

[环保·安全]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.02.026

电动自行车儿童座椅结构安全性研究

汪飞鹏¹, 何 隽¹, 杨乾慧¹, 郑凌晨², 陈洪立^{2*}

(1. 浙江省电动自行车产品质量检验中心(杭州), 浙江 杭州 310018;
2. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

摘 要:为给电动自行车儿童座椅标准提供有效的参考数据,利用 CAE 系统建立了电动自行车货架、一款有束缚装置座椅的三维模型。结合电动自行车相关标准和我国儿童体重、身高分布状况,利用 CAE 系统中的力学分析模块,在电动自行车匀速行驶、紧急制动、弯道行驶等工况下分别对有、无束缚装置的座椅进行了力学分析,研究了座椅的安全系数、应力分布规律、最大应力发生位置及最大变形发生位置。同时利用 CAE 系统研究了座椅踏板的强度及变形分布规律,研究了足部防护装置的大小对保护效果的影响。

关 键 词:电动自行车;儿童座椅;安全标准;力学分析

中图分类号:U484 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2014)02-0102-05

Study on Structural Safety of Electric Bicycle Child Seat

WANG Feipeng¹, HE Juan¹, YANG Qianhui¹, ZHENG Lingchen², CHEN Hongli^{2*}

(1. Electric Bicycle Products Quality Inspection Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310018, China;
2. College of Mechanical and Automatic Control, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: To provide effective reference data for a standard of electric bicycle child seat, an electric bicycle rack and a seat with restraint device was built in CAE system. Under combining electric bicycle standards and the distribution of Chinese children's weight and height, a seat with and without restraint device was mechanical analysis when electric bicycle was traveling at constant speed, emergency brake, and turn driving in a CAE system. Seat safety factor, stress distribution, maximum stress location and position of maximum deformation were researched. Strength and deformation distribution for seat pedal was studied. The effect of the size of protection device was considered.

Key words: electric bicycle; child seat; security standard; mechanical analysis

电动自行车由于经济实惠、机动方便、节能环保等优点,目前已成为市民主要的代步工具之一^[1]。许多人为了携带儿童出行,把电动自行车的后座当作“儿童座椅”来搭载孩子。发生紧急状况时,因为没有安全可靠的儿童座椅为孩子提供有效保护,酿成各种惨剧^[2-4],这引起了交通部门的重视。研究人员对电动自行车的交通状况做了些相关研究^[5],出于对电动自行车安全的考虑,一度电动自行车的销量受到影响^[6]。电动自行车的安全问题及行业产量下降问题也引起了电动自行车质检部门的重视。缺少电动自行车儿童座椅的相关标准是引起搭载儿童时产生交通事故的重要

原因。由于缺少相关标准,无法对电动自行车座椅进行规范约束,企业生产的座椅安全性不足。但是目前针对电动自行车儿童座椅安全标准进行研究尚无报道。研究制定电动自行车儿童座椅的标准势在必行,为电动自行车儿童座椅标准制定提供参考数据,对现有的电动自行车儿童座椅进行研究,探究儿童座椅到底是否安全可靠是非常有必要的。

1 无束缚装置的儿童座椅结构分析

考虑到电动自行车在行驶的过程中大致可以分为启动加速、匀速行驶和减速停车这三个过程。未成年人坐在儿童座椅上在电动自行车行驶不同的情况下,

收稿日期:2013-10-28;修回日期:2013-11-04

基金项目:浙江省质监局科研计划项目(20120237)

作者简介:汪飞鹏(1980),男,浙江杭州人,助理经济师,检测室副主任,主要研究方向为电动自行车检测。E-mail:wfpzy@sohu.com

座椅的受力情况不尽相同,因此分情况进行讨论。

1.1 匀速行驶时儿童座椅的受力研究

当电动车在道路上正常行驶速度比较稳定时我们就认定此时电动车是在匀速行驶。此时儿童座椅所受到的力就是坐在上面的未成年人的重力。根据《中华人民共和国道路交通安全法》里的有关规定:未成年人驾驶自行车、电动自行车不得载人。成年人驾驶自行车、电动自行车可以载1名不超过12周岁的儿童^[7-8]。再结合全国未成年人的平均身高体重表,了解到全国12周岁的孩子平均体重约为50 kg。考虑到也会有偏重的孩子搭载电动自行车,所以我们取体重 m 为60 kg(约600 N)作为儿童座椅的载荷进行分析。

在SolidWorks中进行建模,并在SolidWorks SimulationXpress里进行应力分析。安全系数 n_{FOS} 代表材料的屈服强度与实际应力的对比值。此标准表明,当等效应力(von Mises 应力)达到材料的屈服强度时,材料开始屈服^[9-10]。

