

国内外集装箱码头 RTG 节能降耗技术

杜 伟

(交通运输部天津水运工程科学研究所、水路交通环境保护技术交通行业重点实验室 中国天津 300456)

摘 要 节能降耗既是港口实现可持续发展的有效手段之一, 又是其实现文明与进步的重要标志, 可提供强力保障于港口国际竞争力的提升。文章提出目前在国内外集装箱码头应用较多的“油改电”、“油改气”、混合动力及岸基变频供电技术, 并明确各技术成果的推广侧重方向, 以期实现技术的更好推广与应用, 为环境友好型港口的建设提供助力。

关键词 集装箱码头; RTG; 节能降耗

中图分类号 U653.921

The research on container wharf RTG energy saving and consumption reduction technology at home and aboard

Du Wei

(Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Key Laboratory of Environmental Protection Technology on Water Transport, Ministry of Transport, Tianjin 300456, China)

Abstract Energy-saving and cost-reducing is an effective mean that can help port realize sustainable development, and also an important sign of port's civilization and progress. The paper came up with ETRG, Oil to Gas, hybrid power and shore-based variable frequency power supply technologies, and cleared-cut different technology achievement's promotion direction, hoping that can realize the better generalization and application of technologies, and provide power to environmental friendly port's construction.

Key words Container wharf; RTG; energy-saving and cost-reducing

轮胎式集装箱龙门起重机(Rubber-tyred Container Gantry Crane, RTG)是世界领先的集装箱码头堆场专用设备^[1], 装卸标准集装箱, 具有操作灵活、可切割作业、机动性好且码头基础投资成本低、能分期付款购买等优势, 在用数量非常大。然而, 在全球石油资源日渐枯竭, 动力燃油价格不断上涨的背景下, 世界各国愈发提高了环保、节能、低耗的观念与要求^[2], RTG的使用由此受到一定的限制。传统RTG的驱动方式对柴油发电机驱动予以采用, 运行时会产生大量的黑烟与噪音, 严重不符合于环保要求。另外, 发电机运行中始终有能量转换率低、能耗与成本高的问题, 引起了广大学者与业界人士的重视。今后RTG的一个重要发展方向即节能降耗, 对柴油机的燃油消耗与废弃排放进行合

理地控制, 尽可能减少浪费与环境污染。

已有文献较多从“油改电”层面对集装箱码头RTG的节能降耗问题进行研究, 实际上, 除了RTG“油改电”以外, 国内外很多科研与制造单位以及港口企业亦在长期致力于RTG节能减排其他技术的研制、探索与实践, 取得的效果亦较为突出。

1 集装箱码头现有 RTG 节能降耗技术

1.1 “油改电”技术

RTG“油改电”技术将传统的柴油发动机驱动或发电机组驱动改为廉价、清洁的市电驱动, 仅配小功率柴油发电机组提供起重机转场行走所需要的电能^[3], 其关键在于选择适合的供电方式, 涉及对

电压等级与电力上机方式的选择。

(1) 选择电压。为保持 RTG 可转场作业的优势,转场过程中需同原厂区的供电设备相脱离,出于安全、易操作且不影响生产的目的,应对低压供电予以采用。目前,很多国内外 RTG 柴油发电机的输出电压均为 460V,电机驱动电压为 420—440V。在应用电动 RTG 的港口,上机电压等级包括 1000V、690V 与 460V 3 种,表 1 所示为 3 种类型的比较。

表 1 1000V、690V、460V 上机电压比较

内容	1000V	690V	460V
元器件	规格不标准 不易采购	规格标准 采购方便	规格标准 采购方便
压降	压降小	压降较大,电缆截面较大	压降大,电缆截面大
成本	每台 RTG 需增加 1/046KV 变配电设备,成本大	每台 RTG 需增加 0.69/046KV 变配电设备	RTG 改造简便, 成本低
其他		易实现起升电机变频启动	

(2) 选择电力上机方式。集装箱 RTG “油改电”的电力上机方式有电缆卷筒、低架滑触线与高架滑触线^[4]3 种。

低架滑触线“油改电”以每个箱区为单位,按大车行走方向进行布置,集卡车道需中断^[5]。通常,低架滑触线在堆场间的盲道内安装,高度约 2—2.5m,两侧有滑线,可同时为两侧 RTG 供电。滑线架设于圆柱形或由型材焊接而成的支架上,支架间距离通常为 6m。支架安装于场地基础之上。按照场地的实际状态,基础有独立式预置基础与直埋式基础两种类型。箱式变电所在区域中间安装,向区域内全部低架滑触线供电。受电设备在 RTG 之上安装,可经 RTG 方便地转场到工作所需位置。

