

# 台达 AFE 有源前端在港口行业中的应用

## The Application of Active Power Filter in Textile Industry

文：台达集团--中达电通股份有限公司 唐万琪

**【摘要】**随着传统集装箱港口通用的起重机械轮胎式集装箱龙门起重机（Rubber Tyred Gantry Crane，简称RTG）因为柴油发电机组驱动的能量转换效率低、能耗大、成本高、污染严重、噪音和振动大而进行柴电改造，采用市电供电以达到节能减排，保护环境的目的。但大多数RTG不能实现能量再生，只能将能量通过电阻消耗掉，造成了能源的浪费。基于电力电子技术的台达主动式电能回升技术被用来治理港口行业的此类问题，为广大港口带来巨大的经济效益。

**【Abstract】**Textile industry after years of development, with large-scale, intensive development, automation degree is more and more high, a large number of power electronic equipment used in textile production process, resulting in a great deal of harmonic pollution, to the normal operation of production brought hidden trouble, the traditional passive capacitor compensation methods cannot meet the requirements, based on power electronics technique of Active Power Filter (APF) technology is used to control the harmonic problem in textile industry, for the vast number of textile enterprises convenient and fast.

**【关键字】**主动式电能回升单元；AFE；港口行业；能量回馈

**【Keywords】**active Power filter; APF; textile industry; harmonic compensation

## 1 港口行业背景及现状

改革开放以来，中国港口业以锐不可挡之势，创造了一个又一个奇迹，货物吞吐量和集装箱吞吐量一路飙升，成为世界上港口吞吐量和集装箱吞吐量最多、增长速度最快的国家。中国港口行业在取得骄人成绩的同时日趋发展成熟。

目前，世界各集装箱港口通用的起重机械（又称场桥）有两类，一类是轨道式集装箱龙门起重机（Rail Mounted Gantry Crane，简称RMG），另一类是轮胎式集装箱龙门起重机（Rubber Tyred Gantry Crane，简称RTG）。RMG采用市电供电，具有节能、无噪音、无污染、稳定可靠及能量可再生等优点，但不能转场；RTG是世界各大集装箱专业化码头堆场的主力设备，它具有码头基础的投资成本低、机动灵活可转场作业，一直受到广大集装箱作业码头的欢迎，据统计，目前全球集装箱起重机中有95%均为RTG。

## 2 某港口面临的电能质量问题

某港口企业是国内十大港口之一，2013年全港年货物吞吐量近5亿吨，集装箱吞吐量超过1600万标准箱，该港口目前大量使用RTG，并且完成柴电改造。

传统的RTG由柴油发电机组驱动，虽然可以灵活转场，但能量转换效率低、能耗大、成本高、污染严重、噪音和振动大，为了响应节能减排，保护环境的号召，在油价高涨的趋势下大多RTG都进行“油改电技术”改造，采用市电供电，但是大多数RTG不能实现能量再生，只能将能量通过电阻消耗掉，造成了能源的浪费。由于大量采用非线性设备（如变频器），产生大量谐波，将会对设备带来危害，并对电网产生巨大污染。



图 2 RTG 工作图和 AFE 安装位置图

### 3 AFE2000 产品特点

为了解决上述问题，该港口企业采用了台达有源前端 AFE2000 系列。该产品采用高阶控制运算法，能真正的实现能量双向流动，与变频器搭配，可实现变频调速系统的四象限运行。在该项目的应用中，AFE2000 实现了以下功能：

**取代传统刹车电阻，回生能量再利用。**轮胎吊下行时电机转子超过电机同步转速时（曲柄净扭矩为负），交流电机变成交流发电机，此时电能需要通过直流侧制动单元流向制动电阻，变成热能来进行消耗。采用 AFE2000 后，可以将原需消耗的电能转化为标准的正弦电源回馈系统，回馈电能节电率在 30% 左右。

