

文章编号: 1002-0446(2006)03-0241-04

电梯导轨垂直度检测机器人运行机构设计^{*}

张浩¹, 赵群飞², 黄捷³, 马培荪¹

(1 上海交通大学机器人研究所, 上海 200030 2 上海交通大学图像处理与模式识别研究所, 上海 200030

3 日本会津大学计算机科学与工程学院, 日本 会津若松 965-8580)

摘要: 为实现电梯导轨垂直度检测自动化, 设计了电梯导轨垂直度检测机器人. 采用多磁轮吸附机构和下滑制动机构, 实现了机器人在竖直导轨上的安全自主运行. 其中的顶磁路和导向磁轮采用了优化的磁路结构设计. 不同条件下的吸附力测试表明, 设计的磁轮能够适应恶劣工况.

关键词: 电梯导轨; 磁吸附; 磁轮; 磁路

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

Design of Moving Mechanism of the Verticality Measuring Robot for Elevator Guide Rail

ZHANG Hao¹, ZHAO Qun-fei², HUANG Jie³, MA Pei-sun¹

(1. Research Institute of Robotics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

3. College of Computer Science and Engineering, The University of Aizu, Aizu-Wakamatsu, Fukushima-ken 965-8580, Japan)

Abstract To realize the automatization of verticality measurement for elevator guide rail, a verticality measuring robot is designed. It employs an absorbing mechanism with multiple magnetic wheels and a brake device, which can make the robot run safely and autonomously along the vertical guide rail. Both of the top and guide magnetic wheels adopt optimized magnetic circuits. According to testing results on absorbability of magnetic wheel under different conditions, the designed magnetic wheels can adapt to bad working environments.

Keywords guide rail of elevator; magnetic absorption; magnetic wheel; magnetic circuit

1 引言 (Introduction)

电梯导轨安装的垂直度是保证电梯安全、舒适运行的一项重要性能指标. 在电梯安装和维护的过程中如何检测导轨垂直度是一个复杂的技术难题. 在电梯安装现场, 长期以来, 多采用传统的吊垂线的方法来保证导轨安装的垂直度. 这种方法费时费力且难以保证测量精度, 特别是在电梯维护阶段, 由于没有了脚手架, 难以进行吊垂线作业, 电梯的垂直度测量就更加困难.

近年来, 电梯行业出现了用于导轨垂直度检测的激光垂准仪, 使用高精度的铅直激光束代替吊垂线, 检测精度有很大提高. 但是, 由于缺少一种能够沿导轨自主运行的装置, 目前使用该方法进行电梯导轨垂直度检测时, 需要在导轨的每个测量点由人

工逐一测量, 仍然离不开脚手架, 测量过程繁杂. 文[1]提出了一种电梯导轨垂直度测量仪, 用强磁铁使测量仪紧贴导轨, 利用电梯轿箱拖动测量仪进行测量, 但是, 在导轨安装阶段由于没有电梯轿箱, 无法使用该测量仪进行导轨检测. 本文研制的电梯导轨垂直度检测机器人, 经设计分析和实验验证, 采用了多磁轮吸附机构和下滑制动机构, 可以在竖直导轨上安全自主运行, 实现了检测的自动化, 使测量过程快速简单, 安全可靠.

2 工作原理与主要机械指标 (Working principle and main mechanical specifications)

电梯导轨的垂直误差主要有两种: 弯曲和错位. 导轨的弯曲通常发生在导轨侧面; 导轨的错位是指

* 收稿日期: 2005-09-08

相邻导轨在连接处未对齐而产生的跳跃, 可以发生在导轨的侧面和顶面. 这两种垂直误差是造成电梯轿箱水平振动的重要因素. 电梯导轨垂直度检测机器人通过吸附机构匀速运行于竖直的电梯导轨上, 其携带的高精度双轴倾角传感器可获得导轨侧面和顶面相对于惯性坐标系方向的角度误差, 同时, 位移传感器获得机器人相对于导轨的运行位置, 由此拟合出导轨的垂直误差曲线.

电梯导轨垂直度检测机器人的运行机构设计, 其目的是要研制一种能够沿电梯导轨自主垂直运行的测试平台, 使之能够携带相关传感器完成导轨垂直度的在线自动测量.

电梯导轨垂直度检测机器人机构的主要机械指标如表 1 所示.

