

FSRU改装黑启动设计分析

马青

上海中远海运重工有限公司 上海 200231

摘要: 根据LNG-C改装为FSRU的技术特点, 以及各船级社和国际组织的规范和标准要求, 结合LNG-C原船设备的局限性, 文章从黑启动基本概念、具体要求、相关系统分析, 归纳总结了典型FSRU项目黑启动的基本方法和特点, 为后期典型FSRU项目黑启动的系统配置提供设计依据。

关键词: 液化天然气运输船、浮式储存气化装置、黑启动、应急发电机

浮式储存及再气化装置 (Floating Storage and Regasification Unit, FSRU)。集液化天然气 (LNG) 接收、存储、转运、再气化外输等多种功能于一体的特种装备, 配备推进系统, 兼具LNG运输船功能。^[1]

对于LNG-C改装为FSRU的项目, 主要在原船基础上增加在气化模块和电力模块以及配套系统, 新增加电站将与原船电站合并为一套全新完整的电站, 改装项目原船的船龄都较长, 改装后两套电力系统相互融通, 各个子系统难免存在相互影响, 一旦由于某子系统发生故障保护不当, 造成整个电力系统失电, 这时就迫切需要快速重建电力系统和恢复供电。

本文以某船厂FSRU改装项目为例, 分析FSRU黑启动设计原理。

1 黑启动基本概念

电力系统一旦发生故障, 停止正常运行时, 电网在没有别的网络的帮助下, 通过电力系统中具有黑启动能力的机组自行完成启动功能, 从而带动没有自行启动功能的机组正常运行, 进而不断的使电力系统的输电范围加大, 最后使整个电力系统恢复正常, 这就是黑启动。^[2]

2 FSRU 电力系统配置

在LNGC模式下, 电力系统可以手动选择由原船蒸汽透平发电机或者新增双燃料主机供电;

在FSRU模式下, 所有新加电力负载和原船电力负载将由新增加双燃料发电机供电, 原船才有发电机将只作为负载转移发电机使用。详细FSRU电力系统配置见表1。

表 1

模式	设备名称	数量	位置
天然气运输船-蒸汽透平发电机	蒸汽透平发电机	2	原机舱
	原船柴油发电机	2	原机舱
	原船440V 主配电板	1	原配电板间
	原船组合启动板	2	
	原船220V配电板	3	
天然气运输船-双燃料发电机	双燃料主机	3	新增电力模块
	原船柴油发电机	2	原机舱
	新增6.6kV 主配电板	1	新增电力模块
	新增6.6KV/460V 变压器	2	新增电力模块
	新增440V 主配电板	1	新增电力模块
	原船440V 主配电板	1	原配电板间
	原船220V配电板	1	新增电力模块
再气化模式	双燃料主机	3	新增电力模块
	原船柴油发电机	2	原机舱
	新增6.6kV 主配电板	1	新增电力模块
	新增6.6KV/460V 变压器	2	新增电力模块
	新增440V 主配电板	1	新增电力模块
	原船440V 主配电板	1	原配电板间

续表:

模式	设备名称	数量	位置
	原船/新增220V配电板	1	新增电力模块
应急电源	应急发电机	1	应急发电机间
	440V 应急配电板	1	应急发电机间
	220V 应急配电板	1	应急发电机间

3 FSRU 主发电机及辅助系统配置

3.1 主发电机组

由天然气运输船改装的再气化设施一般都有三种独立的发电机系统:

1. 应急发电机系统: 1台应急发电机, 包含辅助系统; 2. 原船发电机系统: 2台蒸汽透平发电机, 2台辅助柴油发电机, 包含辅助系统; 3. 新增发电机系统: 3台双燃料发电机, 包含辅助系统。

在改装后FSRU项目, 原蒸汽透平发电机不再参与电力供应, 电力系统将由新的双燃料发电机和原船辅助柴油机及应急发电机组成。

新的双燃料机组由瓦锡兰提供, 型号为12V34F。为空气起动型。DFDG可以在气体燃料和柴油燃料模式下启动, 但黑启动过程中将选择柴油模式启动, 发动机可以通过本地控制面板本地启动, 或电源管理系统远程启动。该系统有两种操作模式: 本地半自动和远程。正常运行情况下, 电源系统应选择在本地控制面板和电源管理系统进行远程控制, 并通过全船控制系统人机界面进行操作。

