

自动化重箱轨道吊在传统集装箱码头的创新应用

沈 辉

(上海国际港务(集团)股份有限公司振东集装箱码头分公司, 上海 200137)

摘要:为解决传统集装箱码头普遍遇到的堆存能力瓶颈,建设性地采用自动化重箱轨道吊箱区的方式来解决该问题,利用双悬臂轨道吊在自动化重箱轨道吊箱区的多种先进技术,在上海港得到实际应用,并取得良好效果,展现绿色、智慧、高效、人性化等优点。

关键词:港口;集装箱码头;双悬臂轨道吊

0 引言

自动化重箱轨道吊是现代集装箱港口装卸技术管理升级的必然趋势,也是装卸技术向自动化、智能化、数字化、信息化转型的必然趋势。建设智能化的自动化重箱轨道吊箱区,将大幅提高堆场的作业效率,提升码头对外服务质量,增强上海港的竞争实力,最大限度保障工人的安全、降低操作人员作业强度和运营成本,为港口带来新的效益。

上港集团振东分公司(以下简称“公司”)自成立以来,随着公司不断发展建设,近几年将剩余闲置场地全部改造为集装箱堆场,公司后方堆场布置已趋于饱和,平面已没有发展空间。如何通过技术革新解决传统码头普遍遇到的堆存能力瓶颈,发展自动化重箱轨道吊箱区不失为有效尝试。

1 自动化重箱轨道吊箱区布置

目前,全世界建成的自动化重箱轨道吊箱区主要有垂直码头布置和平行码头布置2种型式,这2种布置型式各有其适用范围和优缺点。

1.1 垂直码头布置型式

垂直码头布置型式,即端对端型式,主要用于水平运输设备为AGV、自动跨运车或跨箱搬运车等自动化水平运输设备的港区,外集卡交接主要在堆场陆侧端。该布置型式使港内车辆与港外车辆分开作业,互不干扰,便于管理,自动化程度高;

缺点是自动化轨道吊式轮胎吊与外集卡不方便直接交接,需要配置特殊设备辅助作业,交通组织不流畅。

1.2 平行码头布置型式

堆场平行码头布置型式,即点对点型式,主要用于水平运输设备为集卡等人工操作水平运输设备的港区,集卡交接区主要放在每条箱区两侧通道上。该布置型式对港区水平运输设备适应性强,作业灵活,特别适合由老港区改造形成的自动化重箱轨道吊箱区;缺点是自动化轨道吊式轮胎吊与外集卡点对点直接交接,对集卡的定位及引导较为困难,部分固定设备放置空间有限。

1.3 堆场布置方案选定

目前,公司存在的实际情况,由于箱区趋于饱和,箱量不断增长,可用于改造的场地数量较少,在自动化重箱轨道吊箱区改造过程中,不能影响目前存在的道路规划,还要把施工对日常生产作业的影响降到最低。考虑到种种限制条件,最终决定将原#71空箱堆场改造为自动化重箱轨道吊箱区。该堆场为长方形,长宽比较大,根据测算,每条箱区需要1台轨道吊,但放置1台不利于堆场作业的连续性,堆场内无备用设备,而且考虑到后期开发的可操作性,所以采用平行码头前沿线方向布置是最适合的方案。堆场布置10排36列箱位,设计堆高6层,地面箱位数360 TEU,箱区布置2台自动化重箱轨道吊。堆场总平面图见图1。

