

# 基于储能的柴油发电机组效率提升研究

郑 义<sup>1</sup> 吴炫睿<sup>2</sup> 林瑶瑶<sup>1</sup>

(1. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038; 2. 东北大学机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110057)

**[摘要]** 大部分矿山企业由于地处供电网络难以覆盖或经济欠发达的无电地区,且用电负荷大,采用柴油发电机组孤网自供电模式,存在发电效率低、发电成本高、运维工作量大、环境污染等问题。利用储能系统的特点,结合海外矿山企业的需求,搭建新型的储能柴发供电网络,介绍了其网络架构、系统组成以及工作原理,并结合项目实例,说明基于储能的柴油发电机组实现了发电效率的显著提升,降低机组单位发电油耗,减少对环境的空气与噪声污染,实现节能减排、降本增效、绿色环保。

**[关键词]** 孤网供电; 储能; 柴油发电机组; 负载率; 黑启动

**[中图分类号]** TM314<sup>+</sup>.2

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1008-5122(2022)01-0044-05

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.01.011

## 0 前言

伴随着中国“一带一路”政策出台,越来越多的中国企业走出国门,矿产资源企业作为其中重要的一份子,不仅行动早,而且遇到的困难也较多,用电难便是其中最为棘手的困难。

大部分矿山企业由于地处供电网络难以覆盖或经济欠发达的无电地区,且用电负荷大,采用多台柴油发电机组(以下简称“柴发机组”)并列运行的孤网自供电方式。孤网供电下的柴发机组虽然解决了供电问题,但其存在的发电成本高、运维工作量大、环境污染等问题一直困扰着企业。如何提升柴发机组发电效率、减少运维工作量、降低发电成本,成为亟待解决的问题。

## 1 柴发机组供电存在问题

大、中型矿山企业的用电负荷较大,对供电的稳定性和可靠性要求较高,单台柴油发电机无法满足供电容量需求,因此需要多台柴发机组并列运行。在孤网供电模式下,柴发机组是唯一的供电电源,若出现用电负荷波动或个别柴发机组因突发故障退出

运行等情况,便是对供电网络的重大考验。为解决此类问题,保证供电的稳定性与可靠性,企业只能采用“N+M”模式供电,即在满足常规供电容量的基础上,根据实际需要额外配置1台或多台柴发机组,多台机组以互为热备用方式并列运行<sup>[1]</sup>。此外,为解决柴发电站的黑启动问题,还需额外配置一台小功率的柴油发电机<sup>[2]</sup>。

虽然新能源技术飞速发展,出现了如风能发电、太阳能发电等新技术,但是它们均具有间歇性和随机性的特性,因此只依靠新能源发电无法解决无电地区当前的痛点问题。

孤网模式下,多台柴油发电机组互为热备用的供电系统存在诸多问题:

1) 柴发机组运行负载率低。为保证供电的可靠性与稳定性,通常情况下柴发机组的整体负载率约为60%,留有充足的裕量作为热备用容量,应对各类突发情况。

2) 柴发机组发电效率低,单位发电油耗高。柴发机组的发电效率与诸多因素有关,其中最直接的一个因素是机组的运行负载率。柴发机组的负载率为75%~85%时,发电效率最高(图1)。但孤网发电模式下的柴发机组负载率较低,导致发电油耗较高<sup>[3]</sup>。

