

文章编号: 1005-8451 (2010) 09-0022-04

地铁动车牵引特性设计

龙胜, 冯晓云, 曲健伟, 孙鹏飞

(西南交通大学 电气工程学院, 成都 610031)

摘要: 比较地铁动车与干线铁路列车牵引特性设计方法, 分析地铁动车牵引特性的特点。提出用迭代法进行地铁动车牵引特性设计的方法, 通过实际算例和牵引计算仿真, 验证该算法的准确性。

关键词: 地铁动车; 列车; 牵引特性; 设计

中图分类号: U260.131 文献标识码: A

Design of traction characteristics for metro motor car

LONG Sheng, FENG Xiao-yun, QU Jian-wei, SUN Peng-fei

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: This paper analyzed the traction characteristics by comparing the design method of metro motor car with main line railway train. Iterative method was applied to design the traction characteristics of metro motor car. The accuracy of the method were verified by examples.

Key words: metro motor car; train; traction characteristics; design

地铁动车的牵引特性设计, 相对干线铁路列车的牵引特性设计而言有其特殊性。虽然从表面上看两者的牵引特性轮廓相似, 但实质上相差甚远, 尤其在功率特性上, 两者存在本质的区别。产生这些差异的根本原因在于运输功能以及运行环境的差别。文内对它们之间的差别进行分析, 并且对地铁牵引特性设计提出具体实现方法。

1 地铁动车与干线铁路列车牵引特性设计方法的区别

地铁的站间距一般为 1 km~2 km, 车辆最高运行速度不低于 80 km/h, 而干线铁路运行区间和站间距离相对较长, 运营速度相对较高。列车需要在运行区间内完成牵引、恒速(或惰行)和制动的过程, 相对干线铁路列车而言, 地铁动车对起动加速度和最高运行速度的要求更为严格。下面通过比较地铁动车与干线铁路列车牵引特性, 阐明地铁动车牵引特性的特点。

1.1 最高运行速度比较

为达到地铁动车区间运行时间短、运行速度高的要求, 我国规定地铁车辆最高运行速度不低于 80 km/h。而最高运行速度与平均站间距有密切

关系, 当最高运行速度设计过高时, 动车在区间运行过程中完成加速过程即转入制动阶段, 对运行速度的提高不会有明显效果, 如图 1, 同时增加了区间运行能耗, 故最高运行速度应根据平均站间距距离合理选取。根据我国《地铁车辆通用技术条件》规定, 考虑到平均站间距一般为 1 km~2 km, 动车最高运行速度选取为 80 km/h 较为合适。

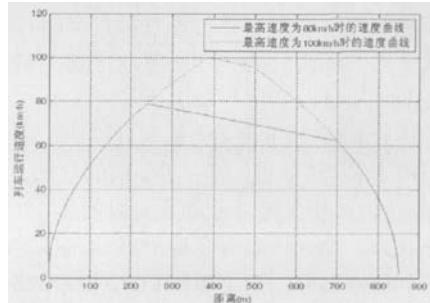


图 1 地铁动车运行速度曲线比较

干线铁路列车运行区间相对较长, 列车在运行区间中有充足的时间和距离达到更高的运行速度, 所以理论上可以在满足其它约束条件的前提下尽可能地提高干线铁路列车的最高运行速度。

1.2 起动加速度比较

地铁动车运行区间短, 其区间运行工况一般分为起动、恒速(或惰行)和制动, 为缩短区间运行时间, 提高区间运行平均速度, 只能减少起动和

收稿日期: 2010-02-09

作者简介: 龙胜, 在读硕士研究生; 冯晓云, 教授。

制动时间，即提高起动加速度和制动减速度。提高起动加速度需考虑两方面限制：(1) 起动过程中牵引力不能突破粘着限制；(2) 起动加速度应符合乘客舒适度要求。基于以上约束，地铁动车起动加速度取值约为 1.0 m/s^2 。衡量地铁动车起动性能的另一项重要指标为起动平均加速度，我国《地铁车辆通用技术条件》规定动车起动平均加速度应满足 $0\sim 40\text{ km/h}$ 不低于 0.5 m/s^2 ， $0\sim 80\text{ km/h}$ 不低于 0.83 m/s^2 。

