

# 卷取机转动惯量测量的新方法

安连祥<sup>1</sup>, 杨毅<sup>1</sup>, 唐建芳<sup>2</sup>, 蔡召君<sup>2</sup>

(1. 河北工业大学 电气与自动化学院, 天津 300130;

2. 北京北整意安机电设备有限公司, 北京 102628)

**摘要:**在可逆冷轧机组的电气控制中,当主机加减速时,补偿加减速造成的动态力矩对张力的影响,避免张力的振荡,是一个关键的技术。介绍了一种卷取机转动惯量计算的新方法,利用该方法可方便地计算出动态补偿力矩,可以满足薄带张力稳定性要求较高场合下张力的动态补偿及惯量补偿。经过实际的生产运行证明,该系统张力控制稳定,运行可靠,克服了薄带容易断带的现象,提高了成品率。

**关键词:**动态惯量补偿;动态力矩;张力控制

**中图分类号:** TG3332 **文献标识码:** A

## New Method of Calculating Inertia Moment of Coiler

AN Lian-xiang<sup>1</sup>, YANG Yi<sup>1</sup>, TAN G Jian-fang<sup>2</sup>, CAI Zhao-jun<sup>2</sup>

(1. Electrical and Automation Institute, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

2. NEWBRP Electrical Equipment Co., Ltd, Beijing 102628, China)

**Abstract:** Compensating the dynamic moment which is caused by speeding up or slowing down of main master is a key technology for cold reversing mill control system. This article introduced a new method of calculating inertia moment of coiler. Dynamic moment compensation is calculated conveniently using this method. It can satisfy the dynamic and inertia compensation of tension in the situation which demands high stability of thin strip tension. This tension control system is proved reliable and steady by realistic producing. It overcomes the thin strip break and increases the ratio of finished product.

**Key words:** dynamic inertia compensation; dynamic moment; tension control

## 1 引言

在可逆冷轧机组的电气控制中,卷取张力的控制极为重要。对于卷取机张力控制系统的控制性能来说,在主机加减速时,如何补偿加减速造成的动态力矩对张力的影响,避免张力的振荡,是一个必须要注意的问题。

因此,为保证带材加减速时的张力控制精度,动态补偿力矩的计算是必不可少的,动态补偿力矩为

$$M = J \cdot \frac{d}{dt} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1)$$

从式(1)可看出,动态补偿力矩的准确性除了依赖加速度的给定精度等因素外,还取决于机械设备的转动惯量的准确性。电机轴上总的转动惯量可以分为两部分。一部分为固定不变的 $J_f$ ,它等于电机的转动惯量及卷筒轴上的转动惯量转化

到电机轴上的部分。另一部分为可变的转动惯量 $J_v$ ,它等于钢卷的转动惯量等效到电机轴上的部分。即:

$$J = J_f + J_v$$

由于目前广泛采用了全数字传动技术,钢带加速度的大小及补偿时机等都可满足要求,而对于设备的转动惯量 $J$ ,如果不测量的话,主要取决于设备设计者所给出的数值,所给数值在计算中或进行简化计算,或省略一些小部件,最终只是一个近似值,必需进行校验。在许多电气改造项目中转动惯量值无法得知,所以为保证动态补偿精度,在现场需要对转动惯量进行测量。由于广泛采用了全数字传动技术,原始数据测量方便,精度高且已数字化。另外,要求现场调试时间比较短,面对新技术新情况,原来的一些方法已显得不方便了,作者结合实际工作经验,提出一个新方法。卷取机传动结构示意图如图1所示。

作者简介:安连祥(1946-),男,教授,Email:zago001@163.com

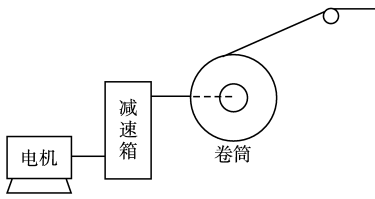


图1 卷取机传动结构示意图  
Fig.1 Structure of coiler drive

## 2 固定转动惯量的测量

### 2.1 测量原理

对于单轴电机拖动系统,当电机的转矩作用于这一系统时,根据力学定律可知,电机的转矩  $M_{dc}$  除了克服运动系统的静阻转矩  $M_{fz}$  外,还使整个系统沿着电动机转矩  $M_{dc}$  的作用方向,产生角加速度  $d / dt^{[1]}$ 。而角加速度的大小与旋转体的转动惯量  $J$  成反比<sup>[2]</sup>。这种关系可用方程式表示为

$$M_{dc} - M_{fz} = J_f \cdot \frac{d}{dt} = M_g \quad (2)$$

式中:  $M_{dc}$  为电动机拖动转矩,  $N \cdot m$ ;  $M_{fz}$  为负载静阻转矩,  $N \cdot m$ ;  $J_f$  为单轴传动系统的转动惯量,  $kg \cdot m^2$ ;  $d$  为角速度,  $1/s$ ;  $t$  为时间,  $s$ ;  $M_g$  为惯性转矩,  $N \cdot m$ 。

