[柴油发电机]

柴油发电机反同期并网的应用研究

文/何天翔　张弛　谭智钢
浙江华云清洁能源有限公司

柴油发电机在电网故障或检修时承担应急发电功能，针对柴油发电机在反同期并网过程中面临的成功率低、操作复杂等挑战，分析柴油发电机反同期并网影响因素以及关键技术，从前期准备、参数匹配、并网操作等环节研究了技术的具体应用，实施反同期并网流程实践中具有良好优化效果。

随着现代工业与电力系统的快速发展，电力供应的可靠性与稳定性成为各行各业关注的焦点。在油田、矿山、建筑工地等远离主电网或电网不稳定的区域，柴油发电机作为应急备用电源的重要性日益凸显。然而，在复杂多变的电力需求环境中，如何高效、安全地实现柴油发电机的并网运行，特别是反同期并网，成为了一个亟待解决的技术难题。反同期并网是指发电机在孤网运行状态下，与地方等电压的电网系统实现并列的过程。这一过程相比同期并网，对技术条件的要求更为苛刻，因存在诸多不确定因素，如电压差、频差和相位差等，导致并网成功率低，不仅浪费大量操作时间和油料，还增加发电成本，对电力设备的稳定运行也构成潜在威胁。因此，开展柴油发电机反同期并网的应用研究，对于保障电力供应的可靠性和稳定性具有积极意义。

柴油发电机反同期并网原理与操作

1. 反同期并网基本原理

同期并网指的是将独立发电系统与电网连接，实现双向电力传输，要求两个电力系统互联点两侧的电压、频率以及相位相同或接近，保持随时可以并网运行的状态。这一过程要求发电机在孤网运行状态下，通过精确的控制和调整，使其输出电压、频率和相位与电网系统相匹配，从而实现平稳并网。反同期并网对控制准确度有很高的要求，稍有差池就会造成并网失败或者设备损坏，所以在实际运行中必须严格遵循操作规程，并配备专业技术人员进行监测与调试。

2. 反同期并网操作

柴油发电机反同期并网需要调整发电机的输出电压，确保其与电网系统的电压幅值一致。同时，调整发电机的输出频率，使其与电网系统的频率相同，还需要调整发电机的相位，确保其与电网系统的相位差在允许范围内。在并网前，需要实时监测发电机与电网系统的同步参数，包括电压、频率和相位，通过比较这些参数，判断发电机是否满足并网条件，如果参数差异过大，则需要进行进一步调整。当发电机满足并网条件时，可以进行并网操作。在并网瞬间，需要确保发电机与电网系统的同步参数保持一致，以避免产生过大的冲击电流和功率。并网后，发电机开始为电网系统提供电力。

柴油发电机反同期并网影响因素

1. 压差

指母线侧电压（反同期合闸断路器下口子站一侧）和线边（反同期合闸断路器上端马油线一侧）间的电压差值，其定值在±3 V（2倍）的范围内。造成压差不能满足开关要求的主要原因包括以下几点：110 kV马油线受高压输电线压降影响，其输入

电压通常为115～120 kV，而单机并机运行时电压为0.4 kV。从发电机出来的电能，由升压变压器将其送至10 kV母线，由主变压器送至110 kV母线，再由两台变压器进行两次变压。根据传统的计算，发电机0.4 kV的电压换算到110 kV母线上应当是110 kV，与110 kV马油线的电压差距过大，已经超过了设定范围，所以不能进行反同期合闸。

2. 频差

频差指的是发电机本身的频率和电网的频率差值，其容许值为±0.2 Hz。由于油田负荷特点和大负荷的启动和停止，造成频差不能满足开关的要求。油田以电动机为主，而电动机在工作时会向电网产生负反馈，这种负反馈电流给电网带来了一种直接的谐波，会对电网的供电品质产生一定影响，从而导致频率差超标。联合站和其他大型电动机或支线投入运行后，要及时对发电机进行负荷分布的调整，因为发电机瞬时的波动很容易导致频率偏差不能达到要求。

