

助力港口建设 守护碧海蓝天

——希望森兰智慧港口岸电系统解决方案



一、 岸电电源系统

1.1 概述

船舶停靠码头期间，随着一箱箱货物卸下运走的同时，为保证船舶的基本运行和装卸货物的顺利，轮船引擎并不会熄灭。随着大功率辅助柴油机的轰鸣，大量的一氧化碳、二氧化碳、硫氧化物、氮氧化物以及可吸入颗粒物等被排放到港口的空气中，造成了港口空气的严重污染。



一艘燃油含硫量 3.5% 的中大型集装箱船，以 70% 最大功率的负荷 24 小时航行，一天排放的 PM2.5 相当于 21 万辆“国四”重货车。环保部机动车排污监控中心统计数据显示，我国港口靠泊的船舶二氧化硫和氮氧化物排放总量约占全国排放总量的 8.4% 和 11.3%。

利用岸电电源系统，关闭辅机，为靠港船舶提供相对廉价、高质量稳压稳频的电源，减少船燃油消耗，降低靠港船舶在港期间的运营成本，提高码头的竞争力。

1.2 岸电技术

所谓岸电技术，就是用岸基电源替代柴油机发电，直接对邮轮、货轮、集装箱船、维修船舶等供电，以减少船舶在港口停泊时的污染排放。岸电技术本质是用岸上的电来替代船上的柴油发电机，但这绝不是直接将岸上的电网电源输送到船舶这么简单。



首先，岸电码头是高温、高湿、高腐蚀性的恶劣用电环境。其次，各个国家用电的频率不尽相同，例如美国等都采用 60HZ 交流电，与我国的 50HZ 频率不匹配。同时，各个吨位的船舶需求的电压和功率接口也不同，电压需要满足从 380V 到 10KV 的跨度，功率也存在几千伏安到十兆伏安以上的不同需求。此外，各个公司船舶对外接口不同，岸电技术要能主动检测和适应不同的接口，以满足不同公司船舶的需求。

可以说，岸电技术是一门新兴的系统的解决工程，要针对不同实际情况提供不同船舶供电方法。

1.3 国际趋势

瑞典，2000 年哥德堡港在当地斯托拉恩索电厂密切配合协助下，就开始为到港滚装船和集装箱船在关停船用发动机的时候提供岸电，大获成功，目前已经全面实施岸电供船，即使使用清洁燃料油船舶发动机也不准在抵港期间开动运营，船舶温室气体排放量年均减少 3 万吨以上。

美国，国家资源保卫委员会（NRDC），根据美国“资源保护和回收法规”凡是停靠美国港口码头期间的远洋、近洋、拖轮和驳船等货轮，一律使用岸电，严禁动用船舶内燃机自行发电。

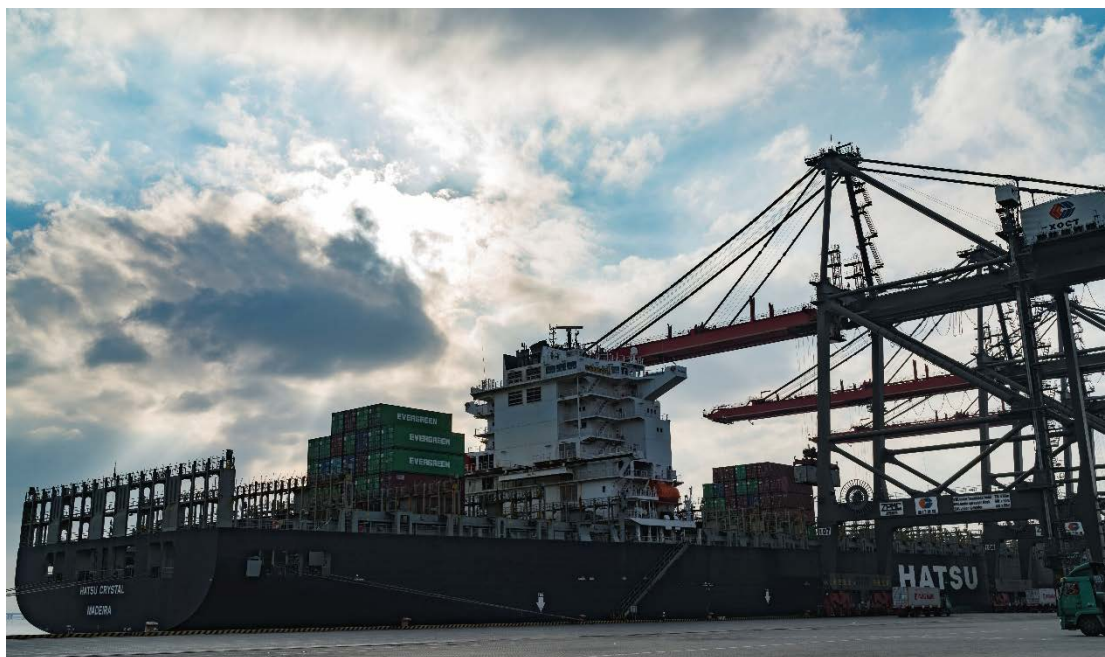
荷兰鹿特丹港墨兹港、比利时安特卫普港集装箱码头、泽布勒赫港、德国波罗的海吕贝克港都已经采取了岸电技术应用。

