

集装箱码头专用牵引车“一拖多挂”技术应用及推广

刘文毓 徐辉 朱琳杰

宁波港吉码头经营有限公司

摘 要

介绍、分析集装箱码头牵引车“一拖多挂”技术在安全、可靠、节能方面的优势，总结实际应用中的技术关键点和创新，论证其技术推广应用的广阔前景，推动“一拖多挂”牵引车在集装箱码头安全、高效地应用。

关键词：集装箱运输 一拖双挂 节能减排

一、项目概况

项目背景

为提高设备运行效率，节约人力成本，欧洲的一些专业集装箱码头，在集装箱的平面运输上，穿插性使用“一拖多挂”的作业方式。国内，“一拖多挂”作为一种新的集装箱运输方式，虽然暂时在公路运输上运行条件还不成熟，但在相对受限管理区域，如码头平面通过性好的集装箱码头，尝试使用“一拖多挂”的集装箱运输方式，对提高集装箱码头的作业效率及相关综合效益，是一个较为可行的突破口。基于以上背景，2011-2012年公司在港区的集装箱平面运输上首次在国内批量引入“一拖多挂”的运输方式。

主要内容

通过分阶段的现场模拟试验、样车研发、产品定型、编组运行等过程；解决了相关技术和安全难题，形成了系统的安全操作规范，完成了对“节能减排、效益分析”的数据积累；进一步提高了设备运行效率，节约了人力成本，为今后在集团公司内部及同类的码头、货场、厂区、矿场等条件许可的区域推广“一拖多挂”的运输方式，提供了相关的技术积累和经济分析参考。

实施情况

1) 2010-9-20/2010-12-20。制作模拟车辆及在码头区域通过性测试；提出技

术模型，可行性分析，出设计方案及相关前期准备；确定“一拖多挂”组成件的具体尺寸。

2) 2010-12-21/2011-02-08。出图及样车制作；制作“一拖多挂”的实体挂车样车，试验车辆性能。包括中间牵引小车是否配备刹车系统、多级刹车系统的选型及布置顺序、如何实现“一拖单挂”“一拖多挂”间的快速转换、多级挂车对集卡牵引系统反约束力影响、性能检测等内容。

3) 2011-03-01/2011-04-22。两种样车的运行完善，测试挂车系统车辆性能及技术性能比较；

4) 2011-04-22/2011-06-30。批量采购前技术定型；12台套样车采购到位，并陆续投入运行；

5) 2011-06-3-/2011-11-29。12台样车编组运行、项目总结、油耗对比、装卸效率对比等。

6) 2012-02-24。准备再采购12台套样车投入实际运行，目前还在采购过程中。



图1 “一拖多挂”模型与桥吊的作业配合



图2 “一拖多挂”模型与轮胎吊的作业配合



图3 “一拖多挂”模型与空箱堆高机的作业配合

二、节能原理

在保证安全性、可靠性的前提下，集装箱车辆的运输生产率和运输成本是评价车辆工作效率最全面的指标。单位时间内运送集装箱的箱量（TEU）或完成的运输工作量（TEU·km），称为运输生产率 W （TEU·km/h），且有如下算式：

