

# 儿童座椅翻转试验方案及其优化

魏哲 董博凡 姜涛 张存 马英

机械科学研究总院 中机寰宇认证检验有限公司, 北京 102609

**【摘要】** 通过各类传感器、执行元件的合理选型和应用, 设计构建儿童座椅翻转试验测试设备, 形成对相关产品抗翻转性能进行检验的能力。研究解读 ECE R44 和我国国家标准 GB 27887-2011 对儿童座椅翻转试验规定的差异, 从功能设计等方面提供可适应 ECE R44 特有检测需求的试验实施方案, 可满足基于技术标准实施检验的要求, 并提供了试验座椅 90° 自动旋转方案, 通过拉力传感器和织带张力传感器的选用, 阐述了两类加载装置的实现方法和力值测试方法。

**【关键词】** 儿童座椅 翻转试验 拉力传感器 织带张力传感器 测试

## 一、前言

汽车儿童座椅作为国家机动车辆当前大量安装、使用的强制性检验产品, 其翻转试验用于评价动态条件下的座椅整体对儿童乘员的约束能力, 是重要的性能测试环节。作为儿童座椅翻转试验实现装置, 儿童约束系统翻转试验台是一种专门用于检测汽车儿童座椅抗翻转性能的机电一体化装置。此类设备通常应包括试验座椅、设备基座、翻转执行机构、试验座椅转向机构和控制系统等。

目前, 国内已获资质授权的汽车及零部件检测实验室对儿童座椅翻转试验实施方案的规定虽均满足技术标准相关要求, 但在细化落实方面存在某些不一致之处。部分实验室使用的儿童座椅翻转试验装置翻转动作实现方法、试验座椅换向方法、监测方法等尚不完善, 直接或间接对设备检测精度、可靠性等指标产生不利影响。例如, 翻转执行机构常采用三相异步电机、减速机、变频器等匹配实现, 以开环控制居多, 难于精确定位, 速度精度不高, 装置整体体积较大。卷收器安装板设计过于简单, 调节位置和角度略显困难, 不便于不同规格卷收器的安装。儿童座椅安装方式单一, 有的只能使用安全带作为儿童座椅固定方式, 忽略了采用 ISOFIX 接口的儿童约束系统。试验座椅转向机构设计不合理, 国内部分实验室的此类设备体积庞大、结构复杂、功能繁多, 但操作不便捷, 且试验座椅 90° 转向严重依赖人力, 定位不精准, 不停机状态下无法自动旋转换向, 存在一定的安全隐患。

世界上有关儿童座椅的技术标准差异较大, 国内多数此类装置未采用模块化设计理念, 使得装置后期改造、调整或者升级较为困难, 如对美国 FMVSS 213、加拿大 CMVSS 213 等相关标准的适应性差。待检样品批量大时, 工作效率较低。另外, 行业实验室内部使用尚可, 不便于技术推广和设备转让。综上所述, 亟需一类精度较高、安全可靠、操作便捷、对人力依赖小的试验设备。有鉴于此,

开发了一种自动换向型儿童座椅翻转试验设备，作为翻转试验方法的实现装置，已获授权国家发明专利<sup>[1]</sup>。该设备可作为实验室在用的同类设备的替代产品，能够同时满足 ECE R44、ECE R129 和 GB 27887-2011 的相关要求。

国内外相关技术标准只有 ECE R44 涉及力值加载的要求<sup>[2]</sup>，即在假人随试验座椅翻转至 540° 位置时，以 4 倍假人重量的力值施加于假人。专利设备引入织带张力传感器，用于加载力值判定；而在用设备采用安装有拉力传感器的加载机构进行加载力值的产生和判定。由于专利设备采用织带张力传感器进行力值判定，故力值加载机构的结构形式和实现方式可以非常灵活，例如采用砝码方式、拉力机配合导向环方式、手动加载方式等，可极大简化设备结构，使得设备更趋小型化。在用设备安装有专用的丝杠加载机构，导致设备整机占用更大空间，结构略显复杂，不易实验室内搬运、转移。