干线铁路列车的运行区间长，起动和制动时间占其运行总时间的比重较小，规定其起动加速度不小于 0.3 m/s^2 ，已能满足长途运输的要求。

1.3 牵引特性设计及功率特性比较

干线铁路列车的最大运行速度高（如高速动车组可达 $300\text{ km/h}\sim 350\text{ km/h}$ ），高速运行时列车需克服较大的基本运行阻力，为满足列车高速运行的要求，列车牵引特性须按如下方法设计：(1) 绘制基本运行阻力曲线，计算最高运行速度对应的基本运行阻力。(2) 根据该速度剩余加速度要求计算恒功率区终点（图2中A点）功率值，得出恒功率曲线。(3) 根据列车起动加速度可得出恒转矩区曲线，两曲线相连得到列车牵引特性曲线。

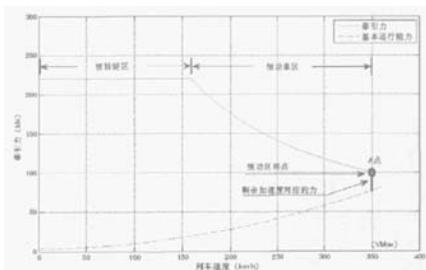


图2 干线铁路牵引特性

与干线铁路列车相比，地铁动车的起动加速度更大，最高运行速度小很多，这种差异在列车牵引特性曲线及其设计方法上表现显著：

- (1) 地铁动车起动加速度一般为 1.0 m/s^2 左右，约为干线铁路列车的3倍。
- (2) 为满足 $0\sim 40\text{ km/h}$ 的起动平均加速度不低于 0.83 m/s^2 的要求，恒功区的起点一般接近（略小于） 40 km/h ，约为最高运行速度的 $1/2$ 。
- (3) 地铁动车牵引特性设计须考虑降功率曲线的确定。在列车运行过程中，地铁动车由牵引转

入恒速运行后，输出的牵引力仅用来克服阻力，所需的输出功率较小，列车在大部分时间内以较低的功率运行。如图3，电机功率若按照输出功率最高值（恒功率区功率值）来设计则其利用率大大降低，若按较低值设计，则电机在牵引时易因过载而烧毁，故电机功率应折衷选择，即允许电机在运行中有短时的过载以充分发挥其性能。

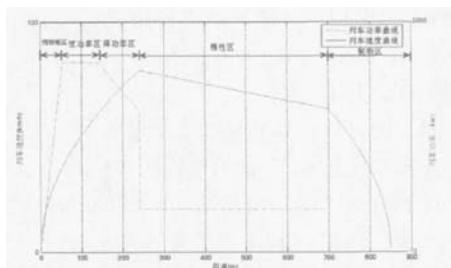


图3 地铁列车功率曲线

地铁功率特性与干线铁路功率特性的对比如下。

干线铁路机车在启动阶段，电机由恒转矩阶段逐步进入恒功率阶段。当机车速度达到最大速度后，机车输出的牵引力基本上用于克服基本运行阻力，电机功率稳定在恒功率曲线上。所以，对于干线铁路机车在运行的整个过程中，机车的功率基本上稳定于某个固定的工作点。电机的额定功率取恒功率区的功率值。而地铁动车在启动阶段，为了获得很大的加速度，功率上升很快，而达到最高速度后又以较低的功率运行。在地铁动车电机功率设计时一般允许 $1.3\sim 1.7$ 倍的过载。如果线路情况比较好（坡度比较小），取 1.7 倍的过载。反之，在线路情况不好的条件下，过载倍数取值应该接近于 1.3 倍。地铁动车牵引特性降功率段设计目的是使机车在完成启动加速过程后可以由过载工况恢复到额定工况，以降低过载对电机的影响。

