



自动化集装箱码头水平运输设备选型

金 祺, 罗勋杰, 韩保爽

(上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080)

摘要: 水平运输设备对自动化集装箱码头作业效率影响较大。对自动化码头常用水平运输设备 AGV 及跨运车发展现状及优、劣势进行分析, 发现目前 AGV 通用性较强。针对 AGV 及 L-AGV 与轨道吊间的不同耦合方式, 总结出各自优势及适用情况, 并对洋山四期水平运输设备选型案例进行分析。

关键词: 自动化码头; 水平运输; L-AGV; AGV 伴侣; 跨运车

中图分类号: U 652.7⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)09-0087-04

The comparison and analysis of the automation terminal horizontal transportation

JIN Qi, LUO Xun-jie, HAN Bao-shuang

(Shanghai International Port(Group) Co., Ltd., Shanghai 200080, China)

Abstract: Horizontal transportation vehicle exerts a great influence on automated container terminal operation efficiency. This paper analyzes the development situation and the relative merits of AGV and straddle carrier, finding out that AGV is more universal relatively. Meanwhile, toward the different coupling means of AGV/L-AGV and ARMG, the paper summarizes the advantages and the fitting conditions, and analyzes the case about Yangshan phase IV horizontal transportation vehicle choosing problem.

Keywords: automation terminal; horizontal transportation; L-AGV; AGV-mate; straddle carrier

当今集装箱码头面临着船舶大型化、作业集中化、劳动力及资源成本上升的压力, 如何在码头空间资源、劳动力资源及机械资源有限的情况下提高集装箱码头的作业效率, 成为当今码头管理者面临的严峻问题。码头各物流系统是密不可分的整体, 堆场系统、泊位系统、前沿系统、水平运输系统紧密相连, 一个节点出现问题可能导致整个系统瘫痪。水平运输系统扮演着链接堆存系统与码头前沿系统的重要角色, 有承上启下的作用, 水平运输系统效率的提高对于整个码头的作业效率具有重要意义。

目前, 自动化集装箱码头的水平运输设备主要有自动导引运输车(简称 AGV)和跨运车^[1]。其中 AGV 主要有普通 AGV、普通 AGV 搭配 AGV 伴侣、带升降平台的提升式 AGV。

1 自动化码头水平运输设备发展

1.1 AGV 发展现状

AGV 具有无人驾驶、自动导航、定位基准、路径优化及安全避障等智能化功能, 目前国际上均采用在运行路线上设置导向信息媒介的导引方式(如磁钉)。计算机管理系统根据运输任务要求计算出最优路径后, 再通过控制系统向处于最优状态的 AGV 发出指令信息。AGV 接受指令后, 通过自身的导向探测器检测导向信息, 对信息进行实时处理, 接着沿规定的运行线路行走, 完成运输任务。

AGV 的驱动方式最初为柴油内燃机液力驱动, 2006 年国外市场上推出了柴油发动机驱动的 AGV, 2011 年采用可充式铅酸电池作为动力的 AGV 投入商业运行, 并在此基础上推出了带升降

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 金祺(1985—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口设备技术管理。

平台的提升式 AGV(L-AGV)。由 AGV 升降平台对设置在堆场海侧交接区的固定集装箱支架进行起、落箱，能够达到 AGV 无需被动等待堆场设备作业的目的，有效解决了水平运输环节与堆场作业环节的“解耦”问题。纯电力驱动的 AGV 自质量小、能耗较小、能源效率系数高、无废气排放、绿色环保、维护成本较低，是今后发展的主要方向^[2]。

1.2 跨运车发展现状

跨运车与集装箱拖挂车、AGV 不同，当码头使用跨运车时，岸桥可将船上卸下的集装箱直接放在岸桥跨下或后伸距工作范围内，避免了候车时间；装船时跨运车将集装箱送至岸桥跨下或后伸距工作范围内后便可离开，岸桥可随时取走集装箱。这样，岸桥的工作循环不受水平运输机械是否就位的影响，装卸船作业效率得以显著提升。

