

中华人民共和国铁道行业标准

TB/T 1806—2006

代替 TB/T 1806—1986

铁道客车车体静强度试验方法

Test method for static strength for railway passenger car-bodies

2006-11-29 发布

2007-05-01 实施

中华人民共和国铁道部 发布

目 次

前 言	II
1 范 围	1
2 规范性引用文件	1
3 总 则	1
4 试验场地	1
5 被试车体	1
6 试验设备和仪表	1
7 测点布置	2
8 应变片的粘贴	2
9 试验项目和内容	2
10 试验步骤	3
11 试验数据的整理、换算	4
12 强度、刚度的评定	4
13 试验资料与试验报告	4
附录 A(资料性附录) 模态试验方法	5
附录 B(规范性附录) 试验数据的整理与换算	7
附录 C(资料性附录) 基本作用载荷下应力及合成应力表格式	11

4 试验环境

试验一般在室内进行,环境条件如下:

a) 电压 220 V, 30 Hz, 交流电源, 功率因数在 0.9 以上, 电压波动在 10% 以内;

b) 无阳光直射, 无强电磁干扰, 空气相对湿度不大于 90%, 大气含尘浓度, 空气中含尘浓度较小;

c) 无强噪声, 噪声水平不大于 70 dB。

5 被试车体

5.1 试验应在车体承载结构组成后, 承受载荷前进行, 试验前应检查合格后方可进行。

5.2 试验前应检查被试车体的技术状态, 如各部变形、锈蚀和焊缝的质量情况进行检查和测量, 并作记录。

5.3 试验时, 被试车体应按设计的支持方式置于无摩擦或低摩擦的轨道上, 且不应约束车体的变形。

6 试验设备和仪表

6.1 试验用设备和仪表应在检定有效期内使用。

6.2 试验用传感器的准确度应不低于 2 级, 用于显示载荷值的压力传感器准确度不低于 0.4 级, 测量刚度的位移计准确度不低于 0.3 级, 千分表、百分表等的准确度不低于 1 级; 应变仪的基本误差不得超过测量值的 $\pm 1\%$ 。

① 客车车体静强度试验方法。

6.3 测量导线应尽量选用同一规格,测量应变片及其温度补偿应变片所用测量导线的长度、截面积相同。

6.4 测量应变片、温度补偿应变片的规格和灵敏度系数应相同,电阻值尽量一致,否则应修正;测量应变片和温度补偿应变片连同导线应处于相同环境温度下。温度补偿应变片不受外力作用,所贴试件的材质与测量应变片所贴试件相同。

7 测点布置

7.1 应力测点

7.1.1 应力测点应根据强度计算和结构分析情况进行布置。主要承载构件受力大的部位、应力集中严重的部位均应布置测点。测点布置图中应标明确切位置。断面突变部位测点尽量靠近突变处,构件翼缘测点与外缘的距离为 5 mm~10 mm。

7.1.2 根据应力状态选择应变片的布置方式。单向应力状态,应力方向已知时布单向应变片;复杂应力(平面应力)状态,主轴方向已知时布 0°—90°形式的二向应变片(应变花),主轴方向未知时布 0°—45°—90°形式的三向应变片(应变花)。

7.2 挠度测点

7.2.1 有中梁车,中梁的挠度测点一般布于端梁、枕梁、车体的中央;无中梁车,牵引梁的挠度测点布于端梁、枕梁的中央。

7.2.2 侧墙(侧梁)挠度测点一般布于枕梁两端及侧梁的中央。

7.2.3 枕梁端部的四个挠度测点可兼用于扭转刚度的测点。

8 应变片的粘贴

8.1 测点部位在粘贴应变片之前应打磨,露出金属表面,其表面粗糙度 R_a 的上限值为 3.2 μm ,然后用细砂纸打磨使砂削方向与贴片方向成 45°角,并用丙酮类洗料清洗干净。