总体而言，国外岸电起步较早，已经成为国外口岸及船舶的标准配置。

1.4 国内趋势

（1）节能减排是国家战略举措

针对船舶港口污染的问题，国家提出了港口转型升级的战略，上海等国内港口、码头也相继提出建设“绿色港口”、“智慧港口”的口号。显然，岸电技术是实现港口绿色减排的重要途径。



“十二五”期，先后出台《“十二五”水运节能减排总体推进实施方案》《关于港口节能减排工作的指导意见》，在岸电标准规范、试点示范、技术研发、资金扶持、宣传培训等方面开展了大量工作，为岸电技术的推广应用奠定了良好基础；

2017年02月15日，交通运输部关于印发《靠港船舶使用岸电2016-2018年度项目奖励资金申请指南》的通知（交规划函【2017】100号），针对2016年-2018年投资建设的岸电项目，补贴不超过项目设备购置费的60%、50%、40%（随年份而逐步降低）。

2017年7月24日，交通运输部印发了《港口岸电布局方案》，提出2020年实现全国沿海和内河主要港口以及船舶排放控制区内港口50%以上已建的集装箱、客滚、邮轮、3千吨级以上客运和5万吨级以上干散货专业化泊位具备向船舶提供岸电的能力；

2019年2月21日，四部委、国家电网、南方电网公司下发关于进一步共同推进船舶靠港使用岸电工作的通知，要求统一岸电标准，加快设施建设。通知指出2019年7月1日起具有船舶岸电系统船载装置的现有船舶应在靠港期间使用岸电，财政政策采取以奖代补的方式。

（2）典型“一带一路”中外合资项目

以色列海法 Bayport 港口工程，计划于2021年投入营运。海法港位于地中海东南岸，是以色列第一大港，与希腊比雷埃夫斯港隔海相望。项目全部建成后，港区总占地面积将达74.8万 m^2 ，码头岸线总长1521.2米，将具备接卸目前世界最大集装箱船的能力，港区设计年吞吐能力186万标准箱。一期港区主要包括33.6万平米自动化集装箱堆场、3.45万平米辅助箱场、13.84万平米辅助区、3.8万平米铁路箱场。

在船舶靠港停泊期间停止使用船舶发电系统，通过岸基供电系统供电，将陆域电源转换为船舶可以直接使用的电制，并通过电缆直接敷设至码头前沿的高压接驳电箱，从而为船舶靠岸作业期间提供可靠的电源。

以色列海法 Bayport 港口工程，共建设两套岸基供电设施，岸基供电系统主体设备安装在岸电变电所 CIR01 内，每套岸基供电设施向船舶供电的额定容量不得小于5MVA、8MVA。岸基供电系统设计满足集装箱船舶靠泊作业期间的供电需求，系统向船舶供电额定容量为5000kVA。三相22kV/50Hz电源经岸基供电系统设备转换为三相6.6kV/60Hz集装箱船舶可用岸电电源。整套岸基供电系统包括岸电变频变压电源装置，配电系统、码头岸电箱、本地监控系统及远程监控管理系统等部分，系统具备船岸供电系统变频供电、同步并网、监控、保护、通信等功能。

