

客运码头直流岸电的应用及对环境的影响



张志良，王闯

(中交水运规划设计院有限公司，北京 100007)

摘要：依托深圳某新型旅游客船码头岸电工程，分析客运码头常用岸电电源制式及岸电电源需求，并根据新型旅游客船内部配电设施特性，对当前主流的并网型直流转换技术与机组型直流转换技术进行比较与研究，提出采用直流转换技术为旅游客船提供岸电电源的方案，并对比客船使用直流岸电与燃油方式的能耗数据。结果表明，使用直流岸电每年可减少排放废气约 2.52 万 t，氮氧化物、硫化物、一氧化碳等约 75 t，二氧化碳约 2 960 t，对港口环境起到良好的保护作用，对港口企业也产生了显著的社会效益。

关键词：客运码头；直流岸电；节能环保

中图分类号：U 653.95

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)S1-0084-04

Application of direct current shore power in passenger terminal and its impact on environment

ZHANG Zhi-liang, WANG Chuang

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Based on the shore power project of a new tourist ship wharf in Shenzhen, we analyze the commonly used shore power supply system and shore power demand of passenger terminal, compare and study the current mainstream grid-connected direct current conversion technology and unit type direct current conversion technology according to the characteristics of the internal distribution facilities of the new tourist ship, propose a scheme of using direct current conversion technology to provide shore power for tourist ships, and compare the consumption data of passenger ships using direct current shore power and fuel oil. The results show that the annual emission of exhaust gas can be reduced by about 25,200 t, nitrogen oxide, sulfide, carbon monoxide and other pollutants by about 75 t, and carbon dioxide by about 2,960 t. The direct current shore power plays a good role in protecting the port environment, and produces the significant social benefits for port enterprises.

Keywords: passenger terminal; direct current shore power; energy conservation and environmental protection

靠港船舶在消耗燃油过程中排放空气污染物，影响港口及所在地区的环境质量。船舶排放的根源在于其使用的燃料——燃料油和柴油。船舶主发动机使用的燃料油，硫含量平均在 3.5% 以上，远高于机动车辆；辅助发动机主要使用柴油。船舶停靠港口时主发动机关闭，但辅助发动机仍在运作，这种状态下就会对港口环境造成污染^[1]。

交通运输部则出台了《港口和船舶岸电管理办法》^[2]，要求港口企业配备岸电设施。

目前，世界上已有码头船用供电方式大多是港口电网向船舶电网直接供电，可以插接岸基电源的船舶均采用交流供电制式，其中包括高压和低压供电两种模式^[3]。其中，岸电供电制式还包括国内市电频率(50 Hz)及国外市电频率(60 Hz)，见表 1。

表 1 船用交流供电系统供电制式种类

| 供电制式种类 | 船舶配电 | 码头船用供 | 港口电网 | 船舶电网 |
|------------|--------|--------|-------|-------|
| | 电压/V | 电电压/V | 频率/Hz | 频率/Hz |
| 低压岸电(低压船舶) | 440 | 440 | 50 | 60 |
| 低压岸电(低压船舶) | 400 | 400 | 50 | 50 |
| 高压岸电(高压船舶) | 6 600 | 6 600 | 50 | 60 |
| 高压岸电(高压船舶) | 11 000 | 11 000 | 50 | 60 |

1 工程概况

深圳某港口企业推出的“海上看深圳”游船项目为减少对环境的影响, 定制了清洁能源旅游

客船以满足环保和运营的要求。为适应新造旅游客船靠泊要求, 需对现有待泊泊位(泊位长度 81.7 m, 港池水深 6.5 m)进行升级改造, 在码头承台段增加 150 kN 系船柱, 满足设计船型长 72 m、排水量 2 500 t 的船舶靠泊, 在码头水工结构内埋设一组电缆管道, 便于为旅游客船所配置岸基电源系统的电力电缆敷设至前沿插座箱。

