

低压电气供配电及安全管理探析

柴鹏浩

(沧州黄骅港矿石港务有限公司 河北 沧州 061113)

摘要: 安全管理是低压电气供配电可靠开展的保障。文章以港口低压电气供配电为例, 简单介绍了港口低压电气供配电模式, 从结构不合理着手, 论述了港口低压电气供配电安全管理问题, 并提出了几点应对策略, 希望为港口低压电气供配电安全管理提供一些参考。

关键词: 低压电气; 供配电; 安全管理; 港口

0 引言

在我国港口建设步伐持续加快进程中, 港口低压电气设备持续增多, 供配电的可靠性、安全稳定性至关重要。但是, 在港口低压电气供配电过程中存在诸多安全问题, 对供配电系统安全运行造成了较大不利影响。因此, 分析港口低压电气供配电安全管理对策具有非常突出的现实意义。

1 港口低压电气供配电模式

根据港口现有供配电电压等级, 低压电气供配电需要由入口电压等级(110kV)两次降压, 即先降压至6/10kV, 再降压至400V/450V后为不同电压等级的电气设备提供电力能源。一般低压电气供配电模式为双回路, 供电电源包括不同港口同一供电线路、同一港口不同供电线路等。典型港口低压电气供配电参数如下表所示。

表 典型港口低压电气供配电参数

配电电压	450V
供电电压	400/450V
电网频率	50 ~ 60Hz
供电频率	60/50Hz
供电结构	多根低压电缆, 快速连接
岸电接入方式	港方提供电缆
功率	2.0 ~ 2.5MVA

从表中可以看出, 典型港口低压电气供配电中, 靠近泊船舶电压用电频率50Hz、60Hz各占1/2, 电压等级基本为450V、400V, 可以覆盖靠泊船舶负载。

2 港口低压电气供配电安全管理问题

2.1 结构不合理

箱变是港口低压电气供配电系统常见结构, 具有安

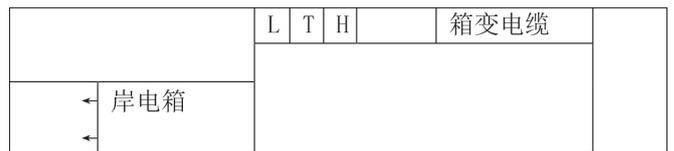


图1 港口低压电气供配电系统

装便捷、体积小等优势。但是, 在下水服役船舶结构不断变化进程中, 单船用电负荷提升, 传统箱变结构无法在码头上安装, 仅可在码头泊位较远位置安装后引出低压电缆输电到码头岸电箱, 电能损失较高, 且与现有供配电模式存在不适应之处。比如, 传统箱变结构为“品”字形或“目”字形, 而港口普遍为挡板分隔高压室、变压器室、低压室的“目”字形, 易出现低压电缆、岸电箱设置重复问题, 增加后期维护负担。

如图1所示, L为低压室, 安装的低压供配电设备为配电开关、互感器、保护设备、计量监视仪表等, T为变压器室, H为高压室。低压室到岸电箱之间铺设电缆沟与6~8根低压电缆, 因箱变无法伸入负荷中心, 仅可经低压电缆进入码头泊位, 再重复设置岸电箱后向船舶供电, 易引发低压电缆、岸电箱设备重复设置问题, 且低压供电环节增加(箱变→码头岸电箱)直接导致低压线路故障发生概率上升。

2.2 谐波处理不当

港口低压电气供配电系统中存在诸多源于放电类电光源设备、硅整流设备的非线性负载, 在低压电气供配电系统运行过程中易产生大量高次谐波, 致使低压电气设备温度上升, 埋下跳闸甚至火灾隐患, 对整个供配电系统运行稳定性造成了较大的负面影响。比如, 在港口低压电气供配电系统内含有高次谐波电流时, 输电线路损耗高于标准值, 注入系统谐波频率位于网络谐振点周边谐振区, 引发输电线路绝缘击穿。再如, 在港口低压电气供配电系统内含有高次谐波电压时, 变

