

孤立海岛微电网供电模式下的柴油发电系统 改造方案研究

陈荣柱¹, 林世溪¹, 孙景钉¹, 林厚飞¹, 杜俊红²

(1. 国网浙江省电力公司温州供电公司, 浙江 温州 325000;

2. 国网浙江杭州市萧山区供电公司, 杭州 311200)

摘要: 为充分发挥柴油发电系统在孤立海岛微电网供电模式下的作用, 并最大限度地降低孤立海岛微电网系统的建设费用, 有必要对岛上传统老旧柴油发电系统的改造进行研究。针对传统老旧柴油发电系统在孤立海岛微电网供电模式下普遍存在的问题, 提出了具体的改造方案, 分别对柴油发电机控制器、调速器、调压器、自动化系统及通信网络等进行改造; 并对改造后的柴油发电机与微电网之间的交互联系进行了分析。经改造后, 柴油发电机能够实现与微电网控制中心的“四遥”功能, 并通过与微电网中其它分布式电源以及储能系统的协调配合, 参与孤立海岛微电网的整体运行控制, 以保证微电网的稳定、可靠、经济运行。

关键词: 孤立海岛; 微电网; 柴油发电系统; 改造方案

中图分类号: TM611.22

文献标志码: B

文章编号: 1007-1881(2014)06-0001-05

基金项目: 国家高新技术研究发展计划(863计划)资助项目(2011AA05A107)

Study on Modification Scheme for Diesel Power Generation System under Isolated Island Microgrid Power Supply Mode

CHEN Rongzhu¹, LIN Shixi¹, SUN Jingding¹, LIN Houfei¹, DU Junhong²

(1. State Grid Wenzhou Power Supply Company, Wenzhou Zhejiang 325000, China;

2. State Grid Hangzhou Xiaoshan Power Supply Company, Hangzhou 311200, China;)

Abstract: To fully exert the role of diesel power generation system under isolated island microgrid power supply mode and minimize construction cost of isolated island microgrid system, it is necessary to study the modification scheme for traditional and old diesel power generation system on island. Aiming at common problems of traditional and old diesel power generation system under isolated island microgrid power supply mode, a specific modification scheme is presented, according to which diesel generator controller, speed governor, voltage regulator, automatic system, communication network and so forth are modified respectively. Furthermore, the interaction between modified diesel power generation system and microgrid is analyzed. After modification, diesel power generation system can realize the four-remote functions with microgrid control center, and it can involve in the whole operation control of isolated island microgrid through coordinating with other distributed generation and energy storage system in microgrid and thus ensure stable, reliable and economical operation of microgrid.

Key words: isolated island; microgrid; diesel power generation system; modification scheme

0 引言

中国的海域中, 500 m² 以上的海岛有 6 500 个以上, 其中有常住居民的为 455 个, 人口 470

多万^[1]。长期以来, 由于电力等能源供应的限制, 海岛的发展受到严重制约。对于某些偏远岛礁, 通过长距离海底电缆由大电网提供电力从经济性和可靠性方面考虑都不太现实, 基本上不会与大

电网并网运行,而在孤立海岛上采用火力发电方式从成本考虑也不具有可行性,因此,目前主要采用从大陆用船运油,以柴油发电机发电的模式^[2]。但该供电模式容易对海岛的生态环境造成影响,不利于生态海岛的建设,同时海岛上油的运输和储存也增加了后期投资成本^[3]。浙江省东南沿海的南麂岛多年来均依靠柴油发电系统独立供电,每度电的油耗成本高达 3.07 元,而南麂岛上的居民用电和商业用电均价约为每度电 0.73 元,发电企业亏损严重;而且柴油机发电还给海岛造成了噪音及柴油燃烧产生的环境污染。

海岛拥有丰富的风能和太阳能资源,充分利用当地的风、光等可再生能源,依托分布式发电技术来解决海岛能源供应是行之有效的途径之一。微电网作为由分布式电源、储能和负荷构成的独立可控供能系统,是发挥分布式电源效能的最有效形式^[4-7]。在孤立海岛上发展微电网供电模式,一般需要在系统中配置柴油发电机,以提高独立微网系统的供电可靠性^[8]。通过微电网内部风、光、柴、储等多种分布式电源的相互协调配合,尽可能多地利用风能和太阳能等可再生能源,减少柴油发电机的运行时间,只有在可再生能源出力无法满足负荷需求的情况下才启动柴油发电机。与单纯柴油发电模式相比,该供电模式减少了柴油发电机供电所产生的一次能源消耗以及造成的环境影响,可以为岛上用户提供清洁可靠的电力供应,具有比较明显的优势^[3]。目前,我国有多个已经投运或正在建设的孤立海岛风光柴储微电网工程,这一新的海岛供电模式为孤立海岛能源结构的调整指明了方向。

