

Analysis of Electrical Control Technology for Shipbuilding Portal Crane

Wei Zhou Yang Liu

Wuhan GUIDE Electric Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

Shipbuilding gantry cranes are essential large-scale lifting equipment indispensable for ship construction and repair operations. The performance of their electrical control systems directly impacts operational reliability, safety, and work efficiency. Characterized by high lifting capacity, extensive span, and unique structural designs, these cranes impose stringent requirements on electrical control systems regarding reliability, precision, and safety performance. Based on structural characteristics of shipbuilding gantry cranes, this study analyzes the application methods and implementation principles of variable frequency speed control technology, PLC-based control communication technology, anti-sway synchronization control technology, and safety protection detection technology. The research aims to provide theoretical references and practical guidance for design optimization, operational maintenance, and technological upgrades of shipbuilding gantry cranes.

Keywords

shipbuilding gantry crane; electrical control; frequency conversion speed regulation; PLC; safety detection

造船门式起重机电气控制技术分析

周伟 刘洋

武汉港迪电气有限公司, 中国·湖北 武汉 430000

摘要

造船门式起重机是船舶建造与修理时不可缺少的大型起重设备,其电气控制系统性能对设备运行可靠性、安全性和作业效率有直接影响。造船门式起重机具备起重量大、跨度大且结构独特等特性,这便对电气控制系统提出了高可靠性、高精度、高安全性的要求。本文基于造船门式起重机的结构特点,分析了变频调速控制技术、PLC控制通信技术、防摇摆同步控制技术、安全保护检测技术在该设备中的应用方式、实现原理,目的是能够为造船门式起重机的设计优化、运行维护、技术升级提供理论参考和实践依据。

关键词

造船门式起重机; 电气控制; 变频调速; PLC; 安全检测

1 引言

造船门式起重机是现代化造船企业进行分段建造、合拢作业、船体总装的关键设备。伴随船舶制造朝着大型化、模块化、精密化方向持续发展,造船门式起重机所肩负的起吊重量、跨度尺寸、作业精度要求都有了很大提高。这种设备一般在露天环境下工作,作业工况复杂,运行频率较高,对电气控制系统的响应速度、同步精度、抗干扰能力、安全保障能力提出了很高要求。传统的继电器控制方式已无法满足现代造船工艺对起重机运行平稳性、位置精确性和多机构协同性的综合需求。围绕造船门式起重机电气控制技术进行系统分析,有助于理解当前主流技术方案的内在逻辑,也能为后续技术改进与智能化升级打下基础。

2 造船门式起重机特点

2.1 起重量大, 自重大

造船门式起重机的额定起重量常常能达到数百吨甚至上千吨,以此来满足船舶分段、总段、大型舾装件的吊装需要^[1]。造船门式起重机在设计开始的时候,就要把超大起重量当作核心参数来进行结构配置,它的主梁、门腿、行走机构都要采用高强度的箱型梁结构,以此保证设备在承受极端载荷的时候有足够的刚度和强度。这种设计导向使得设备自身质量特别庞大,整机质量常常和额定起重量呈现正相关关系。自重大幅增加不但对设备的金属结构提出了更高的材料性能要求,还让设备的轮压荷载对地基基础产生了长期且持续的力学作用。造船门式起重机主要设计尺寸详见表1所示。

【作者简介】周伟(1981-),男,中国湖北武汉人,本科,从事船厂大型起重机电气控制研究。

主梁长 L	主梁高 D	主梁总宽 B	总高 H	双梁间隔 b
102.8 m	6.8 m	8.6 m	72.8 m	2.8 m

图1 造船门式起重机主要设计尺寸

2.2 跨度大，起升高度高

现代造船模式运用总段建造法，船体分段于总装阶段要跨越宽敞的船坞或者船台来实现对接，如此便使得起重机的跨度往往要覆盖整个作业区域，大型造船门式起重机的跨度一般在百米之上，部分特大型设备的跨度更是超过二百米。并且，船舶上层建筑、大型总段的高度尺寸致使起升机构必须拥有充足的高程作业能力，起升高度常常达到数十米，以此满足分段从地面运输到总装位置的空间垂直位移需要。大跨度和高起升的这种组合让起重机在运行进程中面临较大的结构挠曲变形、风载影响，设备在动态作业时的稳定性控制成为结构设计的关键考量内容。

