

化工企业高压电动机继电保护 方案设计与应用研究

李庆祺

(中国石化塔河炼化有限责任公司, 新疆 阿克苏 842000)

摘要 高压电动机是化工企业压缩、输送、循环、搅拌等关键设备的重要动力来源, 其运行状态直接关系到装置连续性、安全性与经济性。本文围绕化工企业高压电动机运行特点, 分析继电保护需求, 探讨速断、过流、过负荷、堵转、接地、负序及低电压等保护配置方法, 并结合工程应用研究其安装实施、参数整定与运行维护, 以期为保障化工企业高压电动机安全稳定运行提供参考。

关键词 化工企业; 高压电动机; 继电保护; 保护整定; 联锁保护

中图分类号: TM621.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.13.026

0 引言

在化工企业供配电系统中, 高压电动机通常承担着驱动大型泵、风机、压缩机和搅拌装置等重要任务, 是保障生产装置连续稳定运行的核心设备。建立完善、可靠、灵敏且具有选择性的继电保护系统, 是保障高压电动机安全运行和化工装置稳定生产的重要措施。当前, 在实际工程中, 部分高压电动机保护仍存在配置不完善、整定不合理、保护与工艺联锁衔接不足等问题^[1]。基于此, 研究化工企业高压电动机继电保护方案设计与应用, 对提高供电可靠性、降低故障风险、保障装置安全生产具有重要的现实意义。

1 化工企业高压电动机运行特点与继电保护需求分析

化工企业高压电动机多用于驱动压缩机、循环泵、引风机、增压机及大型搅拌设备, 通常具有容量大、连续运行时间长、启停频次受工艺约束强等特点。与一般工业场景相比, 一是负载类型复杂, 既有平方转矩类负载, 也有恒转矩或冲击性负载, 启动电流大、启动时间长, 部分电动机启动电流可达额定电流的5~7倍; 二是工艺连续性要求高, 电动机一旦停运, 容易造成整条装置波动, 甚至引发联锁停车; 三是运行环境较为特殊, 常伴随高温、高湿、粉尘、腐蚀性气体或易燃易爆介质, 对电机绝缘、测量回路和保护装置可靠性提出更高要求; 四是供电系统结构较复杂, 母线切换、短时电压波动、系统接地方式差异等因素都会影响保护动作判断。

高压电动机继电保护的需求应兼顾快速性、选择性、灵敏性和可靠性, 对于相间短路故障, 应配置电流速断和过电流保护, 做到近区故障快速切除; 对于长期过载、转子堵转和启动异常, 应设置过负荷保护、堵转保护和启动时间保护, 防止绕组过热及机械损伤; 对于单相接地、三相不平衡和负序电流问题, 应通过接地保护、负序保护和不平衡保护抑制热效应和转矩脉动; 对于工艺系统中常见的失压、晃电和低电压工况, 还应结合低电压保护、失压保护及再启动联锁逻辑, 避免电动机误跳闸或带故障重启^[2]。

2 化工企业高压电动机继电保护方案总体设计

2.1 继电保护方案设计与系统构成

化工企业高压电动机继电保护方案设计应围绕分层配置、主辅结合、保护与工艺联锁协同的思路展开, 对于6 kV或10 kV高压电动机, 一般采用微型电动机保护测控装置作为核心保护单元, 配套电流互感器、电压互感器、开关柜断路器、温度检测元件及DCS/PLC联锁接口, 构成测量、判断、动作、信号、联锁一体化保护系统。设计时应根据电动机容量、负载类型、启动方式、供电母线结构及工艺连续性要求确定保护配置层级, 对2 000 kW以上关键电动机, 宜按“一机一保护单元”独立设置, 对重要泵、压缩机及引风机应同时接入事故跳闸、备用联启和工艺闭锁信号。在系统构成上, 一次主要包括高压断路器、三相CT、零序CT或开口三角电压回路, 二次则包括速断、过流、过负荷、堵转、启动超时、接地、负序、低电压等保护功