岸基供电系统在实施与船舶电源连接、退出及转换过程中满足船舶不断电，实现无缝切

换的要求；岸基供电系统可进行本地监控管理，并配备远程上传港区 SCADA 系统的接口，系统设备设置在岸电变电所内；本次设计的岸电系统符合节能、环保、安全等要求，具备较高的过载能力及规范的安全保护系统。

本项目配套的岸基供电系统具备以下特性：

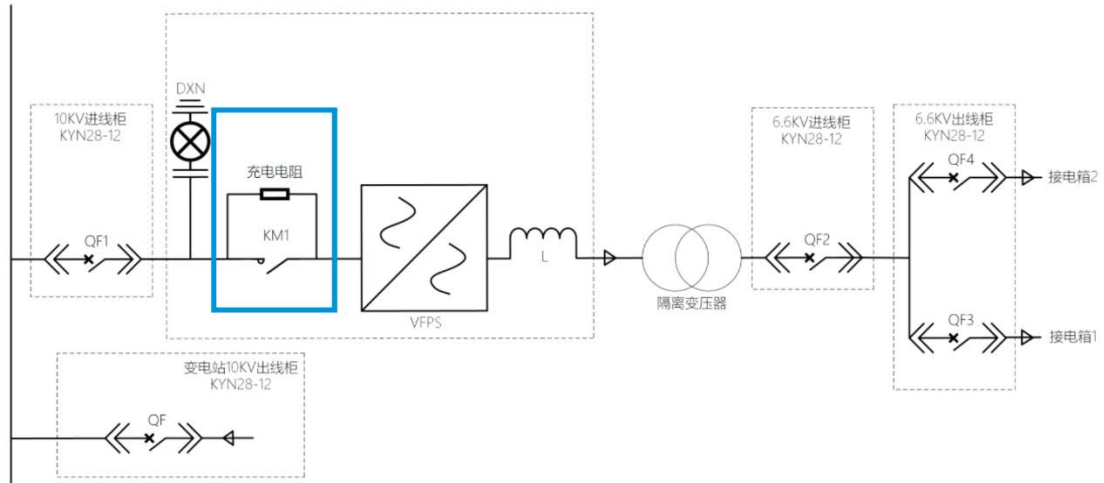
在船舶靠港停泊期间停止使用船舶发电系统，通过岸基变频电源供电，满足 6.6kV/60Hz 的集装箱船舶各种电气设备的用电需求，系统设备合理，工作可靠，操作简便。

- 1) 设计上充分考虑现场自然条件，满足国际标准，能够与国际船舶规范对接；
- 2) 安全、可靠、方便地接入船舶；
- 3) 综合考虑供电接点数量、安装位置、供电容量、走线等因素；
- 4) 较宽的电压和频率调节范围，恒压恒频输出；
- 5) 对岸上电网和船舶内网无谐波干扰影响；
- 6) 保证船用电与岸电相序和线制的一致性；
- 7) 具备缺相、短路等各种保护，可靠安全供电；
- 8) 方便对靠港船舶接用岸电情况进行准确计量、结算；
- 9) 适应码头高温、高湿、高腐蚀性等恶劣的环境；
- 10) 操作简单，维护方便。
- 11) 散热系统采用集中排热设计；
- 12) 系统具有高效率，具有节能、环保等特点；

如今，进一步共同推进船舶靠港使用岸电电源、统一岸电标准，加快岸电基础设施建设，已经成为国际大趋势。

二、 港口岸基供电系统方案

岸电电源的通用做法是以变频技术为核心，系统的配置采用：输入滤波器+变频器+输出变压器+正弦滤波器的设备配置形式。除变频器外，其它部件均为无源器件，具有非常高的可靠性和稳定性。而且无污染、智能化程度高，容量大，维修、维护成本低，它代表了二十一世纪岸用电源技术的发展趋势。



1.5 岸电电源相比发电机的特点

据上海海事大学学报 2006 年, 第 03 期报道: 国家有关部门对上海港区和靠港船舶实施岸电技术情况进行调研和考察, 并对船舶接用岸电的主要技术问题进行分析和计算。结果表明: 船舶接用岸电时, 岸电电制与船电电制要尽量一致; 船舶实施岸电技术的关键是对港区码头进行岸电技术改造, 船舶电力传输方式以低压供电为主; 上海港区船舶接用岸电后, 船舶污染物的排放量减少 92% 以上, 可见船舶接用岸电的必要性。



