



散货码头无功补偿装置的控制策略及应用

冯 玥¹, 朱明星², 王飞龙³

(1. 交通运输部水运科学研究院, 北京 100088; 2. 教育部电能质量工程研究中心, 安徽 合肥 230601;
3. 安徽大学电气工程与自动化学院, 安徽 合肥 230601)

摘要: 合理选择无功补偿装置的控制策略是无功补偿装置设计与运行的关键, 由于控制策略选取不当, 往往出现无功过补偿和欠补偿等问题。以某散货码头电网的运行数据为依据, 分析其无功补偿装置控制策略存在的不足, 并提出一种改造方案, 以较小的投入, 取得了较大的改造效益。

关键词: 散货码头; 无功补偿; 控制策略; 改造方案

中图分类号: U 658.3; TM 72

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)01-0085-05

Control strategy and application of bulk terminal reactive power compensation equipment

FENG Yue¹, ZHU Ming-xing², WANG Fei-long³

(1. China Waterborne Transportation Institute, Beijing 100088, China; 2. Power Quality Engineering Research Center Ministry of Education, Hefei 230601, China; 3. School of Electrical Engineering and Automation, Anhui University, Hefei 230601, China)

Abstract: A reasonable choice of the control strategy for reactive power compensation equipment is the key to the design and operation of reactive power compensation equipment. When the control strategy is not appropriate, problems such as reactive power over-compensation, sub-compensation, etc. will happen. Based on the operation data of a bulk terminal power grid, this paper analyzes the defects of control strategy for the power compensation equipment, and puts forward a reform plan. With a small investment, it can get a great transformation benefit.

Key words: bulk terminal; reactive power compensation; control strategy; reform plan

在散货码头供配电系统中, 主要负荷为卸船机、装船机、堆取料机及皮带机等。用于堆场和船舶之间的货物传送, 使用了大量的带式输送机, 带式输送机工作过程中产生大量的无功功率, 注入系统后影响了散货码头电网的电能质量, 也造成了线路功率因数低、供电设备容量利用率降低和线路损耗增大等问题^[1-2]。针对散货码头电力负荷的特点, 设置无功补偿装置能够有效地提高线路功率因数和供电设备容量利用率、稳定电网电压、减小线路有功损耗、保障散货码头供配电系统运行的安全性和可靠性^[3-4]。

散货码头中的装船机和卸船机等负荷随运行工况变化输出功率变化剧烈, 因此, 在无功补偿装置的工程设计中, 应综合考虑供配电系统参

数、负荷谐波发生量及无功功率发生量及变化率等情况, 确定无功补偿装置的容量参数及投切策略。本文正是基于这一考虑, 研究散货码头电网无功补偿装置的控制策略, 通过对其供电线路的电能质量测试与分析, 研究原无功补偿装置的控制策略存在的问题, 制定新的控制策略并对其进行改造, 通过对比改造前后的供电线路无功补偿装置的补偿效果, 评估改进的控制策略优越性及所带来的良好经济效益。

1 散货码头负荷功率特性分析

1.1 供配电系统概述

某港散货码头1#变电所作为散货码头的总变电所, 共有4段10 kV电源进线, 10 kV I段和II段

收稿日期: 2012-05-18

作者简介: 冯玥(1980—), 男, 主要从事港口电网的电能质量和电动起重机的能耗测试分析。

互为备用，主要负荷为堆场方面的相关设备，如装船机、堆取料机及大量的带式输送机，并为2#变电所提供电源；10 kV III段和IV段母线由母联开关分开，主要负荷为卸船机、带式输送机和堆取料机。由于各段母线所带负荷多为低功率因数运行的带式输送机，因此，每段10 kV母线下均设置了（300+600+900）kvar的无功补偿装置，采用交流真空接触器投切控制，以补偿10 kV母线下负荷产生的感性无功功率。

1.2 散货码头主要负荷功率特性

本文对某港散货码头3个变电所各10 kV母线下主要大功率用电设备均进行了测试分析，其主要负荷卸船机、装船机、堆取料机及带式输送机的功率特性测试结果见图1，主要负荷的功率特性统计见表1。

