

·经验交流·

计算卷取机动态转矩的新方法

杨泽伟¹, 安连祥², 王会丰², 高丽萍²

(1. 中国核电工程有限公司 采购部, 北京 100840; 2. 河北工业大学)

摘要:在连续冷轧机组的电气控制中,当卷取机加减速时,补偿加减速造成的动态转矩对张力的影响,避免张力振荡,是一个关键技术。本文介绍了一种卷取机动态转矩计算的新方法,该方法不但简化了动态转矩的计算过程,提高了转动惯量的计算精度,而且计算过程的参数不再依赖于设备设计者所给出的参数。实际生产运行表明,采用该方法对动态转矩进行计算并补偿后,卷取机张力稳定,运行可靠,克服了以往薄带容易断带的现象,提高了成品率。

关键词:冷连轧机;张力控制;动态转矩;转动惯量

中图分类号: TG334.9 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-7059(2009)03-0066-03

A new calculation method of dynamic torque of coiler

YANG Ze-wei¹, AN Lian-xiang², WANG Hui-feng², GAO Li-ping²

(1. Purchasing Department of China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Beijing 100840, China;

2. Hebei University of Technology)

Abstract: Coiler tension is influenced by dynamic torque which is produced while accelerating or decelerating. So compensation for dynamic torque to avoid tension vibration is a key technique in electrical control of cold continuous rolling mill. A new calculation method of dynamic torque of coiler is introduced. The method simplifies calculation process of dynamic torque and improves calculation accuracy of inertia moment, and it does not need the parameters given by coiler designers. In practical production, dynamic torque was calculated and compensated, so that tension of coiler was stable and operation was reliable, thin strip breaking has been eliminated, and yield was improved.

Key words: cold continuous rolling mill; tension control; dynamic torque; inertia moment

0 引言

在带钢连续轧制过程中,卷取机起着十分重要的作用,它不仅要收集轧制成品,保证轧制的连续进行,而且卷取机张力控制精度直接影响成品的板形及厚度公差,从而影响产品质量。由于卷取机部分没有张力检测设备,因此卷取机张力控制一般采用间接张力控制方法,卷取机张力稳定与否主要取决于卷取机电机的转矩给定精度。

当卷取机角速度发生变化时,由于转动惯量 J 的存在,会产生动态转矩,如何准确补偿动态转矩对张力的影响,避免张力发生振荡,是十分重要

的。动态转矩^[1]为:

$$T = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (1)$$

式中, T 为动态转矩; ω 为角速度; t 为时间。

动态转矩的补偿精度主要由两方面决定,第一,动态转矩的计算精度;第二,补偿时机的准确性。由于目前广泛采用了全数字传动技术,补偿时机是可以满足要求的,关键在于如何准确计算动态转矩。从式(1)中可看出,动态转矩主要取决于卷取机的角加速度 $\frac{d\omega}{dt}$ 和其转动惯量 J 。通过全

数字传动技术我们可以准确地得到卷取机的角加速度,所以动态转矩的补偿精度很大程度上取决于卷取机转动惯量 J 的计算精度。

电动机轴上的总转动惯量可以分为两部分:一部分为可变转动惯量 J_v ,等于钢卷的转动惯量等效到电动机轴上的部分;另一部分为固定转动惯量 J_f ,等于电动机、减速机及卷筒自身的转动惯量等效到电动机轴上的部分。即:

$$J = J_v + J_f \quad (2)$$

1 可变转动惯量的计算

以往工程中主要是根据下面的公式计算卷取机的可变转动惯量 J_v :

$$J_v = \frac{\pi b \rho s}{32 \times 10^{12} i^2} (D^4 - D_{core}^4) \quad (3)$$

式中, b 为带钢宽度; ρ 为带钢自身密度; s 为钢卷的紧密系数; D 为实时卷径; D_{core} 为卷筒直径; i 为减速比。

这种方法有一定局限性,原因是钢卷的紧密系数 s 只能根据经验给定,而且设定后一般不变,但实际中紧密系数 s 会受到板厚、板形、卷取机张力等多种因素的影响,其数值是变化的。这会严重影响可变转动惯量 J_v 的计算精度。因此,作者结合实践经验,提出了一种新的可变转动惯量 J_v 的计算方法。

