

海洋石油平台电伴热系统供电及漏电保护设计探讨

结合标准规范和工程实际的要求,对海洋石油平台电伴热系统的供电和漏电保护进行设计探讨,提出一种供电及漏电保护方案,较好地解决了标准规范与工程实际存在差异的问题,降低了在海洋石油平台生产过程中电伴热系统的漏电风险。

王爱武 张建国 王晓智/海洋石油工程股份有限公司



王爱武/工程师

0 引言

海上石油工程电伴热系统主要用于工艺生产设施和生活设施的各种油管线、排污管线、水管线和部分放空管线、阀门及容器的防冻和保温,或维持仪表管线的工艺温度,由于电伴热电缆需要长期工作在高湿度、重油污和多盐雾等恶劣环境中,出现漏电或接地故障的可能性较大,而海洋石油平台上的石油蒸汽或天然气都是极易引爆和引燃的危险气体,漏电事故若不能及时排除会存在较大的危害。因此,中国船级社《浅海固定平台建造与检验规范》(2004)和挪威船级社《近海结构物的设计、建造和检验规范》(1980)等国内外的标准规范对海洋石油平台电伴热系统的供电和保护都提出了严格的要求^[1-2]:电伴热设施采用专用变压器供电;变压器建议采用D/Y(角/星)联结,其二次侧采用中性点接地系统;每个电伴热线路都应有独立的过电流保护装置;每个电伴热回路都应设有接地保护装置,在其接地漏电电流超过30 mA时,应能自动切断该电伴热线路电源。

而根据中国船级社《钢制海船入级和建造规范》(2004)、《海上固定平台

入级和建造规范》(1992)和《海上移动平台入级和建造规范》(2005)三个规范对海洋石油平台供电系统的要求^[3-5],目前我国海洋石油平台供电系统主要采用三相绝缘系统(也称中性点绝缘(IT)系统)。IT系统不宜安装漏电保护器,主要通过绝缘监测仪对线路进行绝缘监测。

规范与工程实际之间对海上石油工程电伴热系统配电和漏电保护的要求存在差异,因此对海洋石油平台电伴热系统的供电和漏电保护设计进行探讨和研究具有重要的现实意义。

1 海洋石油平台供电系统及其特点

在探讨和研究海洋石油平台电伴热系统的供电和漏电保护设计之前,需要先对海洋石油平台供电系统的特点和其发生单相接地故障时的工况进行分析。

1.1 海洋石油平台供电系统的特点

海洋石油平台供电系统是一个独立的小电网系统,根据规范规定,我国海洋石油平台供电系统主要采用IT系统。海洋石油平台供电系统简图如图1所示。

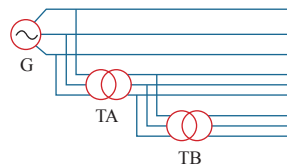


图1 海洋石油平台配电系统

首先,中性点绝缘系统电源端带电导体不接地,当海洋石油平台电网的绝缘电阻符合规范要求时,即使系统发生单相接地故障,也只能通过系统对地

关键词/Keywords

海洋石油平台·
电伴热系统供电·
漏电保护·

电容构成回路,故障回路阻抗极大,故障电流极小,发生电击的危险很小,可以带故障运行,不会对生产造成影响。同时,安装在系统中的绝缘监测器能及时地检测并给出系统绝缘故障报警信号,提醒工作人员及时排除故障。只有在发生第二次接地故障时才要求切断电源。因此中性点绝缘系统是一个连续、可靠的供电系统。

其次,在中性点绝缘系统中,照明及小功率系统(如照明系统、电伴热系统等)与动力系统经变压器隔离,系统之间在电气上只有磁通的联系,相互影响较小。

1.2 中性点绝缘系统单相接地时的分析

中性点绝缘系统发生单相金属接地时的电流分布及矢量如图2所示。图中没有考虑负荷电压电流,因为中性点绝缘系统发生单相接地故障时三相负荷的电压电流仍然对称,不影响分析结果^[6]。假设系统各参数对称,各相对地分布电容用集中电容 C 表示,线间分布电容忽略不计。

