

# 自动化集装箱码头主要搬运设备关键技术

杨有贵

(北部湾港钦州码头有限公司, 广西 钦州 535011)

**摘要:** 自动化集装箱码头的搬运设备是实现集装箱运输的物质基础, 对于集装箱码头的作业效率、安全和环保具有重要影响。随着自动化集装箱码头向智能化和绿色化方向发展, 其主要设备的相关技术也在与时俱进。对自动化集装箱码头的主要前沿设备、堆场设备和水平运输设备进行了分类, 梳理了其在智能化和绿色化前景下的关键技术, 并分析了各技术的主要特点, 可为自动化集装箱码头的设备选型和技术革新提供参考。

**关键词:** 自动化; 集装箱; 码头前沿; 堆场; 水平运输; 关键技术

**中图分类号:** TP2   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1006—7973 (2022) 06—0067—04

集装箱码头主要由码头前沿、堆场和水平运输系统组成。码头前沿是指沿码头岸壁到集装箱堆场之间的码头面积, 是集装箱码头的主要生产区。堆场是办理集装箱重箱或空箱装卸、转运、保管和交接的场所。水平运输系统则扮演着连接堆场与码头前沿的重要角色, 具有承上启下的作用。自动化集装箱码头的搬运设备是实现集装箱运输的物质基础, 使码头的各部分紧密相连, 形成一个有机整体, 对于集装箱码头的作业效率、安全和环保具有重要影响。随着自动化集装箱码头向着智能化和绿色化方向发展, 其主要搬运设备的相关技术也在与时俱进。本文针对集装箱码头智能化和绿色化的发展前景, 从码头前沿、堆场和水平运输三个场景介绍自动化集装箱码头主要运输设备及其关键技术, 对各技术的主要特点进行分析和总结。

## 1 码头前沿主要设备关键技术

码头前沿完成集装箱从海到陆的运输过程, 绝大部分港口都采用岸边集装箱起重机(岸桥)作为运输设备。岸桥关键技术主要包括岸桥双小车技术、岸桥吊具防摇技术、岸桥远程操作技术、岸桥加高技术和岸桥状态监测技术等。

### 1.1 岸桥双小车技术

双小车岸桥有利于实现装卸作业的自动化, 通过先进的自动控制技术使其与地面运输 AGV 或卡车自动配合, 形成高效作业系统, 大大提高作业效率。目前双小车岸桥存在两种基本形式, 一种是岸桥的一个作业循环由相互独立的高位前小车和低位后支架体小车在中转平台处以接力方式来完成, 称之为接力式双小车岸桥; 第二种是岸桥上主梁同时工作有两个独立的起重小车, 每套小车存在独立的起升装置, 各自完成自己的作业循环,

称为独立的双小车岸桥。

### 1.2 岸桥吊具防摇技术

随着岸桥向大型化发展, 其行走小车的运行速度及集装箱的起升高度也相应提高。如果不采取防摇措施, 将导致岸桥在迅速正确对位(吊具与集装箱对位, 起吊的集装箱与底盘车、堆场或船舱对位)环节上花费过多的时间, 极大影响生产效率和装卸速度。目前在岸桥采用的吊具防摇技术有机械式防摇和电子式防摇两大类。电子式防摇已得到广泛应用, 主要包括输入整形技术和模糊控制技术等。输入整形技术是一种开环控制技术, 主要通过对小车运行速度进行整形以达到控制吊具晃动的目的; 模糊控制技术主要通过视觉传感器或陀螺仪测量吊具摆角和角速度, 利用模仿司机操作的模糊规则来实现防摇控制。

### 1.3 岸桥远程操作技术

远程操控岸桥的应用可提高岸桥司机的操作舒适度, 通过摄像设备和扫描监控的应用, 扩展操作人员的视线范围。通过自动化操控系统和 TOS 系统相连接, 达到岸桥远程自动操作的目的, 把岸桥司机从恶劣的现场环境中解放出来。岸桥远程操作主要包括以下环节: 岸桥与远程控制室之间的高速数据通讯连接, 高清全数字视频采集系统, 画面分割显示系统, 远程操作室, 集装箱船形扫描系统, 集卡定位系统等。

### 1.4 岸桥加高技术

对现有岸桥进行加高, 可提升大型船舶的作业效率, 更加适应船舶大型化要求和提升岸桥工作能力, 并将设备的使用价值最大化。如上港集团振东码头分公司<sup>[1]</sup>采用上部结构加高方法, 即主要采用浮吊等大型起重设备将上部结构抬升与门框分离, 机器房再将加高段安装至上部结构与门框中间。厦门嵩屿集装箱码头有限公