近年来国际上一些专业设备厂商开发了仅用

于码头岸桥和堆场间集装箱水平穿梭搬运的跨运车，即跨箱搬运车。该类跨运车只运不堆，提升高度为堆一过一，构造相对简单。跨运车与轨道吊配合作业的方式既可解决堆场容量密度高的问题，又能在一定程度上解决码头前方水平运输机械就位情况对岸桥作业的影响问题。

综合利用计算机控制和管理系统、DGPS 导向系统及现场雷达定位系统，可为跨运车车队制定出最佳的自动运行方案和箱位定位方案，实现自动化作业。由于跨运车必须具有集装箱提升功能，故其配置功率大于 350 kW，相对于 AGV 来说要大得多。由于受电池价格以及技术工艺的限制，目前跨运车仍采用柴油发电机驱动。

2 AGV 与跨运车比较分析

AGV 与跨运车参数比较见表 1。

表 1 AGV/L-AGV 与跨运车参数比较

车辆	设备动力	设备自质量/t	载质量/t	最高速度	设备功率/kW	能耗指标	导航方式	定位(行驶)精度/mm
AGV/L-AGV	柴电或铅酸电池、锂电池或气电混合	25、29	70	前进/后退：6 m/s 转弯：3 m/s 横行：1 m/s	120、128	柴电：7.4 L/h 电池：21 kW·h/h	行驶区域地面埋设磁钉	±25
跨运车	柴电	47	50	满载：14~18 km/h 空载：21~30 km/h 转弯：5 km/h 起升(满载/空载)：9、20 m/min	350	14.5 L/h	DGPS+ 现场定位雷达	±500
维护工作量		自动化程度		环保性能	与岸桥的衔接	与场桥的衔接	需要辅助设施	
与 SC 相比无起升机构和吊具，维护工作量较小；如采用电池 AGV，维护工作量更小		自动化程度高，可实现远程控制		使用电池 AGV 噪声低，无废气排放，环保条件好	需足够数量以避免岸桥等待	通过 AGV 伴侣或采用提升式 AGV 可形成缓冲	需充电(气)设施	
较大		目前在用的为有人驾驶，自动化程度较低，设备本身可做到无人驾驶，实现远程控制		使用柴油发电机驱动，环保条件较差	箱可落地，互不干扰	箱可落地，有缓冲	需加油设施(车)	

AGV 与跨运车综合比较分析结果如下：1) 相对于跨运车而言，AGV 自动化技术发展和应用比较早，所以在已投入使用的自动化码头中应用实例相对多，而自动跨运车除了在布里斯班的 Patrick 码头及部分正在建造的码头中得以采用外，其他实例较少。2) 就水平运输机械在作业中与轨道吊和岸桥的耦合性而言，由于跨运车具有自装卸能力，作业时不影响桥机单机作业效率，系统作业效率

提升的空间大；而 AGV 无接卸能力，必须配置双小车岸桥和 L-AGV 或 AGV 伴侣，系统作业效率提升的空间小。3) 就能耗而言，跨运车自质量大，配置的动力功率大，单机能耗高于 AGV。当前，各大港口为了打造“绿色港口”，倾向于采用纯电驱动水平运输工具，而跨运车不符合该需求。4) 跨运车可采用人工/自动双控模式，以增加码头作业的兼容性。在自动化码头投产初期系统操作管理

尚不稳定, 采用跨运车可实现平稳过渡。5) 在岸桥与跨运车的耦合过程中, 岸桥可将集装箱直接放置地面, 提供缓冲的余地。岸桥并非随意将集装箱放置在作业区域, 而是按照行驶路径的划线, 准确地将集装箱放置在跨运车行驶的方向内。

综上所述, AGV 在节能、设备维护、环保等方面具有一定优势。相较而言, 跨运车在与岸桥、场桥的衔接上表现较好, 系统间相互制约较少。就技术的成熟性及可靠性而言, AGV 在自动化集装箱码头应用已有 20 年, 累积了丰富、成功的使用经验; 而无人驾驶的跨运车由于受 GPS 动态定位精度低和安全等原因影响, 应用案例较少。因此, 目前国内外自动化程度较高的码头大多采用 AGV 作为水平运输设备。