2 地铁动车牵引特性设计

根据以上分析，地铁动车的牵引特性设计步骤应该为：(1) 根据起动加速度确定恒转矩区转矩值。(2) 根据起动平均加速度要求确定恒功率区起点和降功率起点。

设计地铁牵引特性，3个约束条件为：(1) 起动加速度；(2) $0\sim 40\text{ km/h}$ 的平均加速度；(3) $0\sim 80\text{ km/h}$ 的平均加速度。

2.1 牵引特性迭代算法

(1) 确定恒功率区起点

恒转矩的取值可以根据公式：

$$F_a = M \times A_0 + r(v)$$

(2) 恒功率区起点确定

恒功率区起点 X_b 初始值选择 40 km/h。计算出此时平均加速度。如果大于 0~40 km/h 平均加速度要求，则用折半搜索法进行迭代，直到加速度满足 0~40 km/h 平均加速度的要求，并且精度在 0.01 km/h 以内。

(3) 降功率区起点确定

降功率区起点 X_c 初始值选择 80 km/h。计算出此时平均加速度，如果大于 0~80 km/h 平均加速度要求，则用折半搜索法进行迭代，直到加速度满足 0~80 km/h 平均加速度的要求并且精度在 0.01 km/h 以内。

(4) 计算结果

经过两次迭代之后， F_a 、 X_b 、 X_c 即为所求的恒转矩点 A，恒功率区起点 B 和降功率区起点 C。

2.2 用迭代法设计城市轨道交通牵引特性

用迭代法设计城市轨道交通牵引特性流程见图 4。

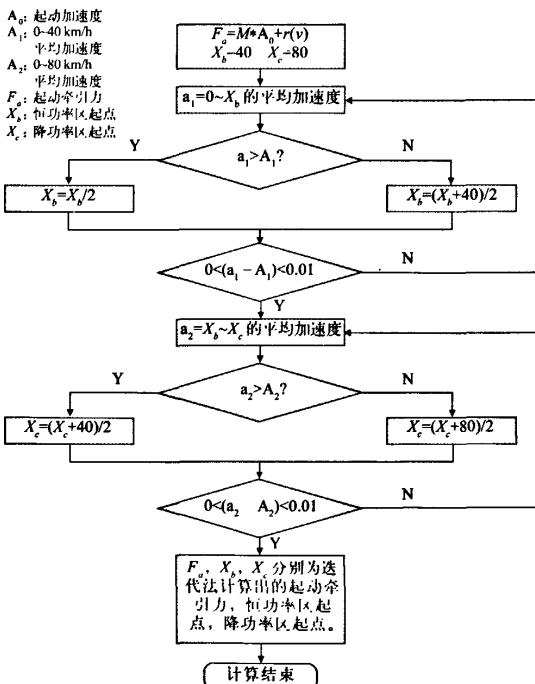


图 4 设计流程图

3 算例分析

以深圳地铁为例，验证算法的准确可行。根据表 1 中列举出的深圳地铁基本参数，采用迭代法进行牵引特性设计，并将计算结果与深圳地铁实际采样数据进行对比分析。

表 1 深圳地铁基本参数

编组	最高运行速度	起动加速度	0~40 km/h	0~80 km/h
	(km/h)	(m/s ²)	平均加速度(m/s ²)	平均加速度(m/s ²)
4 动 2 拖	80	1.06	0.83	0.5
AW2 载荷质量(t)	370.340	阻力系数 a	0.0394	阻力系数 c
		阻力系数 b	0.000675	起动阻力系数 d
				4

