

交通运输

某型汽车驱动桥壳可靠性优化设计

孙忠云 王显会

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要 针对企业生产的某型汽车驱动桥壳强度高、自重大、可靠性没有把握的情况,开展基于可靠性优化设计的研究。研究了该桥壳板簧座附近关键部位优化的目标函数和设计变量,在静疲劳、静载荷、侧倾强度、紧急制动等条件的约束下,建立了完整的可靠性优化的数学模型,并通过 Matlab 优化工具箱实施了优化。根据优化结果指导企业对驱动桥壳开展轻量化的减重而没有影响桥壳的可靠性,收到了良好的效果,体现了优化过程的科学性与可行性。

关键词 驱动桥壳 可靠性优化 设计

中图法分类号 U463.32; **文献标志码** A

汽车在行驶过程中所遇到的道路情况是千变万化的。驱动桥壳承受繁重的载荷,尤其是当汽车通过不平路面时,由于车轮与地面间产生冲击载荷,在设计不当或制造工艺有问题时,会引起桥壳变形或折断。作为车辆最重要的组成之一,使用频繁,其质量和性能直接影响到车辆的整体性能和有效使用寿命,因此桥壳必须满足足够的强度和刚度、轻量化、较高的可靠性等设计要求。在驱动桥壳的设计要求中,可靠性已经成为最重要的技术指标之一,并且在设计阶段就决定了桥壳的固有可靠性水平。驱动桥壳的可靠性设计是运用概率统计理论给出某一设计参数,而要同时确定桥壳的多个设计参数,单独的可靠性设计方法显然无能为力,这就需要对驱动桥壳展开可靠性优化设计研究^[1]。可靠性优化设计,是在达到可靠性目标的同时,还应采用优化方法来降低成本,并提高其工作性能与载荷能力。这就意味着在考虑驱动桥壳可靠性的状态下进行优化设计,从而保证它在规定的条件和规定的时间内,完成规定的功能,且不发生故障和

事故。因此,对驱动桥壳开展基于可靠性的优化设计,将使得驱动桥节省制造材料,提高使用可靠性和经济性,符合安全、节能与环保的可持续发展战略。

江苏某机械有限公司生产 30 多种汽车的驱动桥壳,其生产与销售均达到了一定的规模。受传统设计方法的限制,所生产的部分驱动桥壳强度与刚度虽然达到了要求,但其可靠性一直得不到有效的把握。因此本文以该企业生产的某型驱动桥壳为例,开展基于可靠性的优化设计,以期得到高可靠性、符合经济发展要求的现代化低碳产品。

1 机械可靠性优化设计方法

在机械零部件可靠性优化问题中,一般包含三方面的内容:质量(重量)、成本和可靠度^[2]。据此,确定优化的目标函数和约束条件。对于可靠性最优的机械零部件就是在给定机械零部件布局和机械零部件可靠度的情况下,机械零部件有最小质量或最小成本。这是以机械零部件成本或机械零部件质量作为目标函数,以机械零部件可靠度或失效率作为约束条件;也等价于这样的问题:在可靠性意义上最优的机械零部件是,在给定的机械零部件质量或成本之下,机械零部件有最大可靠度或最小

2011年3月9日收到

2009年苏北科技发展计划

(苏科计[2009]32号)资助

第一作者简介:孙忠云(1974—),山东海阳人,讲师,硕士研究生,研究方向:汽车工程。

失效概率。故把上述机械零部件的可靠性优化问题分为以下两大类^[3]：

(1) 给定零部件成本(或体积、重量),求可靠度最大。其数学模型可以这样表述：

$$\begin{cases} \max R(X) \\ f(X) \leq C_0 \\ h_i(X) = 0 \quad (i = 1, 2, 3, 4, \dots, l) \\ g_j(X) \leq 0 \quad (j = 1, 2, 3, 4 \dots m) \end{cases} \quad (1)$$

(2) 给定可靠度指标,求成本最低。数学模型如下：

$$\begin{cases} \min f(X) \\ R(X) \geq R_0 \\ h_i(X) = 0 \quad (i = 1, 2, 3, 4, \dots, l) \\ g_j(X) \leq 0 \quad (j = 1, 2, 3, 4 \dots m) \end{cases} \quad (2)$$

两个式子中, $f(X)$ 、 C_0 分别指的是生产零部件的实际成本与预先指定的成本上限, $R(X)$ 、 R_0 分别为优化时零部件的实际可靠度与预先指定的可靠度。本文采取后一种方法实施优化。

2 设计变量目标函数的确定

通过对驱动桥壳的 CAE 分析可知,在不平路面冲击载荷作用下、汽车以最大牵引力行驶、汽车紧急制动时及最大侧向力等各种工况下,受力情况最严重的就是板簧座附近,此处的截面形状为矩形框,如图 1 所示。