3) 柴发电站初始投资高。为解决热备用容量问题,柴发电站在初始建设时必须额外多购置几台柴油发电机组。此外,为解决孤网停电的黑启动问

**[收稿日期]** 2021-09-20

**[作者简介]** 郑义(1986—),男,辽宁阜新,硕士,工程师,主要从事电气设计、新能源微电网等工作。

**[引用格式]** 郑义,吴炫睿,林瑶瑶.基于储能的柴油发电机组效率提升研究[J].有色冶金节能,2022,38(1):44-48.

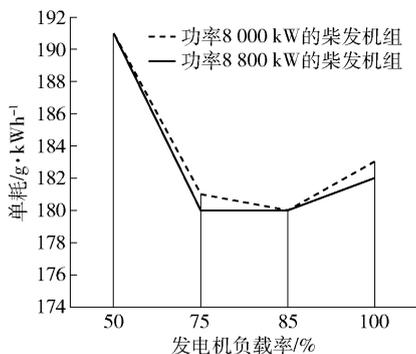


图1 某机组厂家经验发电油耗曲线

题,需配置黑启动电机,这两者都增加了初始投资。

4) 多台柴发机组互为热备用的方式,不仅增加运行机组台数,而且导致单台机组运行时间长,机组自身损耗增加,维护周期缩短,机组寿命降低。

5) 日常运行维护费用高。柴发机组数量多,且黑启动电机的存在导致柴发电站的日常运维工作量增大,进一步提高了发电成本<sup>[4]</sup>。

6) 供电质量相对较差。由于柴发机组的响应速度相对于电力电子设备较慢,当供电网络出现波动时,柴发机组的响应时间较长,影响供电质量。

7) 环境污染。柴油机组在运行过程中会不可避免地大气造成污染,污染的问题大致包括氧化、酸化、光化学烟雾、颗粒物、温室效应以及废气等。此外,柴油发电机运行时通常会产生 95 ~ 125 dB (A) 的噪声,人如果长期生活在 80 dB (A) 以上的环境中,会出现情绪烦躁、听力下降等问题。因此每多开一台柴油发电机,就增加一份污染。

## 2 基于储能的柴发机组效率提升系统

针对孤网发电模式下柴发机组供电存在的上述问题,展开基于储能的柴发机组效率提升系统研究,在原系统中加入简单、易行的储能装置,组成新型的储能柴发供电系统,不仅可以显著降低发电成本,而且可以降低环境污染,为企业提供可靠、稳定、高质量、低成本的综合供电电源解决方案<sup>[5]</sup>。

### 2.1 储能柴发系统架构

储能柴发供电系统是规模相对较小的分散式独立孤网供电系统,由多台柴油发电机组、储能单元、能量转换装置、用电负荷、监控与保护智能组合形成的发、供、配功能一体的系统,是一个能实现智能控制、保护和管理的自治、独立的孤网运行系统(图2)<sup>[6]</sup>。