2.3 功能多，结构独特

造船门式起重机这种设备，除了拥有基本的主钩起吊功能之外，一般还配备有副钩、维修吊、翻身装置、空中翻转机构等辅助作业系统，借助这些系统能够完成分段翻身、总段合拢、大型设备安装、船体舾装等多种工艺操作。为了适应上述多功能作业的需求，造船门式起重机在结构形式方面展现出显著的独特特性，其主要梁大多采用双梁或者四梁结构，门腿采用刚性腿与柔性腿相结合的不对称设计方式，以此来消除大跨度结构在温度变化、风载荷作用下产生的附加应力^[2]。而且设备的行走机构、电气控制系统、安全保护装置都是围绕多功能作业的协同性与可靠性进行专门配置的，进而形成了有别于普通门式起重机的特殊结构模式。

3 造船门式起重机电气控制技术

造船门式起重机电气控制技术应用阶段应明确技术要点，相关人员在操作环节还需了解此类起重机的特殊之处，通过科学化管控，让起重机运行更加稳定，保障工作人员的安全。

3.1 变频调速控制技术

现代造船门式起重机在变频调速控制技术领域，普遍运用交流变频调速方案，以此来替代传统的绕线转子电机串电阻调速方式。该系统一般把数字式变频器当作核心，借助对定子电压和频率进行协调调节，达成对异步电机转速的精确控制。矢量控制技术在这类大惯性负载设备里被广泛应用，通过解耦电机定子电流的励磁分量与转矩分量，能让起重机在重载启动、低速微动、高速运行等不同工况下，都维持稳定的力矩输出^[3]。因为造船门式起重机的起升、小车、大车行走机构负载变化剧烈，变频器常常配置能量回馈单元，把电机在制动过程中产生的再生电能回馈到电网，既解决了大功率制动电阻散热问题，又提高系统整体的能源利用效率。速度给定环节采用多段速控制或者无级调速手柄，联合变频器内部的斜坡函数发生器，让起升机构与行走机构的加、减速度过程平滑而且可控，有效抑制了因加速度突变引发的结构冲击。通过这样的手段，既能科学维护起重机的稳定性，也能展示出这一技术的优势之处，让后续运行成效符

合预期，满足具体需求。造船门式起重机各机构调速范围与控制精度详见表2所示。

机构名称	调速范围 (r/min)	速度控制精度 (%)	定位精度 (mm)
主起升机构	0~980	±0.5	±5
副起升机构	0~980	±0.5	±5
小车行走机构	0~720	±0.8	±8
大车行走机构	0~650	±0.8	±10

图表 2 造船门式起重机各机构调速范围与控制精度

3.2 PLC 控制通信技术

伴随着多种技术的飞速发展，在选择技术手段时应结合具体情况加以分析，还要了解这一起重机的特殊性，通过科学化的分析与判断，确定最佳技术手段。在 PLC 控制通信技术里，可编程逻辑控制器身为整个电气系统的控制核心，肩负着逻辑联锁、状态监测、指令分配等关键任务^[4]。造船门式起重机多机构协同作业有其特点，控制系统一般采用模块化架构，借助 CPU 单元对各从站展开集中调度。因设备覆盖范围广且移动距离长，传统的点对点硬接线方式难以达成信号可靠传输的要求，现场总线和工业以太网成为主流通信手段。在起升小车与地面电气房之间，常常采用光纤滑环或者无线通信方式建立冗余链路，保证起重量传感器、限位开关、电机温度等关键信号能够实时上传至主控 PLC。主控 PLC 把操纵室发出的操作指令和各机构当前状态进行逻辑运算后，经由总线向各变频器发送速度给定、方向控制、转矩限制等参数，同时从变频器反馈的电流、频率、故障代码中获取驱动系统的运行信息。这种基于总线的控制模式极大简化了机载电缆的布线复杂度，借助 PLC 内部集成的故障诊断功能，能够把故障定位到具体传感器或执行元件，方便维护人员快速排除故障。

