

船舶岸电系统技术研究

周虹伯

(河北华电曹妃甸储运有限公司 河北 唐山 063210)

摘要: 为有效减少船舶靠港期间燃油发电造成的大气污染,采用船舶岸电上船技术使岸电电源与船上发电机组之间无缝对接。通过对船舶岸电系统的深入研究,解决了系统中并网、逆功率、压降等专项技术难题,从而保证岸基电源为船舶安全、可靠供电的目标实现。

关键词: 岸电; 并网; 逆功率; 监控系统

中图分类号: U653.95

文献标志码: A

文章编号: 1006-2394(2018)01-0001-05

Technical Study of the Shore Power Supply System for Ships

ZHOU Hong-bo

(Hebei Huadian CaoFeidian Storage and Transportation Co., Ltd., Tangshan 063210, China)

Abstract: In order to effectively reduce the air pollution caused by fuel oil power generation during the period of port berthing, the shipboard shore to board technology is adopted to make the shore power supply seamless with the ship-board generator set. Through in-depth study of the ship shore power system, problems of system in grid, reverse power, pressure drop and other special technical problems have been solved so as to ensure that the shore power base can supply to the ship safely and reliably.

Key words: shore power; grid connection; reverse power; monitoring system

DOI:10.19432/j.cnki.issn1006-2394.2018.01.001

0 引言

据国际海事组织(IMO)专家组的研究数据,2007年以来,航运业每年消耗约3亿吨燃油,排放CO₂约11亿吨,约占全球总排放量的3.3%;2020年,全球航运业预测将需要4亿吨燃油,排放CO₂将达到14亿吨,约占全球总排放量6%;若不采取相应的措施,2050年,航运业的CO₂排放量将达到全球总排放量的18%。

中国是世界上最大的航运国家,2015年年吞吐量93.48亿吨,居世界之首,2013年报道,我国现有万吨级及以上码头泊位中,专业化泊位942个,散货泊位338个,杂货泊位322个。靠港船舶停靠泊位后,大多用船舶柴油发电机为船舶提供日常电力。保守估计,目前靠泊我国港口船舶年消耗燃料油约70万吨,船舶柴油发电机发电占到港口总碳排放量的40%~70%。基本所有的船舶停靠后还要依靠船上自有的柴油发电系统进行工作,不仅造成了能源浪费,更重要的是造成了港口的大气污染。全部用港口岸电取代柴油发电机燃油发电,港口氮氧化物、二氧化硫和可吸入颗粒物

PM10的年排放量将分别至少减少47 665吨、37 800吨和2 214吨^[1]。

近年来,为推动靠港船舶使用岸电,我国相关部门及地方政府陆续出台了多项政策和鼓励措施。2015年8月27日,交通运输部颁布了《船舶与港口污染防治专项行动实施方案(2015-2020年)》,方案中明确要求,到2020年,全国主要港口90%的港作船舶和公务船舶靠泊使用岸电,50%的集装箱、客滚和邮轮专业化码头具备向船舶供应岸电的能力。

1 船舶岸电系统介绍

船舶岸电系统简单的说就是船舶停靠在码头的时候,停止使用船舶上的自备辅助发电机,转而使用陆地电源向主要船载系统供电。船舶岸电系统主要保证船舶靠港后,为船上需要的生产、生活用电,辅助设备连续运转用电等提供供电保障。

船舶用电多为柴油发电机进行发电,供船舶日常运行使用,现在多数国家供电频率为50 Hz,而美国、加拿大、日本、韩国、巴西、墨西哥、中国台湾等地区为60 Hz,沿海及远洋船舶通常为60 Hz^[2]。所以船舶靠岸后如要使用岸上电源,就需要一套变频变压的岸电系

收稿日期: 2017-09

作者简介: 周虹伯(1976—),男,硕士,高级工程师,主要从事自动化与控制、信息技术工作。

统将岸上工频 50 Hz 转变为船用 60 Hz,而在对接的过程中又要求岸电电源与船上发电机组之间的无缝对接,即不停机的对接方式。

1.1 船舶岸电系统的分类与构成

1.1.1 船舶岸电需求

船型不同,船舶岸电需求不同。现阶段各船型需求的电网规格主要为:440 V/60 Hz、400 V/50 Hz、6.6 kV/60 Hz、6 kV/50 Hz、11 kV/60 Hz。