表 1 主要机械指标

Table 1 The main mechanical specifications

项目	参数
驱动方式	直流电机驱动
运行速度	6m/min
可适应导轨宽度	16~29mm
长×宽×高	380×160×44mm
自重	3.5kg

3 多磁轮吸附机构设计 (Design of absorbing mechanism with multimagnetic wheels)

可靠的吸附机构是保证机器人安全垂直运行的关键. 常用的爬壁机器人有磁吸附和真空泵吸附两种吸附方式, 按移动方式又分为轮式、履带式 and 步行式等^[2]. 磁吸附方式较真空方式吸附力更大, 对吸附表面的凹凸度要求不高, 考虑到电梯导轨的导磁性, 该机器人选用磁吸附方式. 轮式移动方式具有移动快速、可控性强等特点, 所以选用轮式的行走方式.

由于传感器安装在机器人本体上, 机器人行走轨迹要能精确反映导轨侧面和顶面的垂直误差, 这样传感器的输出数据才真实有效. 同时, 行走机构还要能适应不同宽度规格的导轨. 本机器人采用了多磁轮吸附机构, 磁轮布局如图 1 所示.

磁轮机构由 2 个顶磁轮和 4 个导向磁轮组成. 2 个顶磁轮吸附于导轨顶面, 其中机器人前部的顶磁轮作为驱动轮, 通过减速器与电机相连, 同时, 前、后顶磁轮通过同步带传动 (图中省略). 导向磁轮通过轮架与车体相连, 在强力拉簧的作用下对称吸附于

导轨侧面, 保证车体移动轨迹与导轨变形一致. 轮架能绕轴做旋转运动, 实现了对不同宽度导轨的适应. 轮架与导轨的夹角 θ 须做合理选择, 以防止机器人下行时由于摩擦力发生死锁.

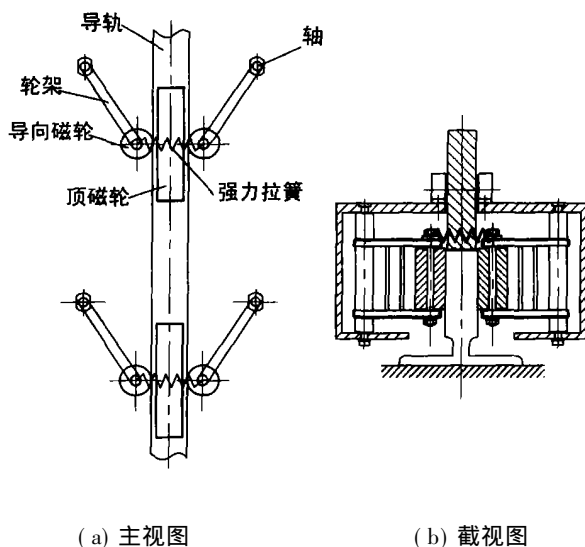


图 1 磁轮布局

Fig 1 Layout of magnetic wheels

选取其中一个导向磁轮作为研究对象, 其受力分析如图 2 所示. 导向轮做匀速纯滚动的条件是:

$$\begin{cases} G + Q \cos \theta - F = 0 \\ N - P_2 - T - Q \sin \theta = 0 \\ F < F_{\max} = fN \text{ (不滑动)} \\ QR \cos \theta + GR > m_{\max} = \delta N \text{ (滚动)} \end{cases} \quad (1)$$

其中, G 为导向磁轮重量, Q 为轮架对磁轮的推力, F_{\max} 为最大滑动摩擦力, m_{\max} 为最大滚动摩擦力偶, N 为导轨对磁轮的支承力, P_2 为导向磁轮与导轨面的吸附力, T 为拉簧作用于磁轮重心的等效拉力, f , δ 分别为静摩擦系数和滚动摩擦系数. 根据上式计算验证, 选定 θ 为 30° .

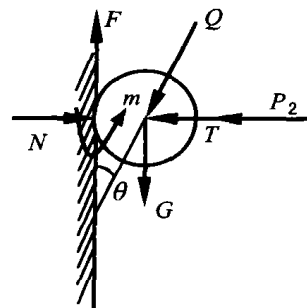


图 2 导向磁轮受力分析

Fig 2 Force analysis of guide magnetic wheel

4 磁轮设计与分析 (Design and analysis of magnetic wheels)

4 1 磁轮吸附力分析

磁轮设计是机器人实现与导轨紧密吸附、防止下滑的关键. 磁轮所需吸附力越小, 磁轮重量体积可以相应减小, 所需电机驱动力也越小, 但为了保证机器人的可靠吸附, 存在一个保证安全运行的最小吸附力. 机器人安全垂直运行必须满足如下条件:

- (1)防止机器人下滑, 须满足:
$$2P_1 \geq W \tag{2}$$
- (2)防止机器人绕后部顶磁轮翻转, 须满足:
$$P_1 L \geq W l \tag{3}$$

式中: f 为磁轮与导轨间的静摩擦系数, P_1 为顶磁轮与导轨顶面间的吸附力, W 为机器人重量, L 为前后顶磁轮的中心距, l 为机器人重心到导轨顶面的垂直距离. 考虑到磁轮与导轨是线接触, 且导轨工作面可能存在的油污等因素造成的吸附力波动, 计算时增加较大安全裕度. 初步确定顶磁轮所需吸附力为 160N, 导向磁轮所需吸附力为 70N.