8.2 应变片用适宜的粘贴剂粘贴牢固、密贴,位置和方向正确,引出线与接线板焊牢。

8.3 应变片粘贴干燥后,与试件间的绝缘电阻值以及其测量导线与大地间的绝缘电阻值应不低于 100 M Ω 。

9 试验项目和内容

9.1 垂向静载荷试验

9.1.1 在铺设有木地板或枕木的底架上施加均布或集中试验载荷,载荷的分布应接近实际承载情况。

9.1.2 试验加载值不低于 TB/T 1335—1996 中 6.1 规定的基本作用载荷。

9.1.3 试验时测量各应力测点的应力值(或应变值)和挠度测点的位移值。

9.2 纵向力试验

9.2.1 纵向拉伸力和压缩力沿车钩中心线分别施加于前、后从板座或相应部件上。已定型车进行一般性强度试验时可只施加纵向压缩力。

9.2.2 施加的纵向拉伸力和压缩力分别不低于 980 kN,1 180 kN。

9.2.3 试验时测量各应力测点的应力值(或应变值)。

9.3 扭转试验

9.3.1 在枕梁四个抬车位或旁承处将车体顶起,使车体与转向架离开一定距离,成四点近似水平支承状态。然后,将任意一个支承上升或下降,使车体产生扭转。其扭矩应按公式(1)计算:

$$M_k = \frac{\Delta P_1 + \Delta P_2}{2} b_1 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

M_k ——扭矩,单位为千牛米($kN\cdot m$);

ΔP_1 ——枕梁一支撑点支承力变化的绝对值,单位为千牛(kN);

ΔP_2 ——同一枕梁另一支撑点支承力变化的绝对值,单位为千牛(kN);

b_1 ——同一枕梁两支撑点间距离,单位为米(m)。

9.3.2 试验施加的扭矩不低于 $40\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

9.3.3 试验时测量各应力测点的应力值(或应变值)和枕梁端部测点的位移值。

9.4 顶车试验

9.4.1 顶车试验一般在相当于空车整备状态条件下进行,即在车体承载结构的底架上施加相当于木结构和设备的重量以及整备重量的垂向试验载荷。在四个架车位将车体顶起,使车体与转向架离开一定距离,成四点近似水平支承状态。首先将一个支承(支承点 1)降下,使车体成三点支承状态;然后恢复到四点近似水平支承状态,再将同端另一支承(支承点 2)降下,使车体成三点支承状态。

9.4.2 试验时测量车体三点支承状态下各应力测点的应力值(或应变值),检查顶车位附近结构是否有永久变形。

9.5 事故载荷试验

9.5.1 事故载荷试验的车体支承方式与垂向静载荷试验时相同。

9.5.2 按下列事故载荷(压缩载荷)值及其施加部位分别进行试验:

- a) 在一端端墙上,在缓冲中心线以上 350 mm 高度处施加 400 kN 压缩载荷,另一端在车钩高度或缓冲盘高度施加纵向约束;

注:有缓冲盘的车,缓冲中心线系指缓冲盘中心线;无缓冲盘的车,缓冲中心线系指车钩中心线。

- b) 在一端端墙上,侧墙车窗下缘高度处施加 300 kN 的压缩载荷,另一端在车钩高度或缓冲盘高度施加纵向约束;

- c) 在一端端墙上,上侧梁高度处施加 300 kN 的压缩载荷,另一端在车钩高度或缓冲盘高度施加纵向约束;

- d) 在一端端墙上,一缓冲盘高度处沿缓冲盘中心线施加 500 kN 的压缩载荷,另一端在对角线方向缓冲盘高度施加纵向约束。

注:无缓冲盘的车不进行 d) 项试验。

9.5.3 试验时测量各应力测点的应力值(或应变值)。

9.6 模态试验

推荐采用脉冲锤击激励试验方法(参见附录 A)进行试验。测定的一阶垂向弯曲固有振动频率不宜低于 13 Hz 。

10 试验步骤

10.1 预 试

10.1.1 正式试验前应进行预试。预试选择纵向加载和垂向加载工况。预试可分为二级或三级进行加载,加载的最大值达到正式试验的最大值。

10.1.2 预试时检查各级载荷下各应力测点、挠度测点、车体各部位变形、仪表、加载设备等有无异常。被试结构、测试系统均处于正常状态后,方可进行正式试验。

10.2 正式试验

10.2.1 每种工况加载次数不少于三次。

10.2.2 试验中注意分析应力、挠度的变化规律,及时处理被试结构、测试系统出现的问题。对于异常数值应及时分析、处理。特别当一组测点数据出现异常时,注意检查其温度补偿应变片,必要时予以更换。

