

港口桥式起重机起升电机拖动系统 节能控制研究*

张智华, 李胜永, 朱永祥, 徐 勇

(南通航运职业技术学院 交通工程系, 江苏 南通 226010)

摘 要: 针对港口起重机械位能性负载特性, 通过分析起升电机的控制原理及状态方程, 建立了基于 PLC 和变频器的起升电机拖动测试系统。通过转差频率控制的控制策略, 进行了模型的仿真与试验分析, 从而验证了变频调速控制系统具有较大的节能空间, 尤其对于满载及重载的控制更为明显。这为港口起重机械的节能提供了理论和试验基础。

关键词: 桥式起重机; 起升电机拖动系统; 转差频率控制; 节能

中图分类号: TM 301.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2018)04-0056-05

Research on Energy Saving Control of Hoisting Motor Drive System of Port Bridge Crane*

ZHANG Zhihua, LI Shengyong, ZHU Yongxiang, XU Yong

(Department of Traffic Engineering, Nantong Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: According to load characteristics of the port crane, through the analysis of lifting control principle and the state equation of the motor, the motor drag test system had been established base on PLC and inverter, the simulation and experimental analysis of the model were carried out by the control strategy of the transfer frequency control. It was verified that the VVVF control system had large energy saving space, especially for full load and heavy load control, which provides a theoretical and experimental basis for the energy saving of port cranes.

Key words: port bridge crane; hoisting motor dragging system; slip frequency control; energy saving

0 引 言

随着智慧港口及物联网信息技术的发展, 自动化码头的自动化工程逐步得到推广。在由变频器、电动机和机械负载所组成的港口起重机变频调速系统中, 当电动机减速或所拖动的位能负载下放时, 电机的转速将大于其同步转速, 电动机将处于再生发电制动状态。如何回收利用该能量是当前各大高校、科研院所研究的重点之一, 也是交通运输部港口十三五节能减排的规划。通过解决起重机械起升机构负载运行特性和电机在负载运

行过程中能量消耗利用模型, 是实现能量回收利用及节能控制的关键所在, 从而实现能量利用的监控与管理, 达到港口节能环保的目的^[1-2]。

1 港口桥式起重机起升电机系统控制原理分析

1.1 起升电机拖动系统及动力学方程

通过对港口桥式起重机四大机构的分解研究, 图 1 所示为港口能量控制试验系统中起升机构电机拖动系统原理图^[3]。

图 1 中, 起升电机拖动系统由起升电动机、减

* 基金项目: 2016 年南通科技局课题项目 (MS12016035); 2017 年江苏省高校青蓝工程优秀教学团队“船舶与港口自动控制”计划项目; 2017 年江苏省高校科技创新团队“涉水工程基础冲刷远程实时监测技术”计划项目 (2017-49); 2016 年南通航院科技课题 (HYKJ/2016B03)

作者简介: 张智华 (1983—), 男, 博士研究生, 研究方向为船港电机及电气控制技术。

的分析,为后续港口起重机能量回馈系统建立打下基础。

2 港口桥式起重机起升电机拖动测试系统设计

2.1 起重机起升机构模拟测试系统设计

该系统模拟港口起重机械操作控制系统进行整体设计的,主要由以西门子 S7-300 PLC 为控制核心的现场总线控制系统^[4-5]。其主要包括 PLC、负载控制器、H1000 变频器、能量回收装置、上位监控单元、电机模拟装置平台、制动单元、37 kW 变频电机、联轴器、电磁抱闸制动器、旋转编码器、电抗器等,测试系统前侧安装联动操作台,可以进行起重机系统不同负载下的模拟操作。PLC 是 Profibus-DP 的主站,主要负责与监控单元、变频器、控制器通信,完成数据处理等工作。负载控制器、变频器是 Profibus-DP 的从站,通过 Profibus-DP 总线接收主站发送过来的指令,完成对电机的控制并将主站指令所需运行参数反馈至主站。监控单元通过 PC/MPI 电缆与 PLC 进行连接,完成对系统运行的上位监控工作,系统总体设计如图 3 所示。

电机模拟装置平台主要包含模拟四大机构的驱动电机和负载加载,之间通过联轴器连接,通过转矩控制器进行调节,光电编码器作为测速单元,转矩传感作为扭矩测量单元,并通过显示仪显示,通过经过信号转换电路为控制系统提供反馈量。

