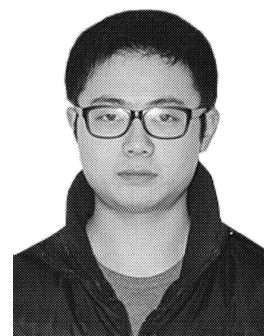


研
究
开
发

直接驱动转向架一系悬挂设计分析

周 勇, 黄志辉

(西南交通大学 牵引动力国家重点实验室, 四川 成都 610031)



作者简介: 周 勇 (1987-), 男, 硕士研究生, 主要从事机车车辆机械部分的研究。

摘 要: 用多体动力学软件 Simpack 建立了永磁同步电机直接驱动转向架的车辆系统动力学模型, 通过仿真计算来对直接驱动转向架的一系悬挂进行结构选型和参数优选。分析了一系悬挂水平定位刚度与非线性临界速度的关系, 得出一系纵、横向定位刚度分别是 10 MN/m 和 6 MN/m, 并据此确定了一系悬挂应采用双圈钢弹簧+三角拉杆的结构形式。针对一系悬挂横向跨距较小的特点, 着重分析车辆柔度系数 s , 得出一系垂向刚度取值为 1.2~1.6 MN/m, 最后计算了一系弹簧的详细结构参数。

关键词: 直接驱动转向架; 一系悬挂; 动力学仿真; 参数设计

中图分类号: U260.331 文献标识码: A 文章编号: 1000-128X(2012)03-0023-03

Design Analysis of the Primary Suspension System for Direct-drive Bogie

ZHOU Yong, HUANG Zhi-hui

(Traction Power State Key Laboratory, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: Vehicle system dynamic models of bogie driven directly by permanent-magnet synchronous motor were established based on SIMPACK. With the simulation calculation, the structure and main parameters were selected for the primary suspension system of direct-drive bogie. The relationship between the non-linear critical speed and horizontal stiffness of the primary suspension system was analyzed, and the vertical and horizontal stiffness was obtained as 10 MN/m and 6 MN/m, which indicated that the primary suspension should apply double-ring steel spring & triangular rod structure. According to the short span of the primary suspension system, analysis of vehicle flexibility coefficient was focused on, and the vertical stiffness value of 1.2~1.6 MN/m was obtained, then, spring parameters were finally calculated.

Key words: direct-drive bogie; primary suspension; dynamic simulation; parameter design

0 引言

永磁同步电机直接驱动转向架(以下简称直接驱动转向架)的研究和开发是轨道车辆领域的一个新课题,其设计思想是取消传统转向架的齿轮传动装置,用永磁同步电动机代替传统的异步电动机,并且将电机转子直接安装在车轴表面,通过定子和转子的电磁作用直接驱动轮对旋转。这样的设计可以大大简化转向架的结构,减少磨损,降低车辆的全寿命周期成本(LCC)。一系悬挂连接着构架和轮对,具有承载、导向、传力和缓和线路冲击等作用,此外,它对车辆的动力学性能有着决定性的影响。所以选择合适的一系悬挂

装置,既可保证车辆具有良好的动力学性能,又可使转向架结构紧凑。

1 结构选型和模型的建立

1.1 结构选型分析

图1是西门子 Syntegra 的直接驱动转向架三维示意图^[1]。

从图1中可以看出,直接驱动转向架采用了整体式电机轮

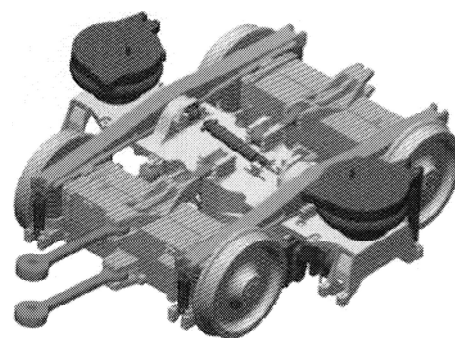


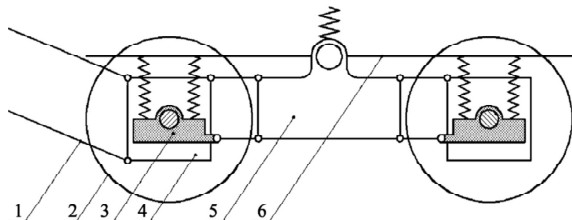
图1 Syntegra 转向架

收稿日期: 2011-11-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(51075339)