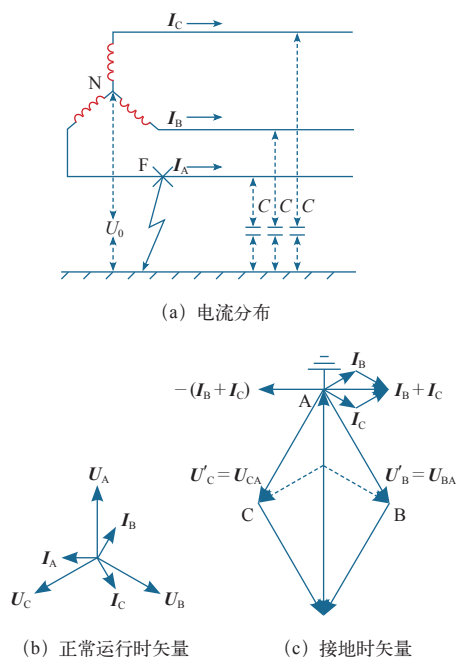


图2 中性点绝缘系统单相金属接地电流分布及矢量

系统正常运行时,电压电流的矢量如图2b所示,三相电压对称,各相通过分布电容对地泄漏电流超前电压 90° ,三相对地电容电流对称,之和为零,中性点对地无电压。

当A相F点发生金属接地故障时,电网中电压电流的矢量关系如图2c所示。不考虑对地分布电容上产生的压降,A相对地电容被短接,对地电压为零,中性点的对地电压上升为相电压,非故障相B相和C相对地电压变为线电压,即

$$\begin{aligned} U'_A &= 0 \\ U'_B &= U_{BA} = \sqrt{3}U_0 e^{-j150^\circ} \\ U'_C &= U_{CA} = \sqrt{3}U_0 e^{j150^\circ} \end{aligned} \quad (1)$$

在 U'_B 和 U'_C 的作用下,非故障相对地电容中出現超前 90° 电流,则

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{U'_B}{-jX_B} = j\omega C U'_B \\ I_C &= \frac{U'_C}{-jX_C} = j\omega C U'_C \end{aligned} \quad (2)$$

由此看出,系统发生单相金属接地故障时,相电压和电容电流的对称性已被破坏,出现了零序电压和零序电流。零序电压为 $U'_B + U'_C = -3U_0$,其有效值为正常运行时相对地电压的3倍;零序电流为 $-(I_B + I_C) = -j\omega C(U'_B + U'_C)$,其有效值为正常运行时每相对地电容电流的3倍,零序电流的相序落后零序电压 90° 。

中性点不接地(IT)系统发生单相金属接地故障时,其零序电流与系统的电压和电容有关。海洋石油平台电伴热供电系统是低压系统,其电压低,系统电容小,发生单相金属接地故障时零序电流小,分配到每一电伴热支路的电容电流更小,其值不足以使漏电保护器动作,不易安装漏电保护器。

2 电伴热系统供电及漏电保护设计探讨

中国船级社《浅海固定平台建造与检验规范》(2004)和挪威船级社《近海结构物的设计、建造和检验规范》(1980)等国内外的标准规范对海洋石油平台电伴热系统的供电和保护都提出了严格的要求:①电伴热设施一般应采用专用变压器供电,依据电伴热负荷的大小和实际安装位置,可采用一个或多个变压器供电,每个变压器的容量除应满足其承担的总负荷外,尚应留有适当的备用容量;②变压器建议采用 Δ/Y (角

/星)联结,其二次侧采用中性点接地系统;③每个电伴热线路都应有独立的过电流保护装置;④每个电伴热线路都应设有接地故障保护装置,在其接地漏电电流超过30 mA时,应能自动断开该电伴热线路电源。如因设备或流程程序安全操作需要,必须保持线路连续工作时,可采取不断电而发出报警信号的方式,但应有有效措施,保证该报警信号能被有关管理人员立即知道,并及时采取适当方法来排除故障。