1) 采用变频器的卸船机，工作过程的有功功率是剧烈变化的，并出现再生制动情况，有功功率最大为4 378.5 kW，最小为-1 903.3 kW，卸船

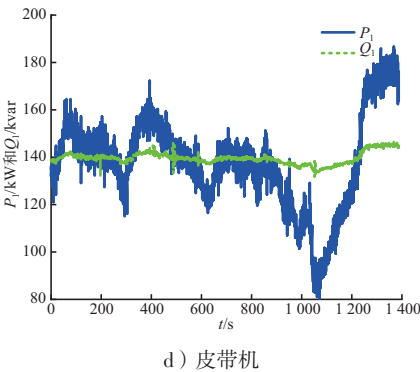
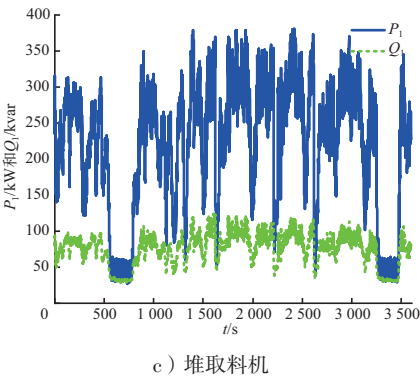
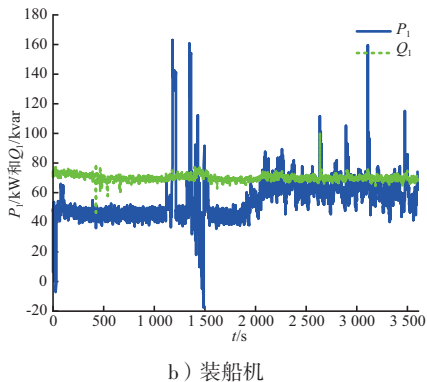
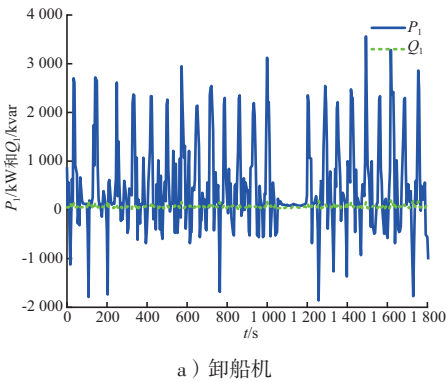


图1 散货码头主要负荷的功率特性趋势分析

表1 散货码头主要负荷的功率特性

供电 线路	基波视在功率 S_1/kVA						基波有功功率 P_1/kW					
	最大值	最小值	平均值				最大值	最小值	平均值			
			A	B	C	总			A	B	C	总
卸船机	4 393.50	20.05	252.49	247.97	251.54	509.21	4 378.50	-1 903.30	168.25	165.49	172.10	505.85
装船机	177.64	58.62	29.59	30.24	29.72	88.80	163.03	-18.11	18.33	18.57	17.96	54.86
堆取料机	398.94	41.58	74.95	78.35	77.55	230.20	380.66	26.72	71.15	75.17	71.72	218.04
皮带机	237.35	156.14	64.81	64.77	66.63	195.78	186.43	80.27	44.64	46.26	46.55	137.45

供电 线路	基波无功功率 Q_1/kVar						总视在功率 S/kVA							真功 率因数
	最大值	最小值	平均值				基波功 率因数	最大值	最小值	平均值				
			A	B	C	总				A	B	C	总	
卸船机	370.89	-454.10	23.19	16.77	18.46	58.43	0.99	4401	20.05	262.20	258.50	261.80	782.5	0.96
装船机	99.92	46.17	22.92	23.55	23.36	69.83	0.62	178.0	58.62	29.86	30.52	30.02	90.4	0.61
堆取料机	123.87	28.30	23.35	21.42	29.10	73.88	0.95	404.2	41.58	76.49	79.67	78.92	235.1	0.93
皮带机	146.85	131.62	46.80	45.13	47.48	139.42	0.70	237.4	156.14	64.83	64.81	66.64	196.3	0.70

