

FSRU改装中压电力系统分析

潘 宇

上海中远海运重工有限公司 上海 201913

摘要:近年来,随着碳中和理念的深入,全世界正在积极推进能源结构调整,液化天然气再气化装置也就越来越多的应用到发电厂,以取代传统高碳燃料,文章从几艘改装液化天然气再气化装置为例进行对比研究,根据其可利用率、可靠性、经济性等方面对于中压电力系统配置进行分析,归纳总结了液化天然气再气化装置改装项目中压电力系统设计基本方法和特点。

关键词:液化天然气船;可利用率;天然气再气化装置;平均无故障时间;供电安全可靠

引言

浮式储存及再气化装置(FSRU)是在液化天然气运输船(LNGC)的基础上增加再气化模块使其具备接收、存储、转运、再气化外输等多种功能于一体的特种装备。^[1]

由于新造FSRU费用高、周期长,而根据LNG运输船的发展历程可知,目前市场上刚好有大批船龄在20年左右的MOSS型LNG船可用于改装成为FSRU项目,相较于新建船舶具有费用低、周期短等优点,因此,本文主要研究的对象就是这类型LNG船的改装。近年,该类型的LNG运输船改装成FSRU项目在上海两家不同的船厂已完成改装工作,结合两个不同项目的系统差异,本文对于该类型改装项目的中压电力系统的配置,设计理念和方法进行重点介绍。

1 电力系统配置

两家船厂选用的母型船均是由日本船厂在2002年建造的MOSS型LNG运输船,总长为290米,宽46米,深25.5米,配置5个不锈钢B型液货罐,配置双燃料蒸汽锅炉驱动的主推进系统,以及蒸汽驱动的辅助发电系统。

1.1 原船电力系统配置

在改装之前,母型船有一个440V60Hz的电力系统,包括以下内容:

- (1) 两台蒸汽轮机驱动发电机,每台额定功率为3500kVA;
- (2) 两台柴油发电机,每台额定功率为1750kVA;
- (3) 一台涡轮发电机和一台柴油发电机向每侧供电的440V主配电盘;
- (4) 一台额定功率为350kVA的应急发电机。

1.2 再气化设备配置

不同的FSRU项目根据用户实际需求以及环境因素的影响对于再气化模块设备会有一些的差异,设备功率也

会有一些不同,主要差异点如下:

- (1) 气体的运输量和压力会对于液化天然气增压泵的功率产生影响;
- (2) 不同的海水温度对于海水提升泵和水乙二醇循环泵的功率会造成影响;
- (3) 最大供气量和最小供气量对于再气化装置生产线的条数会造成影响。

结合某两型项目的实际需求,再气化装置设备具体配置如下表1所示:

表1 再气化模块设备配置表

再气化模块设备配置(项目1)				
序号	设备描述	电源	马达参数	数量
1	液化天然气压力提升泵	6.6kV、60Hz	1000kW	4
2	水乙二醇循环泵	6.6kV、60Hz	360kW	4
3	海水提升泵	6.6kV、60Hz	950kW	4
4	换热装置	-	-	4
再气化模块设备配置(项目2)				
序号	设备描述	电源	马达参数	数量
1	液化天然气压力提升泵	6.6kV、60Hz	1400kW	3
2	水乙二醇循环泵	6.6kV、60Hz	285kW	3
3	海水提升泵	6.6kV、60Hz	650kW	3
4	换热装置	-	-	3

1.3 中压电力系统方案设计

目前国内外在大型海洋工程项目的设计及运营等实践操作表明,11KV、6.6KV等中压电网在海洋工程项目上的应用取得了良好的经济效益和稳定性。越来越多的项目应用也表明中压电网是未来大型海洋工程项目主干电网的发展方向。

结合表1可知,再气化设备电机均采用6.6KV电压作为驱动电压,而两型项目母型船均为440V主干电网结构,因此在改装过程中必须增加6.6KV电网为再气化模块提供动力。

1.3.1 方案1中压电力系统设计

根据上文，该项目采用4条再气化生产线，正常情况下3用1备，考虑到船东要求项目可利用率为98%，担心单个中压配电板母排故障可能造成系统的减产，因此采用了4段母排闭环供电模式的中压配电板。

