

Research and Application of Torsion Proof Technology of Shore Container Crane Crane

Weiyang Wu Wei Cheng

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

Abstract

This paper studies the anti-torsion technology of shore container crane crane to improve the stability and safety of shore bridge operation. Based on the influence of the torsion of the crane on the operation efficiency and safety, the paper analyzes the operation requirements, configuration and shaking factors through the literature research method, combined with the research results and production practices of domestic and foreign experts and scholars, and discusses the current solution status. The results show that the model prediction control (MPC) algorithm can effectively suppress the torsional vibration of the crane, and by establishing the dynamic model and the optimal control, realize the acceleration control of the trolley, and then control the smooth swing of the hanger.

Keywords

shore container crane; sling torsion prevention; MPC control model

岸边集装箱起重机吊具防扭技术研究与应用

吴为洋 程威

武汉港迪电气有限公司, 中国 · 湖北 武汉 430000

摘要

论文深入研究了岸边集装箱起重机吊具防扭技术,旨在提升岸桥作业的稳定性和安全性。基于岸桥作业中吊具扭转问题对作业效率和安全性的影响,通过文献研究法,结合国内外专家学者的研究成果和生产实践,分析了吊具作业要求、配置情况以及摇动扭结因素,并探讨了现行的解决现状。研究表明,采用模型预测控制(MPC)算法可以有效抑制吊具的扭转振动,通过建立动力学模型并进行最优控制,实现了对行走小车的加速度控制,进而控制吊具的平稳摆动。

关键词

岸边集装箱起重机; 吊具防扭; MPC控制模型

1 引言

岸边集装箱起重机吊具防扭技术主要是指在集装箱起重机吊具起升过程中,通过控制技术防止吊具发生扭转,以保证起重机作业的稳定性和安全性。该项技术在保障岸桥作业安全,提升岸桥作业效率方面具有重要作用。近些年,国内外诸多专家学者围绕该技术做了深入研究。如翟秀丽等采用模糊自适应 PID 控制的方法,将模糊思想与经典的 PID 控制方法结合,实现实时改变控制参数的目的^[1]。论文基于现有研究成果,结合生产实践,对岸边集装箱起重机吊具防扭技术进行研究分析。

2 岸边集装箱起重机吊具作业要求及配置情况

岸桥配置提升机、小车、小车等;纵横四大运转机制,

从工厂开始就有了系统的各种安全保护,包括终点减速,终点停止,鞍梁保护;提升高度保护,机构间联动等一般保护设备^[2]。起重机(包括吊具)和小车是设备运行中的重要机械,其正常的装载和卸载操作程序如下。

装载程序:提升机/提升联动→降低至地标柜以上的安全标高→降低着箱/锁定→低速抬升→小车一起升联动→降低至船舶所需的摆柜以上的安全高度→下降着箱/解锁→慢速上升→起升/小车联动→重复循环。

卸载程序:提升小车/举升联动→降低至船舶规定的机柜以上的安全高度→降低着箱/锁闭→低速升高→小车/起升联动→降低着箱/解锁→缓慢上升→下降着箱/解锁→慢速上升→起升/小车联动→重复循环。

现行的起重机一般运行速度限制主要有四种情形:受载后,起重装置的速度限制为 10%;机舱吊重低于 0m 时,提升装置速度限制为 50%;在达到提升上、下端之前 8m 处,进行一次和二次减速;根据载荷的质量和功耗来确定提升的运转速率。

【作者简介】吴为洋(1991-),男,中国湖北荆州人,从事电气工程及自动化研究。

3 岸边集装箱起重机吊具摇动扭结因素分析及解决现状

3.1 因素分析

在装卸作业中，由于悬挂装置的摆动和打结现象非常普遍，直接关系到作业效率、安全性和操纵舒适度。要保证在一定的时限之内，顺利地全部完成全部的卸载工作，就需要对悬挂装置进行有效的预防和控制。根据岸桥的特点，提出了采用钢索将吊机和吊车相连的方法。在工地上进行装载和卸载工作时，通过小车的移动装置带动了小车的移动，并与其对应地，通过钢索悬挂装置也会有一个加速作用^[5]。在这样的条件下，即使车子停了下来，也会持续的运动，形成一个摇摆的扭结。