压器磁滞损耗、绝缘电场强度、涡流损耗高于标准值，三次谐波在三角形连接的变压器绕组内形成环流，引发绕组发热 Y 形连接中性线温度升高，埋下中心线高温损害隐患。

2.3 低压电气故障

在港口低压电气系统中，短路故障特别是三相短路故障发生概率较高，这一故障的出现，将直接影响供电系统的稳定运行。以港口轮胎吊为例，轮胎吊供电系统主要是由变电所电源线出发，经电缆并敷设至堆场开关箱，再经开关沿地面露天敷设，最终经电缆卷盘后进入轮胎吊主变压器，由变压器二次侧输出后经主电源开关向整个轮胎吊供电。在变压器二次侧输出至主电源开关发生三相短路故障后，根据轮胎吊主变压器前供电线路长(500m)、输电电压为 450V，电缆电抗(0.066 Ω/km)，可以得出线路电抗为 0.033 Ω，在不考虑变压器阻抗电压的基础上，短路电流为 13.63kA，远远超出断路器分断要求。此时，在断路器未切断短路电流时间段，低压线路、开关、变压器均会承受大电流冲击，进而产生安全事故。

2.4 不良天气干扰

天气因素是威胁港口低压电气供配电安全的主要因素，特别是雷电天气。因港口低压电气供配电系统运行于强电场的电磁环境中，不仅存在大电流引发的磁场干扰，而且存在雷击时雷击过电压流经接地装置时因地电位差引发的地电位干扰。比如，在雷电活动时，雷电波可沿线路侵入低压电气供配电系统，若雷电幅值较低，则线路、母线避雷器不动作，残压经变压器电磁感应耦合低压侧，低压电气供配电系统出现强电流浪涌（或雷电过电压），直接击穿低压电源系统绝缘薄弱位置，如微机保护电源部分损坏、计算机死机保护拒动等；再如，接地体周边冲击电位梯度远远超出工作梯度，接地体周边阻抗区同时存在电阻分量、磁场汇聚效应与电感分量，地面冲击电位分布近似于供电电位，一旦雷电流经构架，接地网局部电位就会升高，甚至反向击穿二次电缆。

2.5 缺乏用电监控

可靠供配电是港口发展的关键因素。但是，当前多数港口存在低压电气供配电可靠性差、电能使用经济性能差等问题，主要表现为：低压电气供配电故障发生概率高；在低压电气供配电输送功率不变的情况下，流经电缆电流处于较高的数值，且接电操作烦琐，电缆拖接难度大。加之低压电气供配电内部缺乏高效的用电监控体系，无法全方位监测、分析用电数据，也无

法实时有效监测设备故障信息，港口低压电气供配电线路故障点位置探测准确度不足，导致供配电质量始终处于较低的水平，对港口低压电气运行造成了较大的不利影响。

3 港口低压电气供配电安全管理对策

3.1 合理调整结构

针对现服役低压电气供配电结构问题，可以从减小体积层面着手，直接在码头泊位安装港口专用箱变(图 2)，与船舶电缆相连，减少低压电缆重复设置风险，节约电力能源。

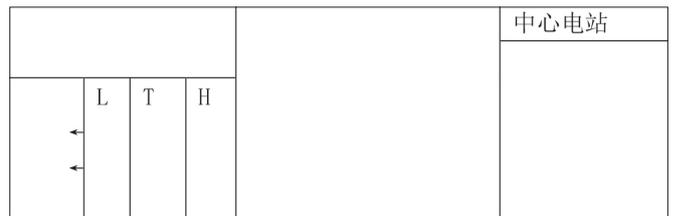


图 2 改进后低压电气供配电结构

如图 2 所示，改进后的低压室(L)直接与船舶相连，可以满足预装紧凑型港口低压电气供电要求。同时传统室内安装箱形式被开放组合结构代替，高压、低压、变压三室间隔被取消，电气供配电设备体积显著缩小。而低压式结构则为安装板式，借助电力连接器、智能电表快速连接船舶用电计量、船舶电缆。同时利用港口箱变计算机系统代替传统箱变 TN 系统，促使低压供配电系统兼具低压配电、港口岸电箱功能，可以在满足低压供配电设备配置要求的同时，最大程度压缩低压柜空间。在码头泊位直接安装箱变，将箱变与港口岸电箱功能有机整合，集成低压保护、低压配电、变压、船舶供电、监视计量、自动化管理等功能，提前报警，降低设备漏电时外壳单相接地的危害。

3.2 加强谐波处理

在港口低压电气供配电系统中，谐波客观存在，为尽可能降低谐波对供配电系统可靠性的影响，可以同步提升港口低压电气供配电系统容量、电压容量，均衡谐波负载。

根据谐波产生原因，结合港口低压电气供配电系统零部件组成，寻找新的材料代替铜质零部件，配合低谐波输电电线的应用，减少谐波产生量。同时在谐波源周边安装滤波装置，常见的滤波装置为一组无源元件，包括电抗器、电容器、电阻器几个部分。在这个基础上，依据有源滤波思路，调整可关断电力电子器件产生谐波分量、负载电流内谐波分量一致，促使两者相互抵消。