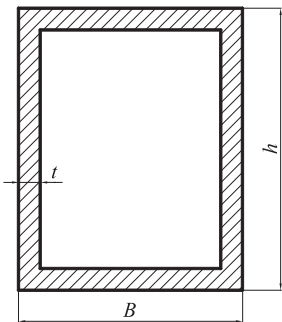


图 1 板簧座附近截面图

整个截面可由宽度 B 、高度 H 和桥壳壁厚 t 等三个变量确定其结构,优化设计的目就是找到这三

个参数的最佳值。因此对该优化过程而言,其设计变量就是：

$$X = [x_1, \quad x_2, \quad x_3]^T = [B, \quad H, \quad t]^T \quad (3)$$

优化设计的目标函数是使桥壳的质量最轻,也就是期望截面面积最小：

$$f(X) = B \cdot H - (B - 2t)(H - 2t) \quad (4)$$

3 约束条件的确定

3.1 静载疲劳约束条件

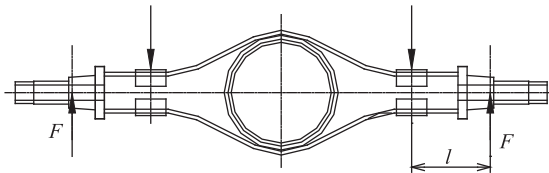


图 2 汽车空载时驱动桥壳受力简图

汽车空载时的载荷均值为： $\bar{F}_1 = 16\ 383.6\ \text{N}$,满载时的均值为： $\bar{F}_2 = 60\ 060\ \text{N}$,一般货车的安全系数取 2.5,空载载荷的标准差为：

$$S_{F_1} = \frac{(2.5 - 1)\bar{F}_1}{3} \quad (5)$$

$$S_{F_2} = \frac{(2.5 - 1)\bar{F}_2}{3} \quad (6)$$

则载荷的均值为：

$$F_m = (\bar{F}_m, \quad S_{F_m}) \quad (7)$$

载荷的幅值为：

$$F_a = (\bar{F}_a, \quad S_{F_a}) \quad (8)$$

应力均值为：

$$\bar{\sigma}_m = \frac{\bar{F}_m l}{W_v} \quad (9)$$

应力幅值为：

$$\bar{\sigma}_a = \frac{\bar{F}_a l}{W_v} \quad (10)$$

则材料极限应力均值向径为：

$$r'' = \sqrt{\bar{\sigma}_m'^2 + \bar{\sigma}_a'^2} \quad (11)$$

3S 下限的向径为：

$$r' = \sqrt{\bar{\sigma}_m'^2 + \bar{\sigma}_a'^2} \quad (12)$$

则强度径向的标准差为：

$$S_{r'} = \frac{r'' - r'}{3} \quad (13)$$

可得分布化的极限应力疲劳强度的可靠度模型为:

$$\frac{\bar{r}' - \bar{\sigma}_r}{\sqrt{S_{r'}^2 + S_{\sigma_r}^2}} \geq u_R \quad (14)$$

u_R 即为可靠度系数,当要求可靠度 $R = 0.999$ 时, $u_R = 4.265$ 。

第一约束条件为:

$$g_1(X) = \frac{\bar{r}' - \bar{\sigma}_r}{u_R \sqrt{S_{r'}^2 + S_{\sigma_r}^2}} - 1 \geq 0 \quad (15)$$

3.2 静载强度约束条件

静载静强度约束条件要求在最大载荷时,应力值低于材料的需用屈服极限。

可能出现的最大应力均值为:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \bar{\sigma}_m + \bar{\sigma}_a \quad (16)$$

最大应力标准差为:

$$S_{\sigma_{\max}} = \sqrt{S_{\sigma_m}^2 + S_{\sigma_a}^2} \quad (17)$$

材料的屈服极限均值为:

$$\bar{\sigma}_s = 345 \text{ MPa}_0$$

可认为屈服极限的变异系数和强度极限的变异系数相等,即 $C_{\sigma_s} = C_{\sigma_B} = 0.03$,可以计算标准差为: $S_{\sigma_s} = C_{\sigma_s} \cdot \bar{\sigma}_s = 10.35 \text{ MPa}_0$ 。

应力-强度干涉模型为:

$$\frac{\bar{\sigma}_s - \bar{\sigma}_{\max}}{\sqrt{S_{\sigma_s}^2 + S_{\sigma_{\max}}^2}} \geq u_R \quad (18)$$

第二约束条件为:

$$g_2(X) = \frac{\bar{\sigma}_s - \bar{\sigma}_{\max}}{u_R \sqrt{S_{\sigma_s}^2 + S_{\sigma_{\max}}^2}} - 1 \geq 0 \quad (19)$$

3.3 侧倾强度约束条件

要求车辆侧倾时桥壳上的应力值低于材料的屈服极限,此时桥壳的危险截面在桥壳本体和半轴套管焊接处,最大应力为:

$$\bar{\sigma}_{eq} = \frac{M}{W_v} = \frac{T_L s + (T_L + T_R) l}{W_v} \quad (20)$$

