



上海港岸基船用供电系统研究与实践

包起帆, 江霞

(上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080)

摘要: 描述一种移动式岸基船用变频变压供电系统在上海港外高桥二期码头首次为中海集运“新福州”轮提供岸电。系统利用集装箱码头前沿为桥吊运行配备的10 kV/50 Hz/2 000 kVA的高压电源, 经过变压和变频为靠港船舶提供450 V/60 Hz电源。该方案灵活性强, 节能减排效果明显, 且无需对码头进行土木改造, 适合我国作业繁忙的码头。

关键词: 岸基供电; 节能减排; 研究; 实践

中图分类号: TV 653.95

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972 (2013) S1-0033-07

Research and application of on-shore power supply system for vessels in Shanghai port

BAO Qi-fan, JIANG Xia

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

Abstract: This paper prescribes a movable voltage-variable & frequency-variable on-shore power supply system which successfully provides on-shore power for CSCL “New Fuzhou” Vessel at Waigaoqiao Terminal Phase II in Shanghai Port. The high-voltage power (10 kV/50 Hz/2 000 kVA) for the quay cranes is used as the power input of the supply system (450 V/60 Hz) for the berthing vessels after the frequency and voltage are converted. This system is flexible and has a positive effect on energy-saving and emission reduction. Besides, there's no need of civil reconstruction to the container terminals, thus it is adaptable to the busy ports in China.

Key words: on-shore power supply; energy-saving and emission reduction; research; practice

2009年12月在丹麦首都哥本哈根召开的联合国气候变化大会引起全球的高度关注, 为期12天的会议吸引了190多个国家和地区的代表参加, 100多位国家、地区和国际组织的领导人与会, 毫无疑问, 此次会议成为全球应对气候变化的重要一步。会上世界主要国家和地区都推出了各自的减排计划。中国也作出明确承诺, 2020年单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降40%~45%。我国要兑现此承诺, 必须从现在开始大力开发和发展环保型产品, 合理开发利用资源, 尽力推广和使用绿色环保能源, 从而有效地减少废气的排放量, 保护我们的生存环境。

随着中国经济的快速发展和国内港口各大航

运中心建设步伐的加快, 越来越多的船舶停靠港口, 仅上海港平均每天就有169艘大型船舶靠泊, 小船更是不计其数, 这些到港船舶停靠在码头需要燃烧大量重油(或柴油)发电, 烟囱到处“流动”, 所产生的污染与城市环境保护的矛盾越来越突出, 据统计, 上海港每年由于靠港大型船舶油料发电带来的排放有害物质为3.38万t, 二氧化碳91.24万t(计算依据见第6节)。港口城市由于停靠船舶油料发电产生的废气污染比其他城市平均多25%^[1], 因此国际港口中心城市节能减排形势更为严峻。

岸电技术是国内外港航界近年来备受关注的一项技术, 也就是当船舶停靠码头时, 停止

收稿日期: 2010-04-08

作者简介: 包起帆(1951—), 男, 教授级高工, 从事港口工程技术工作。

使用船舶的柴油发电机,而采用码头陆上的电网供电。使用岸电可大大减少港口城市及其附近的大气和噪声污染。岸电技术是国内外港航界近年来备受关注的技术,也就是当船舶停靠码头时,停止使用船舶的柴油发电机,而采用码头陆上的电网供电。使用岸电可大大减少港口城市及其附近的大气和噪声污染。

1 国内外现状

各个国家的船舶,除特种船外,船舶的交流电制基本为:三相交流450 V/60 Hz、三相交流6.6 kV/60 Hz,和400 V/50 Hz,因此国际上现存的岸电方式大体上包括:低压岸电/低压船舶供电、高压岸电/低压船舶、高压岸电/高压船舶3种方式^[2]。

1) 低压岸电/低压船舶/60 Hz直接供电方式:如洛杉矶港采用趸船式的供电装置,给少量集装箱班轮供电;

2) 高压岸电/低压船舶/50 Hz直接供电方式:如哥德堡港采用了码头固定式的供电装置,给邮轮和滚装船供电;