通过前文分析可知,我国海洋石油平台主要采用中性点绝缘系统,电伴热系统的供电方式也采用中性点绝缘系统,不能满足上述要求②;另外,中性点绝缘系统在发生一次单相绝缘或接地故障时,故障电流较小,不宜安装漏电保护器,与上述要求④不符。

2.1 海洋石油平台电伴热系统供电设计探讨

根据上述要求①,电伴热设备应采用专用变

压器供电。采用专用变压器的主要作用是与其他设备供电系统隔离。由于电伴热电缆需要长期工作在高湿度、重油污和多盐雾等恶劣环境中,出现漏电或接地故障的可能性较大,采用专用变压器供电后,该电伴热回路发生漏电或接地故障时就不会影响整个电网的其他用电设备工作。同时还可以通过专用变压器采用人为中性点来整定零序电流,这样就可以实现漏电保护器在电伴热回路发生漏电和接地故障时动作。

中性点经电容人为接地的电伴热供电单线图如图3所示。电伴热供电系统主要由电伴热变压器和电伴热盘组成。电伴热变压器为专用变压器,采用D/Y(角/星)联结,变压器电压比380/230 V;电伴热盘输入电压为230 V,主要两部分组成:①电源进线部分,主要由自动空气开关、电流表、电压表和电源指示等元器件组成;②电伴热馈电回路,主要由若干电伴热回路的模式自动开关和接地漏电保护组成。

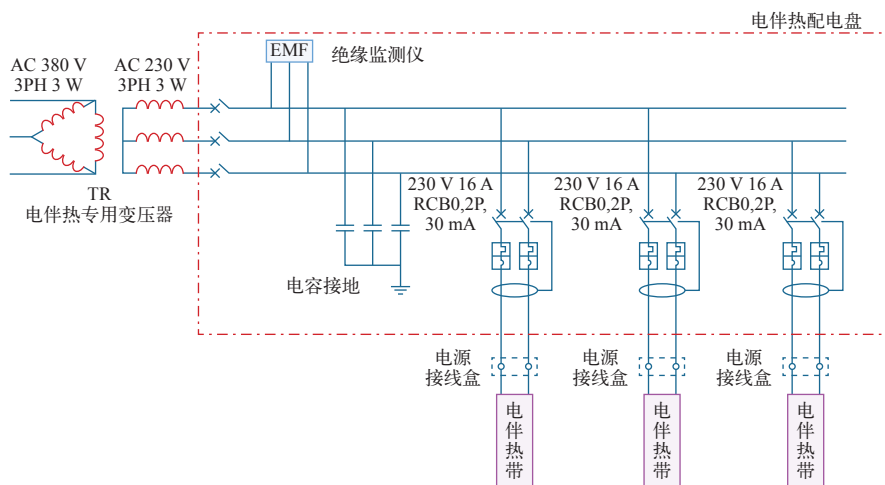


图3 中性点经电容人为接地的电伴热供电单线图

在电伴热盘上人为地在每相对地之间加电容,通过选择所加电容的大小来整定零序电流的大小,实现漏电保护器在电伴热回路发生漏电和接地故障时动作。

绝缘监测仪(EMF)检测电路对地的绝缘状况,在某一电伴热回路发生接地故障后且漏电保护器动作前及时发出警报,提醒管理人员及时维修或处理,避免保护装置跳闸停电的现象发生。

但由于该系统是人为通过电容接地,应选用不具备监测漏电电容能力的绝缘监测仪,以免造成冲突。

2.2 漏电保护设计探讨

由于中性点不接地系统在发生一次单相绝缘或接地故障时漏电流无泄放回路,故障电流较小,因此不宜安装漏电保护器。由前文分析可知,中性点不接地(IT)系统发生单相金属接地故障时,零序电流为 $-(I_B + I_C) = -j\omega C(U_B' + U_C') = -3j\omega CU_0$,