式(2)可变形为

$$(M_{dc} - M_{fz}) \cdot t = J_f \cdot (\omega_1 - \omega_0) \quad (3)$$

我们认为静阻转矩  $M_{fz}$  是不变的,通过式(3),可以用两个不同的电机转矩  $M_{dc1}$  和  $M_{dc2}$  就能计算出单轴转动系统的固定转动惯量  $J_f$ 。即:

$$(M_{dc1} - M_{fz}) \cdot t = J_f \cdot (\omega_1 - \omega_0)$$

$$(M_{dc2} - M_{fz}) \cdot t = J_f \cdot (\omega_2 - \omega_0)$$

两式消去未知量  $M_{fz}$ ,可以得到:

$$J_f = (M_{dc1} - M_{dc2}) \cdot t / (\omega_1 - \omega_2) \quad (4)$$

利用式(4),就可以计算出单轴转动系统的固定转动惯量  $J_f$  的具体数值。

### 2.2 具体计算方法

对于卷取来说,其转动部分包括卷取电机,减速齿轮箱和卷筒3个部分。对其转动惯量的测量,我们采取的方法是:首先在空载状态下,给卷取机电机施加一个力矩给定  $M_{dc1}$  (一般为电机额定转矩的15%左右),持续  $t$  时间,给定力矩的数值在电机工作过程中保持不变。这样电机在转矩给定为  $M_{dc1}$  的情况下,在  $t$  时间内从零速加速到速度  $\omega_1$ ,记录电机在  $t$  时刻的速度  $\omega_1$ 。因为

我们所需要的  $t$  值为卷取机的加速时间,所以要注意  $M_{dc1}$  和  $t$  的选择,使卷取机不能在  $t$  时间内加速到基速。

然后待卷取机停稳后,给卷取机电机施加一个力矩给定  $M_{dc2}$  (一般为电机额定转矩的10%左右),持续  $t$  时间,给定力矩的数值在电机工作过程中保持不变。这样电机在转矩给定为  $M_{dc2}$  的情况下,在  $t$  时间内从零速加速到速度  $\omega_2$ ,记录电机在  $t$  时刻的速度  $\omega_2$ 。

这样就可以利用式(4)计算出该卷取机的转动惯量

$$J_f = (M_{dc1} - M_{dc2}) \cdot t / (\omega_1 - \omega_2)$$

## 3 可变转动惯量的测量

可变的转动惯量  $J_v$  等于钢卷的转动惯量等效到电机轴上的部分。而钢卷可以近似地看成一个空心的圆柱体,它绕轴线的转动惯量可用空心圆柱体绕轴线的转动惯量来表示,以钢卷的紧密系数  $s$  来修正( $s$  一般取 0.85 ~ 0.90)<sup>[3]</sup>。钢卷卷径示意图如图2所示。

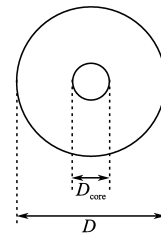


图2 钢卷卷径示意图

Fig.2 Graph of coil diameter

在获得瞬时钢卷卷径值  $D$  后,根据下面的公式进行实时计算,就可以得到卷取传动系统转动惯量的可变部分  $J_v$ 。

实心卷筒转动惯量为

$$J = \frac{m}{8 \times 10^6} \cdot D^2 = \frac{b \cdot s}{32 \times 10^{12}} \cdot D^4$$

而空心卷筒转动惯量为

$$J_v = \frac{b \cdot s}{32 \times 10^{12}} \cdot (D^4 - D_{core}^4) \quad (5)$$

将式(5)得到的空心卷筒转动惯量用钢卷的紧密系数  $s$  加以修正,再折算到电机轴上得到卷取传动系统转动惯量的可变部分  $J_v$ 。

$$J_v = \frac{b \cdot s}{32 \times 10^{12} \times i^2} \cdot (D^4 - D_{core}^4)$$