作者简介: 李庆祺(1997-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 继电保护。

能模块,并设置跳闸出口、报警出口和事件记录功能。

2.2 电流速断保护与过电流保护配置设计

电流速断保护主要用于切除电动机引出线、接线盒及定子绕组附近的相间短路故障,其动作特点是无时限或短时限、灵敏快速。对于化工企业常用 6 kV 高压电动机,若额定电流为 180~320 A,速断保护整定值一般可按电动机额定电流的 6~8 倍进行初设,即可整定在 1 080~2 560 A 范围内;对启动电流较大的笼型电动机,应避开正常启动冲击电流,通常取大于最大启动电流的 1.2~1.3 倍。动作时限宜取 0~0.10 s,其中关键设备若断路器性能较好,可采用瞬时动作;若系统暂态冲击明显,则可加 0.05 s 短延时,以提高抗干扰能力。过电流保护主要作为速断保护的后备保护,用于切除电动机外部短路、母线残余故障或速断拒动情况。整定时既要保证对故障有足够灵敏度,又要避开启动电流和短时工艺冲击。一般可按额定电流的 2.0~3.0 倍整定过流启动值,如额定电流 250 A 的电动机,过流整定值可取 500~750 A;动作时限通常取 0.5~1.5 s,与上级馈线保护形成 0.3~0.5 s 的级差配合。

2.3 过负荷保护、堵转保护与启动时间保护设计

第一,过负荷保护主要防止电动机长期超额定运行引起绕组过热。设计时宜采用反时限或热模型方式整定,连续运行设备的启动值一般可按额定电流的 1.05~1.20 倍选取,其中普通泵、风机可取 1.10 倍左右,重载设备可适当放宽至 1.15~1.20 倍。热报警值可设为热容量的 80%~90%,跳闸值设为 100%,以兼顾预警和保护要求。第二,堵转保护主要用于防止电动机启动失败或运行中转子卡滞造成大电流烧损。堵转电流一般可按额定电流的 3.5~4.5 倍整定,动作延时取 0.3~1.0 s;对惯量较大、启动时间较长的设备,可适当增加延时,但不得超过电机允许热承受时间^[3]。当电流持续高于堵转定值,且转速、功率或启动状态未表现出正常加速特征时,保护应迅速跳闸。第三,启动时间保护用于监督电动机从合闸到进入稳定运行的全过程。一般高压电动机允许启动时间可取 8~15 s,大惯量设备可取 15~25 s,整定值通常按实测正常启动时间的 1.2~1.5 倍确定。设计中应与过负荷、堵转保护协调配合,即启动阶段投入启动时间保护并适当闭锁部分过负荷判据,启动完成后投入完整热过载监测,保证保护逻辑既安全又不误动。

2.4 单相接地保护、负序保护与不平衡保护设计

第一,单相接地保护应结合系统接地方式进行配置。化工企业 6 kV 或 10 kV 高压系统若采用小电阻接地方式,电动机回路宜设置零序电流保护,可通过专用零序 CT 或三相 CT 残流实现检测,启动值一般取 5~20 A,