相比船舶柴油发电机，岸电电源具有以下特点

- 1、电压源型，直接三相 380V /50Hz 输入，输出稳定的三相 450 V/60 Hz 电源。
- 2、电流谐波少，无需谐波抑制装置。
- 3、输出正弦波形，对输入电压适合范围宽，输出电压及频率波动小，完整的通用参数设置功能。
- 4、效率>90%，比传统变频发电机组节能 20%以上。
- 5、节省人力：易操作，无需专人值班管理。
- 6、维护方便：安装、设定、调试简便。
- 7、使用安全：保护功能强大，具有过流、过压、过载、短路、缺相等保护功能
- 8、节约成本：见应用实例
- 9、通过岸电电源的应用，可大大缩短造修船交期：见应用实例。
- 10、岸电电源应用实例：

上海某修船公司安装岸电电源后的成本分析

该公司使用三相 380V/60Hz 的电源，24 小时不间断生产供电。而现有发电机正常仅供 100kW，远远满足不了船舶需求。高峰时线电流为 140A，一次均产生 50 多毫安电流（有效值），我厂先用一台 300kW 发电机发电供生产设备使用，当供电时，明显感觉到发电机较为吃力，而且输出频率在±1 周期范围变化，输出电压波动范围在 15V 左右（含主线路损耗），输出电压总谐波失真度 THDu=2.4%（满载）。

现使用中的岸电电源，采用通用变频器作为逆变部分；采用设计的特种干式变压器为输出隔离调压变压器；采用 SIN2500A 正弦滤波器；所有出入输出开关选用智能空气开关。使测试电源输出电压总谐波失真度空载时 THDu=0.8%；满负载时 THDu=1.8%；空载时输出电压波动小于 3.8V；负载电流在 0~190A 突变化是电压波动小于 7.4V；输出频率始终稳定在 60Hz。电源质量比发电机发电更优，完全满足该厂生产设备对电源的要求。使用岸电电源不仅能提供比发电机更优的供电电源质量，而且更加带来非常客观的经济效益。使用 600kVA 变频电源供电后，该厂每月平均节约的能源费用为 86 039.08 元

（注：考虑了 4 月份发电和个月由于停电而自用发电的因素，如果不考虑上述因素，平均每月节约的能源费用达 10 万多元）。

经计算，变频电源设备的静态设备投资回收期为 5.6 个月，可见其经济效益是非常可观的。

2.1 岸电电源分类



根据船舶类型不同、综合考虑码头工况特点，岸基供电电源大致可分为：高压船舶岸电系统、低压船舶岸电系统、高低压混合岸电系统、大容量多机并联岸电系统等。

- 1、按频率分类：（1）50Hz 岸电电源直接上船 （2）转换为 60Hz 岸电电源上船
- 2、按电压分类：（1）高压岸电上船：6.6KV，60Hz；6.0KV，50Hz （2）低压岸电上船：440V，60Hz；400V，50Hz
- 3、按冷却方式：（1）水冷型岸电电源 （2）空冷型岸电电源
- 4、按工作模式：（1）两象限岸电电源 （2）四象限岸电电源
- 5、按组网方式：（1）单机型岸电电源 （2）多机并联型岸电电源