3.2 燃油系统

发动机的运转需要燃油循环泵为提供燃油。但在完全停电的情况下, 燃油循环泵将停止。在停电恢复期间, 由应急发电机供电并重启燃油循环泵。原船柴油发电机将由原船2台燃油循环泵提供燃油, 新发电机新配置一用一备两台燃油循环泵提供燃油供应。

3.3 滑油系统

原船安装一个滑油舱和一个滑油沉淀舱。设置一台滑油滑油净化器。发动机油底壳盘内的滑油由净化器泵入净化器内进行处理。净化后的氧化还原液返回水池托盘, 由滑油泵驱动的氧化还原液流向不同部位。一台电机驱动的预润滑油泵安装在发动机上, 由发动机控制系统控制, 用于在启动前给滑油系统加油, 以及为停止的发电机提供预滑油。新增加发电机配置机带滑油泵, 另外配置独立的滑油分油机提供滑油。

3.4 冷却系统

新双燃料发电机有一个低温和高温淡水冷却系统与电机驱动泵。每台发电机需要三个淡水冷却泵提供循环

冷却水。海水冷却系统通过热交换器将淡水系统的热量带走。海水冷却泵负责提供海水。在短暂的停电恢复时间内, 发动机可以在不启动冷却泵的情况下重启。而一旦440V主配电板重新通电, 电源控制系统将控制淡水和海水冷却系统的泵的自动重新启动, 延迟5秒。

3.5 启动空气系统

启动空气系统为新的双燃料发电机启动提供压缩空气。在电源模块上有一个独立的启动空气系统为三台双燃料发电机工作。该系统由两台压缩机和两个空气储藏罐组成; 空气容器向发动机输送高压(33巴)空气。而每台原船辅助柴油发电机都拥有独立的启动空气系统。

3.6 通风系统

新发电机室配置了三台供风机为新发电机供空气, 而新发电机室和配电板间所有的防火都是气动型电磁阀, 通过应急关断系统控制。

新发电机室、新的配电板间和泵房的防火风闸将是故障安全型的(即, 风闸将在失去空气压力时关闭)。从火气探测系统到电磁阀的信号将是DE型(即, 火气探测系统电源的丢失, 或火气探测系统控制柜的丢失, 将保持风闸关闭)。但火气探测系统由两个电源供电, 其中一个为220V不间断电源系统供电。因此, 这些房间的风闸可认为在停电后仍保持打开状态。^[3]

三台供风机其中一台建议设置为正反转风机, 考虑在机舱火灾后能够起到排风的目的, 迅速排出机舱烟雾和有害空气。因此风机需要由应急提供电源。

发电机辅助系统直接关系到发电机的正常运行, 在黑启动过程中需要这些辅助系统自动在发电机回复运转后短时间内恢复运行, 所以相关的泵和风机等负载将由电源管系统设置为自动启动, 一旦低压配电板恢复供电相关负载恢复时间见表2。

表2 辅助系统恢复时间

负载名称	数量	恢复时间
燃油循环泵	3	0秒
发电机排气风扇	3	0秒
新机舱供风机	1	0秒
双燃料主机淡水冷却泵	1	5秒
双燃料主机海水冷却泵	1	5秒

续表:

负载名称	数量	恢复时间
440V配电板间空调	2	10秒
变压器间排气风扇	1	10秒
机控室空调	1	10秒

4 黑启动程序

黑启动程序的主要功能是恢复6.6KV和440V(新和现有)电源,以便尽快重启动主要的船舶辅助设备。根据电源管理系统对黑启动设定程序主要分5部分:

1.失电检测; 2.应发和原船柴油发电机恢复供电; 3.高压配电板恢复供电; 4.低压配电板恢复供电; 5.重要负载重启。

电力系统由新的6.6 kV系统、440V应急系统、新的和现有的440V系统组成。停电后,这些系统将被分开,因为断路器将打开。

三个新的6.6kV双燃料发电机,两个现有的辅助柴油发电机发电机和一个应急柴油发电机发电机。根据电源中断的持续时间,所有这些发电机都可能在停电后成功自动启动。

应急配电盘上的电压将在自动重接主电源的基础上首先恢复。如果不成功,应急柴油发电机将启动并连接。应急配电板与原船440V配电板重连设置为自动。重新连接新的和原船440V系统是一个手动操作。新的6.6 kV系统和新的440v系统之间通过变压器馈线重新连接设置为自动连接。