1.1.2 岸用电源对船舶的供电方式

低压岸电/低压船舶:利用低压变频器 400 V/440 V 上船(高-低-低);

低压岸电/高压船舶:利用低压变频器 6 kV/6.6 kV 上船(高-低-高);

高压岸电/高压船舶:利用高压变频器 6 kV/6.6 kV/11 kV 上船(高-高)。

《JTS 155-2012 码头船舶岸电设施建设技术规范》中对供电质量部分内容的描述:

船舶岸电系统容量小于 630 kVA 时,建议采用低压上船方式;船舶岸电系统容量大于 1 600 kVA 时,建议采用高压上船方式;船舶岸电系统容量介于 630 kVA 与 1 600 kVA 之间时,宜采用高低压上船方式。若

采用低压上船,连船电缆会很多,连船麻烦且影响整体供电效率^[3]。

1.1.3 船舶岸电系统的构成

船舶岸电系统主要由岸基供电系统、船岸连接系统和船载受电系统三部分组成,如图 1 所示。

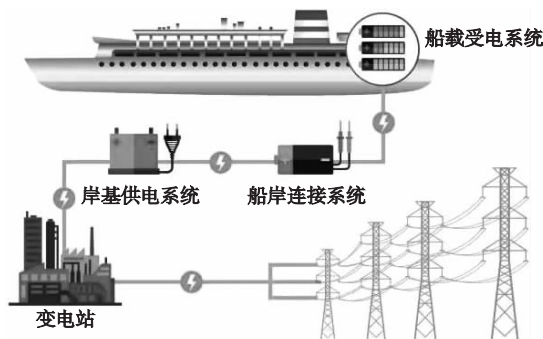


图 1 船舶岸电系统构成

1.2 船舶岸电电气及控制系统

1.2.1 船舶岸电电气一次系统

以高压岸电/高压船舶供电方式为例,电气一次系统主要由电源进线柜、PT 柜、变频进线柜、变频出线柜、输出 PT 柜、输出计量柜及出线柜等组成,如图 2 所示。

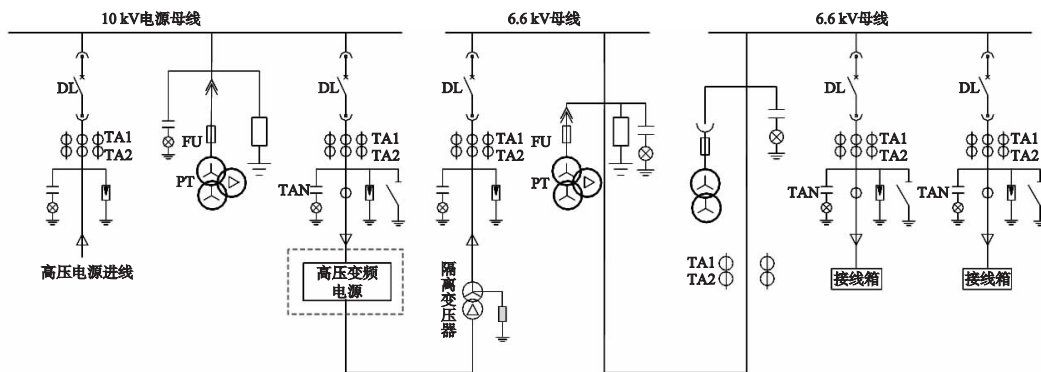


图 2 船舶岸电电气一次图

1.2.2 船舶岸电控制系统

船舶岸电控制系统采用 PLC 控制,工业控制计算机监控,通过自动化软件实现综合报警、自动保护、远程通信与监控及能源管理功能。船舶岸电控制系统拓扑图如图 3 所示。

