

地铁永磁直驱牵引系统优化策略与仿真分析

刘 雄, 陈文光, 许峻峰, 符敏利, 王 健

(株洲中车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 分析了影响永磁直驱牵引电机重量的关键因素, 提出了降低直驱电机重量的系统优化方案, 以国内某地铁线路为应用目标进行了仿真计算和对比分析, 总结得出了地铁永磁直驱牵引系统的优化策略。

关键词: 地铁; 永磁直驱; 牵引电机; 牵引系统; 轮径; 优化策略

中图分类号: U231; TM351 **文献标识码:** A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.03.006

Optimizing Strategy and Simulation Analysis for Direct-drive Traction System of PMSM

LIU Xiong, CHEN Wenguang, XU Junfeng, FU Minli, WANG Jian

(Technology Center, Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: The key factors which affected the weight of the direct-drive PMSM were analyzed, and a method for optimizing the system was proposed to reduce the weight of direct-drive PMSM. Aiming at an internal metro line, the simulation and analysis were completed, based which the optimizing strategy for direct-drive traction system of PMSM was summarized.

Keywords: metro; direct-drive PMSM; traction motor; traction system; wheel diameter; optimize strategy

0 引言

永磁同步牵引电机具有效率高、体积小、功率因数高等显著优势, 是当前轨道交通牵引系统技术研究的热点。永磁同步牵引电机高功率密度的优点使得轨道交通列车取消齿轮箱、采用直接传动模式成为了可能。直接传动模式消除了传递损耗, 为转向架的设计提供了更多的空间, 列车最小转弯半径大幅降低, 有利于轨道交通站段线路的设计, 能够降低线路建设成本。

永磁直驱牵引系统在给列车及转向架带来一系列优点的同时也带来了一个问题: 因牵引电机的输出转矩成倍上升, 其重量也大幅增加, 尤其是抱轴式直驱电机大幅增加了转向架的簧下重量, 既影响了转向架的可靠性, 也限制了列车运行的速度等级。因此, 永

磁直驱牵引系统设计的核心问题就是如何降低直驱电机的重量, 减少转向架簧下重量, 以适应轨道交通车辆的应用工况。

1 永磁直驱牵引系统设计要求

以国内某典型地铁线路为应用目标, 设计永磁直驱牵引系统参数。该地铁线路运营的列车为4动2拖6辆编组型式, 最高运营速度为80 km/h, 加速性能要求为0~40 km/h加速度不小于 1.0 m/s^2 , 0~80 km/h加速度不小于 0.6 m/s^2 , 正线最大坡道为30‰。

该地铁线路运营的列车采用的是异步牵引电机, 这里首先直接采用异步牵引电机的牵引/电制动特性, 去除齿轮箱的影响, 得出永磁直驱牵引电机的牵引/电制动特性如图1。

上述牵引/电制动特性因为来自异步牵引电机的设计, 高速区存在一段自然特性区, 具体特性如下: 牵引工况下:

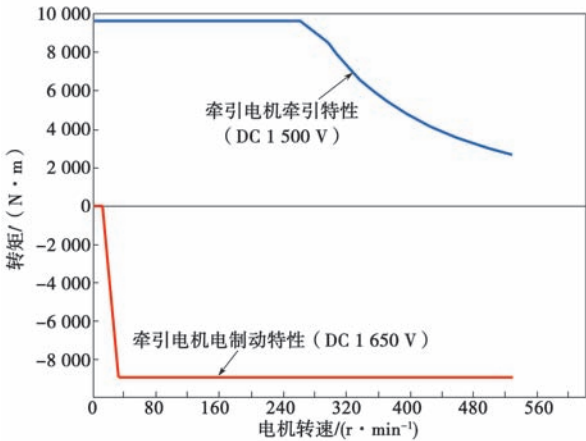


图1 直驱电机原始牵引/电制动特性

0~263 r/min, 恒转矩特性, 转矩为 9 660 N·m;
263~296 r/min, 恒功率特性, 功率为 267 kW;
296~527 r/min, 自然特性。
电制动工况下:
527~33 r/min, 恒转矩特性, 转矩为 -8 855 N·m;
33~16 r/min, 转矩线性降低至 0。