司在没有考虑使用大型浮吊配合改造的情况下采用“下部机构顶升”的方式加高<sup>[2]</sup>。

### 1.5 岸桥状态监测技术

岸桥的状态监测是用来监测起重机工作时的运行状态,通过提取的状态信息数据反映起重机的工作情况,以保证起重机安全高效的运行。如天津港采用虚拟仪器技术,以 LABVIEW 软件为开发平台,结合数据采集卡,设计出岸桥应力监控系统,用于监测岸桥重点部分的应力变化<sup>[3]</sup>。

## 2 集装箱堆场主要设备关键技术

集装箱堆场完成的是用于交接和保管集装箱的运输过程,该过程用到的主要运输设备有轮胎吊和轨道吊,统称为场桥。场桥关键技术主要包括轮胎吊新能源技术、场桥远程操作技术、场桥定位技术、场桥吊具防摇技术、轮胎吊自动纠偏技术、场桥防撞技术和场桥状态监测技术等。

### 2.1 轮胎吊新能源技术

传统轮胎吊采用内燃机驱动,已不能适应港口绿色化的发展趋势。轮胎吊新能源技术主要包括混合动力驱动技术、锂电池动力系统技术、液化天然气燃气技术和氢燃料电池技术等。混合动力驱动技术是在轮胎吊的直流母线上加装储能系统,当轮胎吊初始运行时由发电机组对储能机构充电至规定数值后开始正常运行,该技术具有节能率高、使用灵活、方便转场以及便于生产调度等优点。锂电池动力系统技术是将大容量锂电池应用轮胎吊,节能效果可达到50%以上,与市电轮胎吊相比,保持了RTG转场的机动性,不需要人工参与。振华重工成功将锂电池与液化天然气两种优质清洁能源结合应用在轮胎吊上,与常规节能轮胎吊相比,改造后的轮胎吊不仅保留了常规产品的机动性优点,而且在节能减排效果和使用寿命方面得到显著提升。此外,振华重工还推出了全球首台氢燃料电池轮胎吊,氢燃料电池在整个工作过程只产生水和热,相比锂电池,其体积小、重量轻、充能效率高,是未来港口轮胎吊及流动机械的发展趋势。

### 2.2 场桥远程操作技术

与岸桥远程操作技术类似,场桥远程操控指通过技术手段,将原先在驾驶室的操作移至后方远程控制室操作,操作模式由原先的“一对一”转变为全局随机分配的“一对多”。场桥远程操控技术改造可大幅减

少人工费用,降低司机劳动强度,延长司机职业寿命,降低设备能耗和排放,提高产业智能化水平。

### 2.3 场桥定位技术

为实现自动化堆场的高效运作,高、低架轨道吊的大车、小车和吊具以及集装箱卡车必须快速准确定位。轮胎吊大车定位技术主要有直接坐标定位、电磁定位、BTG磁钉定位、光学定位、DGPS差分全球定位系统定位和图像识别定位等<sup>[4]</sup>。轨道吊小车定位可采用编码器加磁尺双校验定位模式。吊具起升则可采用绝对位置编码器的方法进行定位。

### 2.4 场桥吊具防摇技术

与岸桥吊具防摇技术类似,场桥吊具防摇技术也分为机械式和电子式两大类。其技术原理类似,这里不再赘述。

### 2.5 轮胎吊自动纠偏技术

由于轮胎吊自身结构特点,在运行时会发生轻微的路径偏移,随着运行时间的增加,偏移会越发严重,如果在作业过程中跑偏,极易发生刮碰事故,造成轮胎吊或其他设施设备损坏。常用的自动纠偏技术包括基于GPS的纠偏技术、地面划线和图像识别纠偏技术、地面埋设检测体纠偏技术、红外线或光电测距纠偏技术和激光扫描纠偏技术等。

### 2.6 场桥防撞技术

场桥在作业时,由于吊具遮挡存在视野盲区,有时无法及时、完整观察到堆码集装箱的情况。而小车和起升机构运动速度较快,且吊具所带载荷往往较大,如果没有正确观察到集装箱堆码高度及集卡高度,轻则会造着箱过快或者碰箱,重则可能引发“打保龄球”事故,导致集装箱倾倒,甚至出现人员伤亡。因此,可采用集装箱堆码轮廓扫描技术,利用激光扫描仪对堆场内码垛的集装箱轮廓进行扫描,建立了堆码集装箱轮廓,从而避免视觉盲区<sup>[5]</sup>。

### 2.7 场桥状态监测技术

场桥状态监测技术与岸桥状态监测技术类似,主要用来监测场桥工作时的运行状态,通过提取的状态信息数据反映其工作情况,以保证场桥安全高效的运行。对于轮胎吊,通常还需要在轮胎中安装胎压监测系统以读取轮胎气压、温度等数据,通过监测到数据分析降低由于轮胎引起事故频次。

