

斜井串车提升系统的故障诊断 ——异步电动机电磁转矩的检测

杜尚丰^① 曹克实 杨世凤 杨永
(中国农业大学电子电力工程学院) (辽宁工程技术大学)

摘要 介绍计算异步电动机电磁转矩的精确方法及电磁转矩在斜井提升系统故障诊断中的应用。对异步机的高度非线性模型进行坐标变换,使其转变为线性模型;在新坐标系下,给出计算转子磁通、电磁转矩的精确方法。构造了一个拟专家系统的知识库并运用在线计算的电磁转矩设计出一个掉道故障诊断系统。最后给出了现场运行的测试结果。

关键词 故障诊断;电机转矩;检测

中图分类号 TD552;TM343.3

Detection of AC Motor Magnetic Torque for Breakdown of Inclined Shaft Winding System

Du Shangfeng Cao Keshi Yang Shifeng Yang Yong
(College of Electronic and Electric Power Engineering, CAU) (Liaoning Engineering Technique University)

Abstract The precise method for calculating and detecting the AC motor magnetic rotor flux and torque is developed by changing the high-nonlinear to linear model via coordinate conversion. The knowledge base of pseudo expert system is proposed. Derailment fault diagnosis system is presented by using the magnetic torque on line. The site test results are given.

Key words breakdown diagnosis; AC torque; detection

从斜井开采出来的煤炭由串车运输到井外,其拖动电机是大功率绕线式异步电动机,调速采用绕线串联电阻方式,控制是人工手动操作。这种拖动系统的缺点是:调速串联电阻柜占庞大的空间,且每年损耗大量的电能;切换电阻时对电网的电压有影响;人工手动操作,经常出现故障,串车掉道,会造成重大人员伤亡及重大经济损失。文献[1,2]提出了一种诊断串车掉道的方案:在忽略电机的一些参数的条件下,把异步机的数学模型简化成低阶的线性模型,设计转矩观测器来诊断串车是否掉道。现场使用结果表明,由于此方案使用了速度传感器,而且忽略了一些参数,精度不能保证,所以诊断掉道的可信度有限。

现对该拖动系统进行改造:取消了原来的切换电阻柜,把调速方式改为变频调速。改造后的系统由主机(PC-486)、2台从机(MCS-51单片机系统)和异步绕线式电动机等组成。一台单

收稿日期:1997-07-20

①杜尚丰,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)63信箱,100083

片机用于构造无速度传感器的直接转矩控制变频系统^[3];另一台用于电机转矩的高精度检测。主机用于管理和故障诊断等。由于篇幅所限,变频部分略,这里重点阐述异步电动机转矩的观测及提升串车掉道故障的诊断方法。

1 异步电动机电磁转矩检测

1.1 异步机数学模型的变换

异步机 d - q 轴坐标系下的电压方程^[4]为

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{i}_1 \\ \mathbf{i}_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_1 &= [u_{d1} \quad u_{q1}]^T, \quad \mathbf{u}_2 = [u_{d2} \quad u_{q2}]^T \\ \mathbf{i}_1 &= [i_{d1} \quad i_{q1}]^T, \quad \mathbf{i}_2 = [i_{d2} \quad i_{q2}]^T \\ \mathbf{A}_{11} &= \begin{bmatrix} r_1 + pL_s & -\omega_r L_s \\ \omega_r L_s & r_1 + pL_s \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_{12} = \begin{bmatrix} pL_m & -\omega_r L_m \\ \omega_r L_m & pL_m \end{bmatrix} \\ \mathbf{A}_{22} &= \begin{bmatrix} r_2 + pL_r & -(\omega_1 - \omega_r)L_r \\ (\omega_1 - \omega_r)L_r & r_2 + pL_r \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_{21} = \begin{bmatrix} pL_m & -(\omega_1 - \omega_r)L_m \\ (\omega_1 - \omega_r)L_m & pL_m \end{bmatrix} \end{aligned}$$

电磁转矩方程为

$$T_e = n_p \frac{L_m}{L_r} (i_{q1} \varphi_{d2} - i_{d1} \varphi_{q2}) \quad (2)$$