$W = \alpha \beta \gamma qV$ ，式中，

α --- 工作时间利用系数，表示车辆载箱的运程时间与总的工作时间之比；

β --- 行程利用系数，表示车辆载箱行程与总的行程之比；

γ --- 载质量利用系数，表示车辆在行驶过程中有效载荷（集装箱）与车辆自重之比；

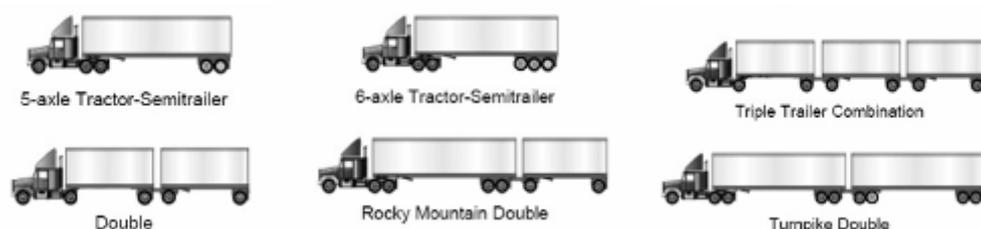
q --- 车辆能载运集装箱的额定载荷；

V --- 车辆的平均技术速度（km/h）

由此可见，要想提高 W 运输生产率，有下几个因素可以影响。对 α 来讲，想办法减少集卡待机侯箱时间，或减少单个集装箱的平均侯箱等待时间（多挂方式可以大幅度减少单箱侯箱时间）；对 γ 来讲，提高有效载荷，在牵引力允许的条件情况下，增加挂车数量、多拉箱是提高有效载荷的有效方法；综合以上几个决定因素，以上算式，对码头限速的低速牵引车，提高载质量利用系数及提高有效载荷，是我们集卡提高运输生产率最可行的出发点。

关于集装箱车辆提高运输生产率的问题，美国汽车工程协会和康明斯公司共同开展了一项关于车辆能源和排放的综合研究，该研究内容涵盖了对不同运输体积、不同重量、不同组成结构的集装箱运输车辆进行了多项测试。其研究方法是，利用康明斯尖端的车辆仿真模型工具，建立六种不同结构车辆的运行模型（如图7所示），并通过一条经典路径来测量和分析它们的油耗量，除此之外，还附带

测量了温室效应气体，包括 CO₂，PM 和 NO_x 等气体的排放等。



参考结论一：随着车轴和半挂车数的增加，集装箱拖挂车的有效载荷也会增加

参考结论二：车辆全重和发动机功率大小是影响燃料经济性的主要因素，轴数和车结构对燃料消耗影响不大。

结论：在目前普遍采用的一台牵引车加上半挂车（一拖单挂）的车辆组成基础上，只要牵引车所配发动机功率及牵引力许可，增加半挂车的拖挂数量（一拖多挂），是最为有效的节能增效运输办法。目前集装箱码头的牵引车功率一般都配置在 260 马力左右，均为低速（自动变速箱）大扭矩驱动，牵引力余量大；码头堆场区域坡度小、路面状况好，区域内车辆速度限制低等有利因素，为我们将传统的“一拖单挂”扩展为“一拖多挂”提供了良好的先决条件。

三、技术内容

车型选定

“一拖多挂”车辆设备的优缺点比较



表 1 “一拖多挂”半全组合 A、半半组合 B 运输车辆示意

车辆形式及特征比较	半、全挂组合 (A)	半、半挂组合 (B)	评价
整列车长度	稍短	稍长	A 优
转弯半径及通过性	半径小，跟车及通过性好	半径大，通过性差些	A 优
整列车倒车性能	倒车操作稍差	倒车操作稍好	B 优

