系统与附件

基于港口瞬变负荷的蓄能机组运行经济性研究

益　斌，程晓夏，李东超，燕龙根，潘建聪

（七一一研究所，上海 200090）

摘　要：本文对已成功用于某港口的蓄能机组应急电站的运行开展经济性研究，主要从初始投资、燃油费用、滑油费用和运行维护费用这四方面与普通机组对比，来说明蓄能机组在港口应急电站中卓越的经济性。

关键词：港口应急电站；蓄能机组；经济性研究

中图分类号：TK423.4+3　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001-4357(2015)01-0035-03

Economic Research of Diesel Gensets with Energy Storage Based on Impact Load of Port

Yi Bin, Cheng Xiaoxia, Li Dongchao, Yan Longgen, Pan Jiancong

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090)

Abstract: The economic research of the diesel gensets running with energy storage which has been successfully used in a certain port emergency power station is carried out. It is compared with ordinary diesel gensets mainly from four aspects of initial investment, fuel cost, lube oil cost and operation & maintenance cost, to illustrate the remarkable economical efficiency of the diesel gensets with energy storage in port emergency power station.

Keywords: port emergency power station; diesel gensetswith energy storage; economic research

0　引　言

港口作为国际贸易的重要设施对城市经济、区域经济乃至国家经济的发展具有举足轻重的影响。而供电可靠性作为港口可靠性的重要指标之一，在港口设计建设时有严格要求。但在某些特殊情况下，港口也会发生停电故障。在这种状态下，为保证港口的正常运行，应急电站必不可少。卓越的应急电站设计方案应在保证港口设备正常运行的情况下，使初期投资和运行费用最小化。

现以某港口已成功实施的蓄能机组应急电站为例，说明其良好的经济性。

1　港口用电特性

某港口应急电站用电特性为：满足该港口的两台卸船机的卸船作业，一台装船机的装船作业，以及与之配套的堆取料机、皮带机等设备同时作业时的生产用电负荷。具体用电负荷如图 1 所示。

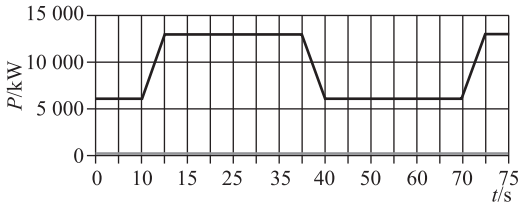

图 1　某港用电负荷曲线

一般应急机组在 50% 冲击负荷下可达到的供电品质为：瞬态电压波动率：-15% ~ +20%；瞬态调速率：±10%，即频率范围为 45 ~ 55 Hz。

由于该港口用应急柴油发电机组上、下限负荷相差甚多，基本运行负荷为 6 000 kW，瞬时冲击

收稿日期：2014-06-17；**修回日期**：2014-12-05

作者简介：益斌(1973-)，男，高级工程师，主要研究方向为柴油机电站自动控制，E-mail：yibin@csic-711.com。

负荷为 7 000 kW，在此情况下，要达到电网瞬态电压波动小于±7%，频率范围为 48.5 ~ 51 Hz 的技术指标，通常有两种方法：

（1）一般方法是通过增大备用电站容量来满足港口这类特殊用电负荷的要求。参照相关文献资料，系统的冲击负荷不应超过机组剩余容量的 30%，那么，至少需要 12 台额定功率为 2 000 kW 的发电机组[1]。

（2）采用储能机组。由于增加了储能装置，使得机组在低负荷时将机组富余的能量储存在储能装置中；在冲击负荷时将储能装置中的能量释放，从而使整个系统稳定运行。

因此，要保证港口机械的可靠运行，要求应急发电机组要有极强的抗冲击性。此外，由于该港口应急电站的特殊要求，即应急电站需设计为可移动式，故对应急机组的外形尺寸及重量有所要求，为了满足上述要求，现以同一型号额定功率为 2 185 kW 的柴油机为例，阐述蓄能机组与一般机组的经济性对比。

2 港口机组经济性指标

港口用柴油发电机组与其他类型的发电厂一样，通过一些技术经济指标来衡量其发电的经济性和设备运行的可靠性[2]。主要经济指标包括初始投资、发电燃油消耗、润滑油耗、维护保养费用，以上四个指标的具体考核方法介绍如下：

2.1 初始投资

港口应急机组的初始投资主要取决于机组的台数，因港口负载的特殊性，一般电站的电站容量确定方法不适用于该类型的应急电站。具体机组台数确定的主要原则如下：

（1）力求机组在经济工况区运行

柴油机耗油率及发电机效率均为负荷的函数，因此柴油应急发电机组的耗油率取决于应急发电机组的使用功率。合理配置的应急柴油发电机组要既能满足机组的负荷需要，又能满足柴油机经济运行，避免柴油机在非经济工况区长期运行。中小型柴油应急柴油发电机组的经济工况区（即低油耗率区）为 90% 的额定功率。