## 3 集装箱水平运输主要设备关键技术

水平运输完成将集装箱从码头前沿到堆场和从堆场到港口外的运输过程，该过程中用的到设备有集装箱卡车、跨运车、AGV、IGV、堆高机和正面吊等设备。

### 3.1 集卡关键技术

集装箱拖挂车简称集卡，港口用的集卡主要是作为水平运输的车辆，利用牵引车来拖动承载集装箱的底盘车，进而完成集装箱的转运工作。集卡关键技术主要包括集装箱防吊起技术、集卡引导与定位技术。

(1) 集装箱防吊起技术。在集装箱提升过程中，如果集装箱和集卡车身未完全分离，使得车身被一并提起，严重时会使车辆倾覆，损坏车辆并危及拖车司机的安全。防吊起系统可使用二维激光器实时扫描集卡车身和集装箱，通过分析距离检测值以识别出集装箱侧面和集卡车身。当集装箱从集卡车身提起过程中，检测集卡车身是否发生位移以确定车身锁头是否与集装箱完全解开。一旦集卡车身位移过大，系统会立刻禁止起升机构继续上升动作，防止车身被集装箱一同提起。

(2) 集卡引导与定位技术。集卡引导系统(CPS)可解决集卡定位不准确和自动化码头对集卡车无法引导定位的问题。该系统主要用于引导集卡司机快速、准确地进行集卡装卸作业。包括激光扫描、中央处理及显示屏三个部分，其原理是通过激光扫描器实时监测集卡位置，将集卡实时位置与理论位置对比，集卡位置显示屏实时显示在大车方向上与准确停靠位置的偏差值，引导集卡司机向前、向后移动集卡，快速、准确地停靠到准确位置，极大地提高了岸桥和场桥的工作效率。

### 3.2 跨运车关键技术

跨运车可一机多用，具有完成多种作业的能力，可做水平运输，也可作堆垛堆码、搬运及装卸作业，机动性好，作业灵活，但结构、机构复杂，车体较窄，质心位置高，行走稳定性差，对路面和司机操作水平要求高。跨运车关键技术主要包括防侧翻控制技术、防集装箱偏载技术、转向差速电子校正技术、平顺性技术和清洁能源技术等。

(1) 防侧翻控制技术。包含差动制动技术等，差动制动是通过控制车辆的横摆运动间接控制车辆的侧倾运动从而防止车辆发生侧翻事故。

(2) 防集装箱偏载技术。包含机械式升降系统方式等，其采取特定的缠绕方式将吊具一侧两个吊点的钢丝绳连在一起，可有效防止因集装箱偏载引起的吊具偏

转。

(3) 转向差速电子校正技术。跨运车两侧的车轮分别用两台变频电机驱动，不采用差速器的传动方案，有利于整机的布置，简化结构。两套转向机构分别布置在车的两侧，转向时由两侧的油缸分别驱动各自的转向机构。在整机转向行驶时，根据内外车轮的实际转向角度，PLC根据转向油缸的伸缩长度实时计算内外轮的运行速度关系，从而控制内外两侧的两个变频电机按不同的速度运转，实现内外车轮的差速运转，保证整车的4个车轮绕一点做近似的纯滚动。

(4) 平顺性技术。采取大车车轮采用无内胎式橡胶轮胎、车架与底梁之间设螺旋弹簧，形成弹性独立悬挂等措施来使跨运车具有较好的平顺性<sup>[6]</sup>。

(5) 清洁能源技术。跨运车采用清洁能源主要有混合动力和纯电池两大模式。混合动力跨运车主要采用“柴油机+锂电池”和“LNG燃料+锂电池”两种方式，与原有柴油动力跨运车相比，“LNG燃料+锂电池”方式可减少99%的浮尘排放量，其它有害污染物的排放也大幅减少。纯电池有纯锂电池和氢燃料电池两种方式，可实现污染物的零排放。

### 3.3 AGV 关键技术

AGV是装备有电磁或光学等自动导引装置，能够沿规定的导引路径行驶，具有安全保护以及各种移载功能的运输车，它不需要驾驶员，利用可充电的蓄电池为其动力来源。集装箱码头AGV关键技术主要包括定位导航技术、自动换电技术和路径规划技术等。

(1) 定位导航技术。导航系统为AGV核心组成部分，面向自动化集装箱码头常见的AGV导航方式主要有视觉导航、激光导航、磁导航等，这些技术各有优缺点。视觉导航能够实现自主高精度定位，但易受环境影响导致适应性差；激光导航定位精度高、抗干扰能力强，但硬件成本也较高；磁导航控制简单、成本低、且抗干扰能力强，可在各种环境下工作，但其运行路径受限于地理标签(磁钉)，灵活性受限，更改路径施工量大。