3) 高压岸电/高压船舶/60 Hz直接供电方式:如长滩港集装箱码头、洛杉矶港部分集装箱码头。

虽然各国岸电方案的系统工程组件略有差异,但设计大体上可分为3个部分:岸上供电系统,电缆连接设备和船舶受电系统。

1) 岸上供电系统:岸上供电系统使电力从高压变电站供应到靠近船舶的连接点。

2) 电缆连接设备:连接岸上连接点及船上受电装置间的电缆和设备。电缆连接设备必须满足快速连接和储存的要求,不使用时储存在船上、岸上或者驳船上。

3) 船舶受电系统:在船上固定安装受电系统,可能包括电缆绞车、船上变压器和相关电气管理系统等。

2 难点和方案分析

由于我国电网频率为50 Hz,与大多数停靠

码头的船舶电制频率不同,加上中国港口业务繁忙,岸电供电工程不能对基础建设有大改动,不宜采用固定式岸电或趸船式供电。因此,国际上的成功案例不能照搬到我国港口。研制适合我国电制的岸电变频技术,设计一套移动式变频变压供电系统对应用多个泊位或码头,将我国港口电网交流电转换成适合于外国船舶60 Hz交流电、国内部分船舶50 Hz交流电,实现50 Hz/60 Hz双频供电是最佳方案。

中海集运已对旗下33艘集装箱班轮进行了岸电受电改造,有28艘集装箱船舶交流电制为三相450 V/60 Hz,其中,21艘4 250 TEU船舶靠泊码头的实际平均负载约为1 000 kW,7艘5 688 TEU船舶实际平均负载为1 200 kW。有数据表明,洛杉矶港口岸电供电的集装箱船舶的平均负载为0.976 MW^[2]。我国大多数集装箱码头前沿为桥吊运行均配备了10 kV/50 Hz/2 000 kVA的高压电箱,这些电源可提供功率不超过1 646 kW(2 000 kVA \times 0.9 \times 0.92-10=1 646 kW,其中功率因数取0.9,变频变压电源装置的综合效率取0.92)^[3]的用电需求。因此,可选用码头富余的高压电箱,无需对现有的集装箱码头进行改造,便于推广应用。

2.1 方案设计

移动式变频变压供电系统主体结构采用港口标准配置集装箱形式,便于港口吊运设备(如集装箱正面吊)搬运移动,由于高低压配电、柔性连接配置要求,电源主体分成两部分为宜:主移动舱和副移动舱。变压和变频装置、高压电缆卷筒安装在主移动舱上,低压电缆卷筒安装在副移动舱上,两个移动舱都可置于码头前沿。系统基本功能为:

1) 从装有高压电缆卷筒的主移动舱中引出一根带有快速接头的电缆连接10 kV的岸电接电箱,电缆长度为50 m。

2) 主移动舱为40 ft集装箱,提供连接9个450 V/60 Hz快速接头的插座箱。

3) 副移动舱为20 ft标准集装箱,配3个低压电缆卷筒,每个卷筒进线和出线各3根电缆,进线

和出线的端头都装有快速插头, 输入端连接主移动舱, 输出端连接船上的受电箱。输出电缆长度为 50 m, 供电电缆用吊车吊入船舶。

4) 配置其它满足设备在港口露天环境下正常使用的辅助功能。

供电系统构成如图 1 所示。

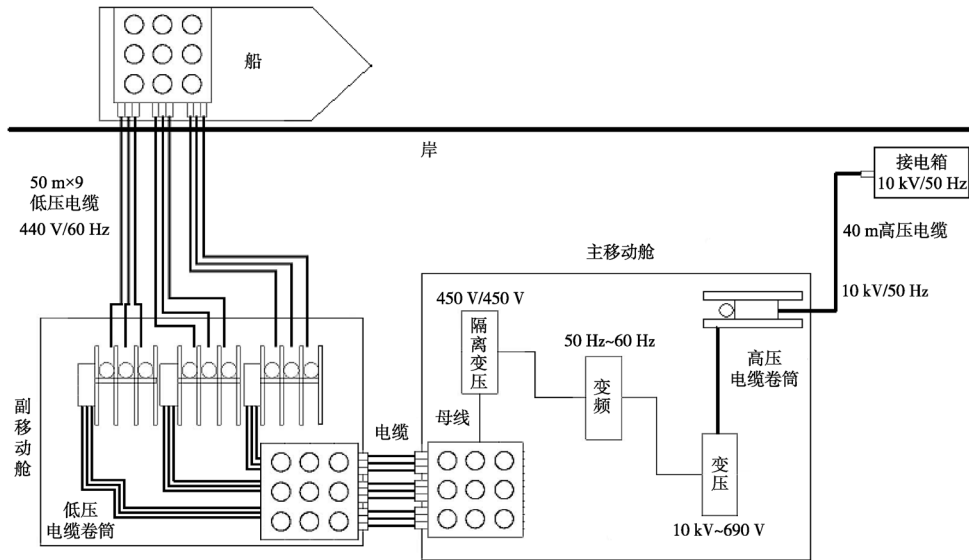


图1 系统构成

本系统的基本工作原理:

1) 10 kV/50 Hz进入后先进入主移动舱内高压开关柜, 由高压开关柜控制高压通断。

2) 10 kV/50 Hz经高压变压器降压至690 V/50 Hz。高压变压器为三绕组变压器, 其中一套绕组作为原绕组, 另外两套绕组作为副绕组, 向变频装置输出功率。高压绕组是三角形接法, 副绕组一个是星形接法且从中心点引出, 另一个是三角形接法, 互差30°电角度, 这种电路可以把整流电路的脉冲数由6脉冲提高到12脉冲, 两个整流桥产生的5, 7, 17, 19, …次谐波相互抵消。

3) 690 V/50 Hz进入低压开关柜, 控制低压输出通断。690 V/50 Hz进入变频器柜的整流柜、逆变柜进行整流、逆变, 将690 V/50 Hz变频为450 V/60 Hz方波, 再经正弦波滤波器整流成450 V/60 Hz正弦波, 最后输出到隔离变压器, 变频部分采集输出450 V/60 Hz正弦波形成闭环控制, 控制电压频率稳定。

4) 450 V/60 Hz正弦波输出到隔离变压器, 能有效地防止船上负载电网和岸电网的相互干扰, 保护变频电源装置不因负载设备故障而损

坏。

5) 隔离变压器450 V/60 Hz输出经末端低压开关柜, 通过副舱9根柔性电缆及快速插头接至船舶的岸电主控制室, 供船舶设施用电。

2.2 谐波抑制技术

采用变频的电源, 均需整流, 将产生因其非线性引起的高次谐波, 而变频器输出侧PWM控制产生的输出电压和输出电流均含有谐波, 这些谐波对电源的稳定工作和其它仪器仪表是有害的, 需采用补偿方式进行谐波抑制, 确保输出具有良好的可靠性和稳定性。

1) 变频输入侧采用EMI滤波, 滤波器由L、C构成的低通器件, 保证输入侧电压电流稳定。

2) 变频输入侧还接入交流限流器, 抑制输入侧和变频器内部产生高频扰动, 同时改善变频器输入电流波形。

3) 变频采用12脉冲整流技术, 可消除11次以下的输入谐波电流, 抑制含量较大的谐波。

4) 变频输出侧采用正弦滤波器, 使变频器输出电压(PWM控制)方波经滤波后, 波形接近正弦波, 另一方面消除方波中的高次谐波含量对

电网的污染。

5) 正弦滤波器一般很难达到理想效果, 输出侧还需采用其它滤波技术, 增加滤波电容抵制谐波, 防止电气谐振。

2.3 柔性连接技术

港口码头潮位落差变化会引起船舶上下、左右、前后摇摆, 还有海风大浪的影响, 在岸基供电电源供电时, 会牵扯供电电缆, 采用恒矩弹簧式电缆卷筒控制多根多组粗电缆(9根、每根120 mm²)进行柔性自动收放, 确保接电安全可靠。同时高压进线侧可采用手动电缆卷筒方式, 接电收放线快速。

2.4 快速连接技术

各类到港大型船舶靠岸时间短、船舶用电为断续工作制、用电功率大, 一般接电器件重量也较大, 采用国际标准快速软接触的插头插座, 实现快速连接, 提高岸电上船电网接电效率。

