

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.03.017

SCS-100T U 型电子汽车衡秤体结构优化

林宇立, 杨晓翔*, 韦铁平

(福州大学 机械工程及自动化学院, 福建 福州 350108)

摘要: 针对目前汽车衡秤体结构材料利用率低、质量大的问题, 将结构优化设计的方法引入到秤体结构设计中。以 U 型梁和秤台的几何尺寸为设计变量, 秤体的最大挠度为约束条件, 秤体整体质量为目标函数, 利用参数化 APDL 语言建立了秤体结构的有限元优化模型, 对秤体结构进行了优化分析, 从而确定了 U 型梁和秤台的几何尺寸。研究表明, 在满足秤体刚度和强度设计要求的前提下, 秤体结构优化后的质量比原来的降低了 6.7%, 实现了降低秤体结构质量的目的, 提高了材料利用率。

关键词: 汽车衡; 结构优化; 有限元法; U 型梁; 秤台

中图分类号: TH122

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)03-0346-04

Structural optimization of U type SCS-100T electronic truck scale

LIN Yu-li, YANG Xiao-xiang, WEI Tie-ping

(School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Aiming at the problem that low material utilization and large mass of truck scale, the method of structural optimization design can be introduced in the process of design of truck scale body. The finite element optimization model was built, which defined the geometry of U beam and weighing platform as design variables, maximum deflection as constraint condition and weight as the objective function, by APDL language. The geometry was determined by analysis. The results show that, on the premise of stiffness and strength, the quality of this structure is reduced by 6.7%. The purpose of lowering the weight is achieved and material utilization is improved.

Key words: truck scale; structural optimization; finite element optimization method; U beam; weighing platform

0 引 言

随着汽车衡器不断的发展, 其秤体结构也不断地推陈出新。在经历了几代变革之后, U 型汽车衡已经成为市场的主流产品^[1]。然而, 国内很多企业在进行秤体结构设计的过程中仍处于简单模仿国外产品, 凭借经验设计或是简单的理论计算, 导致秤体结构的设计过于安全, 刚度过大, 结构偏重, 材料利用率不高, 制造成本偏高。

近年来有一部分科研工作者在 U 型梁秤体结构设计方面做了一些研究。张荣轩等^[2]将秤体简化为一简支梁, 从理论上对 U 型梁的秤体结构进行了受力分析计算; 郭志强等^[3]通过对不同秤体结构方案进行

理论计算及比较分析, 认为 U 型结构的秤体具有性能好、重量轻的特点; Taowei Shi 等^[4]利用有限元法对 SCS 系列 120 t 汽车衡秤体结构中单个秤体在不同加载方式下的变形情况进行了研究。

本研究利用有限元及优化理论, 以某公司生产的 SCS-100T U 型梁汽车衡秤体结构为原型, 采用有限元结构分析软件, 建立整体秤体结构有限元模型进行优化分析, 在满足设计要求的前提下实现秤体结构的轻量化, 对汽车衡秤体结构的设计生产具有参考价值。

1 秤体结构

SCS-100T U 型梁汽车衡秤体结构的原始参数来

收稿日期: 2013-11-08

作者简介: 林宇立(1987-), 男, 福建厦门人, 主要从事汽车衡秤体结构方面的研究. E-mail: 980604786@qq.com

通信联系人: 杨晓翔, 男, 教授, 博士生导师. E-mail: yangxx@fzu.edu.cn

自某公司生产的汽车衡,该汽车衡由3个秤体组成,整体结构尺寸为16 m(长)×3 m(宽)×0.362 m(高),最大称量重量为100 t,称量方式为静态整车称量。