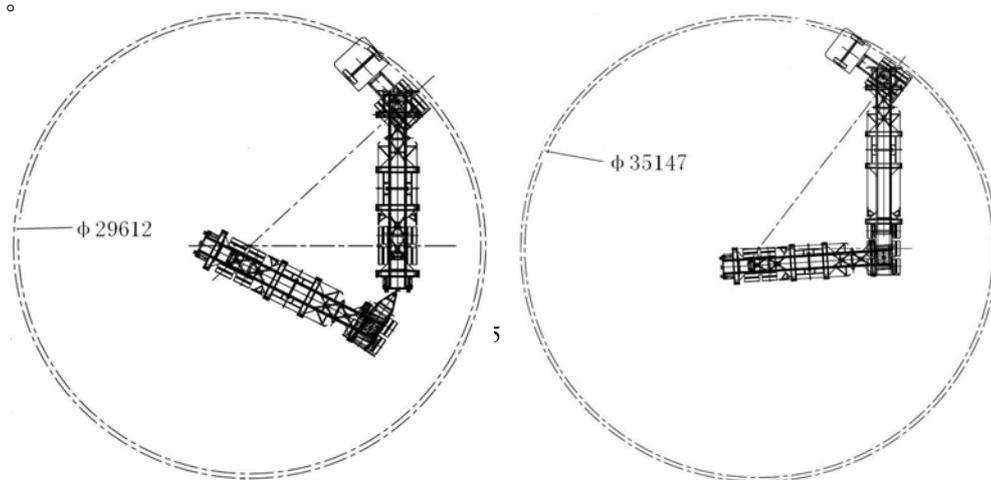
拆卸组合方便性	组合不方便	组合方便	B 优
半挂车通用性	通用性好	一级半挂尾部挑出固定鞍座，通用性差	A 优
刹车安全性	刹车安全性好，二级半挂车对一级半挂车影响小	刹车性能稍差，叠加的二级半挂车对一级半挂车冲击大，易侧翻	A 优
载箱安全性	第二级挂车组合成全挂，载荷分布合理，载箱安全	一级半挂尾部挑出鞍座牵引二级半挂外，要承受二级车的重力方向载荷，一、二两级半挂车相互在垂直方向上载荷影响，不安全	A 优
牵引连接安全性	如果打方向超限，易损坏牵引杆	均为鞍座连接，可靠性更好	B 优

通过长时间的运行试验比较，以上表单做好了详细的比较对照；总体来讲，半、全挂组合从行车安全性、区域通过性、转向状态时刹车安全性上等方面具有更为可靠的优势，更适合我们码头区域作业特点。因此在对首批 12 台编组运行车辆以及后续批量运行车辆的选用上，通过综合评估，选用此方案。

实施方案

① 通过性试验

下图为两种组合方式的转弯周径示意图，半、全挂组合方式的转弯周径要小许多。



左图：半全组合 A 转弯周径

右图：半半组合 B 转弯周径

② “一拖单挂”与“一拖多挂”驱动性能试验

车型	0-30km/h		
空车平道 加速	单挂板 所需时间 s	26.7	30.5
空车坡道 加速	单挂板, 2# 引桥 2.0° 所需时间 s	29.8	32.4
重车平道 加速	单箱 20 吨、 双箱 40 吨 所需时间 s	34.6	37.9
重车坡道 加速	单箱 20 吨、 双箱 40 吨; 2#引桥 2.° 所需时间 s	38.2	40.2

注：目前在用牵引拖车，牵引力均接近或超过 140KN，整车可拖挂质量接近 60 吨，均配置低速大扭矩变速箱，低速时输出扭矩大，起步动力强劲。目前我公司全部使用 OTTAWA 全进口拖车，如以上表格显示，传统“一拖单挂”与改进“一拖多挂”性能相比较，该车牵引力储备足够，动力匹配满足“一拖多挂”要求。发动机与变速箱在“一拖多挂”状态时动力传递平顺，完全能满足使用要求。

③30-0 km/h 刹车性能检测

规定速度下，“一拖多挂”车辆性能满足相关条例（GB 7258-2004 机动车运行

安全技术条件)

车型		30-0 km/h		
空车平道 减速	单挂板	所需距离 m	5.5	5.4
空车坡道 减速刹车	单挂板, 2#引 桥下 2.08°	所需距离 m	5.6	5.7
重车平道 减速刹车	单箱 20 吨、 双箱 40 吨	所需距离 m	6.3	6.5
重车坡道 减速刹车	单箱 20 吨、 双箱 40 吨; 2#桥 2.08°	所需距离 m	7.0	7.2

注：传统“一拖单挂”与改进“一拖多挂”性能相比较；在刹车安全性能上，通过相关数据实测显示，改造后“一拖多挂”刹车性能能满足使用要求，没有因为拖挂重量的增加而应起刹车性能的下降；刹车安全性能好；同时，因为长车拖挂特点，驾驶员操作“两头慢”，总体表现反而更好一些，相比于传统车辆，事故故障率反而要低很多。

