

Research on the Control System of Four-bar Grab Door Seat Machine in Port

Helong Wang Kewei Wei

Henan Weihua Heavy Machinery Co., Ltd., Xinxiang, Henan, 453400, China

Abstract

This paper provides an in-depth analysis of the electromechanical control system for four-bar gantry cranes, focusing on its main mechanism components, electrical control system configuration, equipment control modes, and communication network architecture. The main mechanism section elaborates on the functions of support mechanisms, opening/closing mechanisms, luffing mechanisms, slewing mechanisms, and trolley mechanisms, establishing the foundation for system optimization. Regarding the electrical control system configuration, it details the high-voltage power supply, low-voltage electrical room, operator cab, and gantry beam compartment, emphasizing the importance of coordinated operations across these components. The equipment control modes section thoroughly examines single-support control modes, single-opening/closing control modes, hook mode control methods, grab mode control methods, and trolley control modes, proposing corresponding optimization strategies. The communication network architecture section clarifies the communication relationships between the PLC master station, frequency converters, and sub-stations, supporting real-time monitoring and fault diagnosis. This study provides a scientific basis for optimizing control systems in port four-bar gantry cranes, offering significant implications for enhancing port operational efficiency.

Keywords

grab door station; control mode; PLC; frequency drive

港口四连杆抓斗门座机控制系统研究

王合龙 魏可威

河南卫华重型机械股份有限公司, 中国·河南 新乡 453400

摘要

本文围绕四连杆门座机电控系统展开深入探讨,重点分析了其主机机构组成部分、电控系统配置、设备控制模式以及通讯网络架构。在主机机构部分,详细阐述了支持机构、开闭机构、变幅机构、回转机构和大车机构的功能与作用,为控制系统的优化提供了基础。电控系统配置方面,介绍了高压供电电源部分、低压电气房部分、司机室部分和门架梁仓部分的具体构成,强调了各部分协同工作的重要性。设备控制模式部分,深入研究了单支持控制工况模式、单开闭控制工况模式、吊钩模式工况控制方式、抓斗模式工况控制方式以及大车控制工况模式,并提出了相应的优化策略。通讯网络架构部分,解析了PLC主站与各变频器、子站之间的通讯关系,为系统的实时监控和故障诊断提供了支持。本研究为港口四连杆抓斗门座机控制系统的优化提供了科学依据,对提升港口作业效率具有积极意义。

关键词

抓斗门座机; 控制模式; PLC; 变频驱动

1 引言

四连杆门座机作为现代港口作业的核心设备,其电控系统的性能直接关系到作业效率与安全。本文聚焦于四连杆门座机电控系统的控制原理及方案,系统阐述主机机构组成、电控系统配置、控制模式及通讯网络架构,旨在为设备优化与维护提供理论支持。

本次论述主要只针对四连杆门座机电控系统控制原理及方案的讨论。

【作者简介】王合龙(1989-),男,中国河南商丘人,本科,工程师,从事数控技术研究。

2 主机机构组成

四连杆门座机主机机构的组成部分:

支持机构(工作机构)
开闭机构(工作机构)
变幅机构(工作机构)
回转机构(工作机构)

3 大车机构(非工作机构)

支持机构:

支持机构属于起升的一部分,主要包括支持电机、支持减速机、支持卷筒、支持钢丝绳等组成。

支持钢丝绳对应到抓斗上的连接点是最边上的两根绳,

此钢丝绳决定抓斗在空中位置高度控制，即支持机构钢丝绳头的位置高度及时抓斗实际位置高度。我们常说的抓斗起升高度，这个起升高度数据来源就是指支持机构的数据。

开闭机构：

开闭结构也属于起升的一部分，主要包括开闭电机、通过中压卷盘电缆为四连杆抓斗门座机提供电源，由于整机设备功率较大，设备供电电压普遍代用AC10KV电压等级。AC10kv相比AC380V供电可以用较小的电缆规格即可满足大功率供电。中压开关柜是用于安装在设备上用于控制机上10/0.4KV变压器电源通断，方便四连杆抓斗门座机维修时，可以切断整机电源，能更好的保证维修作业人员的人身安全。

