变频器在起重设备控制系统上的应用*

胡斐然，卢 杰

（内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁轧钢厂，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 文章论述了变频器在包钢轨梁厂起重机上的应用，对变频器特点及功能做出了说明，同时介绍了起重设备变频器选用方法。变频器应用在起重机上，实现了起重机软启动，减少启动时对电网电流的冲击，不仅降低了对设备的冲击，延长了设备的使用寿命，而且节约了能源，使调速更加安全，可靠，有效的降低了企业的生产成本。

关键词： 起重设备；变频器；变频调速

中图分类号： TN773 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2017)04－0091－04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.04.026

Application of Frequency Converter in Hoisting Equipment Control System

HU Fei－ran, LU Jie

(*Rail and Beam Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: In the paper, it is expounded the application of frequency converter in crane of Rail and Beam Plant of Baotou Steel, features and functions of frequency converter, and the selection method of frequency converter for hoisting equipment is introduced. Frenquency converter is applied to crane to realize the soft start of crane and to reduce the impact on grid current. It not only reduces the impact on equipment, prolongs the service life of equipment, saves energy and makes speed regulation more safe and reliable, effectively reducing the production cost of enterprises.

Key words: hoisting equipment; frequency converter; frequency speed control

起重设备（吊车）在现代工业生产过程中举足轻重，其电气控制的可靠性也尤为重要。许多吊车都工作在环境恶劣的场合，如：震动、粉尘、高温。传统的吊车控制系统大多都采用继电器—接触器控制。控制落后，故障率较高，维护困难。吊车起制动频繁，经常引起接触器触点烧毁、粘连等故障。传统吊车控制系统的过电流保护采用过电流继电器，过流值精确度极差，有时误动作或不动作。电动机的加速靠时间继电器＋人工控制，当时间继电器出现故障时，造成电动机加速过快或不加速故障。上述各种故障将使吊车设备不能正常运行，严重时将烧毁电动机，同时增加了维护人员的劳动强度。

1 在起重机上应用的特点

1.1 一般交流变频器的优点

变频调速技术应用于起重机后，与市场上大量使用的传统的绕线异步电动机转子串电阻调速系统相比，可带来以下显著经济效益和安全可靠性：

（1）机械制动器在电动机低速时动作，主钩以及大、小车的制动由电气制动完成，所以机械制动器的制动片寿命大为延长，维护保养费用下降。

（2）采用交流变频调速技术的起重机由于变频

* 收稿日期：2017－05－08

作者简介：胡斐然（1983－），男，河北省张家口市人，工业自动化助理工程师，现从事吊车电气专业技术工作。

中国知网 https://www.cnki.net

器驱动的电动机机械特性硬，具有精确定位的优点，不会出现传统起重机负载变化时电动机转速也随之变化的现象，可以提高装卸作业的生产率。

(3) 变频起重机运行平稳，起、制动平缓，运行中加、减速时整机振动和冲击明显减小，安全性提高，并且延长了起重机机械部分的寿命。

(4) 交流变频调速系统属高效率调速系统，运行效率高，发热损耗小，因此比老式调速系统大量节电。

(5) 采用结构简单、可靠性高的鼠笼异步电动机取代绕线转子异步电动机，避免了因集电环、电刷磨损或腐蚀引起接触不良而造成电动机损坏或不能起动的故障。

(6) 交流接触器大量减少，电动机主回路实现了无触点化控制，避免了因接触器触头频繁动作而烧损以及由于接触器触头烧损而引起的电动机损坏故障。

1.2 起重设备运行时的特点

(1) 起重机应具有大的启动转矩，通常超过150%的额定转矩，若考虑超载实验等因素，至少应在起动加速过程中提供200%的额定转矩。

(2) 由于机械制动器的存在，为使变频器输出转矩与机械制动器的制动转矩平滑切换，不产生溜钩现象，必须充分研讨变频器启动信号与机械制动器动作信号的控制时序。

(3) 当起升机构向下运行或平移机构急减速时，电动机将处于再生发电状态，其能量要向电源侧回馈，必须根据不同的现场情况研讨如何处理这部分再生能量。

(4) 起升机构在抓吊重物离开或接触地面瞬间负载变化剧烈，变频器应能对这种冲击性负载进行平滑控制。

2 起重设备变频器主要功能及特点

2.1 抱闸逻辑控制与监控

准确的抱闸开启和闭合控制时序，通过抱闸实时状态反馈和起动预转矩补偿，确保控制的安全性和可靠性。

2.2 轻负载升速(电子副钩)

起重机空钩或轻载时实现2倍速运行，提高装卸效率。轻负载升速功能主要应用于起升高度较大的起重机：在起升机构空载运行时自动使速度上升，以缩短时间来提高装卸效率；重载时自动降低速度以确保设备和人身的安全。变频器根据启动后一段时间内的平均电流值来判断负荷的大小：当负载重时，变频器自动降低输出频率；当负载轻时，变频器自动提高输出频率。