受力分析的模拟结果表明这个座椅中所找到的最低安全系数(n_{FOS})是56,最低安全系数发生的位置如图1中圈圈所示。此结果表明在匀速行驶的状态下,儿童座椅在只受到未成年人的重力作用,应力最大处的安全系数已经远远大于1,儿童座椅的结构均尚未屈服,所以设计合理。

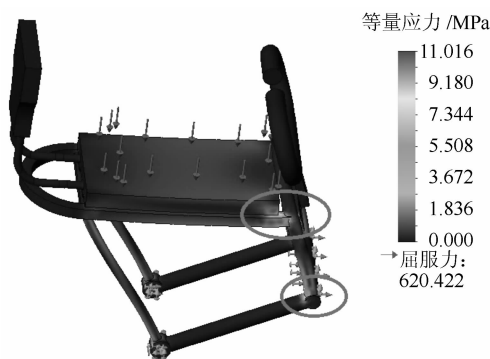


图1 匀速行驶时的应力分布图

Figure 1 Stress distribution diagram of traveling at a constant speed

1.2 刹车减速时儿童座椅的受力研究

当正在匀速行驶的电动自行车刹车时,由于惯性的作用,坐在儿童座椅上的儿童会因此而向前倾。此时坐在儿童座椅上的儿童必须需要用双手紧握把手来维持自己的平衡。那么这时候儿童座椅所受到的力不仅仅是未成年人的重力,还有双手对把手的作用力。在此我们重点考虑把手的受力情况。

国家标准规定:电动自行车以最高车速骑行时(最高车速为20 km/h),其干态制动距离应不大于4 m,湿态制动距离应不大于15 m。达到这样的制动要求才算是合格的电动自行车。设电动车匀速行驶的最大速度为 $v_m = 20$ km/h,约为5.56 m/s。干态制动距离不大于4 m,在此我们取干态制动距离2 m这个中间值作为计算的制动距离,设制动完成时的速度为 $v_0 = 0$ m/s,再假设制动过程是匀减速过程,计算得:制动的加速度 $a = 7.716$ m/s²。根据牛顿第二定律,制动时把手受到的作用力 $F = ma = 60 \times 7.716 = 462.963$ N。

根据前面指定的参数,模拟计算出了最低安全系数(n_{FOS})为3.6,发生位置如图2圈中所示。这个计算结果只是从假定的理想制动过程计算出来的,虽然安全系数(n_{FOS})大于1,但未考虑急刹车情况下对把手作用更大的刚性冲击,所以安全系数还不够,因此把手设计不合理。

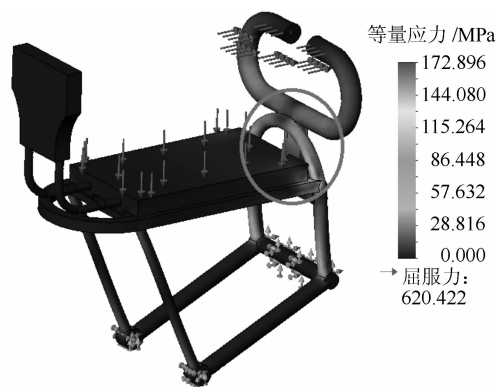


图2 刹车减速时的应力分布图

Figure 2 Stress distribution diagram of braking deceleration

1.3 启动加速时儿童座椅的受力研究

电动自行车启动加速时,坐在儿童座椅上的未成年人可能会因为没有集中注意力,还未坐稳抓好把手,那么在惯性的作用下身子会向后仰。此时坐在儿童座椅上的儿童必须依靠儿童座椅的靠背来维持平衡,保护儿童的安全。那么这时候儿童座椅所受到的力不仅是儿童的重力,还有身子对靠背的作用力。在此,我们重点考虑靠背的受力情况。

根据浙江省质量技术监督局发布的电动自行车技术要求,电动自行车的最高车速为20 km/h。电动车的启动过程我们假定为匀加速过程。那么静止的电动车启动加速到达最高速度20 km/h这个过程,大约需要5 s。可以算出加速度 a 约为1.1 m/s²。 $F = ma = 66.7$ N。

根据前面指定的参数,模拟计算出了最低安全系数(n_{FOS})是 17.4,发生位置如图 3 圈中所示。此结果表明在启动加速的过程中,儿童座椅除了受到未成年人的重力作用下,靠背还受到了作用力。靠背的应力最大处的安全系数已经远远大于 1 了,儿童座椅的结构均尚未屈服,所以设计合理。

