

基于 RecurDyn 软件的列车车门辅助锁优化方法研究

马永根 王祖进

(南京康尼股份有限公司, 210038, 南京//第一作者, 工程师)

摘要 针对轨道交通列车车门辅助锁工作过程中存在运动不平稳、冲击力大的问题, 通过 RecurDyn 软件的 AutoDesign 功能对辅助锁的结构尺寸进行了优化, 以滚轮直径、滚轮的旋转半径及摆臂凸轮的接触轮廓作为设计变量, 以锁舌旋转角速度、锁舌旋转角加速度及锁舌转角作为约束条件, 对仿真模型进行优化。仿真结果与试验结果均表明: 优化后的凸轮与锁舌的接触过程更加平滑, 承载能力得到了加强。

关键词 列车车门; 辅助锁; 结构优化; 轮廓曲线; 设计变量

中图分类号 U270.38*6

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.11.028

Research on Optimization Method of Train Door Auxiliary Lock Based on RecurDyn Software

MA Yonggen, WANG Zujin

Abstract In view of the problems of unsteady movement and large impact force in the working process of rail transit train door auxiliary lock, the structural dimension of the auxiliary lock was optimized by the AutoDesign function of RecurDyn. The design variables are the diameter of the roller, the rotation radius of the roller and the contact profile of the swing arm cam. Taking the rotation speed of the lock tongue, the acceleration of rotation angle of the lock tongue and the rotation angle of the lock tongue as the constraint conditions, the simulation model is optimized. Both simulation and experiment results show that the contact process between the optimized cam and the locking tongue was smoother, and the bearing capacity has been strengthened.

Key words train door; auxiliary lock; structural optimization; profile curve; design variable

Author's address Nanjing Kangni Mechanical & Electrical Co., Ltd., 210038, Nanjing, China

轨道交通列车车门的运动是通过 1 个带减速箱的电机驱动丝杆来实现的^[1]。当门扇电动关闭后, 辅助锁压紧; 当门系统收到开门指令时, 辅助锁先解锁,

电机再转动, 将门扇打开至开到位置。辅助锁通过气缸驱动来增加门系统约束, 以克服门扇变形, 保证门系统的密封性。当门扇在电机作用下关闭到位后, 辅助锁得电供气, 锁闭气缸推动承载轴转动, 从而推动锁舌运动, 使得锁舌压紧门扇锁扣^[2-4]。目前, 列车车门辅助锁在工作过程中, 常出现锁舌和摆臂凸轮间的接触运动不平稳现象, 可能形成较大的冲击力, 进而严重影响辅助锁的工作寿命。

因此, 本文对列车车门辅助锁凸轮的结构尺寸进行优化, 使得锁舌和摆臂凸轮间的接触过程更加平滑, 通过仿真的方法得到凸轮的轮廓曲线, 并进行了试验验证。

1 建立动力学仿真模型

如图 1 所示, 车门辅助锁的主要由气缸、承载轴、定位块、锁舌、锁舌滚轮和缓冲轴等组成。将辅助锁的三维装配模型导入 RecurDyn 软件, 并基于现实情况, 对仿真模型的各项基本参数进行设置, 构建初始仿真模型。

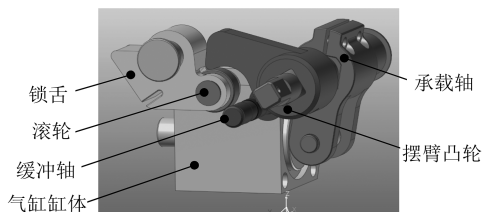


图 1 辅助锁主要组成

1.1 设置材料属性

对仿真模型中各零部件的材料属性进行设置^[5-6]。根据辅助锁中各零部件的材料属性, 对仿真模型中各零部件的密度进行设置, 并利用 RecurDyn 软件中的 merge 命令对固连在一起的零部件进行合并。

1.2 设置运动副类型

对仿真模型中各零部件间的运动副进行设置^[7-9]。主要零部件间的约束关系如表 1 所示。

表 1 主要零部件间的约束关系

零部件 1/零部件 2	零部件间的运动副类型
承载轴/Ground(地面)	旋转副
承载轴/摆臂凸轮	固定副
转轴/Ground	固定副
锁舌/转轴	旋转副
缓冲轴/Ground(地面)	固定副
气缸缸体/Ground(地面)	固定副
气缸推杆/气缸缸体	平移副
锁舌/滚轮	旋转副
滚轮/摆臂凸轮	凸轮副

表 2 接触副参数设置

零部件 1/零部件 2	接触刚度 $K/(N/mm)$	接触阻尼 $C/(N \cdot s/mm)$	动摩擦系数 μ_d	静摩擦系数 μ_s	最大穿透深度 d/mm	刚度指数 e
摆臂凸轮/缓冲轴	8 000	5	0.03	0.05	0.2	2.0
气缸推杆/承载轴	10 000	5	0.03	0.05	0.1	1.5