1.1 计算原理

卷取机上的钢卷是一个空心圆柱体,可以将其看成由两个实心圆柱体钢卷组成,内圆柱体的转动惯量 J_1 取负值,外圆柱体的转动惯量 J_2 取正值,且内外圆柱体的密度相等,即^[1]:

$$J_{v1} = J_2 - J_1 = \frac{1}{2} m_2 R_2^2 - \frac{1}{2} m_1 R_1^2 \quad (4)$$

式中, J_{v1} 为钢卷的可变转动惯量; m_1, m_2 分别为内外圆柱体钢卷的质量; R_1, R_2 分别为内外圆柱体钢卷的半径。

由于带钢之间有缝隙,整个钢卷密度 ρ_s 不再简单等于带钢自身密度 ρ ,所以不能用带钢密度乘以体积的方法来计算圆柱体钢卷的质量,但是在轧制前后带钢质量不会改变,这样就可以通过轧机入口流入的带钢质量计算卷取机上的实际带钢质量,如下式所示:

$$m_s = \rho b h l \quad (5)$$

式中, m_s 为卷取机上带钢的质量; l 为轧机入口流入带钢的长度; h 为带钢厚度。

因为:

$$\begin{cases} m_s = m_2 - m_1 \\ \frac{m_1}{m_2} = \frac{\rho_s v_1}{\rho_s v_2} = \frac{R_1^2}{R_2^2} \end{cases} \quad (6)$$

式中, v_1, v_2 分别为内外圆柱体的体积。

因此由式 (5) 和式 (6) 可以解得:

$$\begin{cases} m_1 = \frac{\rho b h l R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \\ m_2 = \frac{\rho b h l R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \end{cases} \quad (7)$$

又因为空心圆柱体钢卷的转动惯量折算到电动机轴上的关系为:

$$J_v = \frac{J_{v1}}{i^2} \quad (8)$$

所以,通过式 (4), (7) 和 (8) 可以得出:

$$J_v = \frac{1}{2 i^2} \rho b h l (R_1^2 + R_2^2) \quad (9)$$

1.2 实现方法

利用上述原理编写程序功能块 FB6 计算卷取机的可变转动惯量 J_v , 如图 1 所示。取轧机入口张力辊处的带钢流量作为轧机入口流量, 利用张力辊编码器的脉冲反馈测得流入卷取机原料带钢总长度 l , 根据卷取机线速度和角速度之比计算卷径, 再通过以太网上的工控机得到 ρ, b, h 和 i , 把上述参数一一对应地赋值到功能块 FB6 的输入端口, 功能块会自动根据式 (9) 实时准确地求得 J_v 。

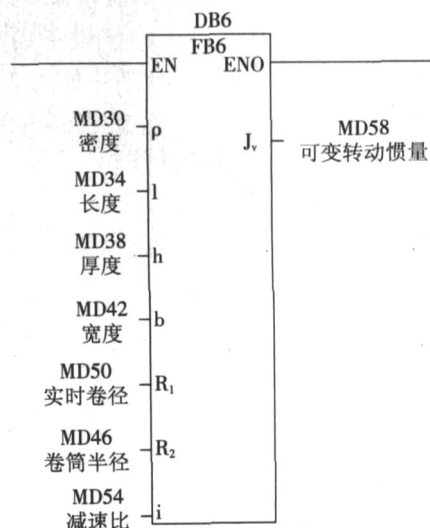


图 1 可变转动惯量计算程度功能块

Fig. 1 Variable inertia measure function block

2 固定转动惯量的计算

2.1 计算原理

当卷取机在空载变速运动时,电动机的输出

转矩 T_{dc} 除了克服卷取机的静阻转矩 T_{fz} 外, 还使整个系统沿着电动机输出转矩 T_{dc} 的作用方向产生了角加速度 $d\omega/dt$ 。而角加速度的大小与卷取机的固定转动惯量 J_f 成反比。这种关系可用如下方程式表示^[2]:

$$T_{dc} - T_{fz} = J_f \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

对上式左右进行 $(0, t)$ 范围内的定积分, 可变形为:

$$(T_{dc} - T_{fz}) \cdot t = J_f \cdot (\omega_{tdc} - \omega_0) \quad (10)$$

式中, ω_0 , ω_{tdc} 分别为定积分下限 0 点和上限 t 点处的卷取机角速度。

我们认为静阻转矩 T_{fz} 是不变的, 通过式 (10) 可知, 如果有两个不同的电动机输出转矩 T_{dc1} 和 T_{dc2} , 就能计算出卷取机系统的固定转动惯量 J_f 。即:

$$(T_{dc1} - T_{fz}) \cdot t = J_f \cdot (\omega_{tdc1} - \omega_0)$$

$$(T_{dc2} - T_{fz}) \cdot t = J_f \cdot (\omega_{tdc2} - \omega_0)$$

两式相减可以得到:

$$J_f = (T_{dc1} - T_{dc2}) \cdot t / (\omega_{tdc1} - \omega_{tdc2}) \quad (11)$$

