

后桥可靠性分析的参数灵敏度

张义民¹, 刘巧伶¹, 闻邦椿²

(1. 吉林大学, 长春 130025; 2. 东北大学, 沈阳 110004)

摘 要: 可靠性灵敏度分析在可靠性设计和修改、可靠性优化设计、可靠性维护等方面均有重要的应用。该文讨论了后桥的可靠性参数灵敏度分析问题, 提出了可靠性灵敏度设计的计算方法, 研究了正态分布设计参数的改变对后桥可靠性的影响, 为后桥的可靠性设计提供了理论依据。

关键词: 后桥; 可靠性设计; 参数; 灵敏度

中图分类号: TH113

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)03-0095-04

1 引言

可靠性与其他性能一样, 都必须在产品研制设计过程中充分考虑^[1~36], 而由制造和管理来保证。车辆零部件可靠性灵敏度设计, 是在可靠性基础上进行车辆零部件的灵敏度设计。在进行汽车零部件的可靠性分析时, 由于各因素对汽车零部件失效的影响程度不同, 因此关于汽车零部件可靠性灵敏度的研究具有重要意义。事实上, 若某参数对汽车零部件失效有较大的影响, 则在设计制造过程中就要严格加以控制, 使其变化较小以保证汽车零部件有足够的安全可靠; 反之, 如果某参数对结构可靠性的影响不显著, 则在进行汽车零部件可靠性设计时, 就可以把它当作确定量值处理以减少随机变量的数目。本文采用摄动方法、可靠性设计方法和灵敏度分析方法讨论了车辆后桥的可靠性灵敏度设计问题。在基本随机变量的概率特性已知的情况下, 可以迅速准确地得到后桥的可靠性灵敏度设计信息。

2 后桥壳的力学模型

轴壳是驱动轴传力件又是承载件。合理地减轻轴壳质量可以提高汽车行驶平顺性; 并给制造、拆装与维修方便。按结构型式车辆后桥可分为: 整体式、对分式和组合式 3 种。现在随着汽车向高速和轻量化方向发展, 出现了由钢板冲压、钢管扩张和锻造式的车辆后桥(图 1)。

一般的后桥是受弯矩和扭矩联合作用的构件, 通常后桥的危险截面在钢板弹簧座的两侧和法兰盘圆角处, 而这部分截面多为管形截面, 一些车辆的这部分截面为内圆外方截面, 因此, 我们就用管状截面和内圆外方截面来推导后桥壳的强度设计公式。

对于管状截面来说, 后桥上所受的弯曲应力和扭转应力分别为

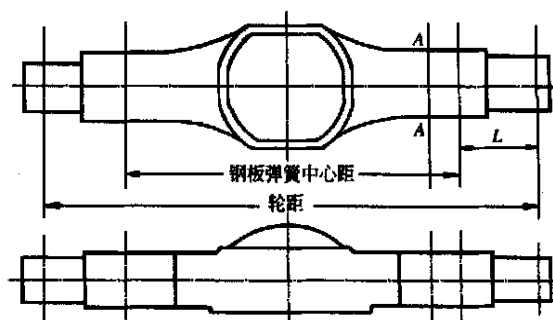


图 1 后桥结构

Fig 1 Structure of rear-axle case

$$s = \frac{32DM}{\pi(D^4 - d^4)} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{16DM}{\pi(D^4 - d^4)} \quad (2)$$

式中 M, T —— 分别为弯矩和扭矩; D, d —— 分别为危险截面处管状截面的外径和内径。根据第四强度理论, 后桥的危险截面处的合成应力为

$$\sigma = \sqrt{s^2 + 3\tau^2} = \frac{32D}{\pi(D^4 - d^4)} \sqrt{M^2 + 0.75T^2} \quad (3)$$

对于内圆外方截面来说, 后桥主要承受弯矩作用, 其弯曲应力为

$$\sigma = \frac{M}{W_n} \quad (4)$$

式中 M —— 弯矩; W_n —— 抗弯截面系数, 由下式确定

$$W_n = \frac{bh^2}{6} \left(1 - 0.59 \frac{d^4}{bh^3} \right) \quad (5)$$

式中 d —— 危险截面处内圆直径; b, h —— 分别为外方截面的边长。

根据应力—强度干涉理论, 以应力极限状态表示的状态方程为

$$g(X) = r - \sigma \quad (6)$$

式中 r —— 后桥的材料强度, 对于管状截面基本随机参数向量为 $X = (r M T D d)^T$, 对于内圆外方截面基本随机参数向量为 $X = (r M b h d)^T$ 。这些基本随机变量向量 X 的均值 $E(X)$ 和方差 $Var(X)$ 是已知的, 并且

