

大连港船舶岸电系统设计

门志勇¹, 谷万江¹, 高宁¹, 马丽¹, 吴越², 徐坤², 张楠², 韩占强²

(1. 国网辽宁省电力有限公司大连供电公司, 辽宁 大连 116000; 2. 中国中建设计集团有限公司, 北京 100037)

摘要: 以大连港船舶岸电系统为例, 介绍了船舶岸电系统安全供电保障技术, 探讨了船舶岸电系统实现不同船舶电源电制要求的电压、频率和保护控制等方面的变配电设计策略, 分析了岸电系统的节能减排及社会经济效益。

关键词: 岸电系统; 电源电制; 安全; 节能减排

Design of ship shore power system in Dalian port

MEN zhiyong¹, GU Wanjiang¹, GAO Ning¹, MA Li¹, WU Yue², XU Kun², ZHANG Nan², HAN Zhanqiang²

(1. Dalian Power Supply Company of Liaoning Electric Power Co., Ltd., Dalian 116000, China; 2. China Construction Design Group Co., Ltd., Beijing 100037, China)

Abstract: Taking on-shore power supply for vessels of Dalian port as an example, introduces the safety power supply guarantee technology, discusses the design strategy of power transformation and distribution in terms of voltage, frequency, protection & control required by different ship power systems and analyzes the energy conservation, emission reduction and social & economic benefits of the on-shore power system.

Key words: on-shore power supply for vessels; power supply system; safety; energy conservation and emission reduction

0 引言

随着经济的繁荣发展, 港口船舶停靠码头的数量和密度在大幅增加, 但港口能耗和污染也日益严重。当前, 船舶在靠港期间主要利用船上自身携带辅机发电来满足船舶自用电需求, 形成了大量的“海上流动烟囱”, 对港口及周边环境污染严重。根据集装箱港口的废气排放分析, 42%的可吸入颗粒物PM₁₀和32%的NO_x是由靠港船舶产生的。船舶辅机发电主要依靠燃料油(重油或柴油), 受船舶自身设备质量、规模和品质等局限性影响, 燃油利用率不高、损耗严重, 会排放包含氮氧化合物(NO_x)、硫氧化合物(SO_x)、挥发性有机化

合物(VOC)和颗粒污染物(PM)在内的污染物, 对港口造成了大气污染和水污染, 并产生了较大的噪声^[1]。

采用船舶岸电供电技术替代靠港船舶自身发电, 可以有效降低港口污染和能源消耗, 并具有较好的经济效益。

1 船舶电力系统特点

船舶电力系统的安全性、可靠性、耐用性和环境适应性等方面比陆域有更严格的要求, 船舶电力系统必须在各种海况、工况条件下, 确保船员及船舶设备的安全, 满足正常生活电气设备的供电而不求助于应急电源, 确保在各

种紧急情况下向船舶的重要电气设备供电。船舶用电设备主要有操舵、导航、通信、动力和照明等。船舶电力系统主要电源设备为自备发电机组，常用的船舶发电机组有柴油发电机组、蒸汽轮发电机组和燃气轮发电机组^[2]。

船舶电力系统在电站容量、连接方式、电压等级和变配电装置等方面与陆域有很大差别。大部分国际船舶电网频率为60 Hz，部分船舶为50 Hz频率，国内外电力频率制式也不同，船舶电压等级为0.44 kV/6.6 kV/11 kV，以集装箱船舶为例，既有高压6.6 kV供电，又有440 V低压供电，船舶电力系统的总容量功率需求一般为1 000~5 000 kW^[3]。

2 港口船舶岸电系统

(1) 港口船舶岸电供电技术

港口船舶岸电供电技术是船舶在停泊码头期间停止使用辅机，而改用岸上电源供电。在保证安全性、可靠性的前提下，根据船舶电力系统特点和使用要求，利用港口船舶岸电向港口船舶岸电供电，岸电系统向系组、通风、照明、通信和其他设施提供所需电力^[1-2]。港口船舶岸电供电组件大体上可分为三个部分：岸上供电系统、电缆连接设备和船舶受电系统。岸上供电系统将电力从高压变电站供应到靠近船舶的连接点，通过岸电箱与船舶受电系统相连接。

我国港口供电系统电网频率为50 Hz，与船舶电力频率制式不一致。为保证船舶电力系统安全可靠运行，保障船舶设备设施的使用效率，港口船舶岸电系统向船舶供电时应保持与船舶本身电源频率一致，需要将港口电网交流电变换成适合国际船舶的60 Hz交流电，并且实现50 Hz/60 Hz双频供电。