式中:  $m$  为钢卷质量,  $kg$ ;  $b$  为带钢宽度,  $mm$ ;  $i$  为  
(下转第53页)

监控程序采用西门子监控组态软件 WINCC 编程环境,根据系统设备结构和监控要求设计了监控系统主画面、变配电监控画面、变频调速监控画面、油冷系统监控画面、风冷系统监控画面、阻尼控制系统监控画面。

主画面简单、实时、直观显示动力系统所有设备状态和重要的系统信息,是监控系统人机接口的主要界面。

输入输出画面查询 PLC 模块与系统设备对应联系的所有输入输出点的状态。

故障报警画面将系统所有报警、故障进行分类并显示、便于报警或故障时查询故障点,同时通过故障报表查询历史故障信息。

数据报表包括试验信息和系统数据信息,供查询和打印。其中定子温度、推力瓦温度、机架导瓦温度、机架油温分别取相同类型各温度的最大值。

## 5 结束语

Ø5 m 立式风洞动力监控系统自投入使用至今已 2 年多,系统一直工作正常,未出现过任何故障,表明系统是稳定可靠的,设计是成功的。该系统属于典型的 FCS 系统(代表工业过程控制最前沿的现场总线控制系统),其成功应用为 S7-400 PLC 在风洞电气传动中的应用提供了一个很好的参考。

### 参考文献

- 1 西门子公司. WinCC5.0 技术手册,2001.
- 2 西门子公司. 使用 STEP7 V5.3 编程手册,2004.

收稿日期:2007-08-02

修改稿日期:2007-10-06

(上接第 42 页)

带钢密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $D_{\text{core}}$  为卷筒直径,  $\text{mm}$ ;  $s$  为钢卷的紧密系数;  $i$  为减速箱传动比。

## 4 实现方法与应用效果

本项目系统采用西门子 SIMATIC S7-400 作为基础控制器件,专门编写了程序功能块 FB1 来计算卷取机的转动惯量,此功能块设有自己的输入输出参数,通过改变参数对其循环调用,使其按公式计算出当前的转动惯量  $J$ ,固定转动惯量  $J_f$  以及可变转动惯量  $J_v$ 。程序块如图 3 所示。

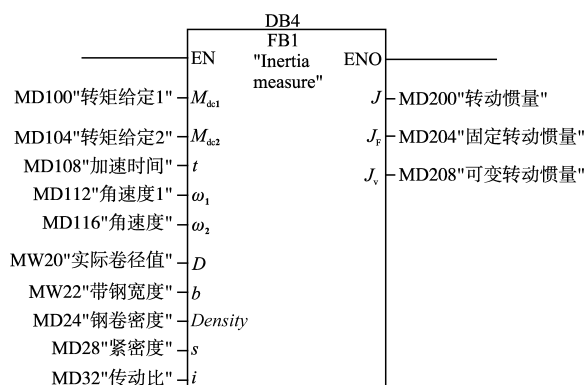


图 3 转动惯量计算程序功能块

Fig. 3 Inertia measure function block

该转动惯量的测量方法与 2006 年 12 月应用于江苏某集团 1450 可逆冷轧机的控制系统中。应用该方法之前,用转动惯量近似值对卷取张力

进行补偿,卷取张力的精度大约在  $\pm 5\%$ 。根据该方法计算出的转动惯量的数值,在加减速时对卷取机卷取张力进行动态补偿,卷取张力稳定在  $\pm 3\%$  以内,张力的精度较应用该方法前有一定的提高,且张力稳定性好,克服了以往薄带卷取时容易断带的现象,提高了成品率。实际控制效果如图 4 所示。该卷取机惯量转矩测量的新方法,解决了以往卷取机转动惯量难以测量的状况,用该方法计算出的卷取机转动惯量的数值准确,满足了加减速时卷取机卷取张力动态补偿的要求。

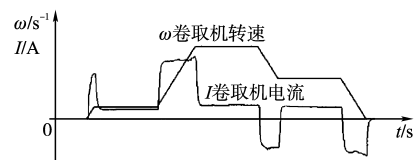


图 4 实际转速 - 电流曲线

Fig. 4 Speed - current curve

### 参考文献

- 1 宋银宾. 电机拖动基础[M]. 北京:冶金工业出版社,1999:58 - 65.
- 2 孙瑞均. 转动惯量的测定[J]. 冶金自动化,1995(6):16 - 19.
- 3 西门子公司. T-400 工艺板使用手册. 2006:41 - 45.

收稿日期:2007-03-05

修改稿日期:2007-10-24