

CSTAM2012-B03-0313

高速列车优化设计方法研究

杨国伟¹⁾, 姚拴宝, 郭迪龙, 孙振旭, 姚远

(中国科学院力学研究所流固耦合系统力学重点实验室, 北京 100190)

摘要: 高速列车技术是一个国家高新技术发展水平的重要标志。随着列车运行速度的提升, 气动效应成为影响高速列车的主要因素。如列车阻力特性直接关系到其提速和节能环保的能力; 负升力会增加高速列车轮轨摩擦, 正升力会减小轮轨接触力, 导致列车摆尾; 横风气动力和力矩会改变列车运行姿态, 影响列车安全性; 列车明线和隧道会车以及单车隧道通过会产生压力波, 影响列车运行稳定性和车体结构气密疲劳强度设计; 气动噪声对乘客舒适性和周围环境产生巨大影响。因此, 高速列车气动优化就是减少或削弱气动效应的设计过程, 是一种典型的针对复杂外形的多目标优化设计问题。

气动优化过程主要包含复杂外形参数化、CFD 性能评估和优化迭代三部分。其中优化迭代对每一个样本使用 CFD 进行气动性能评估, 计算量仍是难以承受的现实问题。在优化迭代过程中使用 CFD 代理模型可以大大减少计算量, 但 CFD 代理模型是否准确反映设计空间的气动性能, 如何高效地构建代理模型是必须解决的问题。这主要涉及采样方法和采用何种代理模型及如何确定代理模型参数的问题。

本文主要围绕高速列车气动优化设计方法开展研究。提出了一种利用关键设计点和型函数控制复杂曲面变形的局部型函数曲面参数化方法; 使用交叉验证的概念寻找更为合理的代理模型参数; 基于迭代局部搜索算法的带有极大极小准则的中心拉丁超立方采样方法, 结合全局遗传算法构建了高速列车气动优化设计方法。针对高速列车列车简化外形, 以气动阻力和气动升力最小化为设计目标, 头型流线型容积不小于原型车为约束条件, 开展高速列车头型优化设计, 得到了气动性能更加优良的优化头型。并进一步将简化外形恢复为高速列车真实外形, 对其有无横风的气动性能进行了计算, 验证了本文发展的气动优化设计方法的可行性和工程适用性。

关键词: 高速列车, 优化设计, 代理模型, CFD, 遗传算法

¹⁾ Email: gwyang@imech.ac.cn