对单元、轮对内侧支撑、组合式铰接构架等特殊结构,并且没有设置抗蛇形减振器和抗侧滚扭杆,其结构非常简单、紧凑。

由于采用了轮对内侧支撑结构,所以一系悬挂要安装在电机和车轮之间,其横向尺寸受到了严格的限制,当轴重较大时,一系弹簧应设计成左右对称的两组结构。具有双组弹簧的一系悬挂有多种结构形式,大概可以分为2类:一类借助构架侧梁来传递水平力,例如橡胶导柱式、钢弹簧导柱式和“人”字形橡胶堆式等;另一类是借助拉杆(板)来传递水平力,例如单(双)拉杆式、三角拉杆式和拉板式等结构。直接驱动转向架采用铰接构架,所有水平力由中央横梁来承受,侧梁只承受垂向力,这样的设计可以减小构架的尺寸。所以直接驱动转向架一系悬挂应采用双弹簧+单侧拉杆的轴箱定位方式,具体选用哪种拉杆需要由下面的参数优选结果来确定。图2是根据这种定位方式作出的直接驱动转向架结构示意图。



1——牵引杆;2——轮对;3——一系悬挂;4——永磁同步电机;5——构架侧梁;6——构架侧梁

图2 直接驱动转向架结构示意图

1.2 动力学模型简述

根据图2用Simpack软件建立直接驱动转向架车辆的多体动力学模型,如图3。本模型充分体现了轮对内侧支撑、铰接构架、短轴距等该型转向架的结构特点。车辆模型的主要参数为:转向架轴距1.6 m,定距12 m,轨距1 435 mm,轮径690/630 mm,轴重14 t。由于此转向架用于城市轨道车辆,最大运用速度为100 km/h,故采用JM3型磨耗型踏面,国内60 kg钢轨。以下的参数优选都是基于此模型进行的。

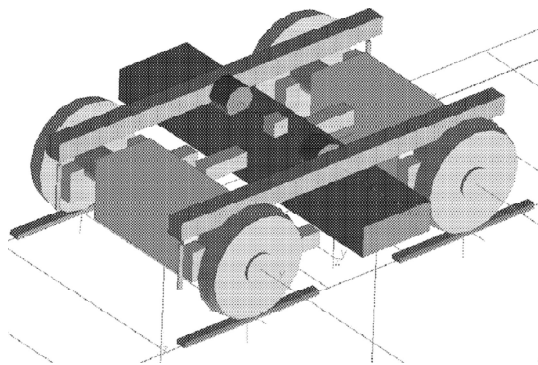


图3 直接驱动转向架多体动力学模型

2 关键参数优选

2.1 一系水平定位刚度的确定

一系水平定位刚度决定了车辆的直线运行稳定性和曲线通过性能,本节通过计算车辆的非线性临界速度 V_{cr} 来选择一系纵、横向定位刚度值 K_x 、 K_y 。在满足稳定性的前提下尽量选择较小一系悬挂的纵、横向定位刚度值来保证转向架的曲线通过性能。

图4为当 $K_y=2 \text{ MN/m}$, K_x 由小变大时,车辆 V_{cr} 的变化情况。随着 K_x 的增加,车辆的 V_{cr} 的增加幅度越来越小,再考虑到动力车牵引性能的发挥,将 K_x 取为10 MN/m,此时 $V_{cr}=120 \text{ km/h}$ 。图5为当 $K_x=10 \text{ MN/m}$, V_{cr} 随 K_y 的变化情况,可见 K_y 有着和 K_x 相同的变化趋势。这里取 $K_y=6 \text{ MN/m}$,此时 $V_{cr}=140 \text{ km/h}$,对最高运营速度为100 km/h的地铁车辆来说有足够的安全余量。

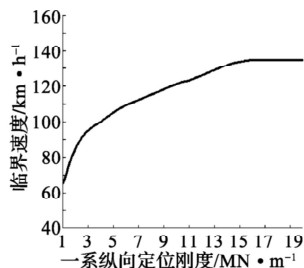


图4 V_{cr} 随 K_x 的变化关系

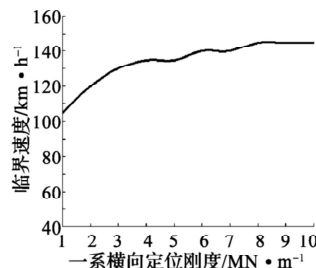
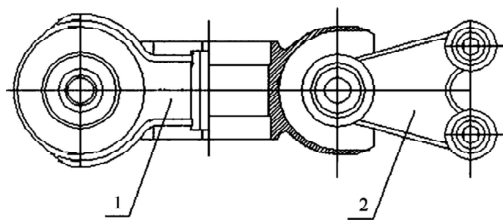


图5 V_{cr} 随 K_y 的变化关系

由于横向定位刚度 K_y 的取值较大,所以轴箱拉杆不易采用普通拉杆(板),而应采用横向定位刚度较大的三角形拉杆结构,如图6所示。如果需要进一步提高车辆的非线性临界速度,可以加装抗蛇形减振器,或者采用LMA踏面。