开闭减速机、开闭卷筒、开闭钢丝绳等组成。

开闭钢丝绳对应到抓斗上的连接点是内侧的两根绳，此钢丝绳决定抓斗在空中的姿态，

抓斗是打开状态或闭合状态，取决开闭机构钢丝绳和支持钢丝绳的绳差值，若支持高度—开闭高度值=0时，此时为抓斗闭合状态；若支持高度—开闭高度>0时，此时抓斗为未闭合状态，具体开度未多少，即在开度范围值越大，抓斗打开度越大；若支持高度—开闭高度<0时，此时抓斗为过闭合状态，此时状态代表支持绳不受力，抓斗和抓斗内物料重力和全靠开闭钢丝绳提供，此时对抓斗属于异常状态，抓斗控制上要避免此种情况发生，因此此种情况，有开闭钢丝绳过载断绳的风险。

变幅机构：

变幅机构主要包括变幅电机、变幅减速机、变幅齿轮、变幅齿条等组成。

变幅机构是控制设备幅度大小的机构，在设备工作时根据吊装物距离设备的距离需要调整幅度大小，以便完成吊装作业的需要。

回转机构：

回转机构主要包含一套回转电机（两台）、一套回转减速机（两台）、回转齿轮、大齿圈、回转制动器等组成。

回转机构是控制设备大臂工作转向用的机构，主要用于根据工况需要改变变幅大臂朝向，以应对设备工作需要。

大车机构：

大车机构主要包含大车电机、大车减速机、大车制动器、大车卷盘等组成。

大车机构是控制设备位置移动的机构，属于非工作机构，即在设备正常作业时此机构是静止不动的，只有设备需要移动位置时，大车机构才会投入运行。

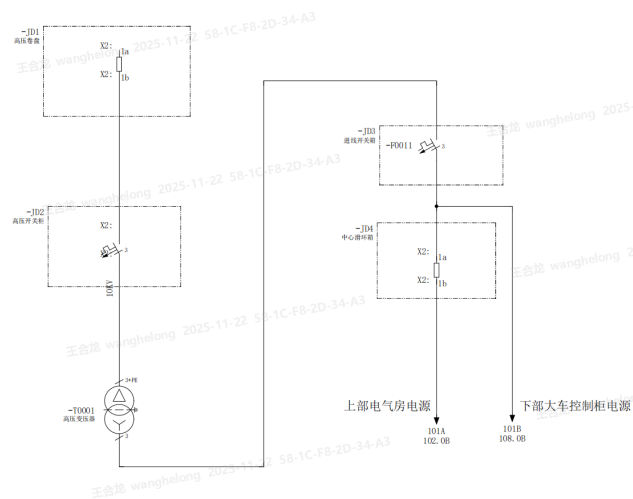
4 电控系统配置

四连杆门座机电控系统配置组成如下

4.1 高压供电电源部分

主要包含：中压供电电缆（卷盘电缆）、中压开关柜、

高中压变压器、以及中压电气房内所需辅助设施，例如：排风扇、室内照明、火灾报警消防系统等。



4.2 低压电气房部分

主要包含：低压电源柜、PLC控制柜、CMS柜（设备状态监控系统）、支持/大车变频驱动柜（由于支持机构和大车机构部同时动作，且大车属于非工作机构，所以此设备支持和大车机构都是为共用变频驱动，有些设备由于支持机构与大车机构功率差异交大，也可以大车机构和别的机构共用变频驱动）、开闭变频驱动柜、变幅变频驱动柜、回转变频驱动柜、照明变压器、空调系统、照明系统、消防系统等。

4.3 司机室部分

司机室联动台（设备主操作台）、司机是照明柜（设备照明系统控制柜）、司机内照明系统、语音通讯系统、空调系统等。

4.4 门架梁仓部分

大车行走辅助柜、低压电源隔离开关箱、仓内照明系统、仓内消防系统。

5 设备控制模式

单支持控制工况模式；

单开闭控制工况模式；

吊钩模式工况控制方式；

抓斗模式工况控制方式；

大车控制工况模式；

各机构及工况控制模式详解：

单支持机构控制工况模式，此模式工况下操作联动台支持（起升）主令，仅支持机构可以动作。此工况动作时，支持机构变频驱动方式需采用闭环速度控制模式控制，为了提高响应速度，斜坡时间可以调小。为了提高设备对应不同工况时的稳定性，斜坡时间可以选用通讯给定。