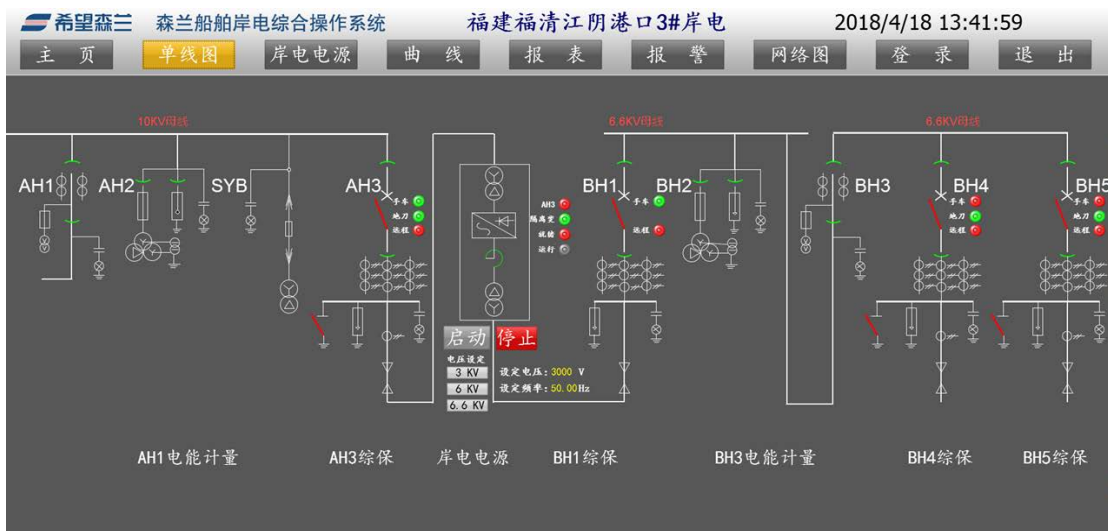
2.2 单机型岸电电源

森兰单机型岸电电源是基于高低压调速电气传动系统平台技术，针对岸电电源应用需求特点定制开发的新一代高性能变频电源，具有动态响应快，过载能力强，控制精度高等优点，无论是系统拓扑结构选择，控制性能，还是散热系统设计，都首屈一指。

其中，低压岸电电源最关键的设计便是模块化功率单元设计！其系统特点包括：

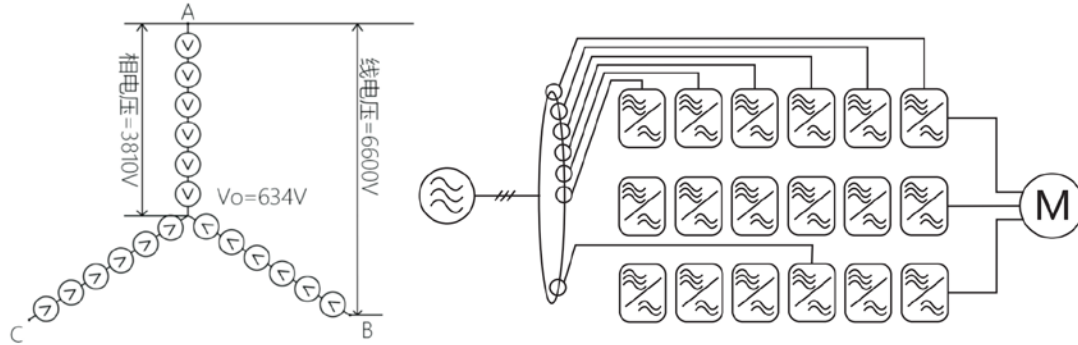
- 1、模块化四象限 Power Unit，合理利用了机柜的空间，减小柜体尺寸；
- 2、采用滑轨安装，维护方便，单人便可实现操作；

- 3、多种扩展功能，便于后续扩容改造；
- 4、内部通讯网络采用光纤网络，通讯传输速度快，抗干扰能力强；
- 5、1.5 倍过载 1 分钟，2~4 倍反时限保护，保护曲线可设置，满足船舶上大功率负载启动特性要求；
- 6、采用生态设计，系统效率大于 97%。



此外，森兰 VFPS 系列高压岸电电源采用功率单元串联技术，直接输出 6.6 kV 或 6 kV。输入侧采用 36 脉冲整流技术，电网侧谐波污染小，功率因数高；输出侧采用多重化的正弦脉宽调制技术，输出谐波非常小，对电网上其它设备不产生谐波干扰。叠加的原理类似于“电池组叠加”技术，当需要 6.6 kV 输出时，每相串联 6 个功率单元，每个功率单元的交流有效值为 634 V；系统相电压 3810 V，线电压 6600V。

VFPS 系列岸电电源主控制器采用 32 位浮点 DSP 数据信号处理器，超大规模集成电路（CPLD + FPGA）为核心，配合数据采集、单元控制和光纤通讯回路构成系统控制部分。



