

汽车四向调节转向管柱系统的分析与研究

马卫锋,王明娣

(苏州大学 机电工程学院,江苏 苏州 215021)

摘要:利用 TRIZ 理论对某款电动助力系统四向调节转向管柱进行技术矛盾与冲突分析,利用三维建模、FEA 模态分析,对转向管柱进行结构优化,设计了一种具有较高固有频率、良好的操作手感的四向调节转向管柱系统。利用锤击法在原型样件上验证了该设计的有效性。

关键词:四向调节;转向管柱;TRIZ;FEA;锤击法

中图分类号:U463.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)04-0196-03

Analysis and Research on Four-way Adjustable Column for Vehicle Steering System

MA Weifeng, WANG Mingdi

(College of Mechanical and Electric Engineering, Soochow University, Suzhou 215021, China)

Abstract:Based on TRIZ theory, the technical matters for one four-way adjustable steering column of EPS are analyzed and 3D is used to establish its model, which is used to optimize the structure of the steering column, and then, the handy four-way adjustable column system with high natural frequency is designed. The hammering method is used to verify the effectiveness of the design on the prototype.

Keywords:four-way adjustable; steering column; TRIZ; FEA; hammering method

0 引言

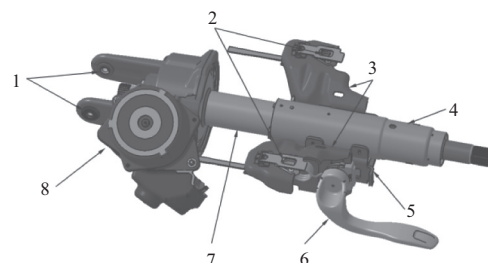
汽车转向系统^[1]是底盘系统的重要系统之一。随着人们对汽车驾驶的安全性和舒适性要求的不断提高,驾驶员越来越关注人机工程,而转向管柱^[2]是转向系统的重要部件之一。目前转向管柱逐步由传统的固定式转向管柱发展为角度可调式转向管柱,再到四向可调式^[3](角度可调和伸缩调节)转向管柱,使得方向盘有更多、更合理的操作位置,设计更具人性化。

目前主流的四向调节转向管柱,主要有悬臂梁式和管套管式。悬臂梁式的上护管或者下护管通常为铝合金材料,由于装配精度要求很高,所以很多部位需要精加工,成本较高;此外,该设计的调节机构与吸能机构结构较为复杂,下护管相比普通护管体积较大,不利于转向管柱在整车中的布置。另外一种管套管式,上、下护管通过塑料衬套注塑胀紧连接,注塑压力过大,伸缩调节力过大,舒适性变差,注塑压力过小,上、下护管连接不够紧密,还会导致固有频率^[4]低。固有频率低可能会引起转向系统与发动机发生共振,方向盘抖动会引发驾驶员的疲劳,并使驾驶舒适性与安全性受到影响^[5]。

本文基于对某款助力转向系统(electric power steering, EPS)四向调节管柱的分析,利用 TRIZ 创新方法,通过建模、FEA 分析等工具,设计了一种新型的四向调节转向管柱系统。本文的方法理论结合实际;有限元模态分析方法可以在设计前期进行预测、提高成功率;而试验验证又可以检验、补充和修正原始的有限元模型^[6-7]。

1 四向调节转向管柱工作原理

转向柱式电动助力转向系统(column EPS, CEPS)^[8]管套管式四向调节转向系统如图 1 所示。



1—下部安装点;2—上部安装点;3—调节支架;4—上护管;
5—压缩支架;6—调节手柄;7—下护管;8—助力单元。

图 1 管套管式四向调节转向系统

该套管式四向调节转向系统助力单元置于转向管柱上。转向管柱有上、下部安装点并与整车支架安装在一起。下部安装点(即下部安装吊耳)通过 2 个螺栓与车辆前部支架固定,转向管柱与固定螺栓之间有旋转的自由度;上部安装点(即上部安装支撑)通过螺栓与车辆支架固定,该安装点处于完全固定状态,无自由度。

