

[微电网]

梅山码头 $3 \times 1.7 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 岸电微网系统控制技术研究

文/ 宁波梅山岛国际集装箱码头有限公司 王 泽 胡旭程

深圳市汇川技术有限公司 林大春

岸电微网是多套小容量变频岸电系统通过自由并联成一套大容量的 60 Hz 岸电系统（或电网系统）。从码头总体岸电规划出发，将码头 60 Hz 电源需求规划为一个微电网，将岸电系统规划建设为一个电网，使得未来船舶岸基电源系统更为稳定；探索码头岸电系统的统一规划与分批模块化建设道路。

岸电微网的设计构想是将码头岸电系统建设为一个 60 Hz 大电网，将码头规划的若干套岸电系统规划在一个变电所内部，将每套岸电系统的输出母线拉通，每套岸电系统均可以检测到母线的状态，实现岸电系统之间的并网与解列，通过中控系统可以根据负载情况和设备运行情况启动或者停止相应的电源，从而实现最优的供电；同时也可以根据码头情况，提前布局船岸连接装置，实现船岸连接设备的全覆盖，连船时可以根据需求切入相应的回路即可实现船舶供电。岸电系统变频电源的建设也可以根据码头船舶岸电的利用率分批次建设岸电，实现投资的最优化。

岸电微网的技术问题

基于上述系统设想，通过梅山码头岸电一期建设项目实践，解决岸电微网建设过程中的关键技术问题。岸电系统的初步设计框架如图 1 所示。

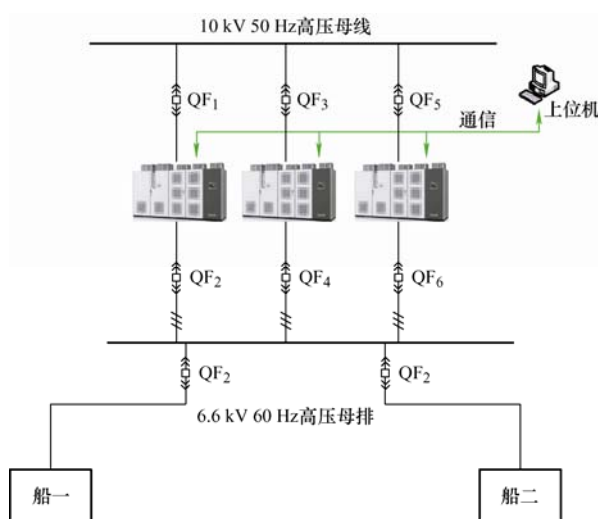


图 1 岸电系统的初步设计框架

要实现上述岸电系统的正常运行，必须要解决以下关键技术问题。

（1）岸电系统之间的同步控制问题

要解决系统同步，最重要的是需要解决通信同步且

保证通信速率的问题，此时岸电系统需要增加一个中控系统。岸电系统运行和停止的所有指令均由中控系统发出，同时中控系统与各岸电单元之间采用光纤连接，保证所有岸电单元的收发信息均做到同步。

(2) 岸电系统之间的智能组网问题

因多套岸电系统需要实现组网，必须要解决多套岸电并联时相互并网问题；从系统的设计角度看，每个岸电单元均可以检测到输出母线的情况，岸电单元收到运行指令后可以主动与母线实现并网与解列，岸电系统检测到母线状态以后，先实现锁频锁相控制，待锁频锁相后变频电源输出，通过智能负载转移控制，实现岸电负载的均衡分配和转移。

(3) 并网过程中可能出现的逆功率问题

因在岸电单元之间组网运行，在并网过程中，负载转移过程和解列过程均有可能出现逆功率问题，此时要求岸电单元都具有自己只能逆功率控制功能，当单元出现或者将要出现逆功率时，电源能够实现智能调整，确保岸电单元的安全。

(4) 岸电系统之间的智能负载分配问题

岸电组网后，因每个单元所承载的能力有限，此时便需要电源之间能够自动实现负载的均衡分配，保证每个岸电单元的运行功率保持在统一状态，不会因为负载不能平衡分配导致部分岸电单元出现过载现象；关于此负载分配的设计，梅山码头岸电项目借用了船舶发电机岸电系统设计经验，针对每套岸电单元采用了统一负载分配曲线，各单元之间可以实现自动负载分配，中控系统做好集中调配，系统负载分配就可以均衡稳定运行，确保了岸电系统的安全。