3 AGV 与轨道吊耦合模式介绍

在确定水平运输设备为 AGV 的条件下, 为了充分发挥其技术成熟性及可靠性等优势, 需进一步优化其对岸桥与轨道吊的耦合。由于传统 AGV 已经逐步退出历史舞台, 目前优化 AGV 与轨道吊间耦合过程的装卸模式有 L-AGV 与 AGV+伴侣^[3]。

3.1 L-AGV 及支架作业流程

L-AGV 有两个升降平台, 用于升降 3 种不同尺寸的箱子, 包括: 2 个 20 ft (6.1 m)、1 个 40 ft (12.2 m)、1 个 45 ft (13.7 m) 集装箱。此外, 平台还需配合支架与轨道吊进行耦合作业。两个平台可单独升高和降落。当作业 40 或 45 ft 箱子时, AGV 需同时控制两个单独平台的升降运动。L-AGV 升起以及降低平台的动作可通过远程控制站控制。由于作业过程对精确率要求高, 车辆驶进支架时, 需降低行驶速度(一般情况下小于正常速度), 见图 1。

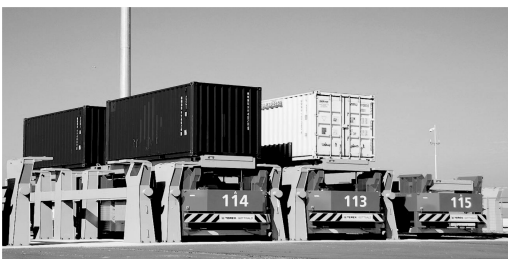
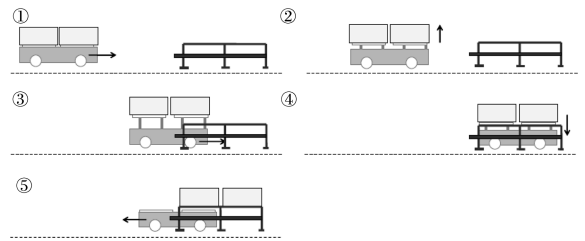


图 1 行驶过程中进支架中的 L-AGV

集装箱支架 应布置在自动化轨道吊交互区路面(地基)中。支架无需配置其他智能信号、电源或者电气信号等装置。

支架的设计寿命为 20 a, 并且需实现标箱的负荷分配。支架需能支撑 2 个总载质量达 70 t (每个集装箱 35 t) 的 20 ft 集装箱, 同时需考虑到吊具的荷载为 13.5 t, 总动态系数为 1.2, 以使自动化轨道吊可将集装箱放到支架上。此外, 支架还需能够支撑一个最大载质量为 40 t 的 40 或 45 ft 集装箱, 包括上述提到的额外载荷。

就集装箱搬运的放置顺序而言, 管理系统必须向 AGV 发送一条到达支架的行驶路径信息, AGV 需行驶到指定位置, 然后停在箱架正前方, 最后升起 2 个集装箱台板, 具体步骤见图 2。



注: ①AGV 顶起升降台板; ②当升降台板顶起时, AGV 驶入支架; ③AGV 到达支架特定位置前, 需执行管理系统的命令, 存放好集装箱, 然后降低相应的升降台板; ④一个集装箱运输任务完成; ⑤管理系统发送一条新的路径信息, AGV 收到新的路径信息后, 驶出支架。

图 2 L-AGV 提升系统运行原理

3.2 AGV 伴侣作业流程

目前, AGV 伴侣均由液压或电动机驱动, 具体作业流程见图 3。

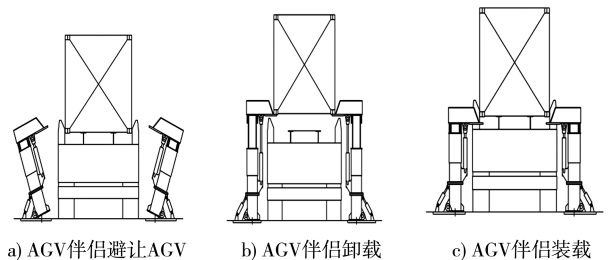


图 3 AGV 伴侣作业流程

4 自动化集装箱码头水平运输设备方案比选

4.1 L-AGV 方案与 AGV+伴侣方案伴侣比较

AGV 有两种形式, 一种带有举升装置(即 L-AGV), 另一种不带举升装置。

L-AGV 能够增强轨道吊间的耦合能力，减少 AGV 及 ARMG 等待时间，从而减少 AGV 的配置数量，提高堆场的整体装卸效率。但其缺点是在结构上增设 1 套举升机构，使自质量增加近 5 t，能耗相应增加。特别是对电动 AGV 而言，这不仅增加了电耗，还会缩短 AGV(与带相同容量电池组相比)的可持续运行时间，降低 AGV 的利用率。

