

论动态无功补偿在大功率电动机起动中的应用研究

李 雪, 高 璇, 张丽娜

(中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

摘要: 通常大功率电动机直接起动时起动电流能达到额定电流的 6 ~ 8 倍; 星三角起动情况下达到额定电流的 3 倍; 软起动情况下电动机起动电流一般为额定电流的 2 ~ 5 倍。因此, 不论使用哪种起动方式, 为了满足大功率电动机的起动需求, 均会导致为电动机供电的变压器和发电机设计容量的大幅增加。提出了动态无功补偿设备 (SVG) 作为大功率电动机起动时临时补充电源的方法, 通过技术和经济分析, 验证了该方案能够大幅降低配电系统的设计容量, 并增加了配电系统的灵活性, 降低了生产成本。

关键词: 大功率电动机; 起动方式; 配电系统容量; SVG

Study on the application of dynamic reactive power compensation in starting a high-power motor

LI Xue, GAO Xuan, ZHANG Lina

(China National Offshore Oil Corporation Research Institute Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: Normally, the starting current of a high-power motor can reach 6 to 8 times of the rated current when the motor is directly started. The method of star-delta can reach 3 times of the rated current when it is started. The motor starting current is usually 2 to 5 times of the rated current when the motor is started under soft start. Therefore, no matter which kind of starting method is used, in order to meet the demand for starting a high-power motor, it will cause a substantial increase in the design capacity of transformers and generators which supplying power to the motor. A dynamic reactive power compensation device (hereinafter referred to as SVG) is proposed as a method of temporarily replenishing power when the high-power motor is started, and performs technical and economic analysis. This solution can significantly reduce the design capacity of the power distribution system, increase the flexibility of the power distribution system, and reduce production costs.

Key words: high-power motor; atarting method; capacity of power distribution system; SVG

0 引言

海上油气田电气方案的确定需要综合考虑技术可行性、经济效益以及设备占地空间等多种因素。选择海上平台大功率电动机起动方案时, 不仅需要满足大功率电动机的起动需求, 还需要考虑为电动机供电的变压器和发电机设计容量。

以涠洲某油田为例, 其平台上设1台柴油发电机作为应急电源, 以满足在主电源失电时, 平台上重要应急设备及系统的用电要求。该应急发电机还作为平台主电站黑起动电源及消防电源。当主发电机相关区域着火造成主发电机关停时, 应急发电机运行并起动电动消防泵, 该平台火灾

工况下应急负荷约为610 kW, 其中电动消防泵额定功率为335 kW。

电动消防泵在火灾工况下应急负荷占比较大, 且其额定功率很高, 为了保证电动消防泵的起动要求, 即使采用星三角起动或是软起动也一定会造成应急发电机容量的骤增, 并直接影响该油田的初始投资成本。因此, 本文提出一种新的设计思路, 考虑设置SVG作为电动消防泵起动时的临时补充电源, 以降低为其供电的应急发电机容量和投资成本^[1-2]。

1 SVG无功补偿原理

SVG是指由电力半导体桥式变流器组成的自换相电路来进行动态无功补偿的装置。其主要由起动装置、连接电抗器/连接变压器、功率阀组和控制保护系统等部分组成^[3], 如图1所示。

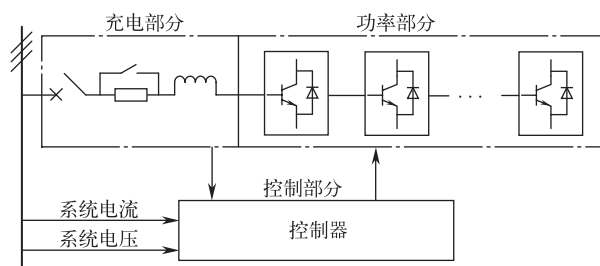


图1 SVG组成结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of SVG composition structure