4.1 失电检测

电源管理系统检测到6.6kV主配电板母线段停电情况:6.6kV配电板母排失电输入设置完毕。或没有发电机连接到配电盘母线段,适当的配电盘母线接线断路器/互连连接器断路器是闭合的。当停电发生时,停电信号被电源管理系统检测到,并在2秒后检查停电启动模式和报警信号输出。5秒延迟后,激活正在进行停电重新启动报警,并开始6.6kV和现有的440V恢复序列。

4.2 应急发电机和原船柴油发电机恢复供电

当检测到失电后,应急配电板与原有440V配电板断开连接。这是由应急配电盘进线断路器电缆侧的失电继电器控制的。应急柴油发电机将通过蓄电池自动启动,并连接到应急配电板的失电母排。

对于改装项目对于原船的逻辑也做了保留,因此在失电后现有的辅助柴油发电机发电机也会自动启动,并连接到现有的440V主配电板。

在失电和应急柴油发电机发电机重新启动后,新的6.6kV双燃料发动机发电机也将自动启动(紧急电力供应

给燃油循环泵和可用的启动空气)。如长期断电(超过30分钟),需对柴油机进行预润滑启动压力可能太低(0.5 bar)。缺乏启动空气也可能抑制柴油发动机的启动。在这种情况下,新的双燃料发电机辅助系统将依赖于应急柴油发动机发电机和现有的辅助柴油发动机发电机。

4.3 高压配电板恢复供电

电源管理系统在检测到停电情况后,立即向每个柴油机(现有的DG和EDG)控制器发出“停电启动模式”报警信号。检测到停电后5秒,电源管理系统恢复序列开始。停电45秒后,应急发电机恢复供电电源供应给燃油循环泵,启动空气系统等辅助系统,双燃料发电机重新启动。电源管理系统将按预定义的顺序启动所有可用的双燃料发电机。此启动顺序仅在中断恢复期间使用,且不可配置。顺序如下:1号发电机、2号发电机、1号发电机。然后恢复启动的发电机自动连接到新的6.6千伏配电板。发电机断路器通常通过电源管理系统进行远程操作。

为了安全顺利地实现黑启动,对于电源管理系统的设置必须注意:一旦向序列中第一个可用的发电机发出启动命令,在向下一个发电机发出启动命令之前有10秒的延迟,这个时间延迟是在电源管理系统软件中预先设置的。启动发电机,如果第一次尝试失败,电源管理系统将不再进行进一步的启动尝试。3秒后,电源管理系统将闭合第一个达到额定转速的发电机与配电板断路器。如果第一个以额定速度运行的发电机未能闭合配电板,电源管理系统立即尝试关闭第二个达到其额定速度的发电机,以此类推。一旦6.6kV总配电板接通,电源管理系统将向相应的发动机控制器解除“停电状态”报警信号。

4.4 低压配电板恢复供电

当6.6kV配电板恢复供电,电源管理系统将关闭440V配电板的变压器馈电断路器。如果有2个变压器馈线连接(当6.6kV断路器闭合时),电源管理系统将在关闭第一个馈线2秒后关闭第2个馈线(以交错馈线)。而电源管理系统不会关闭低压配电板母线或电缆互连连接器来恢复电源,如果需要,这将是操作人员的操作。一旦440V电源模块配电板和相关的断路器接通,全船控制系统将尝试启动任何以前运行的有欠压释放负载,没有欠压释放启动器,并已识别为自动恢复任何先前停止的服务已被确定为停电恢复的一部分而启动,例如所需的柴油发动机服务。需要重新启动的负载需要在负载列表中指定。“断电后重新启动”列表表示要重新启动的负载以及任何重新启动延迟。对于220V电源系统,一旦440V配电板带电,电源管理系统将立即关闭相应的220V主配电板馈线开关。