国内外船舶配电电压主要有440 V和6.6 kV两种，对于配电电压为6.6 kV/11 kV的船舶，码头船用岸电供电系统采用高压供电是最方便的方式。

需要考虑岸上供电系统、电缆连接设备和

船舶受电系统的协调。岸电系统可配置多个泊位的输出回路，能独立或同时向一个或多个泊位提供岸电供电，每个泊位能输出符合船舶要求的电制。岸电系统原理如下图所示。

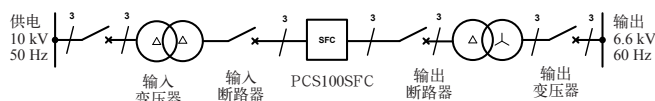


图 岸电系统原理

Fig. Schematic diagram of shore power system

(2) 岸电系统技术要求

岸电系统要保障船舶电力系统供电安全可靠，满足港口特殊环境的要求。

变频岸电电源设备在环境温度小于50 ℃的情况下满负荷长时间24 h不停工作，在供电或断电状态下防止误操作，在故障时降容使用、不间断供电，确保船舶连续安全供电。

输入输出电源有完善的缺相、过电压、欠电压、过电流、短路、超温、逆变器过热和变压器过热等保护功能及报警装置。变频电源过载能力要求：1.25倍过载10 min；1.5倍过载电流30 s；2.0倍过载电流瞬间保护0.5 s。输出电压稳压率要求0~100%负载变化时，输出电压稳压率小于2.5%。电压突变恢复到额定输出电压时间小于0.1 s，输出电压总谐波畸变率(THD)小于4%。

根据船舶握手信号设定岸电系统保护阈值，即针对不同船舶的用电负荷要求，控制输出负荷容量达到任意设定值时发出预报警信号，超出负荷时自动断电；当输出电压、频率连续超出规范要求达5 s时，自动切断输出回路。

岸电系统控制需要提供全面的智能化信息管理系统，保证操作和数据的安全完整。岸侧各设备均具有手动/自动（本地/远传）操作方式，可显示及计量输出电源的频率、三相电压平均值、三相电流平均值、三相线（相）电压、三相线电流、三相不平衡度、有功功率、无功功率和功率因数等参数。船舶电气发生故障，通过船上控制信号可断开变频装置主开

关，切断供船舶的电源。

3 大连港船舶岸电系统

大连港地处辽东半岛南端的大连湾内，港阔水深，冬季不结冰，万吨货轮畅通无阻，为中国最大的港口群。但繁忙的海运业带来经济繁荣的同时，港口船舶燃油引发的污染也给当地环境造成了严重影响。国网辽宁省电力有限公司与大连港集团合作，对大连港口岸的两个泊位实施船舶岸电改造，并作为国家港口岸电能替代示范项目。

示范项目选择大窑湾港集装箱码头口岸的15[#]、18[#]两个泊位进行供电改造，分别设置船舶岸电供电系统，岸电系统负荷容量分别为2 MV·A和3 MV·A。

(1) 船舶岸电供电系统设计

15[#]泊位的2 MV·A变配电室为新建，18[#]泊位的3 MV·A变配电室则采用原配电室位置进行了改造。

岸电的自进线电源为10 kV/50 Hz，转变为6.6 kV/60 Hz输出至码头接线箱，泊位前沿设置1台高压接线箱。系统主要由输配电系统、信息集控系统、功率变换系统、综合保护系统和电力连接系统等构成，实现6.6 kV/60 Hz电制输出。

10 kV高压系统按中性点为小电阻接地系统设计；6.6 kV从中性点采用高电阻接地方式，

接地电阻值为200 Ω。

10 kV电缆分界室采用高压为单母线的接线形式，高压断路器为SF₆开关，一进两出，不设保护。岸电配电房10 kV/6.6 kV系统采用高压为单母线的接线形式，高压断路器采用Vmax断路器，柜体采用UniGear550。

继电保护设置要求主进线柜实现速断、过电流、零序电流保护和欠电压掉闸功能；变压器柜实现速断、过电流、零序电流保护、变压器超温（掉闸）和变压器高温（报警）功能。

设一套微机综合保护和监控系统，使10 kV系统实现遥测、遥信，主要监控参数为三相电流、三相电压、有功功率、无功功率、功率因数、有功电能、无功电能、监测断路器分/合闸状态和故障跳闸信号等。

(2) 系统设计保护定值

岸电系统保护阈值和变频电源过载能力见第2节(2)的介绍。

以2 MV·A船舶岸电系统为例，本项目设计保护定值计算结果如表1所示。

4 设备发热量

变频岸电电源设备要求在环境温度小于50 ℃的情况下能满负荷24 h不停工作。需要合理设置必要的通风空调设备来保障电源设备安全正常运行。

变配电室内主要的发热设备为变频柜和变

表1 单套船舶岸电系统保护定值

Tab. 1 Protection setting value of single ship shore power system

2 MV·A	额定电压	TV电压比	TA电流比	一段保护（瞬跳）		二段保护（延时瞬跳）		三段保护（过电流保护）		零序保护（过电流）		零序保护（速断）	
				保护值/A	动作时间/s	保护值/A	动作时间/s	保护值/A	动作时间/s	保护值/A	动作时间/s	保护值/A	动作时间/s
AH1 10 kV进线柜	10 kV	10 kV $\sqrt{3}$ /100 V $\sqrt{3}$	200/5	36.9	0	无	无	11.5	0.7	60	1	120	0
AH4 变频电源馈线柜	10 kV	110 kV $\sqrt{3}$ /100 V $\sqrt{3}$	200/5	34.3	无	无	无	9.8	0.5	60	1	120	0
BH1 6.6 kV进线柜	6.6 kV	10 kV $\sqrt{3}$ /100 V $\sqrt{3}$	300/5	32.7	无	无	无	7.1	0.3	50	0	100	0