收稿日期: 2002-11-31 修订日期: 2002-12-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50175043); 吉林省科技发展计划资助项目资助

作者简介: 张义民, 教授, 博士生导师, 长春市人民大街 142 号 吉林大学南岭校区机械科学与工程学院, 130025。Email: zhangym@public.cc.jl.cn

可以认为这些随机变量是服从正态分布的相互独立的随机变量。 $g(X)$ 为状态函数, 可表示零部件的两种状态

$$\begin{cases} g(X) = 0 & \text{为失败状态} \\ g(X) > 0 & \text{为安全状态} \end{cases} \quad (7)$$

这里极限状态方程 $g(X) = 0$ 分别为一个 5 维曲面, 称为极限状态面或失败面。

3 可靠性设计的摄动法

应用概率设计方法, 在设计计算中考虑设计变量的不确定因素, 规定基本设计准则, 建立设计变量交互作用的模型等, 是可靠性设计方法所面临的问题。可靠性设计的摄动法可以正确地反映机械零部件的固有的可靠性, 给出了可供实际计算的数学力学模型, 估计或预测零部件在规定的工作条件下的可靠性, 揭示了零部件可靠性设计的本质。

把随机参数向量 X 和状态函数 $g(X)$ 表示为

$$X = X_d + \epsilon X_p \quad (8)$$

$$g(X) = g_d(X) + \epsilon g_p(X) \quad (9)$$

这里 ϵ 为一小参数, 下标为 d 的部分表示随机参数中的确定部分, 下标为 p 的部分表示随机参数中的随机部分, 且具有零均值。显然这里要求随机部分要比确定部分小得多。对上两式取数学期望, 有

$$E(X) = \bar{X} = E(X_d) + \epsilon E(X_p) = X_d \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \mu_g &= E[g(X)] = \bar{g} = E[g_d(X)] + \epsilon E[g_p(X)] \\ &= g_d(X) \end{aligned} \quad (11)$$

同理, 对其取方差, 根据 Kronecker 代数及相应的随机分析理论, 有

$$\text{Var}(X) = E\{[X - E(X)]^{[2]}\} = \epsilon^2 [X_p^{[2]}] \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}[g(X)] &= E\{[g(X) - E(g(X))]^{[2]}\} \\ &= \epsilon^2 E\{[g_p(X)]^{[2]}\} \end{aligned} \quad (13)$$

式中 $(\cdot)^{[2]} = (\cdot) \otimes (\cdot)$ 为 (\cdot) 的 Kronecker 幂, 符号 \otimes 代表 Kronecker 积, 定义为 $(A)_{p \times q} \otimes (B)_{s \times t} = [a_{ij}B]_{ps \times qt}$ 。

根据向量值和矩阵值函数的 Taylor 展开式, 当随机参数的随机部分比其确定部分小得多时, 可以把 $g_p(X)$ 在 $E(X) = X_d$ 附近展开到一阶为止, 有

$$g_p(X) = \frac{\partial g_d(X)}{\partial X^T} X_p \quad (14)$$

矩阵导数定义为 $\partial(A)_{p \times q} / \partial(B)_{s \times t} = (\partial / \partial b_{ij})_{ps \times qt}$ 。把式 (14) 代入式 (13), 有

$$\begin{aligned} \sigma_g^2 &= \text{Var}[g(X)] = \epsilon^2 E\left[\left(\frac{\partial g_d(X)}{\partial X^T}\right)^{[2]} X_p^{[2]}\right] \\ &= \left[\frac{\partial g_d(X)}{\partial X^T}\right]^{[2]} \text{Var}(X) \end{aligned} \quad (15)$$

式中 $\text{Var}(X)$ —— 随机参数的方差向量。

把状态函数 $g(X)$ 对基本随机变量向量 X 求偏导数, 分别有

$$\frac{\partial g}{\partial X^T} = \left[\frac{\partial g}{\partial r} \frac{\partial g}{\partial M} \frac{\partial g}{\partial T} \frac{\partial g}{\partial d} \frac{\partial g}{\partial t} \right] \quad (16a)$$

$$\frac{\partial g}{\partial X^T} = \left[\frac{\partial g}{\partial r} \frac{\partial g}{\partial M} \frac{\partial g}{\partial T} \frac{\partial g}{\partial d} \frac{\partial g}{\partial t} \right] \quad (16b)$$