技术创新及关键点

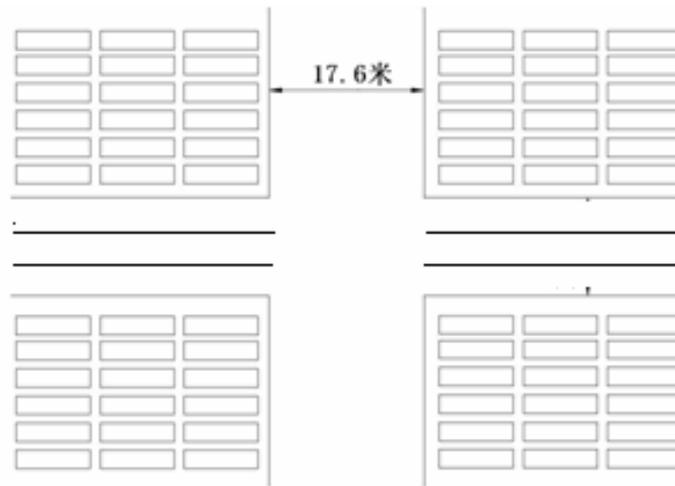
- 1) 在“一拖多挂”的一级半挂与二级半挂之间首次采用了中间快速组合牵引小车，该小车能够满足两个挂车间快速的过渡连接以及牵引力传递；通过该过渡小车的设置，与后半挂车组合成全挂车，在几何尺寸上避免了第一级半挂后部的伸出结构长度，保证了整列车的转弯半径“小”的特征，提高了该挂车组形式的

整车通过灵活性；同时，因为设置中间小车，为实现总体刹车的顺序制动特性提供了轮组，增加了整体刹车安全性能。

- 2) 在国内，率先选定标配了 JOST 品牌的快速连接装置，该装置可以让司机独立完成挂车间的快速拆卸与组合；性能表现良好。
- 3) 实现了一级挂车和二级挂车间的完全通用和互换使用。
- 4) 设计并制作了快速牵引杆简易支腿及安全定位装置；
- 5) 设计并制作了简易实用的倒车连接对位指示装置；
- 6) 参会中国港口集装箱码头 2011 高峰论坛，发表了《集装箱码头牵引车“一拖多挂”技术及工艺研究》专题论文，获得优胜奖；

四、推广应用条件

- 1) 该项目内容通用性好，可以充分利用原有半挂车，做适当改造，投入成本低。对原有平板改动较少，每台套改造费用不超过 5 万元（新购一台中间组合小车，气路作简单改造）。
- 2) 堆场的布局只要达到下图要求都能确保双拖平板的转弯。



- 3) 操作司机稍作培训联系即可满足该“一拖多挂”车辆操作要求。
- 4) 生产运行系统作相应补充，需满足“一拖多挂”状态应用。

五、效益分析

节能效益

- 1) 模拟空箱转场试验，参与车型为：普通单挂带 40 英尺空箱、A 型双挂带 2 个 40 英尺空箱，堆高机码箱。

表 1 空箱转场能效对比表

车型	公里数 KM	箱数 TEU	总耗油 l	TEU 单耗 l/TEU	TEU 公里单耗 ml/TEU.KM
单挂	111	50	49.3	0.99	8.88
双挂	115	92	56.2	0.61	5.32
比较	空箱模式下双挂较单挂可节油 40%				