3. 相位差

相位差是指电网电压相角之差，其允许值为5°。相位差是造成合闸失效的重要因素。由于发电机为转动机器，相位角在0°～360°之间不停地改变，而系统的相位也在0°～360°之间不停地改变，使得同相点的定位比较困难，同时闭合超时现象时有发生。如果压差和频差都在给定范围内，即使找出了同步和合闸的接点，也无法实现同期合闸。

柴油发电机反同期并网关键技术

1. 相位检测技术

相位检测技术主要用来判断发电机输出电压和电网电压的相位关系，保证两者在相位上一致或者满足一定的要求，从而保证电网的正常运行。在反同期并网系统中，相位探测技术一般都需要使用相位计、相位表和示波器等高准确度测量仪器。该仪器能对发电机输出电压和电网电压的相位进行实时测量和显示，从而使技术人员能够判断相位是否一致。若相位差为零或接近零，则表示柴油发电机与电网处于同步状态，可实现并网运行。由于源网相位是不断变化的，相位检测技术要求能快速、精确地捕获并反馈给控制系统，对测量仪器的准确度、灵敏度和稳定性提出了更高的要求。另外，相位检测技术还需与并网控制系统密切结合，达到并网条件后，自动发出并网指令，使柴油发电机顺利并网。

2. 电压调整技术

在柴油发电机反同期并网过程中，柴油发电机输出电压与电网电压之差是影响并网成败的重要因素。若电压差值过大，不仅可能导致并网失败，还可能危及柴油发电机及电网设备的安全。为了保证发电机输出电压与电网电压的匹配，必须采用高准确度的电压调节技术。利用高准确度的电压传感器对发电机输出电压、电网电压进行实时监控，保证了数据的准确性、实时性。在此基础上，利用 PID 控制、模糊控制等先进控制算法，准确地计算并分析电压差值，实现对发电机输出电压的快速响应与调节。利用发电机自身的电压调节器（AVR）和其他自动调节系统，根据实时测量的电压差值，对发电机励磁电流进行自动调节，达到精确控制输出电压的目的。为了避免由于电压调节不当给柴油发电机和电网设备带来损害，在调节过程中应建立完善的保护机制，例如过电压保护和欠电压保护。在反同期并网过程中，电压调节技术往往与调频、调相等技术相互配合，以保证发电机和电网同步运行。

3. 同步控制技术

同步控制技术主要解决柴油发电机输出电压、频率、相位等与电网不一致的问题，在反同期并网过程中，由于柴油发电机均为孤网运行，其电压、频率、相位等参数可能与电网存在较大差异，因此需对其进行精确同步控制。在此基础上，实时获取柴油发电机及电网的电压、频率和相位等关键参量，并对其进行控制，使其输出电压、频率和相位逐步逼近电网的相关参数。采用先进的自动同步装置，使发电机和电网快速精确同步；自重装置具有智能算法，能自动计算和发出控制命令，调整柴油发电机运行状态，达到并网要求。在同步控制过程中，必须建立完善的保护机制，以应对可能发生的异常状况。比如，当监测到柴油发电机或电网的电压、频率等参数异常时，应及时采取措施，避免对柴油发电机及电网造成危害。

4. 自动准同期并网技术

自动准同期设备是恒定越前时间的自动并列设备，它可以显示特定的并列点信息、并列模式、并列点两侧的压差和频差等信息，同时还具有低压过电

压闭锁的功能，可以在异常情况下闭锁并联功能。自动准同期接入可以自动地检测机侧和系统侧的电压频率，如果在设置的越前时间检测到两边的电压差和频率差都在设置的容许范围内，就会快速地激活合闸逻辑，并输出合闸信号。发电机稳定并网，最大限度地确保在断路器固有的合闸时延过后，两边电压和频率的差值保持在最小范围内。当自动准同期设备在合闸逻辑判断时，判断出电压或频率的差值超过了设置的容许范围，则在同一时间内，将合闸逻辑闭锁，并且根据探测到的电压、频率差值的大小，对发电机转速的升降和升降指令进行自动调整。