把式 (16) 代入式 (15), 可以得到状态函数方差的表达式。

可靠性指标定义为

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} = \frac{E[g(X)]}{\sqrt{\text{Var}[g(X)]}} \quad (17)$$

这样一方面可以利用可靠性指标直接衡量构件的可靠性, 另一方面在基本随机参数向量 X 服从正态分布时, 可以用失败点处状态表面的切平面近似地模拟极限状态表面, 可以获得可靠度的一阶估计量

$$R = Q(\beta) \quad (18)$$

式中 $Q(\beta)$ —— 标准正态分布函数。

4 可靠性灵敏度

后桥的可靠度对基本随机参数向量 X 均值和方差的灵敏度为

$$\frac{DR}{DX^T} = \frac{\partial R}{\partial \beta} \frac{\partial \beta}{\partial \mu_g} \frac{\partial \mu_g}{\partial X^T} \quad (19)$$

$$\frac{DR}{D\text{Var}(X)} = \frac{\partial R}{\partial \beta} \frac{\partial \beta}{\partial \sigma_g} \frac{\partial \sigma_g}{\partial \text{Var}(X)} \quad (20)$$

式中

$$\frac{\partial R}{\partial \beta} = Q(\beta) \quad (21)$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial \mu_g} = \frac{1}{\sigma_g} \quad (22)$$

$$\frac{\partial \mu_g}{\partial X^T} = \left[\frac{\partial g}{\partial r} \frac{\partial g}{\partial M} \frac{\partial g}{\partial T} \frac{\partial g}{\partial d} \frac{\partial g}{\partial t} \right] \quad (23)$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial \sigma_g} = \frac{\mu_g}{\sigma_g^2} \quad (24)$$

$$\frac{\partial \sigma_g}{\partial \text{Var}(X)} = \frac{1}{2\sigma_g} \left[\frac{\partial g}{\partial X^T} \otimes \frac{\partial g}{\partial X^T} \right] \quad (25)$$

把已知条件和可靠性计算结果代入式 (19) 和式 (20), 就可以获得可靠性灵敏度 DR/DX^T 和 $DR/D\text{Var}(X)$ 。

5 数值算例

5.1 管状截面后桥壳的可靠性灵敏度设计

某种车辆的后桥壳的管状危险截面内径的均值和标准差为的 $d = (86, 0.43)\text{mm}$, 外径 $D = (96, 0.48)\text{mm}$, 后桥壳承受的弯矩和扭矩的均值和标准差分别为 $M = (6.4 \times 10^6, 5.8 \times 10^5)\text{N} \cdot \text{mm}$, $T = (4.5 \times 10^6, 3.6 \times 10^5)\text{N} \cdot \text{mm}$, 材料强度的均值和标准差为 $r = (443, 27.5)\text{MPa}$ 。

计算得到此后桥壳的可靠性指标、可靠度和可靠性灵敏度分别为

$$\beta = 5.6276, R = 1.000000$$

$$DR/D\bar{X}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial R}{\partial r} & \frac{\partial R}{\partial M} & \frac{\partial R}{\partial r} & \frac{\partial R}{\partial d} & \frac{\partial R}{\partial d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.484998 \times 10^{-9} \\ -4.102218 \times 10^{-14} \\ -2.163279 \times 10^{-14} \\ 3.837708 \times 10^{-8} \\ -3.028525 \times 10^{-8} \end{bmatrix}^T,$$