采用不带举升装置的 AGV(如振华为厦门远海码头提供的采用不带举升功能的 AGV 与 AGV 伴侣的组合方式)，将举升装置安置在交接区的支架上，实现 AGV 与轨道吊的快速交接。以上形式虽然可以降低 AGV 自身质量，减小能源消耗，但每个交接区都要安装 AGV 伴侣和动力电源，故障率较高，初期投资较大。

将 L-AGV 与 AGV+伴侣模式做进一步比较，第 1 种模式将举升装置设置在整机上，第 2 种模式将举升装置设置在海侧交换区。一旦发生故障，首选处理方案为放弃举升方式，令轨道吊直接对 AGV 进行作业。但就日常维修而言，L-AGV 的优势明显大于 AGV 伴侣，AGV 可以自动开回维修区，维修工人可以在维修车间对其进行修理。对比之下，第 2 种模式不得不终止其所在堆场的作业，并进行维修，这对前场作业效率的影响较大。L-AGV 与 AGV+伴侣模式综合对比结果见表 2。

表 2 L-AGV 与 AGV+伴侣比较

项目	自质量	耦合性	单机能耗	所配置数量	总投资
L-AGV	大	好	高	少	低
AGV+伴侣	小	一般	低	少	高

4.2 洋山四期水平运输设备方案选择

AGV+伴侣模式与 L-AGV 模式的作业方式及特点均能够满足洋山四期对水平运输机械的基本需求，对于开港初期箱量相对较少的情况而言，这两种模式都能够有效运作。但是，洋山四期年吞吐量设计为 630 万标准箱，开港后港区箱量将会逐年攀升，最终达到设计值^[4]。此时，在高负荷的作业状态下，AGV+伴侣模式难以在码头海侧

交换区与轨道吊实现较好的耦合效果。此外，额外增加的 AGV 数量会导致投资成本大幅上升。相较而言，L-AGV 模式不仅能够有效地解决 AGV 与海侧轨道吊耦合的问题，还能够迎合高效率、低成本等码头经营理念。综上，洋山四期在水平运输方式上选用了 L-AGV 方案。在今后的发展中，L-AGV 模式势必凭借其优越性，成为自动化装卸模式的发展趋势。

5 结论

1) 对比 AGV 和跨运车发展现状，发现目前国内 AGV 工艺系统因应用案例较多，比跨运车工艺系统更为成熟。

2) 将 AGV 与跨运车进行对比，得出 AGV 在节能、设备维护、环保等方面具有一定优势，且技术相对成熟。相较而言，跨运车在与岸桥、场桥的衔接上表现较好，但实现全自动化困难较大。

3) 通过 AGV 和 L-AGV 与轨道吊耦合不同模式对比，发现目前较为成熟、高效、低成本的是 L-AGV 模式。今后在 AGV 与轨道吊的耦合中，L-AGV 的模式将成为发展趋势。

4) 通过对洋山四期水平运输设备选型过程进行介绍，进一步说明了设备选型过程及需考虑因素，为其他类似工程提供参考。

参考文献:

[1] 罗勋杰,樊铁成.集装箱码头操作管理[M].大连:大连海事大学出版社,2010:199-210.

[2] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.上海国际航运中心洋山深水港区四期工程初步设计[R].上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2014.

[3] Kap Hwan Kim, Jong Wook Bae.A Look-ahead dispatching method for automated guided vehicles in automated port container terminals[J].Transportation Science, 2004(5): 224-234.

[4] 罗勋杰.自动化集装箱码头水平运输工艺系统及其对码头布局的影响[J].集装箱化,2015(2):16-19.