机的无功需求较小, 平均无功功率为58.43 kvar, 平均功率因数为0.99。

2) 装船机工作过程中有功功率在-18.11~163.03 kW波动, 无功功率在46.17~99.92 kvar波动, 无功功率变化范围较小, 平均无功功率为69.83 kvar, 平均功率因数为0.62。

3) 堆取料机工作过程中有功功率在26.72~380.66 kW波动, 无功功率在50~100 kvar波动, 无功功率变化范围较小, 平均无功功率为73.88 kvar, 平均功率因数为0.95。

4) 带式输送机工作过程中有功功率在80.27~186.43 kW波动, 无功功率在131.62~146.85 kvar波动, 无功功率变化范围小, 平均无功功率为139.42 kvar, 平均功率因数为0.70。

散货码头的带式输送机有2电机驱动和3电

机驱动, 在重载和轻载工况、装船和卸船流程时有功功率和无功功率也略有变化, 但是散货码头的带式输送机为满足不同工况以及重载启动的要求, 电动机容量设计都比较大, 造成实际正常运行工况下电动机负载率低, 平均功率因数低, 电动机损耗大。

综上所述, 散货码头无功功率源主要由带式输送机产生, 无功功率变化范围较小; 其次由堆取料和装船机产生, 无功功率变化范围较小。

2 无功补偿控制策略的研究

2.1 10 kV III段电源进线功率特性分析

通过对1#变电所10 kV III段电源进线的运行数据进行分析, 得到其进线的功率变化趋势(图2), 其功率统计见表2。

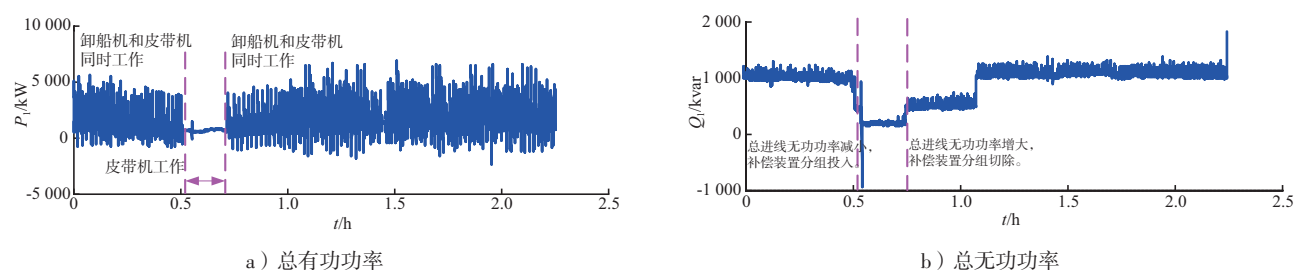


图2 10 kV III段总进线功率趋势

表2 1#变电所10kV III段电源进线的功率

总基波视在功率 S_1/kVA			总基波有功功率 P_1/kW			总基波无功功率 Q_1/kvar			基波功率	真功率
最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	因数	因数
5 713.9	505.08	1 466.6	5 592.4	-933.9	1 190.8	1 275.8	-970.37	856.2	0.81	0.80

1#变电所10 kV III段电源进线的三相平均有功功率为1 190.8 kW, 且有功功率变化剧烈, 但是其无功功率变化相对较平稳。根据1.2节分析结果, 剧烈的有功功率变化主要是由于卸船机负荷造成的, 而平稳的无功功率主要是由带式输送机产生的。

在0.5 h左右, 卸船机停止工作, 冲击性有功功率消失, 10 kV III段进线无功功率降低, 主要原因是10 kV母线下(300+600+900) kvar的无功补偿装置开始分组投入运行。当卸船机再次投运时, 无功补偿装置随即退出运行, 10 kV III段进线无功功率相应地增大。

针对这种情况, 需要分析该无功补偿的现有的投切策略, 进而制定新的投切策略以彻底解决该问题。

2.2 瞬时功率因数和平均功率因数

瞬时功率因数的定义: 某一时刻供电线路的基波有功功率和视在功率的比值, 它随着用电设备的类型、负载率高低以及电压高低而时刻在发生变化, 其计算公式为^[5]:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (1)$$