4.5 黑启动程序完成

一般经过3分钟的时间，所有电气设备已恢复正常，6.6kV配电板已通电恢复停电。PMS将重置“正在进行的中断重新启动”标志。一旦停电恢复程序完成，或如果停电

恢复程序在3分钟后部分负载未能恢复供电，则操作员将手动负责恢复未能恢复的区域。对于所有其他不参与黑启动的负载断路器将保持打开。黑启动程序流程图见图1

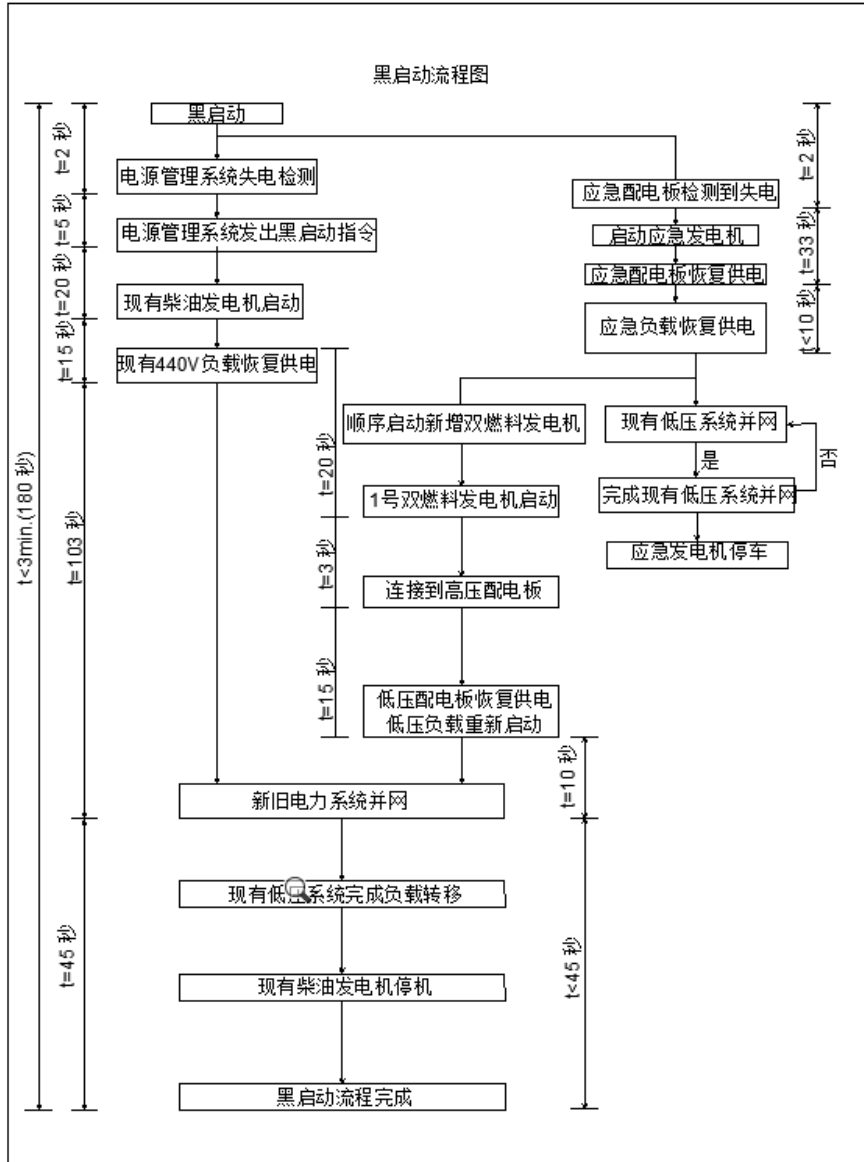


图1 黑启动程序

5 结束语

1) FSRU改装项目电力系统的需集成新旧电力系统，在黑启动的程序设置中较为复杂，由于原船启动程序经过船级社的认可，改装过程中尽可能保留原船的程序设置。

2) 黑启动过程中，发电机启动的顺序必须提前在电源管理系统中设置以保证启动的安全和可靠。

3) 通过本文的分析，可为今后同类型的FSRU改装项目的电力系统设计和黑启动流程设置的方案选择提供

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] 李军徽, 孔明, 穆钢, 张佳星, 齐军, 魏哲明, 郭琦. 电力系统黑启动关键技术研究综述[J]. 南方电网技术, 2017 (05): 68 ~ 77.
 [3] 中国船级社2013