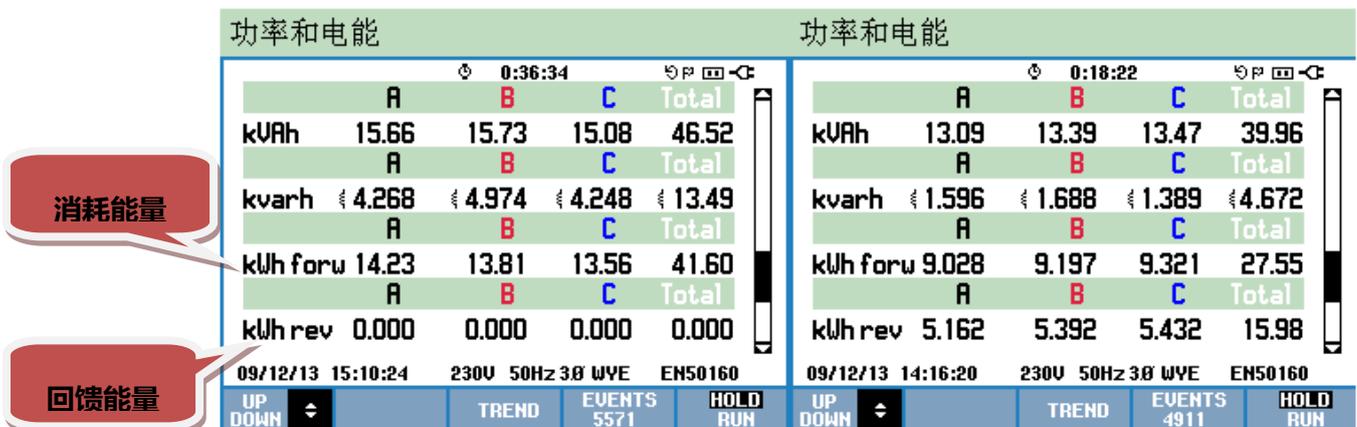


图 3 AFE 不投入与投入时能量消耗及反馈对比

**提高功率因数。**由于每个 TEU 的重量不等，故 RTG 的负载是变化的，而在选用电动机时，通常是根据工作中的最大载荷（例如启动转矩）来选配。电机的额定功率都是恒定的，以不变的最大功率拖动时刻变化的载荷，势必造成大马拉小车之类的浪费。这一现象会使电动机的电能利用率很低，功率因数下降很多，相应多占有许多无功功率。RTG 采用 AFE2000 控制系统后，电动机平均功率因数由工频运行状态的 0.7 提高到 (-1) 1，减少了无功损耗。从而大大减小了供电电流，减轻了电网和变压器的负担，降低了线损。

