

# 光电搜索跟踪系统中电机性能的校核方法

金刚石, 王 斯

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

**摘 要:**提出了一种光电搜索跟踪系统中电机性能的校核方法,这种方法是将电机工作区域与负载工作区域叠加,利用两区域的包含关系来判断电机是否满足负载的使用要求。该方法弥补了传统的电机性能校核方法的不足——当负载运行到某些极端情况时,可能导致电机无法达到技术要求的问题。该方法应用简单,并且较传统的电机性能校核方法更完善、更可靠。

**关键词:**电机;电机性能;性能校核

**中图分类号:**TP202   **文献标识码:**A   **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2019.08.011

## Checking method of motor performance in electro-optical search and tracking system

JIN Gang-shi, WANG Si

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

**Abstract:** A method to check the performance of the motor in the photoelectric search and tracking system is presented in this paper. In this method, the motor working area is superimposed with the load working area, and the inclusion relation between the two areas is used to judge whether the motor meets the requirements of the load. This method makes up for the deficiency of the traditional motor performance checking method. When the load runs to some extreme conditions, it may lead to the motor cannot meet the technical requirements. The method is simple, and is more perfect and reliable than the traditional motor performance checking method.

**Key words:** motor; motor performance; performance checking

### 1 引 言

光电搜索跟踪系统一般都会提出若干动态性能要求,如角度定位精度、角度定位时间、转速控制精度、转速调整时间、最低平稳转速等,这些指标中角度定位时间和转速调整时间受电机性能的影响比较大,在具体工程设计中需要对其进行校核,本文以永磁直流力矩电机为例分析电机性能的校核方法。

在闭环伺服控制系统中,角度定位时间和

转速调整时间都是对应环路的阶跃响应时间,即位置环阶跃响应时间和速度环阶跃响应时间。

传统的校核方法仅仅校核了电机的峰值力矩与最高转速是否满足上述动态过程所需的最大力矩与最高转速,这种校核方法存在漏洞,容易误判,本文创新性地使用了电机工作区域与负载工作区域的包含关系对电机的性能进行校核,其结论比传统方法更加完善与可靠。

**作者简介:** 金刚石(1979-),男,工程硕士,高级工程师,主要从事控制器的设计与相关控制理论的研究,伺服控制系统的设计与惯性稳定系统的设计。E-mail: chinajgs@163.com

**收稿日期:** 2018-11-13

### 2 电机的机械特性

永磁直流力矩电机的固有机械特性曲线比较简单,在“转速—力矩”图中为一直线,如图1所示<sup>[1]</sup>。

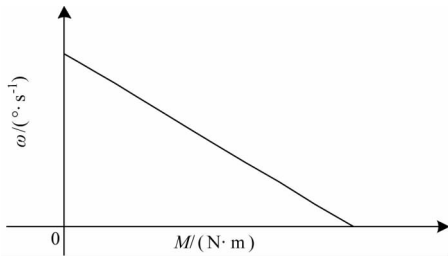


图1 永磁直流力矩电机的固有机械特性  
Fig.1 Inherent mechanical characteristics of permanent magnet DC torque motor

降压调速过程中的机械特性曲线为一组平行线,其工作区域主要由空载转速、峰值力矩和额定电压决定,如图2所示,电机的空载转速、峰值力矩和额定电压可以在电机的使用手册中获得。

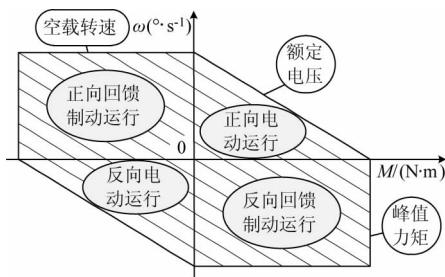


图2 降压调速的特性曲线平移与工作区域  
Fig.2 Characteristic curve translation and working area of step-down speed regulation

### 3 负载的机械特性

负载的机械特性由光电搜索跟踪系统的动态性能要求决定,现以角度定位时间(位置环阶跃响应时间)和转速调整时间(速度环阶跃响应时间)为例进行模型的简化与分析。

在机械旋转运动过程中,角加速度(力矩)可以突变(忽略电机的电气时间常数),而角速度和角度由于物体存在惯性都不可能突变,因此要求简化的模型中“角度—时间”函数二阶可导或者“角速度—时间”函数一阶可导。

因此,位置环的阶跃响应一般选取如图3所示的正余弦函数过渡,速度环的阶跃响应一般选取如图4所示的正余弦函数过渡。图3与图4中,A为正余弦函数的幅值,T为正余弦函数的周期,前一半时间为上升时间,后一半时间为达到所需精度的稳定时间(可根据精度水平酌情调整)<sup>[2]</sup>。

