

推动某港轮胎吊油改电项目的供电服务方案综述

陆 晓，邬大为，龚海华

(苏州太仓市供电公司，江苏 太仓 215400)

摘 要：本文介绍了某市供电企业利用自身的管理优势和技术优势，帮助该市港口码头进行轮胎吊“油改电”的电气化改造。通过打造专业的客户经理团队，某市供电企业从电网规划、变电所建设、压等级技术改造、无功动态补偿和谐波治理等方面给予了码头公司优质服务和技术支持。最终，使该市港口码头公司取得节能减排和经济效益的双丰收。此次“油改电”的成功案例也充分证明了地方电力供应企业可以通过自身有利资源，帮助电力客户实现低碳经济发展，最大程度地节约社会资源。

关键词：供电服务；节能减排；轮胎吊；无功补偿；谐波治理

0 引言

目前世界上在用的专业化集装箱门式起重机超过 8000 台，轮胎式集装箱门式起重机（简称轮胎吊，英文简写 RTG）占 90% 以上，是集装箱专业化码头堆场的主力设备^[1]，它具有可灵活转场作业、工程投资少等特点，受到欢迎。但是，RTG 由柴油发电机组驱动，经过热能、机械能多种能量转换才变成电能，能量转换效率低，造成设备能耗大，费用成本高，而且柴油机气体排放、噪声、废油水泄漏，均对港口形成较大的污染^[2]。

某市供电公司利用自身的管理优势和技术优势，从项目投资、经济效益、节能减排、供电优质服务等方面给“RTG 油改电”做了项目评估，并通过各种专业的技术服务，成功地帮助该市港口码头公司进行“RTG 油改电”的电气化改造，实现了供电和用电、效益和减排的“双赢”。

1 前期服务

1.1 客户经理团队

某市供电公司成立了包括电网规划设计、电力销售服务、电力技术咨询在内的综合性专项客户经理团队。

电网规划设计专项经理负责“某港 RTG 油改电项目”前期输电和配电网的规划设计；电力销售服务专项经理负责该项目的用电审批、电能质量监测、各项收费咨询等专业服务；电力技术咨询专项经理负责该项目的电力相关专业问题咨询，供电施工咨询，电能质量改善咨询等专业服务。

专项客户经理团队成立后，实行用专人专管的方式，把整个“某港 RTG 油改电项目”的各项供电服务落实到位。

1.2 电网规划

某市供电公司结合地方发展需要，于 2004 年新建 110kV 远太变专供港口码头用电。此次“RTG 油改电项目”的配电网规划分别选取了 110kV 远太变 10kV I 段母线上的 111 码头 I 线和 10kV II 段母线的 133 码头 III 线给 1#、2#、3#、4# 泊位供电；选取 10kV I 段母线上的 113 码头 IV 线和 10kV II 段母线的 132 码头 II 线给 5#、6#、7#、8# 泊位供电。

用不同母线上的双电源供电方式可避免因部分线路停电而造成码头设备的停运；也可避免因其中一条 10kV 母线或一台 110kV 主变检修或故障而造成码头设备的停运。在电网规划上确保了“某港 RTG 油改电项目”的用电安全。

1.3 配电站建设方案

鉴于港区占地面积大，用电装置分散，所以，“RTG 油改电项目”在配电站建设方案上运用了一个中心变电所及多个分散变电所的配电网结构。

中心变电所如图 1 所示。四路 10kV 进线分别连至 I、II、III、IV 四条 10kV 母线，I 母、II 母为单母线分段带联络的接线方式，提供给 #1 变电所、#2 变电所、#5 变电所、#4 变电所（备用）和办公楼变压器（备用），其中，#1 变电所、#2 变电所、#5 变电所都采用了不同母线上的双电源供电方式；III 母、IV 母为单母线分段带联络的接线方式，提供给 #3 变电所、#6 变电所、#7 变电所、#4 变电所（常用）和办公楼变压器（常用），其中，#3 变