$$DR/D\text{Var}(X) = \begin{bmatrix} R\text{Var}(r) \\ R\text{Cov}(r, M) \\ R\text{Cov}(r, T) \\ R\text{Cov}(r, D) \\ R\text{Cov}(r, d) \\ R\text{Cov}(M, r) \\ R\text{Var}(M) \\ R\text{Cov}(M, T) \\ R\text{Cov}(M, D) \\ R\text{Cov}(M, d) \\ R\text{Cov}(T, r) \\ R\text{Cov}(T, M) \\ R\text{Var}(T) \\ R\text{Cov}(T, D) \\ R\text{Cov}(T, d) \\ R\text{Cov}(D, r) \\ R\text{Cov}(D, M) \\ R\text{Cov}(D, T) \\ R\text{Var}(D) \\ R\text{Cov}(D, d) \\ R\text{Cov}(d, r) \\ R\text{Cov}(d, M) \\ R\text{Cov}(d, T) \\ R\text{Cov}(d, D) \\ R\text{Var}(d) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.171942 \times 10^{-10} \\ 3.237420 \times 10^{-15} \\ 1.707233 \times 10^{-15} \\ -3.028672 \times 10^{-9} \\ 2.390075 \times 10^{-9} \\ 3.237420 \times 10^{-15} \\ -8.943177 \times 10^{-20} \\ -4.716129 \times 10^{-20} \\ 8.366525 \times 10^{-14} \\ -6.602438 \times 10^{-14} \\ 1.707233 \times 10^{-15} \\ -4.716129 \times 10^{-20} \\ -2.487021 \times 10^{-20} \\ 4.412035 \times 10^{-14} \\ -3.481754 \times 10^{-14} \\ -3.028672 \times 10^{-9} \\ 8.366525 \times 10^{-14} \\ 4.412035 \times 10^{-14} \\ -7.827055 \times 10^{-8} \\ 6.176715 \times 10^{-8} \\ 2.390075 \times 10^{-9} \\ -6.602438 \times 10^{-14} \\ -3.481754 \times 10^{-14} \\ 6.176715 \times 10^{-8} \\ -4.874351 \times 10^{-8} \end{bmatrix}$$

$$DR/D\text{Var}(X) = \begin{bmatrix} R\text{Var}(r) \\ R\text{Cov}(r, M) \\ R\text{Cov}(r, b) \\ R\text{Cov}(r, h) \\ R\text{Cov}(r, d) \\ R\text{Cov}(M, r) \\ R\text{Var}(M) \\ R\text{Cov}(M, b) \\ R\text{Cov}(M, h) \\ R\text{Cov}(M, d) \\ R\text{Cov}(b, r) \\ R\text{Cov}(b, M) \\ R\text{Var}(b) \\ R\text{Cov}(b, h) \\ R\text{Cov}(b, d) \\ R\text{Cov}(h, r) \\ R\text{Cov}(h, M) \\ R\text{Cov}(h, b) \\ R\text{Var}(h) \\ R\text{Cov}(h, d) \\ R\text{Cov}(d, r) \\ R\text{Cov}(d, M) \\ R\text{Cov}(d, b) \\ R\text{Cov}(d, h) \\ R\text{Var}(d) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -9.819769 \times 10^{-10} \\ 1.656241 \times 10^{-15} \\ -1.878337 \times 10^{-9} \\ -3.982716 \times 10^{-9} \\ 1.736591 \times 10^{-9} \\ 1.656241 \times 10^{-15} \\ -2.793481 \times 10^{-21} \\ 3.168077 \times 10^{-15} \\ 6.717407 \times 10^{-15} \\ -2.929004 \times 10^{-15} \\ -1.878337 \times 10^{-9} \\ 3.168077 \times 10^{-15} \\ -3.592904 \times 10^{-9} \\ -7.618186 \times 10^{-9} \\ 3.321772 \times 10^{-9} \\ -3.982716 \times 10^{-9} \\ 6.717407 \times 10^{-15} \\ -7.618186 \times 10^{-9} \\ -1.615316 \times 10^{-8} \\ 7.043293 \times 10^{-9} \\ 1.736591 \times 10^{-9} \\ -2.929004 \times 10^{-15} \\ 3.321772 \times 10^{-9} \\ 7.043293 \times 10^{-9} \\ -3.071101 \times 10^{-9} \end{bmatrix}$$

从灵敏度矩阵 $DR/D\bar{X}^T$ 可以看出, 后桥的材料强度 r 和截面几何尺寸 b 和 h 的均值增加, 其结果将使后桥趋于更加可靠, 而后桥承受的载荷 M 和截面几何尺寸 d 的均值增加, 其结果将使后桥趋于更加不可靠(失效), 其变化率最大的为后桥的几何尺寸, 最小的为载荷, 也就是说, 使后桥趋向可靠(或失效)的速度为几何尺寸比材料强度的大, 材料强度比载荷的大。从灵敏度矩阵 $DR/D\text{Var}(X)$ 可以看出, 基本随机参数方差的增加, 都会使后桥趋于更加不可靠(失效), 但基本随机参数的协方差的变化对后桥的可靠与否的影响却不尽相同。数值计算结果可为工程设计人员精确设计后桥提供定量的依据。而上面的计算结果与通常的定性分析结果完全一致, 这进一步说明了灵敏度矩阵对后桥各因素分析的全面性和正确性。从前面的后桥分析可得到如下结论: 在后桥的设计、制造、使用和评估中, 要严格控制敏感参数的变化。