由于有些偏远岛礁上已经配置了柴油发电系统,并且可能已运行多年,多数情况下这些老旧柴油发电机无法满足微电网的运行要求。在这些海岛上建设微电网系统时,如果对老旧柴油发电机进行更换,将造成资源的极大浪费,无疑将增加海岛微电网工程建设的成本,这对本身面积不大、居住人员较少的偏远岛礁而言是不现实的,因此最经济有效的方法是对这些传统老旧柴油发电机进行改造,使其达到海岛微电网的运行要求。目前,针对孤立海岛微电网中传统老旧柴油发电系统进行改造的研究还很少,本文在分析传统老旧柴油发电系统普遍存在问题的基础上,对

孤立海岛微电网供电模式下的通用改造方案进行初步研究,并对改造后的柴油发电机与海岛微电网的协调配合进行分析,保证柴油发电机系统在改造后能够作为孤立海岛微电网的重要组成部分,参与微电网的整体运行控制。该改造方案具有一定的指导和现实推广意义,可以为孤立海岛微电网工程建设节省投资,提高经济性,有助于微电网供电模式在孤立海岛中的推广应用。

1 传统老旧柴油发电机系统存在的问题

孤立海岛上的传统柴油发电机一般运行年限较长,且在建设初期不会考虑未来海岛电网的发展,发电系统结构简单,因此在适应微电网供电模式方面普遍存在一些问题,主要体现在以下几个方面:

(1)系统控制器件较多。传统老旧柴油发电机的控制系统一般需要由同步器、负载分配器等多种独立器件进行协调配合,导致控制系统接线复杂、中间环节繁多,运行、控制的可靠性较低,无法满足微电网控制中心对柴油发电机快速可靠的控制要求。

(2)控制功能简单,运行模式单一。传统老旧柴油发电机控制系统一般采用模拟电路对发电机的调速器、调压器进行控制,柴油发电机只能输出固定的电压和频率,且出厂后很难再进行调节,无法满足微电网控制中心对柴油发电机不同运行模式的需求。

(3)自动化水平低。传统老旧柴油发电机组的启动、停机、合闸、分闸、同步等功能一般需要通过手动操作实现,而在海岛微电网系统中,柴油发电机组的控制应具有就地和远方(或手动/自动)启动、停止功能。发电机控制柜上应设有“就地/远方(或手动/自动)”切换开关,当切换开关切至“就地”时,可通过控制柜上的监控装置或控制开关、按钮进行机组的启停控制;当切换开关切至“远方”时,能够根据微电网控制中心发出的控制命令启停发电机组。

(4)通信方式简单。传统老旧柴油发电机对通信没有特殊要求,一般厂内的各台机组仅通过现场总线相互联系,不具备远程通信功能,而在岛上建设微电网系统后,需要将柴油发电机组作为其中的 1 个电源点接入到微电网控制中心,并

能实现现场数据上传以及控制调节命令的下发等功能,对通信系统提出了比较高的要求。

(5)电气主接线问题。当岛上有多回10 kV主干线路时,为了提高岛上的供电可靠性,柴油发电机一般采用发电机—变压器组扩大单元接线,并分2路甚至多路接入到10 kV主干电网。而在微电网系统中,考虑到控制方便以及成本等方面的因素,一般将同一厂房内的柴油发电机组作为整体来控制,因此需要对主接线进行改造,在厂房内将多台柴油发电机组并联成1路接入到微电网控制中心。

(6)老旧开关设备与保护测控装置问题。与传统老旧柴油发电机一样,其出口断路器、升压站的开关柜、保护测控装置等也都已运行多年,由于建设初期没有相应的功能要求,一般也不具备与微电网控制中心之间的远程通信接口。

