

# 电梯曳引轮磨损与空载曳引失效分析

林秀峰

(福建省特种设备检验研究院宁德分院, 福建 宁德 352100)

**摘要** 曳引轮绳槽出现磨损情况致使槽底变宽且槽壁变薄、切入角增大, 这使得当量摩擦系数降低从而引发空载工况下曳引失效问题。空载曳引失效呈现出启动迟缓、钢丝绳打滑、运行抖动以及溜车等故障现象。通过分析绳槽磨损特征与失效机理来建立定期检测制度, 保持钢丝绳张力均衡并及时更换磨损部件, 能够有效预防曳引失效情况发生。维保单位应该依据标准要求定期检测绳槽磨损深度和钢丝绳张力, 把磨损控制在安全范围之内。

**关键词** 曳引轮磨损; 绳槽变形; 空载曳引失效; 钢丝绳打滑

中图分类号: TU857

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.24.002

## 0 引言

曳引轮依靠绳槽和钢丝绳之间的摩擦来让轿厢实现升降。在运行过程中, 绳槽表面承受挤压和摩擦作用进而产生磨损, 这种磨损会改变槽型几何参数并降低当量摩擦系数。当磨损达到一定程度时, 空载上行工况下轿厢与对重侧张力比会超出曳引能力范围, 这会导致钢丝绳出现打滑现象从而引发溜车、冲顶等事故。系统分析绳槽磨损规律与空载曳引失效机理对保障电梯安全运行具有重要意义。

## 1 曳引轮绳槽磨损的典型表现

曳引轮磨损与空载曳引失效的完整因果关系如图1所示。

### 1.1 绳槽槽底磨损变宽

绳槽出现磨损情况使得钢丝绳在槽内产生下沉现象, 维保单位运用深度测量探头对绳槽底部与钢丝绳外缘间隙测量。检测标准规定未磨损状态下绳槽底部到钢丝绳外缘最大间距为6 mm, 当间距缩小到3 mm以下时就需要严密进行监测<sup>[1]</sup>。槽底磨损造成钢丝绳中心位置出现下移, 改变了绳槽的有效工作深度状况, 当钢丝绳完全触底的时候, 绳槽两侧壁面失去对钢丝绳正常包络作用, 当量摩擦系数会急剧出现下降, 曳引能力会大幅被削弱, 此时必须马上更换曳引轮或者重新车削绳槽<sup>[2]</sup>。

### 1.2 绳槽槽壁磨损变薄

槽壁厚度减薄属于长期摩擦作用于绳槽侧面所产生的典型磨损形态。钢丝绳在运行过程中会对绳槽两侧

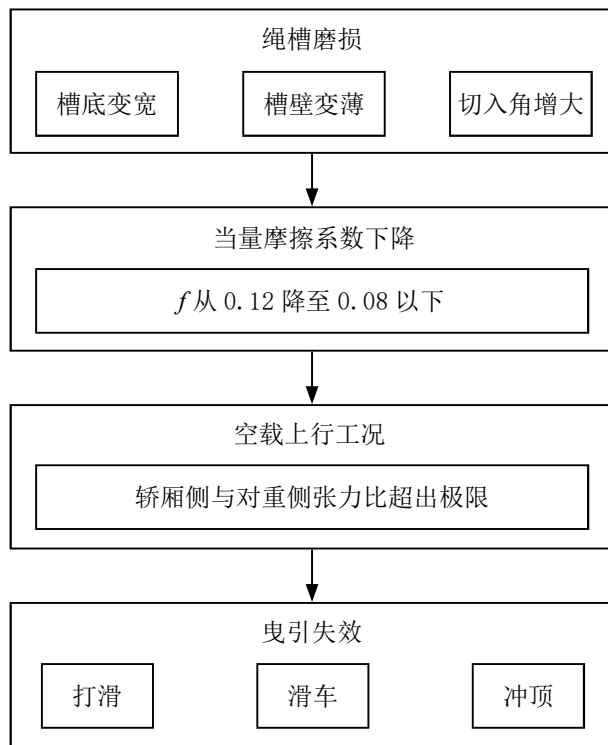


图1 曳引轮绳槽磨损导致空载曳引失效机理流程图  
壁面施加持续的挤压力, 槽壁材料在接触应力作用下会逐步剥离进而导致绳槽宽度增加<sup>[3]</sup>。槽壁变薄会使钢丝绳在绳槽内的嵌入程度降低, 接触比压分布会发生变化, 原本集中在槽壁中部的压力会向两侧分散, 单位面积压强减小会导致钢丝绳与槽壁间摩擦力下降, 降低曳引传动效率, 在极端工况下容易引发钢丝绳打滑现象。