## 二、技术要求

### 1. 标准要求

依据 ECE R44 条款 7.1.3 和 8.1.2 “翻转” 的要求规定<sup>[2]</sup>：将约束有儿童假人的儿童座椅安装在试验座椅上，整个座椅绕着座椅纵向中心平面内的水平轴线，以  $2^\circ / \text{秒} \sim 5^\circ / \text{秒}$  的速度旋转  $540^\circ \pm 5^\circ$ ，在假人身上向下施加 4 倍假人重量的力值并保持 30 秒后测量假人下降的位移量。复原至初始位置后，反方向重复该试验（如有必要，假人仍处于初始位置）。绕着位于水平面内的且与上两个试验中旋转轴垂直的轴旋转，再重复进行两个方向的翻转试验。以上试验均使用试验样品所属组别中的最小和最大的两个儿童假人。要求试验过程中儿童假人从不从儿童座椅样品中掉出来，且当试验座椅处于翻转的位置时，沿着垂直于座椅的方向，假人的头部从它的原始位置产生的位移应不超过 300mm。

另外，在 GB 27887-2011、ECE R129 等其他技术标准中，只有翻转的相关要求，未要求施加载荷。设备如能实现 ECE R44 的翻转试验方法，则必然具备对应的其他技术标准的相关试验能力。

### 2. 其他要求及实现

人因工程学是一门涉及人的生理和心理特点、作业能力、认知能力、行为方式等方面的学科，侧重于研究人、机器和环境的相互作用，其研究目的就是如何达到安全、健康、舒适和工作效率的最优化。儿童座椅翻转试验设备作为一种机械产品，其设计过程应适度考虑人因工程学因素。该设备研发过程充分参考了国家标准 GB/T 10000-88 中国成年人人体尺寸，使得该设备操作部位的高度、设备短轴方向进深等数值较适宜于中国普通成年人的操作。同时，通过调整伺服电机动态刚度参数、匹配减速机等措施，使设备整体噪声不明显。

CNAL-CL01: 2018 (ISO-IEC17025: 2017) 检测和校准实验室认可准则规定【3】，实验室应具有正确开展实验室活动所需可影响结果的设备。用于测量的设备应能达到要求的准确度和（或）

测量不确定度,以提供有效结果。专利方案中儿童座椅翻转试验设备采用伺服电机匹配高精度编码器,可实现翻转动作的精确控制;电磁铁、磁力表座、电磁铁吸合板、磁力表座吸合板与各自的安装部件均设置成可增加垫片调整空间位置的模 式,同时辅 以机械结构定位加以约束,可实现试验座椅换向 90°。优化方案及在用设备的力值测试采用织带张力传感器、拉力传感器,均为成熟的传感器产品,应用工况适宜。

### 三、现有方案分析

在用设备实物图如图 1 所示,翻转动作依靠三相异步电机的动力输出,力值加载通过升降丝杠实现。约束于儿童假人上的约束装置与拉力传感器连接,在升降机构上升时,约束装置被加载,达到规定值时,拉力传感器可识别,并反馈信号至上位机,上位机发出指令使升降机构停止动作。在设备底部安装有作为升降动力的电机。因设备整机重量很大,一旦升降机构出现问题,很难从设备底部进行维护或维修。因此,专利设备的方案不采用升降机构作为力值加载的方式,可以极大简化并结合实验室条件灵活采用加载方式。拉力传感器实物见图 2。