3个秤体U型梁的分布情况均相同,如图1(b)所示。每个秤体都有6根U型梁,左右对称分布,整个

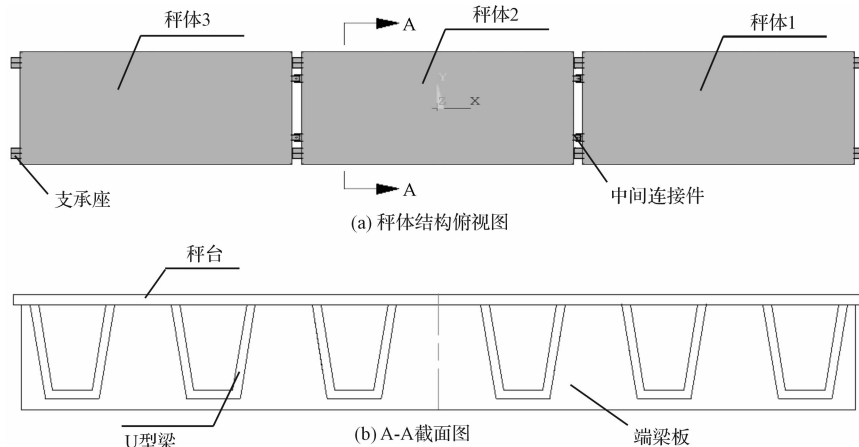


图1 汽车衡秤体结构示意图

2 秤体结构优化

2.1 秤体结构有限元模型

整个秤体结构材料均采用Q235钢,其屈服极限为235 MPa,弹性模量为206 GPa,泊松比为0.3,密度为7 850 kg/m³。根据汽车衡秤体结构原始数据,本研究利用参数化APDL^[5]语言建立其有限元模型。在划分网格时,考虑到秤台和U型梁厚度尺寸远远小于其纵向尺寸,如果采用实体单元,则需要画得非常细,网格数量就会增加很多,造成计算资源浪费,而采用壳单元既可满足分析问题的要求,又能减少计算量,故本研究采用壳单元SHELL63^[6]对秤台和U型梁进行网格

划分,秤体的其余部分均采用实体单元SOLID185进行网格划分。U型梁、支承座与端梁板的连接处采用MPC接触算法^[7-8]对节点进行耦合。

汽车衡器的秤体结构设计以刚度作为主要的校核指标,一般秤体刚度在满足设计要求的情况下强度也能满足要求^[9]。根据GB/T 7723-2008《固定式电子汽车衡》关于大型衡器的承载器最大相对变形量的规定,对于最大称量为100 t的衡器,须用40 t的载荷在承载器中间2.6 m宽的区域加载检测,衡器承载器的最大相对变形在新安装后的首次检定必须小于 $L/800$ ^[10],则每个秤体的挠度不能超过 $D = (1/3) \times (L/800) = 6.67 \times 10^{-3}$ m。秤体检测的加载方式如图2(阴影区域)所示。

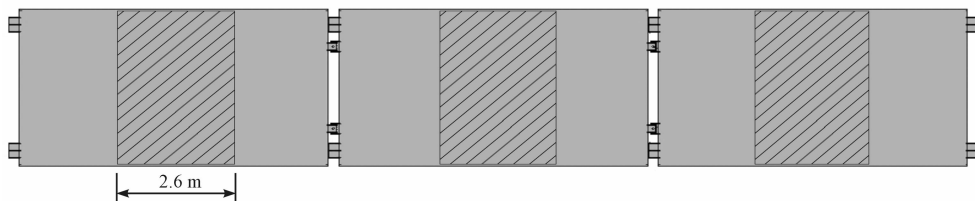


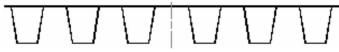

图2 载荷加载区域

本研究选取每个秤体秤台中间3 m×2.6 m区域内的单元,将40 t的砝码载荷转化成压力加载到选取的单元面上,即 $p = 40 \times 10^4 / (3\ 000 \times 2\ 600) \approx 0.0513$ 。考虑到支承秤体传感器固定在地面上,而秤体在承受载荷变形时支承座与传感器之间存在相对运动,故取8个支承座与传感器间的接触处中的一处施加 U_x 、 U_y 、 U_z 3个方向的约束,其余7处只施加 U_z 方向的约束。

2.2 秤体结构优化设计的数学模型

在优化设计时太多的设计变量会使得计算收敛于局部最小值的可能性增大,同时越多的设计变量需要越多的迭代次数,从而需要更多的机时。为了尽量使用较少的设计变量,本研究首先按照表1中两种不同U型梁布置方案改变的秤体结构模型参数,进行有限元分析,两个方案秤体结构的最大挠度和秤体重量如表1所示。

表 1 两种不同 U 型梁布置方案秤体结构性能比较

序号	U 型梁布置方式	最大位移 值 U_z/mm	秤体总 重 WT/t
1		6.445	8.963
2		6.725	8.830

从表 1 中可以看出,虽然方案 2 秤体结构的刚度和质量比方案 1 的有所下降,但是下降得不多。考虑到实际工况下大吨位的载重车的轮间距较大,因此本研究选择方案 1 作为下面进一步优化的结构模型,即 3 个秤体的 U 型梁全部按照一种尺寸大小进行布置,梁与梁之间的水平距离保持不变。

秤台和 U 型梁作为汽车衡秤体结构的主要组成部分,汽车衡的重量主要集中在这两部分上,因此在保持秤体结构本身的形状不变的情况下,改变上盖板和 U 型梁的尺寸,即以上盖板厚度 T_1 、U 型梁开口角度 θ 、高度 H 、底部宽度 B 及其厚度 T_2 为设计变量,秤体最大挠度 $DISP \leq 6.6 \text{ mm}$ 为约束条件,秤体结构总重

