

600/1 067 mm 变轨距动车组 转向架方案选型分析

刘晓妍¹, 黄运华¹, 张隶新², 张丽君², 许红江²

(1. 西南交通大学 机械工程学院, 四川 成都 610031;
2. 中车唐山机车车辆有限公司 转向架技术中心, 河北 唐山 063035)

摘 要: 通过对比国外现有变轨距技术, 对 600/1 067 mm 变轨距转向架各零部件进行选型分析及方案确定, 确定了 600/1 067 mm 变轨距转向架的变轨方式, 进而确定了 600/1 067 mm 变轨距转向架各个零部件的结构方案及变轨过程。

关键词: 600/1 067 mm 轨距; 变轨距技术; 转向架; 选型分析

中图分类号: U266.2; U260.331

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2018.06.006

Model Selection Analysis of 600/1 067 mm Gauge Changeable Bogie

LIU Xiaoyan¹, HUANG Yunhua¹, ZHANG Lixin², ZHANG Lijun², XU Hongjiang²

(1. School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China;

2. Bogie Technology Center, CRRC Tangshan Co., Ltd., Tangshan, Hebei 063035, China)

Abstract: By comparing the existing gauge changeable technology abroad, the type selection analysis and scheme determination of each component of 600/1 067 mm gauge changeable bogie were carried out. The rail-changing mode of 600/1 067 mm gauge changeable bogie was determined, and the structural scheme and the rail-changing process of each component of 600/1 067 mm gauge changeable bogie were determined.

Keywords: 600/1 067 mm gauge; gauge changeable technology; bogie; model selection analysis

0 引言

由于政治、经济及技术等多方面原因, 世界铁路存在多种不同的轨距, 其分布于 381~2 134 mm 之间, 这些线路的不同轨距严重阻碍了跨国以及跨地区的铁路运输及经贸活动的发展^[1]。

600/1 067 mm 轨距的变轨距动车组转向架区别于传统客车转向架。该转向架被要求既是能够自带动力的动车组转向架, 又是能够实现轨距自动改变的变轨距转向架。项目基于国家重点研发计划项目子课题“变结构走行系统列车关键技术研究”, 为满足“一带一路”

沿线国家不同轨距线路运输需求, 提供核心技术支撑, 同时可带动更多采用窄轨轨距的国家的经济发展, 形成满足全球市场需求的国际化轨道交通技术、标准、装备和服务能力体系。

1 国内外变轨距转向架结构对比分析

变轨距转向架区别于传统转向架而采用了变轨距轮对, 其轮对在不同轨距线路之间能够借助地面变轨装置实现自动变换轨距。目前, 国外对变轨距转向架的研究已较为成熟。

早在 1966 年, 西班牙 TALGO 就设计了采用独立旋转车轮的变轨距转向架^[2], 车轮跟随轴承座一起移动实现变轨, 用于 1 435 mm 和 1 668 mm 轨距之间的变换,

收稿日期: 2018-03-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFB1200501)

其变轨距结构在动力和非动力转向架上都有应用^[3]。日本的变轨距转向架用于实现新干线（轨距 1 435 mm）和既有线（轨距 1 067 mm）之间的轨距变换，E30 型可变轨距转向架包括 A、B 型两种，采用的车轮由 A 型的独立旋转车轮到 B 型的传统轮对^[4]，其变轨距结构在动力和非动力转向架上都有应用。德国的 DBAG/Rafil V 型变轨距轮对，用于实现 1 435 mm 轨距到 1 520 mm 轨距的变换^[5]，采用齿形啮合型变轨装置，安装在传统轮对上，应用于货车转向架。瑞士 PROSE 公司在 2011 年设计了型号为 EV09 的变轨距拖车转向架，用于实现从米轨（1 000 mm）到准轨（1 435 mm）的自动变换。该转向架结构独特，采用独立旋转车轮，变轨原理新颖，采用构架移动车轮跟随的模式^[6]，其结构如图 1 所示。