2.3 安全性与稳定性

控制回路电源和主回路电源可以分别控制提高了用户调试时的安全性，便于故障诊断与维护。

2.4 操作模式灵活方便

根据起重机不同的操作模式，为用户提供以下操作模式选择：操纵杆模式、遥控模式、电动电位器模式、分级操纵杆给定模式、分级遥控给定模式、通讯给定模式等。主从控制功率平衡与速度同步技术。

2.5 第二电机控制及切换功能

一台变频器通过参数自学习可以自动存储两套电机参数，通过切换指令实现对两组电机的高性能矢量控制；便于电气传动系统的控制，降低用户成本。在两个大功率电机通过减速箱刚性连接驱动一个起升机构时，主从控制功率平衡功能保证两个电机出力均匀；在双起升机构提升一个重物时，主从控制速度同步功能保证两个起升机构同步提升，确保安全。

2.6 预励磁及起动预转矩补偿

预励磁功能是在启动之前自动地对电机实行直流励磁，以保证电动机快速地提供起动转矩，并通过调节励磁的时间使电动机的起动与机械制动器的释放时间相配合，避免出现“溜钩”现象。

2.7 松绳检测

(1) 防止在起重机绳索松弛的情况下，轻负载升速功能误动作引发的不安全运行。

(2) 危险速度监视、快速停车及超速保护。变频器实时监测电机的运行速度，当电机速度大于设定的最高允许速度或速度偏差值时，变频器发出故障报警并立即停止输出，机械制动器动作，使起重机处于安全状态。

(3) 快速停车功能给用户提供以下三种方式供选择：①电气制动的停车；②电气制动加机械制动的停车；③机械制动的停车。

2.8 应用范围

起重机专用矢量变频器，具有优异的力矩控制性能，广泛应用于轨梁厂检修天车，百米入库天车的大车、小车、起升等机构的交流无级调速。

中国知网 https://www.cnki.net

3　起重设备变频器的选用

3.1　平移机构

起重机的平移机构分大车机构和小车机构，两种机构一般采用多台电动机传动方案。由于起重机平移机构的转动惯量较大，为了加速电动机需有较大的起动转矩，因此起重机平移机构所需的电动机轴输出功率 P_m 应由负载功率 P_j 和加速功率 P_a 组成，即：$P_m \geqslant P_j + P_a$

由于平移机构采用一台变频器拖动多台电动机的通用 U/f 开环频率控制方式，因此在变频器容量选择时，还要满足以下公式：

$$I_{CN} \geqslant k_1 n I_m$$

式中：k_1—— 电流波形修正系数（PWM 调制方式时取 1.05 ~ 1.1）；

I_{CN}—— 变频器额定输出电流，A；

I_m—— 工频电源时单台电动机的额定电流，A；

n——1 台变频器拖动的电动机数量。

由于在变频器“一拖多”通用 U/f 开环频率控制方式中，变频器提供的电子热继电器保护功能无法实现对单台电动机的过载保护，为此在每台电动机回路中串入带有热过载保功能的低压断路器，以实现对单台电动机的过载保护，电动机故障信号取自低压断路器的辅助触点[1]。

3.2　起升机构

变频器的容量必须大于负载所需求的输出，即：

$$kP_m \geqslant P_0\ \eta\cos\varphi$$

式中：P_0—— 电动机功率；

k—— 过载系数，取 1.33；

η—— 电动机效率；

$\cos\varphi$—— 电动机的功率因数。

起升机构要求的起动转矩为 1.3 ~ 1.6 倍的额定转矩，考虑到需有 125% 的超载要求，其最大转矩需有 1.6 ~ 2.0 倍的额定转矩，以确保其安全使用。对于拖动等额功率电动机的变频器来说，可提供长达 60 s、150% 额定转矩的过载能力，因此过载系数 $k = 2/1.5 = 1.33$。

在变频器容量选定后，还应做电流验证，即：

$$I_{CN} \geqslant kI_m$$

一般的大吨位起重机有两个独立驱动的起升机构，每个起升机构由 2 台电动机同步驱动各自的钢丝绳卷筒转动，再经过动滑轮组多级减速提升吊钩。起升机构的变频调速传动方案采用 1 台变频器带 1 台电动机的“一拖一”方案，为了提高低速传动时的动态特性和高转矩输出能力，每台电动机采用带脉冲编码器的速度闭环控制。每个起升机构的 2 台变频器之间采用变频器提供的具有功率平衡和速度同步控制功能的主从控制方案，这些控制方案可以实现 2 台电动机精确的转矩平衡分配和 2 个起升机构的速度同步[2]。