具体配置如下：

(1) 3台5.5MW的LNG双燃料发电机组，输出电源电压6.6kV、60Hz，采用高阻接地，分别连接到A、B、C母

排，为满足设备冗余要求，发电机组采用2用1备的配置。

(2) 1块由4段母排闭环连接组成的中压配电板，正常工况下，A、B、C、D母排之间的开关保持常闭状态，闭环母排开关保持常开，并配置连锁逻辑；

(3) 4组再气化设备马达通过高压真空断路器分别与配电板的A、B、C、D段母排相连，2台6.6kV/440V的变压器分别连接到中压配电板的B段和C段母排上，在系统上保证相互冗余。

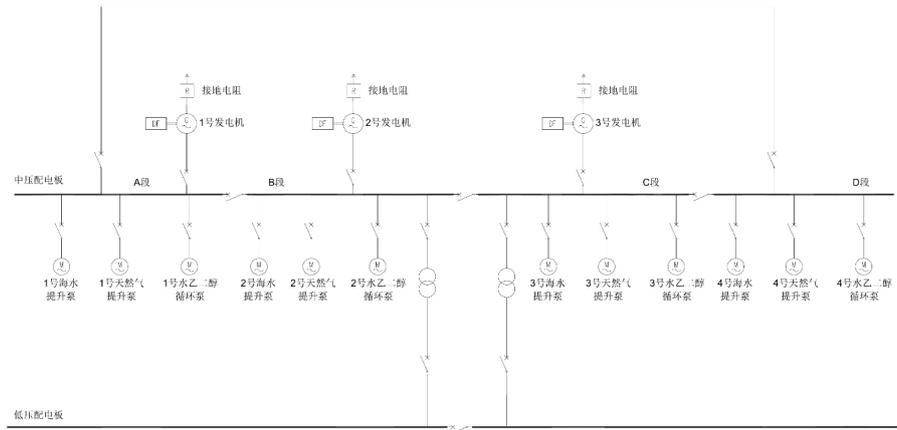


图1 方案1中压电力系統圖

1.3.2 方案2中压电力系统设计

该项目采用3条再气化生产线，正常情况下采用2用1备，船东同样要求项目可利用率为98%，采用了2段母排供电模式的中压配电板。

具体配置如下：

(1) 3台5.3MW的LNG双燃料发电机组，输出电源电压6.6kV、60Hz,采用高阻接地，1号和2号发电机组连接到A母排，3号发电机组连接到B母排，为满足设备冗余要

求，发电机组采用2用1备的配置。

(2) 1块由2段母排连接组成的中压配电板，正常工况下，A和B母排之间的开关保持常开状态，采用1号和3号发电机组并列供电；

(3) 1组和3组再气化设备马达通过高压真空断路器分别与配电板的A段母排相连，2组与B段母排相连，2台6.6kV/440V的变压器分别连接到中压配电板的A段和B段母排上。

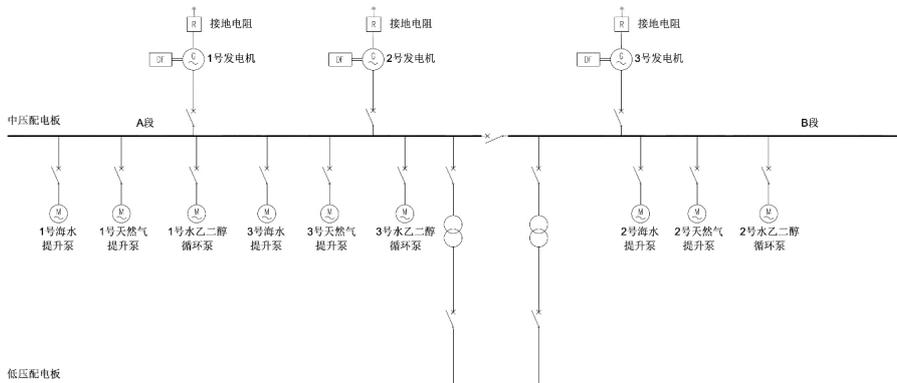


图2 方案2中压电力系統圖

2 可利用率及可靠性分析

通过1.3节的两型项目中压电力系统的对比可以看出，方案1在中压电力系统的配置上相较于方案2冗余程

度更高，系统配置也更为复杂。系统成本也相对较高。而系统和设备的可利用性和可靠性需按照中压设备和保护系统的平均故障时间和平均失效时间来进行判断。

设备平均无故障时间是指相邻两次故障之间的平均工作时间,平均失效时间是指设备或系统在正常条件下从起始时间到第一次发生故障的平均时间。

根据厂家提供的文件可知,中压配电板控制单元的平均无故障时间为35.4年,中压配电板组件包含中压母排的平均无故障时间为245.4年,均超过项目要求的20年设计寿命。意味着配电板整段母排的故障在项目生命周期内几乎不会出现。因此,其不会影响整个项目的额可利用率和可靠性。相较两型项目电力系统配置,方案2在电力系统逻辑设置上更为简单、可靠,而且经济性更好。