作者简介: 林秀峰(1995-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电梯检验检测。

### 1.3 绳槽角度磨损增大

绳槽角度参数包括槽型角  $\gamma$  值与切入角  $\beta$  值, 电梯运行一段时间后槽面磨损使曳引绳在绳槽中下沉,  $\beta$  角有所增大, 但  $\gamma$  角基本保持不变。V 型槽的槽型角通常设计为大于  $35^\circ$ , 随着磨损进行, 槽壁倾斜角度逐渐增大, 槽型向半圆形过渡<sup>[4]</sup>。带切口半圆槽的切入角  $\beta$  值最大不能超过  $106^\circ$ , 相当于槽下部 80% 被切除。角度磨损改变了钢丝绳在绳槽内的受力状态, 曳引能力依据欧拉公式计算:

$$T_1 \leq T_2 e^{f\alpha} \quad (1)$$

式(1)中:  $T_1$  为轿厢侧钢丝绳张力,  $T_2$  为对重侧钢丝绳张力,  $f$  为当量摩擦系数,  $\alpha$  为钢丝绳在曳引轮上的包角。当量摩擦系数随槽型角度变化呈单调递减趋势, V 型槽磨损后槽型逐渐接近带切口半圆槽, 当量摩擦系数  $f$  从 0.12 快速减小至 0.08 以下, 导致  $e^{f\alpha}$  值降低, 曳引能力下降显著。

表 1 空载曳引失效特征参数汇总

| 故障现象    | 特征参数       | 正常值         | 失效值         | 单位               |
|---------|------------|-------------|-------------|------------------|
| 钢丝绳打滑   | 轿厢位移偏差     | $< 5$       | 20 ~ 100    | mm               |
| 轿厢抖动    | 峰值加速度      | $\leq 0.05$ | 0.15 ~ 0.25 | m/s <sup>2</sup> |
| 溜车 / 冲顶 | 溜车距离       | —           | 50 ~ 300    | mm               |
| 摩擦系数下降  | 当量摩擦系数 $f$ | 0.12        | $< 0.08$    | —                |

指令后, 曳引电机要提供更大转矩克服静摩擦阻力, 电机从静止加速到设定速度过渡时间超过正常 2 倍至 3 倍。变频器输出频率信号与编码器反馈实际转速显著滞后, 控制系统增大转矩补偿参数仍因曳引轮与钢丝绳摩擦力储备不足难以缩短启动延迟。技术人员应观察轿厢启动过程, 并核对编码器转速反馈与轿厢实际位移。出现启动响应延迟且伴随钢丝绳相对曳引轮滑移时, 应结合绳槽磨损程度、钢丝绳张力及空载曳引能力试验结果进行判定, 不宜仅依据启动电流变化确定曳引失效。

### 2.2 钢丝绳在绳槽内发生打滑

钢丝绳打滑会产生尖锐摩擦声响频率集中 800 Hz 至 1 200 Hz 机房可清晰识别。曳引轮表面温度迅速升至  $60^\circ\text{C}$  以上, 红外测温显示局部热点超  $80^\circ\text{C}$ 。编码器轿厢位移数据与平层感应器反馈实际楼层有 20 mm 至 50 mm 偏差, 多次打滑累积超过 100 mm 触发校正保护。钢丝绳在绳槽微滑移时槽面有细密纵向条纹曳引轮与绳接触面摩擦系数, 从 0.12 降至 0.08 以下曳引能力降低 30%。