电卷筒方式相对复杂,需在 RTG 上进行同步电缆卷筒与相应驱动装置的安装,保证正确的安装位置,同时,在堆场设置拖缆槽与接电箱。拖缆槽铺设于 RTG 电缆卷筒行程的正下方,需改造堆场铺面,进行拖缆槽与导向装置的安装。转场过程中,当电动 RTG 行至接电位置盘卷了所有的电缆后,地面操作人员需将转场操作端的空气开关设置为关断,在无电状态下插拔电箱供电插头。解下电缆卷筒电缆,盘起余下电缆,或将其挂于 RTG 之上,启动电动 RTG 机载柴油发电机组进行转场。

高架滑触线的受电方式与低架滑触线类似^[6],区别仅在于 ERTG 接电位置的滑触线较高,设备无需断电便可直接跨场作业。高架滑触线支撑架地基部分通常占 3—5m 见方区域,在堆场超车道内布置。由于滑触线高度较高,需对台风影响加以考虑,并在轮胎吊作业之时保持架空滑触线平直,“平”即保持滑触线与地面平行,“直”则指在最大 8 级横风作用下,滑触线摆动单侧最大值小于 1m。

1.2 混合动力技术

(1) 功率需求分析。混合动力 RTG 系统节能降耗的关键在于柴油发电机组容量与储能元件的选择,而对于系统选型与计算而言,其功率需求极为重要。表 2 所示为 RTG 主要性能参数^[7]。

表 2 RTG 主要性能参数

额定起质量(吊具重)/t	40(11)
大车/小车自重/t	25/150
起升速度(满/空)/m·s ⁻¹	26/52
大车/小车速度/m·s ⁻¹	90/70
上升(下降)加减速时间/s	4
起升高度/m	18.1
起升电机功率/kW	180
大车电机功率/kW	45*2
小车电机功率/kW	25

(2) 超级电容混合动力 RTG。相较于常规 RTG,超级电容混合动力 RTG 增加了一套超级电容装置与双向 DC/DC 控制单元。超级电容的作用为补偿功率与储存能量,可降低柴油发电机组功率至 225kW;DC/DC 控制单元能够使流量双向流动,增加超级电容的有效储能。超级电容的能量相关于电压差,若将其直接并于直流母线上,电压的变化幅度小,放电深度浅,有效储能低。

(3) 小容量锂电混合动力 RTG。与超级电容系统相较,小容量锂电混合动力 RTG 可提供更大功率的锂电池组,对超级电容组予以替代。锂电池存储容量大、放电电流稳定、无污染、安全性能好等优势突出,图 3 所示为小容量锂电混合动力 RTG 结构图。充电放电控制器(DC/DC 变换器)对能量储蓄单元的充电与放电进行控制,可结合起升电机所需能量对能量储蓄单元的输出功率进行自动调节,柴油发电机组负担的负载电流很小,就算处于最大负载,仍可保持发电机组输出功率的一定,有利于柴油机功率的显著降低。

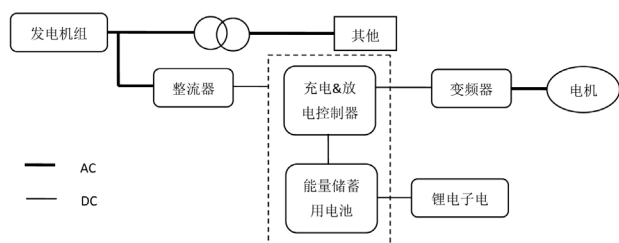


图3 小容量锂电混合动力 RTG 结构图

(4) 大容量锂电混合动力 RTG。该技术电压充放电过程基本稳定，电压与功率等级完全对并网所需予以满足，直接提供工作电源于变频驱动系统，可进一步降低柴油发电机组功率。在正常工作时，小功率柴电机处于休息状态，直接由动力电池对 RTG 进行驱动。当电池电量小于 50% 时，锂电池的充电电源为 50kW 柴油发电机组或外部电源，此时，势能可向锂电池组回馈，既对机构运行的峰值功率需求与稳态运行的功率需求予以满足，又可实现对设备势能回馈的完全吸收^[8]。