11 试验数据的整理、换算

试验数据的整理与换算方法见附录 B。

12 强度、刚度的评定

12.1 强度的评定

12.1.1 强度按公式(2)进行评定:

$$\sigma_e = \sqrt{0.5[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq [\sigma] \quad (2)$$

式中:

σ_e ——测点的当量应力值,单位为兆帕(MPa);

σ_1 ——测点的主应力值,单位为兆帕(MPa);

σ_2 ——测点的主应力值,单位为兆帕(MPa);

σ_3 ——测点的主应力值,单位为兆帕(MPa);

$[\sigma]$ ——材料的许用应力值,单位为兆帕(MPa)。

注: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 均为代数值,且 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$; 单向应力状态,其中二个为零;平面应力状态,其中一个为零。

12.1.2 垂向载荷(包括静载荷和动载荷)、纵向载荷、扭转载荷、侧向力同时作用下,各测点的合成应力应不大于材料的许用应力。材料的许用应力按 TB/T 1335—1996 中 9.5 的规定选取。

12.1.3 顶车载荷下,各测点的合成应力应不大于材料的屈服极限,顶车位及其附近结构不产生永久变形。

12.1.4 事故载荷下,各测点的应力应不大于材料的屈服极限。

12.2 刚度的评定

12.2.1 车体的垂向相当弯曲刚度,以中梁挠度计算推荐不小于 $1.30 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2$; 以侧梁挠度计算推荐不小于 $1.80 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 。

12.2.2 车体的相当扭转刚度推荐不小于 $5.5 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{rad}$ 。

13 试验资料与试验报告

13.1 原始试验资料由试验单位归档备查。

13.2 试验报告包括下列内容:

- 试验目的、被试车型号、试验的时间和地点;
- 被试车体的结构特点和技术状态;
- 试验用设备和仪表的型号与准确度;
- 试验内容及载荷值;
- 试验结果的分析、评定、结论与建议;
- 附应力、挠度测点布置图,基本作用载荷下应力及合成应力汇总表(格式参见附录 C),挠度数据表;
- 试验人员、试验报告拟稿人、试验负责人和试验单位(公章)。

附录 A (资料性附录) 模态试验方法

A.1 试验仪器设备

A.1.1 力锤质量适中,所产生的激振能量应能激发出所要测试的模态,避免产生连击现象。

A.1.2 数据采集系统具有可以实现触发型式的采样方式,并能实现数据的自动存储。

A.1.3 数据采集系统能实现不同通道用不同的采样频率进行采样。

A.1.4 响应通道的采样频率大于 200 Hz,力通道的采样频率大于 1 000 Hz。

A.2 数据处理系统

A.2.1 数据处理系统具有进行快速傅立叶变换、传递函数分析、几何结构建模、模态参数识别、振型编辑、动画显示等功能。

A.2.2 传递函数分析模块应提供矩形窗、汉明窗、海宁窗、指数窗等多种窗函数,以减小因频谱泄漏引起的误差。

A.2.3 模态参数识别模块应能识别单输入多输出、多输入单输出和多输入多输出系统模态频率、模态质量和模态阻尼等模态参数。

A.3 试验方法及测点布置

A.3.1 对于车体承载结构,建议采用单输入多输出方法进行试验。

A.3.2 测点分为激振点和拾振点两种。其布置应根据车体参数、试验设备等因素确定。一般应采用图 A.1 和图 A.2 所示一点激振、多点拾振方法的测点布置。拾振点沿车体纵向应至少选择 7 个断面,建议选择 9 个测试断面,每个断面布置 4 个横向、4 个垂向共 8 个测点。