4　再生能量的处理

4.1　原理

采用变频器传动的起升机构拖动位能性负载下放或平移机构急减速、顺风运行时，异步电动机将处于再生发电状态。逆变器中的六个回馈二极管将传动机构的机械能转换成电能回馈到中间直流回路，并引起储能电容两端电压升高。若不采取必要的措施，当直流回路电容电压升到保护极限值后变频器将过电压跳闸。

4.2　处理方案

（1）在中间直流回路设置电阻器，让连续再生能量通过电阻器以发热的形式消耗掉，这种方式称为动力制动；

（2）采用再生整流器方式，将连续再生能量送回电网，这种方式称为回馈制动。

4.3　制动方式

4.3.1　动力制动

动力制动由制动单元和制动电阻构成。变频器设置了制动单元和制动电阻后，其动力制动能力取决于制动电阻的允许功率。

（1）计算再生功率 P_M 和 E_M 时，必须满足 $P_M = E_M/t_0$。其中：P_M 为制动期间电机产生的有效再生功率，E_M 为机构急减速及下降时的再生能量，t_0 为制动周期时间。

（2）选择合适的制动单元 / 制动电阻组合，必须满足 $P_M < P_R \& P_M$，其中：P_M 为制动期间电机产生的有效再生功率，P_R 为制动电阻的允许功率，P_{DB} 为制动单元的允许功率。当计算的 $P_M > P_R$ 时，表明超出了制动电阻的处理能力，需重新核算负载惯量和减速时间。

（3）制动电阻 R_{B0} 的计算。在再生回馈制动中，即使不设置制动电阻，依靠电机内部损耗也可获得约 20% 的制动转矩，因此可用下式计算所需的电阻值 R_{B0}：

中国知网　https://www.cnki.net

$$R_{B0} = V_C^2/1.027(T_B - 0.2\ T_M)\ n_1$$

式中: V_C—— 变频器中间直流回路的电压(约为700 V);

T_B—— 制动转矩;

T_M—— 电动机额定转矩;

n_1—— 电动机开始减速时的速度。

动力制动的放电回路由制动单元和制动电阻构成,其最大电流受制动晶体管最大允许电流 I_C 的限制,制动电阻最小允许值 $R_{min} = V_C/I_C$。因此制动电阻选用时其实际值 R_{B0} 应满足以下条件:

$$R_{min} < R_{B0}$$

上述选型是建立在精确的计算基础上,在实际工程中如果精确的计算数据不能取得,也可按下述给出的经验公式选型:① 起升机构的再生功率 $P_M = P_b \times \eta_{tot}$,$\eta_{tot} = \eta_{mec} \times \eta_{mot} \times 0.98$,其中,$P_b$ 为实际的负载再生发电功率,η_{mec} 为机械效率,η_{mot} 为电机效率。② 制动电阻 R_{B0} 的近似计算 ,$R_{B0} = V_C^2/P_M$,由于平移机构属于摩擦负载,其制动单元和制动电阻可按变频器的标准配置。

4.3.2 回馈制动

为了实现把制动状态的电动机再生发电能量向电网回馈,网侧变流器应采用可逆变流器。中科科技推出的能量回馈制动单元,它的网侧变流器与逆变器结构相同,采用一块具有 P_{WM} 控制方式的电网电压识别板。由于采用了 P_{WM} 控制技术,对网侧交流电压的大小和相位可以进行控制,可以使交流输入电流与电网电压同相位并接近正弦波,传动系统的功率因数大于0.9,回馈制动时有100%电网回馈能力,而不需要自耦变压器。

4.4 制动方式的选用

动力制动方式控制简单、成本低,但节能效果不如回馈制动。回馈制动方式虽然节能效果好,能连续长时制动,但控制复杂、成本较高。应该注意的是,只有在不易发生故障的稳定电网电压下,才可以采用回馈制动方式。对于采用滑触线供电的起重机,应特别注意防止滑触线电刷接触的间断,如果不能保证这一点,建议采用动力制动方式,以保证起升机构持续下降时调速制动的可靠性。

5 结束语

随着电力电子技术的不断发展完善,交流变频调速技术日益显现出优异的控制及调速性能,高效率、易维护等特点,加之它的价格不断下降,使其成为起重机械一种优选的调速方案。但是,要使变频器成功地应用于起重机调速,就必须针对起重机的特点,计算和选择变频器及其外围的辅件,并在安装与布线时采取特殊技术措施,以保证变频调速的起重机安全、可靠地运行。因为起重机行业对变频器的性能、功能有着非常高的要求,因此变频器行业也因加快自己的创新发展步伐以求新的发展,创造新的辉煌!

参 考 文 献

[1] 石秋洁. 变频器应用基础 [M]. 北京: 机械工业出版社. 2002.

[2] 刘伟强. 变频器基础及应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社. 1999.

欢 迎 刊 登 广 告

欢迎全国冶金机械及冶金工程技术咨询服务机构等相关行业在《包钢科技》杂志上刊登各类广告。

《包钢科技》编辑部

中国知网 https://www.cnki.net