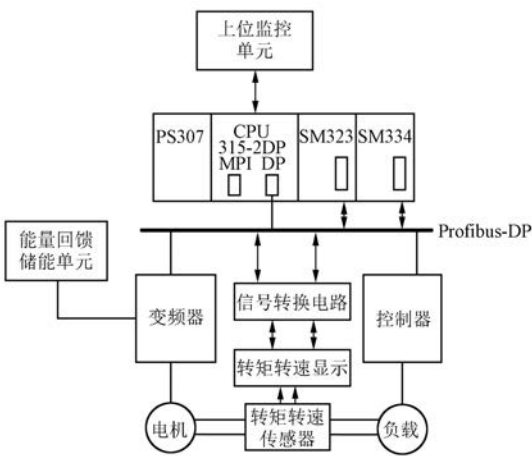


图 3 港口起重机起升机构电机拖动测试系统框图

2.2 基于转差频率的起升电机矢量变频控制策略分析

为了更好地对起升电机拖动系统进行能耗测试及分析,采用通过基于转差频率的矢量变频控制策略。起升电机控制为位能性负载类型。通过上述港口桥式起重机起升电机系统控制原理分析,通过给定转速、给定励磁电流进行闭环控制,并通过编码器检测电机转子速度来进行双闭环调节控制,其中系统中采用安川变频器。其为起重专用的矢量变频器,包含了二相至三相变换的环节及整流及逆变环节。因此为了更好地分析起升机构起动时间及能耗问题,通过基于图 4 的控制策略与开环进行比较,使控制的动态性能及响应速度有了明显提高,同时采用变频调节,节能效果明显^[6-8]。

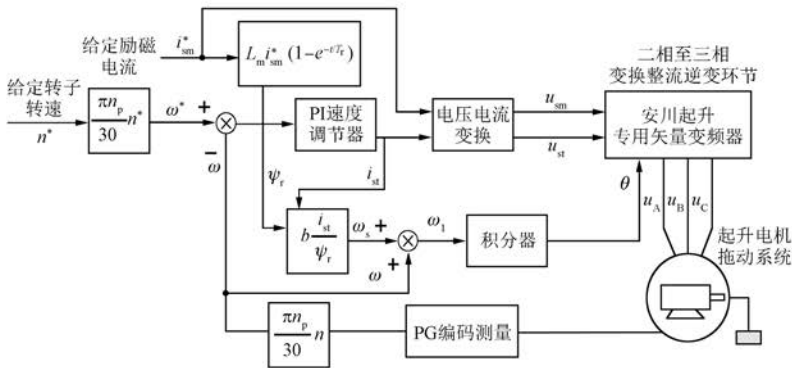


图 4 基于转差频率的起升电机矢量变频控制框图

3 仿真及试验测试分析

3.1 起重机起升拖动系统转差频率控制仿真研究

为了实现对桥式起重机操作模拟,在测试平台上选定桥式起重机起升电机拖动系统相关参数如下。

(1) 电机基本参数:额定电压 $U_N = 380\text{ V}$ 、工频频率为 50 Hz 、 $P_N = 37\text{ kW}$ 、极对数为 2、额定转矩 $T_N = 235\text{ N}\cdot\text{m}$ 、定子电阻 $R_s = 0.435\text{ }\Omega$ 、转子电阻 $R_r = 0.816\text{ }\Omega$ 、定子电感和转子电感相等即有 $L_s = L_r = 0.071\text{ H}$ 、互感为 $L_m = 0.069\text{ H}$ 、转动惯量系数为 $J_e = 0.19\text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 。

(2) 港口桥式起重机拖动系统参数:起升电机运行速度为 $v_L = 17\text{ m/min}$ 、起升电机卷筒直径 $D = 0.5\text{ m}$ 、 $j_1 = 11$ 、 $j_2 = 10$ 、 $j_r = 3$ 、 $j_L = 2$ 、 $\eta_1 = \eta_2 = \eta_r = \eta_L = 0.95$,忽略摩擦引起的损耗,其中吊钩的质量为 $m_{dg} = 500\text{ kg}$ 、起重机的最大起升负载重为 $m = 50 \times 10^3\text{ kg}$,其中电机给定转子转速为 $n^* = 800\text{ r/min}$,给定励磁电流 $i_{sm}^* = 8.5\text{ A}$ 。

在基于控制策略的基础上,建立基于此控制策略的仿真模型,仿真结果如图 5 所示。仿真显示了桥式起重机电机拖动系统电机转速及电磁转矩的动态响应情况。通过图 5 可知,起重机起升电机转速在时间达到 0.15 s 左右接近给定参考速度 $n^* = 800\text{ r/min}$,同时负载转矩为 $80\text{ N}\cdot\text{m}$,通过控制调节使得电磁转矩接近于负载转矩。该策略显示动态响应速度较快,超调量较小,达到起重机起升电机的控制要求。

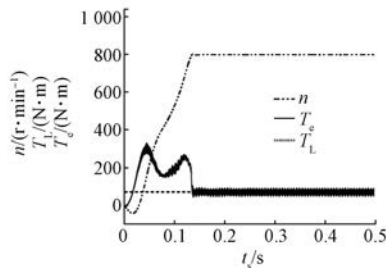


图 5 基于转差频率控制的起升电机速度及电磁转矩曲线图

3.2 起重负载变化情况分析

通过测试平台模拟不同负载下的直接起动和变频起动所消耗的时间及消耗的能量得到以下

结果。

(1) 不同起动方式下起动时间对比分析。通过表 1 不同负载转矩下直接起动和变频频率起动时间对比所示,直接起动在不同负载转矩所消耗时间比变频转差起动时间要长,且随着负载转矩越来越大。接近最大转矩时,直接起动所消耗的时间更为明显,而变频起动在不同负载下时间变化比较平稳,且时间变化幅度较小,能够实现不同负载下平稳起动。