如小车在做停止动作时，把车辆和悬挂装置之间的悬挂钢索看成是一根弹性绳索，把悬挂装置作为粒子，悬挂装置的摆动扭结可以简化为一个单摆系统；这样就不能彻底防止集装箱吊车的摆荡和扭摆。在实际的装载过程中，必须通过驾驶员对悬挂装置进行操纵，以减少悬挂装置晃动和打结给运输造成的不良后果，使其能够平稳地实现对容器的安装和卸载。在这样的条件下，要达到高效运行，必须克服悬挂装置的摇摆和扭结。在自动、半自动的装卸过程中，防止摇摆和扭结是必不可少的，是保证装卸效率和安全的关键。

3.2 解决现状

当前，针对集装箱起重机吊具摇动扭结问题，多采用一些常规的减摇防扭方法。如：

①起升钢丝绳交叉缠绕。针对集装箱吊车悬臂摆动打结的问题，通常采取提升钢索交错缠绕的办法。该方案并不属于防摇设备范畴，其实质是通过增加钢索与水平面之间的角度，对处于摇摆扭结时的钢索进行有效调控。这种控制方式具有一定的防摇作用，但效率并不理想，特别是当悬挂物的位置和载荷状况发生变化时，所产生的减摇效应也会发生很大的变化^[4]。

②八绳防摇系统。采用八组绳盘，通过换向带轮将钢丝绳定位至吊具架上的4个固定点，从而使钢丝绳能够在吊具和小车间形成4个彼此独立的三角形，从而发挥出较好的稳固作用，从而减少了吊具摆动打结。这种方案虽然具有很好的抗摇性，但其整体设计较为复杂，而且由于其重量的增加，提升电动机的动力也随之增加。在解决了悬挂装置的抖动和打结问题后，将所有的能量都转移到了钢铁和轮子上，让轮胎受到更大的损伤，从而降低了车辆的寿命。此外，当悬挂装置提升高度过大时，八索抗摇装置的使用效果也会受到影响。

③机械减摇装置。采用防摇机构能较好地解决吊车的悬挂摆动打结的问题，即在小型框架的下方设有专门的防摇平台，再将防摇机构设置于该平台之上，再将防摇机构与悬挂架相连。在装卸过程中，减速马达利用链轮齿将固定的卷取扭矩传送到卷轴上，使得卷轴能够保持一定的卷取倾向。

当吊车在进行容器的装载和卸载操作时，开启减摇闸，减速器就能用收放绳子的方法来调整钢丝绳的状况，保证了钢丝绳总是处于张紧的状态；通过电动机的驱动，对船舶具有较好的防摇效果^[5]。

④电子减摇装置。减摇装置的原理是利用各种传感器及探测部件对各种参数进行采集和探测，然后把这些数据传送到电脑中，再由专门的编程指令来调节小车的转速，以减少悬挂物的摆动，实现防摇。在码头装卸桥的防摇晃中，采用了一种新型的防摇设备——防摇系统。当吊具受到外力而发生摆动和扭曲的时候，利用该电子防摇设备就能对吊具的摆动角和角速度等进行实时监测，并将获得的数据传输到电脑中，通过控制系统进行计算和分析，将指令传送给小车，使其做出相应的操作。从而可以对悬挂装置的摆角进行调节。

可以看到，目前关于悬挂装置绕垂直轴心的扭转控制，大都是在悬挂装置中加入一组单独的防扭转装置，利用该装置对提升钢索进行伸缩控制，以达到防止扭转的目的^[6]。且以上方法及研究主要针对大型岸桥提升卷绕体系建模，未涉及卷绕体系的弹性变形及下垂率等因素。另外，在岸桥的运行实践中，多数未考虑吊挂系统高度、吊装重量和行驶速度等参数，很难达到岸桥的抗扭转需求。

4 岸边集装箱起重机吊具防扭新技术

4.1 技术背景

常规的机械式抗扭转方式主要是通过岸桥侧倾动油缸的膨胀和变形来使其保持平衡。由于液压系统的动作响应时间短，不能满足长时间的持续运行要求，所以其抗扭转效果不显著。论文所研究的是一种应用于工业自动化中的数学模型预测控制算法。该模型由预测模型、滚动优化和回馈修正三部分组成。在此基础上，提出了一种基于二次规划目标函数的方法，并对其进行了求解，从而获得了一系列的控制参数，对扭转振动起到很好的抑制作用。

4.2 技术研究

当前，许多码头选择3E大型岸边集装箱起重机作为码头前沿主力设备。这类起重机的操控系统已经相对完善，无需添加单独的作动器^[7]。基于此，可利用一种成熟的控制算法，实现对行走小车的加速度的控制，进而实现悬挂装置的平稳摆动。