频率测点应根据模态计算和结构分析确定有明显固有振型的点。

A.3.3 测点布置应在计算机内建立相应的模型。

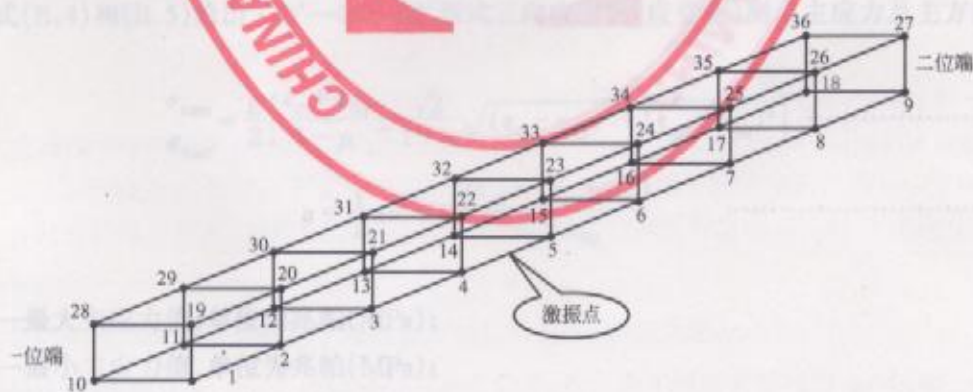


图 A.1 模态试验模型及布点位置

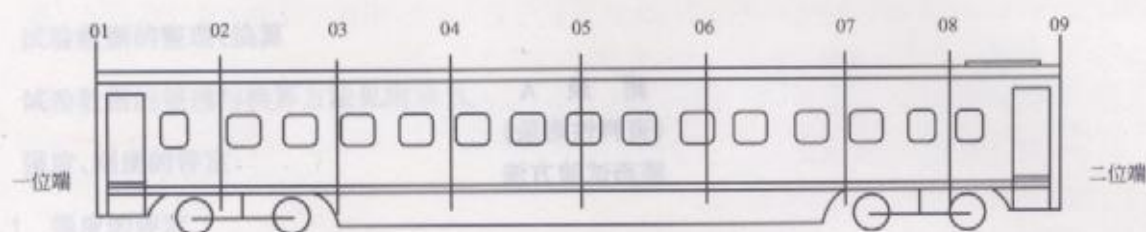


图 A.2 模态试验断面布置

A.4 试验步骤

- A.4.1 试验时,无弹簧装置的转向架与车体之间按车辆支承方式在相应支承位放置弹性橡胶堆。
- A.4.2 用力锤敲击激振点,拾取激振点的激振力和各测点处的振动加速度。激振和拾振分垂向和横向分别进行。
- A.4.3 用力锤敲击激振点时,不应产生连击波形。

A.5 试验结果整理

- A.5.1 数据采集完成后,对激励信号和响应信号进行富氏变换和传函分析,将所有的传递函数进行集总平均,确定模态阶数后进行模态参数识别,按质量归一或振型归一原则进行振型编辑。
- A.5.2 车体振型频率识别范围为 5 Hz~40 Hz。
- A.5.3 模态试验报告应提供包括试验设备、试验方法、模态、频率、模态阻尼比及各阶振型图等。

附录 B

(规范性附录)

试验数据的整理与换算

B.1 试验数据的整理计算

对每个测点的试验值经分析、检查剔除异常值后,求出其算术平均值。

B.2 应变—应力换算基本公式

B.2.1 公式(B.1)给出了单向应变片应力的计算公式。

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{..... (B.1)}$$

式中:

σ ——应力值,单位为兆帕(MPa);

E ——材料的弹性模量,轧制钢材取 206 GPa,常用挤压、轧制铝合金取 70 GPa;

ε ——应变值。

B.2.2 公式(B.2)和(B.3)给出了 0°—90°形式二向应变片(应变花)测点主应力的计算公式。

$$\sigma_0 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_0 + \mu\varepsilon_{90}) \quad \text{..... (B.2)}$$

$$\sigma_{90} = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_{90} + \mu\varepsilon_0) \quad \text{..... (B.3)}$$

式中:

σ_0 ——沿车体纵向的主应力值,单位为兆帕(MPa);

σ_{90} ——沿车体横向的主应力值,单位为兆帕(MPa);

μ ——泊松比,钢材取 0.3,常用挤压、轧制铝合金取 0.33;

ε_0 ——沿车体纵向应变片的应变值;