1.5 初始仿真模型的仿真结果

对辅助锁机构初始仿真模型进行动力学仿真计算,得到锁舌和滚轮的角速度曲线,如图 2 及图 3 所示。

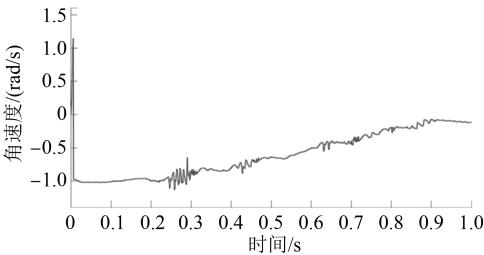


图 2 锁舌角速度仿真结果

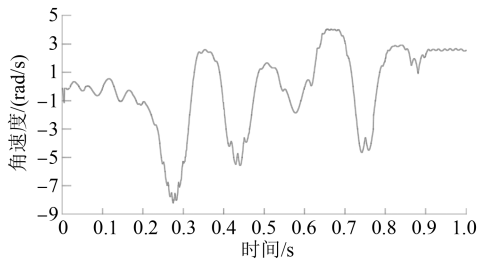


图 3 滚轮角速度仿真结果

根据仿真曲线,计算相邻 2 个采样点的角加速度可得,锁舌角加速度绝对值的最大值为 $2\,109\text{ rad/s}^2$,滚轮角加速度绝对值的最大值为 $2\,566\text{ rad/s}^2$ 。由角加速度绝对值的计算结果可以看出,辅助锁锁舌和滚轮的运动曲线并不平顺。其在运动过程中的明显波动,会对锁舌以及锁舌滚轮造成运动冲击,从而影响部件的寿命与可靠性。因此,需要对辅助锁机构进行优化^[10-12],使得锁闭过程平顺稳定,减少锁闭部件所受的冲击,延长其使用寿命,提

1.3 设置载荷与驱动

在承载轴的一端添加大小为 $0.2\text{ N}\cdot\text{m}$ 的负载扭矩作为载荷。在气缸推杆上添加平移驱动速度,来模拟驱动。

1.4 设置接触副

定义辅助锁中的接触副,包括摆臂凸轮和缓冲轴间的接触、气缸推杆和承载轴间的接触。接触类型选择“Solid Contact”。接触参数取值如表 2 所示。

高部件可靠性。

2 仿真模型的优化及计算

经分析,辅助锁运动过程中产生冲击,主要因为辅助锁摆臂凸轮的结构形式不满足要求。因此,本文要利用 RecurDyn 软件的优化功能,调整凸轮结构尺寸,使辅助锁锁舌和滚轮的运动曲线更平滑。

2.1 模型变量的参数化处理

为实现 RecurDyn 软件参数优化,需对仿真模型进行参数化处理^[13-14]。涉及参数化处理的变量主要有滚轮直径、滚轮的旋转半径,以及摆臂凸轮与锁舌的接触形状。

其中,摆臂凸轮与锁舌的接触形状参数化模拟过程为:首先,在摆臂凸轮与锁舌接触位置设置约束点,再以约束点为基础定义样条曲线;然后,通过曲线与曲线的约束形式,对滚轮与摆臂凸轮接触样条曲线进行约束。参数化处理的变量如表 3 所示。

表 3 参数化处理的设计变量

变量	参数化上限	参数化下限
锁舌滚轮旋转半径/mm	25	35
锁舌滚轮半径/mm	8	15
约束点 1 的夹角/ $^\circ$	-6	-4
约束点 2 的夹角/ $^\circ$	-16	-14
约束点 3 的夹角/ $^\circ$	-20	-15
约束点 4 的夹角/ $^\circ$	-19	-11
约束点 5 的夹角/ $^\circ$	-22	-14
约束点 1 的距离/mm	47	59
约束点 2 的距离/mm	48	56
约束点 3 的距离/mm	43	51
约束点 4 的距离/mm	36	44
约束点 5 的距离/mm	28	32

2.2 优化性能指标

对仿真模型定义的性能指标进行优化。性能指标可表明模型实现目标的好坏程度。为了优化运动过程的平稳性,本研究以 Analysis Response 命令来定义性能指标。具体如表 4 所示。