（2）机组的装机功率利用率要高

机组装机功率利用系数 α 可由下式表示：

$$\alpha=\frac{\text{电网最大常用功率}}{\text{总装机功率（扣除备用功率）}}\times 100\% \qquad (1)$$

α 值愈大，机组的装机功率利用率愈高，反之，装机利用率低。

（3）要有足够的异步电机起动容量。

2.2 年耗燃油费用

单台柴油发电机组年耗燃油费用如下。

$$M_1=Ph\,g_{燃油}P_{柴油价格}\times 10^{-6} \qquad (2)$$

式中：M_1 为单台柴油机组的年耗燃油费用，元；P 为柴油发电机组正常输出功率，kW；h 为柴油发电机组年运行时间，h；$g_{燃油}$ 为柴油发电机组在正常输出功率下的燃油耗油率，（g·(kW·h)$^{-1}$）；$P_{柴油价格}$ 为燃油价格，元/t。

2.3 年耗滑油费用

单台柴油发电机组年耗机油费用如下式：

$$M_2=Ph\,g_{滑油}P_{滑油价格}\times 10^{-6} \qquad (3)$$

式中：M_2 为单台柴油机组的年耗滑油费用，元；P 为柴油发电机组正常输出功率，kW；h 为柴油发电机组年运行时间，h；$g_{燃油}$ 为柴油发电机组在正常输出功率下的滑油耗油率，（g·(kW·h)$^{-1}$）；$P_{柴油价格}$ 为柴油机滑油的价格，元/t。

3 经济性分析

本文以 12 台额定功率也为 2 000 kW 的一般机组为方案一；7 台同型号柴油机，额定功率为 2 000 kW的蓄能机组为方案二（以下以上角标 1、2 区分）。作为应急电站，一般每年的运行时间为 600 h，现将两套方案经济性指标量化比对如下：

3.1 初始投资

采用储能机组后，所需的机组台数计算如下：

机组常用的最大负荷为：$NL_{max}=13\ 000$ kW

则在 93% 的装机功率利用率下，储能柴油发电机组的容量：$NT\geqslant 13\ 000/0.93=13\ 978$ kW

如此，所需的储能机组台数为 7 台，相比一般应急机组所需 12 台，采用储能机组将大大降低初期投资。

表 1 初始投资对比

初始投资	投资额/万元
$I^1_{初始投资}$	3 840
$I^2_{初始投资}$	2 450
$\Delta I=I^1_{初始投资}-I^2_{初始投资}$	1 390

3.2 燃油费用

燃油费用作为港口应急发电机组电站运行的主要成本，应急发电机组在整个负载变化中的燃油消耗率将决定电站的燃油费用。而选定的该柴油机的燃油消耗率在额定工况时为 208（g·(kW·h)$^{-1}$），具体油耗如图 2 所示。

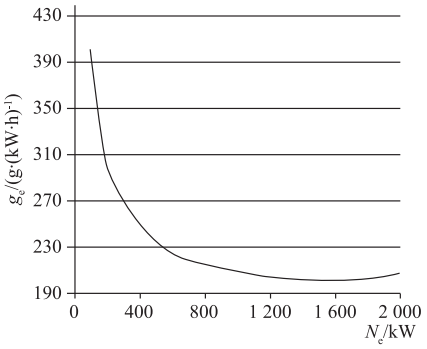

图 2　燃油消耗率曲线

由图 2 可以看出，柴油机在低工况时，其燃油消耗率很高，在 90% 额定功率时，其燃油消耗率最低。但若选用一般应急发电机组，则 12 台发电机组在基本负荷运行时，其功率为额定功率的 25%，在此种工况运行时，其燃油消耗率约为 240（g·(kW·h)$^{-1}$），极大地增加了运行成本。但采用储能机组后，用电负荷上、下限波动时，对整个储能机组不会有太大影响，只是体现为储能装置的吸收和释放能量，从而储能机组总是在 86% 额定功率下运行，在此工况下燃油消耗率最低，极大地降低了运行费用。根据式(2)，具体油耗数据见表 2。

由图 1 港口用电负荷可知，在该电站年运行时间为 600 h 的情况下，6 000 kW 与 12 000 kW 运行时间各占一半，即分别为 300 h。

表 2　燃油费用对比

燃油总费用/万元	燃油消耗率/(g·(kW·h)$^{-1}$)	运行功率/kW	运行时间/h	燃油消耗量/t	燃油费用/万元
$F^1_{燃}$	216	12 000	300	1209.6(777.6+432)	943.488
	240	6 000	300		
$F^2_{燃}$	202	12 000	300	1123.2(727.2+396)	876.096
	220	6 000	300		
$\Delta F_1 = F^1_{燃} - F^2_{燃}$	—	—	—	86.4	67.392