2) 模拟重箱转场试验，参与车型为：普通单挂带 40 英尺 20 吨重箱、A 型双挂带 2 个 40 英尺重箱，轮胎吊码箱。

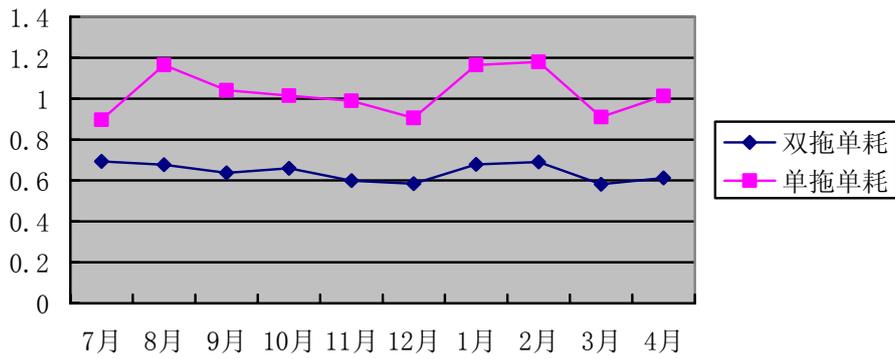
表 2 重箱转场能效对比表

车型	公里数 KM	箱数 TEU	总耗油 l	TEU 单耗 l/TEU	TEU 公里单耗 ml/TEU.KM
单挂	98	52	64.5	1.24	12.76
双挂	107	98	74.5	0.76	7.14
比较	重箱模式下双挂较单挂可节油 44%				

3) 生产运行状态下，“一拖多挂”与“一拖单挂”车辆的燃油消耗对比（2011 年 7 月至 2012 年 4 月底逐月统计实际数据）

类 别	平 均 能 耗	节 能
“一拖多挂”双挂	0.639 升柴油/TEU	“一拖多挂”较“一拖单挂” 节能约 37.25% 。
“一拖单挂”	1.018 升柴油/TEU	

折线图



数据表

年份	月份	集卡“一拖多挂”	集卡“一拖单挂”	“一拖多挂”
		能源单耗 (升柴油/TEU)	能源单耗 (升柴油/TEU)	较“一拖单挂”节能
2011年	07	0.694	0.896	22.54%
2011年	08	0.677	1.164	41.83%
2011年	09	0.637	1.041	38.83%
2011年	10	0.659	1.015	35.08%
2011年	11	0.599	0.990	39.46%
2011年	12	0.584	0.905	35.42%
2012年	01	0.679	1.164	41.67%
2012年	02	0.691	1.179	41.40%
2012年	03	0.581	0.910	36.18%
2012年	04	0.613	1.013	39.42%

经济效益

由下表可见，自2011年7月至2012年4月，共10个月，12辆集卡“一拖多挂”完成作业量497477TEU，节约柴油193028.35升。即平均每TEU，节能0.388升柴油；平均每辆车每月，节能1608.57升柴油。

年份	月份	集卡“一拖多挂”			集卡“一拖单挂”			“一拖多挂”较“一拖单挂”节能	节能量	
		箱量1 (TEU)	能耗1 (升柴油)	能源单耗1 (升柴油/TEU)	箱量2 (TEU)	能耗2 (升柴油)	能源单耗2 (升柴油/TEU)		升柴油	千克标煤
2011年	07	41829	29018	0.694	299933	268613	0.896	22.54%	8443.08	10457.05
2011年	08	53665	36348	0.677	247288	287919	1.164	41.83%	26134.97	32369.08
2011年	09	52967	33742	0.637	240539	250513	1.041	38.83%	21421.43	26531.19
2011年	10	43992	28993	0.659	200947	203987	1.015	35.08%	15664.60	19401.16
2011年	11	52238	31298	0.599	207465	205308	0.990	39.46%	20396.71	25262.04
2011年	12	60848	35555	0.584	255788	231438	0.905	35.42%	19500.10	24151.56
2012年	01	53263	36167	0.679	226810	264043	1.164	41.67%	25839.75	32003.43
2012年	02	42124	29098	0.691	155493	183292	1.179	41.40%	20556.95	25460.50

注：上表节能量（升柴油）=（能源单耗 2-能源单耗 1）×箱量 1

按照当前柴油平均价格 8 元/升计，平均每 TEU 节约成本 3.104 元，平均每辆车每月节约成本 12868.56 元；12 台车每月节油约 15.44 万元。