2 改造方案

鉴于传统老旧柴油发电机在微电网供电模式下普遍存在的问题,需要对其进行技术改造,以满足孤立海岛微电网的运行要求。改造主要包括以下方面:

(1)柴油发电机控制器改造。采用先进的智能控制器,能够集成同期并网、并机、多机负荷分配、机组固定负荷(基本负荷)运行、发电机功率可调、信息采集、显示以及远程通信等功能,减少中间环节,提高控制可靠性。

(2)柴油发电机的调速器、调压器及其控制回路改造。将传统的模拟控制方式改造为数字控制方式,使控制更精确,接线更简单;同时通过控制模块可以对调速器和调压器的主要参数如PID参数、调差率等进行整定,并具备远程通信接口,满足微电网控制中心对柴油发电机组可控、可调的要求。

(3)自动化系统改造。配置柴油发电机组计算机监控系统,实现柴油发电机组的自动监视和控制,并能够对机组动力系统、励磁系统、油路系统、控制系统等进行全面的监测和显示。配置升压站计算机监控系统,负责对主变压器、出线、厂用变压器等公共设备进行集中监控。柴油发电机组计算机监控系统应具备与升压站计算机监控系统之间数据传输及相关信息的通信接口功

能。升压站计算机监控系统设通信工作站,通过通信工作站与微电网控制中心进行信息交互,上传机组、变压器、断路器等设备的运行状态信息,并接受微电网控制中心的控制和调节命令。

(4)通信网络改造。通信工作站设置数据交换机和规约转换装置,工作站与微电网控制中心之间建立光纤通信通道,柴油发电机组控制器和升压站内变压器、开关等设备的通信接口与数据交换机之间可以采用类似于MODBUS的通信规约,并通过规约转换装置将MODBUS规约转换为IEC 61850规约,与微电网控制中心通信,在IEC 61850下实现所有的“四遥”功能,满足微电网控制中心对通信系统快速可靠的要求。

(5)开关设备和保护测控装置改造。采用具备远程通信接口、能够满足远方控制要求的带电动操作机构的断路器;保护测控装置具备完善的发电机、变压器保护功能,对设备的温度、压力、超速、低油位等情况能进行自动调整,当无法调整或出现燃油位过低、充电失败、电池欠压、启动失败、停机失败等状况时能可靠报警,而当出现超过规定阈值的低油压、高水温、超速、过频、欠频、过压、欠压、过流等故障时能可靠停机,并能将保护动作、告警信号和装置故障信号通过光纤通道上传到微电网控制中心。

改造后,柴油发电机组能够实现与微电网控制中心之间的“四遥”功能。柴油发电机组可以通过光纤通道接受微电网控制中心发出的控制指令,包括机组启动/停机、紧急停车以及机组运行模式切换(定功率控制、定电压/频率控制)等,满足微电网控制中心的“遥控”要求。柴油发电机组和升压站通过光纤通道向微电网控制中心上传机组运行状态(运行/停机)、启动方式(自动/手动)、控制方式(远方/就地)、运行模式(定功率控制、定电压/频率控制)、变压器状态、保护动作/告警信息、断路器位置等信号,满足微电网控制中心对现场运行信息的“遥信”要求。柴油发电机组通过光纤通道向微电网控制中心上传机组三相电压、电流、频率、转速、有功功率、无功功率、功率因数、启动蓄电池电压、机油压力、水温、运行时间等运行参数,满足微电网控制中心对设备运行状态量的“遥测”要求。柴油发电机组能够通过光纤通道接受微电网控制中心的远程调节命

令,实现机组定功率运行模式下的有功功率、无功功率(或功率因数)设定以及定电压/频率模式下的电压、频率设定,满足微电网控制中心的“遥调”要求。

微电网控制中心根据改造后的柴油发电系统上送的“遥测”和“遥信”信息,获知当前各台柴油发电机组的实际运行状态,并综合微电网系统内其它分布式电源、储能系统以及当前负荷数据,形成对柴油发电机组的最优控制、调节策略,将“遥控”和“遥调”命令下发到现场。