此外,考虑谐波对低压电气供配电线路下游的干扰,在供配电系统上游安装非线性负载,并利用对称式控制闸调整 TNS 接地装置,减少供配电网区域性谐波特别是中性线导体谐波。

3.3 及时处理低压电气故障

断路器是低压电气短路故障处理的依据,也是降低短路电流对低压线路冲击的关键。综合考虑主回路、关键节点的短路分断能力,结合负载线路计算电流,确定断路器额定电流,一般额定电流应小于或等于变压器二次侧额定电流。若将断路器用于大容量软启动马达过载保护、线路分断,则设定其额定电流为马达额定电流的 1.5 倍以上、2.0 倍以下,且断路器过载脱扣器整定电流超出下一级断路器脱扣器整定电流,跳脱时间迟于下一级断路器跳脱时间 0.1s;若直接将断路器用于硬启动马达短路保护,则需要设定其额定电流超过马达额定电流的 6 倍,且瞬时动作电流脱扣电流为线路计算电流的 1.1 倍。进而根据额定电流选择适宜的断路器,确保距离电气故障点最近的断路器动作切除故障线路,而其他不同级别断路器则不动作,最大限度缩小故障造成的停电范围。

3.4 完善微电网监控体系

为确保低压供电可靠性,可面向港口内部,增设能量管理系统、储能系统、发电自动控制系统。其中能量管理系统可经通信网络接入储能测控信号、发电自动控制系统,具有历史状态显示、方案制定与命令发布、发电系统控制、模式切换等几个功能模块。在实际运行过程中,能量管理系统可统一优化管理港口低压电气供配电发电机组、储能系统、相关供配电设备,如在微电网负载低于发电机 20% 额定功率时指挥储能系统适当充电,确保柴油发电机输出功率超过 20% 额定功率;储能系统主要是 1MW/0.5MWh 锂电池储能变流器,可在孤网、并网模式下虚拟同步运行,并经 1MVA 升压变接入母线,在 1 个集装箱内集成储能电池、升压变压器、开关柜、动环检测装置、电池管理系统等。在储能变流器的控制下,储能电池可以实现双向可控、精准的有功功率/无功功率调节,满足低压高密度、

高功率密度、快速充放电响应要求;发电自动控制系统主要是以进线开关柜为载体,增设遥测、遥控、遥调模块。

在微电网监控体系改造后,根据外部电力网络状态,可以选择不同的运行方式。在外部电力网络正常运行情况下,智能微电网系统弄并网运行,并网关口柜开关合闸,能量管理系统集中调度储能系统输出有功功率、无功功率;在外部电力网络处于故障状态时,并网关口柜开关切断,微电网能量管理系统指挥发电机组启动,由处于最优工作区间的发电机组为区域电网提供幅值、频率稳定的三相电压;在外部电力网络由故障状态恢复至正常状态时,由微电网能量管理系统指挥并网关口柜开关合闸,发电机组停止运行,储能系统由离网转换至并网状态。通过智能微电网运行,可以精准控制港口低压电气联络线功率,优化调度低压电气供配电能量,在确保港口低压电气供配电稳定性的同时,降低港口低压电气供配电损耗,确保港口低压电气供配电经济性。

4 结语

综上所述,港口低压电气具有用电设备类别多、所需电压等级多、流程作业多、负载分配不均等特点,对电气供配电可靠性、安全性均提出了较大的挑战。因此,港口低压电气供配电管理者应从低压供配电系统结构着手,综合利用微电网能量管理技术、自动跟踪雷击屏蔽技术等安全管理技术,加强谐波治理,确保低压电气供配电安全稳定性,为港口作业顺利开展提供保障。

参考文献:

- [1] 王闪东. 浅谈港口供电网自动化系统的特点与价值[J]. 产业与科技论坛, 2020(20): 55-56.
- [2] 张亮亮. 火力发电厂低压电气供配电和设备安全运行[J]. 山东工业技术, 2018(02): 149.
- [3] 武冰洁. 港口供电系统可靠性的影响因素分析及改进措施[J]. 价值工程, 2019(02): 114-116.