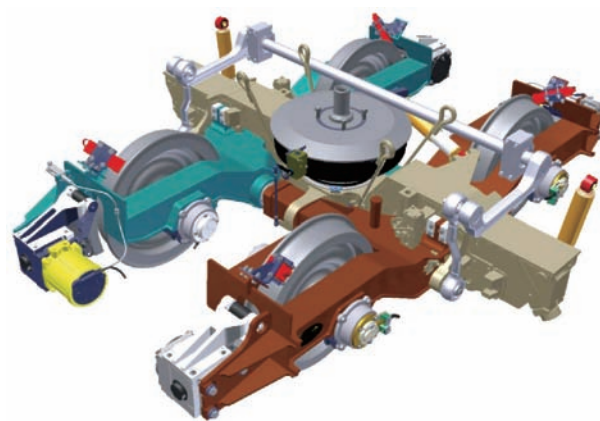


图 1 EV09 变轨距转向架

表 1 列出了国外典型变轨距转向架相关数据，总体上来看，为了实现轨距的变换，不外乎移动左右车

表 1 国外典型变轨距转向架对比分析

项目	PROSE EV09 变轨距转向架	CAF BRAVA 变轨距转向架	TALGO RD 变轨距转向架	BVV RAFIL/ DBAG" type V" 轮对	FGT-9000 日本第三代
变轨范围/mm	1 000~1 435	1 435~1 668	1 435~1 668	1 435~1 520	1 067~1 435
轨距变化差/mm	435	233	233	85	368
变轨位置	构架	轮对	轮对	轮对	轮对
变轨支撑结构位置	横梁	轴箱体	轴箱体	车轮轮缘	轴箱体
转向架类型	拖车转向架	动拖车转向架	动拖车转向架	拖车转向架	动拖车转向架
轮对形式	独立轮对	通过联轴器耦合的独立轮对	独立轮对	传统轮对	传统轮对
车轴形式	短轴断轴	直轴	短轴	直轴	-

轮或者移动左右构架，从而达到改变左右车轮内侧距的目的^[6]。

通过表 1 的数据分析可知，移动车轮模式适合轨距变化范围较小的车辆，轨距变化跨度较大时，车轮移动模式受限于车辆限界。从 600 mm 到 1 067 mm 轨距变化差为 467 mm，因此，为保证不同轨距下的车辆限界，采用移动侧架的变轨模式，本文对 600/1 067 mm 变轨距转向架中各个零部件的结构方案进行选型分析。

2 变轨距转向架零部件选型分析

2.1 锁紧机构

采用横梁套筒和锁紧销配合，对 2 个侧架进行锁紧。横梁套筒以及横梁上均开有销孔，将枕梁抬起后，锁紧销从横梁套筒以及横梁上的销孔中脱出实现解锁，整体结构如图 2 所示。经过分析，这种锁紧方式存在横梁套筒和横梁的横向定位，横梁与横梁套筒上销孔和锁紧销定位对中以及枕梁和侧架之间各

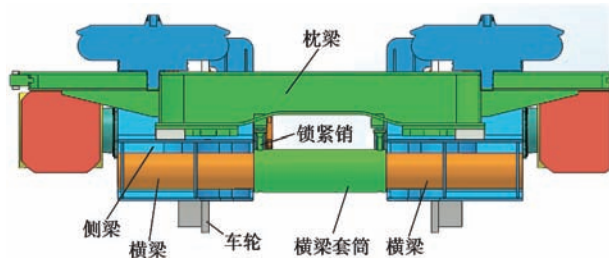


图 2 横梁套筒和锁紧销锁紧

向力的传递等问题，故不采取该方案。

采用文献 [5] 提出的轮对锁紧机构对横梁进行解锁和锁紧，其结构如图 3 所示。该锁紧方案结构相对简单，但锁紧机构的精度要求较高，且在轨距变换中大横梁存在横向位移，同时要求缓解盘和大横梁的相对位置不变。这样的结构决定了地面变轨装置结构复杂，且精度要求高，不能完全对称设计。由于该方案存在多方面工程应用上的问题，所以暂不采取该方案。

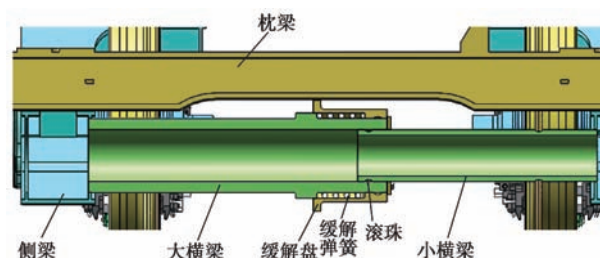


图 3 现有锁紧机构锁紧侧架横梁

采取 2 个侧架横梁直接进行对插的模式，锁紧机构设置在枕梁和侧架之间，通过枕梁上的锁紧销和侧架上的锁紧槽实现锁紧和解锁。

2 个侧架的横梁可能存在由于加工误差而导致不同轴的问题^[7]，可在横梁与侧架之间设置柔性关节来解决，其结构如图 4 所示。设置柔性关节转向架结构复杂，检修困难，可以考虑通过加工工艺保证横梁的同轴度，其结构如图 5 所示。