6 结论

在后桥可靠性研究的基础上, 提出一种计算后桥可靠性灵敏度的数值方法, 有效地反映了后桥各因素对其失效的影响程度。本数值方法在随机参数前二阶矩已知的情况下, 放松了对随机参数的分布概型的限制, 使之更接近于工程实际中的后桥的可靠性问题, 为分析和修改后桥的可靠性水平提供了理论依据。可见本文方法是对机械行业产品进行可靠性灵敏度设计的通用的、实用的和有效的方法。

式中 $R(\cdot)$ ——可靠度 R 对 (\cdot) 的灵敏度, 如 $R\text{Var}(r) = \frac{\partial R}{\partial \text{Var}(r)}$, $R\text{Cov}(r, M) = \frac{\partial R}{\partial \text{Cov}(r, M)}$ 等。

5.2 内圆外方截面后桥壳的可靠性灵敏度设计

50 t 公路运输车的后桥壳的内圆外方危险截面内径的均值和标准差为的 $d = (120, 0.6)\text{mm}$, 外方尺寸分别为 $b = (160, 0.8)\text{mm}$, $h = (164, 0.82)\text{mm}$, 后桥壳承受的弯矩和扭矩的均值和标准差分别为 $M = (1.5 \times 10^8, 1.4 \times 10^7)\text{N} \cdot \text{mm}$, 材料强度的均值和标准差为 $r = (443, 27.5)\text{MPa}$ 。

计算得到此后桥壳的可靠性指标、可靠度和可靠性灵敏度分别为

$$\beta = 5.2132, R = 1.000000$$

$$DR/D\bar{X}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial R}{\partial r} & \frac{\partial R}{\partial M} & \frac{\partial R}{\partial b} & \frac{\partial R}{\partial h} & \frac{\partial R}{\partial d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.373032 \times 10^{-8} \\ -2.315810 \times 10^{-14} \\ 2.626352 \times 10^{-8} \\ 5.568765 \times 10^{-8} \\ -2.428159 \times 10^{-8} \end{bmatrix}^T,$$

[参 考 文 献]