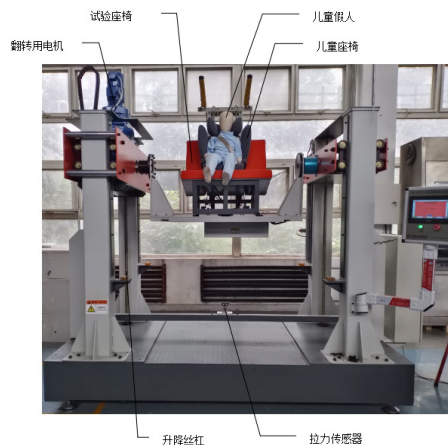


图 1. 在用设备实物图



图 2. 拉力传感器实物图

如图 3、4 所示,分别是儿童假人处于横轴初始位置、绕横轴翻转 540° 位置以及纵轴初始位置、

绕纵轴翻转 540° 位置。由横轴切换至纵轴时，需要停机换向，如传动间隙过大，则需手动安装固定块对试验座椅加以定位。优化后的 90° 自动旋转方案以设备机械结构保证定位，定位精度可优化至不高于  $\pm 0.05^\circ$ ，在用方案如不安装固定块进行定位，定位精度为  $\pm 5^\circ$ ，加装固定块后可优化至不高于  $\pm 1^\circ$ ，但试验实施过程会相对复杂很多。故优化方案定位精度和可靠性均高于原方案。



图 3. 儿童假人处于横轴初始位置及绕横轴翻转 540° 位置实物图



图 4. 儿童假人处于纵轴初始位置及绕纵轴翻转 540° 位置实物图

#### 四、试验方法实现及设备整体优化方案构建

汽车儿童座椅的翻转试验，涉及儿童座椅的安装、儿童假人的约束、试验座椅翻转动作实现、试验座椅 90° 换向、儿童假人头部位移测量等环节。不同的过程均对应不同的子系统或监测仪器，并由其实现。作为技术方案中儿童座椅翻转试验台的两大核心子系统，翻转执行机构用于实现翻转动作的实施和精确调节，实现了闭环控制；试验座椅自动换向机构用于实现翻转过程中无人力介入的情况下，安全、便捷、自动地实现试验座椅的 90° 转向。其他子系统和辅件等，作为设备整机不可或缺的部分，也视实际需要进行了相应设计。

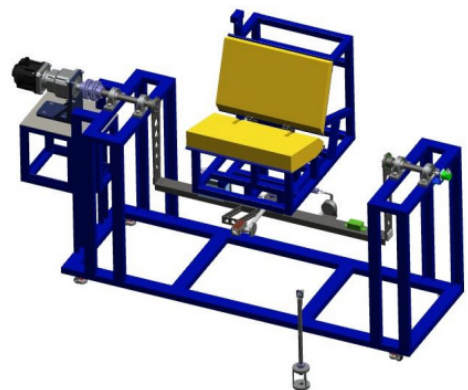
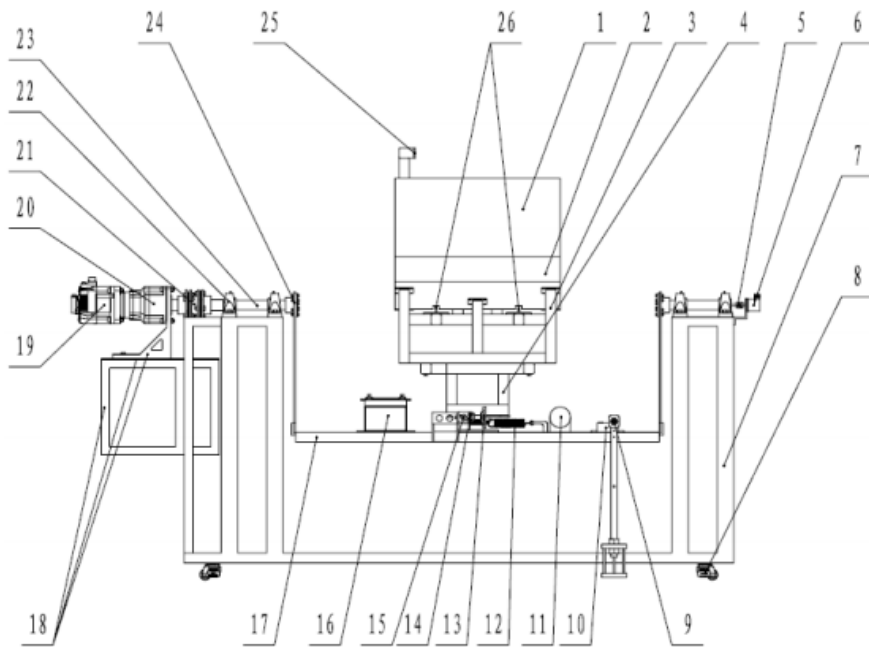