量 WT 为目标函数,在满足秤体结构刚度要求的情况下使秤体结构总重量最轻。秤体结构优化的数学模型表述为:

$$\min WT(x), x > 0 \quad (1)$$

$$\text{s. t } g(x) = \text{DISP} - 6.6 \leq 0, x > 0 \quad (2)$$

式中: $WT(x)$ —目标函数; x —设计变量, $x = (\theta, T_1, T_2, H, B)$; $g(x)$ —约束函数。

3 秤体结构优化结果分析

3.1 优化计算结果

通过分析计算,优化结果如表 2 所示。从表 2 中可以看出,*SET12* 是最佳优化系列。其优化结果为 U 型梁角度 $\theta = 95.036^\circ$,U 型梁厚度 $T_1 = 6.265 \text{ mm}$,U 型梁高度 $H = 336.680 \text{ mm}$,U 型梁槽底宽 $B = 231.420 \text{ mm}$,上盖板厚度 $T_2 = 9.321 \text{ mm}$,秤体的最大位移 $U_z = 6.595 \text{ mm} < 6.6 \text{ mm}$,符合设计要求,这时的秤体结构总重量 $WT = 8.363 \text{ t}$ 。

表 2 秤体结构优化结果

迭代次数	U 型梁角度 $\theta/^\circ$	U 型梁厚度 T_1/mm	U 型梁高度 H/mm	U 型槽底宽 B/mm	上盖板厚度 T_2/mm	最大位移值 U_z/mm	秤体总重 WT/t
SET1	104.036	6.000	200.000	160.000	12.000	16.756	7.726
SET2	104.598	7.150	254.320	155.628	13.847	9.482	9.412
SET3	78.977	6.281	200.470	288.320	12.284	13.571	8.498
SET4	96.708	6.389	297.320	198.066	9.490	8.223	8.002
SET5	78.176	5.604	338.530	180.272	13.422	7.322	9.270
SET6	97.878	8.346	266.860	188.724	14.630	7.599	10.548
SET7	70.059	5.253	299.910	258.120	13.136	8.333	9.041
SET8	108.541	5.782	262.470	145.024	14.499	10.133	9.056
SET9	99.052	7.832	270.040	193.442	13.946	7.718	10.108
SET10	95.243	6.650	311.340	254.080	10.370	6.765	8.856
SET11	95.275	6.521	316.180	245.980	10.105	6.788	8.688
* SET12 *	95.036	6.265	336.680	231.420	9.321	6.595	8.363
SET13	94.992	6.299	337.130	224.42	9.230	6.648	8.325
SET14	95.148	6.408	338.780	214.400	9.122	6.653	8.326

3.2 优化方案与初始方案比较分析

优化前、后秤体结构参数比较如表 3 所示。从表 3 中可以看出,优化后新秤体结构的总重比原秤体结构降低 6.7%,材料用量的减少主要来自上盖板厚度的减少。本研究对优化的方案进行有限元分析,以验证新的秤体结构的刚度和强度是否符合设计要求,优化前后的秤体结构位移 U_z 分布云图如图 3 所示。从图 3 中可以看出最大位移 U_z 均发生在秤体中部,优化后的最大位移 U_z 值增加了 0.15 mm,但小于设计允许的最大值 6.6 mm,满足刚度要求。优化前后秤体的 Von Mises 等效应力分布云图如图 4 所示。从图 4 中可知,优化前、后秤体的秤台和 U 型梁的最大 Von Mises

等效应力均发生在第 2 个秤体的 U 型梁左端与端梁板的连接处,分别为 118.46 MPa 和 123.403 MPa,优化后较优化前有所增大,但都小于材料的屈服强度,满足强度要求。

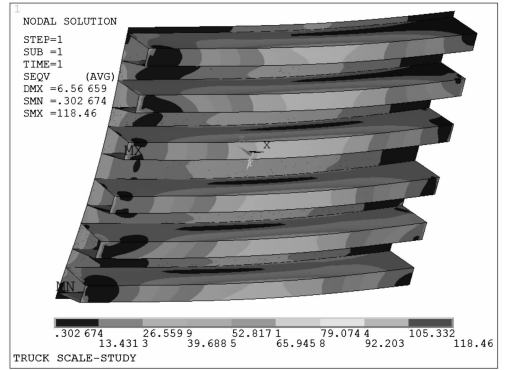
4 结束语

本研究以某公司生产的汽车衡秤体结构为基础,利用参数化 APDL 语言建立了秤体结构的有限元优化模型。以汽车衡秤体结构质量最小为目标,刚度为约束条件,U 型梁的厚度、开口角度、高度以及秤台的厚度为设计变量,对秤体结构进行了优化分析,优化结果给出的汽车衡秤体结构,材料利用率提高,轻量化效果