采用上述永磁直驱牵引电机特性进行线路仿真, 结果满足该地铁线路对车辆的性能要求。因此本文以该牵引/电制动特性为目标进行相应的优化工作。

2 影响永磁直驱牵引电机重量的关键因素

上述电机牵引/电制动特性是根据传统异步电机牵引特性进行设计的, 符合异步牵引电动的技术特点, 如恒转矩区较短、高速区包含自然特性区等, 但对于空载反电势不可调的永磁直驱牵引电机并不适合。由于永磁直驱牵引电机采用抱轴安装方式, 电机本体重量属于簧下重量, 因此, 本文根据永磁直驱牵引电机的特点, 针对牵引系统参数进行相应的优化。

根据永磁同步电机的设计原理, 决定电机重量的参数主要包括以下几个:

- ①电机最大输出转矩;
- ②电机最大输出功率;
- ③电机额定功率。

而上述电机参数中的最大输出转矩与最大输出功率由电机的牵引/电制动特性决定。在列车牵引特性一定的情况下, 列车轮径的变化也会导致电机牵引/电制动特性的变化。因此, 既可以通过直接优化电机牵引/电制动特性, 也可以通过优化列车轮径来带动电机牵引/电制动特性的优化, 实现电机最大输出转矩与最大输出功率的优化。

电机额定功率取决于列车在线路上的运营情况, 因此可以根据实际线路情况合理地优化直驱电机的额定功率。

下面将围绕电机牵引/电制动特性、列车轮径、电机额定功率 3 个关键因素的优化来分析是否能够有效降低永磁直驱牵引电机的重量。

3 牵引/电制动特性优化

3.1 牵引特性优化

1) 牵引特性曲线优化原则

电机牵引特性曲线中限制永磁电机重量的主要因素是最大牵引转矩与最大牵引功率, 而原有特性曲线中较低转速已经进入恒功区, 电机最大牵引功率不高, 主要是最大牵引转矩限制了永磁电机的重量。

因此, 针对原有电机牵引特性曲线的优化主要是通过取消自然特性区, 调整恒功转折点, 使优化后的特性曲线等效于原有特性曲线, 最终实现降低电机最大牵引转矩的目的。考虑到列车牵引性能最关键的目标是旅行速度与平均加速度, 而最高运营速度 80 km/h 地铁列车的各站运行速度一般在 60~80 km/h 之间, 所以等效优化的原则设定如下:

- ①优化特性后的列车旅行速度不低于原有特性值;
- ②优化特性后的 0~60 km/h 平均加速度不低于原有特性值;
- ③优化特性后的 0~80 km/h 平均加速度不低于原有特性值。

根据以上原则, 设计了一系列等效优化牵引特性曲线, 如图 2 所示。

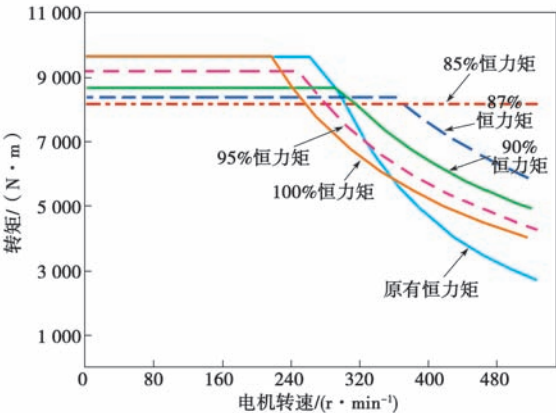


图2 永磁直驱电机牵引特性优化曲线簇

图 2 中各条特性曲线特点分别为:

- ①原有电机牵引特性曲线, 40 km/h 进入恒功区, 45 km/h 进入自然特性区;
- ②最大转矩为原有特性的 100%, 33 km/h 进入恒功区, 无自然特性区;
- ③最大转矩为原有特性的 95%, 38 km/h 进入恒功区, 无自然特性区;
- ④最大转矩为原有特性的 90%, 45 km/h 进入恒功区, 无自然特性区;
- ⑤最大转矩为原有特性的 87%, 55 km/h 进入恒功区, 无自然特性区;
- ⑥最大转矩为原有特性的 85%, 恒转矩到底, 无恒功区。

当最大转矩降为原有特性的 85% 之后, 恒功点已提高至 80 km/h, 表明牵引特性已经没有继续优化的空