2 监控系统功能

监控系统可对变电所和岸电系统内的高低电压配电柜、直流屏、变压器温控仪、变频器和多功能仪表等多种变配电设备进行全方位监测和控制。

2.1 测量功能

(1) 测量各回路电量参数(包含三相电流、三相电压、有功功率、无功功率、功率因数、三相不平衡、谐

波、电度等测量值),并可以表格、饼图、棒图、曲线图的方式进行显示;

(2) 通过系统的曲线图可以分日、月、年的方式查看电流、电压、功率、电度等测量值的变化情况,方便及时了解用电情况及隐形存在的用电问题;

(3) 通过系统对测量值上限或下限进行设定,超过或低于预设值系统可通过文字和语音的形式进行报警。

2.2 强大的统计功能

- (1) 对各项测量参数按日、月、年、阶段统计;
- (2) 支持最大、最小、平均值等统计;
- (3) 支持峰、谷、平分段统计;
- (4) 支持潮流极值统计;

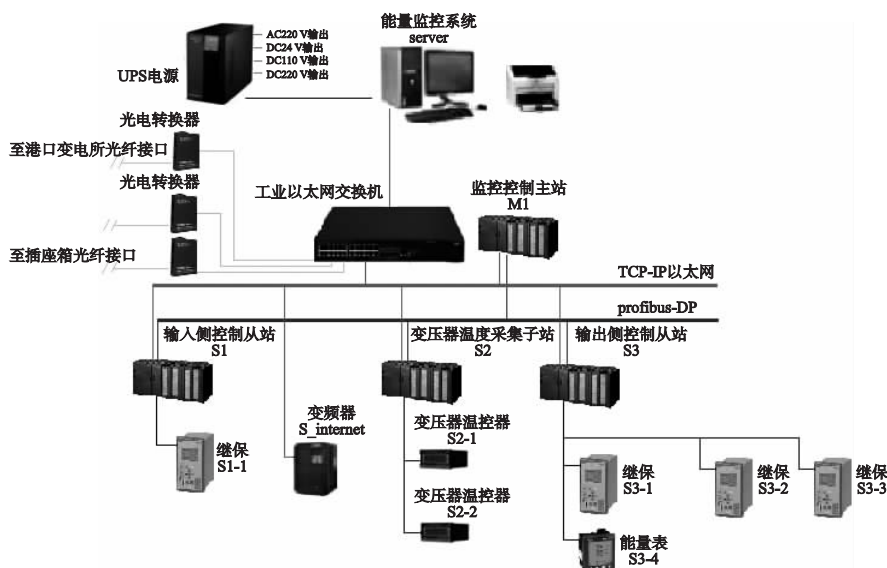


图3 船舶岸电控制系统拓扑图

(5) 支持使用计算表达式进行统计。

2.3 强大的报表功能

- (1) 各项测量参数均可做成报表;
- (2) 报表格式可按用户要求进行任意设置;
- (3) 报表可对各项测量参数进行数学公式的统计和分析;

(4) 对变电站各回路的用电量进行实时分析统计;

(5) 可直接通过打印机打印,也可导出成 Excel 格式文件,方便用户以各种方式查看和存储。

2.4 监视控制功能

(1) 对开关柜的各开关状态进行实时采样和显示;

(2) 对开关变位、事故跳闸实时响应并进行图像、文字和语音报警;

(3) 对带有保护装置和智能仪表(带有 DO 口)的开关进行远程遥控合分闸;

(4) 对继电保护装置和仪表自身故障进行监视和报警。

2.5 事件记录功能

对系统的启动、退出、系统操作、开关变位、事故跳闸、通信中断等信息均会进行全面记录,且永久保存,以便对事故进行分析追踪。监控管理系统数据可存储一年(8 640 h)以上;系统具备可对外传输接口,监控系统可以针对每次连船做报表打印和历史连船的数据分析。

2.6 通信监视功能

系统具有拓扑结构图,对接入系统的所有设备结构直观反应,任何一台设备出现通信中断均有图像、文

字、语音报警。

2.7 强大的拓展功能

可集成视频监控、消防系统。

3 专项技术问题与解决方案

3.1 船舶岸电供电并网切换解决处理方案

岸电与船舶辅机并网,船舶保证不停电,实现无缝切换方式,变频电源具有主动切换与被动切换两种方式,具体实现如下:

