

基于有限元的电梯关键部件动态特性及优化设计新探

李中斌¹ 程亚周²

(1. 杭州西奥电梯有限公司 浙江杭州 311199; 2. 现代(中国)电梯有限公司 上海 201506)

摘要: 现代科学的进步使得电梯成为了一种必不可少的交通方式,它不仅能够提供更加安全、舒适的乘坐体验,而且还能够提供更快的运行时间。为了提升电梯的性能,关键部件的动态特性分析和优化设计显得尤为重要。本文基于有限元方法,对电梯关键部件的动态特性进行深入探讨,并提出了一系列优化设计方案,旨在为电梯行业的技术进步提供有力支持。

关键词: 电梯关键; 动态特性; 优化设计; 关键部件

一、引言

随着现代科技的飞速发展,电梯作为重要的垂直交通工具,其安全性、舒适性及运行效率越来越受到人们的关注。在电梯设计过程中,关键部件的动态特性分析及优化设计是确保电梯性能稳定、提高使用寿命的关键环节。本文将基于有限元方法,对电梯关键部件的动态特性进行深入分析,并探讨其优化设计的新思路。

二、有限元方法在电梯关键部件动态特性分析中的应用

有限元方法作为一种高效的数值分析方法,在电梯关键部件的动态特性分析中发挥着重要作用。利用有限元软件,我们可以将电梯的关键部件精确地建模出来,并且精确地调整边界条件,从而模拟出电梯在实际运行过程中受到的力的变化和动态反应。在实际应用中,我们可以利用有限元方法分析电梯关键部件的应力分布、位移变化以及振动特性等。通过对比不同设计方案下的分析结果,我们可以找出关键部件的薄弱环节,为优化设计提供依据。

三、电梯关键部件优化设计策略

基于有限元方法的分析结果,我们可以针对电梯关键部件的薄弱环节进行优化设计。具体策略如下:

3.1 材料选择

在设计和制造各种机械或设备时,关键部件的受力特点往往决定了整体性能的优劣。为了确保部件能够在各种复杂的工作环境下稳定运行,我们必须根据关键部件的受力特点,选用具有优良力学性能的材料。其中,高强度钢和复合材料就是两种非常理想的选择,它们能够有效地提高部件的承载能力。

除了高强度钢,复合材料也是提高部件承载能力的重要选择。复合材料由两种或多种不同性质的材料组成,通过特定的工艺方法将其结合在一起,形成具有优异性能的新型材料。复合材料的优越性质,如轻质、高强度和耐腐蚀,使其成为航空航天、船舶制造等领域的理想选择,并受到广泛应用。通过选用复合材料制造关键部件,可

3.2 结构优化

在现代工程领域中,优化部件的结构布局和参数设计是提升产品性能的关键步骤。通过改变部件的形状、尺寸等参数,我们可以有效地优化其结构布局,降低应力集中。除了改变形状和尺寸,优化部件的结构布局还需要考虑降低应力集中现象。应力集中是指部件在受到外力作用时,某些区域的应力值明显高于其他区域的现象。这可能导致部件在这些区域出现疲劳、断裂等失效模式。因此,在优化结构布局时,我们需要合理布置加强筋、过渡圆角等结构元素,以减小应力集中现象的发生。此外,优化部件的整体性能还需要综合考虑多种因素。例如,在产品的设计过程中,我们需要考虑材料的性能、制造工艺的可行性、成本的控制等因素。通过综合考虑这些因素,我们可以找到一种既能满足性能要求又经济可行的设计方案。

3.3 减振降噪设计

在现代社会,电梯作为高层建筑中不可或缺的交通工具,其运行过程中的振动和噪音问题逐渐引起了人们的关注。为了解决这一问题,业界普遍采用减振材料和优化结构设计等方式,以降低电梯

部件的振动和噪音水平,提升乘客的乘坐体验。减振材料在电梯减振降噪中发挥着重要作用。这些材料具有良好的弹性和阻尼性能,能够有效地吸收和分散电梯运行过程中产生的振动能量。例如,在电梯导轨和轿厢底部使用减振垫或减振橡胶,可以显著减少振动传递至建筑物结构,进而降低噪音的产生。此外,一些新型减振材料,如高分子复合材料、纳米材料等,也在电梯领域得到了应用,它们具有更高的减振效果和更长的使用寿命。

通过对电梯结构进行改进,如优化导轨设计、改进轿厢支撑方式等,可以减少电梯部件之间的摩擦和碰撞,从而降低振动和噪音的产生。同时,合理布置电梯的电气系统和控制系统,减少电磁干扰和机械运动的不稳定性,也有助于降低电梯的噪音水平。