其中

$$L_s = L_{11} + L_m, \quad L_r = L_{21} + L_m, \quad L_m = 1.5L_{1m}$$

式中: $\varphi_{q2}, \varphi_{d2}$ 分别为转子 d - q 轴的磁链分量; L_{1m} 是定子电感; L_{11} 是定子漏感; L_{21} 是转子漏感; n_p 是电机的磁极对数; T_e 是电动机的电磁转矩。

由于方程(1)中无非零元素,故系统的耦合强度很大;因此把 d - q 坐标系中的方程再变到静止坐标系 α - β -0, 并注意到 $\theta_1 = 0, p\theta_1 = \omega_1 = 0, p\theta = \omega_r, p\theta_2 = p(\theta_1 - \theta) = -\omega_r$ ^[4], 由此, 方程(1), (2)变为

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}_{\alpha\beta 1} \\ \mathbf{u}_{\alpha\beta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{i}_{\alpha\beta 1} \\ \mathbf{i}_{\alpha\beta 2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_{\alpha\beta 1} &= [u_{\alpha 1} \quad u_{\beta 1}]^T, \quad \mathbf{u}_{\alpha\beta 2} = [u_{\alpha 2} \quad u_{\beta 2}]^T \\ \mathbf{i}_{\alpha\beta 1} &= [i_{\alpha 1} \quad i_{\beta 1}]^T, \quad \mathbf{i}_{\alpha\beta 2} = [i_{\alpha 2} \quad i_{\beta 2}]^T \\ \mathbf{A}_{11} &= \begin{bmatrix} r_1 + pL_s & 0 \\ 0 & r_1 + pL_s \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_{12} = \begin{bmatrix} pL_m & 0 \\ 0 & pL_m \end{bmatrix} \\ \mathbf{A}_{21} &= \begin{bmatrix} pL_m & \omega_r L_m \\ -\omega_r L_m & pL_m \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_{22} = \begin{bmatrix} r_2 + pL_r & \omega_r L_r \\ -\omega_r L_r & r_2 + pL_r \end{bmatrix} \\ T_e &= n_p \frac{L_m}{L_r} [\varphi_{\beta 2} i_{\alpha 1} - \varphi_{\alpha 2} i_{\beta 1}] \quad (4) \end{aligned}$$

式(3)和(4)是本文设计电磁转矩的基本方程。

1.2 电磁转矩的检测

考虑

$$u_{\alpha\beta 2} = 0 \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{\alpha 2} &= L_m i_{\alpha 1} + L_r i_{\alpha 2} \\ \varphi_{\beta 2} &= L_m i_{\beta 1} + L_r i_{\beta 2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

结合式(3)~(6),有转子磁通微分方程

$$\begin{bmatrix} \dot{\varphi}_{\alpha 2} \\ \dot{\varphi}_{\beta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{r_2}{L_r} & \omega_1 \\ -\omega_1 & -\frac{r_2}{L_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{\alpha 2} \\ \varphi_{\beta 2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{\alpha 1} \\ i_{\beta 1} \end{bmatrix} \frac{L_m}{L_r} r_2 \quad (7)$$

从式(4)知,要计算电磁转矩,须知转子磁通,转子磁通不能从方程(6)获得,因为有不可测的转子电流;但从方程(7)可以获得转子磁通。如果要得到精确的磁通,须实时预估转子的速度和电阻,因为系统运行时定子和转子的电阻是变化的。由于现场环境恶劣,不允许安装速度传感器,本系统采用了无速度传感器的自适应定子、转子的速度预估器^[3],这就保证了检测转矩的精度,提高了故障诊断的可信度。

2 故障诊断及处理

2.1 故障特征参数的提取

提升串车掉道,是提升系统的主要故障。掉道分2种情况:一是提升时串车掉道;另一种是下降时掉道。无论哪种掉道,都会造成拖动电机转矩的突然变化,反之,拖动电机转矩的异常变化可间接反映矿车的运行状态;因此选择拖动电机转矩作为提升系统的故障特征参数。

2.2 故障判据的建立

应根据矿车的负载情况和经验数据来确定判据。对于正常运行的系统,不同的装载质量大小,不同的位移,拖动电机的力矩也应不同。力矩的变化有一个范围,大于和小于这个变化范围就认为有故障发生。