3.1.1 主动并网切换

变频电源仅作为整个电网切换的主体变频,根据采集到的船上辅机发电机发出电源的信息,包括电压及电流。电压信号主要用于变频输出电压的标准,变频输出锁频锁相,使输出电源的相位、频率、幅值、相序等与船上完全一致。

电流信息主要作用是让变频控制器获得此时发电机的输出功率,进行负载转移,变频控制器可控制输出,使输出功率逐渐增大,直至将发电机所带负载完全转移至变频电源供电。

主动切换方式目前有少部分应用,其优点是可以做到整个切换过程的智能化,如一键切换,中间所有过程可自动全部完成。缺点是需要船方的配合进行改造,否则无法知道发电机的电压、电流等信息,系统不具通用性。

3.1.2 被动并网切换

变频电源仅作为恒频稳压的电源,按照要求输出电压及频率,所有的电网之间的切换均依靠船上的同期柜,具体步骤如下:

变频根据命令要求输出电压/频率,电源通过输出

滤波、隔离变、接口箱、船上进线柜,直接送至船载的变频电源并网柜,并网柜根据采集到的信息,显示电源的相序、频率、幅值、相位等信息,自动判断是否具备并网条件,通过调整发电机的发电信息,直至具备并网条件后将变频电源接入;成功并网后,发电机减小输出功率,负载自动逐渐转移至岸用电源供电,切换完成后,发电机退出工作。

被动切换是目前比较流行、采用最多的方案,因为其具有简单、通用等特点,且可以实现单个电源同时给多条船只供电的情况;但缺点是目前船上与岸基电源之间除了安全连锁信号外,没有其他信号交互,自动化程度低,主要原因是岸电电源与船上之间的通信协议还未形成国际标准。

