

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.03.020

# 一驱双控永磁变频门机系统的设计与研究\*

姚云峰, 罗伟良, 王 宇, 潘健勇  
(杭州市特种设备检测研究院, 浙江 杭州 310015)

**摘要:**针对国内高速电梯市场缺少与其匹配的高端门机的问题,通过对国内外电梯门机控制技术以及永磁同步技术的研究,研发了一款匹配高速梯甚至超高速梯的高端门机系统。采用了数字芯片和智能功率模块作为主电路的门机控制器硬件;采用了空间矢量脉宽调制技术,得到了门机运行曲线及永磁同步电机定位角学习方法,实现了双电机协同工作及单电机切换;描述了总体机械设计方案;通过实验测绘出了门机实际运行曲线并对运行曲线进行了分析。研究结果表明:该门机系统方案设计合理,运行可靠,不仅开关门时间大大缩短,电梯的使用效率明显提升,而且门机运行曲线更佳。

**关键词:**一驱双控;门机控制器;空间矢量脉宽调制;交叉耦合同步

中图分类号:TH39;TP24

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)03-0327-06

## Permanent magnet variable-frequency door system by one driver dual control

YAO Yun-feng, LUO Wei-liang, WANG Yu, PAN Jian-yong  
(Hangzhou Special Equipment Inspection and Research Institute, Hangzhou 310015, China)

**Abstract:** Aiming at solving the shortage of the advanced door system, which is suitable for the high-speed elevator in the domestic market, with the research of the permanent magnet synchronous technology and the door control system in domestically and internationally, it was proposed to develop an advanced door-motor system which was used for the high-speed elevator or the super-high-speed elevator. The digital chip and intelligent power module were used as the main circuit for hardware controller of the door system. The space vector pulse width modulation (SVPWM) were applied to get the door-motor running curve and learning method about the positioning angle of the permanent magnet synchronous motor, the two motors working together and the single motor switching. The concerning system design on mechanism was described. The door system actual running curve could be surveyed and analyzed through the experiments usage significantly. The results indicate that this door system is reliable and meet the original aim. It shorten the time of opening and closing the door, enhance the efficiency of elevator usage, and the running curve is more graceful quieter smoother and safer.

**Key words:** one-drive dual control; door control system; SVPWM; cross-coupling synchronization

## 0 引 言

人们通常将最高运行速度大于 2.5 m/s 的电梯称为高速梯,将最高运行速度大于 6.0 m/s 的电梯称为超高速电梯,电梯运行的最高速度每隔几年就会被打破,现阶段国内运行最快的电梯最高速度达到 21 m/s<sup>[1]</sup>。人们在关注电梯运行速度越来越快的同时却

很少关注与乘梯人员接触最多也是动作最频繁开关的门系统的运行速度。这就造成在国内应用于高速电梯上的开关门系统的不完善。在高速电梯上使用的门系统要求:可以适应高层建筑的土建,抵挡高速运行时的风压影响,能够拖动重载的门板,能够适应电梯的高速运行,具备开关门时间要求短、效率要求高、噪音要求低、门板需要更加坚固等特性。

收稿日期:2018-10-01

基金项目:2019年度浙江省重点研发计划项目(2019C03100)

作者简介:姚云峰(1985-),男,浙江杭州人,主要从事机电类特种设备电梯门机方面的研究。E-mail:398580973@QQ.com

一般高速电梯上采用的普通门系统,会给高速电梯带来性能乃至安全性上的影响,鉴于目前国内市场上缺乏此种产品,所以研究和开发一套性能优良、可靠安全、运行曲线优美的高端门系统意义巨大<sup>[2]</sup>。

现阶段,主流门机大多数采用变频变压调速技术。市场上的门机控制变频装置几乎全面实现了数字化控制<sup>[3]</sup>。采用数字信号处理能够实现快速运算和高精度控制,可以得到良好的电流波形,大幅度缩短扫描时间。数字化的控制技术是静止变频装置的核心技术。变频主电路大多数采用智能功率模块 IPM (intelligent power module) 为主,在电力电子领域得到了越来越广泛的应用<sup>[4]</sup>。