图 5. 优化方案中设备机械部分三维图

设备机械部分三维图及其二维主视图分别如图 5、图 6 所示：





1- 试验座椅靠背 2- 试验座椅坐垫 3- 座椅架 4- 转接架 5- 小联轴器 6- 编码器 7- 设备基座 8- 动力基座 9- 光源 10- 光敏开关和继电器模组 11- 电磁铁 12- 弹簧 13- 电磁铁吸合板 14- 磁力表座吸合板 15- 磁力表座 16-24VDC 可充电电源 17- 承载座 18- 动力基座 19- 伺服电机 20- 减速机 21- 大联轴器 22- 轴承座 23- 旋转轴 24- 转动臂

图 6. 优化方案中设备机械部分二维主视图

## 五、优化方案中的设备构成及试验流程

### 1. 机械部分构成

方案中的儿童座椅自动换向翻转试验设备，包括试验座椅、转接架、设备基座、动力基座、翻转执行机构、试验座椅自动转向机构、控制系统和人机界面等部分。试验座椅包括座椅架、坐垫、靠背、ISOFIX 下固定点、安全带固定点，其中座椅架由钢质方管焊接而成，其上安装有安全带上固定点、卷收器安装固定点、安全带下固定点、ISOFIX 下固定点、坐垫、靠背。所用坐垫和靠背均由满足技术标准要求的聚氨酯泡沫、防晒布和铝底板构成。上述各类固定点均由螺栓联接安装于座椅架上。

翻转执行机构主要包括伺服电机、减速机、联轴器、轴承座、旋转轴、转动臂、编码器及其安装座，其中伺服电机直接和减速机连接匹配，减速机安装于动力基座上，并通过联轴器和旋转轴连接，带动旋转轴转动，旋转轴的转动传输至转动臂，并由转动臂带动承载座实现翻转动作，编码器通过联轴器和一侧旋转轴连接，主要采集转动的速度信息，并将速度信息反馈至 PLC。

试验座椅自动转向机构，由转动基座、弹簧、磁力表座及其安装座、电磁铁及其安装座、磁力表座吸合板、电磁铁吸合板、24VDC 可充电电源、光敏开关和继电器模组、光源及电路辅件、安装辅件等部分组成，用于实现试验座椅不借助人力，自动旋转 90° 的动作。

设备控制系统和人机界面包括可编程逻辑控制器(PLC)、伺服驱动器、光电开关、各类按钮、导线、触摸屏以及其他电气元件。除触摸屏和按钮安装于控制柜上面板外,其余元器件均安装于控制柜内部。结构整体布局简洁、紧凑。

加载力值的测量装置为一织带张力传感器,不单独安装于设备,只在试验时安装于假人约束装置上的织带上,所测织带张力即加载力值。

## 2. 试验座椅自动转向机构控制方案

当试验座椅纵向中心平面平行于设备长轴方向且垂直于水平面时,通过 PLC 控制光源使其保持熄灭状态,光敏开关模组处于通路状态,通过继电器模组,电磁铁通电,电磁铁吸合板和电磁铁吸合,试验座椅被约束住而不能随意转动,试验座椅在初始状态下开始翻转 360°,然后再反向翻转 360°,回到初始位置,保持 2~5 秒(时间任意可设,但应大于光敏电阻的响应时间。对于响应时间短于 2 秒的光敏电阻,保持时间可低于 2 秒。)。该段时间内,通过 PLC 内设程序控制光源使其处于点亮状态,照射到光敏电阻上的光线使得光敏开关模组处于断路状态,通过继电器模组,电磁铁断电,在弹簧力作用下,电磁铁吸合板和电磁铁脱开,实现旋转 90°动作,然后磁力表座吸合板与磁力表座吸合,试验座椅被约束无法再自由旋转,完成自动转向。试验完成后,如需试验座椅恢复至原位置,可旋转磁力表座旋钮开关,使磁性吸合力被阻断,扳动试验座椅回复原位即可。