2.5 机电一体优化设计技术

1) 高低压配电技术: 大功率港口供电设备安全防护要求很高, 进线10 kV高压开关柜、变频出线侧低压大电流开关柜要求具有过流、过压、过载、短路、缺相等保护功能, 确保人员和设备安全。

2) 可靠性设计技术: 所有变频、变压、高低压通断设备集成在标准舱内, 整体设备要求适应高温、高湿、高腐蚀性、大负荷冲击等恶劣使用环境, 防护等级要求达到IP55。

3) 工程优化技术: 码头泊位利用率高、停泊位置变化大, 供电设备体积庞大、主副舱要求放入了标准集装箱, 具备可移动性, 不过多占用港口宝贵的空间资源。

3 实践及数据分析

2010年3月22—23日, 中海集运“新福州”轮停靠上海港外高桥二期集装箱码头, 由上港集团和港迪电气联合研制的移动式岸基船用变频变压供电系统(图2)为“新福州”轮提供陆上电源。



图2 移动式岸基船用变频变压供电系统的主副移动舱

1) 运行环境: 温度-5 ~ 15 °C (上海天气变化)。相对湿度≤93% (船舶带载大风阵雨露天试验)。

2) 操作时间: 与“新福州轮”接电时间为22日16:40-17:30 (50 min); 与“新福州轮”撤电时间为23日10:00-10:25 (25 min)。

3) 接电操作过程见图3。

高压电缆连接至岸电高压接线端子后, 配电房送高压电。图4为高压接线过程的照片。

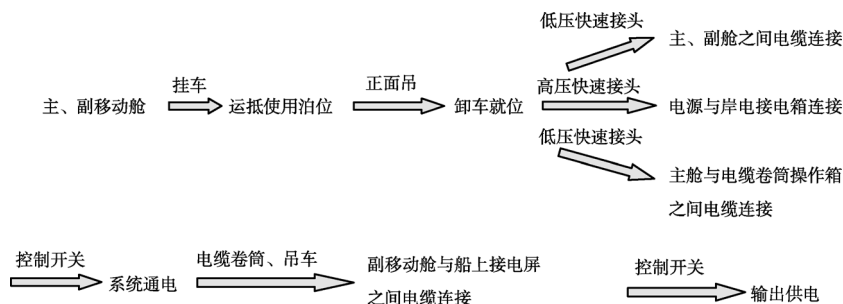


图3 操作过程

通过吊车将9根低压电缆吊至船舶尾部的接电屏, 图5为连接过程的照片。

4) 为“新福州”轮提供岸电过程中, 工作人

员每半小时进行一次数据采集, 表1列出部分数据。

根据全部记录数据分析后可得:

船舶带载输出电压: AC434 ~ 443 V (电流

1 905 ~ 1 361 A), 电压波动0.2%。

船舶带载输出频率变化: 59.98 ~ 59.99 Hz (≤0.01 Hz)。

船舶带载输出电压谐波总失真率: 0.8 ~ 2.8

(<4%)。

船舶带载16.75 h总耗电量为18 147 kWh, 船舶靠泊时的平均功率为1 083.4 kW。以 18:59测量数据为例, 组图6为带载数据。



图4 工人将高压电缆连接至码头前沿的10 kV/2 000 kVA/50 Hz的高压电箱



图5 低压电缆连接船舶接电屏

序号	记录时间	电压/V	电流/A	频率/Hz	电能/kWh	电压失真率/%
1	2010-03-22T17:39	443	1	59.98	143	1.1
2	2010-03-22T21:00	436	1 700	59.99	3 584	2.8
3	2010-03-23T0:00	437	1 692	59.98	7 066	2.0
4	2010-03-23T3:30	438	1 611	59.99	11 050	1.9
5	2010-03-23T7:00	438	1 642	59.99	15 015	1.6
6	2010-03-23T10:00	440	1 546	59.99	18 147	2.3