ε_{90} ——沿车体横向应变片的应变值。

B.2.3 公式(B.4)和(B.5)给出了 0°—45°—90°形式三向应变片(应变花)测点主应力及主方向角的计算公式。

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{E}{2} \left[\frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{1-\mu} \pm \frac{\sqrt{2}}{1+\mu} \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{45})^2 + (\varepsilon_{45} - \varepsilon_{90})^2} \right] \quad \text{..... (B.4)} \\ \sigma_{\min} & \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\varepsilon_{45} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90})}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}} \quad \text{..... (B.5)}$$

式中:

$\sigma_{\max}$ ——最大主应力值,单位为兆帕(MPa);

$\sigma_{\min}$ ——最小主应力值,单位为兆帕(MPa);

ε_{45} ——沿 45°角方向应变片的应变;

α ——主方向角,单位为度(°)

B.3 应力(或应变)的换算

B.3.1 一般要求

考虑试验载荷值有时与基本作用载荷值不相等以及试验载荷的加载位置与实际载荷的分布情况有差异,应将试验载荷下测得的应力换算成基本作用载荷下的应力。

B.3.2 垂向静载荷作用下的换算

B.3.2.1 公式(B.6)给出了底架中梁、端梁、横梁及斜撑应力的换算公式。

$$\sigma_{\text{d}} = \sigma_{\text{d}} \frac{(m_1 + m_2 + m_3)g}{F_{\text{d}}} \quad \text{..... (B.6)}$$

式中:

σ_{d} ——垂向静载荷下的应力值,单位为兆帕(MPa);

σ_{d} ——试验载荷下测得的应力值,单位为兆帕(MPa);

F_{d} ——试验载荷,单位为千牛(kN);

m_1 ——底架自重,单位为吨(t);

m_2 ——载重,单位为吨(t);

m_3 ——底架上的整备重量,单位为吨(t);

g ——重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2)。

B.3.2.2 公式(B.7)给出了枕梁、侧墙(包括侧梁)和车顶应力的换算公式。

$$\sigma_{\text{d}} = \sigma_{\text{d}} \frac{(m_0 + m_2 + m_4)g}{F_{\text{d}}} \quad \text{..... (B.7)}$$

式中:

m_0 ——车体自重,单位为吨(t);

m_4 ——车体的整备质量,单位为吨(t)。

B.3.3 纵向力作用下应力的换算

B.3.3.1 公式(B.8)给出了 980 kN 纵向拉伸力作用下应力的换算公式。

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{d}} \frac{980}{F_{\text{d}}} \quad \text{..... (B.8)}$$

式中:

σ_1 ——980 kN 纵向拉伸力作用下应力值,单位为兆帕(MPa)。

B.3.3.2 公式(B.9)给出了 1 180 kN 纵向压缩力作用下应力的换算公式。

$$\sigma_y = \sigma_{\text{d}} \frac{1\,180}{F_{\text{d}}} \quad \text{..... (B.9)}$$

式中:

σ_y ——1 180 kN 纵向压缩力作用下应力值,单位为兆帕(MPa)。

注:只做纵向压缩力而不做纵向拉伸力试验的车体,纵向拉伸力作用下应力由 σ_y 乘以 -0.83 求得。

B.3.4 40 kN·m 扭转载荷作用下的换算

公式(B.10)给出了 40 kN·m 扭转载荷作用下应力的换算公式。

$$\sigma_n = \sigma_{\text{d}} \frac{40}{M_{\text{kcl}}} \quad \text{..... (B.10)}$$

式中:

σ_n ——40 kN·m 扭转载荷作用下应力值,单位为兆帕(MPa);

M_{kcl} ——试验扭矩,单位为千牛米($\text{kN}\cdot\text{m}$)。

注:应变的换算比照应力的换算公式进行。

B.4 应力(或应变)合成

B.4.1 应力合成应遵守“最大可能组合”原则。单向应力状态,可直接将各种基本作用载荷下的应力

进行合成;复杂应力状态应先将各方向应变片在各种基本作用载荷下的应变合成后,再分别按公式(B.2)和(B.3)、(B.4)求出合成应力的主应力,三向应变片按公式(B.5)求出主应力方向角。

B.4.2 公式(B.11)给出了底架中梁、端梁、横梁及斜撑应力的合成公式。

$$\sigma_h = \sigma_{qj}(1 + K_{dy}) + \sigma_y (\text{或 } \sigma_l) + \sigma_n \quad \text{..... (B.11)}$$