(5) 岸电系统之间的空载环流控制技术

岸电系统在并网之前会有多机运行待机状态，此时岸电系统可能出现岸电单元环流问题。针对此问题，在系统设计时就从根源上解决可能会出现的环流问题，此设计需要中控系统与系统输出电抗器及变压器阻抗设计配合，不论在两套或者多套系统并联运行时均能够确保空载运行稳定。

岸电微网建设带来的好处

1) 系统规划优先，解决岸电有序建设问题；在码

头建设前期，只需要先建设一套电源系统就可以实现岸电系统全覆盖，后续根据岸电系统连船多少，分批采购安装岸电单元即可，从而解决前期岸电建设投入资金大问题。

2) 实现岸电系统模块化建设，不需要考虑岸电系统兼容性问题，从而解决岸电系统分批快速建设和扩容问题。

3) 从系统的角度就已经解决了故障冗余问题，使得系统更为安全；因每套岸电系统之间可以实现自行的组网与解列，当某一套岸电系统出现异常时，可以从系统的角度将故障系统退出，正常运行的岸电系统可以自动启动并投入使用，确保连船过程中的安全，从根源上解决了单套岸电系统故障冗余的不足问题。

4) 港口岸电统一管理，因岸电系统是一个电网，可以根据码头电网管理的形式管理岸电，实现码头用电自动化控制，为码头自动化奠定基础。

岸电微网控制分析

岸电系统并联主电路构架如图 2 所示，系统以三台岸电电源组网为例，Sp1 和 Sp2 为并联开关；Sn_bp ($n=1,2,3$) 为电源旁路开关(此旁路功能根据需求设计)，Sn_in 和 Sn_out 分别为岸电的输入和输出开关。系统工作状态有以下三种组合。

1) Sp1 和 Sp2 都断开，此时系统可以给三个泊位单独供电，系统相对独立，可以看成三个岸电电源，每个电源可以增加旁路功能，可以直接将 50 Hz 电网供给到船舶系统(此旁路可以根据需求设计)。

2) 闭合 Sp1，将 1#电源和 2#电源组网运行，3#电源单独运行；或者闭合 Sp2，将 2#电源与 3#电源组网运行，1#电源单独运行。

3) 闭合 Sp1 和 Sp2，将三台电源同时并联组网运行。

每台电源都具备单独的急停按钮，可以使单台迅速脱离系统，同时主控的急停按钮能够使得整个系统三台电源迅速脱离电网；每台电源的输入输出接触器由单台变频电源控制，电源接收上位机(客户 PLC)的指令，每台变频电源的控制电、旁路接触器和并联接触器由上位机统一控制管理；客户 PLC 根据现场使用需求指令对各个变频电源下发指令，并进行各个接触器逻辑控制，按照指令进行并联或者单机工作，并且按照工作模式进

行系统故障检测，保证系统可靠工作；主控与从机之间采用双光纤通信，保证可靠运行，在系统并机运行时，从机出现故障会自动停机并脱离系统，不影响其他从机的正常工作，提高系统的冗余度。