根据待泊泊位平面图, 经过合理设计, 布置的岸电设备见图 1。

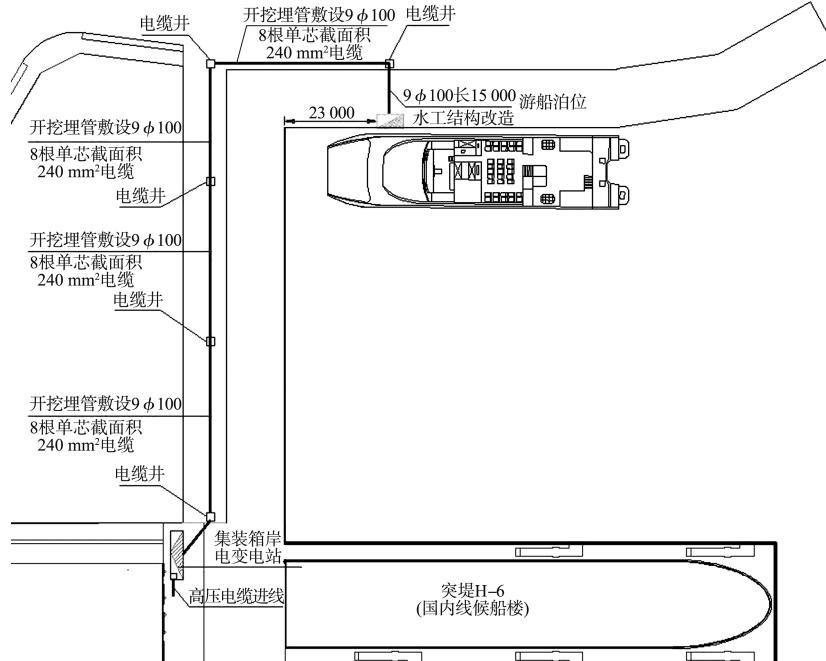


图 1 岸电设备布置 (单位: mm)

2 工程应用与分析

新型旅游客船内部电气设备采用电力驱动技术, 并配备大容量蓄电池作为续航储备, 因此对码头配套的岸基电源系统提出较高的供电制式需求。现有的《码头岸电设施建设技术规范》^[4]未提及此类船舶岸电供电模式, 且国内实施的案例较少, 对岸电系统的设计实施提出了考验。

2.1 岸电需求

旅游客船研发基于新能源技术为核心的宗旨, 且考虑设备占用更小空间及控制系统简洁化的要求下, 直流系统采用的变压器、整流、逆变器数量少; 电力电子开关的故障分段能力更可靠; 面对复

杂负载系统稳定性更好, 稳定电网波动更快速等优点明显, 故船上采用了直流供电方案。配合客船上直流电气系统, 码头也须配置直流电源系统供电。

根据造船企业提供的数据分析, 旅游客船日用电负荷 560 kW, 电池模式下的推进功率 250 kW, 按客船航程 1.5~2.0 h 的要求计算, 消耗电能约 1 700 kW·h, 按照 2 h 充电完成使用要求, 其所需功率约为 1 300 kW, 故从经济性、技术性、冗余性方面考虑, 需要在岸上配置 1 套不小于 1 500 kW 的电源设施。

2.2 岸电方案设计

根据泊位布置, 在码头区旅游客船泊位附近建

设一座箱式户外岸电变电站，供电容量为 $2\ 500\text{ kV}\cdot\text{A}$ ，岸电变电站 10 kV 电源引自上级变电站高压馈线柜，变压器容量 $2\ 500\text{ kV}\cdot\text{A}$ ，其中 $630\text{ V}/50\text{ Hz}$ 变压器输出 $2\ 000\text{ kV}\cdot\text{A}$ ， $400\text{ V}/50\text{ Hz}$ 变压器输出 $500\text{ kV}\cdot\text{A}$ 。 $630\text{ V}/50\text{ Hz}$ 变压器输出至箱式变电站内部的船用电变流器模块，经变流器整流输出直流 $\text{DC } 1\ 000\text{ V}$ 电源，低压馈线柜处采用 8 根 DC-YJV-1.8/3kV 截面积为 240 mm^2 的单芯电缆（4 正4 负）敷设至码头前沿插座箱，插座箱处配置 1 套电缆卷盘提升设备，靠船时将电缆接头送至船上受电口处，供船舶日常用电及电池充电。

