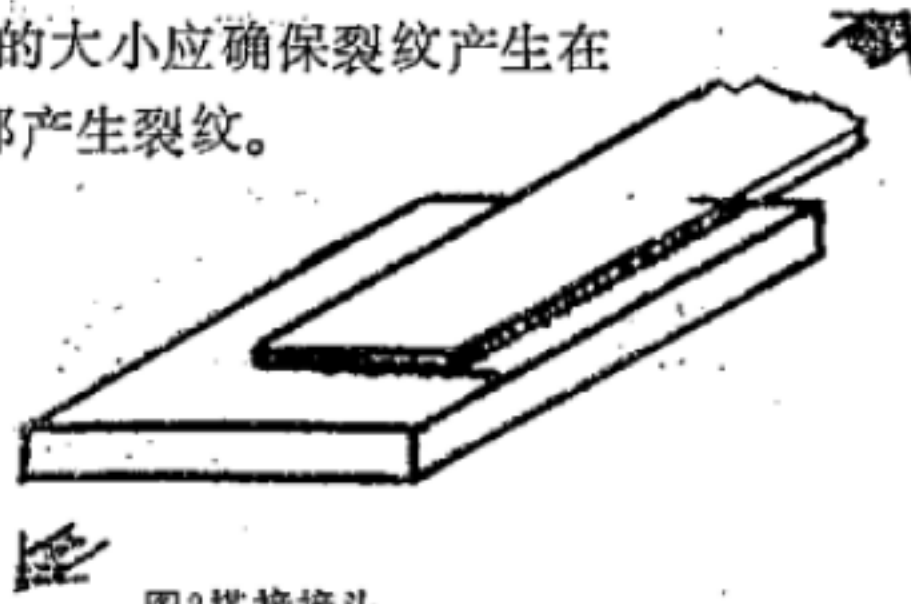


图3 搭接接头

3.2.2.2 非传力焊缝连接

a. 纵向对接和纵向角接接头 (图4) 当自动焊断弧时, 需按TBJ212的有关规定处理。

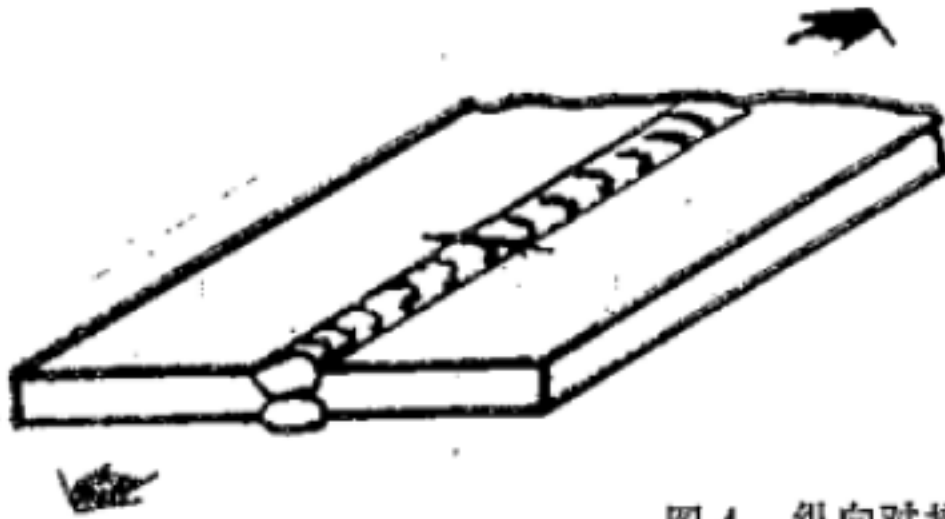
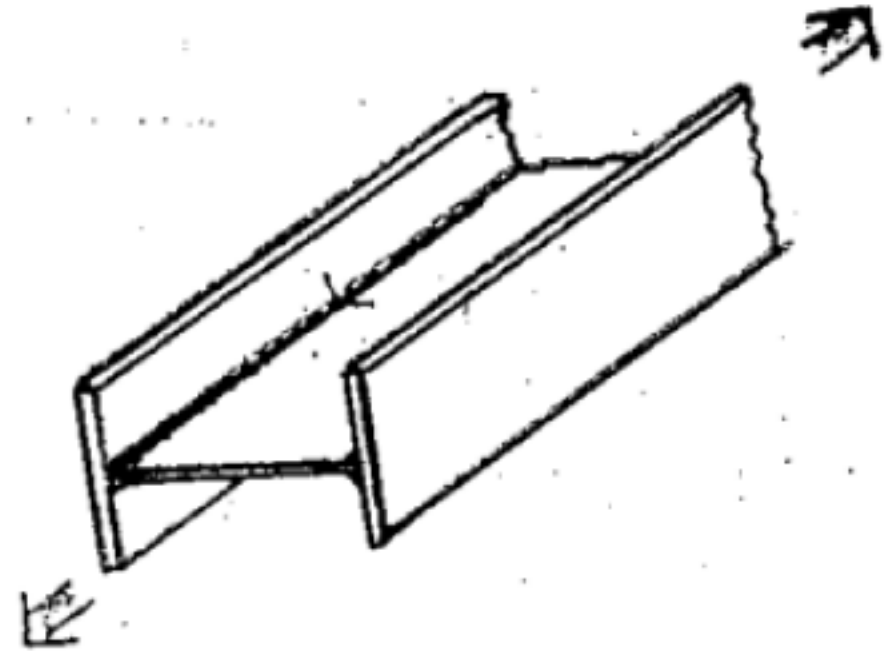