将SVG等效为如图2所示电路图^[3], 该图中不考虑连接电抗器和变流器的损耗。其中, 电网电压、连接电抗器和SVG功率阀组上的交流电压分别为 U_s 、 U_L 和 U_i , 其相量关系为

$$U_L = U_s - U_i$$

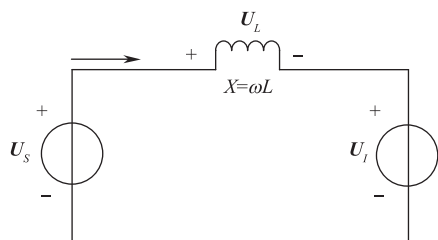
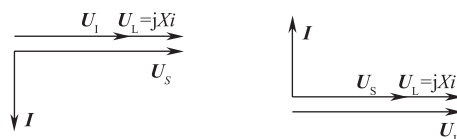


图2 SVG单相等效电路图

Fig. 2 SVG single phase equivalent circuit diagram

SVG工作原理示意图如图3所示^[3]。当SVG

接收系统采集的电压、电流信号并由控制器分析判断出SVG需要发出何种无功电流后, 便可通过控制功率阀组的电压 U_i 来改变连接电抗器的电压 U_L , 进而控制连接电抗器的电流, 也就是SVG从电网吸收的电流 I 。使 U_i 与 U_s 同相, 当 $U_i < U_s$ 时, SVG从电网吸收的无功电流滞后电网电压 U_s , I 为感性电流, SVG发出感性无功, 吸收电网中超前的无功功率, 相当于电抗器; 当 $U_i > U_s$ 时, SVG从电网吸收的无功电流 I 超前电网电压 U_s , I 为容性电流, SVG发出容性无功, 发出超前的无功功率, 相当于电容器。



(a) SVG发出感性无功向量图 (b) SVG发出容性无功向量图

图3 SVG工作原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of SVG working principle

如上分析, SVG可以根据电网运行工况和负荷特点, 自动控制其输出无功功率的性质(感性或容性)和大小, 故可以等效为大小能够连续调节的电抗器或电容器。

大电动机起动时感性无功需求非常大, 起动电流倍数高。采用SVG作为大功率电动机起动时临时补充电源, 可以及时发出所需无功, 从而减少其对发电机无功的需求, 能够起到优化设计的作用。

2 技术方案分析

2.1 初始方案和优化方案概述

初始方案为电动消防泵采用软起动方式, 应急发电机功率设置为1 400 kW。可以看出, 应急发电机容量过大, 在电动消防泵起动完成后火灾工况下负荷仅占应急发电机容量不到50%, 热备用容量过高。

优化方案采用400 kvar SVG和1 000 kW应急发电机方案替代初始方案, 电动消防泵仍采用软起动方式。此方案能够大幅降低应急发电机的容量, 由于SVG属于就地按需补偿设备^[4], 也增

加了配电系统的灵活性。

2.2 电动消防泵起动要求

根据《工业与民用配电设计手册》，电动消防泵起动时加速时间不应超过10 s，且电动消防泵供电的应急母线压降不超过15%，在电动消防泵起动全程应急发电机无过载工况。

2.3 模型仿真分析

优化方案利用ETAP仿真软件进行技术可行性分析，其中应急发电机的参数设置见表1，仿真结果见表2，如图4~图6所示。

表 1 应急发电机参数

Tab. 1 Emergency generator parameters

设备名称	额定容量 / kW	额定电压 / V	功率因数	数量	X_d'' (%)	X_d' (%)
应急发电机	1 000	400	0.8	1	9	11

表 2 工况设置和母线压降计算

Tab. 2 Working condition setting and bus voltage drop calculation

起动方式	应急发电机容量 / kW	SVG / kvar	电动机额定 / kW	电动机功率因数	应急母线压降 (%)
软起动	1 000	400	355	0.89	9.7