改造后的柴油发电系统结构及其与海岛微电网控制中心之间的联系如图1所示。

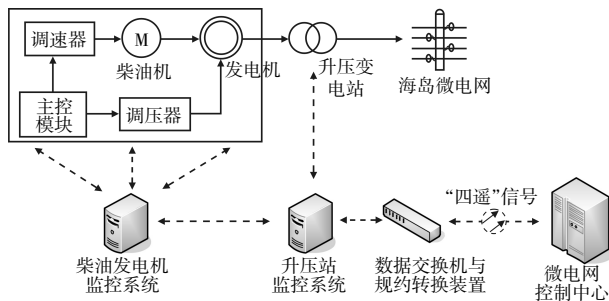


图1 改造后的柴油发电系统及与微电网的联系

3 与微电网的协调配合

传统老旧柴油发电机组经改造后,由于具备了“四遥”功能,因此可以作为孤立海岛微电网供电系统中的重要组成部分,参与微电网的运行控制,通过与微电网其它分布式电源和储能系统的协调配合,保证微电网的稳定、可靠、经济运行。

3.1 参与海岛微电网系统的能量平衡控制

孤立海岛微电网系统在运行过程中必须时刻监视系统运行电压和频率、机组的发电功率、储能的剩余容量、负载情况等,当系统电压和频率波动超过限值时,需要通过能量平衡控制并采取必要的调节手段使系统运行恢复正常,保证系统电压、频率的稳定。

当系统频率或电压过高时,微电网控制中心将根据分布式电源出力、储能系统的充/放电功率等情况,向柴油发电机发出远程调节命令,以减少柴油发电机的输出功率,必要时退出其中1台机组,从而降低系统的电压或频率;反之,当系统频率或电压过低时,通过与分布式电源和储能系统的配合,采用增加柴油发电机出力或者启

动备用柴油发电机等措施来实现系统功率的供需平衡以及电压频率的稳定。

3.2 参与海岛微电网系统的经济优化控制

微电网系统在保证电网稳定运行的前提下,应以全系统能源利用率最高和运行费用最低为目标,充分利用可再生能源,实现多能源互补发电,最小化柴油发电机发电时间,保证整个电网的经济最优运行。

微电网控制中心应充分考虑海岛分布式电源、储能系统以及负荷的实际情况,并根据改造后柴油发电机的具体油耗曲线,形成针对柴油发电机的优化控制策略。当岛内负荷需求下降或者可再生能源发电逐渐增加时,柴油发电机组出力将逐渐降低。由于机组运行功率过低会导致柴油发电机的单位耗油量增大,因此微电网控制中心对机组的最低输出功率有要求,当柴油发电机出力降到经济运行区间下限时,将发令退出其中1台柴油发电机,并尽可能使剩余的机组运行在最佳经济状态(一般情况下应尽可能使每台柴油发电机组运行在额定功率的75%~90%)。而随着负荷的增加和可再生能源发电出力的减少,柴油发电机的出力将逐渐增加,当达到机组经济运行区间的上限时,将启动新的备用柴油发电机,并进行负荷的重新分配,使所有机组尽量运行在经济状态。此外,机组的频繁启停也会对柴油发电机的寿命产生影响,微电网控制中心对机组的最小运行时间也会有所限制。在运行过程中,从系统的整体经济性考虑,应尽量避免出现柴油发电机为储能系统充电的情况。

3.3 参与海岛微电网系统的主电源切换控制

在孤立海岛微电网系统中,风力发电机、光伏电池等可再生分布式电源一般均通过逆变器将直流电能转换成交流电能再并网。通常情况下,为了保证可再生能源利用率的最大化,这些逆变设备常常工作在装置输入的最大功率点处,并不依赖系统母线电压状态自动调整其出力。因此,为了保证系统的稳定运行,在系统中必须有功率输出能随系统频率和电压变化而自动改变的主电源。

在海岛微电网系统运行过程中,可选取柴油发电机作为主电源,也可选取大容量储能系统作为主电源。储能系统属于无惯性的电力电子设备,其控制方式分为模拟旋转发电机控制的V/f

控制模式和模拟光伏发电等电力电子设备的PQ控制模式。当可再生能源发电充足时,可选用工作在V/f控制模式下的大容量储能系统作为主电源,动态弥补发电设备出力和负荷用电的波动,并尽量减少柴油发电机组的功率输出;当可再生能源发电不能维持负荷用电时,则由柴油发电机组担当微电网的主电源。微电网控制中心根据系统实际运行情况,确定电网的最佳运行模式,当系统运行情况发生变化时,实现柴油发电机组和储能系统之间的主电源快速切换,保证微电网的稳定、经济运行。