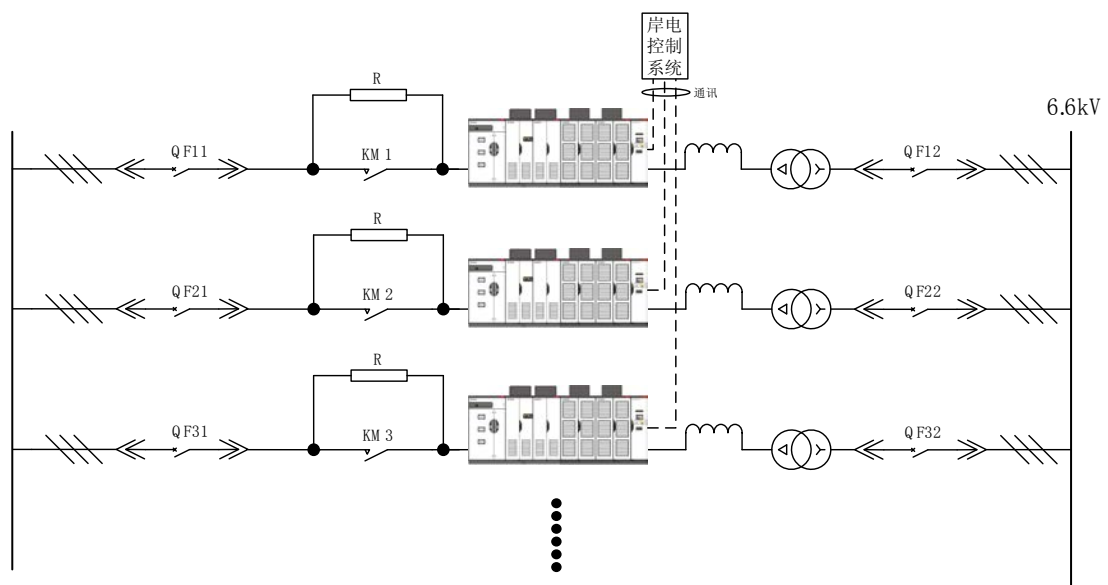
2.3 多机并联型岸电电源系统

考虑到岸电后续批量建设，以及多机大容量并联等技术要求，我们将岸电系统以一个电网的思路去看待。森兰 VFPS 及 SB70P 系列岸电电源系统根据用户的实际需求，可在后期通过多套系统并联的方式扩大系统总容量。如：原系统容量为 1.7MVA 的，通过新增两套 1.7MVA 岸电电源设备，扩容成为 5.1MVA 容量系统。

2018 年，希望森兰推出中国首套多机并联岸电电源微电网系统。



整个扩容系统由多台箱式一体化岸电组成，集装箱并排放置，每一台箱式一体化岸电之间通过光纤通讯连接，通过岸电控制系统和输出同步追踪锁相技术实现功率均衡、负荷均衡、同步协调控制，完美解决系统后期扩容的需求。系统输出容量不足时可自动并网扩容，容量有余时自动切除，单台故障时自动切除降额。现场总线支持 Modbus、CAN、Profibus-DP 等、以太网等通讯方式。整个系统扩容后其性能参数不会降低。



三、 典型案例

希望森兰岸电电源系统已经遍布中国所有省级城市海岸线，无联船失败案例，是国内岸电电源解决方案最多的企业。

3.1 中国（福建）自由贸易试验区厦门某码头

希望森兰生产的首套 3MVA 高压岸电电源产品应用于中国（福建）自由贸易试验区厦门某码头，这也是福建省首套高压船舶岸电。电源送入森兰 VFPS 系列岸电电源系统后，经高压变频装置转换为 6kV/50Hz 或 6.6kV/60Hz 的船用电直接输出，系统通过岸边接电箱及柔性电缆将电源送至船舶接电装置，最后通过船上的并网装置实现与船舶辅机的并网，接入船用电系统供全船设备使用。



厦门远海集装箱码头作为福建省首个港口岸电电源试点项目，得到了福建省、中远海运集团、国网厦门供电公司领导高度重视与支持，并于 2016 年 12 月 14 日正式投运，意味着今后停靠在厦门远海集装箱码头的船只，可以通过岸上电源直接给船舶供电，减少对大气与海洋的污染，对推动绿色港口建设，具有重要社会与经济意义。