本研究通过对国内外电梯门机控制技术以及永磁同步技术进行研究,研发一款匹配高速梯甚至超高速梯使用的高端门机系统。

## 1 开关门时间要求

对于门机来说开关门时间是一个非常重要的指标,开关门时间越短,电梯运行的效率越高。

在综合了 GB/T10058—2009《电梯技术条件》3.3.4的开关门时间要求、门机生产商的企业标准的开关门时间要求,以及调研国外高速梯匹配门机的运行时间后,得出一驱双控永磁变频门机开关门时间设计要求。开关门时间如表 1 所示<sup>[5]</sup>。

表 1 开关门时间比较

开门宽度 $B/\text{mm}$	GB/T10058 - 2009 《电梯技术条件》 要求开关门时间/s		一驱双控永磁变频 门机开关门时间/s	
	最短开 门时间	最短关 门时间	最短开 门时间	最短关 门时间
	$\leq 800$	3.2	3.2	1.3
$800 < B \leq 1\ 000$	4.0	4.0	1.5	2.0
$1\ 000 < B \leq 1\ 100$	4.3	4.3	1.6	2.2
$1\ 100 < B \leq 1\ 300$	4.9	4.9	1.8	2.4
$1\ 300 < B \leq 1\ 400$	协商确定	协商确定	2.0	2.5

在开门的过程中,不存在人员被夹的风险,因此开门时间设计尽量短。在关门的过程中,因存在人员进出轿厢被夹或者撞击的风险,要将关门时间设计得相对长一些。

## 2 门机理论运行曲线及信号

在满足快速性、平稳性以及舒适性的前提下,本研

究综合各种因素得出了门机理论开关门曲线<sup>[6]</sup>,如图 1 所示。

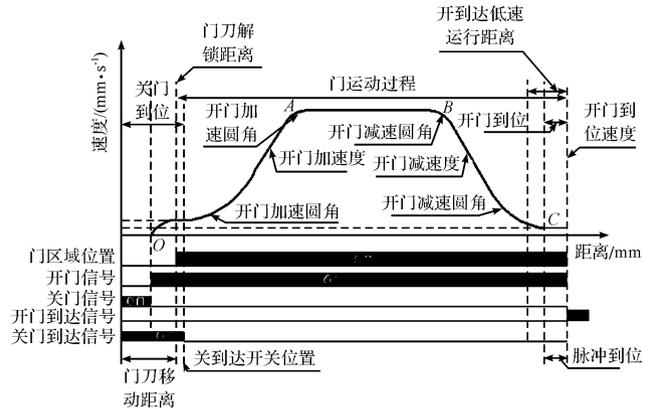


图 1 门机理论开门曲线及信号

纵坐标—门机运行速度;横坐标—门机运动行程; $O$ 点—关门到位极限点,此点没有速度,只有一个维持关门状态的堵转力矩; $OA$ —开门加速段,加速过程中采用圆弧段来过渡,减少冲击; $AB$ —开门均速段,在此区段内电机以设定的最高速度运行; $BC$ —开门减速段,采用减速圆弧段来过渡,使门机减速过程圆滑; $C$ 点—开门到位极限点,此点没有速度,只有一个维持开门状态的堵转力;开门、关门信号—系统给门机控制信号,开门到达信号和关门到达信号为门机控制器反馈给系统的信号,黑色表示信号持续有效

门机理论关门曲线与开门曲线类似,这里就不再赘述。

该曲线运行效率高,各速度突变段采用加速圆角过渡,曲线更加平滑,最大限度地减小电机加减速时对整个电梯门机系统的机械冲击,大大降低运行过程中的噪音。

门机理论开关门曲线是整个门机设计的核心,最终的设计成果检验也是在设计的开关门时间内能够实现理论开关门曲线为依据。

## 3 门机控制器设计

普通门机采用单个控制器控制单台电机来实现开关门,拖动的最大载重量有限,不能拖动最大负载为 320 kg 的门板,在规定的时间内完成开关门动作。仅采用单台电机设计方案会造成需要采用更大功率的电机及门机控制器,相应的电机体积也会增加。因此,本设计采用一个门机控制器驱动两台电机方案。