转矩 T 是一个非线性函数,即

$$T = f(m, \mu, x, \omega_1)$$

式中: m 为提升的装载质量; μ 为串车车轮与轨道间的摩擦因数; x 为串车距卷扬机的位移; ω_1 为电机转子角速度。由于提升的轨道不规范, m, μ, x 和 ω_1 不同, T 是变化的,所以对装载质量及位移进行量化。对于正常运行的系统,不同的装载质量,不同的位移,转矩也不同。由此构成表1所示的量化转矩表。

表1 量化转矩表

m	x_1	x_2	x_3	...	x_n
m_1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	...	T_{1n}
m_2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	...	T_{2n}
m_3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	...	T_{3n}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
m_n	T_{n1}	T_{n2}	T_{n3}	...	T_{nn}

对于一定的装载质量 m_i, μ_i 和 x_i 对应的 T_{ij} 是固定不变的。令 $\Delta T_{ij} = |T_e - T_{ij}|$, 对应不同的位移,提升不同的装载质量, ΔT_{ij} 是有界的;再设定 $\Delta T_{ij \max}$ 。如果系统运行满足 $\Delta T_{ij} > \Delta T_{ij \max}$, 则诊断为掉道;否则为正常运行。下降时掉道等于电机空载,电磁转矩小于某一值时,诊断为掉道。如果诊断为掉道,则进行断电并制动。

3 系统运行测试结果与分析

系统测试内容有4项:转子速度的观测,电磁转矩测量值与转矩测试仪测定值的比较,空载提升人为掉道诊断,空载下降人为掉道诊断。测试结果如图1所示。

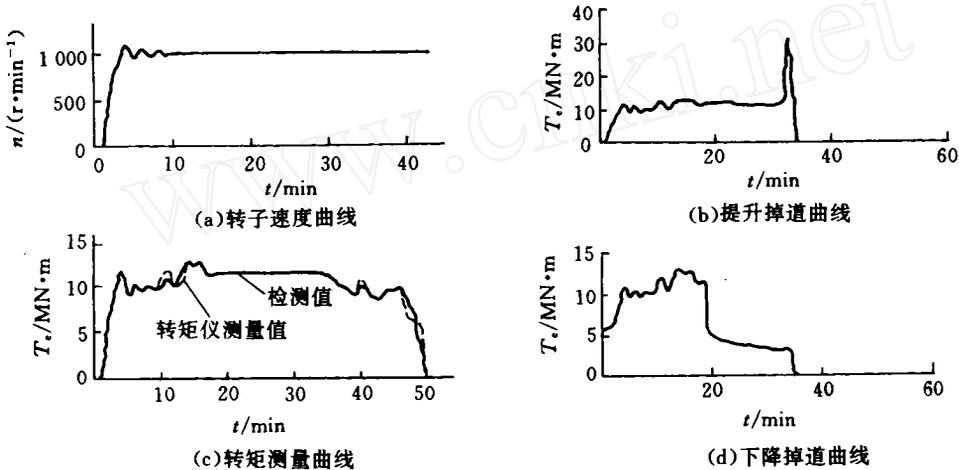


图1 系统运行测试结果

有一点说明:下降掉道诊断方案从测试的曲线看,诊断方案有待改进。

4 结束语

对斜井提升系统调速方式进行了改进,使提升速度平滑,更重要的是节约电能45.6%;同时给出了异步机电磁转矩观测的精确方法,诊断方案基本合理。借助微机对系统进行监控,提高了系统运行的可靠性,对保证提升系统的安全运行有实际意义。

参 考 文 献

- 1 杜尚丰. 斜井提升串车掉道实时控制研究. 辽宁工程技术大学学报, 1990, 9(2): 36~40
- 2 杜尚丰. 非线性状态观测器在煤矿斜井提升控制系统中的应用. 第五届全国电气自动化电控系统年会论文集, 1990. 155~159
- 3 Tamai S, Sugimoto H, Yano M. Speed Sensor-less Vector Control of Induction Motor With Model Reference Adaptive System. IEEE-IAS Annual Meeting Conf Rec, 1987. 189~195
- 4 许大中. 交流电机调速理论. 杭州: 浙江大学出版社, 1991. 67~86