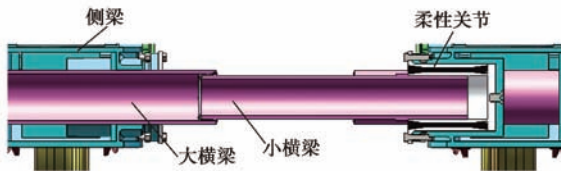


图4 设置柔性关节的横梁结构

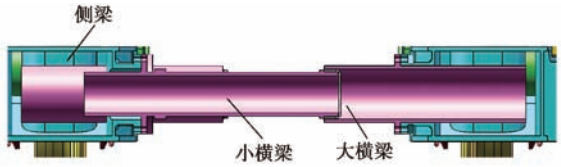


图5 不设置柔性关节的横梁结构

采用横梁对插结构可以最大程度地缩短轴距, 增强整个转向架的协调性, 锁紧机构结构简单, 所以 600/1 067 mm 变轨距转向架建议采用此结构方案。

2.2 侧架

基于前述的锁紧机构方案, 采用侧架移动模式, 需采用独立旋转车轮^[1], 以此达到侧架移动独立旋转车轮跟随移动的目的, 实现轨距变化。侧架有以下 2 种结构形式。

参考 Alstom 公司 CITANIS 转向架的结构形式, 采用单侧轴承支撑的独立旋转车轮, 端部设置有制动装置安装座, 其基本结构如图 6 所示。

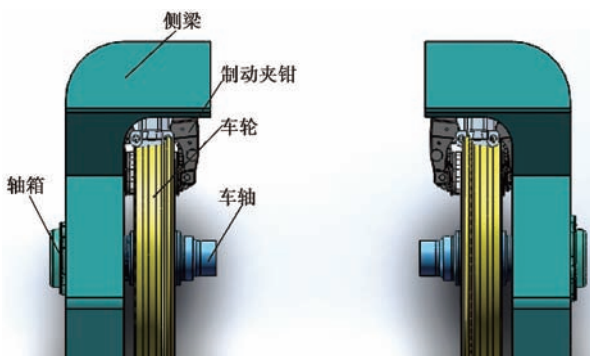


图6 单侧轴承支撑车轮

单侧支撑方案侧架结构简单, 簧下质量小, 但由于侧架和车轮的连接方式组成了悬臂结构, 轴承会受到较大的弯矩, 故不建议使用单边轴承支撑的独立车轮结构。

双侧轴承支撑的独立旋转车轮, 侧架的两侧都设置有轴箱装置, 其结构如图 7 所示。该方案侧架结构较单侧支撑复杂, 但轴承和侧架受力较为均匀, 转向架各个零部件之间的协调性高, 建议 600/1 067 mm 变轨距转向架采用双侧轴承支撑独立旋转车轮形式的侧架。

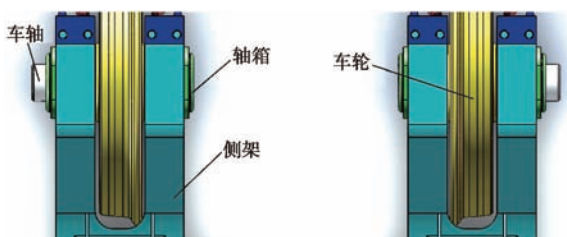


图7 双侧轴承支撑车轮

2.3 枕梁

枕梁主要用于将 2 个侧架联系起来传递各个方向的力, 同时在枕梁上可以设置 2 个侧架的锁紧零部件和安装悬挂组件。

枕梁可采用整体结构, 其两侧上盖板均有向外延伸的梭形结构, 在其左右端部分别安装有支撑辊子, 在轨距变换的过程中, 支撑辊子和地面变轨装置滚动接触, 枕梁整体结构如图 2 所示。该结构难以满足不同的限界标准^[8], 故不建议采用整体梭形结构的枕梁。为满足限界要求, 在枕梁的两端设置转动机构, 包括气缸、复位弹簧、连接销、转动块和支撑辊子, 转动块为梭形结构, 结构如图 8 所示。此结构可以满足基本限界要求, 枕梁体结构简单, 且整体结构协调性较好, 建议 600/1 067 mm 变轨距转向架采用这种结构。

