

同步电动机失步故障分析及保护措施

作者：徐全秀 陈邦东

单位：兰州石化公司机电仪运维中心
730060

摘要

同步电动机凭借运行效率高、转速恒定并且能够提高电网功率因数的优势，广泛应用于冶金、化工等工业大功率负载拖动场景。失步是同步电动机最常见的严重故障，电机失步后转子与定子旋转磁场转速偏移，会产生剧烈振荡、过电流、机械冲击等问题，轻则造成电机绕组过热、设备磨损，重则引发电机烧毁、电网波动，影响工业生产稳定性。本文简要阐述同步电动机工作原理，分类归纳失步类型，深入分析电网、励磁、负载、设备机械等方面的失步诱因，结合工业运维实际提出针对性保护措施，为同步电动机安全稳定运行提供技术参考。

关键词 同步电动机；失步故障；故障原因；保护措施

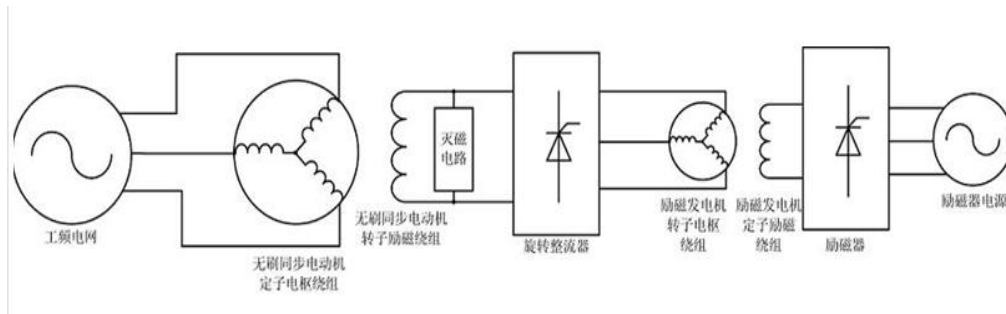
一、前言

在现代工业电力拖动系统中，同步电动机是大型风机、压缩机、水泵等重型机械设备的核心驱动装置。区别于异步电动机，同步电动机稳态运行时转子转速严格等于定子旋转磁场同步转速，依靠电磁转矩维持转子磁极与磁场的相对平衡。在实际工业运行中，受电网扰动、励磁故障、负载突变、机械老化等因素影响，电机电磁转矩平衡被打破，转子脱离同步运行状态，即发生失步故障。失步故障隐蔽性较强，故障初期无明显停机现象，但持续振荡会不断损耗设备，因此分析失步机理、排查故障诱因、完善保护方案，是保障同步电动机长效运行的关键。

二、同步电动机失步基本概述

同步电动机本质属于交流电动机，定子绕组与普通异步电动机相同，通入三相 50HZ 交流会形成旋转磁场。同步电动机转子励磁绕组通入直流电流，形成励磁磁场与定子的旋转磁场相互作用而产生转矩，两者之间会形成一种“磁力锁定”效应。由于这种磁力耦合，转子被迫以与定子磁场完全相同的速度（即同步转速）旋转，也就是电机转速与电网频率严格对应，电机转子和转子磁场与定子旋转磁场严格同步。这种严格的对应和同步关系是以电机轴上的转矩平衡为基础，但来自电网、负载、以及电机本身的种种扰动不断的破坏电机轴上的转矩平衡关系，而电机按其本身的特性，具有一定限度的调节能力，以抵消各种扰动所引起的不平衡，保持电机轴上的转矩关系处于动平衡之中。但电机的这种自动调节能力是有限度的，当扰动大到一定程度、或超过一定时限，就会导致电机失步。

在石油化工行业，生产现场大多属于临氢类防爆场所，电气设备要求防爆等级较高，无刷同步电动机由于没有滑环、碳刷等可能产生火花的环节，在易燃易爆的场所特别适用，此外由于去掉了碳刷等易损元件，大大提高了电动机的整体可靠性。无刷同步电动机的励磁系统结构如下图：