- [1] 张义民 汽车零部件可靠性设计[M] 北京: 北京理工大学出版社, 2000
- [2] 张义民, 陈塑寰, 周振平等 静力分析的一般随机摄动法[J] 应用数学与力学, 1995, 16(8): 709~ 714
- [3] Zhang Y M, Chen S H, Liu Q L, et al Stochastic perturbation finite elements [J] Computers & Structures, 1996, 59(3): 425~ 429
- [4] Zhang Y M, Wen B C, Chen S H. PFEM formalism in Kronecker notation [J] Mathematics and Mechanics of Solids, 1996, 1(4): 445~ 461
- [5] Wen B C, Zhang Y M, Liu Q L. Response of uncertain nonlinear vibration systems with 2D matrix functions[J] International Journal of Nonlinear Dynamics, 1998, 15(2): 179~ 190
- [6] Zhang Y M, Wen B C, Liu Q L. First passage of uncertain single degree-of-freedom nonlinear oscillators [J] Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1998, 165(4): 223~ 231
- [7] Zhang Y M, Liu Q L, Wen B C. Quasi-failure analysis on resonant demolition of random structural systems[J] AIAA Journal, 2002, 40(3): 585~ 586 [8] Zhang Y M, Liu Q L. Practical reliability-based analysis of coil tube-spring [J] Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C, Journal of Mechanical Engineering Science, 2002, 216(C2): 179~ 182
- [9] Zhang Y M, Liu Q L. Reliability-based design of automobile components [J] Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D, Journal of Automobile Engineering, 2002, 216(D6): 455~ 471
- [10] 张义民, 林 逸 汽车零件可靠性设计的二阶矩法[J] 汽车工程, 1993, 15(6): 345~ 349
- [11] 张义民, 陈塑寰, 韩万芝 受随机弯扭复合载荷作用的汽车半轴的可靠性设计[J] 汽车·拖拉机, 1994, 2: 28~ 29
- [12] 张义民, 陈塑寰, 刘巧伶 拖拉机半轴的可靠性设计[J] 农业机械学报, 1994, 25(4): 98~ 101
- [13] 张义民, 陈塑寰, 何丽桥 板簧的可靠性设计[J] 汽车科技, 1994, 6: 8~ 10
- [14] 张义民, 陈塑寰, 何丽桥 CA 141 汽车半轴的可靠性设计[J] 汽车技术, 1995, 3: 8~ 9
- [15] 张义民, 陈塑寰, 李红英 基于强度的汽车零件可靠性设计[J] 专用汽车, 1995, 2: 49~ 51
- [16] 张义民, 陈塑寰, 刘巧伶 奥迪 100 轿车后螺旋弹簧的可靠性设计[J] 汽车工程, 1995, 17(3): 164~ 168
- [17] 张义民, 王云成, 林 逸 螺旋管簧的可靠性分析[J] 中国机械工程, 1995, 6(6): 63~ 64
- [18] 张义民, 刘锡国, 李红英 气门弹簧的可靠度计算[J] 农业机械学报, 1996, 27(1): 96~ 98
- [19] 张义民, 林 逸, 刘巧伶 叠板弹簧的可靠性设计[J] 兵工学报, 1997, 18(1): 77~ 79
- [20] 张义民, 闻邦椿 连杆的可靠性设计[J] 汽车研究与开发, 1997, 2: 17~ 18
- [21] 张义民, 闻邦椿, 刘巧伶 齿轮的可靠性设计[J] 传动技术, 1997, 30(2): 34~ 40
- [22] 张义民, 闻邦椿, 林 逸 汽车半轴凸缘的可靠性设计[J] 汽车技术, 1997, 9: 7~ 8, 56
- [23] 刘巧伶, 张义民, 闻邦椿 扭杆的可靠性设计[J] 农业机械学报, 1997, 28(4): 174~ 175
- [24] 刘巧伶, 张义民, 闻邦椿 后桥壳的可靠性设计[J] 农业工程学报, 1997, 13(4): 101~ 104
- [25] 张义民, 闻邦椿, 林 逸等 汽车前轴的可靠性设计[J] 重型汽车, 1997, 6: 8~ 10
- [26] 刘巧伶, 张义民, 闻邦椿 整体法兰的可靠性设计[J] 动力工程, 1998, 18(1): 71~ 73
- [27] 刘巧伶, 林 逸, 张义民等 汽车多片钢板弹簧的可靠性设计[J] 中国公路学报, 1998, 11(2): 109~ 112
- [28] 张义民, 闻邦椿 整体驱动桥的可靠性设计[J] 工程机械, 1998, 29(6): 15~ 17
- [29] 刘巧伶, 张义民 林业机械驱动桥壳的可靠性设计[J] 林业科学, 1999, 35(4): 125~ 128
- [30] 张义民, 贺向东 拉杆的可靠性优化设计[J] 客车技术, 2001, 4: 14~ 16
- [31] 张义民, 贺向东 连杆的可靠性优化设计[J] 天津汽车, 2001, 4: 20~ 22, 39
- [32] 张义民, 贺向东, 刘巧伶 汽车前轴的可靠性优化设计[J] 汽车科技, 2002, 1: 8~ 10, 20
- [33] 张义民, 贺向东, 闻邦椿 车辆用钢板弹簧的可靠性优化设计[J] 工程设计, 2002, 9(1): 4~ 6
- [34] 张义民, 贺向东, 刘巧伶 后桥壳的可靠性优化设计[J] 车辆与动力技术, 2002, 1: 42~ 47
- [35] 张义民, 贺向东, 闻邦椿 螺旋管簧的可靠性优化设计[J] 中国工程科学, 2002, 4(5): 71~ 74
- [36] 张义民, 贺向东, 刘巧伶 扭杆的可靠性优化设计[J] 汽车技术, 2002, 5: 5~ 7

Parametric sensitivity in reliability analysis of rear axle casing

Zhang Yin¹, Liu Qiaoling¹, Wen Bangchun²

(1. College of Mechanical Science and Engineering, Nanling Campus, Jilin University, Changchun 130025, China;

2. School of Mechanical Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: A useful sensitivity analysis of reliability has practical applications in reliability-based design, in optimization of vehicle design, construction, maintenance and inspection under reliability constraints, in parameter studies of the reliability, and in reliability updating. The parametric sensitivity in reliability of the rear axle casing is extensively discussed and a numerical method for reliability sensitivity analysis is presented. The effects of normally distributed design parameters on reliability of the rear axle casing are studied. The method presented in this paper provided the theoretic basis for the reliability design of the rear axle casing.

Key words: rear axle casing; reliability analysis; parameter; sensitivity