压器。变压器损耗主要有两部分：变压器的空载损耗和短路损耗，变压器发热一般按照IEC计算即可。变频柜内有大量的电子元件，包含有交流滤波+IGBT整流+直流滤波的整流器，效率一般为97.5%（100%负载）；同样，包含有直流滤波+IGBT逆变+输出交流滤波的逆变器，效率也约为97.5%（100%负载），整机效率约为95%。也就是说，5%的无效功率转换为发热量，2 MV·A变频柜发热量100 kW，3 MV·A变频器发热量150 kW。

以2 MV·A变配电机房为例，机房内各设备发热量如表2所示，合计发热量为131.7 kW。

根据选型，风冷变频空调器能效比约为3.37，整个带走2 MV·A机房全部设备发热量（131.7 kW），空调设备耗电为39.08 kW。

为保证机房内岸电设备可靠运行，在机房变配电柜两侧布置了8台空调室内机，可互为备用，有效保障了机房的运行条件。

表2 岸电电源系统设备发热量

Tab. 2 Calorific value of shore power supply system equipment

序号	名称	规格型号	单位	数量	发热量/kW
1	10 kV进线柜	Unigear 550, 630 A, 25 kA, 手车式断路器, 带综保	台	1	0.7
2	10 kV计量柜	Unigear 550, 计量 TA/TV	台	1	0.7
3	10 kV TV避雷器	Unigear 550, TV, 避雷器	台	1	0.7
4	10 kV馈线柜	Unigear 550, 630 A, 25 kA, 手车式断路器, 带综保	台	1	0.7
5	10 kV站用变柜	Unigear 550, 50 kV·A	台	1	0.7
6	岸电变频电源	PCS 100, 2000 kV·A, 16 个功率n 模块	套	1	100
7	输入变压器	2 200 kV·A, 10 kV/480 V, AD0, 50 Hz	台	1	13.1
8	输出变压器	2 000 kV·A, 6.6 kV/480V, YNd11, 60 Hz	台	1	12.6
9	6.6 kV进线柜	Unigear 550, 630 A, 25 kA, 手车式断路器, 带综保, 带测量 TV	台	1	0.7
10	6.6 kV出线柜	Unigear 550, 计量 TA/TV	台	1	0.7
11	6.6 kV接地柜	Unigear 550, 630 A, 25 kA, 手车式断路器, 带综保	台	1	0.7
12	6.6 kV接地电阻	200 Ω	台	1	0.1
13	直流屏	DC 110 V, 20 AΩ	台	1	0.1
14	岸电控制柜	岸电控制系统, 带 HMI	台	1	0.1
15	照明动力配电箱	使能DP接口更改参数	台	1	0.1

5 社会经济效益分析

本项目岸电系统已建成投运，每年约为200艘次大型集装箱船供电，每年累计供电时间达到1 700 h，可实现船舶用电电能替代量850万 kW·h。经测算，该项目每年可减少柴油发电机耗油量约2 125 t，实现减排CO₂ 8.13万t、SO₂ 751 t、NO_x 219 t。基本消除了船舶靠港期间有害气体排放的问题，满足港口繁忙的营运要求，实现港口节能减排，是建设“绿色循环低碳港口”和提高码头竞争力的重要措施。

6 结束语

从不同船舶电源电制要求的电压、频率和保护控制等方面，考虑船舶岸电系统安全供电保障，做好船舶岸电的变配电设计。

船舶岸电技术可有效减少船舶停靠码头所产生的巨大能源浪费和环境污染，具有较好的经济效益和社会效益，应在港口进行大规模推广应用。

参考文献

- [1] 彭传圣. 靠港船舶使用岸电技术的推广应用[J]. 港口装卸, 2012(6): 1-5.
- [1] 刘洪波, 董志强, 林结庆. 码头船用岸电供电系统技术[J]. 水运工程, 2011(9): 1-5.
- [1] 吴振飞, 叶小松, 邢鸣. 浅谈船舶岸电关键技术[J]. 建筑电气, 2013(6): 22-26, 60.

作者简介



门志勇

门志勇（1984—），男，电气工程硕士，工程师，主要研究方向为电能替代领域推广、充电设施和岸电系统建设。

（收稿日期：2020-07-12）EA