3.1.3 并网负载转移方式

不同船舶的主配电板不一样,并网的切换方式也不一样。

日本崎崎和日本JRCS的船舶主配电板,并网负载转移方式是按照负载容量为转移切换的依据,剩余10%负载时,柴油发电机退出。

长荣集团船舶、韩国现代船舶主配电板,并网负载转移方式是按照时间为转移的依据,并网后5s船舶柴油发电机退出,负载直接突加到岸电。

3.2 逆功率处理方案

3.2.1 逆功率产生机理

岸用电源逆功率产生的机理如图4所示。

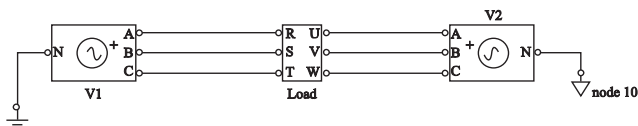


图4 逆功率产生示意图

两个电压源同时给负载供电时,由于并网运行时的相位、频率和幅值之差导致的逆功率。下面从矢量图分析几种逆功率产生的机理,V1为岸用电源,V2为发电机电源。

\vec{V}_1 超前 \vec{V}_2 , \vec{V}_1 与 \vec{i}_s 夹角 θ 小于 90° ,不会出现逆功率情况,如图5所示。

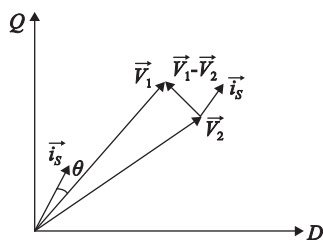


图5 \vec{V}_1 超前 \vec{V}_2

\vec{V}_1 滞后 \vec{V}_2 , \vec{V}_1 与 \vec{i}_s 夹角 θ 大于 90° ,会出现逆功率情

况,如图6所示。

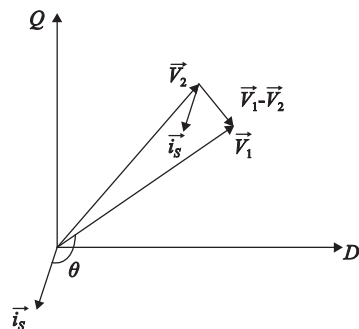


图6 \vec{V}_1 滞后 \vec{V}_2

\vec{V}_1 幅值大于 \vec{V}_2 , \vec{V}_1 与 \vec{i}_s 夹角 θ 小于 90° ,不会出现逆功率情况,如图7所示。

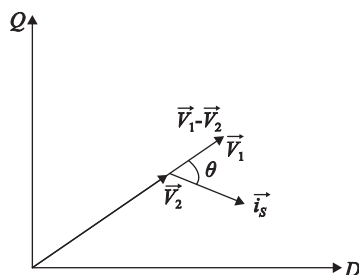


图7 \vec{V}_1 幅值大于 \vec{V}_2 , \vec{V}_1 与 \vec{i}_s 夹角 θ 小于 90°

\vec{V}_1 幅值小于 \vec{V}_2 , \vec{V}_1 与 \vec{i}_s 夹角 θ 大于 90° ,会出现逆功率情况,如图8所示。

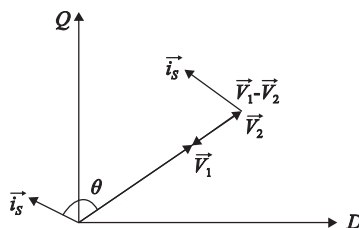


图8 \vec{V}_1 幅值小于 \vec{V}_2 , \vec{V}_1 与 \vec{i}_s 夹角 θ 大于 90°

由于两个电源频率的差别导致的可能逆功率情况与相位差矢量图分析的原理是一样的。

总结下列几种可能造成逆功率的情况:

(1) \vec{V}_1 滞后 \vec{V}_2 , \vec{V}_1 与 \vec{i}_s 夹角 θ 大于 90° ,会出现逆功率情况;

(2) \vec{V}_1 幅值小于 \vec{V}_2 , \vec{V}_1 与 \vec{i}_s 夹角 θ 大于 90° ,会出现逆功率情况。

3.2.2 逆功率的处理

(1) 检测到逆功率状态时,变频电源主动调节输出频率及输出相位,使 \vec{V}_1 与 \vec{i}_s 夹角小于 90° ,通过软件算法从根本上解决逆功率问题,主动抑制逆功率的产生;

(2) 采用四象限变频器,当产生逆功时,通过回馈到电网的方式来解决;

(3) 制动电阻吸收方式,当产生逆功时,通过制动电阻来吸收产生的能量。

3.2.3 不同控制方案简单对比

由于逆功率控制仅用于并网瞬间即解列过程,整个过程大概几秒时间,不同的控制方案达到的实际效果不同,具体对比如表 1 所示。

表 1 处理方案对比表

对比项	四象限方案	电阻吸收方案	变频调节方案
可靠性	中:整流采用 IGBT,故障率高于整流桥	低:每个功率单元增加制动单元,控制复杂,故障率高	高:无需增加硬件设备,整流为二极管整流,可靠性高
控制逻辑	中:AFE 整流,控制相对复杂	复杂:制动单元仅并网瞬间有用	中:无需硬件控制
控制效果	好	低	极好:根本解决并网问题
硬件成本	高	中	低

3.3 岸船连接段系统压降解决方案

岸基电源输出至接线箱的压降主要有两部分:输出隔离变压器、输出电缆。

3.3.1 隔离变压器的压降问题

在不同的负载下,隔离变压器压降不同,负载越重,压降越大,针对这一部分问题,解决方案有两种:

方案一:变频电源对隔离变压器输出侧电压进行采集,将信号传输至变频主控制系统,由主控制系统进行闭环控制,稳定控制隔离变压器输出侧电压稳定,此方案控制相对更加精准。

方案二:根据隔离变压器的阻抗值,将阻抗值输入变频主控制算法中,由变频对此压降进行补偿,此方案相对简单。

3.3.2 输出电缆的压降问题

根据不同长度的输出电缆,其压降不同,但总体压降不多,针对此部分压降,可采用电压微调的方式进行,电压微调可通过触摸屏修改。

3.4 三相输出电压平衡控制技术

因变频电源的负载有别于变频器的电机类负载,船上单相负载的使用,导致其三相间负载分配不可能绝对的平衡,从而每相之间的压降可能会有不同。通过三相输出电压平衡控制技术,对三相输出电压实行闭环控制^[4]。

