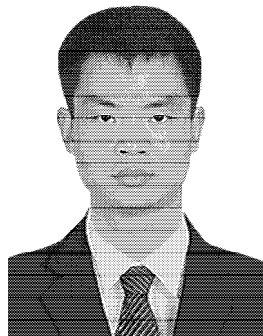


专
稿

轨道交通粘着利用控制的关键技术与方法

李江红, 胡云卿, 彭辉水, 刘良杰

(株洲南车时代电气股份有限公司 轨道交通技术中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 李江红(1970-), 男, 博士, 高级工程师(教授级), 长期从事系统仿真、交流传动控制、粘着利用控制的研究与应用工作。

摘 要: 针对轨道交通特有的粘着现象, 介绍粘着特性和影响粘着特性的因素, 描述粘着利用控制的功能, 讨论粘着利用控制的关键技术, 分析当前典型粘着利用控制的基本思想, 从而为粘着利用控制系统设计提供参考与指导。

关键词: 轨道交通; 粘着利用; 粘着系数; 粘着特性; 关键技术

中图分类号: U260.11*5

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2014)06-0001-05

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2014.06.001

Key Techniques and Design Methods of Adhesion Control in Rail Transportation

LI Jianghong, HU Yunqing, PENG Huishui, LIU Liangjie

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

Abstract: Focusing on the specific adhesion phenomenon in railway transportation, characteristic and nature-affected factors of wheel-rail adhesion were introduced. Functions of adhesion utilizing control system were described, and key techniques of adhesion utilizing were discussed, as well as principle and theory used by adhesion control system, providing reference and guideline for adhesion control system design.

Keywords: railway transportation; adhesion utilizing; adhesion coefficient; adhesion characteristic; key technique

0 引言

随着经济全球化的迅速发展和人们的“绿色、低碳”意识的不断增强, 以电传动为牵引动力的轨道交通运输由于其特有的高效、节能、环保的优点, 在世界各地正日益得到高度重视和广泛应用。特别是在我国, 短短几年内我国的高速铁路运输就从无到有一跃成为高铁大国, 重载货物运输也从不足万吨发展到数万吨, 城市轨道交通建设已从北京、上海、广州等超大城市迅速发展许多大、中型省级或地级城市。轨道交通在国民经济发展和人们日常生活中正起着越来越重要的作用。

然而, 在轨道交通运输中, 车辆轮对和线路轨道间的轮轨粘着是影响和制约运输效能的最关键的因素。特别是在当前, 随着交流传动技术的发展和日益成熟, 为了满足高速和重载运输的需要, 车辆的牵引功率设计得越来越高, 但最终能真正发挥、驱动车辆

运行的有效功率仍完全取决于轮轨粘着的利用。要真正地实现现代轨道交通的高速和重载运输, 必须高效地利用轮轨粘着, 所以很有必要研究并开发高效的粘着利用控制装置。

本文将在介绍粘着特性及其影响因素的基础上, 说明粘着利用控制系统的功能与作用, 分析粘着利用控制关键技术, 并概括当前主要的粘着利用控制思想与方法。

1 粘着特性及其影响因素

大量研究与分析发现, 当轨道交通车辆运行时, 动轮和钢轨间的接触面将发生椭圆形的弹性形变。在形变区域里, 车轮同时具有滑动和滚动2种运动状态, 称为粘着状态或粘着现象。粘着现象的直接表现是轮轨间存在蠕滑速度:

$$v_s = v_w - v_v \quad (1)$$

式中: v_v 为车身速度; v_w 为动轮的轮周线速度; v_s 为蠕滑速度, 在牵引工况下, $v_s > 0$, 在制动工况下, $v_s < 0$ 。

粘着现象的存在,使得牵引电机转矩能转化为轮对与钢轨间的摩擦力,这种摩擦力称为轮轨粘着力 F ,它是驱动车辆运行的最终动力。

在理论研究中,为了更好地评判粘着性能的优劣,定义粘着系数:

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (2)$$

式中: N 为轴重,即垂直作用于轮轨接触面的压力。

粘着特性描述了粘着系数和蠕滑速度之间的关系。大量的实践表明,车辆的结构参数、线路状况、轨面污染物质、气候条件等都会影响粘着特性。图1给出了不同轨面条件下牵引工况的粘着特性曲线。从图1中可以发现粘着特性具有以下特点:

①粘着特性曲线存在峰值点。粘着峰值点又称为最佳粘着点,一般记最佳粘着点的粘着系数为 $\mu_{\max}$,相应的蠕滑速度记作 v_{s_opt} 。

②粘着系数 μ 与蠕滑速度 v_s 为非线性函数。当 $v_s < v_{s_opt}$ 时, μ 随 v_s 的增加而增加,为粘着稳定区; $v_s > v_{s_opt}$ 时, μ 随 v_s 的增加而减少,为粘着不稳定的空转区。