调节手柄锁止时,通过增力机构挤压调节支架变形,使得调节支架与压缩支架夹紧抱死(其中调节支架安装在上部安装支撑上,压缩支架焊接在上护管上),此时为

第一作者简介:马卫锋(1986—),男,江苏连云港人,硕士,研究方向为机械工程、汽车电动助力转向系统。

正常锁止状态。当调节手柄松开时,调节支架与压缩支架由夹紧状态释放出间隙。因为上、下护管之间、转向轴与上助力轴之间有足够的重叠区域和导向长度,此时可前后调节方向盘,即伸缩调节;由于只有上部安装支撑通过螺栓固定在整车支架上,转向护管以及安装在其上的部件可绕着下部安装吊耳、沿着调节支架的滑槽旋转,即方向盘的角度调节,以上即为转向管柱四向调节。待调节完毕,锁止调节手柄即可。

2 基于 TRIZ 技术矛盾与冲突分析

2.1 TRIZ 理论^[9]分析

TRIZ 理论是阿奇舒勒在 1946 年创立的,其意义为发明问题的解决理论。在 TRIZ 理论中通过工程经验总结出 48 个工程参数和 40 条发明原理,见表 1。TRIZ 理论将矛盾分为两类:技术矛盾是技术系统中两个参数之间的矛盾;物理矛盾是技术系统中针对一个参数的矛盾。

表 1 TRIZ 理论 40 个发明原理

序号	原理名称	序号	原理名称
1	分割原理	21	减少有害作用时间
2	抽取原理	22	变害为利
3	局部质量原理	23	反馈原理
4	增加不对称	24	借助中介物
5	组合原理	25	自服务原理
6	多用性原理	26	复制原理
7	嵌套原理	27	廉价代替品
8	质量补偿原理	28	机械系统替代
9	预先反作用原理	29	气压与液压结构
10	预先作用原理	30	柔性壳体或薄膜
11	预补偿原理	31	多孔材料原理
12	等势原理	32	颜色改变原理
13	反向原理	33	均质性原理
14	去面化原理	34	抛弃或再生原理
15	动态特性原理	35	物理或化学参数改变
16	未达到或过度	36	相变原理
17	空间维数变化	37	热膨胀原理
18	机械振动原理	38	强氧化剂原理
19	周期性作用	39	惰性环境原理
20	有效作用的连续性	40	符合材料原理

TRIZ 理论解决问题的流程如图 2 所示。

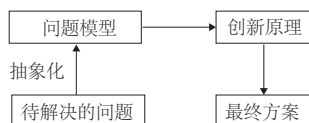


图 2 TRIZ 理论解决问题的流程图^[10]

将 TRIZ 理论应用于结构创新设计:待解决的问题如管柱同时具有高固有频率和低滑动力,而管柱固有频率的高低与伸缩调节力的大小都是通过注塑压力这一个参数体现的。运用 TRIZ 理论,将其定义为物理矛盾。滑动力小的要求只发生在调节过程中,而固有频率高的要求恰好相反,只在手柄锁死的工作状态。两者时间上无交叉,因此可以使用 TRIZ 理论的时间分离原理。

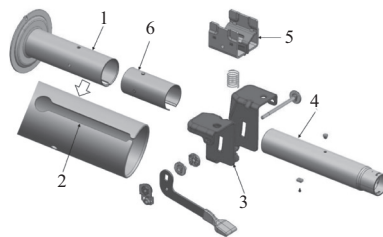
根据文献[11]中描述的分离原理与发明原理的对应关系表查得,表 1 中原理 15 动态特性原理可用于该矛盾分析:使物体自动调节,以便在每个阶段的性能达到最佳状态;或使不动的物体设计为可动,或使其有柔性。