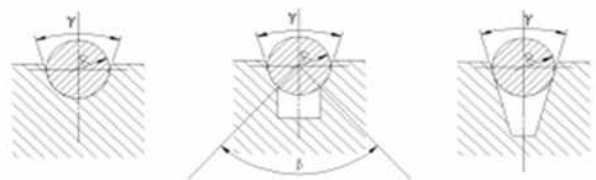
除了上述措施外,还可以通过其他方式进一步降低电梯的振动和噪音。例如,加强电梯的维护保养工作,定期更换磨损严重的部件,保持电梯的良好运行状态;在电梯井道内设置隔音材料,减少噪音向外传播;在电梯轿厢内安装降噪装置,如吸音板、隔音窗等,进一步提升乘客的乘坐舒适度。

四、案例分析

本文以某型号电梯的曳引轮为例,通过有限元方法对其动态特性进行分析,发现其在高速运转过程中存在较大的振动和应力集中现象。针对这一问题,采用高强度钢材替换原有材料,并对曳引轮的结构进行优化设计。经过优化后的曳引轮在实际运行中,振动和应力水平明显降低,提高了电梯的运行稳定性和使用寿命。

4.1 曳引轮三维建模

在这篇文章中,我们将使用一种具有切口槽的半圆形拖拉机来构造一个模拟。为了减小钢丝绳的弯曲应力并增长它的寿命,我们将其取值设定为 $35^\circ B$, 即 $9 \cdot 6.5^\circ$, 钢丝绳的半径设定为 R , 即 8.5° 。此外,电动拖拉机的标准节圆直径不应低于钢丝绳口径的 40 倍,我们将其取值设定为 660mm , 即钢丝绳口径的 41.25 倍。使用 CATIA 建模时,最关键的部分就是要准确地构建出电引轮的绳槽,其中,最细的部分(不含切口)要求距离地表 1.5mm , 而最多的部分则需要达到 5 。此外,还需要运用多种技术,包括拉伸、旋转、切面扫描以及其他相关操作,来完善建模的效果。因为采用了铸造工艺制作的电引轮,它的重心大多放置在轮边,因此,我们必须采取措施来减轻重量,从而提高整体的性能。此外,我们还需要对电引轮的轮毂和传动轴之间的联系进行加固,这样才能使它们更牢固地安装。



(a) 具有半月形槽的槽 (b) 具有弧形切割槽的槽 (c) V形槽的槽。

图1 曳引轮绳槽



图2 曳引轮绳槽草图

4.2 曳引轮比压分析

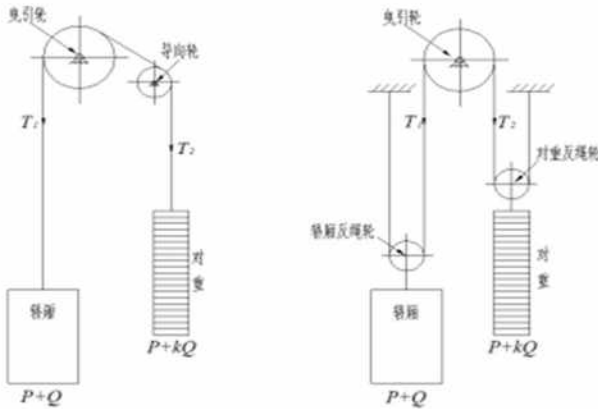
两种常见的电梯曳引方法是：将牵引线与吊车相连，并通过吊车施加一定的牵引力。然后，牵引线与吊车相连，并通过吊车施加一定的牵引力。最后，牵引线与吊车相连，通过吊车的牵引，使吊车绕行。通过测量拖车轮的侧向间隙，我们可以确定拖车轮的侧向间隙。如果拖车轮的侧向间隙的平方根值超过拖车轮的侧向间隙的平方根值，拖车轮的侧向间隙就会增加，从而使拖车得以继续运行。

$$\begin{cases} T_1 = \frac{(P+Q)g_n}{n} \\ T_2 = \frac{(P+kQ)g_n}{n} \end{cases}$$

在式子中，P 表示轿厢的自重，单位是千克；Q 表示电梯的额定负荷，单位是千克；k 表示平衡系数，单位是千克；n 表示曳引比，单位是千克； g_n 表示重力加速度，单位是千米/秒。那么对于式 (1) 中 T 的计算公式应为：

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

根据图，当钢丝绳施加拉伸时，其产生的拉伸压力会随着距离轴线的增加而减少。其中，d 代表拉伸的长度， β 则指的是拉伸过程中形成的半球形切口的角度，而 ρ 则指的是拉伸过程中产生的拉伸压力。通过这种方法，我们发现，拉伸过程中，拉伸的拉伸压力呈现出一个正弦形，其中，拉伸的深度越深，拉伸的长度就越长。



(a)1:1 绕法 (b)2:1 绕法
图3 电梯曳引驱动形式

4.3 有限元分析

FEM (Finite Element Method) 是一个采用机器科学的方法^[4]，它可以通过计算一系列的元素，从而得到偏微分方程的近似解。它的基本思路就像把一个拥有无限可能性的物体抽象出一系列元素，每一组元素都只能通过一定的元素的组合形式，从而得到一系列的结果。随着技术的发展，有限元分析已经被证明是非常有用的工程分析方法。它具备较高的计算精度，并可以处理多样化的数据。通常，有限元分析的过程包括：(1) 构建简单模式；(2) 识别对象的特征；(3) 设计条件与负荷；(4) 分割网络；(5) 寻找最优的方案；(6) 检验与分析分析的结果^[6]。