预测控制(MPC)作为一种先进的控制方法，在工业过程控制、自动驾驶和能源系统等方面有着重要的应用。其基本思路是建立一种能够对未来运行状态进行预测的动力学模型，并在此基础上对其进行最优控制(见表1)。以该系统目前的运行状况为最优化控制问题的起始条件，所得到的最佳控制顺序仅执行一阶控制动作。由于模型预报控制一般都是以一个离散的系统为对象，所以它的预报间隔就是一个不连续的预报步骤。

表 1 MPC 控制模型的核心组成部分及功能

模型预测控制 (MPC) 组成部分	功能描述
预测模型: 梁上端的扭转机构伸缩运动	建立起重机吊具动力学模型
滚动优化: 索膨胀变形实现最优控制	基于预测模型的最优控制序列
回馈修正: 时数据调整小车速度	实时调整控制参数以应对系统变化
控制参数优化, 抑制扭转振动	通过三次规划目标函数求解
离散系统预测运行状态, 优化控制	以离散时间步长进行系统状态预测
实时调整挂物摆动, 提高装卸效率	根据实时反馈调整控制策略
反馈控制: 动角、角速率传感器优化控制	利用传感器数据进行闭环控制

考虑到悬挂装置的工作特点, 提出了由四套钢索将提升滑车固定点和悬挂式移动滑槽车固定点的简单动力学模型。在此基础上, 利用钢索的膨胀变形, 仿真了前梁上端的扭转机构的伸缩运动。由于钢索的长短及倾角的不同, 其所受的力矩也会发生相应的变化, 因此可产生刚性的旋转^[8]。为保证实时控制精度, 悬臂式悬挂装置抗摇摆预测控制以最优预报间隔为优化输入, 利用滚动寻优获得各阶段最优解实现最优控制。

在悬挂式抗扭转传动中, 电动机的最大速度、最大转矩均存在一个最大的输出极限, 而在工程应用中, 需要对其进行速度、加速度的设定。与其他线性调控方式相比, 预测控制具有更大的优点, 即对多变量、有限制的控制。本项目研究成果将为岸桥提升卷扬系统的设计提供新的思路, 并将其运用于船舶吊运卷取的设计中, 实现对船舶吊放卷取的实时动态模拟。前后梁的防扭转、后梁的伸缩式和后箱的伸缩式都设有传动装置。该装置采用正弦波形式输出尾油缸的伸出量, 带动悬挂装置作周期转动。在此基础上, 以悬挂机构的摆动角、角速率等传感器为状态变量, 利用预测控制算法对抗扭推杆进行优化设计, 从而解决起重机吊扭结问题, 保障岸桥作业安全。

5 结语

通过对岸桥集装箱起重机吊具防扭技术的研究, 论文提出了基于模型预测控制 (MPC) 的新型防扭技术。该技

术通过预测模型、滚动优化和回馈修正三部分构成的控制算法, 实现了对吊具扭转振动的有效抑制。研究结果证实, MPC 控制方法在工业自动化中具有广泛的应用前景, 尤其是在大型岸边集装箱起重机的操控系统中, 能够显著提高作业的稳定性和安全性。此外, 本研究还为后续的岸桥提升卷扬系统设计提供了理论依据和技术支持, 有助于推动港口装卸作业向更高效率和更安全的方向迈进。

参考文献

- [1] 翟秀丽. 集装箱起重机吊载防扭控制研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2022.
- [2] 管明星, 张锋. 基于模型预测控制的岸边集装箱起重机吊具防扭设计[J]. 港口装卸, 2024(4): 1-5+22.
- [3] 刘春明, 朱娜, 江灏. 一种基于线性二次型调节器的岸边集装箱起重机吊具防摇方法[J]. 港口装卸, 2023(1): 35-39.
- [4] 陈俊敏. 岸边集装箱起重机装卸作业安全防护功能智能化设计[J]. 港口装卸, 2022(5): 65-68.
- [5] 杨育青, 曹雪东. 双起升岸边集装箱起重机吊具防摇防扭控制系统设计[J]. 集装箱化, 2020, 31(8): 15-17.
- [6] 曹中恬. 集装箱起重机吊具防摇和防扭技术分析[J]. 现代制造技术与装备, 2020(5): 161-162.
- [7] 段小明, 单磊. 双小车岸边集装箱起重机主吊具防摇防扭控制特性研究[J]. 港口装卸, 2020(2): 17-20.
- [8] 赵斌, 周颖达, 闻佳华. 自动化岸边集装箱起重机小车架丝杆吊具防扭技术[J]. 起重运输机械, 2019(22): 70-73.