电所、#6 变电所、#7 变电所也采用不同母线上的双电源供电方式。

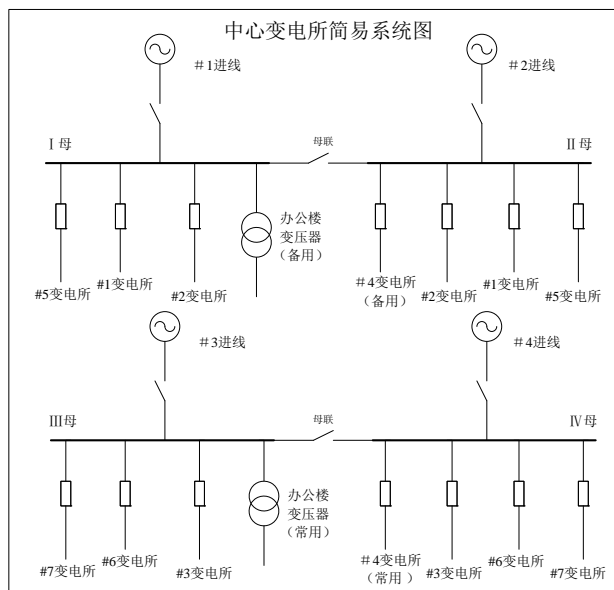


图 1 中心变电所系统图

各个分散的变电所采用如图 2 所示的系统结构，各变电所由中心变电所引出的两路 10kV 电源同时供电，低压侧接线方式为单母线分段带联络方式，各路低压侧出线连接各台 RTG。

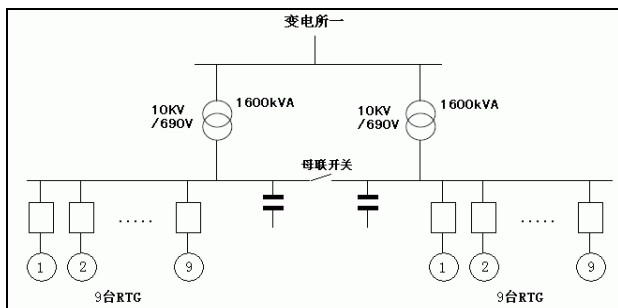


图 2 各分散变电所系统图

2 技术支持

某市供电公司的专项客户经理通过联系本单位和电力系统内的相关技术人员，在电压等级技术改造、无功动态补偿和谐波治理三个方面给与了技术支持。

2.1 技术改造

在电力系统中相关技术专家的帮助和指导下，“RTG 油改电项目”把直供 RTG 的变电所低压侧从常规 400V 的电压等级改为 690V。电压的升高可使电缆的额定电流减小，从而减小电缆规格，减少改造投资。

配套电气元件也在相关技术人员的帮助下，与

生产厂家合作进行了技术改造，其中，690V 电源插座、插头；插座的插孔采用双螺旋涨紧技术（已经申请了国家专利），它不仅可以实现快速插拔的要求，同时可保证人员的安全。

2.2 无功补偿及谐波治理

参照供电系统变电站无功补偿方式，在变电所低压侧母线上采取电容集中补偿的办法^[3]，如图 3 所示。系统中，无功动态补偿的投切开关选用可控硅（晶闸管）模块，快速的投切在 20ms 以内，无需电容器放电等待时间即可重复响应。

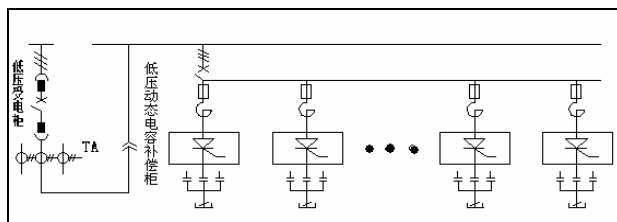


图 3 无功补偿系统图

2.2.1 容量计算^[4]