平均功率因数的定义: 单位时间内供电线路基波有功电量除以视在电量, 其计算公式为^[5]:

$$\cos\varphi_2 = \frac{\sum(Pt)}{\sqrt{[\sum(Pt)]^2 + [\sum(Qt)]^2}} \quad (2)$$

式中： P 为单位时间内各时刻的有功功率； Q 为单位时间内各时刻的无功功率； t 为分析时间间隔。

对10 kV III段电源进线进行瞬时功率因数和平均功率因数的趋势分析，得到其趋势，见图3。

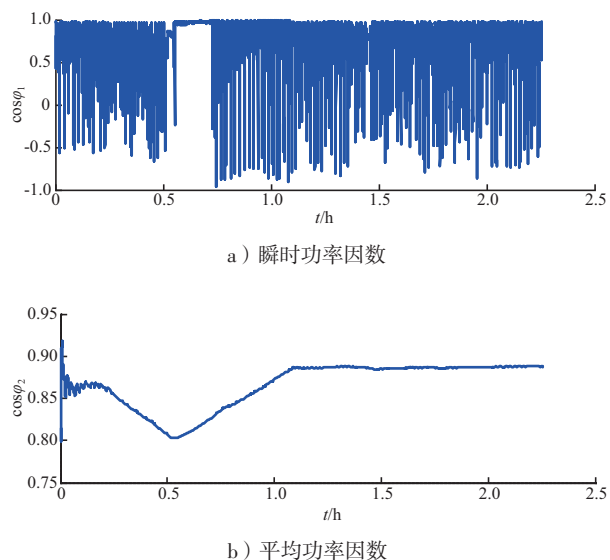


图3 1#变电所10 kV III段电源进线功率因数趋势

由图3可以看出，10 kV III段电源进线瞬时功率因数变化剧烈，而平均功率因数较低，并且随着卸船机在0.5 h附近停运，进线平均功率因数达到最低，此时无功补偿装置控制器发出控制指令，无功补偿支路投入工作，平均功率因数为0.80左右。因此，该无功补偿的控制策略是按照平均功率因数进行投切控制的，卸船机退出运行时进线平均功率因数降低，投运时进线平均功率因数升高。

2.3 控制策略的确定

根据以上分析结果，该散货码头无功补偿装置的控制策略是按照平均功率因数来进行投切控制的。此时尽管总进线存在着平稳的无功功率，需要投入无功补偿支路，但是由于控制策略的原

因，该无功补偿装置不能投运，无法补偿由带式输送机产生平稳的无功功率。因此，该无功补偿装置的控制策略是有问题的。

控制策略的确定：不改变原有硬件设备的情况下，只对该无功补偿的控制策略进行改造，以10 kV电源进线平稳无功需求作为控制目标，实现10 kV电源进线平均功率因数达到0.98以上目标。

该散货码头每段10 kV母线下均设置了(300+600+900) kvar的无功补偿装置，采用交流真空接触器投切控制。如果10 kV进线的无功功率在 $300 \text{ kvar} \leq Q \leq 600 \text{ kvar}$ 时，投入一组300 kvar无功补偿支路；如果10 kV进线的无功功率在 $600 \text{ kvar} \leq Q \leq 900 \text{ kvar}$ 时，投入一组600 kvar无功补偿支路；以此类推在10 kV进线无功功率处于不同区间时，补偿支路的投切策略。