### 2.2 储能系统的组成

储能系统由储能能量单元——磷酸铁锂电池、电池管理系统 BMS、DC/AC 储能双向变流器、变压器、数据监测器、数据采集器等 6 个部分组成。

#### 2.2.1 储能单元

储能单元由具有能量存储功能的磷酸铁锂电池和管理电池的 BMS 组成。

对比当前主流储能产品铅酸电池、三元锂电池、磷酸铁锂电池,综合考虑性能、价格与安全稳定性等因素,选择磷酸铁锂电池作为储能单元<sup>[7]</sup>。

磷酸铁锂电池属于电化学储能装置,每套储能装置由大量单体磷酸铁锂电芯串、并联组成,因此需要专用的电池管理系统(BMS)对每节蓄电池的充、

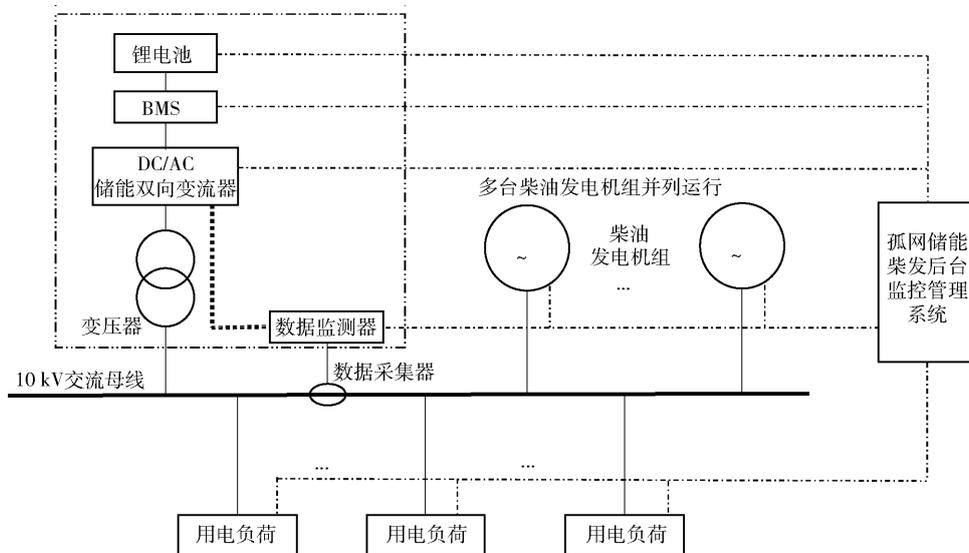


图2 储能柴发供电系统结构图

放电进行控制与保护。

电池管理系统 BMS (Battery Management System) 是电池与用户之间的纽带,主要目的是提高电池的利用率,防止电池出现过度充电和过度放电。

### 2.2.2 储能双向变流器与变压器

储能单元作为能量存储单元,为储能系统的输出提供能量支撑;而储能双向变流器则作为功率单元,为储能系统的输出/输入提供功率支撑。

储能单元的输出为直流,通过 DC/AC 储能双向变流器转换成交流上送至交流母线,对外供电;当储能单元电量不足时,变流器将母线的交流电整流成直流电,为储能单元充电。

储能双向变流器具备与电池管理系统 BMS 的通信接口,能够将电池运行信息上送至后台系统;变流器可控制并记录电池单元直流输出侧的电压、电流、功率以及电池等重要参数,也可以控制与记录变流器交流侧的电压、电流、功率因数、输出(输入)功率、日输入电量、日输出电量以及日功率曲线等主要参数,并上送至后台监控系统。变流器具备控制、功率调节、参数下装等功能,满足孤网系统的各种控制要求。

变压器是一个能量可双向流动的电气设备,将储能双向变流器输出的低压电升压后与柴油发电机组并网,对外供电。柴油发电机也可以通过变压器、变流器为储能单元充电。

### 2.2.3 数据采集器与数据监测器

数据采集器负责实时采集交流母线的电压、电流、频率等主要电气参数,并将参数实时传送给数据监测器。数据监测器实时读取、记录各个电气参数,并与预设定值进行比较。当采集到的参数超过预设值时,则数据监测器发出相应的控制命令,实时传送给储能双向变流器,变流器根据控制命令做出相应的响应。数据监测器与变流器之间采用专用高速通信,确保通信的可靠性与准确性,实现储能系统的毫秒级响应,保证储能系统在供电波动时的响应速度。

## 2.3 后台监控与管理系統

后台监控与管理系統分别与用电负荷、柴油发电机组、数据监测器、DC/AC 储能双向变流器、BMS、储能电池等设备进行实时通信,采集各个设备的各类参数,实时监控整个系统的运行状况。

但后台监控与管理系统的通信实时性为秒级,因此该系统是对整个供电网络相对长时间的调度、

管理与控制,在管理的层面实现能量的合理化利用,以及能量调度的智能优化控制,降低系统的整体用电成本<sup>[8]</sup>。

## 2.4 孤网模式储能柴发供电系统的工作原理

由于柴发机组孤网供电模式供电特点与供电可靠性的要求,每台机组的运行负载率较低,导致整个系统的供电效率低下、供电成本高。加入储能系统后形成的新型智能孤网储能柴发供电系统可以有效解决原孤网供电系统的各类问题,显著降低系统的供电成本<sup>[9]</sup>。

### 2.4.1 正常运行

孤网储能柴发供电系统正常运行时,每台柴发机组负载率为 75% ~ 90% (根据实际工况确定),储能系统处于热备用状态,数据监测器实时动态监测母线参数,当供电网络内有小型负载启停、轻微的负载波动等情况发生时,柴油发电机组可自行调整出力,实现整个供电网络的动态平衡。