注：燃油价格约为 7 800 元/t

3.3　滑油费用

滑油消耗主要取决于滑油消耗率，而对该选定机型的柴油机滑油消耗率为各工况下燃油消耗率的 0.5%，在此情况下，根据式(3)，具体数据见表 3。

表 3　滑油费用对比

滑油总费用/万元	滑油消耗率/(g·(kW·h)$^{-1}$)	运行功率/kW	运行时间/h	初次所需滑油量/t	滑油总消耗量/t	滑油费用/万元
$F^1_{滑}$	1.08	12 000	300	2.4	8.448(3.888+2.16+2.4)	24.499 2
	1.2	6000	300			
$F^2_{滑}$	1.015	12 000	300	1.4	7.034(3.654+1.98+1.4)	20.398 6
	1.1	6 000	300			
$\Delta F_2 = F^1_{滑} - F^2_{滑}$	—	—	—	1	1.414	4.100 6

注：滑油价格约为 29 000 元/t

3.4　维护保养费用

由于本文两种方案选用同种机型的柴油机及发电机，只是在蓄能机组中加装了蓄能装置，故两种方案的维护费用主要取决于各方案中机组的运行工况和机组台数，方案二中的机组运行工况要优于方案一中的机组，故其维护保养费用低于方案一的维护保养费用。该项费用是难以精确计算的，现根据柴油机要求的维修期及经验统计如下，具体数据见表 4。

表 4　维护保养费用对比

维护保养费用/万元	单机平均维护保养费用/(万元/机)	运行时间/(小时/年)	机组数量/台	维护保养费用/万元
$M^1_{维修}$	4.2	600	12	50.4
$M^2_{维修}$	3.5	600	7	24.5
$\Delta M = M^1_{维修} - M^2_{维修}$	—	—	5	25.9

4　总　结

综上所述，由于港口机械设备对供电品质的要求极高，故采用蓄能机组作为港口的应急机组，其卓越的经济性主要体现在以下几点：

（下转第 45 页）

（2）焊接前使用电加热板将机体焊补位置预热至 150±20 ℃，采用薄层、多层、短焊道焊补；

（3）每焊一层，在红热状态下用尖角小锤，迅速锤击焊区及热影响区；

（4）层温控制：每焊好一层冷却到 50 ~ 60 ℃后，再焊下一层；

（5）焊接过程中注意清除熔渣，使焊区和本体充分融合；

（6）焊缝要饱满，并高出平面 3 ~ 5mm；

（7）焊后用石棉布保温冷却至室温后按样板打磨焊接区域；

（8）对机体进行除应力退火。

3.2　焊补结果

焊补完成后对机体进行硬度（HB）检测、PT、RT 探伤检验，质量良好，检测、检验结果符合要求。

4　小　结

通过堆焊模拟试验，掌握了 QT400-18 类型球墨铸铁的堆焊工艺，该堆焊工艺重复性和稳定性较好；堆焊位置的机械性能、宏观及微观金相符合要求。将试验成果应用于某球墨铸铁柴油机机体的修复，修复后机体质量良好，检测结果均符合要求。

参考文献

[1] 中国机械工程学会铸造专业学会. 铸造手册 第一卷 铸铁[M]. 北京：机械工业出版社，2000.

[2] 周振丰. 铸铁的焊接. 焊接冶金学[M]. 北京：机械工业出版社，1993.

[3] EN1563，Founding-Spheroidal graphite cast irons[S]. European Committee for Standardization，2005.

（上接第 20 页）

5　结　论

试验分析表明，两种型式喷嘴在雾化性能上都能满足 SCR 系统对喷射系统的要求，与 CFD 仿真的计算结果也比较吻合。相比之下，空气辅助雾化喷嘴更具有优势：

（1）雾化颗粒平均直径同等情况下，更能避免喷嘴口处尿素结晶问题的出现；

（2）更能兼顾雾化颗粒平均直径和贯穿距离两个互为矛盾的因素，使尿素颗粒能够反应完全；

（3）喷射系统更为简单、可靠，而不须采用昂贵的高压计量泵装置。

当然，实际的喷嘴雾化效果还有待于 SCR 系统在台架上的测试结果分析。

参考文献

[1] 梁恩胜. 船舶柴油机的排放污染与 SCR 技术[J]. 装备制造技术，2009(11)：145-147.

[2] 姜磊，葛蕴珊，李璞，等. 柴油机尿素 SCR 喷射特性的试验研究[J]. 内燃机工程，2010，31(4)：30-34.

[3] 姜磊，葛蕴珊，李璞，等. 柴油机尿素 SCR 后处理系统排放特性试验研究[J]. 内燃机工程，2010，31(5)：30-35.

[4] 王良林. 柴油机 SCR 无空气辅助尿素喷射系统控制技术开发[D]. 吉林：吉林大学，2012.

（上接第 37 页）

1）将极大的降低初始投资；

2）整个应急电站的运行维护费用将远低于满足同样电品质的一般机组，而且随着运行时间的持续，其经济性将更为显著。

3）据该港口用户反馈，一次停电 1 天，由于采用该应急机组，确保了码头不停产，挽回经济损失约 600 万元，投入回报率很高，低碳节能。

参考文献

[1] 楚万秀，卫冬生：应对港口瞬变负荷的蓄能柴油发电机组电站的设计[J]：柴油机，2008(5)；36-38.

[2] 吴杰宏：船舶电站选型设计方案评估的研究[C]：上海交通大学，2008(5)；36-38.