3.3 防摇摆同步控制技术

防摇摆技术对起升小车和大车运行速度曲线加以控制，以此抑制摇摆角度。在选择这一技术手段时应详细分析技术原理，以此才能更好地维护和管理，保证起重机的运行拥有可靠的支撑条件。其原理是在加速度阶段、减速阶段引入特定的速度整形算法，促使吊重的运动相位和驱动机构的加减速过程形成相互抵消的作用。常用的算法包括输入整形技术跟时间最优速度规划技术，输入整形技术把阶跃指令分解成多个时间上有错位的脉冲序列，借助卷积运算消除吊重摆动的共振频率成分，时间最优速度规划技术在满足加速度、加加速度、行程约束的情况下，计算出使摆动残余能量最小的速度轨迹。对于有双小车或者多吊钩协同作业的造船门式起重机，同步控制同样很重要。当两个吊钩一起起吊同一个刚性构件的时候，主从控制模式被广泛运用，主吊钩的速度指令来自操纵杆给定，从吊钩以主吊钩的实际速度或者起升高

度为参照,通过独立的闭环调节维持与主吊钩的动态同步^[5]。位置传感器和增量式编码器构成双重反馈环节,保证在运行过程中两吊钩的高度偏差被严格限制在允许范围内,防止因偏载引发结构应力集中或者倾覆风险。相关人员在具体操作时应明确技术差异,尽可能的维护和管理,以免出现安全事故,给个人安全构成威胁。

3.4 安全保护检测技术

不同的技术手段有不同的技术特性,需详细分析并确定应用技巧。安全保护检测技术成为造船门式起重机电气防护模式的最终保障屏障,此项技术包括起重量限制、行程限位、风速监测、联锁保护、故障自诊断等众多方面。起重量限制装置运用轴销式或者压式传感器直接测量吊重载荷,信号经变送器处理后传入 PLC,当载荷达到额定值的设定阈值时,控制系统自动切断上升方向的控制回路并发出声光报警,并且禁止可能导致过载的危险操作。就行程限位而言,起升机构一般配备两级限位开关,一级用于减速并进入低速运行区域,二级用于切断上升电源并触发机械式安全止挡^[6]。大车行走机构依靠绝对值编码器与地面设置的感应限位共同达成行程管理,编码器实时计算门架在轨道上的绝对位置,当接近轨道末端时,控制系统依次执行减速、低速对位、极限位置停止的流程,有效避免出轨事故。鉴于造船门式起重机通常安装在临江或沿海露天环境,风速仪被固定在小车架顶部,实时监测瞬时风速与平均风速,当风速超出安全运行阈值时,PLC 自动启动夹轨器或锚定装置,同时禁止大车行走动作。

4 结语

总的来说,当前阶段,变频调速、PLC控制、防摇摆同步、安全保护检测等一系列电气控制技术被综合加以运用,借助这些技术,造船门式起重机在驱动性能、控制精度、协同作业、运行安全等各个方面都达成了整体水平的提高。这些技术之间相互融合,能够满足大型起重设备在复杂工况下对于高可靠性的需求。随着智能化与网络化技术不断向前发展,其电气控制系统会持续朝着更高集成度、更优控制效果的方向不断演进。

参考文献

- [1] 唐辉, 李宁, 陈浩, 胡康毅, 张盼盼, 王硕. 基于PHM技术的大型门式起重机数字化智能诊断系统设计实践[J]. 科技创新与应用, 2025, 15 (22): 117-121.
- [2] 赵春晖. 行业标准《造船门式起重机安全评估规范》(送审稿)专家审定会在江苏启东顺利召开[J]. 起重运输机械, 2024, (12): 16.
- [3] 李永福, 张杰义, 李静宇. 造船门式起重机卷筒开式人字齿轮装配工艺与工装设计[J]. 金属加工(冷加工), 2024, (03): 44-49.
- [4] 张铮. 一种基于光纤光栅应变感应的造船门式起重机应力监测系统[J]. 工程建设与设计, 2019, (13): 194-196.
- [5] 夏勇, 殷晨波, 王宝家, 任汨. 基于HyperWorks的大型门式起重机静力学及固有频率特性研究[J]. 矿山机械, 2015, 43 (01): 44-48.
- [6] 张小英, 何明静, 黎荣. 基于SolidWorks的造船门式起重机小车快速设计系统研发[J]. 机械, 2014, 41 (10): 60-65.