延时取 0.2~0.8 s;对容量较大、供电电缆较长的电动机,可适当提高至 10~30 A,以防电容电流引起误动。若系统为不接地或消弧线圈接地方式,则宜采用零序电压保护或方向接地保护,零序电压启动值可按额定相电压的 10%~20% 整定,动作时限宜取 0.5~1.5 s,并与上级保护保持配合。第二,负序保护主要用于防止三相不对称运行引起的转子附加发热和机械振动。设计时通常按负序电流与正序电流比值 I_2/I_1 进行整定,常用启动值为 0.08~0.15。对连续运行、重要性较高的高压电动机,可取 0.08~0.10 提高灵敏度;对启动波动较大的设备,可取 0.12~0.15 以兼顾可靠性。动作特性宜采用定时限与反时限相结合的方式,例如 $I_2/I_1=10\%$ 时延时 8~12 s,达到 20% 时延时 2~4 s,超过 30% 时可按 0.5~1.0 s 快速切除。第三,不平衡保护主要作为负序保护的补充,用于反映三相电流或电压偏差超限的异常运行状态。工程上可按三相电流最大偏差率或电压不平衡率整定,电流不平衡率告警值一般取 10%,跳闸值取 15%~20%;电压不平衡率告警值可取 3%,跳闸值可取 5%~8%。当不平衡现象持续 5~10 s 且伴随负序分量明显升高时,可与负序保护联动出口。通过接地保护、负序保护和不平衡保护的协同配置,可形成多层次异常状态防护链条,提升高压电动机在复杂供电条件下的安全运行能力。

2.5 低电压保护、失压保护与联锁保护设计

第一,低电压保护主要用于防止母线电压明显下降时电动机因转矩不足而堵转或过热。设计中应根据负荷重要程度分级整定,低电压保护动作值一般取额定电压的 0.65~0.75 U_n ,动作时限取 0.5~2.0 s。其中一般负荷可按 0.70 U_n 、1.0 s 左右整定,关键工艺设备可适当延时至 1.5~2.0 s,以躲避短时晃电。对 6 kV 系统,动作值通常可取 4.2~4.5 kV;对 10 kV 系统,可取 7.0~7.5 kV。当电压降至 0.4~0.5 U_n 以下时,应优先切除非重要负荷,防止电动机长期低压运行。第二,失压保护用于识别电源完全消失或断路器异常失电状态。失压动作值一般取 0.25~0.40 U_n ,动作延时取 0.2~0.5 s。考虑到大惯量设备在失压后存在残压,恢复送电时不宜全部同时再启动,应设置失压闭锁和再启动管理逻辑^[4]。通常可按先关键后一般、先小容量后大容量的原则分批恢复,关键泵可延时 3~5 s 自启动,辅助设备可延时 8~15 s 投入,而大功率压缩机、风机宜在人工确认或系统许可后再启动。对允许自启动的设备,还应满足母线电压恢复到 0.85~0.90 U_n 且持续 2~3 s 的条件。第三,联锁保护应与工艺控制系统协同设计,避免单一电气动作引发误停机或误启动。高压电动机联锁通常包括跳

闸连锁、启动闭锁和备用联启三部分。继电保护动作后，除切断断路器外，还应向DCS发送故障信号，并连锁相关阀门和上下游设备；启动闭锁应将润滑油压力、冷却水流量、阀位、轴承温度、急停信号等条件纳入合闸判据；对于“一用一备”设备，可在运行机组跳闸后经2~5 s延时自动投入备用机。通过低电压、失压和连锁保护的综合配置，可使高压电动机保护兼顾故障切除、工艺连续性和恢复控制要求。

3 化工企业高压电动机继电保护方案的工程应用

3.1 高压电动机继电保护系统配置与安装实施

在工程应用阶段，高压电动机继电保护系统的重点是如何将设计方案准确落地到现场设备与工艺系统中，以高压开关柜为安装载体，将微机保护装置、测量单元、开入开出回路、跳闸出口、信号回路及通信接口进行成套集成，并结合电动机重要等级确定配置方式。对压缩机、循环氢泵、主引风机等关键设备，宜采用独立保护测控装置，保护、测量、控制和事件记录集中配置；对一般辅助电机，可采用标准化柜型和统一端子接口，提高安装效率。现场安装中应重点落实CT极性、变比及接线正确性，二次回路屏蔽接地可靠性，跳闸回路独立性，以及PT、零序回路和连锁信号接点的对应关系，避免因接线差错导致保护误判。对于存在振动、潮湿、腐蚀性气体或高温影响的区域，应优先选用抗干扰能力强、绝缘水平高、密封性能好的保护装置和端子元件，柜内宜配置防潮加热与温湿度监测装置。控制电缆和信号电缆应与动力电缆分层敷设，交叉处尽量成直角布置，以降低电磁干扰；跳闸回路、CT回路及通讯回路应分别编号和挂牌。