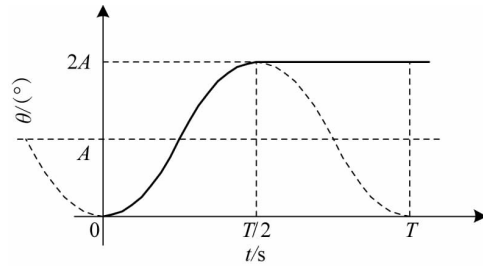


图3 位置环的阶跃响应

Fig.3 Step response of position loop

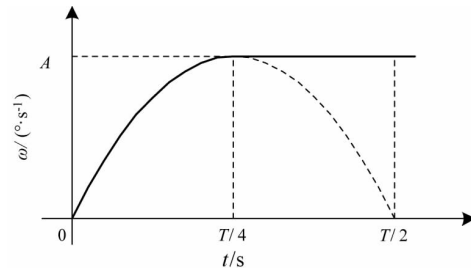


图4 速度环的阶跃响应

Fig.4 Step response of velocity loop

确定了简化的“角度—时间”函数(图3)或者“角速度—时间”函数(图4)后,利用角度、角速度、角加速度的微积分关系即可求得负载的最大角速度和最大角加速度,最大角加速度与负载转动惯量的乘积即为负载运动过程中所需的最大惯性力矩。

最后取所有情况下(光电搜索跟踪系统还可能还有其他特殊要求)的最大角速度和最大力矩绘制负载的极限机械特性曲线。其中最大力矩需考虑以下三个方面并留有适当的设计余量:

- ①惯性力矩——主要与转动惯量和负载最大角加速度有关。
- ②摩擦力矩——主要包括轴承摩擦、电刷摩擦、动密封摩擦等。
- ③不平衡力矩——主要与重力和质量不平衡偏心距离有关。

令负载按照最大角速度和最大力矩做正余弦摆动,则负载的极限机械特性曲线在“转速—力矩”图中为一椭圆,如图5所示的椭圆边界。负载正常工作时,其工作区域为椭圆内部(包含边界)区域,如图5所示的阴影区域。

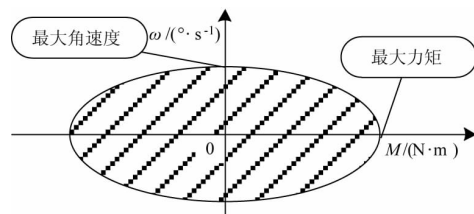


图5 负载的极限机械特性曲线与工作区域

Fig.5 Ultimate mechanical characteristic curve and working area of load

### 4 电机性能的校核

将电机的工作区域与负载的工作区域绘制到一幅图中,如图6所示,若负载的工作区域落入电机的工作区域内,则电机可满足负载的基本性能需求,否则系统性能无法实现。

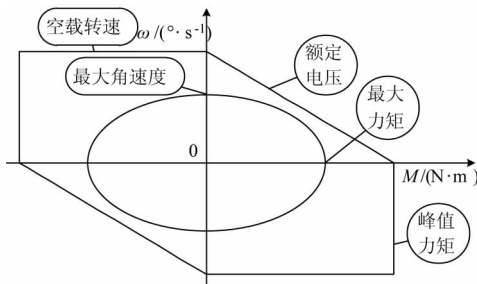


图6 电机与负载工作区域的叠加

Fig. 6 Superposition of motor and load working area

如果在叠加图中出现了如图7所示的情况,则传统的校核方法会误判,具体工程实施时会因为无法提高电机供电电压而导致无法实现光电搜索跟踪系统所要求性能。

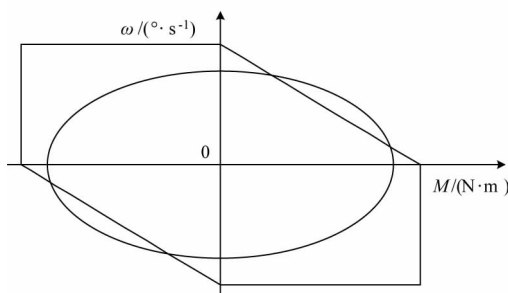


图7 存在问题的区域叠加

Fig. 7 Regional superposition of existing problems

### 5 计算实例

某光电搜索跟踪系统性能指标要求  $0^\circ \sim 120^\circ$  阶跃时间为  $1\text{ s}$ ,  $0^\circ/\text{s} \sim 120^\circ/\text{s}$  阶跃时间为  $0.2\text{ s}$ 。已知转动惯量(包括转轴、轴承、电机转子、编码器码盘和负载)  $J = 3\text{ kg} \cdot \text{m}^2$ , 摩擦阻力矩(包括轴承摩擦力矩、有刷电机摩擦力矩、滑环转动最大阻力矩)  $M_f = 1\text{ N} \cdot \text{m}$ , 不平衡力矩  $M_g = 0.1\text{ N} \cdot \text{m}$ 。预选电机峰值力矩  $90\text{ N} \cdot \text{m}$ 、最高转速  $125\text{ rpm}$ , 其机械特性曲线如图8所示。