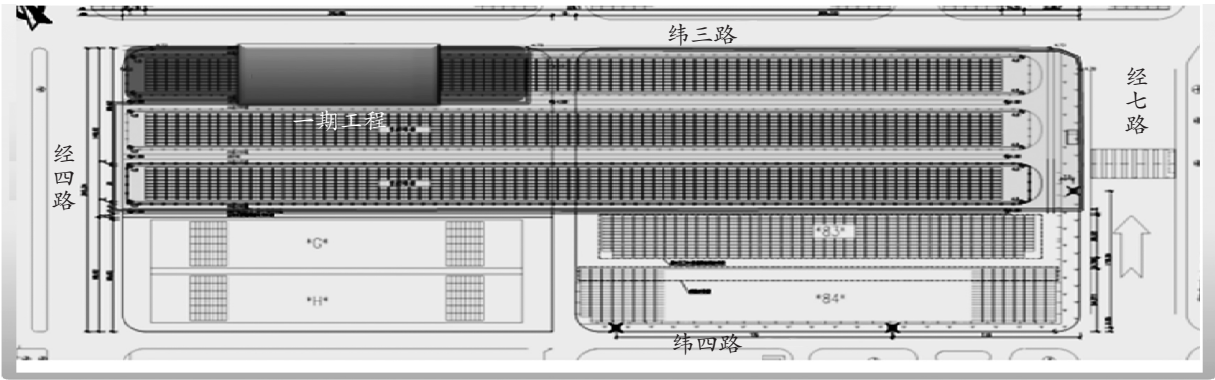


图 1 堆场总平面图

2 自动化轨道吊设备选型

目前,主流轨道吊按机构形式可分为无悬臂、带悬臂 2 大类。

2.1 无悬臂轨道吊的作业特点

(1)采用无悬臂轨道吊的自动化重箱轨道吊箱区,水平运输设备可以不进入箱区,分别在箱区的两端与轨道吊作业进行交接。

(2)轨道吊除完成集装箱的装卸、堆取作业外,还需承担集装箱在箱区内的水平运输。因此,箱区长度对轨道吊的效率影响较大,一般箱区长度在 300 m 左右,最长不超过 350 m。

(3)每个箱区只有 1 台轨道吊能直接为岸桥服务。

(4)对堆场规划和道路规划的要求比较高。

2.2 带悬臂轨道吊的作业特点

(1)采用带悬臂轨道吊的自动化重箱轨道吊箱区,水平运输设备进入堆场,与轨道吊的作业交接在设备悬臂下。

(2)水平运输设备与轨道吊之间的作业交接位置不固定,由水平运输设备将集装箱运输至箱

区的指定贝位,轨道吊轨道吊不承担箱区内的集装箱的水平运输,仅负责码垛和装卸。因此,带悬臂轨道吊的作业效率高,箱区长度加长对轨道吊的效率影响也不大。

(3)同一箱区的 2 台轨道吊都能对水平运输设备作业,直接为岸桥服务。

(4)对现有箱区规划影响小,道路走向改动小。

2.3 轨道吊设备选定

根据公司的场地特点,一期自动化重箱轨道吊箱区的外侧均设有道路,二期工程将由 # 71 箱区延伸到经七路,并结合港区的一些特殊功能需求进行箱区功能安排。因此,采用双悬臂式轨道吊,轨距为 31 m,跨 10 列箱,堆放高度可实现“堆 6 过 7”操作能力,水平运输设备采用集装箱卡车。在轨道吊的两侧悬臂下,各设置 2 条车道,分别为作业车道和超车道。自动化重箱轨道吊箱区平面图见图 2。海侧 2 根车道为公司内集卡专用车道,陆侧 2 根车道为外集卡专用车道,内集卡和外集卡同时作业,互不干扰,不会造成混乱。由于设置围网,箱区成为封闭型箱区,保证所有集卡司机的安全。