③粘着特性对轨面条件的变化非常敏感,不同轨面条件下的最佳粘着点差别很大。

粘着利用率是衡量粘着利用控制系统最重要的技术指标,它定义为轮轨间的实际粘着系数与最佳粘着系数之比:

$$\eta = \frac{\mu}{\mu_{\max}} \quad (3)$$

显然,只有实际粘着工作点位于最佳粘着点时,粘着利用率才会为100%。因此,从粘着特性曲线可知,为了获得最高的粘着利用率,粘着利用控制系统应快速识别并跟随粘着特性的变化,始终使粘着工作点位于最佳粘着点。

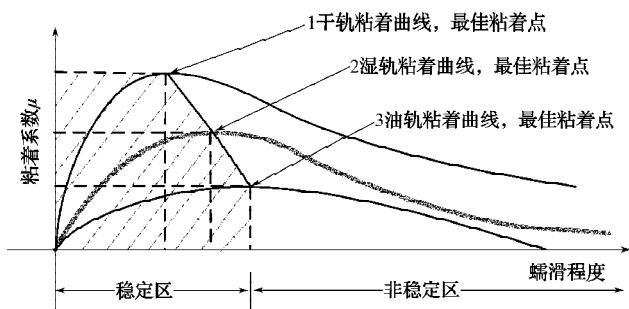


图1 典型的粘着曲线

2 粘着利用控制系统的功能与作用

在电传动轨道交通车辆的牵引装置中,粘着利用控制系统的位置和作用如图2所示。它的主要功能是在轮轨粘着特性变化不定的情况下,通过对电机转速、电机转矩等信息的采集、分析、处理,向电机控制系统发出恰当的电机转矩指令,使车辆运行在当前轮轨粘着特性最佳粘着点附近^[1]。

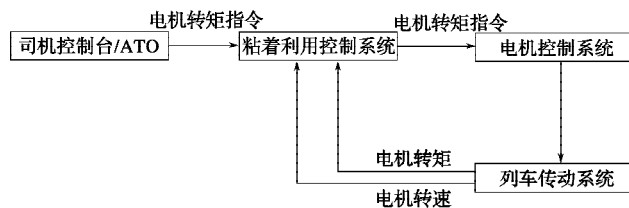


图2 粘着利用控制系统的位置框图

显然,为了充分发挥粘着利用控制系统的性能,由图2可知车辆的整车设计应保证:

①高性能的电机控制系统,能快速、精确地响应来自粘着控制系统的电机转矩指令。

②高性能的速度采集系统,能为粘着利用控制提供高精度的速度信号。

③电气牵引与机械传动之间良好的结构、参数匹配,避免车辆自激谐振。

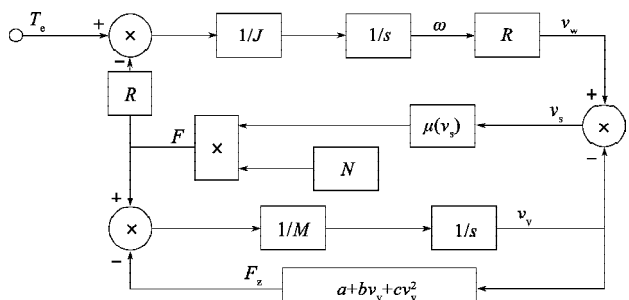
④高性能的硬件控制平台,充分保证粘着利用控制所需的高速数据传输和代码执行。

3 粘着利用控制的关键技术

3.1 粘着建模技术

由控制理论和方法可知,建立被控对象的精确模型是实现高性能控制的前提与基础。为了实现高效的粘着利用,在研究粘着利用控制策略之前,必须建立能正确反映粘着现象及其特性的对象模型。

前面的分析已指出,粘着特性反映了粘着系数与蠕滑速度之间关系。由于蠕滑速度取决于车辆速度和轮对速度,因此,完整的粘着模型不仅需要包含粘着特性,而且还应包括车辆和轮对的运动学模型。根据研究目的的不同,粘着模型的复杂度也不尽相同,既可能是包含主变流器、牵引电机、转向架、悬挂装置在内的复杂模型,也可能是如图3的简化模型。



J 为轮对转动惯量; R 为车轮半径; N 为轴重; M 为车辆质量; T_e 为作用在轮对的电机转矩; ω 为轮对转速; v_w 为轮对线速度; v_v 为车体速度; F 为粘着力; F_z 为车辆运行阻力

图3 粘着模型

在粘着模型中,除了需要考虑电气牵引系统和机械传动系统的动力学特征外,有时根据需要还要考虑外部线路坡度、弯道阻力等因素。显然,模型中考虑的因素越多,建模难度、模型分析难度、计算难度和计算量都随之增加,甚至可能影响实时控制性能,因此需要根据需要来适当取舍模型尺度。