式中, ω_{tdc1} , ω_{tdc2} 分别为电动机输出转矩为 T_{dc1} 和 T_{dc2} 时卷取机在 t 时间的角速度。

利用式 (11), 就可以计算出转动系统的固定转动惯量 J_f 。该方法将卷取机电机、减速箱及卷筒作为一个整体考虑, 不再逐个计算, 极大简化了计算过程, 并有利于提高转动惯量 J_f 的计算精度, 同时计算中的参数不再依赖于设备设计者所给出的参数, 这一点在旧设备改造中极为有利。

2.2 实现方法

利用上述原理编写程序功能块 FB5 计算卷取机的固定转动惯量, 如图 2 所示。通过功能块 FB5 的输入端口 T_1 , T_2 和 t 设定转矩给定 1 和转矩给定 2 以及加速时间, 并将卷取机的角速度反馈连接到输入端口 w_f 上。在卷取机空载零速状态下, 调用功能块 FB5, 功能块通过输出端口 m 和 v 给卷取机电机施加转矩给定 T_{dc1} 和额定转速, 并自动计算、存储 t 时间时卷取机的角速度 ω_{tdc1} 。记录完毕后 m 和 v 端口的转矩给定和速度给定自动置 0, 卷取机自由停车, 待卷取机停稳后, 即角速度反馈 w_f 为 0 后, 给卷取机电机施加转矩给定 2 和额定转速, 同样计算并存储 t 时间点的卷取机角速度 ω_{tdc2} 。最后利用式 (10) 计算出固定转动惯量 J_f , 并通过输出端口 J_0 输出。在测试中注意 T_{dc1} , T_{dc2} 和 t 的选择, 要保证卷取机不能在 t 时间内加

速到额定转速以上。为了防止上述情况的发生, 我们对检测点在 t 时的角速度进行判断, 如果 ω_{tdc1} 和 ω_{tdc2} 中任何一个不小于卷取机额定转速的 95%, 我们就认为该次测试失败, 转动惯量输出口 J_0 置零并通过 $fault$ 端口输出一个测试失败的置位信号。

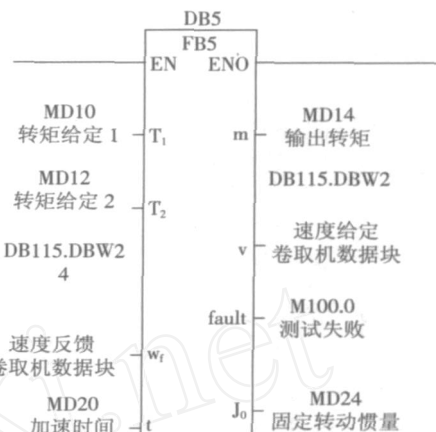


图 2 转动惯量计算程序功能块

Fig. 2 Constant inertia measure function block

3 应用效果

本项目以西门子 Simatic S7-400 作为控制核心, 采用意大利 Ansaldo 公司生产的 Silcopac D 系列 SPDM 全数字直流调速系统, 两者通过 Profibus 总线进行通信。通过上述方法计算出动态转矩后, 折算成相应的 SPDM 转矩调节器的转矩限幅值, 通过 Profibus 总线实时传送到 SPDM, 从而实现动态转矩的准确补偿。

该动态转矩的计算方法于 2007 年 10 月应用于福建某钢铁集团 1 250 mm 五机架连续冷轧机组的电气控制系统中。根据该方法计算卷取机的动态转矩并实时补偿后, 以往卷取机在加减速时张力波动大的问题得到了极大改善, 卷取机张力基本稳定在 $\pm 10\%$ 以内, 克服了薄带卷取时容易断带的现象, 提高了成品率。

参考文献:

- [1] 顾绳谷. 电动机拖动基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 6-18.
- [2] 孙瑞均. 转动惯量的测定 [J]. 冶金自动化, 1995, 19(4): 16-19.
- SUN Rui-jun. Measurement of inertia moment [J]. Metallurgical Automation Technology, 1995, 19(4): 16-19.

[编辑: 沈黎颖]