### 2.4.2 电网波动

孤网储能柴发供电系统中有大型负荷启动或单台柴发机组出现故障时,由于系统供、配之间的短时间能量不平衡,电网的电能质量下降,数据监测器检测出异常波动后下发控制指令,储能双向变流器接收到控制命令后迅速做出响应,在毫秒级别的时间内即可平抑电网内波动、改善供电质量,在大型负荷启动完毕或柴发机组恢复供电后,储能系统退出,系统维持回原供电模式<sup>[10]</sup>。

### 2.4.3 储能充电

后台监控系统实时监测储能单元的电量,当储能单元电量不足时,后台根据当前的负荷情况,控制储能单元的充电功率。此时,柴发机组不仅为用电负荷供电,同时也通过变压器、储能双向变流器为储能单元充电,保证储能单元的电量充足,以应对各类需要放电的工况。

### 2.4.4 黑启动

在全系统因检修或意外故障停电后,储能系统取代柴发机充当黑启动电源,为整个供电网络恢复部分供电,可提供柴发机组辅助设备的用电,使柴发机组完成启动,并列运行,最终完成整个孤网储能柴发供电系统的黑启动,恢复系统供电。

## 3 项目实例

某海外项目,原系统采用柴发机组孤网供电模

式,为保证供电的稳定性,采用5台柴发机组互为热备用工作方式,平均负载率为61%,平均发电单耗为213 g/kW·h,油耗较高,发电成本较高。在该系统中加入储能系统,搭建储能柴发供电系统,有效降低了系统的发电成本。

加入储能系统后,可将5台柴发机组减少为4台,实现发电机组负载率上升,发电效率也显著提升,平均负载率可提升至约76%,平均发电单耗降低至208 g/kW·h(图3)。

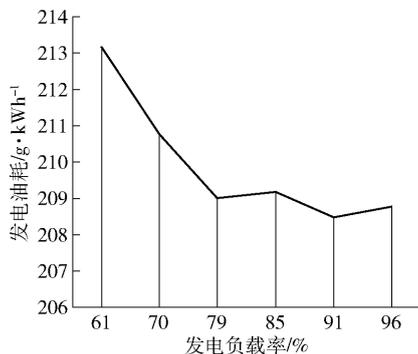


图3 某现场柴发机组实际发电油耗曲线

经实际测算,发电油耗的降低可节省油料6.48 t/d,仅燃料费一项即可每年节省支出约600万元。若考虑机组的日常运维、大修、备品备件等支出,可每年再节省支出约180万元。

综上,储能柴发供电系统可有效解决当前孤网供电企业的柴油发电机组负载率较低问题,将负载率有效提升,从而带来显著经济效益;此外,储能还可以代替原黑启动机组,储能柴发系统从降低油耗、提高机组寿命、降低运维成本等诸多方面有力降低企业的发电成本,减少机组运行台数,降低空气污染物与噪音的排放量<sup>[11]</sup>。

## 4 结束语

储能柴发供电系统解决了传统柴发机组供

电的低负载率问题,不仅进一步提高了企业的用电可靠性与稳定性,而且可显著降低发电成本,带来良好的经济效益,推动海外矿山企业的节能减排、降本增效,提供了一种绿色、简易、经济、可靠的新型供电电源解决方案。

## [参考文献]

- [1] 曾文清. 马钢新区钢轧系统电网孤网运行研究与探讨[J]. 冶金动力, 2011(4):15-17.
- [2] 廖宇腾. 长潭发电公司“黑启动”方案的分析与实施[J]. 电力安全技术, 2004,6(11):50-51.
- [3] 孙燕,王会明,尹静. 小型发动机功率油耗测试系统的研究与开发[J]. 山东内燃机,2004(2):16-18,21.
- [4] 刘腾,刘军. 浅谈柴油发电机组维护保养[J]. 数字化用户,2019,25(5):30.
- [5] 邹才能,赵群,张国生,等. 能源革命:从化石能源到新能源[J]. 天然气工业,2016(1):1-10.
- [6] 刘振亚. 智能电网知识读本[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [7] 黄宇洪,董琴,诸嘉惠. 飞轮及柴油发电混合储能系统应用于微网的仿真研究[J]. 电工电能新技术,2011(3):32-37.
- [8] 孟建辉,石新春,王毅,等. 改善微电网频率稳定性的分布式逆变电源控制策略[J]. 电工技术学报,2015,30(4):70-79.
- [9] 桑丙玉,王德顺,杨波,等. 平滑新能源输出波动的储能优化配置方法[J]. 中国电机工程学报,2014,34(22):3700-3706.
- [10] 高明杰,惠东,高宗和,等. 国家风光储输电示范工程介绍及其典型运行模式分析[J]. 电力系统自动化,2013,37(1):59-64.
- [11] 赵永玲,梁刚. 大功率柴油发电机组电气系统研究[J]. 机电信息,2016(12):15-17.