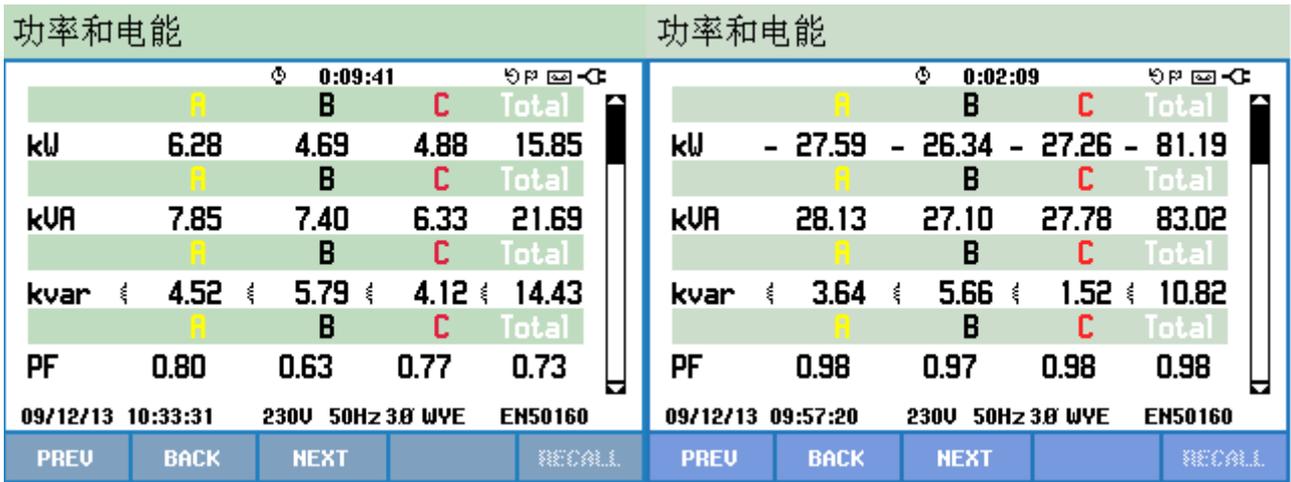


图 4 AFE 不投入与投入时功率因素对比

降低谐波干扰。RTG 改装 AFE2000 控制系统后，原变频控制电源谐波电流含量从 25%~35%降至 3%以下，典型谐波 5、7、11、13、17 次消除到几乎可以忽略程度，绿化 RTG 的配电系统，保证了供电质量。