输入指令接收、运行状态反馈、编码器位置信号处理、门机运行曲线分析等都需要通过门机控制器来完成,因此门机控制器是整个一驱双控永磁变频门机的关键。门机控制器硬件结构如图 2 所示。

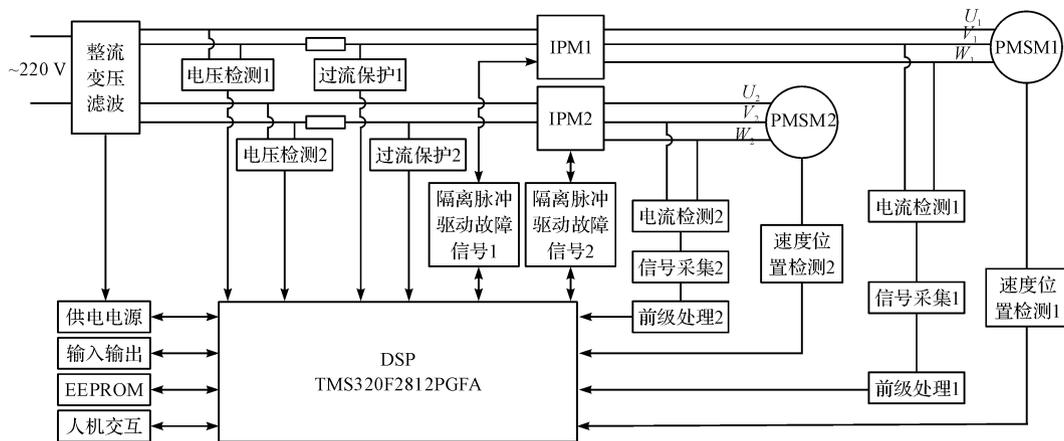


图2 一驱双控永磁变频门机控制器硬件结构框图

控制系统包括以三菱公司的智能功率模块 IPM 作为核心的变频主电路,以 TI 公司的 DSP 作为控制芯片的主控电路、驱动电路、电压检测电路、电流检测电路等。

本研究在设计结构框图时对每个电机都增加了电流检测以及速度/位置检测两路反馈信号,形成闭环控制系统,使门机能够快速响应负载与速度的变化。同时,本研究还增加了人机交互模块、电压电流检测模块。

本研究选取霍尔电流传感器来检测电机定子  $V$  相和  $W$  相电流信号,利用三相电流对称公式计算出  $U$  相电流。电机转子位置检测采用磁感应编码器,经过控制算法得到 PWM 驱动信号,控制永磁同步电机。

### 3.1 部分软件设计

整个门机需要完成包括开关门速度曲线计算、永磁同步电机自定位、门宽自学习、故障检测与处理、外部通讯等功能。门机面向的是高速梯,因此对门机运行速度的实时性要求很高。

门机控制采用 TI 公司的 DSP 芯片 MS320F2812,该芯片内部集成有 PWM 模块、AD 模块、多个定时器等<sup>[7]</sup>。

#### 3.1.1 开关门速度控制

电梯门机系统的设计要求是:门机控制器需要有一个性能优异的速度切换曲线。

门机运行曲线的实现采用与电梯运行曲线类似的原理,将速度曲线分为 7 段,即启动圆角段、加速段、加速圆角段、均速段、减速圆角段、减速段、停止圆角段。曲线拟合方法上采用抛物线—直线综合速度曲线。将

