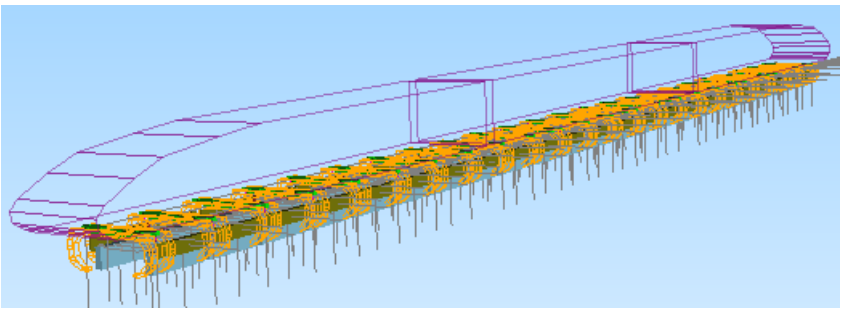
高速磁浮列车系统动力学建模及气动条件下仿真分析

刘梦娟，张伟为，吴晗*，曾晓辉

（中国科学院力学研究所，北京，100190）

磁浮列车通过环抱轨道悬浮运行，克服了传统车辆轮轨直接接触行驶引起的如摩擦力过大等诸多弊端，拥有速度快、乘坐舒适、维护少、爬坡能力强等优点。但列车在高速运行时会受到强烈的非定常的气动载荷，气动荷载的剧烈扰动，必然引起电磁力的相应反馈和悬浮间隙的变化，从而影响列车的稳定性和安全性。为了开展这方面的研究，我们利用 Simpack 和 Simulink 联合仿真，以上海磁浮示范线 TR08 列车为参考，建立高速磁浮列车包含车辆多刚体结构、控制系统的动力学模型，通过仿真计算列车在不同气动条件下的运动响应，分析其平稳性及安全性。

磁浮列车主要由悬浮导向电磁铁、悬浮架和车体组成，建模时将列车各部件均看作刚体，电磁铁和悬浮架通过方向独立的一系悬挂连接，悬浮架通过二系悬挂将悬浮力、牵引力、制动和导向力传递给车体；在控制模块中，利用解耦的思想，对列车进行分散的控制，通过设计单电磁铁及悬浮控制系统来达到完成整车控制系统设计的目的，在单点磁浮控制模块中，利用 PID 控制器，将位置、速度和加速度作为反馈量，每一路控制单元接收 SIMPACK 车辆动力学模型输出的电磁铁悬浮间隙和加速度信号，计算输出电磁悬浮力，返回给动力学仿真模块，实现了高速磁浮车机电一体化，从而建立了三编组列车–控制系统耦合动力学模型。



将气动载荷施加于模型，计算了磁浮列车在明线运行工况下（时速 600km/h）的动态响应和 Sperling 平稳性指标，得到了以下结论：列车的垂向位移和悬浮间隙波动较小，整体的舒适性和悬浮稳定性符合要求，但列车的平稳性非常差，不能满足使用要求，需要进行气动外形优化和控制算法优化。

综上所述，本研究建立了高速磁浮列车–控制系统耦合的联合仿真模型，通过仿真分析验证了模型的可靠性。本研究为高速磁浮列车安全运行提供数据参考。

关键词：高速磁浮列车；动力学建模；仿真分析

基金资助：国家自然科学基金（51805522）

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net