图4 纵向对接接头



b. 十字型和T型接头 (图5)

应考虑焊缝外夹角 θ 、焊缝起熄弧位置的影响。

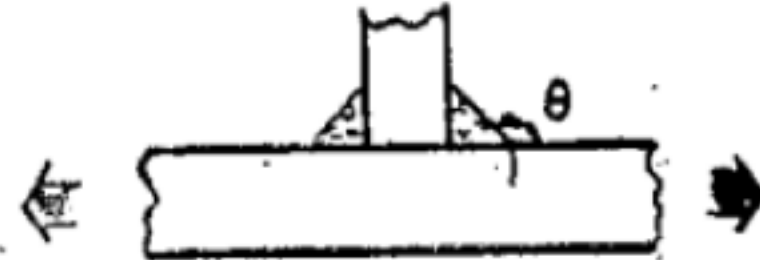
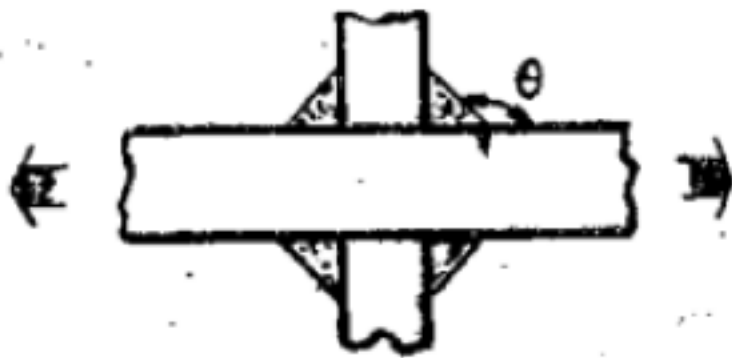


图5 十字型和T型接头

c. 附加连接件纵向对接、角接接头 (图6)