位置环阶跃响应曲线如图9所示,则曲线函数近似表达为  $\theta = 60 \sin(\pi t - \frac{\pi}{2}) + 60$ 。对该函数求一阶导得最大角速度  $|\omega|_{\max} \approx 188^\circ/\text{s}$ , 对该函

数求二阶导得最大角加速度  $|\varepsilon|_{\max} \approx 592^\circ/\text{s}^2$ , 所以惯性力矩  $M_I = J|\varepsilon|_{\max} \approx 31\text{ N} \cdot \text{m}$ 。预留  $20\%$  余量, 负载最大力矩  $M_A = (M_I + M_f + M_g) \times 1.2 \approx 39\text{ N} \cdot \text{m}$ 。速度环阶跃响应曲线如图10所示, 则曲线函数近似表达为  $\omega = 120 \sin(2.5\pi t)$ 。对该函数求导得最大角加速度  $|\varepsilon|_{\max} \approx 942^\circ/\text{s}^2$ , 所以惯性力矩  $M_I = J|\varepsilon|_{\max} \approx 49\text{ N} \cdot \text{m}$ 。预留  $20\%$  余量, 负载最大力矩  $M_A = (M_I + M_f + M_g) \times 1.2 \approx 61\text{ N} \cdot \text{m}$ 。综上, 绘制出预选电机与负载工作区域叠加图, 如图11所示。预选电机峰值力矩  $90\text{ N} \cdot \text{m}$ 、最高转速  $125\text{ rpm}$ , 大于负载最大力矩和最大角速度, 其机械特性曲线完全覆盖了负载的机械特性曲线, 能够满足负载全状态运行的功率需求, 满足使用要求。

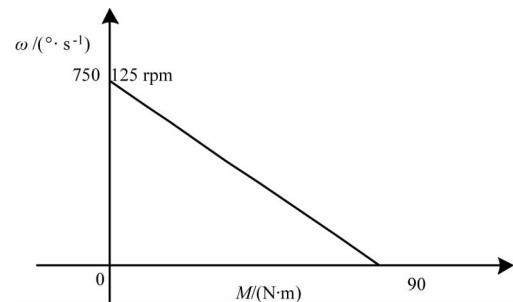


图8 存在问题的区域叠加

Fig. 8 Regional superposition of existing problems

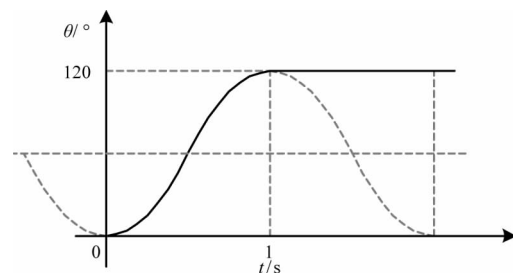


图9  $0^\circ \sim 120^\circ$  阶跃响应曲线

Fig. 9 Step response curve from  $0^\circ$  to  $120^\circ$

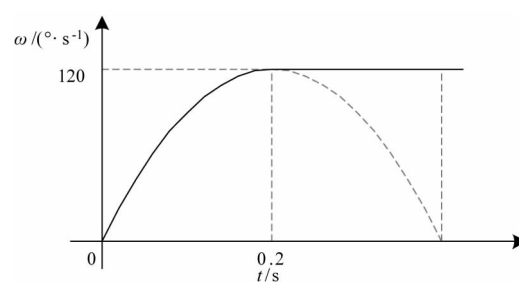


图10  $0^\circ/\text{s} \sim 120^\circ/\text{s}$  阶跃响应曲线

Fig. 10 Step response curve from  $0^\circ/\text{s}$  to  $120^\circ/\text{s}$

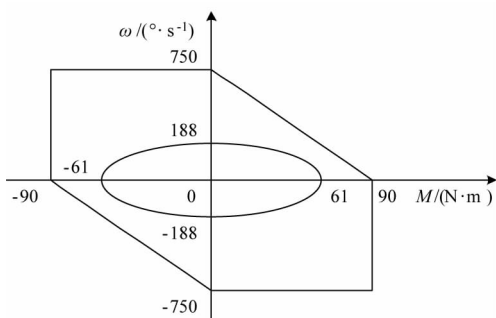


图 11 预选电机与负载工作区域的叠加

Fig. 11 Superposition of preselected motor and load working area

## 6 结论

本文所提出的光电搜索跟踪系统中电机性能的校核方法最终可以通过图形直观地判断出电机性能是否满足负载的使用要求,应用简单,同时避

免了传统的电机性能校核方法所存在的漏判、误判问题,该方法较传统的电机性能校核方法更加完善与可靠。

## 参考文献:

- [1] Li Fahai, Wang Yan. Fundamentals of electric machinery and drive[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999. (in Chinese)  
李发海,王岩. 电机与拖动基础[M]. 北京:清华大学出版社,1999.
- [2] Zou Bomin. Automatic control theory[M]. Beijing: China Machine Press, 2007. (in Chinese)  
邹伯敏. 自动控制理论[M]. 北京:机械工业出版社,2007.