除此之外，应用于国内外集装箱码头 RTG 节能降耗的技术还有：(1)RTG 与集卡油改气技术，即供电方式由柴油发电机供电改为液化天然气 LNG 动力供电，包括 LNG 动力 RTG 与 LNG 集卡两种方式，可显著节约成本，降低污染物排放；(2)岸基变频供电技术，国外船舶电网频率多为 60Hz，我国国内多为 50Hz，为相互适用，在集装箱船舶靠港期间停用船舶柴油发电机组，改为受大功率变频技术支持的港口供电。

2 技术成果的推广侧重方向

2.1 “油改电”技术

“油改电”技术节能降耗效果显著，然亦有缺点所在，主要体现为：(1)改造周期长，改造设计区域大，需要在箱区进行供电网络的架设；(2)在单机改造中并不适用，需要规模化改造；(3)若长期闲置柴油发动机组，或利用率很低，会在一定程度上影响其寿命，需采取必要的措施对其进行维护与保养。所以，虽然 RTG “油改电”技术与节约环保性港口的建设理念相适应，但是在进行具体“油改电”方式的选择之时，必须满足各个港区的实际特征、平面布置特征以及港区排水状况等，并符合各港区的作业习惯，以对生产所需予以满足。

2.2 混合动力技术

出于对锂电池成本昂贵的考虑，混合动力技术的推广应从降低锂电池成本上努力。一方面，锂电池的不稳定性产生于制作环节，加强生产设备的自动化水平，在更为清洁与干燥的环境中生产锂电池将会降低锂电池的成本；另一方面，锂电池的电控技术需要提高，通过独立检测单体锂电池参数并动态调整各单体电池充放电电压（或电流）等参数的设定阈值来实现。通过研究动力电池的充放电过程可知，对于串联体，充电能量可从较高压单体向较低压单体转移；而对于并联体，充电能量则可从较大电流支路向较小电流支路转移；放电过程刚好相反。从这一角度出发，对锂电池充放电过程进行自动均衡控制，可提高电池组充放电效率及其使用效率，进而降低成本。

2.3 “油改气”技术

在技术上，LNG 发动机的动力曲线显著不同于柴油机，前者扭矩相对较短，即使是最大扭矩也小于后者，因此无论是 LNG 动力 RTG 还是 LNG 动力集卡，它们在吊起集装箱或启动之时容易出现动力不足的现象。解决这一问题的办法为采用气电混合的方式加强 RTG 与集卡动力。建议相关部门在保证安全的前提下适当放宽对液化气体槽车的禁令，保证 LNG 的顺利供应。研究指出，在折算成标准煤后，LNG 动力相较于柴油机优势并不明显，因此相关部门应进行更加全面的评价体系的拟定，以此与社会发展相适应。

2.4 岸基变频供电技术

岸电项目的实施会增加运输成本，降低码头与船方的竞争力，这是对“绿色港口”建设产生制约的重要因素之一。美国通过立法形式与费用补贴政策推行节能减排，洛杉矶港口当局制定立法，强制要求辖区内全部码头对岸基变频供电技术予以采用；欧盟委员会通过立法，要求购买港口靠泊船舶使用岸基变频供电技术。国外政府与相关部门进行节能减排与环境保护的这些做法对我国具有借鉴意义。

3 结语

21 世纪，人类共同面临着来自于能源问题的巨大挑战，环境保护及节能减排已逐渐发展为国际社

会的一致声音与共同责任。在“金融海啸”减缓全球经济增长速度、影响实体经济发展的宏观背景下,加大力度保护港口环境,推动节能减排工作的开展,成为港口实现可持续发展的重要任务之一。虽然吞吐量是对港口实力进行衡量的一个重要指标,但却不是唯一指标,它很难对港口的综合竞争力以及服务区域经济的能力予以充分的体现。港口的全面发展涉及速度、质量与可持续性3要素,发展质量与可持续性的重要程度不言而喻。集装箱码头在关注速度的同时,必须对质量与可持续加以强调,在发展过程中加强节能减排工作力度,减少运输成本支出,实现对环境友好型港口的打造。

技术的发展有利于集装箱码头现有 RTG 节能减排改造的基本完成,但为了对常规 RTG 的灵活性予以保持,同时尽量节约成本,部分码头选择继续保留一些以柴油为动力的 RTG,这会造成尾气与噪音污染的排放。今后,应针对港口实施强制性的节能减排方案,进行集装箱装卸机械单位能耗指标的