详细分析如下:让上、下护管常态处于“抱紧”状态,紧密接触以增大护管刚度,提高固有频率;同时在上、下护管需要调节时,两者接触“松开”,以减小滑动力。

综上,利用 TRIZ 理论将注塑压力这单一参数抽象化为物理矛盾,并且在时间分离原理和发明原理中的动态特性原理指导下得到一般解:固有频率和滑动力的要求进行时间上的分离,具体解决方案在 2.2 节中详细介绍。

2.2 问题的解决方案

新型管柱三维建模如图 3 所示。该设计在管套、管式、管柱的基础上增加了一些新颖的设计:上护管套入下护管。为了降低上护管外径和下护管内径的加工难度,在上、下护管之间设计有一个塑料衬套,该衬套固定在下护管内侧。压缩支架分为两半,分别焊接在下护管上。在下护管上留有开口槽,槽口端部开口收窄,以控制变形成量。



1—下护管;2—下护管开口槽放大图;3—安装支架;
4—上护管;5—压缩支架;6—塑料衬套。

图 3 新型四向调节转向管柱爆炸图

1)当手柄锁死时(工作常态),通过 2 个凸轮压紧安装支架,安装支架为 U 型开口,安装支架变形夹紧压缩支架,导致焊接在压缩支架上的下护管开口槽变形夹紧塑料衬套以及上护管,这样上、下护管处于“抱死”状态,紧密接触增大护管刚度,以得到较高的固有频率;同时在塑料衬套的内侧,设计有若干个有一定宽度的加强筋,在护管溃缩时,增加摩擦力,同时在下护管上槽口有控制变形量的设计,这样就可以保证有较为稳定的摩擦力。因此可以取消原设计的相关吸能机构的零部件,如吸能钢带、保持架、拉脱块等,这将会大大减少成本。

2)当手柄松开时(调节状态),调节凸轮释放间隙,上、下护管以及衬套处于自由状态护管与衬套的正压力大大降低,摩擦力非常小,此时进行方向盘伸缩调节就比较轻便。调节完毕,锁上手柄,又回到工作状态。

综上,新设计取消注塑压力控制固有频率和滑动力的单一参数。基于 TRIZ 理论动态特性,将原本固定不动的压缩支架,重新设计并留有开口。在工作常态时,压缩支架受挤压变形与护管"抱死",因而获取较高固有频率;在调节状态,释放与护管的间隙以获取较小的滑动力。管柱夹紧和释放的受力示意图见图 4。



图 4 新型管柱的夹紧与释放的受力示意图

3 FEA 模态分析和试验验证

3.1 FEA 模态分析

根据上述建模,对同等坐标下、同等安装点、同等方向盘的工况下,进行分析如下:1) 网格划分,采取参数化网格划分,每个网格大小约 2~3 mm。2) 零件简化,将方向盘总成与助力单元按质心和质量进行简化;将轴系简化为 Beam 单元并设置对应的内、外径;将轴承简化为刚性体,在与之接触的护管设置 bushing 单元,模拟对应的接触刚度;焊点简化为刚性单元。3) 约束,对调节手柄处的长螺栓加载对应的预紧力,模拟拧紧状态下护管收缩夹紧;对安装点按螺栓拧紧的刚性连接状态。4) 材料设置,护管和支架等钢材取弹性模量 203 GPa、泊松比 0.3,壳体等铝材取弹性模量 71 GPa、泊松比 0.33。FEA 模型如图 5 所示。

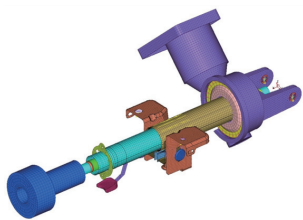


图 5 FEA 模态分析简化模型

新设计转向系统模态分析(固有频率)结果如下:

垂向 55 Hz (Min); 横向 52.5 Hz (Min)。

现有量产的该种转向系统实测数据:垂向约 42 Hz (Min); 横向约 43 Hz (Min)。

3.2 试验验证

1) 模态测试

将转向管柱原型样件固定到试验台架上,采用锤击法对 4 个样件的多个调节极限位置和垂向、横向分别测试,测试设备及安装如图 6 所示。其中一组模态测试曲线,如图 7 所示。



图 6 模态试验示例

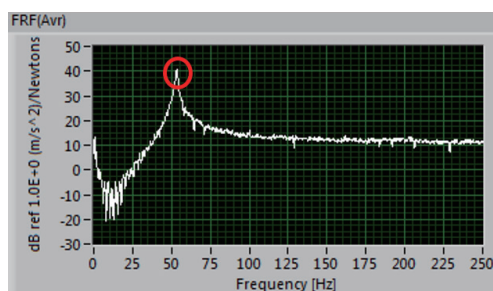


图 7 模态试验曲线

模态测试结果:垂向 57.25 Hz (Min); 横向 53.25 Hz (Min), 与 FEA 结果非常接近,对比原量产转向管柱有 10 Hz 左右的提升。详细模态测试结果如表 2 所示。

表 2 模态测试结果 单位:Hz

编号	垂向固有频率			横向固有频率		
	拉伸状态 下极限	中间 位置	压缩状态 下极限	拉伸状态 下极限	中间 位置	压缩状态 下极限
#1	58.50	62.25	65.50	53.50	57.50	59.25
#2	57.75	61.25	65.00	53.50	56.50	59.25
#3	58.00	62.50	65.00	53.25	58.00	59.50
#4	57.25	62.00	65.25	53.50	56.75	59.25

2) 伸缩调节力测试

将样件固定到试验台架上,并且将调节手柄松开,分别测试拉伸和压缩工况下的调节力大小,其中一组伸缩力曲线如图 8 所示。

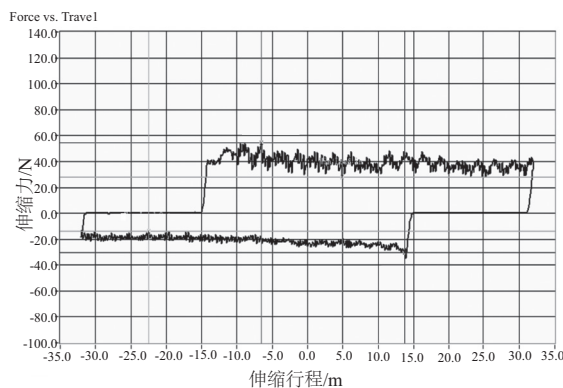


图 8 伸缩调节力曲线

(下转第 205 页)

基于可靠性分析的电梯制动器设计方案优化方法

欧阳惠卿,舒文华,薛季爱

(上海市特种设备监督检验技术研究院,上海 200062)

摘要:以典型的电梯鼓式制动器为研究对象,基于可靠性理论,对常见的“串-并联系统”和优化后“并-串联系统”的可靠性进行了推导计算。案例计算结果表明,在不增加和减少现有零部件且不提高原零部件本身可靠性水平的基础上,可通过合理的设计,仅改变零部件的组合方式,就可以提升整个系统的可靠性。

关键词:电梯;制动器;可靠性;设计优化

中图分类号:TP202 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2020)04-0199-03

Optimization Method of Elevator Brake Design Based on Reliability Analysis

OUYANG Huiqing, SHU Wenhua, XUE Jiai

(Shanghai Institute of Equipment Inspection and Technical Research, Shanghai 200062, China)

Abstract: In this paper, a typical elevator drum brake is taken as research object and based on the reliability theory, the reliability of the common "series-parallel system" and the optimized "parallel-series system" is deduced and calculated. The results of the calculation show that the reliability of the whole system can be improved by rational design and changing the combination of parts without increasing or decreasing the existing parts and without improving the reliability of the original parts.