### 1.4 绳槽表面出现沟痕或剥落

绳槽表面质量劣化是磨损中后期典型标志。钢丝绳往复运动夹带磨粒在槽面形成微观切削, 使槽面粗糙度增大且局部有纵向沟痕。曳引轮槽面材质要均匀且同一轮上硬度差不超过 15HBS。材质不均或热处理不当的绳槽在应力集中区产生剥落缺陷形成不连续接触面, 使钢丝绳运行受周期性冲击载荷加速绳股疲劳损伤<sup>[5]</sup>。用图像识别技术检测绳槽表面量化沟痕深度与剥落面积, 表面缺陷深度超 0.5 mm 或剥落面积占比超绳槽接触面 10% 应重点监测。

## 2 空载曳引失效的故障现象

空载曳引失效各故障现象的特征参数如表 1 所示。

### 2.1 轿厢空载上行时启动迟缓

空载上行时轿厢与对重侧钢丝绳张力比接近曳引极限, 启动响应时间明显延长。驱动控制器发出启动

### 2.3 轿厢运行中出现异常抖动

轿厢运行时产生周期性振动, 抖动频率和曳引轮转速线性相关, 额定速度 1.0 m/s 工况下振动频率约 3 Hz 至 5 Hz。加速度传感器装在轿厢底部中心, 实时采集振动幅值数据, 峰值加速度达  $0.15 \text{ m/s}^2$  至  $0.25 \text{ m/s}^2$ , 超正常运行  $0.05 \text{ m/s}^2$  阈值 3 倍以上。钢丝绳张力传感器监测显示各绳张力波动, 相邻绳张力差从正常 3% 扩至 8% 至 12%, 张力不均加剧绳槽磨损不对称。轿厢抖动经导靴传至导轨系统, 导靴与导轨间隙从标准 0.5 mm 扩大至 1.5 mm, 乘坐舒适性严重下降。

### 2.4 空载上行时发生溜车或冲顶

空载轿厢上行到顶层附近时曳引轮两侧张力比超临界值, 钢丝绳瞬间失曳引力轿厢在对重拉力下反向滑移, 溜车距离 50 mm 到 300 mm 不等。制动器响应延迟使溜车距离进一步扩大, 制动器完全抱闸时轿厢偏离预定平层位置, 平层精度误差超过 50 mm。极端工况下曳引失效与制动延迟叠加, 轿厢以 0.3 m/s 至 0.5 m/s 速度冲向顶层端站, 触发上限位开关切断主电源。轿厢惯性运动未停继续上行 15 mm 至 30 mm 触碰缓冲器, 产生剧烈冲击电梯进入故障保护状态。