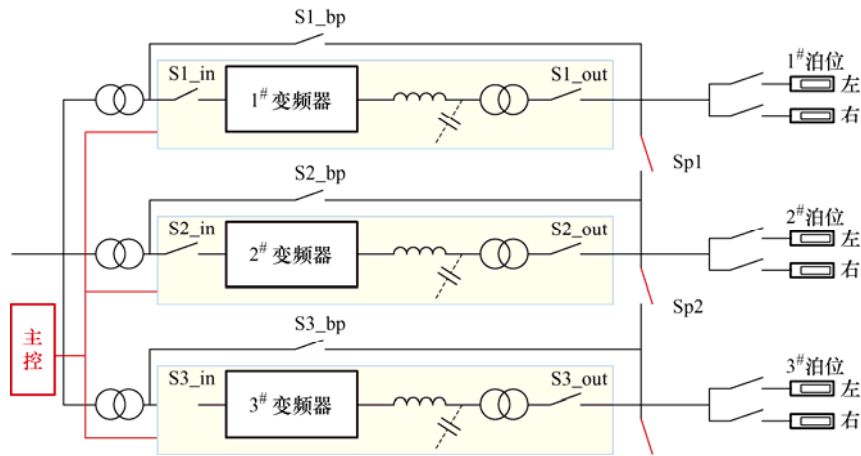


图2 岸电电源组网系统图

岸电微网系统现场实际应用情况

(1) 岸电微网负载测试

对已搭建完成的岸电微网系统进行船舶负载模拟试验，使用容量为6 MV·A 的负载试验箱对现场的岸电微网系统进行模拟连船试验。分为三部分进行：①系统空载运行测试；②系统带载运行测试；③系统动态响应能力测试。

岸电微网系统现场测试结果：

1) 系统空载运行测试，现场使用 TEK 示波器测试波形，其中 1、2 通道表示电流，3、4 通道表示电压。空载波形如图 3 所示。

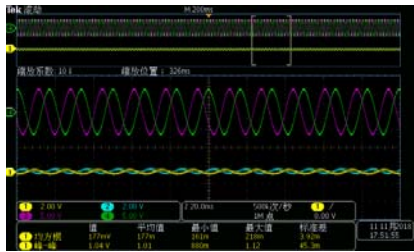


图3 空载波形

使用 MATLAB 数学分析软件分析波形，从分析结果可以看出，空载时 THD=2.34%，谐波含量小于国家标准的 4%。

2) 系统 100%带载运行测试，同样使用 MATLAB 数学分析软件对采集到的波形进行谐波含量分析，从分析结果可以看出，谐波含量 THD=1.86%，同样远低于国

家标准的 4%。

3) 系统响应性分析。

首先测试加载过程中电压电流的响应性及稳定性分析，由波形可以看出，在加载 50%时，系统电流从变化到稳定时间跨度在 0.2 ms 以内，电压未出现明显性变化，电源的响应性及稳定性良好；继续加载至 100%，查看电压电流的变化情况，由波形可以看出电流变化周期在 0.2 s 以内，电压无明显性变化。

其次测试电源在卸载过程中的波形稳定性及变化，在电源由 100%降至 0%的过程中，电压电流波形变化无明显的突变，电流根据时间平稳下降；由以上运行过程及停机过程的波形采集及 MATLAB 数学分析可以得出，在电源运行、使用及停机的过程中，电源运行及变化稳定，岸电微网系统完全能满足正常的岸电供电需求。

(2) 岸电微网系统现场实际连船情况

使用已经搭建完成并且经过负载试验的岸电微网系统，对宁波港靠泊船舶“古河马士基”进行连船，完全使用岸电对船舶供电。

从整个连船过程数据及波形可以看出，岸电微网系统在正常使用中，输出变化比较平稳，电能质量输出稳定。

连船过程岸电微网系统电压电流输出波形如图 4 所示，1 通道黄色波形为并机输出电压，2~4 通道蓝色、粉色和绿色三种波形重合，分别代表岸电微网系统中电源设备的输出电流。通过示波器波形可以看出，在与船舶连接

过程中,输出电压、输出电流的变化平稳;同时,岸电微网系统中电源设备输出电流变化具有很好的同步性。

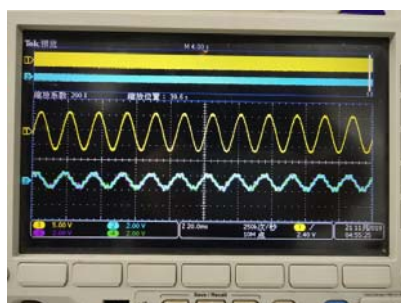


图4 连船过程岸电微网系统电压电流输出波形

船上负载变化时,岸电微网系统电流波形如图5所示,黄色部分为并机输出电压波形,蓝色、粉色和绿色分别为岸电微网系统单台电源设备的输出电流情况。由波形可以看出,在船上负载发生变化时,三台电源设备的变化一致,输出电流岸电微网系统中每台电源的输出具有很好的响应性。