Keywords: elevator; brake; reliability; optimization of design

0 引言

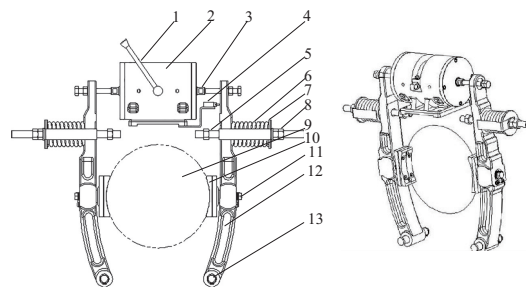
随着我国经济的高速发展和城市化的快速推进,电梯已经成为人们日常出行必不可少的垂直交通工具。截至2019年底,我国在用电梯数量已达709.75万台^[1]。但是,电梯事故偶有发生,往往造成严重的人身伤亡或恶劣的社会影响。其中,由于制动器失效而造成的轿厢蹲底、冲顶、在开门区域发生意外移动导致人员伤亡的事故占了较大的比例。因此,原国家质检总局对制动器的安全性开展了多次专项整治^[2],并通过修订检验规范 and 标准以提高制动器的技术要求和安全水平^[3-4]。因此电梯制动器也是电梯行业的重点研究内容之一。吴昊^[5]等人基于检验工作总结,分析了制动器制动力不足、电气问题等常见故障,并针对性地提出了检验对策。许海刚^[6]对电梯鼓式制动器故障模式及其机理展开了深入研究,建立了制动力矩不足、制动响应时间超时、释放响应时间超时、制动器不抱闸和制动器不松闸等主要故障模式的故障树。欧阳惠卿等人^[7]基于有限元仿真的电梯紧急制停时闸瓦温度变化和高温失效进行了分析。张雨枫等人^[8]对电梯盘式制动器可靠性进行了初步的分析,并提出了检验工作中的注意要点。

本文基于可靠性分析理论,以常见的电梯鼓式制动器为研究对象,通过结构和工作原理的分析,对“串-并联系统”和优化后的“并-串联系统”可靠性进行计算分析,并提出了鼓式制动器优化设计方案。

1 电梯制动器的基本原理

对于曳引电梯,由于轿厢和对重存在质量差,如果制动器失效,容易导致轿厢在开门状态下溜车,也容易发生轿厢蹲底、冲顶,制动器失效等严重的安全隐患。

鼓式制动器的结构如图1所示,主要由电磁装置、制动弹簧、制动臂、制动闸瓦4部分组成。制动弹簧提供制动时所需的压力,制动臂用于传递驱动力,制动闸瓦在制动时与制动轮相接触,产生制动摩擦力,电磁装置提供用于释放的电磁力。



1—释放手柄;2—电磁装置;3—顶杆;4—微动开关;5—制动弹簧螺杆;6—制动弹簧;7—垫圈;8—螺母;9—制动轮;10—制动闸瓦;11—连接螺钉;12—制动臂;13—轴销。

图1 鼓式制动器结构图

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC0808904);上海市市场监督管理局科技计划项目(2018-11)

第一作者简介:欧阳惠卿(1979—),男,湖南衡南人,正高级工程师,研究方向为机电类特种设备检验检测、安全评估及其标准化。

4 结语

本文论述了基于斑马带进行扭振测量的技术难点,并采取了合理的解决方法。对利用斑马带进行信号采集过程中产生的误差进行测量和校正。提出了一种扭振脉冲仿真信号的生成方法,结合斑马带校正方法对扭振信号瞬时转速计算原理进行改进,并根据计算所得的瞬时角速度和扭转角度进行分析。最后,通过一组转子系统碰磨实验验证了方法的有效性。

主要结论如下:

- 1) 在采用斑马带补偿改进的算法计算所得瞬时转速和扭转角度的精度得到极大的提高。
- 2) 采用斑马带补偿改进的算法所得的扭振固有频率的精度更高。
- 3) 碰磨发生后,转子的扭振振幅出现了明显的变化,可以据此识别出扭振故障。

参考文献:

- [1] SEIDLITZ S, KUETHER R J, ALLEN M S. Experimental app

roach to compare noise floors of various torsional vibration sensors [J]. Experimental Techniques, 2014; 661-675.