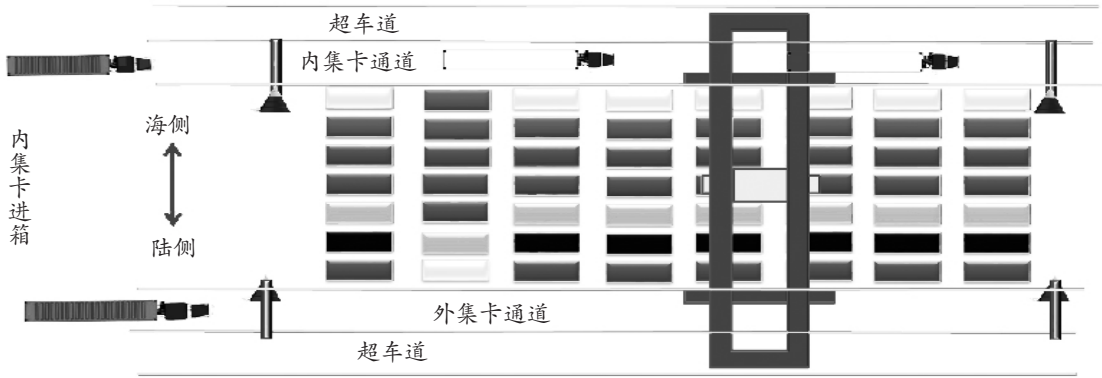


图 2 自动化重箱轨道吊箱区平面图

以 6A~6H 堆场为例建立模型,对比无悬臂轨道吊和双悬臂轨道吊的堆场能力。无悬臂轨道吊箱位图见图 3。双悬臂轨道吊箱位图见图 4。双悬臂轨道吊和无悬臂轨道吊堆存情况见表 1。双悬臂轨道吊和无悬臂轨道吊箱区容量和年通过能力对比见表 2。