CATIA 软件在机械设计方面具有出色的功能，但它的自动网格划分和有限元分析技术更加强大，可以帮助设计者快速准确地分析产品的应力分布情况，从而更好地调整产品结构^[7]。使用 CATIA 进行应力分析时，首先要确定材料的特征，然后在 CATIA 中构建一个

新的球墨铸铁模型，即 QT600-3，它的特征可以通过以下方式来表示：

表1 施加载荷及结果

绳槽	钢丝绳张力(N)	张力偏差(%)	最大比压(MPa)	平均比压(MPa)	最大应力(MPa)
绳槽 1	2300	4.29	0.72	0.46	0.440
绳槽 2	3000	24.8	0.94	0.60	0.527
绳槽 3	2403	0	0.75	0.48	0.366
绳槽 4	1806	24.8	0.57	0.36	0.273
绳槽 5	2506	4.29	0.79	0.50	0.349

通过进一步的研究，我们发现，当车辆的负荷达到 $P=1000 \text{ kg}$ 时，曳引轮和钢丝绳会形成一种分布式的接触。为了更好地理解这种情况，我们将通过仿真来研究它们在不同负荷条件下的相互影响。具体而言，我们假设车辆的负荷是 $Q=2000 \text{ kg}$ ，平衡系数是 $k=0.45$ ，曳引比是 $n=2$ 。通过准确的测量，我们发现 T1 的值是 14715 N，T2 的值是 9319.5 N，T 的值是 12017.3 N。如果我们把 T 的值平均地施加于各个钢丝绳，那么这些钢丝绳的张力就会保持一致。然而，若钢丝绳上承受的拉力存在差异，则意味着钢丝绳的张力分布不均匀。通过对张力分布的研究，我们能够更准确地估测出钢丝绳和曳引轮的相对位置。为了更好地实现有限元模拟，我们将使用 CATIA 中的 Generative Structural Analysis 模块来完成。为了更好地理解曳引轮的运行特性，我们需要将它们的位置进行限制。接着，我们会根据表 1 给出的不同的拉伸比，来研究每个拉伸部件的应力分布。结果发现，这些拉伸部件的应力分布存在明显的变化。在这些结构中，绳槽 2 的极限压强可以达到 0.527 MPa，但是，在绳槽 4，它的极限压强只有 0.273 MPa，这意味着它们的压强相差很多，表明存在着严重的压强分配问题。通过本研究，我们可以更加清楚地了解曳引轮与钢丝绳的交互作用，从而更好地改善电梯的设计、性能和使用寿命。如果拖拉机的拖拉机一直处于拉伸的不平衡状态，那么它的拉伸强度就会受到影响，从而导致拉伸强度的变差，从而导致拉伸强度的变差，从而影响拖拉机的性能。

五、结论与展望

本文基于有限元方法，对电梯关键部件的动态特性进行了深入分析，并提出了相应的优化设计策略。通过实际案例分析，验证了优化设计的有效性。然而，电梯关键部件的动态特性及优化设计仍面临诸多挑战，如更加复杂的工作环境、更高的性能要求等。未来，我们可以进一步深入研究有限元方法在电梯设计中的应用，探索更多有效的优化设计方法，为电梯行业的发展贡献更多力量。

同时，随着人工智能、大数据等技术的不断发展，我们可以将这些先进技术引入到电梯关键部件的动态特性分析及优化设计中，实现更加精准、高效的设计和优化过程。相信在不久的将来，电梯的性能和安全性将得到进一步提升，为人们的生活带来更多便利和舒适。

参考文献：

- [1] 解次久. 新型电梯防坠装置的设计与实现[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2022(7):4.
- [2] 高祥, 唐乐天, 张佳良. 一种新的电梯防轿厢偏载装置的设计[J]. 中国电梯, 2023(3):20-23.
- [3] 江叶峰, 苏万斌, 易灿灿. 高速电梯曳引机主轴组件综合性能检测装置设计与分析[J]. 机械制造与自动化, 2022(004):051.
- [4] 杨锐. 电梯曳引钢带的检验技术分析[J]. 中国设备工程, 2022(20):176-177.
- [5] 李英杰, 殷艺嘉, 张盼. 基于 Excel VBA 的电梯部件非标设计系统[J]. 机电工程技术, 2022(003):051.
- [6] 蔡亚光. 浅谈一种电梯安全部件试验系统的设计[J]. 电梯工业, 2022(5):51-53.
- [7] 孙玉峰. 电梯 PLC 控制系统的优化设计探析[J]. 中国设备工程, 2022(4):2.