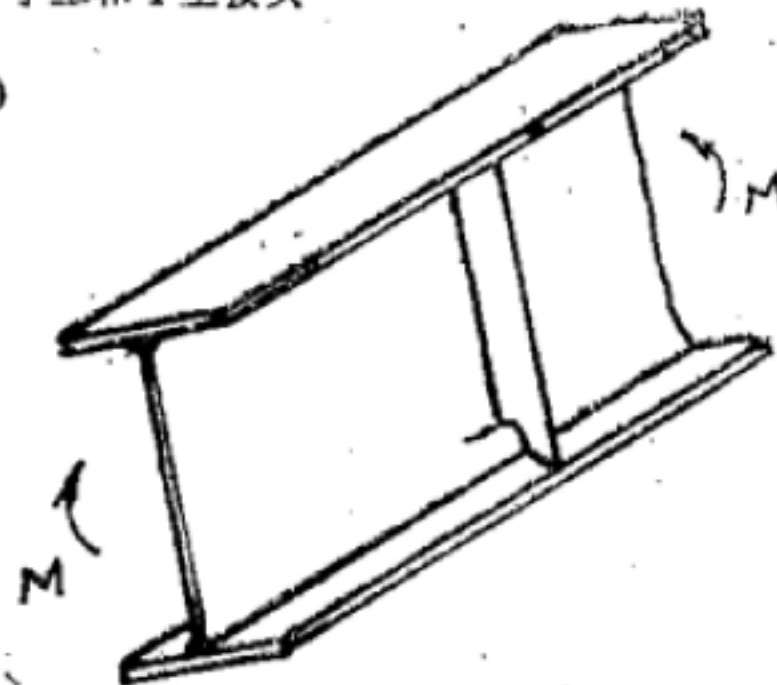
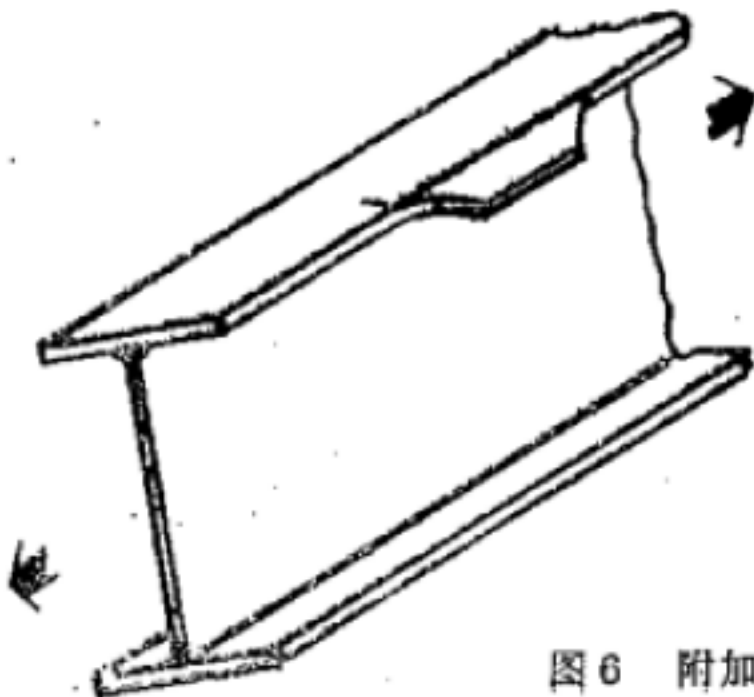


图6 附加连接件纵向对接、角接接头

3.2.3 其他细节和特殊细节的试样设计可根据细节类别划分考虑。

3.3 试样的应力计算

试样的应力计算是根据疲劳荷载采用弹性理论分析法确定其公称应力。

3.4 疲劳失效的判别 (N_f)

在疲劳荷载作用下,至疲劳破坏时的应力循环次数作为其疲劳寿命 N_f 。对于结构部件,也可根据裂纹扩展长度与应力循环次数的关系确定其疲劳寿命 N_f , N_f 以裂纹穿透板厚为依据。

4 试验设备

4.1 疲劳试验机

疲劳试验机需经国家认证的标准计量单位作定期标定,并在有效期内方可使用,标定内容如下:

- 测力计的稳定性、准确性和精度;
- 轴向受力疲劳试验机上下夹具的同轴度;
- 夹具的磨损度,并要求在试验全过程中试样与夹具之间不得有往复跳动式滑移;
- 具有液压脉动器的疲劳试验机,试验前必须进行动态标定,标定对象是对不同刚度的试样和加载频率进行测力计荷载的修正。

4.2 辅助疲劳试验设施

根据试验目的和对象,允许借助于加载梁或特制的加力架使试样承受预定的荷载,但必须根据试样实际承受的荷载与试验机测力计指示荷载之间的关系加以修正。

5 加载条件

5.1 加载方式

选择加载方式的原则是使试样尽可能重现在使用条件下的工作应力状态及实际结构中的疲劳断裂形式。桥梁结构一般选用轴向加载或弯曲加载方式。

荷载控制可采用柔性和刚性加载两种形式。桥梁结构疲劳试验原则规定采用柔性加载形式,即在试验全过程中保持荷载为稳定值,试样的变位随着疲劳裂纹的形成和扩展试样变柔而不受控制。

5.2 应力循环类型可采用(图7):

- 常幅式应力循环;
- 程序块式应力循环;
- 应力谱式应力循环。

5.3 常幅式应力循环

桥梁疲劳试验采用正弦波应力循环(图8)。

应力循环的参数如下:

最大应力 σ_{max}

最小应力 σ_{min}

应力范围 $\sigma_r = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$

(应力振幅 $\sigma_s = \sigma_r / 2$)