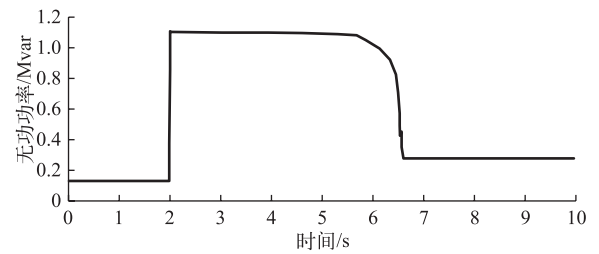


图 4 应急发电机无功功率输出曲线
Fig. 4 Reactive power output curve of emergency generator

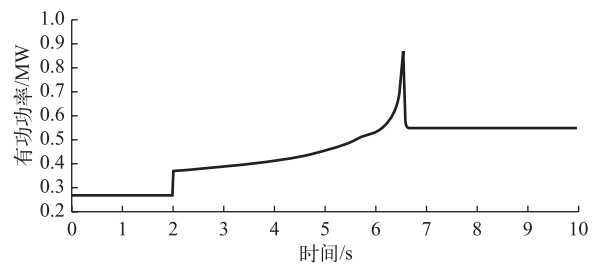


图 5 应急发电机有功功率输出曲线
Fig. 5 Active power output curve of emergency generator

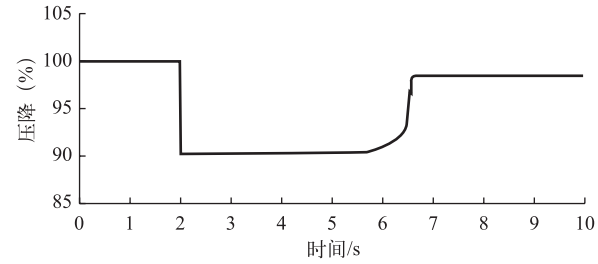


图 6 应急母线压降曲线
Fig. 6 Emergency bus voltage drop curve

由计算结果可以看出，当采用400 kvar SVG和1 000 kW应急发电机^[5]，且采用电动消防泵软起动方案时，电动消防泵起动完成时间不超过10 s，应急母线压降控制在9.7%，且应急发电机全程无过载，满足相关技术要求^[6]。

3 经济性分析

由初始方案和优化方案概述可知，初始方案和优化方案的主要区别在于初始方案采用1 400 kW应急发电机，而优化方案采用400 kvar SVG和1 000 kW应急发电机，两个方案在火灾工况下均能够满足电动消防泵的起动需求。

初始方案投资约450万，采用优化方案后投资费用较初始方案节省约10%，该费用节省额度将随着配电系统设计容量的增加而增加。

4 结束语

本文提出了利用SVG作为大电动机起动时临时补充电源的方法^[7]，并以涠洲某油田为算例，进行了详细的技术分析和经济性分析。从分析结果可以得出，当采用SVG作为大电动机起动时临时补充电源时，能够满足火灾工况下电动消防泵的起动要求，且大幅降低了配电系统的容量以及投资费用，增加了配电系统的灵活性。

参考文献

[1] 靳龙章. 电网无功补偿实用技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
[2] 苑舜. 配电网无功优化及无功补偿装置[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
[3] 高璇. SVG动态无功补偿在海上油气田电网中的

- 应用[J]. 船舶工程, 2021, 43(增刊1): 457-461.
- [4] 姚小寅, 孙元章, 王志芳. 电力系统无功源最佳配置地点的研究[J]. 电力系统自动化, 1999(3): 12-15.
- [5] 陈兴华, 张尧, 武志刚. 基于关键路径确定无功补偿装置配置地点的改进算法[J]. 电网技术, 2004, 28(2): 53-55.
- [6] 魏澈, 李强, 万光芳. 海洋石油电力系统无功补偿应用研究[J]. 电气应用, 2013, 32(19): 32-35.
- [7] 陈军, 傅祥廉. 基于SVG的海上油田电网无功补偿分析[J]. 石油和化工设备, 2017, 20(12): 9-13.

作者简介

李雪(1986—), 女, 硕士, 工程师, 从事海上油气田电气专业工作。

(收稿日期: 2022-01-28)