# Research on Efficiency Improvement of Diesel Generator Unit Based on Energy Storage

ZHENG Yi, WU Xuan-ruì, LIN Yao-yao

**Abstract:** Most mining enterprises, with large electricity loads, are located in areas without electricity which are difficult to be covered by power supply network or economically underdeveloped, hence they adopt the isolated grid self-supply mode of diesel generator unit, bringing problems such as low power generation efficiency, high power generation cost, large operation and maintenance workload and environ-

mental pollution. By making full use of the characteristics of the energy storage system and with a view to the needs of overseas mining enterprises, a new energy storage diesel generator power supply network was built, and its network architecture, system composition and working principle were introduced. In this paper, several project cases were given to illustrate that the power generation efficiency is significantly improved, the fuel consumption per unit of power generation is reduced, the air and noise pollution to the environment is reduced, which means that it can achieve energy saving with reduced emission, increased efficiency with reduced cost as well as more environment-friendly benefits.

**Key words:** isolate grid supply; energy storage; diesel generator unit; load rate; black start

(上接第 38 页)

### [参考文献]

- [1] 邹智勇,刘雅锋,王富强. 铝电解槽集气烟道内部的流动场模拟及结构优化研究[J]. 轻金属,2013(4):31-33,50.
- [2] 王富强,张国斌,赵冰洋. 数值模拟技术在电解槽节能减排中的应用[J]. 轻金属,2013(7):30-32,53.
- [3] 王富强,杨晓东,刘雅锋. 铝电解槽上烟道内的烟气流
- 动场数值模拟研究[J]. 轻金属,2014(11):24-27.
- [4] 刘业翔,李劫. 现代铝电解[M]. 北京:冶金工业出版社,2008.
- [5] 邱竹贤. 预焙槽炼铝[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.
- [6] MALARD Thierry, DEPINOY Maxime. Alba line5 expansion-solutions for a better environment [C] // TMS (The Minerals, Metals Materials Society) Annual Meeting Exhibition, 2008:389-393.

## Electrolytic Cell Off-gas Collection System Based on Numerical Simulation

GEN Pei-jiu

**Abstract:** Using FLUENT to simulate the flue gas flow field and temperature field of electrolytic cell, and combined with the design experience, the multi-stage equal air suction and gas collection flue structure and double flues technology suitable for SY series electrolytic cell were successfully developed. The structure of multi-stage air suction and gas collection flue adopts the form of upper flue gas collection. While strengthening the gas collection effect and balancing the wind pressure distribution in the tank chamber, it can greatly reduce the smoke exhaust volume of the electrolytic tank and reduce the flue resistance by 17% ~ 27%. The double flues technology is improved on the schemes of HYDRO and SOLIOS. The main and auxiliary flues are provided with negative pressure power by the purification fan. During the slotting operation, the main and auxiliary smoke flues collect gas at the same time, and the amount of flue gas can be instantaneously increased by 2 ~ 3 times, so as to effectively control the unorganized emission of pollutants in the electrolysis workshop and achieve the purpose of energy conservation and emission reduction.

**Key words:** numerical simulation; electrolytic cell; off-gas collection flue; equal amount suction; twin-flue; energy-saving and emission reduction; CFD; FLUENT