现有的变电所各台变压器容量为 1600kVA，带 9 台吊车负荷有功功率 1793kW，最大同时负荷率（电网线电压为 690V，负载为 9 台吊车负荷）按 67% 计算，实际为 1076kW，功率因数测试平均 0.74 左右，目标功率因数按 0.92 确定，计算补偿容量：

$$Q_{\text{补}} = P30 \left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_2} - 1} \right) \times 1.5$$

$$= 775 \text{ (kVar)}$$

根据计算补偿容量和现有相电压 400V（线电压 690V），选取 CJK2W-810 kVar 无功功率补偿装置一套，电容额定电压 490V。

2.2.2 补偿精度

为了达到在最小电流时投入，且最大电流时能满足补偿要求，采用任意编码保证投切精度（最小投切容量 10 kVar/相），功率因数按 0.92 设计。（计算基波最小补偿电流 30A，精度达到 3.7%）

通过实际测试：轻载时电流 $I_A=32.53A$ ； $I_B=30.49A$ ； $I_C=41.8A$ ；电容额定电压 490V/相，电网电压 400V/相。综上得出实际计算和测试相吻合，保证了投切精度。

2.2.3 谐波治理

从投资成本考虑，“RTG油改电项目”谐波治理方式是在每一组补偿无功功率的并联电抗器中串入一组电抗器来抑制谐波^[5]，原理图如图 4 所示。

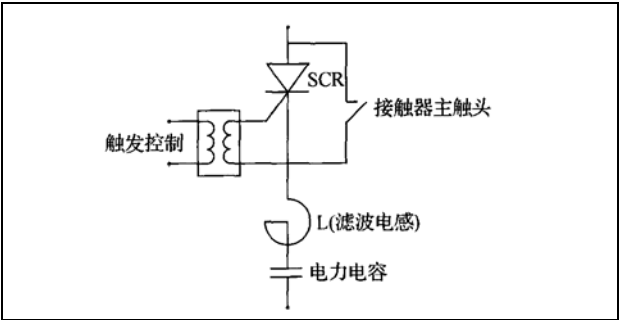
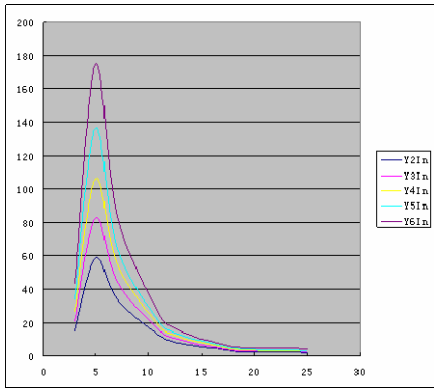


图 4 谐波治理原理图

“RTG 油改电项目”中每个分散变电所低压侧的每条母线都有 9 台 RTG，每台 RTG 有 190kW+30kW+27.5 kW×4 变频电机为谐波源设备，实际使用中同期率可能为 67%（6 台）吊车谐波源运行区间。运用计算机仿真：多个谐波源叠加入加 0.69 kV 母线的谐波电流发生曲线如图 5 所示。



Y1 曲线为 2 个谐波源叠加入在母线的谐波电流发生曲线；
Y2 曲线为 3 个谐波源叠加入在母线的谐波电流发生曲线；
Y3 曲线为 4 个谐波源叠加入在母线的谐波电流发生曲线；
Y4 曲线为 5 个谐波源叠加入在母线的谐波电流发生曲线；
Y5 曲线为 6 个谐波源叠加入在母线的谐波电流发生曲线。

图 5 母线谐波仿真图

根据计算机仿真结果，得出项目设备中 3、5、7、9、11 次均有较大谐波，以 5 次谐波为最大。

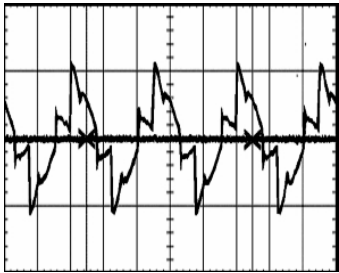
根据调谐滤波器的基本原理可知：

$$n = \sqrt{X_C / X_L} = 1 / \sqrt{K}$$

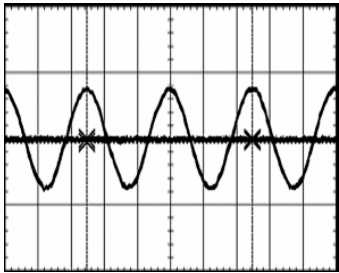
其中：n 为谐波次数；X_C 为电容器组基波容抗；X_L 为串联电抗器基波电抗；K 为电抗系数。