每一段曲线建立数学模型,实际控制中将建立的数学模型离散化。将采样周期确定后就可以得到每一点的差分方程和每一段的采样点数。

本文采用速度、电流双闭环结构,其矢量控制原理如图 3 所示。

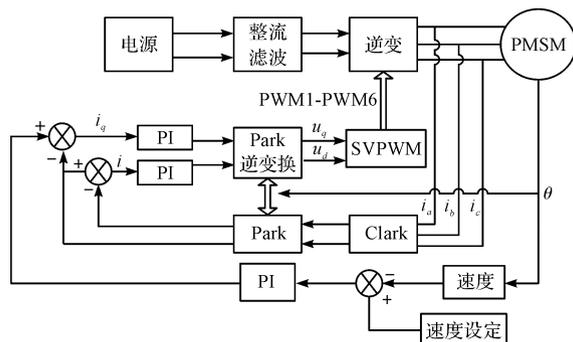


图3 永磁同步电机矢量控制系统原理图

速度环为外环,由速度给定与反馈速度进行比较,其差值经过 PI 调节后得到定子交轴分量  $i_q$  的给定值。电流环为内环,同时也是双环结构,其给定值分别经过 Clark 变换、Park 变换的反馈电流值进行比较,并经过 PI 调节后,经过 Park 逆变换,输出电压的交、直轴分量( $U_q, U_d$ ),然后进行空间矢量脉宽调制 SVPWM 调制计算出 PWM 的占空比,从而控制逆变器的输出电压。为实现调速运行,需要以 PID 调试模块计算 PWM 比较寄存器的值。全部算法以 20 kHz 的频率运行,并于每个 PWM 周期刷新 PWM 占空比。第二台电机重复此过程,实现以单一 DSP 控制器提供双电机独立驱动的完整控制。

#### 3.1.2 电机定位角学习

在实际装配过程中,永磁同步电机存在偏差,



运行速度,达到慢速开关门状态,提醒使用人员门机处于单电机故障保护状态。

## 4 电机选型及门机机械设计

### 4.1 永磁同步电机选型

永磁同步电动机(PMSM)的转子是用永磁体代替普通同步机的励磁绕组,从而省去了励磁线圈、滑环和电刷<sup>[9]</sup>。

电机初步选用某专门为门机驱动生产的永磁同步电机,电机参数如表3所示。

表3 永磁同步电机参数表

参数名	参数值	参数名	参数值
额定功率/W	200	极对数	4
额定电压/V	125	绝缘等级	F
额定电流/A	1.6	带轮直径/mm	56
额定转矩/Nm	8.5	额定转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	225
额定频率/Hz	15	工作制	S3on6Soff9S

永磁同步电机与磁编码器在电机的后端盖处集成,并且在电机侧面用引出线引出。电机采用正方形结构方便安装固定,在机壳上设计散热槽。

### 4.2 门机机械设计

为了平衡轿厢左右侧的重量,一驱双控永磁变频门机采用左右对称结构设计。门机控制器设计在门头的最上部偏右侧,以方便调试以及维修。侧面以扁平设计为主,通过减少门机的侧面厚度来增加轿顶站人空间。

一驱双控永磁变频门机采用中分结构,净开门宽度为800 mm~1 400 mm,开门高度为2 100 mm~3 000 mm。机械设计图如图5所示。

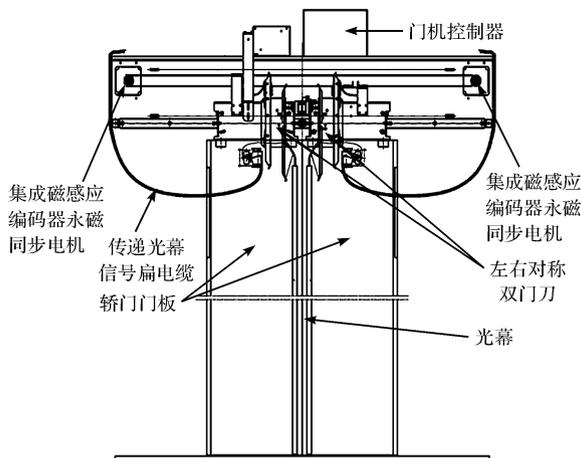


图5 一驱双控永磁同步门机机械设计图

门机采用一个门机控制器驱动2台永磁同步电机,电机之间通过同步带相连,同步带与门挂板组件直接连接驱动轿门门板。每一个轿门门挂板组件与防扒异步门刀直接相连,与门挂板同步运动,通过门刀作用带动层门门锁上的门球使得轿门与层门一起做水平开门运动。安装在轿门门板上的光幕信号电源线通过窄型带与轿顶接线箱相连。

## 5 实验及结果分析

根据整体设计图,本文制作了一台测试样机。样机采用中分结构,开门宽度1 400 mm,开门高度2 400 mm,整体重量达320 kg。门机运行曲线采用PMT和EVA-625进行测量和分析。