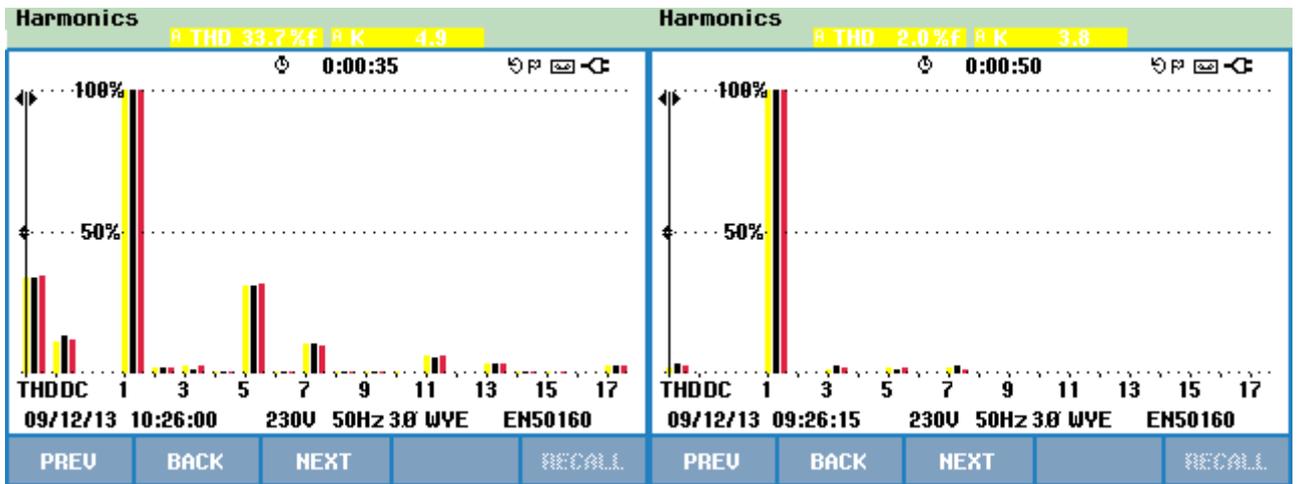


图 5 AFE 不投入与投入时电流畸变率对比

#### 4 某港口的电能质量治理方案

台达对该码头 RTG 安装 AFE2000 后，进行单机试验测试跟踪：

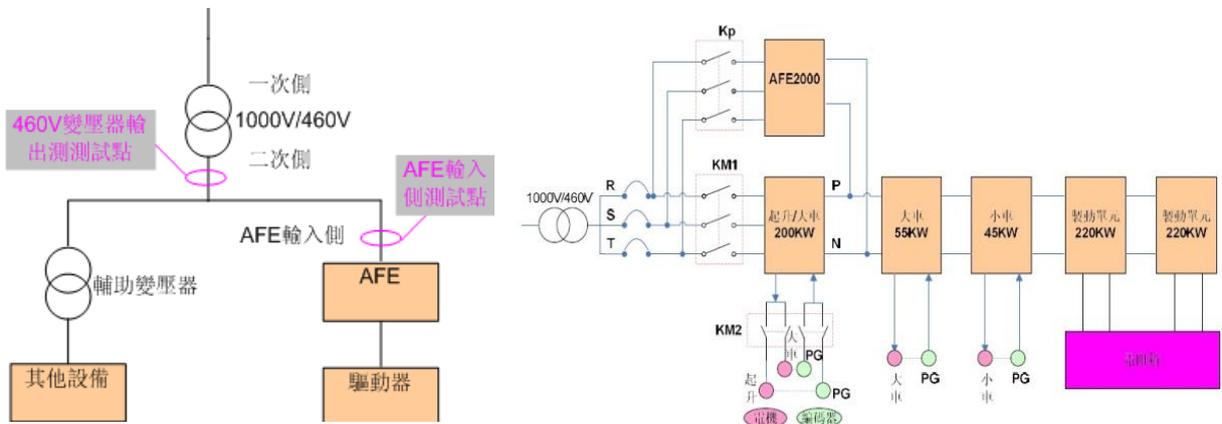


图 6 测试、安装位置

测试方法：

海侧吊具 ↓ ↑ —— 吊具至陆侧 —— 陆侧吊具 ↓ ↑ —— 大车行走两个集装箱距离 —— 返回原地 —— 陆侧吊具 ↓ ↑ —— 吊具至海侧 —— 海侧吊具 ↓ ↑。

以上全部动作为一个循环。

空载连续进行六个循环、带约 20T 集装箱连续进行六个循环。

通过 FLUKE435II 型电能质量测试仪器对 RTG 低压总进线柜进行监测，数据如表 1 和表 2 所示。

表 1 单机实测能耗对比表

AFE		时间 (min)	耗电量 (kWh)	作业箱量 (TEU)	每 TEU 单耗 (kWh)
空载	投入	30	19.48	12	1.623
	未投入	30	25.69	12	2.141
带载	投入	36	27.55	12	2.296
	未投入	36	41.6	12	3.467

表 2 单机实测电能质量对比表

AFE		不投入	投入
空载	电压谐波	约 6%	约 2%
	电流谐波	约 30%	约 2.5%
	功率因素	上升时约 0.93，下降时约 0.73	0.99
带载	电压谐波	约 5.5%	约 2%
	电流谐波	约 18.5%	约 2.5%
	功率因素	上升时约 0.93、下降时约 0.73	0.99

治理前后数据对比说明：

节能效果计算如下：

空载时： $(25.69 - 19.48) / 25.69 = 24.17\%$ ；

带载时： $(41.6 - 27.55) / 41.6 = 33.78\%$ ；

电压、电流畸变率均  $\leq 5\%$ ，满足 GB/T 14549-93 规定；

功率因数  $\geq 0.95$ 。

采用 AFE 治理后效果：

- (1) 进行 AFE 改造后节能效益明显，预计平均节能效果在 30% 左右，极大的提高了企业的生产效益；
- (2) 进行 AFE 改造后功率因素改善明显，保证系统功率因数 0.95 以上，
- (3) 进行 AFE 改造后电网谐波改善明显，电流畸变率均由 25%~35% 下降至 5% 以内，减少谐波电流带来的相关损耗；
- (4) 配电系统变压器、铜排、电缆等关键电气设备温度明显下降，提高了电气设备的使用寿命。

## 5 港口行业电能质量治理的意义

应用台达有源前端 AFE2000 控制系统，不仅能降低能耗，还能调节电网质量，这些都为设备的安全运

行生产提供了有利的安全保障，并且营造了真正的绿色用电氛围，这也充分地体现了台达集团环保、节能、爱地球的经营理念。而且采用该类设备能很好的响应国家提出的节能减排口号，符合国家倡导的可持续发展的政策。

## 6 参考文献

- [1] 石英. 基于 DSP 的能量回馈调速系统计算机技术与自动化, 2001, 20 (3): 27-30
- [2] 刘青山, 轮胎式集装箱门式起重机节能技术研究综述物流工程三十年技术创新发展之道
- [3] 刘凤君, 多电平逆变技术及其应用 机械工业出版社, 2007: 25-61
- [4] 能源部电力科学研究院, 等起草. GB/T 14549-93 电能质量 公用电网谐波[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994

## 作者简介

唐万琪，男，生于 1982 年 1 月，毕业于上海电力学院，电力系统及其自动化专业。现任台达集团——中达电通股份有限公司节能应用产品处高级应用工程师，从事电能质量产品开发、规划和营销，具有 9 年从事电能质量产品的行业经验。