### 3 曳引轮磨损的预防措施

曳引轮磨损的检测与维保工作应按照图2所示流程规范执行。

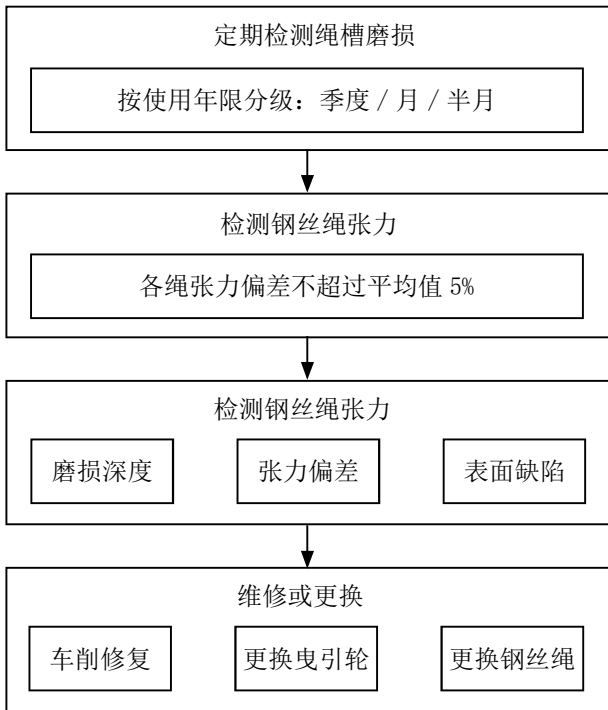


图2 曳引轮绳槽磨损检测与维保流程图

#### 3.1 建立绳槽磨损定期检测制度

维保单位要依据电梯使用年限制定分级检测制度，新装电梯运行前两年需每季度检测一次，运行两年后要每月检测一次，运行五年以上的电梯每半月检测一次。用深度测量探头配合游标卡尺量化测量绳槽底部到钢丝绳外缘间隙，下沉量从初始6 mm缩减到3 mm时列入重点监测对象，缩减到1.5 mm时启动曳引能力验证试验。用工业相机采集绳槽表面图像，通过特征提取网络模型自动识别沟痕深度与剥落面积，表面缺陷深度超0.5 mm或剥落面积占比超10%时列入重点监测对象。

#### 3.2 保持钢丝绳张力均衡

钢丝绳张力不均使各绳槽受力分布失衡，张力大的钢丝绳对绳槽挤压力更大加速磨损。《电梯安装验收规范》（GB/T 10060-2023）规定单根钢丝绳张力与平均值偏差不超5%，维保单位用张力测量仪检测，通过调绳头螺母位置或用液压平衡装置实现张力均衡。曳引比2:1电梯先调一侧使张力差小于3%，空载运行数次后再调另一侧反复调整至两侧达标。安装张力在线监测装置用压力传感器实时采集各绳作用力，张力偏差超阈值自动报警。

#### 3.3 及时更换磨损钢丝绳

钢丝绳自身磨损劣化会直接影响绳槽磨损速率，表面钢丝磨平后有效接触面积减小使单位压强增大，加速绳槽材料剥离。钢丝绳报废判定依据有直径减小超公称直径10%，一个捻距内断丝集中在一个绳股超16根、均匀分布各绳股超32根。用游标卡尺对钢丝绳直径多点测量，用磁力探伤仪检测内部断丝与腐蚀状况。钢丝绳使用3年至5年时应重点评估更换必要性，载荷频繁变化的高速电梯更换周期缩短至2年至3年。

#### 3.4 合理控制电梯启停频次

启停时曳引轮承受交变载荷，启动瞬间电机输出转矩突增使钢丝绳对绳槽产生冲击应力，频繁启停致绳槽表面疲劳损伤累积。变频调速系统用S曲线加减速控制，将启动加速度限在 $0.8\text{ m/s}^2$ 至 $1.2\text{ m/s}^2$ 、制动减速度控在 $0.6\text{ m/s}^2$ 至 $1.0\text{ m/s}^2$ 以降低冲击载荷幅值。电梯群控系统据楼层呼叫分布优化调度策略，减少空载运行次数，且高峰优先响应同方向连续呼叫。维保计划记录月均启停次数，商业综合体电梯日均启停300次至500次、住宅电梯日均100次至200次，依实际使用频次调整润滑维护频率。

### 4 结束语

曳引轮绳槽磨损使当量摩擦系数下降削弱曳引能力，空载上行工况易引发钢丝绳打滑轿厢溜车等事故。预防关键是建立科学检测制度定期监测绳槽磨损与钢丝绳张力，及时发现超标隐患。维保单位要严格执行国标控制绳槽下沉量和钢丝绳张力差，确保曳引能力达到安全要求。合理控制启停频次、优化维护及更换磨损部件，可延长曳引轮寿命，降低故障率，保障电梯安全。

#### 参考文献：

- [1] 肖承垠,聂敏,王佳宁,等.浅析电梯曳引轮槽磨损机理危害及其应对措施[J].上海轻工业,2025(06):145-147.
- [2] 侯博奇.电梯曳引轮的轮槽磨损原因及其检验[J].模具制造,2025,25(08):252-254.
- [3] 李德庚.曳引轮和钢丝绳磨损对曳引参数的影响[J].起重运输机械,2025(07):40-45.
- [4] 张政伟.曳引轮轮槽磨损对电梯曳引能力的影响分析[J].今日制造与升级,2024(03):153-156.
- [5] 卢咸定,周叶平,兰清生,等.曳引驱动电梯对重反绳轮轴断裂失效原因分析[J].科技创新与应用,2022,12(32):78-80,84.