表 1 不同负载转矩下直接起动和变频转差频率起动时间对比表

转矩/(N·m)	直接起动时间/s	变频起动时间/s
10	0.21	0.12
30	0.23	0.12
50	0.25	0.12
70	0.28	0.12
90	0.3	0.15
110	0.35	0.17
130	0.4	0.17
150	0.45	0.17
170	0.55	0.19
190	0.6	0.21
210	0.8	0.23
230	1.38	0.25

(2) 不同起动方式下能量消耗对比分析。同时为了验证在不同转矩下,消耗的电能情况,通过试验数据测试,如表 2 不同负载转矩下直接起动和变频起动能耗对比所示。通过表 2 数据所示,桥式起重机起升电机拖动系统在安川矢量变频器 H1000 的控制下,通过变频转差频率控制方式,使得起升电机控制具有较好的动态特性。尤其在重载和满载的情况下,能耗对比更为明显。可见起升电机控制通过变频转差控制策略能够有巨大的节能空间。通过变频控制使得不同负载下具有更平滑的控制性能。不同负载下直接起动和变频起动功率消耗如图 6 所示。

综上所述,通过图 5、表 1、表 2 及图 6 可知:

(1) 港口桥式起重机起升电机通过变频转差频率控制可以使得速度在 0.15 s 短时间内达到给定速度,同时电机的电磁转矩能够接近负载转矩,并在

表 2 不同负载转矩下直接起动和变转差频率起动能耗对比表

转矩/(N·m)	直接起动 能耗/kJ	变频起动 能耗/kJ
10	16	8
30	18	8
50	20	9
70	22	10
90	24	11
110	30	12
130	35	13
150	40	14
170	58	15
190	70	17
210	95	20
230	190	23

范围内微小波动,达到较高的控制精度;(2) 通过不同负载变化下起动方式的对比分析,在重载及满载的情况下,基于变转差频率的控制策略能够使得电机比直接起动的起动时间短、控制精度高,动态响应快,同时能量消耗也较低,因此,在满载重载及中载以上的情况下,起重机控制节能效果明显,节能约达到 30%。

4 结 语

本文针对港口起重机械位能性负载特性,通过分析电机的控制原理及状态方程,建立了基于 PLC 和安川变频器的起升电机拖动测试系统。通过基于转差频率控制的控制策略,进行了模型的仿真与试验分析,从而验证了变频调速控制系统具有较大的节能空间,为港口起重机械的节能提供了理论和试验基础。

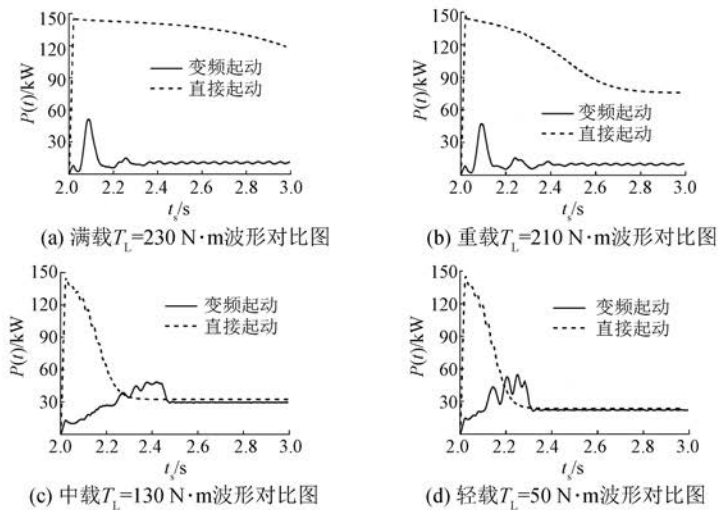


图 6 不同负载下直接起动和变转差频率起动的功率消耗变化曲线图

【参考文献】

[1] 陈伟华,李秀英,姚鹏.电机及其系统节能技术发展综述[J].电器工业,2008 (9): 13-22.

[2] 张智华,李胜永,徐勇,等.港口桥式起重机吊重系统姿态的稳定性控制[J].广东交通职业技术学院学报,2016,15(2): 52-55.

[3] 马莉丽,程文明,钟斌.起重机电机拖动系统负载跟踪控制[J].西南交通大学学报,2013,48(3): 494-499.

[4] 傅德源.实用起重机电气技术手册[M].北京:机械工业出版社,2011.

[5] 季本山.港口电气设备[M].2 版.北京:人民交通出版社,2015.

[6] 三相异步电动机试验方法: GB1032—2005[S].

[7] 陈伯时.电力拖动自动控制技术[M].北京:机械工业出版社,2003.

[8] 张智华,李胜永,陈伟华,等.基于 112B 法的高效电机能效测试系统研究与设计[J].微特电机,2015,43(12): 49-54.

收稿日期: 2017 -09 -20