平均应力 $\sigma_m = 1/2 (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})$

应力比 $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$



图7 应力循环类型

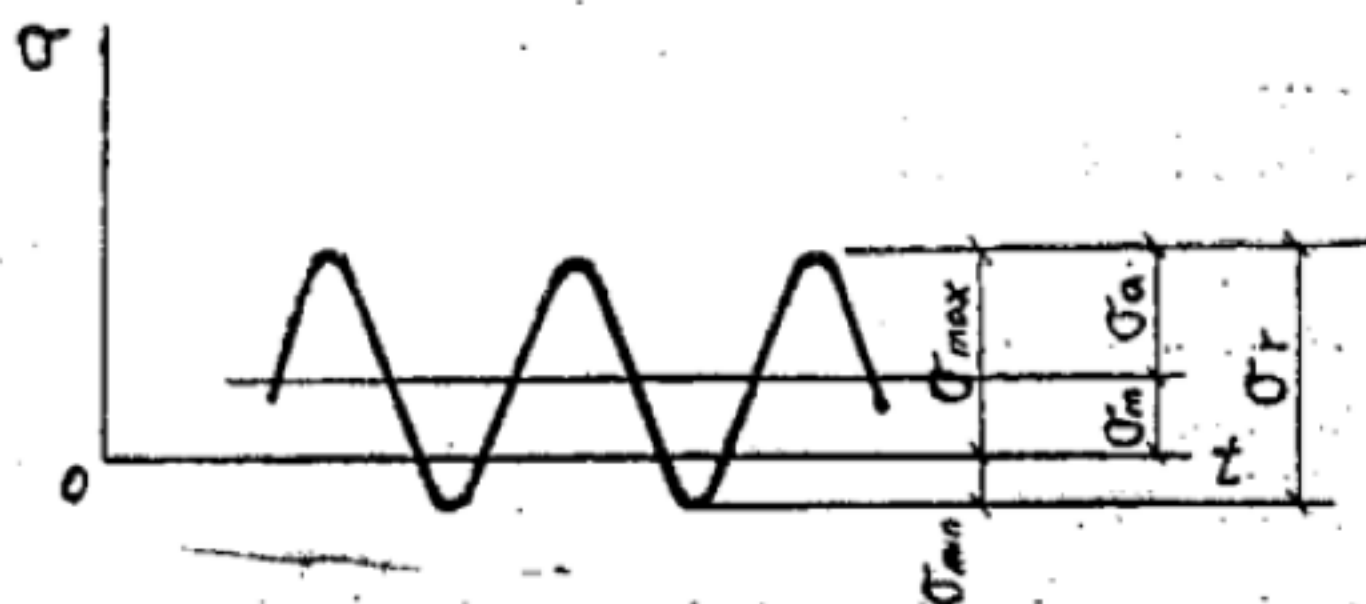


图8 应力参数图示

试验中选择应力参数时,原则上需考虑实际结构的循环应力特征及应力比(或平均应力)对其疲劳性能的影响。

5.4 加载频率

一般控制在 $f \leq 60\text{Hz}$ 。当 $60\text{Hz} < f \leq 300\text{Hz}$ 时,防止试样过热,试样温度不应高于 50°C 。

5.5 环境和温度

一般在大气环境和室温下进行试验。当桥梁处于特殊介质环境下使用时,应在模拟介质环境下进行试验。

6 试验程序

6.1 编制试验大纲

包括试验对象、目的、加载方式的选择、环境条件、试件的设计和制造及经费预算。

6.2 试验操作

6.2.1 试验步骤

- 测量试件尺寸并通过外观和无损检测检验在加工过程中引起的缺陷;
- 试验机和辅助加载设施的调试;
- 安装试样,必要时需测量试样的应变和变位;
- 确定疲劳破坏标准,待试样破坏时停止试验;
- 填写试验记录。

6.2.2 注意事项

- 同一组构造细节的试样应在同一台试验机上进行试验;
- 试样安装时应注意不造成因受力偏心而引起的附加应力;
- 正式试验前,应防止承受超过该试样预定的疲劳荷载和过大的预变形;
- 试验过程中应观察是否有过大振动,发热或其他反常现象,必要时中断试验或调整重装;

e. 试样破坏后,应保护好断口,对裂纹部位、裂纹源和裂纹的扩展做好记录。

6.3 试验数据的统计分析和编写试验报告。

6.3.1 通过试验数据分析可以对试验结果提出假设、直观概念和建立反映疲劳性能的数学模型。

6.3.2 试验报告

疲劳试验报告内容:

- 材质、材料的力学性能及化学成分;
- 试验计划;
- 疲劳试验设备及辅助设施;
- 试样的设计和加工;
- 试验过程及破坏特征;
- 应力和寿命(N)或裂纹发展与应力循环次数关系的数据表;
- 试验结果的分析 and 结论。

7 疲劳试验数据统计分析

7.1 疲劳曲线方程

$$\sigma^m N = C \quad (1)$$

式中: σ ——应力(最大应力,应力范围等) MPa;

N ——破坏时应力循环次数,次;

m ——双对数坐标图上的直线斜率。

在双对数坐标图上, $\lg \sigma$ 和 $\lg N$ 呈线性关系,则式(1)变为:

$$\lg N = A - m \lg \sigma \quad (2)$$

7.2 基于最小二乘法原理的线性回归统计分析

通过试验得到的一组试样(同一种构造细节)的有效试验数据有*i*组(σ_i 和 N_i),可用下述方法求出式(2)的各项系数。

$$S_{xx} = \sum (\lg \sigma_i - \overline{\lg \sigma})^2 \quad (3)$$

$$S_{yy} = \sum (\lg N_i - \overline{\lg N})^2 \quad (4)$$

$$S_{xy} = \sum (\lg \sigma_i - \overline{\lg \sigma})(\lg N_i - \overline{\lg N}) \quad (5)$$

式中 σ_i ——应力($i=1, 2, 3, \dots, n$), MPa;

N ——相应于 σ 的试件破坏时的次数,次;

$\overline{\text{Lg}\sigma}$ ——同组数据的 $\text{Lg}\sigma_i$ 的平均值, MPa;

$\overline{\text{Lg}N}$ ——同组数据的 $\text{Lg}N_i$ 的平均值, 次;