3.2 继电保护参数整定与保护逻辑调试

继电保护参数整定与逻辑调试是工程应用中最关键的环节，其核心任务是把设计值转化为适合现场工况的可执行整定值，并验证各保护功能在真实运行边界下是否动作正确。整定工作一般以电动机铭牌参数、启动试验数据、供电系统短路容量、CT/PT实测变比及工艺运行方式为依据，结合同类设备运行经验进行复核。实际整定时，不能简单照搬设计初值，而应根据启动电流持续时间、稳定运行负荷率、母线电压波动范围及外部故障配合关系进行修正。例如：某些大惯量风机和压缩机在冷态启动时加速时间明显长于理论值，若仍采用固定初值，容易造成启动超时误动，因此应结合现场空载、带载启动记录适当优化动作门槛和时间配合。逻辑调试更强调保护动作链条的完整性和工艺匹配性，调试中要验证动作顺序是否正确，如保护动作后断路器跳开、故障信号上传、事故报警弹窗、备用机延时联启、故障机闭锁重启等是否按预定

逻辑执行。对低电压、失压、自启动和工艺闭锁等功能，应重点测试边界条件，防止因电压短时波动、接点抖动或信号延迟引起误跳闸。经过整定与联调优化后，保护系统才能真正做到既“能保护”，又“会配合”，满足化工连续生产条件下的实际应用要求。

3.3 高压电动机继电保护系统运行维护与管理

继电保护系统投运后，其长期可靠性很大程度取决于运行维护与管理水平。化工企业高压电动机数量多、负载类型复杂、工艺连续性强，若保护装置长期缺乏检查和维护，容易出现定值漂移、接点老化、通讯异常、回路松动或逻辑失配等问题，在运行阶段应建立“定值管理、状态巡检、试验校验、异常分析”四位一体的管理机制，日常管理中应定期核对保护定值单、版本号、软压板投入状态及连锁条件是否与当前运行方式一致，特别是在设备检修、工艺改造、母线分段运行或备用机切换后，更应重新核查保护配置是否仍然适用^[5]。在维护实施上，企业宜将继电保护纳入计划检修体系，按周期开展二次回路紧固、绝缘检查、动作试验、通信测试和备用电源检查。对关键高压电动机，可结合年度停机安排进行一次完整的传动试验和保护校验，验证跳闸出口、开关分合闸回路及DCS连锁动作的可靠性。对于曾发生误动、拒动或异常告警的装置，应建立专项分析台账，查明原因并闭环整改，必要时对整定值和控制逻辑进行修订。

4 结束语

化工企业高压电动机继电保护方案设计与工程应用，应立足于设备运行特点、供电系统结构及工艺连续性要求，综合考虑短路、过载、堵转、接地、失压及不平衡等多类异常工况，构建分层配置、功能完善、连锁协调的保护体系。在实际应用中，还应重视保护装置安装实施、参数整定、逻辑调试及运行维护管理，确保保护系统既能快速准确地切除故障，又能兼顾装置稳定运行。

参考文献：

- [1] 许劲夫. 大型异步电动机故障特性分析及对保护的影响研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2025.
- [2] 贺鹏程. 高压变频器对电动机继电保护的影响及解决措施[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(04): 232-233, 260.
- [3] 赵觉, 陈正辉. 高压变频电动机差动保护的应用研究[J]. 中国设备工程, 2021(12): 138-140.
- [4] 侯国峰. 高压电动机零序保护动作原因分析[J]. 电气时代, 2021(06): 46-48.
- [5] 盛洪. 浅谈高压电动机故障及应对措施[J]. 模具制造, 2025, 25(04): 225-227.