双电机工作下门机开关门曲线如图6所示。

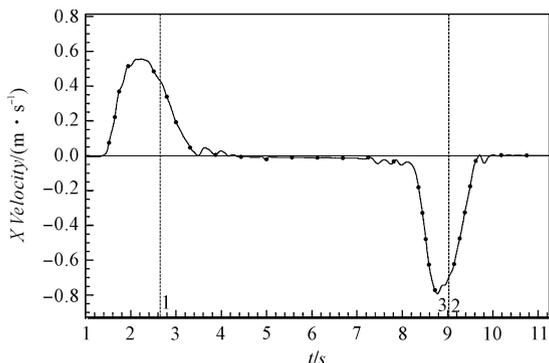


图6 双电机工作下门机开关门曲线

图6中,前半段曲线为关门运行速度曲线,后半段为开门运行速度曲线,关门时间为2.4 s,开门时间为1.9 s。开门最高速度为750 mm/s,关门速度人为设置最高为550 mm/s。

当其中一台电机出现故障时,会自动切换为单电机工作的状态,此时会将电机的最高运行速度,限制在最高400 mm/s,通过降低开关门的速度以及延长关门到位阶段的低速运行距离达到减速的目的。

双电机工作下实际门机开关门曲线,与理论开关门曲线比较,曲线能够满足理论曲线的要求,加减速平稳、过渡圆滑。

## 6 结束语

通过对国内外电梯门机控制技术以及永磁同步技术进行研究,本文研发了一款匹配高速梯甚至超高速梯使用的一驱双控永磁变频门机系统。该系统具有以下特点:

(1)门机采用“一驱双控”的控制方式,并采用全矢量闭环控制,开关门速度快且运行平稳,无撞门现象,电梯运行效率高;

(2)采用磁感应编码器,并与控制器之间采用 SPI 通讯方式,精度为 4 096 pulse;磁感应编码器与永磁同步电机一体设计,提高了可靠性;

(3)采用交叉耦合控制,满足了高速电梯效率高、平稳性好的要求;

(4)当出现单台电机故障时,能够自动切换成单电机运行模式;

(5)编码器受到干扰或者输入电压不稳定造成门机控制器报故障,能够在间隔 3 s 后自动尝试复位,并且记录故障;

(6)采用双门刀结构,运行更加平稳,同时也减少了单把刀片的负荷强度以及钢丝绳传动时的噪音;

(7)层门装置采用双门锁结构,增加了高速电梯的安全性。采用了双层及回型结构门板,有效避免风压的影响。

#### 参考文献 (References):

[1] 陈 言. 日立电梯:用创新驱动智能制造[J]. 经济,2016

(19):92-95.

[2] 威特电梯部件(苏州)有限公司,威特应用于高速梯的门系统[J]. 中国电梯,2011(22):56-59.

[3] 陈 忠,吴 靛. 基于 DSP 的双电机同步控制系统在中小电站中的应用方案[J]. 中国农村水利水电,2010(8):149-151.

[4] 李 铮. 基于 DSP 的直流电机双电机同步控制系统设计[J]. 科技创业,2012(5):190-192.

[5] 国家标准化工作委员会. GB/T10058-2009 电梯技术条件[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[6] 姚云峰,孙晓慧,浅谈永磁同步门机控制系统设计与改进[J]. 机电一体化,2014(4)13,14,20.

[7] TexasInstrument Inc.. TMS320F2810, TMS320F2811, TMS320F2812, TMS320C2810, TMS320C2811, TMS320C2812 Piccolo Micro controllers [EB/OL] [2011-01-01] <http://www.ti.com>.

[8] 黎永华,皮佑国,基于磁定位原理的永磁同步电机转子初始位置定位研究[J]. 电气传动,2010(3):28-31.

[9] 邹新伟,张敏刚,张 刚,等. 稀土永磁材料的研究进展[J]. 科技情报开发与经济,2008,18(12):113-115.

[编辑:李 辉]

#### 本文引用格式:

姚云峰,罗伟良,王 宇,等. 一驱双控永磁变频门机系统的设计与研究[J]. 机电工程,2019,36(3):327-332.

YAO Yun-feng, LUO Wei-liang, WANG Yu, et al. Permanent magnet variable-frequency door system by one driver dual control[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36(3):327-332.

《机电工程》杂志:<http://www.meem.com.cn>