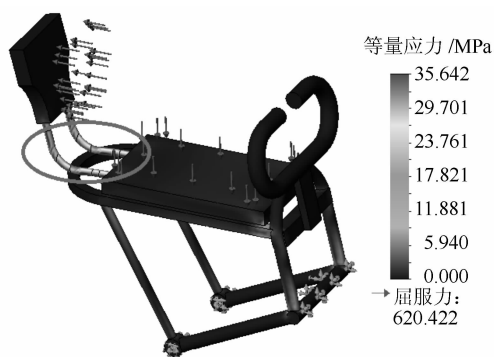


图 3 启动加速时的应力分布图

Figure 3 Stress distribution diagram of accelerating

2 带有束缚装置儿童座椅的结构分析

考虑到安全座椅安装的 3 个要求,对原来的儿童座椅进行改进,使其带有翻转式的束缚装置,如图 4 所示。这样的束缚装置,既不影响驾驶者的观后镜的视野,也不影响驾驶者的上下车。对于坐在其上面的儿童来说,只需要翻转这个束缚装置就能方便地上下车。

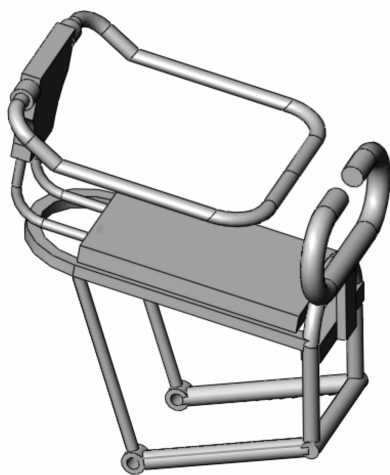


图 4 有束缚装置儿童座椅

Figure 4 Child seat with a restraint device

当电动自行车匀速行驶时,只要儿童不随意乱晃动或者故意拉扯,这个束缚装置就不会受到力的作用。当电动车加速启动的时候,起到安全保护作用的也只是靠背,这个束缚装置同样不受力。但是在刹车减速和拐弯的时候,这个束缚装置就起到了作用。但是这

个带有束缚装置的安全座椅是否能够起到有效的保护,还需要进行受力分析。

2.1 刹车减速时儿童座椅的受力研究

当正在匀速行驶的电动自行车刹车时,由于惯性的作用,坐在儿童座椅上的儿童会因此而向前倾。此时坐在儿童座椅上的儿童必须需要用双手紧握把手来维持自己的平衡。所以,此时主要的保护装置还是把手,束缚装置起到的作用只是帮把手分担一部分冲击力,儿童座椅的受力情况如图 5 所示。在此,我们重点考虑束缚装置的受力情况。

根据无束缚装置儿童座椅刹车过程的相同参数下,模拟计算出了带有束缚装置的最低安全系数(n_{FOS})是 10,发生位置如图 5 圈中所示。在相同的刹车减速情况下,与没有安装束缚装置时相比,安全系数高到了将近 3 倍。因此可见有束缚装置明显提高了儿童座椅的安全性。

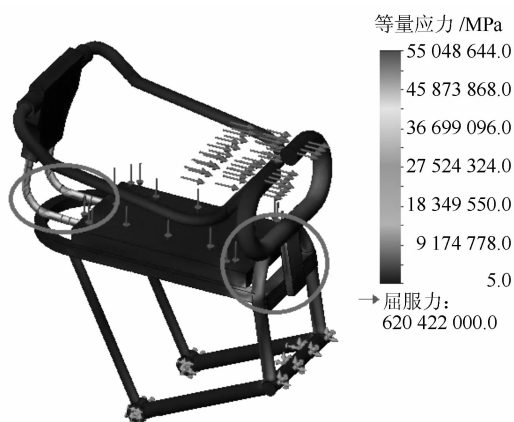


图 5 刹车减速时的应力分布图

Figure 5 Stress distribution diagram of braking deceleration

2.2 拐弯时儿童座椅的受力研究

根据中国城市规划转弯半径的标准,我们假设极端情况下:电动车以最高行驶速度 $v = 20 \text{ km/s}$ 拐弯,转弯半径为 5 m,与此同时儿童没有握住把手。当电动自行车在拐弯的时候,受到离心力作用,此时产生的离心力全部作用在了束缚装置上,再进行受力分析。离心力 $F = ma$, $a = \omega^2 r$, $\omega = v/r$,可以求得离心力 F 约为 300 N。这种极端情况下,模拟计算出的安全系数为 5.6,仍然大于 1,发生位置如图 6 圈中所示。说明这个束缚装置能够起到有效的保护作用。