3 中压开关的选择

在船舶与海洋工程电气系统中,中压开关的选择是一个关键且复杂的任务,需要考虑多种因素以确保系统的安全性、可靠性和经济性。因此,在船舶与海洋工程上一般选择真空接触器、SF6断路器、真空断路器作为中压配电板电路开关。

真空接触器通常用于负荷容量不大且需要频繁操作的负载,真空接触器通断操作次数能达到30万次。真空接触器容量较小,灭弧能力相对较弱,操作能量小,一般需要配合高压熔断器使用。

SF6断路器广泛应用于中高压配电系统,特别是用于需要中断或分离电力系统中大电流的场景,具有优异的灭弧性能,高可靠性、长寿命、短路电流承受能力强等优点,但是其成本相对较高,且使用过程中需要定期维护。

真空断路器常用于电源隔离开关,为负荷电路提供通断和保护功能,相对于真空接触器通断操作次数少,通常为3万次,适用于不频繁操作的场合。但真空断路器容量相对较大,灭弧能力强,结构简单、成本低、系统保护能力强,因此大大提供了中压电力系统的可靠性。

由于FSRU项目通常需满足15~20年不进船坞维修,因此需要系统拥有高可靠性,在设备运行方面需要稳定为用户提供气体输出,所以不会存在频繁操作的场景。综合以上中压开关特点,在FSRU的中压开关的选择上尽量选用真空断路器以保持整个系统的高可靠性。

4 中压系统保护

再气化装置电力系统是一个独立于陆地电网的自成体系,需要自给自足且满足20年不进船坞大修。因此,它必须能够在恶劣的海况下稳定运行,以确保船舶和设备的安全。为了实现这一点,船舶电力系统采用了多种保护措施,包括发电机保护、变压器保护、进线以及馈线保护和母线保护等。

冗余性也是船舶电力系统的一个重要特点。重要设备通常采用冗余配置,以提高系统的可靠性和安全性。

这种配置方式有助于减少设备故障率,延长设备使用寿命,并降低维护成本。

为了防止触电事故,中压设备通常安装在完全封闭的中压开关柜中,输电电缆采用绝缘性能极高的材料,并安装隔离开关和接地开关,以确保操作人员的安全,因此本文讨论的两型项目均采用ABB公司UG ZS1系列中压配电柜,配置Relion系列综合继电器保护。

根据国际电工协会及相关船级社要求,中压系统对于发电机、变压器、进线以及馈线等必须的保护配置如下:

发电机组功能保护:短路保护、过电流保护、接地故障保护、同步检查、差动保护、逆功率、负序列、绕组温度监测、定向接地故障、欠电压、过电压、欠频保护、过频保护、跳闸监测、自动电压调整监测。

变压器功能保护:短路保护、过电流保护、负序列保护、温度绕组监测、定向接地故障、跳闸监测、欠频/过频保护。

母排功能保护:短路保护、过电流保护、负序列、欠电压、过电压、过载保护、接地故障保护、欠频保护、过频保护、跳闸监测、同步检查。

电机馈线功能保护:欠电流/欠功率保护、短路保护、过电流保护、转子锁定、负序列、电机热保护、欠电压、跳闸监测、启动监测。

综上所述,船舶中压电力系统保护是一个综合性的工程,涉及多个方面的保护措施和技术手段。通过这些措施的实施,可以确保船舶电力系统的稳定运行,减少电气故障的风险,并保障船员的安全。

5 结语

(1)本文分析了FSRU项目新加装的中压电力系统,重点探讨了中压电力系统的设计理念、特性、和系统保护。

(2)通过实际项目方案的对比分析,我们得出了一系列具有实用价值的结论,这些结论不仅提升了中压电力系统的运行效率,还有助于降低系统损耗,提高电力供应的可靠性和经济性。

(3)可为今后同类型的FSRU改装项目新增中压电力系统方案设计提供一定的参考。

参考文献

- [1]崔益嵩, LNG-FSRU一种新型天然气运输和储存装置;上海海事大学商船学院航海技术2007 06: 47~49.
- [2]ABB UniGear空气绝缘金属铠装式配电板选型手册, 2020.
- [3]国际电工委员会.国际电工委员会对海上平台电气设备的标准和要求: IEC 61892 [S],2019.