(2) 自动换电技术。传统的AGV采用充电方式，在充电过程中会导致本体闲置，影响作业效率。利用换电机器人可24小时对多辆AGV进行不间断换电。做到动力电池集中充电和换电，使动力电池实现独立检修，每台AGV有更多的时间作业，还可降低AGV的配置数量，提高每台AGV的产能。

(3) 路径规划技术。合理的路径规划方案能够确保 AGV 顺畅行驶并缩短行驶距离,使其在生产过程中快速周转,从而提高 AGV 作业效率,不仅有助于降低岸桥和 AGV 数量配比、节省设备一次性投资和后续维修保养开销,而且有利于降低能源消耗、提升码头生产效益。AGV 行驶路径规划主要受任务分配、岸桥作业时间和 AGV 数量的影响。

### 3.4 IGV 关键技术

IGV 即智慧型引导运输车,在港口也称为无人集卡,和 AGV 相比较,IGV 柔性化程度更高,无需借助任何标记物行驶,并且路径灵活多变,可根据实际生产需求灵活调度单。IGV 关键技术与 AGV 类似,主要包括定位导航技术、自动换电技术和路径规划技术等。但其定位导航技术与 AGV 有所不同。作为水平运输设备的 IGV,主要依靠自然轮廓导航,采用配备卫星导航定位、激光雷达 SLAM(同步定位与建图)、视觉 SLAM 等多传感器融合定位技术,存储一套工作空间的数字地图,通过实时比较数字地图和激光雷达的读数或视觉数据来推断其所在位置。这种无人驾驶 IGV 运输灵活,在码头堆场间自由穿梭,可将集装箱运输至每一个堆场箱区内。

### 3.5 正面吊关键技术

集装箱正面起重机俗称正面吊,主要用于集装箱的堆垛和码头、堆场内的水平运输,它具有机动灵活、操作方便、稳定性好、轮压较底、堆码层数高、堆场利用率高等优点,可进行跨箱作业。正面吊关键技术主要包括纯电正面吊技术、流量放大技术和正面吊安全保护技术等。

(1) 纯电正面吊技术。随着国家双碳目标的制定,环保要求不断升级,纯电正面吊技术也开始得到推广应用。如三一重工推出的纯电正面吊 SRSC45E3 整机采用 507kWh 大容量磷酸铁锂电池组,支持大功率双枪充电技术,充满电仅需 1 小时,连续作业可达 10 小时。

(2) 流量放大技术。流量放大技术主要思路就是通过控制小流量从而控制到达转向油缸的大流量,即只有小部分流量通过转向器,通过控制放大器阀芯的开度控制到达油缸的流量,从而控制转向速度。该技术可以使正面吊操纵非常轻便,反应便捷。

(3) 安全保护技术。正面吊安全保护技术需要自动获取吊具上重物重量,以避免过大的载荷导致正面吊受损。方法大致可分为两种<sup>[7]</sup>:一种是在吊具上装压力

传感器,测量吊具受重物拉扯时的力,从而计算出吊具上的重物重量;另一种是根据力矩平衡的方法,计算出吊具上的重物重量。

## 4 结束语

随着港口向智慧化和绿色化方向发展,自动化集装箱码头的主要设备也在走向智能化和绿色化。本文以自动化集装箱码头的主要运输设备为对象,将其按前沿设备、堆场设备和水平运输设备进行了分类,对各设备在智能化和绿色化前景下的关键技术进行了梳理,详细分析和总结了各关键技术的特点,可为自动化集装箱码头的设备选型和技术革新提供参考。

### 参考文献:

- [1] 薄海虎. 上海港大型岸桥加高技术安全性评价及应用[J]. 港口科技, 2014, 11: 40-43.
- [2] 林超. 岸桥加高技术的应用及分析[J]. 港口科技, 2019, 12: 58-60.
- [3] 张弛. 基于虚拟仪器技术的岸桥应力监控系统设计[J]. 科技信息, 2010, 28: 626.
- [4] 陈鹏元. 轮胎吊大车定位的技术方案[J]. 机器人技术, 2019, 3: 50-52.
- [5] 周兴奎. 激光测距仪在龙门吊防“打保龄”中的应用[J]. 集装箱化, 2015, 26(7): 25-26.
- [6] 李海波. 轻型集装箱跨运车的开发及应用[J]. 港口装卸, 2009, 1: 1-4.
- [7] 荣大伟. 45t 集装箱正面吊运动安全系统研究与开发[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011.