当柴油发电机为主电源时,储能系统运行在PQ模式,其充/放电功率由微电网控制中心根据系统能量平衡和经济优化需求进行设置。随着可再生能源发电量逐渐增加,柴油发电机出力将逐渐减小,当柴油发电机出力降到经济运行裕度下限时,需要将主电源由柴油发电机切换为储能系统。而在储能系统担当主电源期间,随着负荷的增加和可再生能源发电出力的减小,在储能系统放电到允许的下限之前,需要将主电源切换为柴油发电机,如果柴油发电机原先不在运行状态,考虑到柴油发电机为旋转电机,其启动时间较长,因此在进行切换时,应先启动柴油发电机,待柴油发电机能并网发电时再将储能系统切换为非主电源模式,同时闭合柴油发电机的快速并网开关,实现主电源的瞬间切换。

3.4 参与海岛微电网系统的黑启动控制

孤立海岛微电网系统是独立的海岛供电系统,其系统抗干扰能力较弱,当发生较大干扰时系统可能会退出运行。因此,系统必须要有一套完善的补救措施,即黑启动控制。

为了保证黑启动的稳定性和可靠性,一般选择柴油发电机作为黑启动的主电源。在启动前,微电网控制中心应识别作为黑启动电源的柴油发电机所能覆盖的供电范围,并对该范围进行隔离。柴油发电机启动后,微电网控制中心根据系统的频率、电压以及柴油发电机的出力等情况,在本范围内实现系统的供电稳定,必要时调节储能出力,使其承担一部分负荷。当该系统稳定运行后,再逐步恢复分布式电源与负荷的运行,并调节储能充/放电功率;当负荷全部恢复供电后,根据储能、分布式电源出力情况决定是否需要再

启动1台新的备用柴油发电机。

4 结语

我国的偏远岛礁数量众多,且主要依靠传统老旧柴油发电系统为岛上用户提供电力。海岛微电网供电模式与单纯柴油发电模式相比具有明显的优势,因此得到了快速发展,并已有多个工程应用实例。在海岛微电网供电模式下,应对岛上已有的柴油发电系统进行改造,使之满足孤立海岛微电网的运行要求,能够最大限度地整合岛上现有资源,降低海岛微电网工程建设费用。本文基于传统老旧柴油发电系统普遍存在的问题,对孤立海岛微电网供电模式下的具体改造方案进行介绍,改造后的柴油发电机系统具备“四遥”功能,能够与微电网控制中心进行有效的交互,通过与微电网中其它分布式电源以及储能系统的协调配合,可以作为孤立海岛微电网供电系统的重要组成部分,参与微电网的运行控制,保证微电网的稳定、可靠、经济运行。

参考文献:

- [1] 谭茂强,邓长虹.海岛微电网建设关键技术研究[J].电力建设,2013,32(2):60-63.
- [2] 刘杰,姜海波.偏远岛礁可再生能源开发利用技术经济分析[J].可再生能源,2012,30(3):118-121.
- [3] 赵波,张雪松,李鹏,等.储能系统在东福山岛独立型微电网中的优化设计 and 应用[J].电力系统自动化,2013,37(1):161-167.
- [4] 苏玲,张建华,王利,等.微电网相关问题及技术研究[J].电力系统保护与控制,2010,38(19):235-238.
- [5] 杨琦,马世英,李胜,等.微型电网运行及控制设计[J].电工技术学报,2011,26(S1):267-273.
- [6] 张原飞,杜伟,顾煜炯,等.基于海洋能的海岛供电技术的研究[J].华东电力,2013,41(1):185-189.
- [7] 郭天勇,赵庚申,赵耀,等.基于风光互补的微网系统建模与仿真[J].电力系统保护与控制,2010,38(21):104-108.
- [8] 郭力,富晓鹏,李霞林,等.独立交流微网中电池储能与柴油发电机的协调控制[J].中国电机工程学报,2012,32(25):70-78.

收稿日期:2013-12-09

作者简介:陈荣柱(1968-),男,浙江温州人,硕士,高级工程师,主要从事分布式发电及微电网技术应用及研究。

(本文编辑:龚皓)