根据以上所有的模拟结果,列出安全系数,如表 1 所示。从安全系数表中可以发现:在刹车时和转弯时装有束缚装置儿童座椅的安全系数提高了许多,这

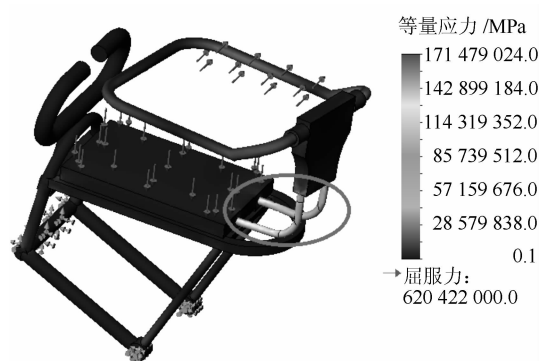


图6 转弯时的应力分布图

Figure 6 Stress distribution of turning

说明束缚装置在刹车减速和转弯时都起到了有效的保护作用。

表1 有无束缚装置的不同工况下座椅安全系数 n_{FOS}

Table 1 Seat safety factors under different conditions

状 态	匀速行驶时	刹车减速时	启动加速时	转弯时
无束缚装置	56	3.6	17.4	0
有束缚装置	56	10.0	17.4	5.6

3 腿部护栏分析

因为儿童心智尚未成熟,因此随意性行为较多。在儿童座椅的设计中为儿童加上一个腿部的防护栏,可以有效避免儿童因为双腿随意晃动被卷进车轮。由于目前没有统一的标准,市场上电动自行车的腿部防护栏的外型和尺寸都是每个厂家自己设计的,使用性能没有进行检验。图7是腿部防护栏的一种结构。



图7 加了防护栏的儿童座椅模型

Figure 7 Model of child seat with a fence

根据《中华人民共和国道路交通安全法》里的有关规定:成年人驾驶自行车、电动自行车可以载1名不超过12周岁的儿童。结合全国儿童身高体重表,可以了解到12周岁儿童的平均身高大约在141~155 cm

之间。腿部的防护栏主要就是为了防止腿伸进车轮中。防护栏的高度尺寸应该是儿童的小腿长度加上车轮与座椅的座面之间的距离,所以防护栏的高度至少为40 cm。防护栏的宽度只要能保证防护栏能够覆盖车轮的上半部分,同时边沿上不能留有太大的缝隙让儿童脚伸进去即可。这样的防护栏尺寸就算是合理的了。因为防护栏不属于承载结构,一般不受外力的作用,能够保证防护栏面上承受150 N的冲击,刚度变形不超过1 cm即可。

4 儿童座椅的脚踏板分析

脚踏的安装位置、承载时的强度、刚度是脚踏板设计的关键,它不仅关系到了儿童爬上座椅的安全性,而且还关系到儿童搁脚的舒适性,图8是建立的儿童座椅脚踏板模型的应力分布图。如前所述取体重 m 为600 N作为儿童座椅的载荷进行分析,在儿童座椅的一个脚踏上作用了一个儿童的全部重力。模拟计算出最低安全系数(n_{FOS})是7.68,发生位置如图8圈中所示。最大变形发生在踏板尾端,变形量为0.05 mm。一般来说,脚踏的安装位置在后轮的车轮轴向外延伸出来的位置最佳。因为,这个位置可以直接依靠车轮轴的轴承来承受重力,在电动车的车身方向也不会产生任何的扭矩。

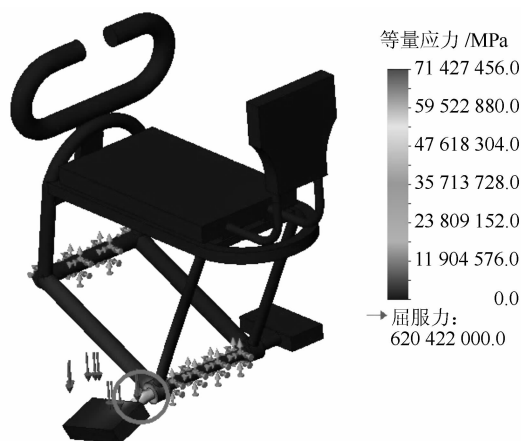


图8 座椅脚踏的应力分布图

Figure 8 Stress distribution diagram of seat pedal

5 结语

目前电动自行车儿童座椅的结构存在缺陷,一方面,电动自行车的儿童座椅都没有安装束缚装置,必须装有束缚装置来完善儿童座椅的结构,从而加强儿童座椅的安全性。另一方面,现有的儿童座椅在足部防护装置方面也没有给出特定的要求,非常容易发生儿童脚伸进车轮的安全事故。必须在车轮和儿童脚

(下转第110页)