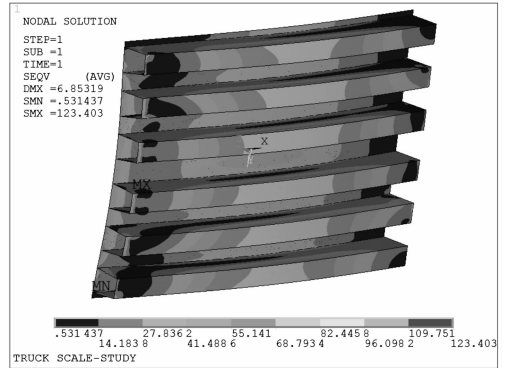
显著。并与原秤体结构进行性能对比分析,研究结果表明,优化的结果是可行的。

表3 优化方案和初始化方案结构参数比较

尺寸参数	优化前	优化后	局部截面图
U型梁角度 $\theta/^\circ$	98.733	95.036	
U型梁厚度 T_1/mm	6.000	6.265	
U型梁高度 H/mm	340	336.680	
U型槽底宽 B/mm	189.539	231.420	
上盖板厚度 T_2/mm	12.000	9.321	
最大位移值 U_z/mm	6.445	6.595	
秤体总重 WT/t	8.963	8.363	
U型梁和秤台最大等效应力值/MPa	118.46	123.403	

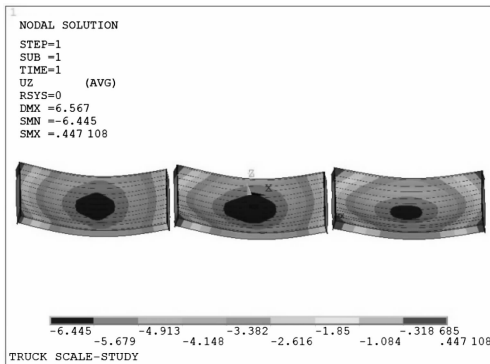


(a) 优化前

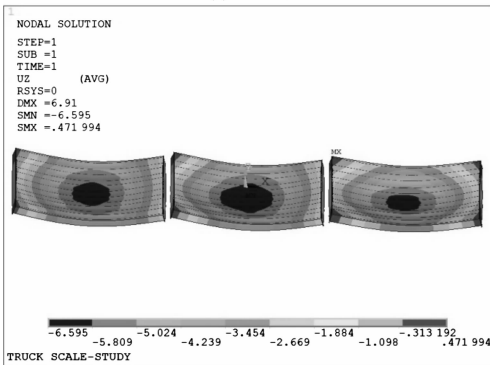


(b) 优化后

图4 优化前、后秤体的 Von Mises 等效应力分布云图



(a) 优化前



(b) 优化后

图3 优化前、后秤体的 U_z 位移分布云图

参考文献 (References):

[1] 马克贤. 从电子汽车衡的发展谈优化产品结构[J]. 衡器, 2004,33(2):4-5.
[2] 张荣轩. 电子汽车衡秤体设计分析与计算[J]. 称重知识, 2011,40(11):33-38.

[3] 郭志强. U型动态电子汽车衡结构设计与分析[J]. 机械设计与制造,2011(8):13-15.
[4] TAO Wei-shi. Finite element analysis for analog modes of SCS series truck scale with different loads[J]. **Advanced Materials Research**,2011(201-203):121-125.
[5] 龚曙光,谢桂兰,黄云清. ANSYS 参数化编程与命令手册[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
[6] 王新敏,李义强,许宏伟. ANSYS 结构分析单元与应用[M]. 北京:人民交通出版社,2011.
[7] 谢最佳,吴新跃,万强. 有限元中体壳单元的耦合问题研究[J]. 机械设计,2011,28(3):91-93.
[8] 谢元丕,冯刚. ANSYS 三维实体单元与板壳单元的组建模研究[J]. 机械设计,2009,26(4):5-7.
[9] 王祯荣. 浅谈电子汽车衡秤台结构与刚度计算[J]. 衡器, 1997,27(1):24-26.
[10] 中国国家标准化管理委员会. GB/T7723-2008 固定式电子衡器[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

林宇立,杨晓翔,韦铁平. SCS-100T U型电子汽车衡秤体结构优化[J]. 机电工程,2014,31(3):346-349.

LIN Yu-li, YANG Xiao-xiang, WEI Tie-ping. Structural optimization of U type SCS-100T electronic truck scale[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(3):346-349.
《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>