4 2 磁路结构设计

磁轮结构中包括用于产生磁源的永磁材料和引导磁通量的软磁材料, 以及用于隔离磁体和轮轴的隔磁材料. 稀土永磁材料由于具有磁能积大、稳定性和韧性良好、便于加工装配等特点, 近年来得到广泛使用. 这里我们选用牌号为 240/135 的钕铁硼 (NdFeB) 稀土永磁材料. 软磁材料和隔磁材料分别选用纯铁和青铜.

合理的磁路结构要求充分发挥永磁体的利用率, 即在保证吸附力的前提下减小磁体重量, 同时尽量减少漏磁通. 本文设计的顶磁轮和导向磁轮的磁路结构如图 3 所示. 对顶磁轮, 楔形永磁体均匀分布在磁轮圆周, 沿圆周方向充磁. 对导向磁轮, 环状磁体与纯铁交错叠加, 沿轴线方向充磁. 以顶磁轮为例分析磁路结构的设计. 如图 3 (a) 所示状态, 楔形磁体 1 发出的磁力线, 通过与其相邻的轭铁 2 3 引导到工作气隙 4, 5 然后进入导轨 6 构成完整回路.

磁路计算的目标是要在满足吸附力的要求下使永磁体用量最少. 非均匀气隙磁场吸附力为:

$$P = \frac{1}{2\mu_0} \oint B_m^2 ds \tag{4}$$

式中 B_{gn} 为气隙磁通密度的有用分量, μ_0 为空气中的磁导率. 工作气隙的磁通除部分有用磁通外, 另有部分在气隙附近泄漏, 同时在磁体端面以及磁体和轭

铁的装配间隙中都会发生漏磁, 为此引入漏磁系数 K_l 来补偿磁路中各部分漏磁. 同理引入磁阻系数 K_r 来补偿磁路各部分的磁势损失. 于是得到如下磁路分析的重要公式:

$$K B_g S_g = B_m S_m \tag{5}$$

$$K H_g L_g = H_m L_m \tag{6}$$

式中: B_g, H_g 分别为气隙中的磁通密度和磁场强度, B_m, H_m 分别为永磁体中的磁通密度和磁场强度, S_g, L_g 分别为工作气隙的有效截面积和长度, S_m, L_m 分别为永磁体沿充磁方向的有效截面积和长度. 由于 $L_g S_g = V_g, L_m S_m = V_m$, 从式 (5)、(6) 可得:

$$V_m = \frac{K_l K_r B_g^2 V_g}{\mu_0 (B_m H_m)} \tag{7}$$

式中 V_m, V_g 分别为楔形磁体和工作气隙的体积. 可见, 在确定了 V_g, B_g 的条件下, 要减少磁体, 有效的方法是使永磁体工作在最大磁能积所对应的点附近, 即 $(B_m H_m)$ 值应尽量接近 NdFeB 的最大磁能积 $(BH)_{max}$.

将式 (6) 除以式 (5), 有:

$$\frac{B_m}{H_m} = \frac{\mu_0 K_l S_g}{K_r L_g} \cdot \frac{L_m}{S_m} \tag{8}$$

式中 $(B_m H_m)$ 决定了磁路工作点. 可见, 合理地选择楔形磁体的尺寸比 (L_m / S_m) 可以使磁路工作在最佳工作点^[3].