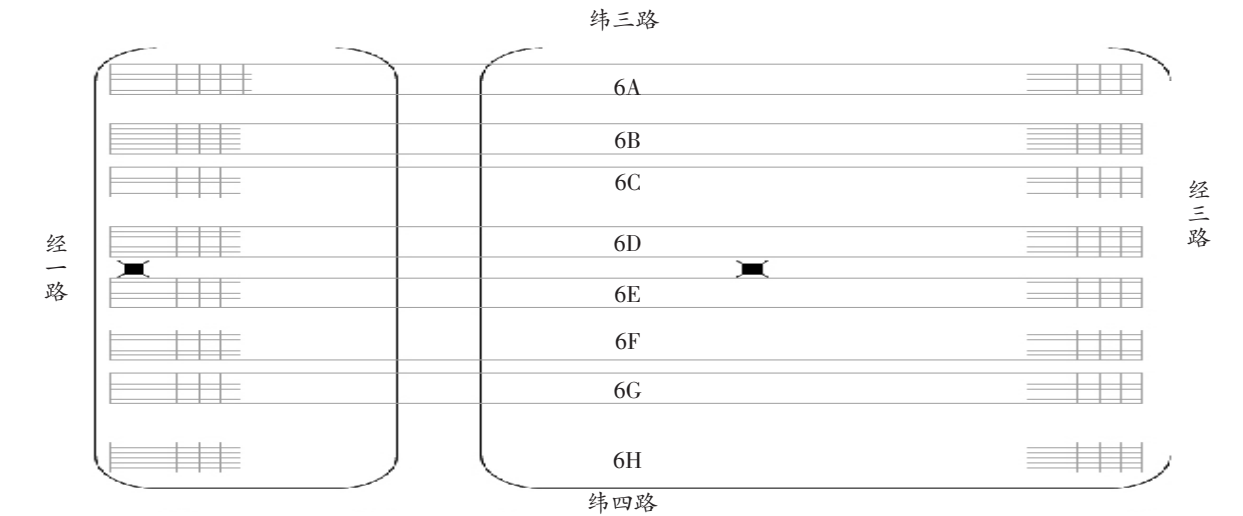


图 3 无悬臂轨道吊箱位图

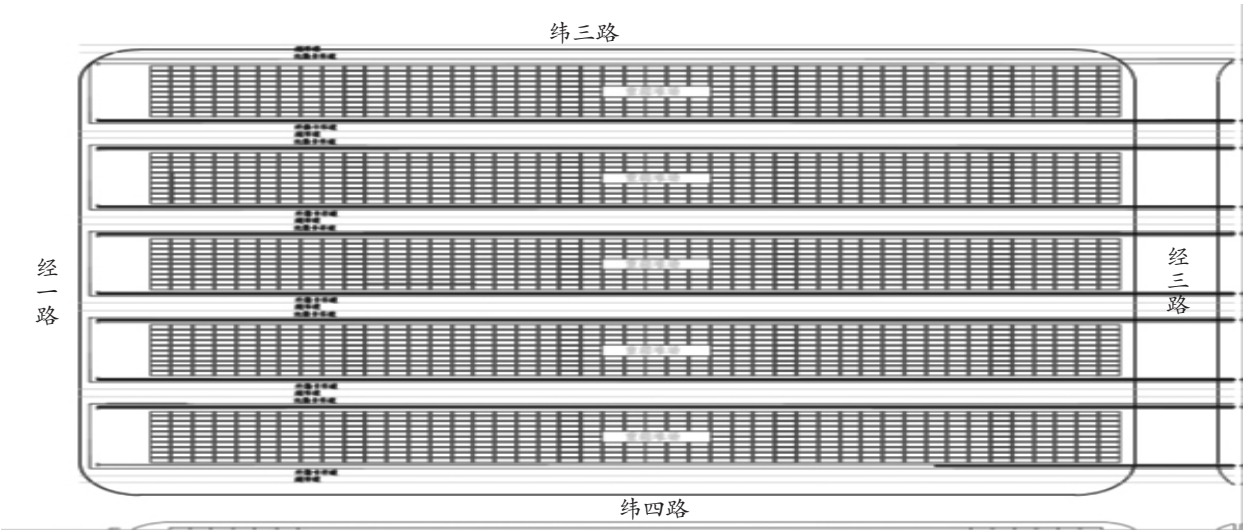


图 4 双悬臂轨道吊箱位图

表 1 双悬臂轨道吊和无悬臂轨道吊堆存情况

轨道吊类型	作业线/条	排数	列数	平面箱位/TEU	箱区容量/TEU
双悬臂轨道吊(“堆5过6”模式)	5	10	45	2 250	7 313
双悬臂轨道吊(“堆6过7”模式)	5	10	45	2 250	8 775
无悬臂轨道吊	8	6	47	2 256	5 866

表 2 双悬臂轨道吊与无悬臂轨道吊箱区容量和年通过能力对比

车型	箱区容量/TEU	箱区容量增加/%	年通过能力/TEU	年通过能力增加/%
双悬臂轨道吊(“堆5过6”模式)	7 313	24.67	398 864	24.67
无悬臂轨道吊	5 866		319 942	
双悬臂轨道吊(“堆6过7”模式)	8 775	49.60	478 636	49.60
无悬臂轨道吊	5 866		319 942	

经模拟测算,在相同条件下,箱区容量利用率按照 65%,工作天数为 360 d,平均堆存期为 5.5 d,不平衡系数取 1.2。

双悬臂轨道吊“堆 5 过 6”模式比无悬臂轨道吊箱区容量和年通过能力增加 24.67%。双悬臂轨道吊“堆 6 过 7”模式比无悬臂轨道吊堆箱容量和年通过能力增加 49.60%。经过多方比较,公司决定采用双悬臂式轨道吊。

2.4 双悬臂轨道吊的优点

(1) 由于公司的自动化重箱轨道吊箱区项目属于老码头改造,所以利用现有道路通行状况,采用双悬臂式的轨道吊作业模式,对公司整体的道路通行走向影响较小,对司机的培训成本也非常小,并且能够无缝升级堆场长度。

(2) 双悬臂轨道吊也有利于内外集卡分离作业,互不干扰,在对外集卡司机的问卷调查中,外集卡司机多数反应在自动化箱区作业的等待时间明显比传统轮胎吊场地下降,由于采用内外集卡分离的模式,外集卡能做到及时作业,根据数据显示,外集卡从进道闸开始到完成作业出道闸,整个过程普遍用时 4.5~5.0 min,作业体验较好。

(3) 能按不同的作业方式进行功能区分,通过使用 TOS 车道管理功能,调整海陆两侧的作业优先等级,轨道吊能保证满足优先作业内集卡装船业务。

(4) 双悬臂式轨道吊堆场作业与集卡作业有效分离,增加安全性,使用至今未发生设备和人员安全事故。

2.5 双悬臂轨道吊采用的先进技术

(1) 智能生产系统。生产管理系统和中央控制系统所有的交互全部基于共享交互数据库,针对共享交互数据库,生产管理系统和中央控制系统均具备读取的权限。通过技术研发,在不改变现有生产业务作用流程的前提下,无缝接入自动化重箱轨道吊的作业流程。