其中,电磁铁通电后,电磁铁吸合板一旦与电磁铁接触,吸合力引起的吸合扭矩足以抵抗弹簧拉力引起的回复扭矩,而使得试验座椅可以被牢固约束;磁力表座旋钮旋至磁性吸合力未阻断状态时,磁力表座吸合板一旦与磁力表座吸合,吸合力足以牢固约束试验座椅不致晃动。

试验座椅自动转向机构控制电路如图 7 所示。

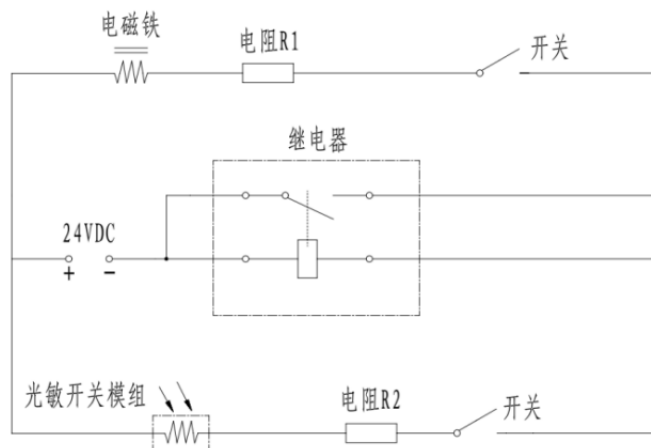


图 7. 试验座椅 90° 自动转向控制电路图

## 3. 加载力值测试方案

织带张力传感器实物如图 8 所示,设备所用该型传感器线缆定义如图 9 所示。传感器信号线可

以直接接数据采集卡或者 PLC 的模拟量端口，以获取织带张力信号。实测过程中，织带张力传感器的夹持棒中穿过织带，织带张力的变化对夹持棒造成不同程度的弹性形变，该形变引起的电信号变化量经过标定等处理后即可得到张力实测值。织带张力传感器实测过程如图 10 所示。



图 8. 织带张力传感器实物图

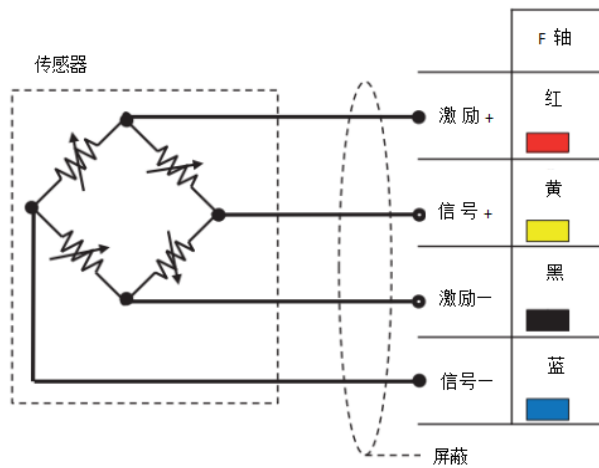


图 9. 织带张力传感器线缆定义

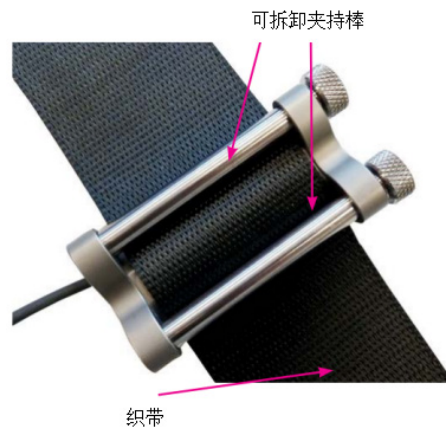


图 10. 织带张力传感器实测过程安装图

#### 4. 试验流程

设备开机前，试验座椅、假人等均确保处于初始状态。用于翻转动作的 220VAC 动力电断开，接通图 7 所示控制电路所有开关。光敏开关模组在光线未照射前处于通路状态，主回路接通，继电器