1——轴箱体;2——三角拉杆

图6 三角拉杆定位

2.2 一系弹簧参数的计算

直接驱动转向架的一系弹簧与普通转向架的一系弹簧有较大的差别,主要体现在: 弹簧安装在电机和车轮之间,其径向尺寸受到了严格的限制。通过尺寸关系分析得出弹簧的最大外径不能超过140 mm。没有设置抗侧滚扭杆装置,且弹簧横向跨距较小,所以其轴向刚度必须满足一定的要求。考虑到轴重较大(14 t),弹簧的动静荷载也较大,所以一系弹簧采用双圈结构,材料为高强度弹簧钢60Si2CrVAT。利用Matlab编写弹簧设计程序^[2],经过若干次的试算,在满足弹簧尺寸、强度和弹簧指数 m 要求的前提下得到了一组

双圈弹簧的参数,如表1所示。

表1 一系弹簧参数表

项目	内圈簧	外圈簧
簧条直径 d/mm	15	26
弹簧中径 D/mm	65	114
弹簧指数 m	4.33	4.38
有效圈数 n	9.5	5.1
总圈数 n_0	11	6.6
自由高度 H/mm	238.45	238.45
轴向刚度 $K_V/\text{MN} \cdot \text{m}^{-1}$	0.190 4	0.593 4
横向刚度 $K_L/\text{MN} \cdot \text{m}^{-1}$	0.017 53	0.344 30
工作载荷 P/N	7 320	22 815
静挠度 F_V/mm	38.45	38.45

由于我国铁路对车辆的抗侧滚性能没有一个严格的评判标准,为了便于使用Simpack软件进行分析,本文采用UIC 505-5中规定的柔度系数 s 评价车辆抗侧滚性能。其定义

为:当车辆静止停在有一定超高的轨道上时,车体铅垂断面中心线与轨道法线的夹角 η 与线路超高角 δ 的比值称为柔度系数^[3],即 $s = \frac{\eta}{\delta}$ 。为了便于软件的计算,当车辆以5 km/h的速度通过设置了最大超高(GB 50157—2003地铁设计规范中规定为120 mm)的曲线时,近似认为车辆处于静止状态,并且测量其柔度系数 s 。改变 K_z 的值以测得不同的 s 值,绘制成曲线,如图7所示。UIC 505-5中规定,在重车条件下, s 应小于0.4^[3]。当一系悬挂采用表1所示的弹簧组时,其单边垂向刚度为1.57 MN/m,对应图7的曲线中的柔度系数 $s=0.3$,对运行速度较低的地铁城轨车辆来说有一定的余量,该弹簧组满足要求。

为了抑制构架的点头运动,在一系悬挂中设置了垂向液压减振器。

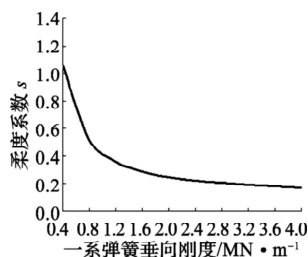


图7 s 随 K_z 的变化关系

3 动力学性能评估

利用Simpack软件对上述经过参数优选的动车进行动力学仿真分析,得到的结论如下:

软件计算得出车辆的非线性临界速度为147 km/h,高于车辆的最高运行速度100 km/h,且具有47%的安全余量。

在直线区段,美国AAR标准5级轨道谱激励下,车辆以其最高运行速度运行时(此时速度为80 km/h),车辆地板面高度前端平稳性指标横向为2.34,垂向为2.52;后端指标横向为2.41,垂向为2.68,均在优良范围内。

在R300 m、超高120 mm线路上,车辆以60 km/h的速度运行或在R800 m、超高100 mm的线路上,车辆以100 km/h速度运行时,车辆的各项安全性指标均在《GB 5599—85铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范》所规定的范围内。由于篇幅限制,这里就不一一列举具体指标的数值了。

4 结语

直接驱动转向架一系悬挂应采用双侧钢弹簧+三角形拉杆的轴箱定位方式,这样既能使转向架的结构紧凑,又能满足车辆对临界速度的要求。

通过分析车辆的非线性临界速度,得到一系悬挂纵、横向刚度分别是10 MN/m和6 MN/m,一系悬挂的垂向刚度为1.57 MN/m时,能满足车辆对抗侧滚性能的要求。

参考文献:

- [1] 周 勇,黄志辉. 直接驱动Syntegra转向架轴重转移分析[J]. 内燃机车, 2010(3): 29-31.
- [2] 黄志辉,张红军,孙永鹏. 三轴转向架一系悬挂弹簧设计[J]. 机车电传动, 2005(4): 36-37.
- [3] 严隽耋. 车辆工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.

动态消息

《机车电传动》期刊再次入选中文核心期刊

《中文核心期刊要目纵览》(2011年版)于2012年正式出版,《机车电传动》期刊再次入选中文核心期刊。铁路运输类学科(U2)有《中国铁道科学》、《铁道学报》等11种期刊榜上有名。

《机车电传动》编辑部