(2) 大车防撞系统。大车防撞设计有 3 层保护:机械防撞、雷达防撞和超声波防撞,既能防止设备与设备相撞,又能防止设备与人相撞,确保设备运行安全。

(3) 轨道吊双车避让系统。该系统功能包括对是否需要避让的判断,决定轨道吊优先作业顺序,需要避让的轨道吊位置以及生成自动化指令。系

统通过获取 2 台设备的状态以及当前作业的任务信息,综合参考多种因素,通过程序逻辑判断给出避让策略。当 1 台轨道吊向另 1 台靠近时,达到安全距离后,另 1 台轨道吊会自动移位,避免碰撞。系统在保证设备作业安全的基础上,充分考虑大车避让产生的时间影响以及能耗损失,优化作业效率,节能环保。

(4) 大车定位。基于定位板的大车定位系统相对于磁钉技术,具有安装维修方便、成本低、定位准确等优点。该技术能够提高大车定位的精度,确保轨道吊作业安全和提高作业效率。

(5) 箱号识别。集装箱号码自动识别系统基于光学字符识别技术,针对集装箱装卸过程中的实时识别处理,能提高集装箱码头的工作效率,降低运作成本。若识别箱号与任务箱号不匹配,会自动报故障提示司机,替代传统的司机肉眼判断,降低司机工作强度,提高作业准确率。

(6) 闸口系统。内集卡采用车身设置有源 RFID 标签,进堆场后自动识别;外集卡采用自动发卡、收卡技术。此举解决集卡传统作业或自动化作业的区别。

(7) 智能着箱。TDS 系统和 SDS 系统,使集装箱在将要达到目标位置的时候,通过检查吊具的位置和高度,自动降低吊具的下降或起升速度,保护吊具或者吊起的集装箱撞击到障碍物。

(8) 集卡定位系统。采用集卡移位迁就轨道吊的方案,即集卡停车后,轨道吊上的集卡定位系统 3D 扫描单元扫描车辆轮廓和位置信息与重箱轨道吊位置进行比对并进行误差分析,定位引导系统引导集卡司机和设备进行位置移动,直至正确位置。

(9) 视频监控系统。采用基于网络视频服务器和数字摄像头的全数字化远程视频集中监控系统,通过光纤传输到中控室,在中控室建立网络视频管理平台,在显示屏上显示出来。每个轨道吊安装有 20 个摄像头用于观察锁头、锁箱和着箱情况,让司机尽可能有视觉无死角的感官体验。

(10) 预翻箱。通过对生产系统的数据进行精确分析,能够对即将作业的箱子进行预翻箱处理,集卡进入到自动化重箱轨道吊车道内就能较快提到箱子,减少等待时间,提高作业效率。

(下转第 47 页)

增减载荷重量为 q 、相应的重心坐标为 (x_q, y_q, z_q) , 则由上式可得增减载荷后船舶新的重量 W_1 , 新的重心坐标 (x_{g1}, y_{g1}, z_{g1}) 为

$$W_1 = W + q \quad (7)$$

$$x_{g1} = \frac{W \times x_g + q \times x_q}{w + q}, y_{g1} = \frac{W \times y_g + q \times y_q}{w + q},$$

$$z_{g1} = \frac{W \times z_g + q \times z_q}{w + q} \quad (8)$$

设船舶原排水量为 Δ , 重心纵向坐标为 x_g , 重心高度为 z_g 。当船上装货 w 时, 其重心在 (x, y, z) 后, 其求解步骤为:

(1) 根据码头水面 GPS 获取装载后的吃水 T_1 , 并根据静水力曲线查得浮心位置 x_{b1}, z_{b1} , 稳心高度为 z_{m1}, z_{ml1} , 漂心纵向位置 x_{f1} , 纵倾力矩 M_{cm1} 。