3.2 广西某大型综合港口项目

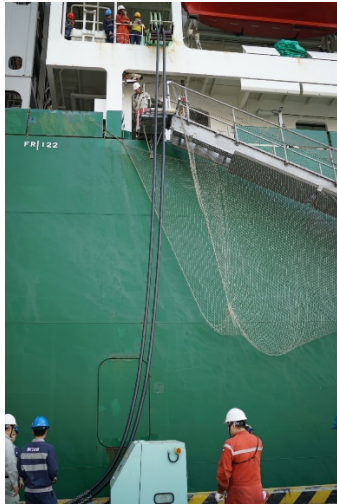
广西某大型综合港口，由希望森兰制造的 5 套集装箱式岸电系统已全部投运，全部通过了交通部第二批、第三批岸电项目检查，其标准化智能化程度得到了专家组一致好评。其中一套是春节前紧急订单。要求 30 天交货，为了让客户顺利拿到补贴，森兰完成了这项艰巨任务，是国内岸电系统最快交货记录保持者。



3.3 国家电网福建岸电项目

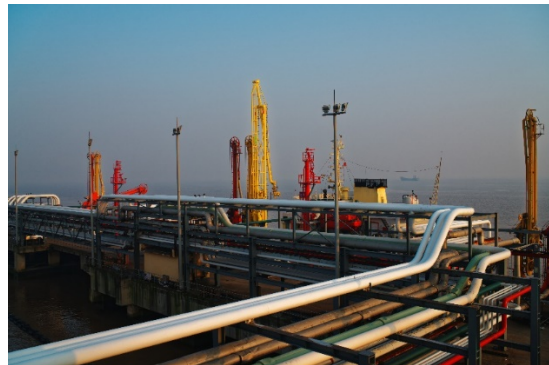
国网福建岸电项目，由希望森兰的十几套岸电系统已在福建多个码头投运，一次性联船运行成功，得到了福建省国网专家组的认可，成为了各港口的示范项目。





3.4 嘉兴某石化码头 2MW 岸电电源项目

2016 年底，由希望森兰科技股份有限公司为嘉兴港某石化码头提供了全新设计的专用于危险区域的 SB70 防爆型智能岸电电源系统解决方案。该系统将 10kV/50Hz 电源转变为 440V/60Hz 及 400V/50Hz 可变双频双压输出至码头防爆接电箱，需要连船时将接电箱与移动式防爆电缆卷盘车连接，再由卷盘车将电缆举升至改造后的船用接电箱处连接，进行岸电向船电的输送。



3.5 江阴某港口码头 SB70P 系列岸电电源

希望森兰生产的多套一体化低压四象限岸电系统也大获好评。其中江阴某港口是客户自备电厂煤码头，原有的岸电系统无法联船运行，更换成森兰岸电系统后一次性联船运行成功。



四、 经济和社会效益

4.1 经济效益

以嘉兴港石化码头平均每天船舶停靠 16h，平均负荷 200kW 计算，采用岸电技术后单艘船舶全年可增售电量 116.8 万 kWh。节约燃料成本方面，柴油发动机单位油耗约 250g/kWh，全年可替代柴油 292t ($250\text{g/kWh} \times 116.8 \text{ 万 kWh}$)；1kg 柴油约合 1.16L，油价按照 5.50 元/L 测算，全年减少柴油燃料成本 186.3 万元 ($292\text{t} \times 1.16\text{L/kg} \times 5.50 \text{ 元/L}$)。全年用电成本为 140.1 万元 ($116.8 \text{ 万 kWh} \times 1.2 \text{ 元/kWh}$ ，注：1.2 元/kWh 为目录电价加收服务费后的单价水平)。全年单船舶燃料成本节约 $186.3 \text{ 万元} - 140.1 \text{ 万元} = 46.2 \text{ 万元}$ 。

4.2 社会效益

截止 2020 年 11 月，希望森兰累计共 38300 kW 岸电电源服务于全国近 30 个港口、码头，每年节约燃料的直接经济成本为 8847.3 万元；相当于节约了 2.65 万吨标准煤，同时减少二氧化碳 (CO₂) 排放 7.35 万吨。

岸电系统建成后，船舶停泊靠岸期间将由电网向船用设备供电，不仅减少了船舶振动和噪音，提升船员生活质量和港区环境品质。而且代替了传统燃料油发电，实现有害气体零排放，大幅度减少船舶排放在大气污染排放清单中的占比，减少了对大气与海洋的污染。同时，有效降低了船方的运输成本，提高了经济效益；对推动智慧港口、绿色港口、现代化港口建设，具有重要社会与经济意义。

希望森兰科技股份有限公司

2021 年 1 月 4 日