12 台车辆购置总共投资约 200 万元，单从设备添置费用上，13 个月可以收回投资成本。投资回收期为 13 个月。

社会效益

自 2011 年 7 月至 2012 年 4 月，共 10 个月，12 辆集卡“一拖多挂”完成作业量 497477TEU，节约柴油 193028.35 升，折合标准煤 239072.36 千克。

- a) 按照 1kg 柴油燃烧将排放 CO₂： 3.1863kg 计算。
- b) 2011 年 7 月-2012 年 4 月，累计减少二氧化碳排放量=193028.35×0.85（密度）×3.1863=522789.29686425 千克≈522.79 吨。
- c) 平均每 TEU，减少二氧化碳排放 1.05 千克。
- d) 平均每辆车每月，减少二氧化碳排放 4356.58 千克。

前景展望

节能前景（年度）	年度作业量 （万 TEU）	“一拖多 挂”比例(%)	节能 （吨柴油）	减排二氧 化碳（吨）	节约成本 （万元）
港吉公司前景	360	50	593.64	1891.52	558.72
宁波港集团前景	1500	50	2473.50	7881.31	2328.00
中国 集装箱码头前景	16000	50	26384.00	84067.34	24832.00

设备效益

减少设备投用数量，一台“一拖多挂”车辆，可以当 1.8 台套传统“一拖单挂”车辆使用；在不增配集卡数量的同时，大幅度提高了桥吊的单机效率和船时效率。在万箱航线船重点路抢卸过程中，以 6 辆双拖平板为一组，即相当于 10.8 辆集卡投入作业，不仅可以保证桥吊不间断作业，也可以在不增配集卡数量的同时，保证桥吊的单机效率和船时效率。在单船多路作业情况下，以 3+3 模式每路穿插三辆集卡，即相当于 8.4 辆集卡投入作业，在不增加集卡数量的同时，保证了桥吊的单机效率。

人力成本效益

目前，公司一名集卡司机从招收初学到独立上岗需培训四个多月的时间，除去企业应为其支付的养老保险、工伤保险等费用，企业还需为其支付两万元左右的培训费用。由于集卡司机流失率较高，所以人员成本占据了公司成本较大比例。在安全、效益理念为主导的今天，如何解决企业“高成本，低产出”已成为企业发展的制胜法宝，而集卡“一拖多挂”项目的实施使操作人员在配置上大为减少；有效地精简人员配置，节约人力成本。该项目实施后，集卡司机收入有大幅度增加，大大降低人员的流失率，既稳定了用工队伍，又提高了服务意识与服务水平。

环保效益

减少排放约会 40%，降低了整个港区的碳排放量，进一步节能减排，达到“建设绿色集装箱码头”的要求。

六、项目推广存在问题及推广建议

- 1) 依照各码头实际在用的集卡设备情况，做好合理的设备能力校验。在优化好“大马拉小车”的同时，尽量避免“小马拖大车”的情况出现；
- 2) 充分利用好码头再用的集卡设备，尽量作到设备通用性与互换性，避免重复性投资；
- 3) 充分考虑到码头设施、地面道路的通过性；
- 4) 切实考虑到轮胎吊堆场“油改电”之后的通过性；
- 5) 在项目实施上，应严格遵循“模拟通过、样车试行、作业先试行、批量运行”等循序渐进的方式方法；
- 6) 企业内部关于新的“一拖多挂”车辆的安全操作规范流程要同步跟进；
- 7) 生产操作系统功能要满足新的“一拖多挂”工艺的运行。

结尾语

总的来说，“一拖多挂”所具备的“高效、节能、省人力成本”三大优点，能有力提升集装箱码头公司的核心竞争力，能加快推进建设绿色集装箱码头进程。“一拖多挂”集装箱运输模式应该具有良好的发展空间和应用前景。