柴油发电机反同期并网技术应用

1. 前期准备

在进行反同期并网操作前，必须保证柴油发电机组能够正常运行。检查燃料、油、冷却水等是否足够，控制盘上所有的指示灯是否正常，发电机的电压、电流和频率等工作参数是否正常。确认发电机的同步装置工作正常，能准确地测量并显示机网间的电压差、频差和相位差，为并网运行提供可靠依据。另外，还要对并网开关、保护装置等进行检查，以避免在并网时发生过电流、低电压和频率偏移等异常现象，保证设备在并网时的安全性和可靠性。制定详细的并网应急预案，对并网过程中可能发生的各种异常情况和处理方法进行说明，以保证突发事件能快速有效地处理。

2. 参数匹配

准同期并网的关键在于确保柴油发电机组的电压、频率和相位与电网的相应参数相匹配。调节柴油发电机组的励磁系统，缓慢调整其输出电压，使其与电网电压逐渐接近。在调整过程中，需密切关注电压表的指示，确保电压差在允许范围内，一般要求电压差不超过额定电压的±5%。调节柴油发电机组的转速，使其频率与电网频率接近。在并网前，应确保两者频率差在半个周波以内，以减少并网时的冲击。安装在同期盘上的电压表、频率表和同期表，可以实时监测发电机组和电网的相位差。当相位差最小时，即同期表指针指向上方正中位置，且同期指示灯最暗时，为最佳并网时机。

3. 并网操作

将其中一台机组的负荷开关关闭，向母线输出电压，保证机组已稳定运行，然后启动另一台机组，调整母线电压、频率和相位等参数，使之与已有机组相匹配。当待并机的电压、频率和相位与运行中的机组相一致时，可快速合闸并联断路器，使两台机组并列运行。在满足并网条件的情况下，通过操作并网开关或者按下并网按钮来向机组发送并网命令，整个过程要快速准确，避免误操作或延误。在并网成功之后，需要实时监控机组的运行状况，包括机组的电压、电流和频率等参数。根据电网实际负荷状况，适时调整机组出力，使机组与电网负荷相匹配，在并网初期，应加强对机组的巡视与巡视，以应对可能发生的异常状况。

柴油发电机反同期并网优化效果

造成柴油发电机反同期合闸失败最大因素是压差、频差和相位差不能满足反同期合闸的要求，必须对其进行最优调整。将110 kV主变压器侧电压提升至115～120 kV范围，并在母线侧电压差较大，在5～10 kV左右的情况下进行调节。在母线侧与线路电压差值低于5 kV时，对发电机本身的电压进行调节，因为35 kV、10 kV均有用电负荷，所以在调整时要特别关注35 kV、10 kV母线的电压，不宜太高或太低，否则会烧坏低压电器。

利用每季度一次启动应急电源的时机，实施反同期并网流程，优化效果十分显著，并且实现一次合闸成功。在并网过程中，操作人员严格遵守操作说明书和并网规程，未随便改变或者省略步骤，采取安全防护措施，在操作时穿戴绝缘手套、护目镜等安全防护用品，保持工作现场整洁。并网后日常定期对柴油发电机组进行检查和维护，确保其处于良好状态，发现问题和隐患及时进行处理和修复。电网运行方式改进，有效地提高了反同期合闸的工作效率，降低了燃油的消耗量，也成功避免了因频繁运行而造成的设备损坏。

结束语

随着反同期并网技术发展及应用范围扩大，该技术还将继续进行优化，以缩短运行周期，降低燃油消耗，在促进电力行业发展中发挥积极作用。EA

（收稿日期：2024-08-20）