单开闭机构控制工况模式，此模式工况下操作联动台开闭主令，仅开闭机构可以动作。此工况动作时，开闭机构变频驱动方式需采用闭环速度控制模式控制，为了提高响应

速度,斜坡时间可以调小。为了提高设备对应不同工况时的稳定性,斜坡时间可以选用通讯给定。

吊钩模式控制方式,此模式机构驱动采用支持和开闭机构协同同步运行,为了保证协同作业时的支持和开闭同步一致,一般此模式下支持机构和开闭机构采用力矩主从控制方式,但是需注意此控制模式下会有以下几项问题,第一当主机驱动出现问题时,力矩从机又可能会有飞车的安全隐患,为避免此安全隐患设计系统时需要设计防飞车保护。第二当机构速度高,响应速度要求较高时,会出现力矩震荡现象,即设备外部现象为机构频繁快速启停吊钩4根钢丝绳出现受力不均,甚至会出现绳差现象。所为提高支持开闭机构吊钩模式控制性能,可将控制驱动方式改为支持机构闭环矢量速度控制,开闭机构闭环矢量速度控制,然后通过通讯将支持机构驱动器的力矩读取,将此力矩值与开闭机构驱动器力矩值进行比较,通过plc程序设置高速扫描周期,建立力矩环模型,让开闭机构的力矩值始终跟随支持机构的力矩值。当开闭机构力矩值与支持机构力矩值差值大于稳态范围值时,力矩环启动通过plc程序对开闭机构驱动器进行力矩调节。

抓斗模式工况控制方式,此模式机构驱动和吊钩模式工况有相同点,即都需要支持机构和开闭机构协同运行,但具体控制上面要求更高,主要体现是抓斗模式工况时,既要求支持机+构和开闭机构同步运行,又要求开闭机构能独立运行,而且支持机构和开闭机构同步运行和独立运行有能自动交替动作。

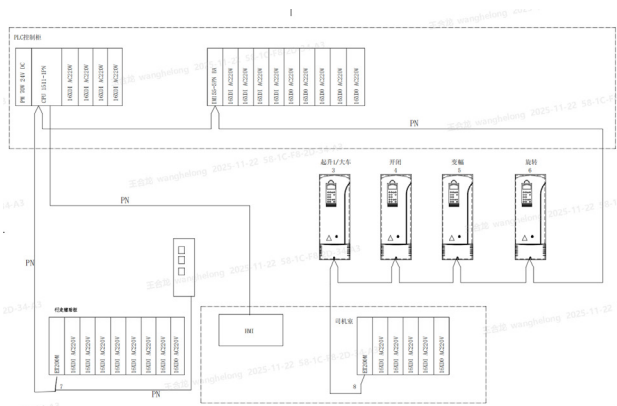
具体动作详解,我们这里通过抓斗工作的过程中,不同姿态时所需的控制要求进行论述,首先此模式工作从抓斗初始化开始,抓斗初始化即设置支持机构和开闭机构钢丝绳在抓斗完全打开时与抓斗完全闭合时的绳差值,并进行控制系统记录,之后作业过程,抓斗是打开姿态或闭合姿态,全通过实时数据与此记忆值进行比较来判断。下面从初始化完成后抓斗在空中抓斗闭合为起始抓斗姿态进行开始动作详解,第一步,抓斗开斗动作,此时由于抓斗在空中

此时开斗动作,需要支持机构保持不动,开闭机构主令往开斗方向动作,抓斗姿态会进行打开的动作,此时开闭机构驱动方式为,矢量闭环速度控制方式,当抓斗打开到最大开度后停止继续开斗动作,开斗指示灯点亮。(即支持机构与开闭机构允许开斗方向允许的最大位置差值对应的数据位置),第二步,抓斗闭斗动作,此时有抓斗在往闭斗方向运行,直至闭斗指示灯点亮,控制方式也为矢量闭环速度控制。第三步,当闭斗完成后,主令拉起升方向动作,控制方式从开闭机构运行切换至支持+开闭同步上升控制方式,此工况驱动控制方式为支持机构和起升机构走速度矢量闭环控制方式,控制过程运行过程,通过位置环参与调节相对位置,通过速度环调节同步速度响应,引入力矩环调节支持、开闭机构相对受力平衡,由于抓斗工况的特殊性,抓斗上升