基于表 1 数据，采用迭代法进行计算后，结果见图 5。

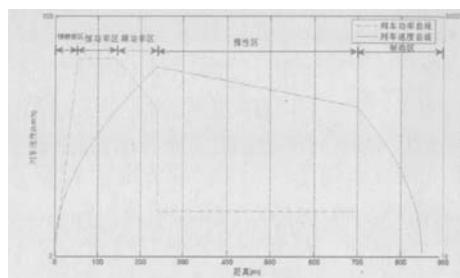


图 5 地铁动车牵引特性计算结果

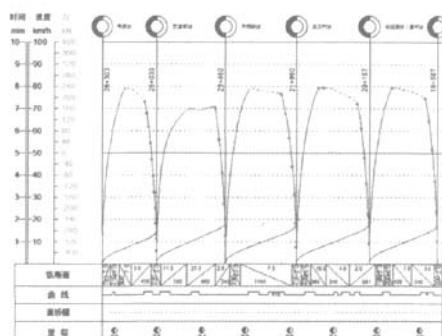


图 6 地铁动车运行仿真图

从图 5 可以看出，实际数据比较均匀地分布于计算出的牵引特性两边，说明计算结果与实际地铁动车牵引特性非常接近。也说明此算法具有很高的实用价值，在工程计算中有参考意义。另外，通过迭代法进行计算，能使计算精度有效提升，并且具有很强的可操作性，易于编程实现。

图 6 是地铁动车运行仿真结果。从图 6 中可以

文章编号：1005-8451 (2010) 09-0025-03

网络摄像机在列车驾驶仿真器中的应用

孙会会，钱雪军

(同济大学 电子与信息工程学院, 上海 200092)

摘要：网络摄像机有力推动视频监控系统数字化、网络化和智能化的发展进程。为进一步优化列车驾驶仿真器，方便教员训练，本文研究基于网络摄像机的列车驾驶仿真器视频监控系统。网络摄像机可把采集到的学员训练信号经 H.264 标准转换成 IP 数据包送入网络，在 RTP_RTC 协议下传输，传送给安装监控软件的 PC 机，供教员监控。

关键词：网络摄像机；列车驾驶仿真器；视频监控系统

中图分类号：U268.48 : TP39 **文献标识码：**A

Application of IP camera to train driving simulator

SUN Hui-hui, QIAN Xue-jun

(Department of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The IP camera accelerated the process of the Video Monitoring System which was digitalized, webified and intelligentized very effectively. The thesis studied the Video-Monitoring System in train driving simulator with IP camera to optimize the train driving simulator and make instructors train easily. The IP data packeted into which IP camera changed the signal of trainees with H.264 transmits with the principle of RTP RTCP. This was transmitted to every computer which installed the software of monitor so that instructors could monitor.

Key words : IP camera; train driving simulator; Video Monitoring System

随着轨道交通的迅猛发展，列车驾驶员合格上岗成为保障人民生命安全的重要环节，而如何全方位培训驾驶员成为重中之重。列车驾驶仿真器作为培训列车驾驶员的工具，不仅为驾驶员提供了驾驶列车的现场感，也为教员全面监控学员的训练过程提供了条件。

收稿日期：2010-01-13

作者简介：孙会会，在读硕士研究生；钱雪军，副教授。

看出，地铁动车采用此牵引特性后，动车在起动阶段能够有效地加速，在达到最大速度后，列车进入惰性工况，最后制动减速进站。从列车运行仿真的角度可以看出，此牵引特性的设计是合理的。

4 结束语

地铁动车牵引特性设计对地铁动车牵引仿真有重要的指导意义，本文从城市轨道交通车辆牵引特性与干线铁路牵引特性的比较出发，阐述了两者区别，并提出了城市轨道交通车辆牵引特

1 列车驾驶仿真器的视频监控系统

列车驾驶仿真器主要包括全功能列车驾驶仿真器、设备间、教员监控系统和学员观摩系统。全功能列车驾驶仿真器由司机室、视景仿真系统、声音仿真系统和司机室运动系统组成。设备间集中放置各种硬件设备，便于统一管理。教员可通过教员监控系统对驾驶模拟训练的各个环节进行监控和指导，学员也可通过学员观摩系统对训练过

性科学的设计算法。此方法对牵引特性的设计起一定作用。有助于地铁线路和动车的技术设计和方案论证。

参考文献：

- [1] 冯晓云, 何鸿云, 朱金陵. 列车优化操纵原则及其优化操纵策略的数学描述[J]. 机车电传动, 2001 (4).
- [2] 何鸿云, 朱金陵. 列车牵引计算及操纵示意图计算机软件的开发[J]. 西南交通大学学报, 2000, 35 (5).
- [3] 孙中央. 列车牵引计算规程实用教程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.