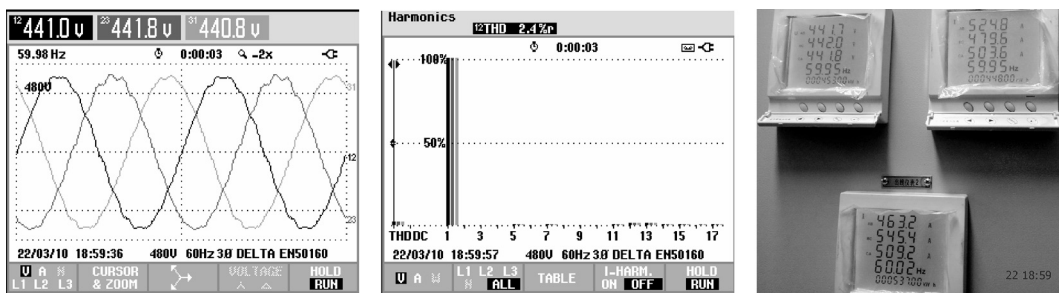


图6 带载数据

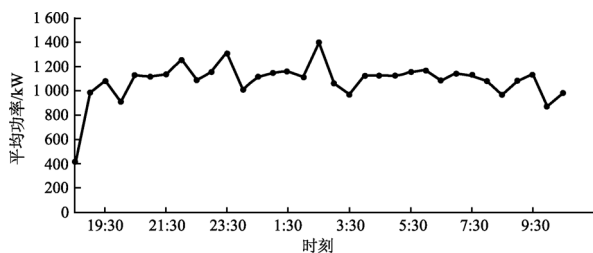


图7 船上用电负荷曲线

4 与国内外岸电技术的比较

分析国内外各大港口码头岸基高压供电和低压供电方式的技术特征, 比较各种岸电技术的先进性、适应性和应用优缺点, 见表2。

通过表2可知, 对于配电电压为6.6 kV/11 kV 的高压船舶, 高压岸电虽是较方便的方式, 但国

表2 国内外典型岸电供电技术比较

比较项	低压变频岸电 60 Hz/50 Hz(上海港)	低压岸电60 Hz直供电 (洛杉矶港)	高压岸电对低压船舶50 Hz 直供电(哥德堡港)	高压岸电60 Hz直供电(洛杉矶和西 雅图集装箱码头和Juneau游轮码头)
船舶配电电压/V	450	450	400	6.6 × 103/11 × 103
岸电电压/V	450	450	10 × 103	6.6 × 103/11 × 103
功率/MVA	2.0	2.5	2.5	7.5
港口电网频率/Hz	50	60	50	60
供电频率/Hz	60/50	60	50	60
岸电接入方式	港方提供电缆	港方提供电缆	船方提供电缆	船方提供电缆
空气污染	无	无	无	无
供电效率	好	好	好	好
供电操作性	9根低压电缆, 快速连接	多根电缆, 水上高压、 低压双向接线, 复杂	一根电缆, 快速	电缆较少
船舶改造复杂性	基本无	需另配趸船	复杂, 需要在船上安装变 压器	一般

际上大多数船舶为450 V低压, 双变频低压供电方式具有更多的优点, 60 Hz/50 Hz任意选择的变频岸电能适应更多的船舶供电, 并具有较好的技术性能和较强的可操作性, 技术含量更高, 应用推广前景广阔。

5 生态效益

船只废气的排放包括多种有害物质如氮氧化物(NO_x)、氧化硫(SO_x)、一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、碳氢(HC)和悬浮物(PM), 排放物的典型分组如图8所示。

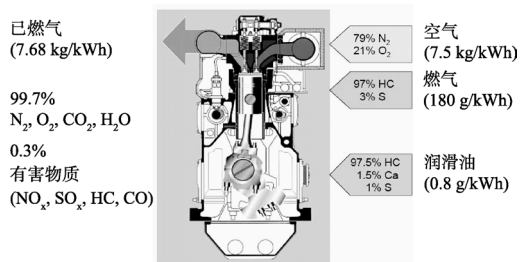


图8 废气排放的典型组分(来源: 瓦锡兰集团)

1) 按船用柴油发电机组典型值7.68 kg/kWh计算, 其中:

①N₂, O₂, CO₂, H₂O混合废气物占99.7%, 7.657 g/kWh;

②NO_x, SO_x, HC, CO有害物质占0.3%, 为23 g/kWh;