3 改造效果及效益分析

3.1 改造后10 kV进线功率分析

改造后10 kV III段总进线的基波功率变化趋势见4，其功率统计见表3。

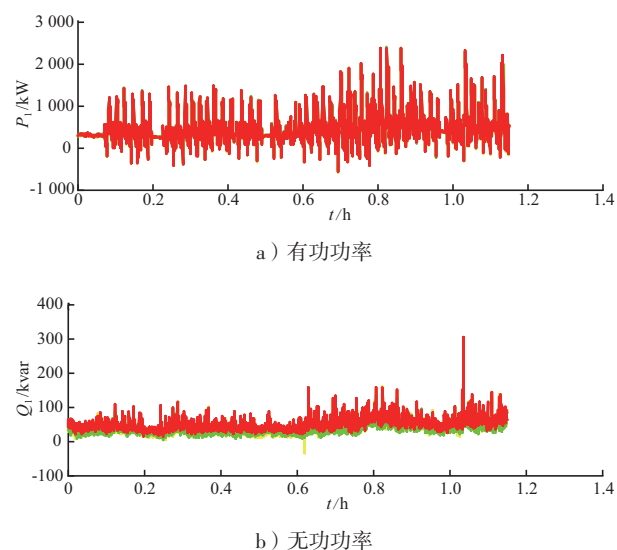


图4 改造后10 kV III段总进线基波功率趋势

表3 改造后10 kV III段总进线功率

总基波视在功率 S_1/kVA			总基波有功功率 P_1/kW			总基波无功功率 Q_1/kVar			基波功率 因数	真功率 因数
最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值		
7 135	96.61	1 422.3	7 119.8	-1 749.9	1 416.4	900.2	7.9	129.3	1.00	0.99

由表2和表3可以看出：无功补偿装置控制策略改造后，电源进线平均功率因数明显提高。从

视在功率来看，2次测试时的负荷容量大致一样，具有较强的可比性。改造前基波平均功率因数为

0.81，改造后基波功率因数为1.0；进线平均无功功率从856.2 kvar降为129.3 kvar。

3.2 经济效益分析

表4是该散货码头在无功补偿装置控制策略改造前后的统计数据，其中3,4月份是无功补偿装置改造前的统计数据，8,9月份是无功补偿装置改造后的统计数据。

表4 改造前后平均功率因数及进线电量			
月份	供电线路	平均功率因数	电量/(kW·h)
3月	1G202 II段电源进线	0.909	325 800
	1G302 III段电源进线	0.883	299 800
	1G402 IV段电源进线	0.928	468 800
4月	1G202 II段电源进线	0.680	443 800
	1G302 III段电源进线	0.893	422 600
	1G402 IV段电源进线	0.914	585 600
8月	1G202 II段电源进线	0.975	620 800
	1G302 III段电源进线	0.979	608 600
	1G402 IV段电源进线	0.976	698 200
9月	1G202 II段电源进线	0.983	120 400
	1G302 III段电源进线	0.980	637 800
	1G402 IV段电源进线	0.980	728 800

根据国家发改委价格（2004）1038号文件中关于力调电费的有关规定^[6]，该散货码头无功补偿装置改造前后各2个月实际力调电费的经济效益分析见表5，其中每1kW·h电量按照人民币1.0元计算。

表5 改造前后各2个月实际力调电费的经济效益 元		
月份	罚款	奖励
3月	2 998	2 598.3
4月	55 369	878.4
8月		14 457.0
9月		11 152.5

由表5可以看出，无功补偿装置改造前的2个月内用户支付力调电费罚款约5.84万元，只获得电费奖励3 476.7元，而改造后的2个月内用户无力调电费罚款，并将获得2.56万元的奖励。

由此可见，无功补偿装置的改造所带来的经济效益相当可观。

5 结语

1）控制策略好坏决定了无功补偿装置是否真正发挥作用，是企业用户进行无功补偿投资效益最大化的关键。

2）无功补偿控制策略应该根据用户用电设备的功率特性来科学地制定。

参考文献：

[1] 李捍平. 静止无功补偿装置在港口供电系统的应用[J]. 华东电力, 2009(10): 137-140.

[2] 曹晓东. 无功功率补偿装置在港口供电系统中应用[J]. 港口科技, 2009(6): 13-14.

[3] 周毅华. 浅谈无功功率及无功补偿在配网中的应用[J]. 科技资讯, 2009(16): 140.

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

[5] 赵新卫. 中低压电网无功补偿实用技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.

[6] 水利电力部, 国家物价局. 关于颁发《功率因数调整电费办法》的通知((83) 水电财字第215 号)[R]. 北京: 水利电力部, 1983.

（本文编辑 武亚庆）