三、同步电动机失步分类及主要原因分析

1. 断电失步

当供电系统故障，引起电源线路自动重合闸 ZCH 装置或备用电源自动投入装置 BZT 动作以及人为切换电源等，使供电电源短暂中断而导致的失步称为断电失步。

断电失步使电机受到严重损伤的主要因素是电源重新恢复瞬间的非同期冲击。这种非同期冲击（包括非同期冲击电流和非同期冲击转矩）由于非同期冲击的强度超过了电机按标准设计的安全承受能力，会直接对电机造成严重的机械和电气损伤，这也是断电失步的核心危害所在。从保证电机设备安全的角度来看，电机制造厂至少必须保证它能够承受电机出口三相短路的冲击。

2. 失磁失步

励磁系统是维持同步电机同步运行的核心装置。运行中的同步电动机由于种种原因，例如：励磁绕组断线、整流模块损坏、励磁控制柜故障，励磁调节装置参数设置不合理，励磁电压偏低，失去直流励磁或严重欠励磁而滑出同步，称为失磁失步。

同步电动机的失磁失步运行将引起转子绕组、尤其是启动绕组的过热、变形、甚至开焊，并进一步发展和扩大成为电机内部短路故障而烧坏电机。同步电动机启动绕组是按满足启动要求的短时工作制设计的，因此同步电动机无励异步运行时间的最大容许值主要取决于启动绕组的热容量和散热条件，一般可以容许不大于 10 分钟的无励异步运行。定子过电流不大，约为额定电流的 1.2 倍左右；电机出力不减，运行中无异常声音和振动，当励磁装置的“失步保护”不能及时动作，必然由于长时间无励异步运行而烧坏电机。

3. 带励失步

电机带有正常或接近正常的直流励磁，而转子磁场和定子磁场又不同步的异步运行状态，称为带励失步。

电动机转子因机械负载转矩超过了电机的最大同步转矩（如负载突增、机械卡阻、轴承故障导致阻力矩剧增等）转子磁极偏移，破坏定转子磁场耦合关系，降低同步运行稳定性。产生较小的转差率，随电机转差率 S 的变化，并与此相对应，电动机的电流、电压、功率等一系列参量都发生按转差频率变化的强烈振荡，在一定条件下可能引起电气或机械共振而扩大事故运行过程中产生剧烈振动。

四、同步电动机失步保护

1. 提高工厂电网供电稳定性

完善工厂供电系统，优化供电线路布局，减少其他大功率设备启停带来的电网扰动。对于单母线分段运行方式的供电系统，采用备自投在电源中断期间（一般不大于 3 秒钟），这些同步电动机根据负载惯性将转为发电机运行方式，电源重新恢复时，电机将受到非同期

冲击而损坏。可以采用励磁柜“灭磁、再整步”方式，既保证了各种失步情况下电机的安全，又较好地解决了与电网中自动化装置的协调配合问题，而且能在保障安全的前提下尽力保持连续运行，一般不因电机失步而停机，技术性能比较符合生产实际的需要。

2. 励磁电流判据型保护

励磁电流过低或消失是导致同步电动机失步的重要原因，因此励磁电流判据型保护主要针对失磁、欠励引发的失步。该保护方式通过监测励磁电流和励磁电压，当励磁电流低于预设整定值、励磁电压出现异常波动时，判定为失步前兆，及时发出告警信号或采取控制措施增加励磁电。该保护方式常与失磁保护配合使用，可有效防止因励磁系统故障引发的失步事故。同时，部分保护装置还可通过调节励磁电流，尝试将失步电机重新拉入同步，减少停机损失。

五. 结论

同步电动机失步故障主要由电网扰动、励磁故障、负载异常等因素引发，各类诱因相互影响，会造成电气损坏、生产中断等不良后果。为保障电机稳定运行，需从供电优化、励磁管控、负载规范、日常运维多维度入手，通过合理组合配置，可有效检测各类失步现象，及时发出告警或采取跳闸、再同步控制等措施，避免设备损坏和生产事故。未来，随着智能化技术的发展，失步保护将向精准化、智能化方向发展，进一步提升同步电动机的运行可靠性，为工业生产提供更有力的保障。

参考文献

- [1] 《同步电动机失步保护及自动再整步原理》二机部二院 蒋宗道
- [2] 《同步电动机失步机理及保护策略优化》电力工程技术 李明轩