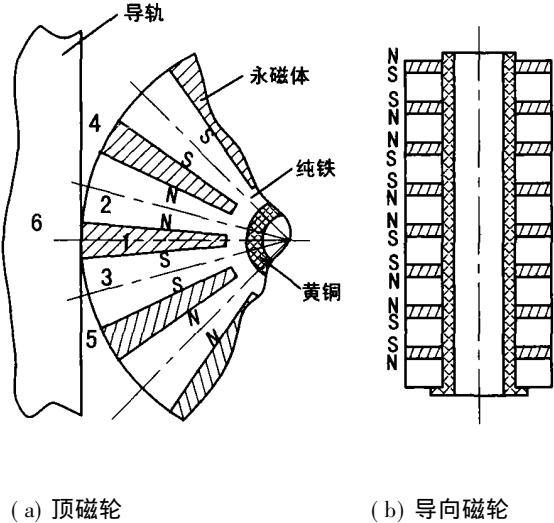


图 3 顶磁轮和导向磁轮的磁路结构
Fig 3 Magnetic circuit of top and guide magnetic wheels

4 3 不同条件下磁轮吸附力测试

电梯导轨状况的变化可能造成磁轮吸附力波动, 实际应用中磁轮必须适应恶劣情形. 影响磁轮吸

附力波动的几个主要可能因素包括: 轨面润滑油、导轨宽度和导轨衔接处. 由于两个顶磁轮在防止机器人下滑和翻转中发挥主要作用, 其吸附力波动直接影响到机器人的安全运行, 这里对单个顶磁轮在不同情况下的吸附力进行多次测试, 试验结果取平均值, 如表 2所示.

表 2 不同条件下吸附力测试

Table 2 Testing on absorbability of magnetic wheel under different conditions

测试条件	测试平均值 (N)	
16mm 轨宽 非衔接处	润滑油厚	165
	润滑油薄	172
润滑油薄 非衔接处	16mm 轨宽	172
	29mm 轨宽	185
润滑油薄 16mm 轨宽	非衔接处	172
	正常衔接处	164
	顶面错位衔接处	157

由试验分析可知, 减小导轨宽度将使磁轮与导轨接触较少, 增加漏磁通, 导致吸附力大幅减小. 相邻导轨衔接处的顶面错位误差导致磁轮运行颠簸, 接触面积瞬时变小, 也将导致吸附力显著下降. 润滑油对吸附力的影响相对较小.

5 制动机构 (Brake device)

导轨工作面存在的润滑油尽管对磁轮吸附力影响不大, 但对滑动摩擦系数影响明显, 在严重情况下, 机器人不能静止吸附在导轨上, 向下滑动从而造成设备的坠毁损坏. 另外, 机器人在运行中可能需要紧急停车, 以应付突发事件. 本文专门研制了防止下滑的制动机构, 采用偏心轮自锁机构, 增强了机器人运行的可靠性和适应性.

如图 4所示, 制动机构安装在机器人框架下部, 主要由左、右从动臂和推杆组成. 支承与框架固连, 从动臂能够绕支承转动, 推杆可以沿滑槽来回移动一定距离. 左、右从动臂在片弹簧的作用下, 其工作面始终与推杆头部压紧, 安装在框架顶部的舵机通过摆块控制推杆的来回移动. 图示状态即为机器人制动状态, 舵机带动摆块转动 90°到图示状态, 推

杆在弹簧的拉动下向上移动, 带动左、右从动臂分别顺、逆时针转动, 从而使两个偏心轮压紧导轨颈部, 实现自锁制动.

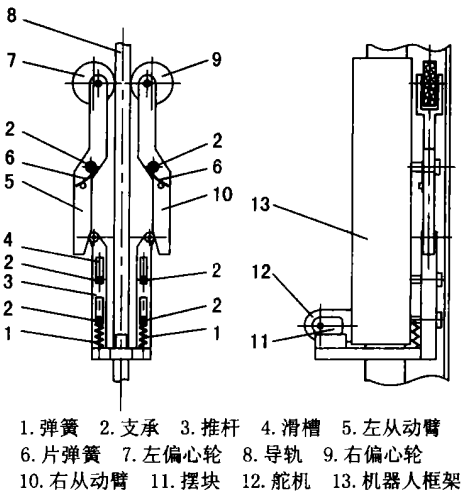


图 4 制动机构
Fig 4 Brake device

6 结论 (Conclusion)

研制的电梯导轨垂直度检测机器人, 采用了多磁轮吸附机构, 在保证机器人可靠运行的前提下, 实现了对电梯导轨垂直误差的反映. 设计并分析了磁轮的磁路结构, 试验表明, 设计的磁轮能够适应恶劣工况. 研制了一种制动机构, 防止了可能出现的下滑对机器人的损坏. 该机器人即将推广应用于电梯安装和维护阶段的导轨垂直度测量.

参考文献 (References)

[1] 林开颜, 吴军辉, 徐立鸿. 电梯导轨垂直度测量仪研究 [J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(2): 119 - 122
[2] 刘淑霞, 王炎, 徐殿国, 等. 爬壁机器人技术的应用 [J]. 机器人, 1999, 21(2): 148 - 155.
[3] 林其壬, 赵佑民. 磁路设计原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987

作者简介:

张 浩 (1981-), 男, 硕士生. 研究领域: 机器人结构设计.
赵群飞 (1960-), 男, 理学博士, 教授. 研究领域: 特种机器人智能控制, 机器视觉等.