器通电，副回路接通，电磁铁通电。首先将磁力表座旋钮旋至磁力阻断位置，再逆时针扳转试验座椅至电磁铁吸合板与电磁铁吸合。因动力电仍处于断开状态，故操作人员处于安全状态。且由于试验座椅的结构特征，扳转的力臂较大，故所需的扳转力不大，对于操作者而言十分省力。扳转完成后，磁力表座旋钮旋至磁力未阻断位置。然后接通用于翻转动作的 220VAC 动力电，设备开机，按照 PLC 程序设定，翻转执行机构开始执行既定翻转动作，此时光源处于熄灭状态。试验座椅换向前的翻转动作及加载过程完成后，试验座椅回到动力电接通而未开始翻转的状态，按照程序设定，自动保持 2 ~ 5 秒（时间任意可设，但应大于光敏电阻的响应时间）。

与此同时，按照 PLC 的程序设定，光源点亮，并照射到光敏开关模组，光敏开关模组失电断开控制电路的主回路，继而继电器作用，使得副回路断电，电磁铁失电而失去磁力。在弹簧拉力产生的扭矩作用下，试验座椅顺时针旋转 90° 至磁力表座吸合板与磁力表座吸合，完成 90° 换向动作。按照 PLC 程序设定，翻转执行机构继续执行翻转动作直至试验完成。

## 六、结论

儿童座椅翻转试验是对实车倾翻状态下儿童伤害值的模拟，在各国的儿童座椅技术标准中均有规定。儿童座椅抗翻转性能的评价在硬件上严格依赖于检测设备。在用设备可满足我国国家标准、ECE R44、ECE R129 等对试验方法的实施要求，但是设备检验效率相对较低、重量和体积偏大、后续难以根据标准修订进行升级等。

通过设计试验座椅 90° 自动换向装置，专利设备具有定位更精准等特点，且旋转过程为自动实现，该装置进行了模块化配置，各零部件均易于替换。同时，如该装置出现故障，修复前可采用手动换向的方式，能够避免极端情况下对检验工作的影响。

拉力传感器及织带张力传感器均用于测试力值，但作为不同种类的两种传感器，其应用对加载装置甚至整机的结构设计具有较大影响，应根据场地、预算、测试要求等因素综合考虑、合理选型。通过引入织带张力传感器，优化方案拓展了载荷加载方式，规避了专用加载机构的设计，对于设备小型化、设备转场、使用维护、不同技术标准的适应性等更为有利。尽管织带张力传感器比拉力传感器价格昂贵，但是使用该型传感器的上述优势足以弥补其成本上的略微不足。

故优化方案在试验座椅自动换向、力值加载等方面均优于在用方案，具有更优良的定位精度和可靠性，试验过程在合规的基础上得以简化，可显著提高检验效率。

此外，儿童座椅技术标准的更新较快，各国标准的规定都不尽相同，国内对标准的修订则略显迟滞，建议加强对国外相关技术标准和法规发展趋势的跟踪，结合产品研发动态，在标准的制修订上与业界加强沟通，实现各国技术标准的互联互通，践行、服务国家“一带一路”建设，助力我国儿童座椅产品“走出去”。



## 【参考文献】

[1] 魏哲, 强毅, 等. 一种儿童约束系统翻转试验设备: 中国, CN105424399B[P]. 2018-11-23.

[2] Economic Commission of Europe, ECE R44. Uniform provisions concerning the approval of restraining devices for child occupants of power-driven vehicles ("Child Restraint Systems")[S]. Economic Commission of Europe, 2014.

[3] 中国实验室国家认可委员会, CNAL-CL01: 2018 (ISO-IEC17025: 2017) 检测和校准实验室认可准则规定 [Z]. 北京: 中国实验室国家认可委员会, 2018.

### 第一作者简介:

魏哲 (1984—), 男, 汉族, 山东冠县人, 硕士, 机械科学研究总院中机寰宇认证检验有限公司高级工程师, SAC/TC 240 观察员, 中国农业机械学会标准化分会高级会员, 主要从事汽车及零部件被动安全性研究、非标设备研发等工作。

通信地址: 北京市大兴区北臧村镇天荣街 32 号中机寰宇认证检验有限公司

邮编: 102609 电话: 010-60270909-8848

邮箱: wzhk2008@yeah.net