表 4 仿真模型的性能指标

性能指标	输出变量	限制值
锁舌旋转角速度	转速	最小值
锁舌旋转角加速度	角加速度	标准差
锁舌转角	角度	最大值

在 RecurDyn 软件中,对上述性能指标定义约束条件的界面如图 4 所示。

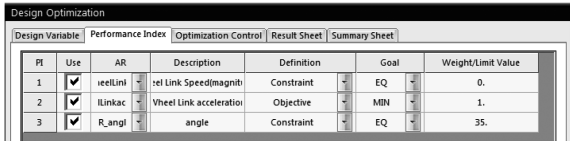


图 4 RecurDyn 软件的约束条件设置界面

图 4 所示内容为:定义转速的目标值为 0,锁舌转角的目标值为 35°;期望减小锁舌角加速度的标准差。

2.3 优化模型的仿真分析

在 RecurDyn 软件中设置最大的优化迭代次数。通过迭代计算,最终得到最优性能指标对应的参数化变量,即辅助锁结构尺寸最优解。RecurDyn 软件的寻找最优解界面如图 5 所示。

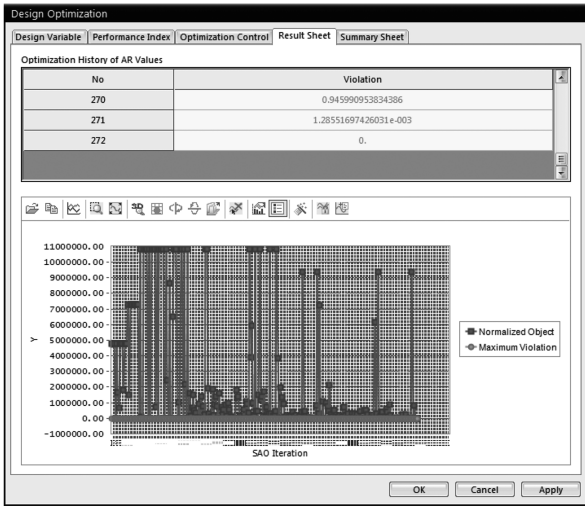


图 5 RecurDyn 软件的寻找最优解界面

由图 5 可以看出,经过 272 次计算,寻得最优解。最优解对应的动力学模型如图 6 所示。

由图 6 可以看出,经过优化后,锁舌运动半径,

滚轮半径以及摆臂凸轮的接触轮廓均有变化。优化后辅助锁模型的动力学仿真结果如图 7、8 所示。

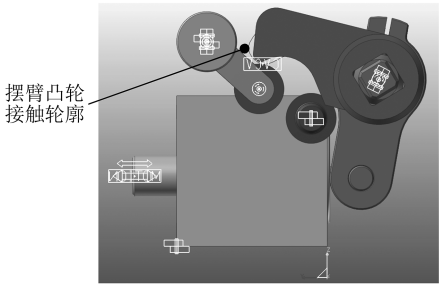


图 6 优化后的辅助锁模型

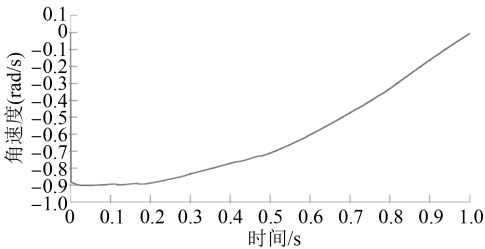


图 7 优化后的锁舌速度仿真结果

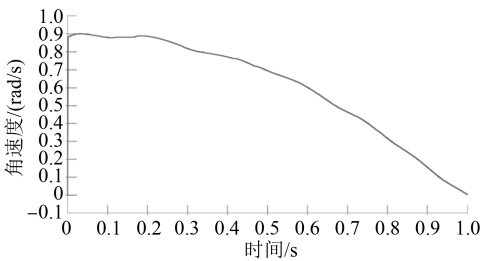


图 8 优化后的滚轮速度仿真结果

根据速度仿真曲线,计算相邻两个采样点的角加速度可得,锁舌角加速度绝对值的最大值为 5.6 rad/s^2 ,滚轮角加速度绝对值的最大值为 3.7 rad/s^2 。由角加速度绝对值的计算结果可以看出,优化后模型的速度曲线波动明显减少。

3 试验验证

在辅助锁试验台上对优化前后的辅助锁性能进行试验验证。试验结果如图 9 所示,计算每条曲线相邻上升沿顶点和下降沿顶点的纵坐标差值 K ,

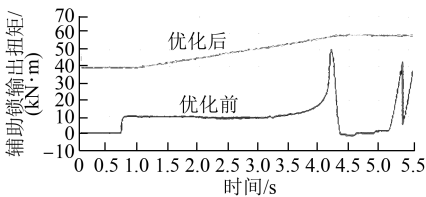


图 9 优化前后的辅助锁输出扭矩

可以得到优化前 K 的最大值为 $50 \text{ N} \cdot \text{m}$, 优化后 K 的最大值为 $2 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。由对比结果可以看出, 优化后的辅助锁输出力更加平顺, 有效减少了锁闭过程中的冲击力, 有助于延长辅助锁的使用寿命。