过程中为保证抓斗上升运动过程中不出现开斗撒料的状况,所以需要保证一下控制状态,支持机构钢丝绳受力需要比开闭机构钢丝绳受力小约20%左右的动态平衡,支持机构和开闭机构需要做实时力矩值动态比较,然后用力矩值比较的结果配合力矩环模型进行调节,(即力矩差值越大调节数值越大,反之同理。但是需要注意由于高速扫描速度快,调节时出现调节震荡的情况,需根据情况适用力矩调节滤波。)抓斗主要运行工况即为上所述重复往返周期性运行作业。

6 控制系统通讯网络架构

四联杆抓斗门座机构控制系统通讯网络架构
根据整机PLC通讯网络架构进行解析:



PLC柜内为plc主站 ---- 支持/大车变频器

PLC主站 ----- 开闭变频器

PLC主站 ----- 变幅变频器

PLC主站 ----- 回转变频器

PLC主站 ----- 机下行走辅助柜plc子站

PLC主站 ----- 司机室联动台plc子站

PLC主站 ----- 司机联动台HMI子站

PLC主站 ----- 司机室超载限制器子站

PLC主站 ----- 港口中控站

PLC主站 ----- 电源柜多功能仪表站

PLC主站 ----- 高压柜多功能仪表站

7 结语

综上所述,本文围绕港口四连杆抓斗门座机控制系统展开深入研究,系统阐述了其主机构组成部分、电控系统配置、设备控制模式以及通讯网络架构。通过详细分析支持机构、开闭机构、变幅机构、回转机构和大车机构等关键组成部分,明确了各机构在港口作业中的功能与作用,为控制系统的优化提供了坚实的理论基础。在电控系统配置方面,深入探讨了高压供电电源部分、低压电气房部分、司机室部分以及门架梁仓部分的具体构成,强调了各部分协同工作对设备稳定运行的重要性。

针对设备控制模式,重点研究了单支持控制工况模式、单开闭控制工况模式、吊钩模式工况控制方式、抓斗模式

工况控制方式以及大车控制工况模式。通过对比不同模式的特点和控制要求,提出了相应的优化策略,特别是针对吊钩模式和抓斗模式工况中存在的同步运行与独立运行问题,创新性地引入了力矩环模型和高速扫描周期调节方法,有效解决了力矩震荡和绳差现象,显著提升了设备的稳定性和作业效率。此外,对四连杆抓斗门座机构控制系统的通讯网络架构进行了详细解析,明确了 PLC 主站与各变频器、子站之间的通讯关系,为系统的实时监控和故障诊断提供了有力支持。

本研究的成果不仅为港口四连杆抓斗门座机控制系统的优化提供了科学依据,也为同类设备的研发和改进提供了有益的参考。未来,随着港口作业需求的不断变化和技术的持续进步,四连杆抓斗门座机控制系统仍面临诸多挑战,如

智能化水平的提升、能耗的进一步降低以及作业安全性的增强等。因此,后续研究可围绕这些方向展开,通过引入先进的控制算法和传感器技术,不断优化系统性能,推动港口机械向更加高效、智能和环保的方向发展。

参考文献

- [1] 李华. 变频驱动技术在港口机械中的应用[J]. 机械工程学报, 2022, 58(3): 123-130.
- [2] 张明. PLC控制在门座式起重机中的应用研究[J]. 起重运输机械, 2021, 45(7): 45-49.
- [3] 陈强. 港口机械电控系统优化策略[J]. 中国港口, 2020, 35(2): 78-82.
- [4] 刘伟. 四连杆门座机控制系统通讯网络架构设计[J]. 电气传动, 2019, 49(11): 56-60.