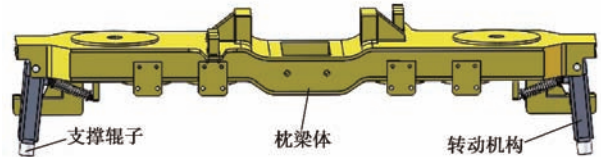


图8 带转动机构的枕梁结构

2.4 牵引方式

牵引方式可供选择的方案为单拉杆和中心销牵引, 但单拉杆牵引在 600 mm 轨距时, 2 个侧架之间的距离非常小, 导致转向架与车体的装配空间十分困难, 故不建议采用单拉杆牵引的方式。

采用中心销牵引可解决连接的问题。可供选择的中心销的形式以及基本结构主要包括 T 型和锥型牵引销 2 种。T 型牵引销通过两侧的橡胶定位, 橡胶预压缩。通过球型尼龙和限位套的相对转动实现车体和转向架的相对横移^[9], 其结构如图 9 所示。参考单轨车辆转向架^[10], 采用锥形牵引销, 叠层弹簧一端硫化在牵引销套筒上, 另一端硫化在固定座上, 固定座和枕梁通过螺栓固定连接, 其结构如图 10 所示。T 型牵引销结构复杂, 结构运用尚未成熟; 锥形牵引销结构简单, 组装方便。所以建议 600/1 067 mm 变轨距转向架采用锥型牵引销方案。

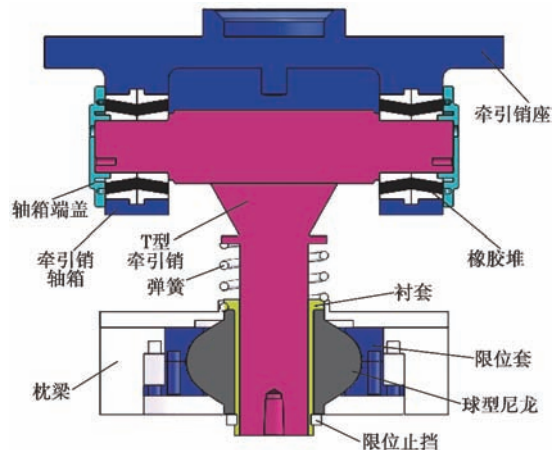


图9 T型牵引销结构

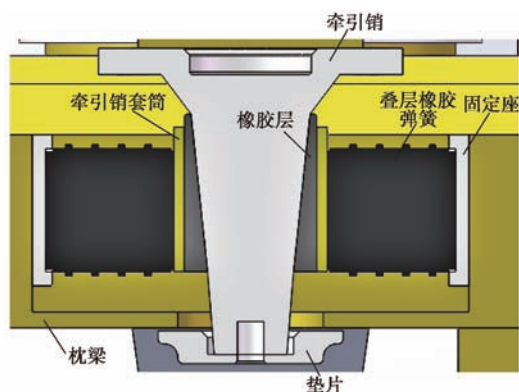


图 10 锥形牵引销结构

2.5 悬挂装置

根据最高运行速度 120 km/h 及轨距变换要求,该转向架暂不设置轴箱悬挂,二系悬挂装置主要包括有垂向节流的空气弹簧、横向减振器、横向止挡以及抗侧滚扭杆。

若横向减振器布置在枕梁中间,横向减振器座和横向止挡座做成一体结构,但此结构也存在上车装配困难的问题,故不建议采用此方式。

采用横向减振器布置在枕梁两侧的形式,便于连接上车,且其中一侧横向减振器和抗侧滚扭杆在上车的接口可以集成在一起,如图 11 所示。这种布置方式和上车的连接简单方便,整体方案协调性高,且满足运行要求。因此,建议 600/1 067 mm 变轨距转向架的横向减振器采用图 11 的连接方式。

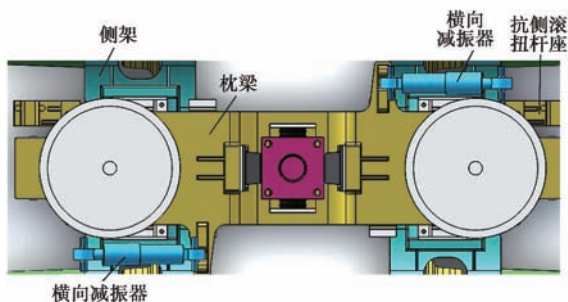


图 11 横向减振器和抗侧滚扭杆的布置

2.6 基础制动装置

参考瑞士 EV09 变轨距转向架,制动装置布置在构架端部,结构如图 1 所示,整个转向架的纵向方向上呈斜对角布置两套停放制动设施,踏面制动结构简单,但 600 mm 轨距在曲线通过和转向架摇头时,是否会在转向架端部发生干涉还需要进一步校核,且根据该转向架最高试验速度的等级认为不宜采用踏面制动^[11]。