$400\text{ V}/50\text{ Hz}$ 变压器输出为所内低压用电，并考虑部分预留容量。

岸基电源系统的核心整流模块采用可控整流方式，这种整流为绝缘栅双极型晶体管 (insulated gate bipolar transistor, IGBT) 可控方式，高频整流结合滤波器方案可以实现网侧谐波电流小，网侧功率因数高；此整流方式还可以实现母线电压的可控制调节，正常调整范围是电网电压峰值的 $1.1\sim1.5$ 倍。为了输出 $\text{DC } 950\text{ V}$ 工作电压，则要求输入电压 $U < 630\text{ V AC}$ (交流电压)。采用整流方案设计的岸电系统见图 2。

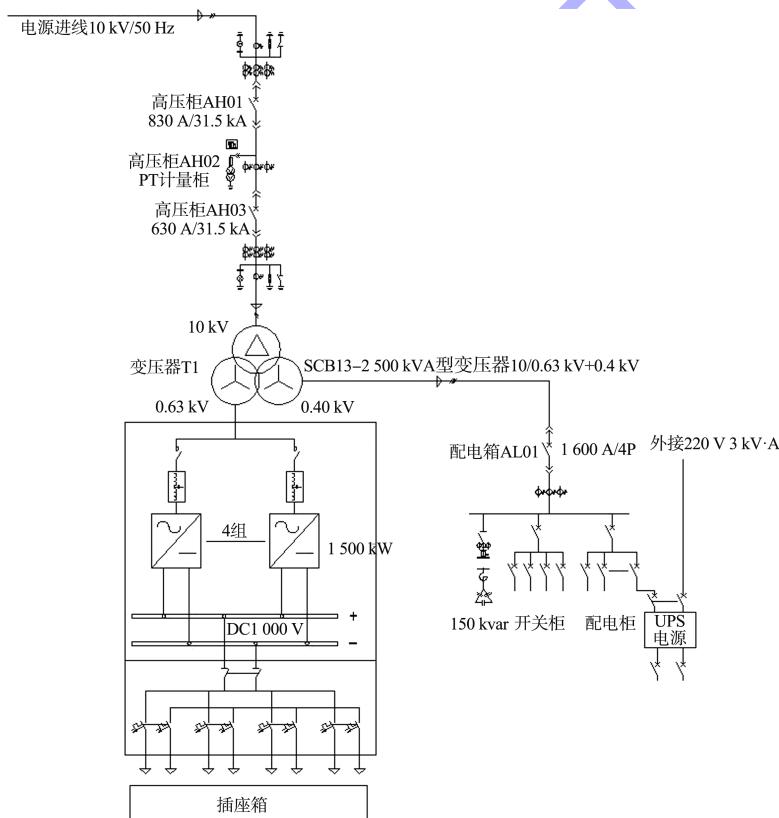


图 2 直流岸电供电系统

2.3 直流转换技术选型对比

船舶直流转换供电根据不同的负载类别，可分为并网型交流/直流转换 (AC/DC) 技术和机组型 AC/DC 技术。并网型 AC/DC 技术是依托岸基市政电源转换为直流电制，供给船舶直流系统，其主要特点为市政电网作为供电电源，目的为配

合船舶电气系统的特点。船舶自带的直流电气设备是由其辅助电动机或电动发电机提供交流电源，再进行 AC/DC 电源变换，该技术属于电机控制型 AC/DC 电源变换技术，独立性强，不与市政电网产生关联。两种技术类型的区别见表 2^[5]。