同样,因为动载荷系数为 2.5,所以

$$S_{\sigma_{eq}} = \frac{(2.5 - 1) \bar{\sigma}_{eq}}{3} = 0.5 \bar{\sigma}_{eq} \quad (21)$$

应力-强度干涉模型为:

$$\frac{\bar{\sigma}_s - \bar{\sigma}_{eq}}{\sqrt{S_{\sigma_s}^2 + S_{\sigma_{eq}}^2}} \geq u_R \quad (22)$$

第三约束条件为:

$$g_3(X) = \frac{\bar{\sigma}_s - \bar{\sigma}_{eq}}{u_R \sqrt{S_{\sigma_s}^2 + S_{\sigma_{eq}}^2}} - 1 \geq 0 \quad (23)$$

3.4 紧急制动强度约束条件

紧急制动时剪应力均值为:

$$\bar{\tau} = T/W_t \quad (24)$$

剪应力标准差为:

$$S_{\tau} = \frac{(2.5 - 1) \bar{\tau}}{3} = 0.5 \bar{\tau} \quad (25)$$

材料的许用剪切应力均值为:

$$\bar{\tau}_s = 0.577 \bar{\sigma}_s = 199.1 \text{ MPa}$$

剪切应力的变异系数一般和强度极限的变异系数相同,所以剪切应力标准差为:

$$S_{\tau_s} = C_{\tau_s} \bar{\tau}_s = 6 \text{ MPa}_0$$

应力-强度干涉模型为:

$$\frac{\bar{\tau}_s - \bar{\tau}}{\sqrt{S_{\tau_s}^2 + S_{\tau}^2}} \geq u_R \quad (26)$$

第四约束条件为:

$$g_4(X) = \frac{\bar{\tau}_s - \bar{\tau}}{u_R \sqrt{S_{\tau_s}^2 + S_{\tau}^2}} - 1 \geq 0 \quad (27)$$

4 优化设计过程

对于已经建立的完整的优化设计模型,用 matlab 优化工具箱 fmincon 进行优化时,线性和非线性的约束条件需要进行不同的处理,对于线性的约束条件,需要写成矩阵形式:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \\ H \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -100 \\ 160 \\ -100 \\ 160 \\ -8 \\ 15 \end{bmatrix} \quad (28)$$

即

$$A = [-1 \ 0 \ 0; 1 \ 0 \ 0; 0 \ -1 \ 0; 0 \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ -1; 0 \ 0 \ 1],$$

$b = [-100; 160; -100; 160; -8; 15]$ 。

而非线性约束条件 $g_1、g_2、g_3、g_4$ 则需要建立. m 文件:

```
function [c,ceq] = confun(x)
c = [g1;g2;g3;g4];
ceq = [0;0;0;0]
```

设自变量的初始值为: $[B, H, t]^T = [150, 150, 15]^T$, 然后调用优化工具箱进行优化:

```
x = fmincon(@optimfun,[150 150 15],A,b,[],[],[],[],@confun)
```

优化计算的结果为:

$[B, H, t]^T = [160, 160, 10.3453]^T$ 。

从结果可以看出桥壳的宽度和高度尺寸越大越好,壁厚比原始尺寸减少了约 4.6 mm,说明在保证可靠度为 0.999 9 的情况下,可以适当地降低壁厚而不影响桥壳的使用性能,从而提高经济性。上述结果反馈给企业后,经过一定过程的样品试制与

实验,收到了良好的效果。

4 结论

所实施的方法较好地解决了某型汽车驱动桥壳的可靠性优化设计问题,应用本文方法对车辆零部件进行可靠性优化设计,可提高设计水平,节省材料,降低成本,减轻车重,提高车辆的可靠性,从而指导企业开展车辆轻量化生产,产生可观的经济效益。

参 考 文 献

1 张义民,贺向东,刘巧伶. 后桥壳的可靠性优化设计. 车辆与动力技术,2002;(1):42—47
2 张义民. 汽车零部件可靠性设计. 北京:北京理工大学出版社,2000
3 王望予. 汽车设计(第3版). 长春:吉林大学出版社,2003
4 刘惟信. 驱动桥. 北京:人民交通出版社,1987

Reliability-based Optimization and Design of a Certain Type of Automobile Driving Axle Shell

SUN Zhong-yun,WANG Xian-hui

(School of Mechanical Engineering of Nanjing University of Science and Technology,Nanjing 210094,P. R. China)

[Abstract] For the enterprise production of a certain type of automobile driving axle shells high strength, since big, reliability wasn't sure, is research carried out based on reliability and optimal design. The shell leaf-spring seat near key parts optimization target function and design variables, in static fatigue and static load, the cabin strength, emergency braking condition such as constraints, the establishment of a complete reliability optimization mathematical model of optimal toolbox of Matlab, and through the implementation of optimized are studied. According to the optimization results guidance for driving axle shells develop enterprise lightweight weight loss without influence the reliability of the bridge housing, the good effect has been received, which reflects the process of optimizing the scientific and feasible.

[Key words] driving axle shells reliability-based optimization design