- [2] 张建平. 转子轴系扭振测量与控制的实验研究[D]. 天津:天津大学, 2007.
- [3] WANG P, DAVIES P, STARKEY J M, et al. A torsional vibration measurement system[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1992, 41(6): 803-807.
- [4] LISKA J, JAKL J, KUNKEL S. Measurement and evaluation of shaft torsional vibrations using shaft instantaneous angular velocity [J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2019, 141(4): 410-429.
- [5] 王海, 孙云岭. 传感器振动对柴油机瞬时转速测量影响的仿真研究[J]. 机电工程技术, 2014(3): 11-14.
- [6] 谢诞梅, 杨长柱, 刘占辉. 汽轮发电机组轴系扭振试验研究与误差分析[J]. 汽轮机技术, 2005, 47(1): 38-40.
- [7] DIAMOND D H, HEYNS P S, OBERHOLSTER A J. Online shaft encoder geometry compensation for arbitrary shaft speed profiles using Bayesian regression[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2016, 81: 402-418.

收稿日期:2019-03-22

(上接第 198 页)

原设计伸缩调节力为 80 N(Max),新设计测试结果不超过 70 N,调节力降低约 10 N,详细调节力测试结果如表 3。

表 3 伸缩调节力测试结果 单位:N

编号	压缩力		拉伸力	
	Max	Min	Max	Min
#1	67.1	34.6	42.1	22.1
#2	68.2	27.3	40.4	17.9
#3	66.3	33.5	39.9	21.1
#4	54.3	28.1	30.7	13.7

由上述数据可以看出,新设计的四向调节转向系统在固有频率上有大幅度提升;而且伸缩调节力也有明显降低。

4 结语

本文基于某款主流四向调节转向系统的分析,运用 TRIZ 理论设计新型的四向调节转向管柱,通过 FEA 仿真分析以及试验验证表明:该设计可以获得较高固有频率、较小的伸缩调节力,有效地提升了转向管柱的性能;同时

由于简化了吸能机构,可获得较低的成本,为类似转向管柱的性能提升和成本优化提供技术参考和数据支持。

参考文献:

- [1] 陈家瑞. 汽车构造:下册[M]. 第 2 版. 北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 贾昱,崔小青,尹慧. 汽车转向管柱设计概述[J]. 科技创新与应用,2015(18):52-55.
- [3] 孙祖明. 四向可调吸能防盗转向管柱的设计与研制[J]. 企业技术开发,2012,31(22):12-13.
- [4] 廖武,张雷,韩全友,等. 转向系统固有频率设计研究[J]. 客车技术与研究, 2014(3):20-22.
- [5] 董俊超. 轿车转向系统抖振分析和结构优化[D]. 吉林:吉林大学, 2011.
- [6] 李春阳,尹航. 电动助力管柱总成固有频率简易分析方法[J]. 林业机械与木工设备,2015,43(9):24-26.
- [7] 别红玲. 基于齿轮箱结构的试验模态测试研究[J]. 制造技术与机床,2007(8):56-90.
- [8] ALTSHULLER G.S. 40Principles: TRIZ keys to technical innovation[C]. Technical Innovation Center,1998.
- [9] 彭开元. TRIZ 理论在自行车优化设计中的应用[J]. 机械制造与自动化,2014,43(6):76-79.
- [10] 陈剑飞. 基于 TRIZ 与功能拓展的产品创新方法研究与应用[D]. 广州:广东工业大学,2017.

收稿日期:2019-02-22