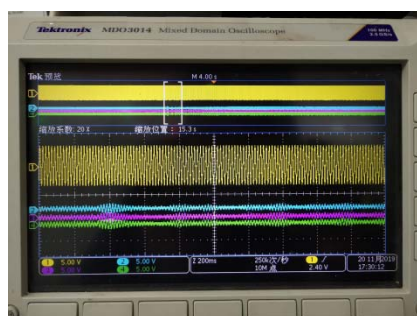


图5 船上负载变化时,岸电微网系统电流波形

连船之后将现场采集的波形数据导入数学分析软件MATLAB中分析谐波,可得模拟图如图6~图8所示。

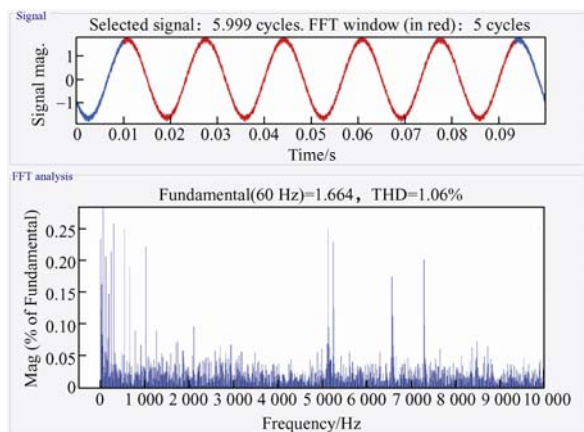


图6 岸电微网系统运行1 h MATLAB模拟图

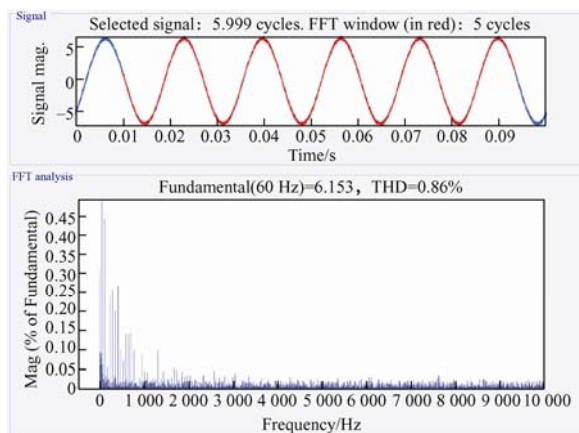


图7 岸电微网系统运行2 h MATLAB模拟图

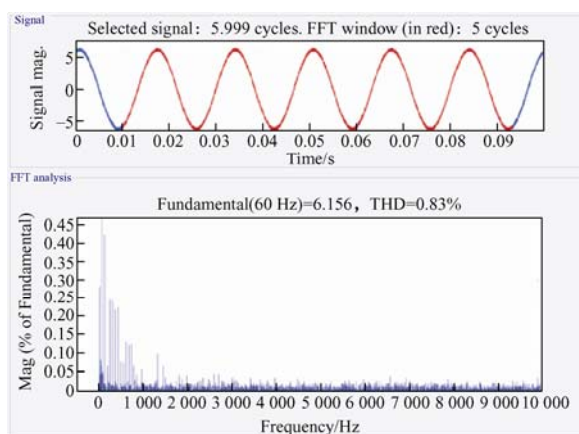


图8 岸电微网系统运行7 h MATLAB模拟图

在使用过程中,分析不同时间内的运行数据可知,岸电微网系统工况下谐波含量小于2%,远低于岸电设计标准内4%的谐波含量,故岸电微网系统完全满足船舶使用需求。

结束语

分析实际连船运行过程中采集的数据可以得出,岸电微网系统在实际工况下使用,完全满足港口船舶靠泊用电需求,整个岸电微网系统在使用过程中,输出电压、输出电流变化稳定,电能质量完全符合岸电相关标准的要求。未来,是否可以将各个泊位多套大容量岸电以微网的形式组网,形成整个码头的60 Hz微电网,让我们拭目以待。[EA](#)