采用紧凑式制动夹钳轮盘制动的形式,其结构如图 12 所示。该方案制动安装座结构较复杂,制动端梁固定连接在侧架上,其结构强度的可靠性有待验证,整体制动装置布置较为合理,建议 600/1 067 mm 变轨距转向架的基础制动采用紧凑式制动夹钳轮盘制动的形式。

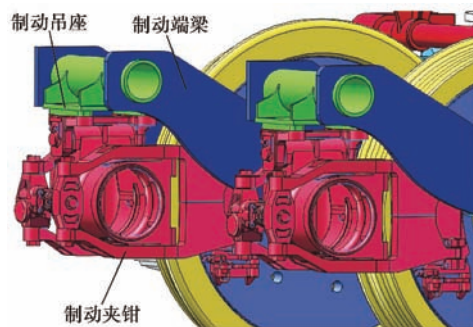


图 12 制动装置布置方式

2.7 驱动装置

根据以上对相关零部件的结构分析以及速度要求,为实现 600/1 067 mm 变轨距转向架,每个车轮都应有独立的电机驱动。

采用纵向电机和齿轮箱传动结构,每个车轮靠自己独立的电机和齿轮箱来驱动,结构如图 13 所示。该驱动方案车轴工作环境较好,驱动但占用空间大,在轴距满足设计要求的情况下没有足够的空间布置齿轮箱,故不建议采用电机齿轮箱传动结构。

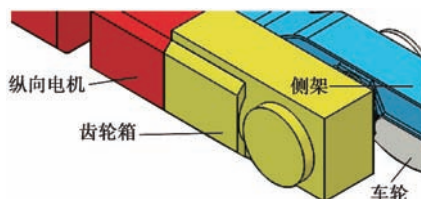


图 13 电机齿轮箱传动结构

采用电机直接驱动的结构,每个车轮靠自己独立的电机直接驱动,电机为永磁电机,驱动结构如图 14。该方案电机占用空间小,满足空间布置要求,其电机吊座的设计较复杂,电机转速控制有一定的难度,但这些困难是可以克服的,因此,建议 600/1 067 mm 变轨距转向架采用电机直驱的方案。

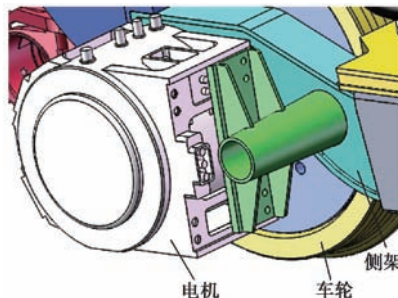


图 14 电机直接驱动结构

3 变轨距选型方案

根据以上分析和变轨距动车组的运行条件,为了设计出满足要求的 600/1 067 mm 轨距变化的转向架,各部件的选型方案如表 2 所示。

在列车到达变轨区间时,要求列车运行速度不高于 15 km/h。枕梁上的转动机构转动到变轨承载位置,枕梁在地面装置作用下被抬起,实现解锁;接着在相应

变轨装置的作用下, 2 个侧架和车轮一起向着新的轨距移动; 到达新的轨距后, 枕梁下降, 侧架和枕梁在新轨距的位置锁紧, 枕梁上的转动机构转回原位, 载荷重新通过枕梁传递给转向架各部件, 最后传递给钢轨, 完成整个轨距变换过程, 列车在新的轨距上运行。

表 2 转向架各零部件的方案确定

项目	采取方案
轨距变换方式	构架移动车轮跟随
锁紧机构	在枕梁和侧架之间设置, 横梁对插
车轮	独立旋转车轮
侧架	双侧轴承支撑的形式
枕梁	活动式可变结构枕梁
牵引装置	中心牵引销 + 叠层弹簧
一系悬挂	无
二系悬挂	设置空气弹簧、横向减振器、横向止挡和抗侧滚扭杆
基础制动装置	轮盘制动 + 紧凑式制动夹钳
驱动装置	永磁电机直驱

4 结语

本文在分析了国内外现有的变轨距转向架结构之后, 确定了 600/1 067 mm 变轨距转向架的变轨方式, 进而确定了 600/1 067 mm 变轨距转向架各个零部件的结构方案及变轨过程。开展 600/1 067 mm 变轨距转向架技术的研究有助于完善变轨距转向架技术体系, 增强我国变轨距转向架技术实力。本文作为变轨距转向架技术方案的前期研究, 对变轨距转向架的深入研究和工程应用具有一定的指导意义。

参考文献:

[1] 李蒨, 黄运华, 傅茂海. 变轨距转向架的发展及其可行性研究 [J]. 铁道机车车辆, 2002(5): 1-5.