如图 9 所示,从上到下依次为:两相输出电流,两相输出电压,从波形中也可以看出,三相负载不平衡时,三相电压依然保持平衡。

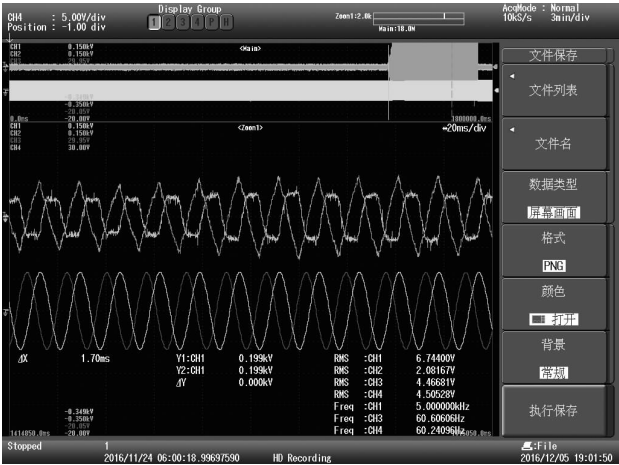


图 9 三相负载不平衡电压输出波形

3.5 船岸等电位处理方案

岸电系统的接地系统相对要重点关注,虽然海水导电,但它存在电阻,船体(“地”)和岸地因传导电阻造成电位差,有电位差就会产生电流,威胁人身安全,故无论是低压还是岸电,均要求船岸的“地”保持等电位连接,以降低接触电压,提高安全用电水平。在岸电连船过程中应注意该等电位连接不应改变船舶配电系统的接地原理。对于船岸之间的等电位连接设计如下:船岸连接等电位线集成于船岸连接动力电缆中,将船舶外壳、岸电系统外壳、码头电源插座箱箱体与码头电网相连,如图 10 所示为等电位连接线方案。

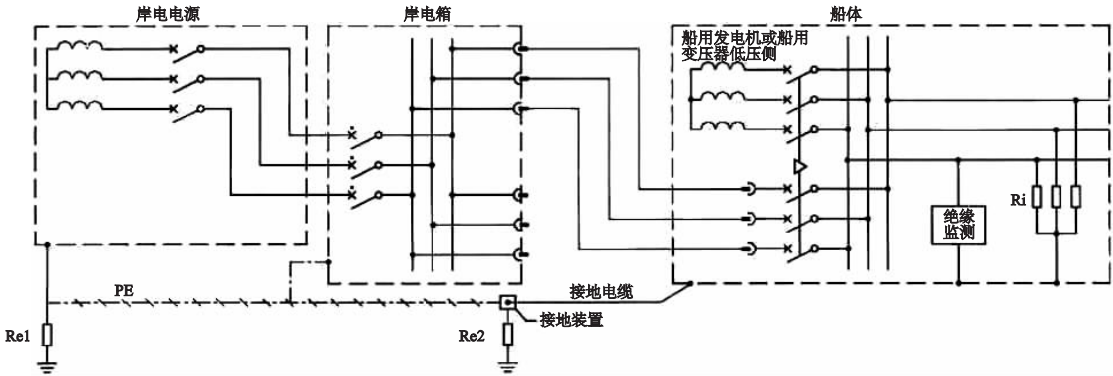


图 10 等电位接线方案

(下转第 40 页)

建立统一的规范标准,不仅是推动我国能源互联网建设的关键环节,也是实现信息交互的重要保证。相关部门应该加强相关标准体系建设,形成较为完整、充分的能源互联网体系框架。

5 结束语

能源互联网的建设能够通过对互联网以及其他先进技术的运用,促进以电力系统为中心的能源网络内部的信息交互,推动我国新能源的发展,因此,要积极推动能源互联网研究和发展。

参考文献:

- [1] 董朝阳,赵俊华,文福拴,等.从智能电网到能源互联网:基本概念与研究框架[J].电力系统自动化,2014,38(15):1-11.