其零序电流与系统的电压和电容有关。在系统电压不变的情况下，可以通过人为地在每相对地之间加电容来整定零序电流的大小，以实现漏电保护器在电伴热回路发生漏电和单相接地故障时动作。海洋石油平台电伴热供电系统小，系统对地电容也很小，因此计算每相所加对地电容的大小时，可忽略系统对地电容。另外，计算所得结果比实际所需值要大，提高了漏电保护器的灵敏度。海洋石油平台电伴热变压器二次线电压为230 V，配电盘上电伴热回路开关漏电保护设定值为30 mA，计算可得每相对地所加电容为0.24 μ F。

该值是设定值30 mA漏电保护器动作的临界值，另外在计算时忽略了漏电处的接地电阻。在选择所加电容值时，如果过小可能造成漏电保护器拒动作，过大可能造成漏电保护器误动作。实验和应用实际证明每相对地之间所加电容值选0.5 μ F时，各电伴热回路的设定值为30 mA，漏电保护器可靠动作。

3 结束语

目前该技术方案已应用在我司多个海洋石油

平台上（如锦州25-1S、恩平18-1等）。实践证明，通过采用专用变压器和人为中性点方法，较好地解决了规范与工程实际之间对海上石油工程电伴热系统配电和漏电保护要求存在差异的问题，降低了在海洋石油平台生产过程中电伴热系统的漏电风险。

参考文献

[1] 中国船级社. 浅海固定平台建造与检验规范 [S]. 2004.

[2] 挪威船级社. 近海结构物的设计、建造和检验规范 [S]. 1980.

[3] 中国船级社. 钢制海船入级和建造规范 [S]. 2004.

[4] 中国船级社. 海上固定平台入级和建造规范 [S]. 1992.

[5] 中国船级社. 海上移动平台入级和建造规范 [S]. 2005.

[6] 张成宝. 配电技术手册：低压部分 [M]. 北京：中国电力出版社，2000.

(收稿日期：2015-12-15) EA

(上接第53页)

表 无级差网络保护与常规保护对比

无级差网络保护配网特点	常规配网保护特点
无级差网络保护， 统一整定值	依靠电流大小、 时间级差配合
故障切除快 (40 ms以内)	故障切除较慢 (最快80 ms)
光纤环网通信	非环网通信
不依赖主站的故障切除方案	依靠主站下达指令
联络开关和柱上开关 灵活配合	固定的联络开关和柱上开关 配合方案

提出的无级差网络保护方案解决了传统的阶段式保护技术分段受限、保护配合整定困难、选择性差以及易越级误动作的问题。实现了油田配电网的故障自动隔离和供电自愈，大大提高了油田配电自动化水平和系统安全水平，符合现代油田智能电网及供配电自动化建设的要求，在油气田企业或其他行业都有较好的借鉴作用。

参考文献

[1] 程汉蓬，王明杰. 配电网继电保护的现状与展望 [J]. 科技广场，2009 (5)：250-251.

[2] 刘健，张志华，张小庆，等. 继电保护与配电自动化配合的配电网故障处理 [J]. 电力系统保护与控制，2011，39 (16)：53-57.

[3] 刘健，刘超，张小庆，等. 配电网多级继电保护配合的关键技术研究 [J]. 电力系统保护与控制，2015，43 (9)：35-41.

[4] 焦振有，焦邵华，刘万顺. 配电网馈线系统保护原理及分析 [J]. 电网技术，2002，26 (12)：75-78.

[5] 胡诚，周芳. 配电网保护的现状与发展 [J]. 湖北电力，2007，31 (1)：14-15.

[6] 赵智，任桂山，鲍兵，等. 利用自动化技术提高油田配电网供电可靠性探讨 [J]. 供配电，2009，28 (14)：22-25.

(收稿日期：2015-11-06) EA