表 2 并网型与机组型 AC/DC 技术方案区别

| 类别 | 供电电源特点 | 电源接入特性 | 负载特性 | 电压等级特点 |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 并网型 AC/DC 技术 | 电源为工业大电网, 电网供电情况复杂, 会出现电压骤升、骤降、频率波动、闪变等情况, 且电网短路电抗随接入点而变化。为此并网型 AC/DC 变换器需要针对上述电网问题提出系统解决方案, 并满足相关电网接入标准 | 电源接入点并联负载较复杂, 岸电取电的高压母线段通常会同时接入多种负载, 造成岸电电源输入电压谐波频谱丰富, 且不可预测、不可控制。AC/DC 变换器需要抑制自身开关器件动作有可能与电网其他谐波源形成的高频谐波环流, 控制算法和滤波器选择需要慎重 | 供电负载的多样性, 岸电电源需要面对多种多样的负载, 且需要有复杂的连船、离港断电以及快速连接要求, 需要熟悉相关的岸电接入标准, 有丰富的工程和设计经验 | 电压等级多样, 岸电电源一般需要从 10 kV 高压配电网取电, 经隔离开关降压后形成低压交流供电系统, 跨越电压等级多, 系统选型和继电保护复杂 |
| 机组型 AC/DC 技术 | 电源为独立的发电机组, 电源特性简单、稳定, 电源品质好, 不存在电压突升、突降及异常波动情况, 电机反电势及等效电抗固定。机组型 AC/DC 变换器只需要针对特定的整流发电机特性进行软硬件设计 | 电源接入简单, 发电机组只带一个单独的 AC/DC 变换器, 交流回路无其他设备, AC/DC 变换器无其他谐波源干扰, 自成独立的电气隔离系统, 控制简单, 谐波无相互环流、相互干扰。此类独立系统的 AC/DC 变换器内环控制往往采用的是电动发电机控制算法 | 共直流母线封闭结构, 船用 AC/DC 变换器在设计之初就确定了直流母线接入的负载和运行特性, 多台设备间有一套综合调度管理系统, 且在运行过程中不会有大的工况变化, 工况运行简单、确定 | 电压等级简单, 船用变换器大都集中在 400 V AC 和 690 V AC 两个电压等级, 无高压存在 |

两种直流转换技术各有不同, 其使用环境有不小差异, 相对比两种技术方案, 并网型 AC/DC 技术相对复杂, 难度更高。本直流岸电设备根据旅游客船上电源特性及负载类型, 须采用并网型 AC/DC 技术, 针对表 2 中的技术难点, 均做了有效的解决方案, 不再展开叙述。

3 环境影响分析

船舶通常使用含硫油或柴油发电满足自带设备用电需求, 含硫油或柴油在燃烧过程中产生大量的硫化物, 碳、氮氧化物及烟尘, 这些废物会对周边的环境造成污染。本文根据新型旅游客船同吨位柴油驱动船舶能耗数据及污染物排放等方面进行计算对比, 分析纯电力推进客船与柴油动力客船对环境的不同影响。

旅游客船按 3~4 航班/d, 每个航班航行时间为 1.5~2.0 h, 每天连接岸电时间约 6 h, 单小时用电量最大按 $1500 \text{ kW}\cdot\text{h}$, 其单艘船年耗电量为 329 万 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{a}$, 折算为 404 t 标准煤当量/a(电力折标系数取 1.229 t 标准煤当量/万 $\text{kW}\cdot\text{h}$)。

若旅游客船采用燃油发电机, 柴油耗量约 $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$, 每航班上下客停靠时间约 1 h, 则每天停靠时间约 6 h, 每艘船年耗油量为 1095 m^3 。柴油密度为 0.85 t/m^3 , 则每艘船年耗油量约 930 t/a, 折算为 1 355 t 标准煤当量/a(柴油折标系数取 1.457 1 t 标准煤当量/t)。

按每艘船年耗油 930 t, 可计算出靠泊污染物的排放量^[6]: 废气(N_2 、 O_2 、 CO_2 、 H_2O)总排放量为 2.52 万 t; NO_x 、 SO_x 、碳氢化合物 HC、CO 总排放量为 75 t; CO_2 排放量为 2 960 t(燃烧 1 t 柴油的 CO_2 排放量按 3.18 t 计算)。

通过能耗计算, 采用直流岸电为蓄电池充电, 配合电力推进系统, 使旅游客船的节能效果显著。直流岸电与旅游客船共同投入运营后, 相比燃油客船每年可以减少污染物排放量约 2.53 万 t, 对码头区域及周边地区空气质量的提升有显著促进作用, 对港口企业及所在地区具有很高的社会效益。

4 结语

1) 船舶岸电的实施有助于推动港口企业的技术进步和科技创新, 通过利用码头岸电替代船舶用柴油发电, 达到节能减排、改善港区环境质量、降低船舶运营成本的效果。

2) 客运船舶航线相对较短, 采用电力推进结合大功率蓄电池储能技术, 相比传统柴油动力船舶所带来的环境效益更明显。

3) 直流岸电的成功应用, 降低了船舶电力推进技术普及的门槛。本文对直流岸电的基本原理和设备配置进行介绍, 简要讨论所涉及的技术难点, 以期为直流岸电系统的应用起到积极的推广和推动作用。

(下转第 94 页)