- [2] 孙伟卿,田坤鹏,谈一鸣,等.全球能源互联网关键技术与研究展望[J].自动化仪表,2017,38(1):1-6.
- [3] 李立涅,张勇军,陈泽兴,等.智能电网与能源网融合的模式及其发展前景[J].电力系统自动化,2016,40(11):1-9.
- [4] 薛飞,李刚.能源互联网的网络化能源集成探讨[J].电力系统自动化,2016,40(1):9-16.
- [5] 蒋菱,袁月,王峥,等.智能电网创新示范区能源互联网评估指标及评价方法[J].电力系统及其自动化学报,2016,28(1):39-45.
- [6] 曹军威,杨明博,张德华,等.能源互联网——信息与能源的基础设施一体化[J].南方电网技术,2014,8(4):1-10.
- [7] 陈阿平.从智能电网到能源互联网及对宝钢电能使用的启示[J].宝钢技术,2015(5):1-6.

(郁菁编发)

(上接第5页)

4 船舶岸电连船操作方案

船舶岸电连船操作试验步骤如下:

- (1) 安全检查:检查高压柜是否关好,柜内是否有异物、检查隔离变、检查变频电源、检查控制柜是否有异常;
- (2) 控制回路送电:依次送,直流屏(给开关柜供电)、变频电源220V控制电、隔离变冷却回路电源、高压柜加热回路送电、接电箱加热器送电、空调系统打开;
- (3) 变频电源前级进线合闸;
- (4) 船舶靠岸,电缆插入岸电箱;
- (5) 岸电系统与船舶受电系统安全回路测试;
- (6) 确认船上系统状态:发电机运行状态,负载大小,确认完毕后通知船上准备送电;
- (7) 变频电源准备就绪后启动,输出稳定电压;
- (8) 选择变频电源至岸电箱间主回路,并合闸;
- (9) 对比岸电与船电的幅值、相位、频率,如相序正常则进行并网操作,如相序不符,则由变频电源进行一键切换相序;
- (10) 等上船电源满足并网要求后,由船方进行并网操作;
- (11) 并网完成后,变频电源正常供电,计量变频电源的运行情况;
- (12) 岸电解列:由船方进行岸电解列操作;
- (13) 解列完成后,断开变频电源出线端至岸电箱间所有开关柜,变频电源停机,二次回路断电,电缆拔出岸电箱。

5 结束语

近年来,有关部门在推广船舶岸电中没少下功夫,但效果依然不明显,原因是缺少顶层设计,没有系统规划和统一布局。机制层面缺乏必要的岸电收益机制、排污费核算机制,供售电机制亟待建立。技术层面主因是船岸并网等技术成熟度有待提高,标准不统一与不完善。经济层面的阻碍来自沿海高压岸电一次性投资高,油电价格倒挂,使用率低,成本回收困难。

因此,需要综合运用经济、法律、技术和必要的行政手段,利用市场机制,调动企业的积极性。地方政府、环保、港务、码头公司、船东、电力公司及货主共同参与,才能从根本上破解船舶岸电推广中的难题。使用船舶岸电是港航领域当前有效地减排方式,期待各方多管齐下,政策扶持到位,让港口更加低碳环保,让空气更加清新。

参考文献:

- [1] 王敏,周国东,沈尚.船舶岸电推广为何举步维艰[N].中国水运报,2013-03-11.
- [2] 卢明超,刘汝梅,石强,等.国、内外港口船舶岸电技术的发展和现状[J].港工技术,2012,49(3):41-44.
- [3] 顾群,刘洪波,张国维,等.JTS 155-2012 码头船舶岸电设施建设技术规范[S].北京:人民交通出版社,2012.
- [4] 邵克存,戴瑜兴,李加升.一种新型电子静止式岸电电源[J].电力电子技术,2011,45(2):86-88.

(郁菁编发)