4 结语

基于 RecurDyn 关键的仿真优化功能, 提出了一种轨道交通列车车门辅助锁结构尺寸优化方法。该方法以滚轮直径、滚轮的旋转半径及摆臂凸轮的接触轮廓作为设计变量, 以锁舌旋转角速度、锁舌旋转角加速度及锁舌转角作为约束条件, 对辅助锁的结构尺寸进行整体优化。仿真结果及试验结果表明: 优化后辅助锁的输出力更加平顺, 有助于提高锁闭组件的可靠性。

参考文献

- [1] 张大清. 铁路干线机车车门的发展综述[J]. 内燃机车, 2005(3): 5.
- [2] 董鹏, 孙鹏. 某防护型车门辅助锁设计[J]. 汽车实用技术, 2019(3): 136.
- [3] 王浩, 暴长春, 邹阳, 等. CR400AF 型标准动车组塞拉门检修工艺研究[J]. 科学技术创新, 2019(7): 176.

- [4] 王展新, 郭建禄, 李枫. 城际动车组客室车门关键技术研究[J]. 轨道交通装备与技术, 2013(4): 1.
- [5] 王祖进, 史翔, 贡智兵, 等. 城轨塞拉门机械系统虚拟样机建立方法研究[J]. 现代城市轨道交通, 2018(4): 22.
- [6] 石增辉, 张峻宁, 马楠. 基于 RecurDyn 软件的偏心链轮、带传动等柔性传动分析[J]. 科技资讯, 2012(20): 61.
- [7] 贡智兵, 王祖进. 城轨门系统接触参数实验获取方法研究[J]. 软件, 2018(7): 79.
- [8] LI Y, DAI S, ZHENG Y, et al. Modeling and kinematics simulation of a mecanum wheel platform in RecurDyn[J]. Journal of Robotics, 2018(1): 1.
- [9] 赵贞莲, 张瑞成, 姜栋, 等. 分布式驱动电动车辆差速控制技术[J]. 建筑机械, 2019(4): 81.
- [10] ZHDANOV D, GARBUL A, MAYOROV V, et al. Automatic design of illumination systems[J]. Optical Review, 2013(2): 155.
- [11] 尹猛, 徐志刚, 贺云, 等. 刚柔耦合下战斗部自动装药装置的优化设计[J]. 兵工学报, 2018(2): 411.
- [12] 孔国梁, 李顶峰. 铁路纵断面自动设计与优化方法研究[J]. 铁道工程学报, 2012(12): 48.
- [13] 王纯贤, 魏硕硕, 朱衍飞, 等. 基于 ADAMS 的往复式茶叶自动理条机参数优化设计[J]. 江苏农业科学, 2015(12): 450.
- [14] 孔国梁, 李顶峰. 铁路纵断面自动设计与优化方法研究[J]. 铁道工程学报, 2012(12): 48.

(收稿日期: 2020-03-25)

(上接第 129 页)

因此, 当两站站间距较大需设置区间风井时, 建议采用“W”型坡。这不仅有利于行车, 还可减少区间风井的工程量, 有效降低能耗。

3 结论

1) 对于地势平坦, 区间无明显控制物的情况, 纵断面设计时宜采用“V”型坡, 建议采用 $22\% \sim 24\%$ 的坡度和 250 m 左右的坡长, 可有效地降低能耗。

2) 如地势起伏较大或两站站间距较小, 且必须采用单面坡, 建议采用陡坡+缓坡的组合。

3) 对于长大区间, 需要设置区间风井时, 建议纵断面设计时采用“W”型坡, 可有效减少区间风井的工程量, 且行车较合理。

参考文献

- [1] 柳林. 南宁城市轨道交通 2 号线节能设计研究[J]. 城市轨道交通研究, 2014(5): 64.

- [2] 陈富安. 地铁节能坡设计研究[J]. 铁道工程学报, 2013(8): 104.
- [3] 胡晓丹, 张杰. 城市轨道交通节能坡寻优研究[J]. 铁道工程学报, 2013(5): 27.
- [4] 白晓. 城市轨道交通线路纵断面节能优化[D]. 北京交通大学, 2018.
- [5] 乐建迪. 地铁正线节能坡设计探讨[J]. 铁道标准设计, 2008(8): 17.
- [6] 李文波. 城市轨道交通节能线路设计研究[J]. 都市快轨交通, 2013(2): 8.
- [7] 何麟辉, 赵壹. 城市轨道交通地下线路节能坡设计研究[J]. 现代城市轨道交通, 2019(1): 38.
- [8] 周铨, 杨文昕. 城市快速轨道交通线路纵断面节能坡研究[J]. 交通科技, 2018(4): 30.
- [9] 中国人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [10] 卓文海. 深圳地铁 9 号线短距离站点间纵坡设计研究[J]. 科技创新与应用, 2017(17): 200.

(收稿日期: 2019-01-10)