通过 690 kV 母线侧最大、最小运行方式下的谐波电流，计算得出各次谐波的滤波通道容量，再分配给最小投切的电容器组，重新组合成 N 条滤波补

偿通道。通过对实际电网进行测试，补偿前和补偿后的对比波形，如图 6 所示。



a) 补偿前



b) 补偿后

图 6 补偿前后的低压侧母线电流波形

通过实际验证此谐波治理方式不但能够达到谐波治理国标^[6]，同时在投资方面可以大大节省投资与运行和维修费用。

3 环境和经济效益

3.1 节能减排效益

依据《GB/T 15097-2008 船用柴油机排气排放污染物测量方法》，柴油含碳量为 20.2(kg / GJ)、氧化率为 100%、从碳到二氧化碳的转化系数为 (44/12)，因此柴油的二氧化碳排放因子为 74100 (kg/TJ)。考虑柴油的净热值为 43(TJ/kg)、柴油的密度是 0.84 (g/ml)、二氧化碳与碳的比重比为 (44/12)，则每升柴油的碳排放为 0.973 (kg)。

通过样机 12 个月的测试，传统 RTG 的柴油消耗量为 2.3 kg/标箱，再以 2011 年的年吞吐量 150 万标箱来计算，该码头的碳排放量为 3356.85 t。通过“油改电”技术革新后，该码头的碳排放量降为零，实现了“绿色港口”的建设目标。

3.2 经济效益

以 RTG 的柴油消耗量 2.3 kg/标箱计算，2012 年 3 月每公升柴油的市价为 7.81 元，即 17.963 元/标箱；改造后的 RTG 耗电量为 2.5~3.1 kWh/标箱，每度电价格为 0.767 元，即 2.378 元/标箱。

按年吞吐 150 万标箱计算用柴油的费用是

$1,500,000 \times 17.963 = 26,944,500$ (元), 而用电的成本为 $1,500,000 \times 2.378 = 3,567,000$ (元)。

从 2012 年到 2021 年, 以年吞吐量增长率 20% (保守估计) 计算, 将会节省 606,460,000 元, 平均每年节省 60,646,000 元。如果柴油价格在未来几年内继续上涨, 实际的经济效益将更加突出。

4 结论及推广

该项目获得了江苏省经贸委节能减排 (节能与循环经济) 专项资金的奖励。并吸引了包括宁波港、厦门港、大连港、青岛港等数十个港口前来参观学习, RTG“油改电”技术得到了较大范围的推广。某市供电公司成功推动该市港口码头 RTG“油改电”项目的案例, 也充分证明了地方电力供应企业可以通过自身有利资源, 积极推行“油改电、气改电、煤改电”等技术措施, 帮助电力客户实现低碳经济发展, 最大程度地节约社会资源, 降低二次污染和地区碳排放。

参考文献:

[1] 朱莉. 集装箱码头各种轮胎吊“油改电”方案选择探讨[J].

科技资讯, 2011(13): 136-137.

[2] 张勇. 轮胎式集装箱龙门起重机节能及“油改电”技术应用综述[J]. 中国高新技术企业, 2010,141(6): 91-93.

[3] 陆安定. 发电厂变电所及电力系统的无功功率[M]. 北京: 中国电力出版社,2003.

[4] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京: 机械工业出版社,2005.

[5] 梁玉. 无功补偿与谐波分析技术实用研究[J]. 广东科技, 2008(22): 134-136.

[6] GB/T14549, 谐波治理国家标准[S].

作者简介:

陆 晓 (1968—), 男, 上海松江人, 高级工程师, 从事企业经营管理;

邬大为 (1983—), 男, 江苏太仓人, 工程师, 从事继电保护和电力系统研究;

龚海华 (1980—), 男, 江苏启东人, 工程师, 从事供电服务和电力系统研究。