[2] CARL-PETER Zander. TALGO BT 型可变轨距内燃动车 [J]. 国外内燃动车, 2001(2): 1-10.

[3] GOMEZ J L Lopez, AISA J Lacasta. Talgo automatic gauge change system for freight wagons [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail & Rapid Transit, 2001, 205(1): 13-24.

[4] TOKUDA Noriaki, OKAMOTO Isao, FUJITA Toyoshi. Development of gauge change bogies [J]. QR of RTRI, 2003, 44(3): 109-113.

[5] 黄运华. 基于独立旋转车轮的变轨距转向架研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2003.

[6] 黄运华. 变轨距转向架国内外调研报告 [R]. 成都: 西南交通大学, 2017.

[7] 瞿芳. 轴类零件形位公差的选择 [J]. 机械制造与研究, 2004, 33(6): 68-69.

[8] 中华人民共和国技术委员会, 中华人民共和国铁道部. 762 mm 轨距铁路机车车辆限界和建筑接近限界分类及基本尺寸: GB 188—1963[S]. 1963.

[9] 何翠微. 高速万向轴式动力车转向架研究及方案设计 [D]. 成都: 西南交通大学, 1997.

[10] 刘绍勇. 重庆跨座式单轨车辆转向架 [J]. 现代城市轨道交通, 2006(1): 5-9.

[11] 严隽雋, 傅茂海. 车辆工程 [M]. 3 版. 北京: 中国铁道出版社, 2007.

作者简介: 刘晓妍 (1993—), 女, 硕士研究生, 研究方向为机车车辆系统动力学。

(上接第 32 页)

闭环的方波控制方法, 去掉了控制模式切换环节, 统一了全速段矢量控制模式, 并对其进行了仿真验证分析。仿真结果表明, 基于双电流闭环的控制模型, 其方波模式下 dq 轴电流闭环控制是可行的, 同时采用动态弱磁算法提高了方波模式下系统的转矩动态响应能力, 具有电流无冲击、收敛速度快等特点。后续将针对该方法加强试验验证研究, 以提升工程化应用水平。

参考文献:

[1] 黄佳德, 曾小凡, 许峻峰, 等. 永磁同步电机全速度无位置传感器控制策略分析与应用 [J]. 机电传动, 2016(3): 10-14.

[2] 石敏, 冯江华, 许峻峰, 等. 一种在超调区快速响应的 PMSM 无位置传感器控制策略 [J]. 大功率交流技术, 2015(1): 10-14.

[3] 文字良, 张朝阳, 刘雄, 等. 基于无位置传感器的永磁同步电机带速度重新投入控制算法研究 [J]. 大功率交流技术, 2012(3): 39-40.

[4] 冯江华. 轨道交通永磁同步牵引系统研究 [J]. 机电传动, 2010(5): 15-21.

[5] 郭晓燕, 张黎. 永磁同步电机在铁道牵引领域中的应用 [J]. 铁道机车车辆, 2005, 25(10): 61-65.

[6] 许峻峰, 李耘龙, 许建平. 永磁同步电机作为机车牵引电机的应用现状及前景 [J]. 铁道学报, 2005, 27(2): 50-52.

[7] 冯江华, 桂卫华, 许峻峰. 考虑参数变化的永磁同步电动机弱磁控制研究 [J]. 微电机, 2008, 41(4): 20-31.

[8] 程秋良, 朱焜秋. 无轴承永磁同步电机增磁调压转速控制策略 [J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(3): 91-95.

[9] 窦汝振, 温旭辉. 永磁同步电机直接转矩控制的弱磁运行分析 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(12): 117-121.

[10] 盛义发, 喻寿益, 桂卫华. 轨道车辆用永磁同步电机系统弱磁控制策略 [J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(9): 76-77.

作者简介: 文字良 (1981—), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事永磁同步电机交流传动系统的研究工作。