③船载柴油发电机的CO₂排放数据, 特定燃料消耗185 g/kWh时, CO₂排放为610 g/kWh。

2) 根据2009年上海国际港务集团统计年鉴, 2008年全年大型船舶61 873艘^[4], 上海港平均每天约靠泊169艘大型靠泊, 每次靠泊按24 h计, 靠泊平均功率按1 000 kW供电计算, 预算总排放量:

①每天小计。

CO₂排放169艘 × 24 h × 1 000 kW × 610 g/kWh = 2 499.7 t;

废气排放169艘 × 24 h × 1 000 kW × 7.68 g/kWh × 99.7% = 3.1万t;

有害物质排放169艘 × 24 h × 1 000 kW × 23 g/kWh = 93.3 t。

②每年总计。

CO₂排放2 499.7 t × 365 = 91.24万t, 折合标准煤91.24/2.493 = 36.6万t标准煤;

废气排放总量3.1 × 365 = 1131.5万t; 有害物质排放93.3 t × 365 = 3.38万t。

统计分析, 在优先使用水电、风电、核电等绿色电力的情况下, 本岸电技术成果若推广应用至上海港所有到港的大型船舶, 每年将可减少有害物质排放3.38万t、减少CO₂排放91.24万t, 节约36.6万t标准煤, 可以大大缓解船舶在港期间对港区、上海市区大气环境的影响, 有效改善区域环境, 保护上海港的碧海蓝天。本项目的生态效益

将十分明显, 应该是一场港口行业减少船舶污染排放、节能环保技术的革命。

6 结语

移动式岸基船用变频变压电源装备研制与应用是一项复杂的系统工程, 特别是其生态效益倍受国际国内环境组织、政府部门关注, 船舶靠泊码头时使用岸电必将未来发展的趋势。首套装备投入试运行成功后, 上海港将不断总结经验, 提升创新技术, 寻找港口与船公司的合作模式, 寻找相关部门的政策支持, 争取更大规模的推广应用。

参考文献:

[1] Milton K, Michael M, Peter W. COLD IRON, A maritime

contribution to our environment[J]. Transactions. 2006.

[2] Harbors, Navigation and Environment Committee of the American Association of Port Authorities(AAPA). Draft use of shore-side power for ocean-going vessels white paper[EB/OL]. <http://www.westcoastdiesel.org/files/sector-marine/AAPA-shorepower-050107.pdf>.

[3] 包起帆, 黄细霞, 葛中雄, 等. 上海港口外高桥六期码头岸电试点项目方案论证[J]. 港口科技, 2009(12): 6-11, 14.

[4] 上海国际港务(集团)股份有限公司. 2009年上海国际港务集团统计年鉴[R]. 上海: 上海国际港务集团有限公司, 2009.

(本文编辑 郭雪珍)

评委点评:

《水运工程》优秀论文评选

目前国际上一些欧美港口, 已经采用岸电技术对靠泊船舶实施供电。欧盟也已制定法令, 对靠泊船舶及在领海航行的船舶排放提出了限制要求。因此中海、中远等大型航运公司已经在对船舶进行改造, 以适应岸电的需要。上海港率先进行岸电的改造试点, 2010年3月该移动供电装置成功为停靠在外高桥二期码头的中海集运“新福州”轮提供岸基供电。

本文详细介绍了该移动式岸基船用变频供电系统研究的必要性、设计思路和设计方案。在方案中, 主要针对集装箱船的变频低压供电介绍了其工作原理, 以及运行时谐波的抑制技术, 还有很关键的船岸连接技术。分析比较了本技术与国外典型岸电供电技术的特点及优势, 以及计算了采用该技术可减少上海港船舶一年的排放总量, 显示了本技术推广后巨大的节能减排意义。



2012年12月

评委简介:

王维, 教高, 中交第二航务工程勘察设计院有限公司副总工程师。

先后主持港口工程设计过百项, 多次获国家、省部级优秀工程设计奖、优秀咨询奖、航海科技奖。主持了行业规范的编写及多项交通部西部科技项目的研究, 获4项实用新型专利及2项专有技术。在《水运工程》、《港口装卸》等刊物发表过多篇文章。