限制,加强节能减排考核。作为集装箱码头主要能耗的堆场装卸设备 RTG 更是节能减排工作的关注重点。

参考文献

- [1] 周明慧.应用超级电容的集装箱门式起重机电驱动系统研究[D].哈尔滨工业大学,2011.
- [2] 卓方青.轮胎式集装箱龙门起重机采用锂电池供电节能改造项目[J].交通节能与环保,2013(3):58-61.
- [3] 唐静.混合动力起重机节能系统关键技术研究[D].武汉理工大学,2013.
- [4] 刘洪波,汪锋,张志平.集装箱轮吊“油改电”技术在港口节能减排中的应用[J].水运工程,2011(9):123-125.
- [5] 祁崇波.集装箱码头堆场装卸设备的节能减排研究[D].大连海事大学,2010.
- [6] 张志平,吴剑,李瑞刚,等.上海国际港务(集团)股份有限公司外高桥港区码头作业系统节能减排改造示范工程(一期)专项设计[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2010.
- [7] 黄婷,徐磊,黄细霞.三种典型混合动力 RTG 的比较分析[J].电源技术,2016(7):1399-1402.
- [8] 袁峰.锂电池动力系统在轮胎吊产品中的应用[J].交通节能与环保,2012(2):49-50.

(上接第 169 页)

定样品时,具有线性范围宽、精密度好、回收率高、样品用量少等特点。在实际样品测定中,可以有效地将 As(Ⅲ)、DMA、MMA、As(V)分离,适用于饮用水源水中砷形态分析的测定。无机的 As(Ⅲ)和 As(V)是水中砷的主要存在形态,Eh 值(通称氧化还原电位)和 pH 值是影响砷形态的 2 个主要因素:在氧化环境中,砷主要以 As(V)形态存在;在还原环境中,As(Ⅲ)形态占优势。因此,用 HPLC 与 HG-AFS 联用,对水体中砷的形态分析具有较大的应用价值,对于研究水体中各种砷形态的迁移转化具有重要的意义。

参考文献

- [1] 徐元锋,云南处理阳宗海砷污染[N].《人民日报》(2008 年 10 月 9 日 14 版)
- [2] 骆之明,广西河池发生上百村民尿砷超标、疑似中毒事件[EB/OL].http://news.xinhuanet.com/newscenter/2008-10/08/content_10163765.htm,2008 年 10 月 08 日.
- [3] 路英香,省政府查处民权成城化工有限公司污染事件,

http://www.ha.xinhuanet.com/xhzt/2008-11/05/content_14830514.htm,2008 年 11 月 05 日

- [4] 谢宏钰,苏鲁交界地发生严重砷污染江苏邳州昼夜防扩散[EB/OL].<http://www.chinanews.com/gn/news/2009/08-09/1810130.shtml>,2009 年 08 月 09 日
- [5] 解小如,临沂查处亿鑫化工水污染事件[EB/OL].<http://www.ccin.com.cn/ccin/news/2009/08/13/87847.shtml>.2009 年 08 月 13 日
- [6] 中国青年报,媒体称地下水砷污染危及近 2000 万国人[EB/OL],2013 年 09 月 25 日,<http://news.sina.com.cn/c/2013-09-25/054028293070.shtml>
- [7] 新华网,湖南石门山村土法炼砒霜地下水砷污染严重[EB/OL],2014 年 3 月 26 日,<http://www.tech-food.com/news/detail/n1084456.htm>
- [8] 中青在线,山西梁家堡地下水砷污染严重清华学生推广慢滤池遇阻[EB/OL],2017 年 09 月 20 日,<http://politics.caijing.com.cn/20170920/4334296.shtml>
- [9] 陆守平,陈曦,刘洋等,液相色谱-原子荧光光谱联用法测定地下水中的三价砷和五价砷[J],中国无机分析化学,2017(3):12-15
- [10] 凌云,万夕,朱鸭梅等,HPLC-AFS 测定条斑紫菜中无机砷分析方法研究[J],现代科学仪器,2017(1):88-94
- [11] 陈桂鸾,徐远金,吴琼婧等,土壤中砷的形态分析方法研究及应用[J],现代科学仪器,2014(4):155-160