则
$$m = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \dots\dots\dots (6)$$

$$A = \overline{\text{Lg}N} - m \overline{\text{Lg}\sigma} \dots\dots\dots (7)$$

假定 $\text{Lg}\sigma = \text{Lg}\sigma_i$ 时, $\text{Lg}N$ 是一随机变量, 并且呈正态分布, 其标准偏差可按式求出:

$$S = \left[\frac{S_{yy} - mS_{xy}}{(n-2)} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (8)$$

式中 n ——有效试验数据个数。

对桥梁结构而言, 一般取 $\text{Lg}N$ 的均值减二倍标准偏差作为置信区间的下限 (非破坏概率为97.7%)。

该组试验数据的相关系数通过下式求出:

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} \dots\dots\dots (9)$$

当 $r=1$ 时, 所有试验数据落在回归线上, 离散度为零。

当 r 接近于零时, 表示 σ_i 和 N_i 无线性相关性。

7.3 绘制疲劳强度曲线

根据疲劳试验数据和对试验数据统计分析建立疲劳曲线方程, 可在双对数坐标图上绘制疲劳强度曲线如图9。

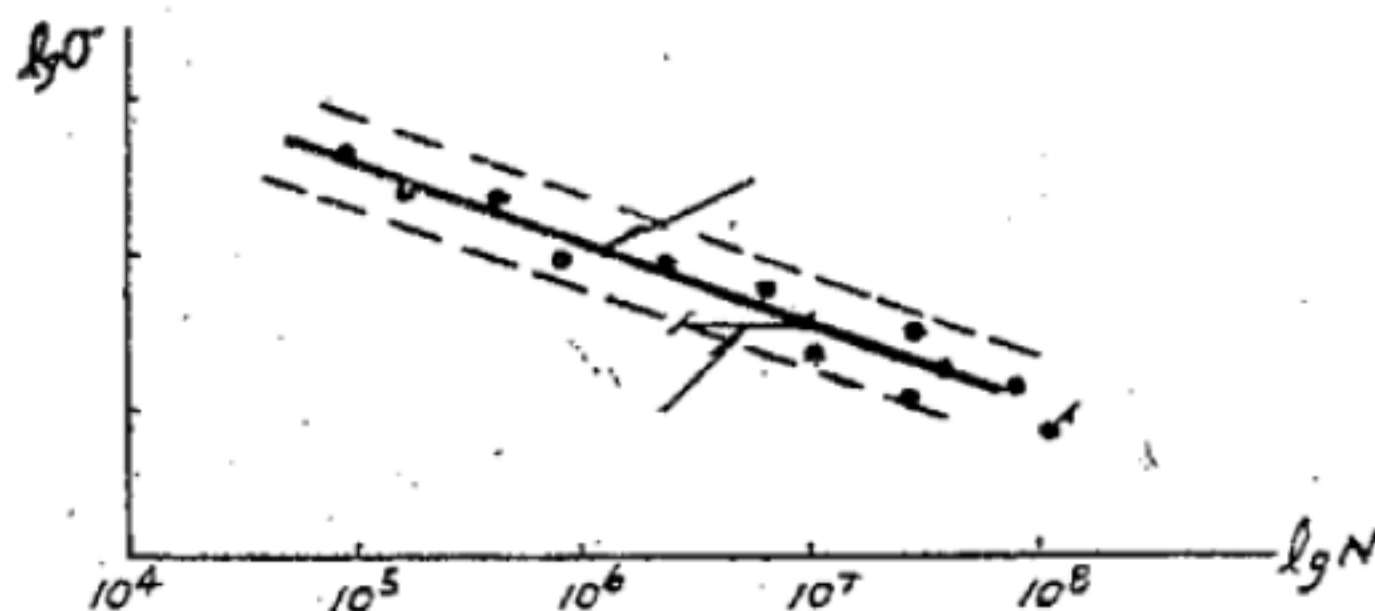


图9 疲劳强度曲线

附加说明:

本标准由铁道部标准计量所提出并归口。

本标准由铁道部科学研究院铁道建筑研究所负责起草。

本标准主要起草人史永吉、杨妍曼、李之榕、史志强、程季青。