式中:

σ_h ——合成应力值,单位为兆帕(MPa);

K_{dy} ——垂向动荷系数,由 TB/T 1335—1996 中 6.2.1 的规定求得。

B.4.3 公式(B.12)给出了枕梁、侧墙(包括侧梁)及车顶应力的合成公式。

$$\sigma_h = \sigma_{qj}(1 + K_{dy} + K_c) + \sigma_y (\text{或 } \sigma_l) + \sigma_n \quad \text{..... (B.12)}$$

式中:

K_c ——侧向力影响系数,取为 0.125。

B.4.4 公式(B.13)给出了顶车应力的合成公式。

$$\sigma_{dh} = \sigma_{sq} + \sigma_d \quad \text{..... (B.13)}$$

式中:

σ_{dh} ——顶车工况下合成应力值,单位为兆帕(MPa);

σ_{sq} ——整备状态下静应力值,单位为兆帕(MPa);

σ_d ——顶车试验工况下应力值,单位为兆帕(MPa)。

注:应变的合成比照应力的合成公式进行。

B.5 挠度的计算与换算

B.5.1 中梁的挠度,首先应根据垂向试验载荷下测得的挠度测点的位移变化值计算出中梁中央相对于两心盘(枕梁中央)的挠度,然后再比照公式(B.6)换算为垂向静载荷下的挠度。

B.5.2 侧梁的挠度,首先应根据垂向试验载荷下测得的挠度测点的位移变化值计算出侧梁中央相对于两枕梁端部的挠度,然后再比照公式(B.7)换算为垂向静载荷下的挠度。

B.6 车体垂向相当弯曲刚度计算

公式(B.14)给出了车体垂向相当弯曲刚度的计算公式。

$$EJ = \frac{WL_2^3}{384f}(5L_2^2 - 24L_1^2) \quad \text{..... (B.14)}$$

式中:

EJ ——垂向相当弯曲刚度,单位为牛二次方米($N \cdot m^2$);

W ——垂向试验载荷或静载荷下单位长度载荷,单位为牛每米(N/m);

L_1 ——底架悬臂部分长度,单位为米(m);

L_2 ——车辆定距,单位为米(m);

f ——垂向试验载荷或静载荷下中梁或侧梁相应的挠度,单位为米(m)。

B.7 车体相对扭转刚度计算

B.7.1 公式(B.15)给出了车体相对扭转角的计算公式。

$$\varphi = \frac{(\delta_1 - \delta_2) - (\delta_3 - \delta_4)}{b_2} \quad \text{..... (B.15)}$$

式中:

- φ ——车体相对扭转角,单位为弧度(rad);
- δ_1 ——枕梁一位挠度测点垂向位移值,单位为毫米(mm);
- δ_2 ——枕梁二位挠度测点垂向位移值,单位为毫米(mm);
- δ_3 ——枕梁三位挠度测点垂向位移值,单位为毫米(mm);
- δ_4 ——枕梁四位挠度测点垂向位移值,单位为毫米(mm);
- b_2 ——同一枕梁两挠度测点间距离,单位为毫米(mm)。

B.7.2 公式(B.16)给出了车体相当扭转刚度的计算公式。

$$GJ = \frac{M_k L}{\varphi} \quad \text{..... (B.16)}$$

式中:

- GJ ——相当扭转刚度,单位为牛二次方米每弧度($\text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{rad}$);
- L ——相对扭转截面间距离,单位为米(m)。

附录 C

(资料性附录)

基本作用载荷下应力及合成应力表格式

基本作用载荷下应力及合成应力表格式参见表 C.1。

表 C.1 基本作用载荷下应力及合成应力

单位为兆帕

部件	测点编号	纵向力		垂向载荷下 静、动、侧 向应力合成	扭转载荷 40 kN·m	最大可能 合成应力	顶车试验合成应力		备注
		压缩力 1 180 kN	拉伸力 980 kN				支承点 1 降下	支承点 2 降下	
	单向应变片								
	三向应变片 0°方向								
	三向应变片 90°方向								
	三向应变片 45°方向								
	σ_e								