(2) 计算重量增加后的重心坐标 x_{g1} 和 z_{g1} 。根据力矩平衡求出船舶的新重心位置, 其中 w 为装卸集装箱的重量, x 和 z 根据 vmContainer 的贝号和层号换算成具体空间位置。

$$x_{g1} = \frac{\Delta x_g + w \times x}{\Delta + w}, z_{g1} = \frac{\Delta z_g + w \times z}{\Delta + w} \quad (9)$$

(3) 计算重量增加后的横稳心高度 d_{GM1} 和纵稳性高度 d_{GML1} 。

由静水力曲线图上查到的 z_{b1}, z_{m1}, z_{ml1} 和上式求出的重心高度 z_{g1} , 可得新的初稳心高度为

$$d_{GM1} = z_{m1} - z_{g1}$$

$$d_{GML1} = z_{ml1} - z_{g1} \quad (10)$$

(上接第 10 页)

3 双悬臂轨道吊运行情况

改造后, 首先进行空箱测试, 逐步发展到重箱测试, 作业模式从卸船开始, 逐步发展到进箱、疏运、互拖等完整业务。目前, 自动化重箱轨道吊箱区的利用率在 91.5%, 轨道吊设备的利用率在 18.3%, 相对于轮胎吊的 57.87% 要低很多, 说明目前轨道吊还未充分发挥其潜力。随着今后轨道吊运用规模的扩大, 其利用率提升, 作业量预计能达到轮胎吊的平均水平。

4 自动化重箱轨道吊箱区实施效果

(1) 提升效率。轨道吊单机作业效率能达到 27 箱/h, 与轮胎吊单机平均作业效率相比, 单机作业效率提高 80%。

(4) 根据船舶甲板上船首尾的 GPS 获取得到横倾角 θ 和纵倾角 φ , 并根据公式计算船艏吃水 T_f 和船艉吃水 T_a 。

船艏吃水为

$$T_f = T_1 + \left(\frac{L}{2} - x_{f1}\right) \frac{\Delta T}{L} = T_1 + \left(\frac{L}{2} - x_{f1}\right) \times \tan \varphi \quad (11)$$

船艉吃水为

$$T_a = T_1 + \left(\frac{L}{2} - x_{f1}\right) \frac{\Delta T}{L} = T_1 + \left(\frac{L}{2} - x_{f1}\right) \times \tan \varphi \quad (12)$$

重量增加对稳性的影响由放置高度 z 决定。当货物装载的高度 $z = (T + \Delta T/2) - d_{GM}$ 时, 初稳性高度不变; 当 $z > (T + \Delta T/2) - d_{GM}$ 时, 初稳心高度减少; $z < (T + \Delta T/2) - d_{GM}$ 时, 初稳心高度增加。通常称 $z = (T + \Delta T/2) - d_{GM}$ 的平面为极限平面或中和面。重量增加在中和面以下稳性提高, 在中和面以上则稳性下降。若卸货的话, 就会出现相反的效果。

4 结 语

通过在船上安装相关差分 GPS 定位装置, 动态计算船舶稳性情况并融合进相关自动船舶作业计划控制算法中, 可以实现集装箱船舶的自动作业计划控制; 但在散货中还需要增加激光装置动态地监控扫描装卸位置货物面的变化, 保证调整船舶装卸设备在横向装卸位置, 方能实现对散货船舶自动作业计划的控制。另外, 船舶作业计划同其他计划的融合也是下一步要研究的问题。

(2) 节约成本。与传统设备一人一机的人员配置相比, 自动化作业可实现一人双机, 后续项目可实现一人多机, 节约人力成本。由于自动化作业有着标准作业规范, 所以对设备的损伤较少, 故障率相对较低, 维修成本也大幅降低。

(3) 提高堆存箱量。根据综合计算, 目前使用“堆 5 过 6”模式, 箱区堆箱量能提高 24.67%。

5 结 语

作为上港集团第 1 个传统码头改造成自动化重箱轨道吊箱区项目, 该项目具有较强的可复制性。自动化集装箱码头是港口今后发展的必然趋势, 传统码头如何通过改建达到自动化的要求, 该项目具有重要的参考价值, 也为自动化集装箱码头的建设、发展积累经验, 作出贡献。