

火电厂直流锅炉主保护系统的智能化协同与高可靠性优化研究

王 硕

内蒙古大唐国际托克托发电有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要：以某厂660MW超超临界直流炉机组现场调试及试运行为基础，详细介绍了国产品牌FSSS系统的组成和功能结构以及设计特点，通过调试中发现的问题优化联锁控制策略完成炉膛安全监控系统的调试，确保各项功能正常，各项指标合格，为锅炉安全稳定运行提供了重要保证。同时说明了将智能化协同技术融入到直流锅炉主保护系统是未来发展的一个必然趋势，对于超超临界锅炉FSSS系统工程实践具有一定指导意义。

关键词：锅炉主保护；可靠性优化；智能化协同

引言

炉膛安全监控系统（FSSS）是现代大型火电机组锅炉一项重要的安全监督系统，无论是在锅炉的启停，还是在锅炉的正常运行过程中，其都会持续不断的对燃烧系统的一些重要参数和状态进行检测，再进行逻辑运算和判断，当需启动动作时就会发令，利用联锁装置去控制燃烧设备各部分按照设定好的程序去工作，进而保证锅炉的运行安全，避免发生危险。主保护系统作为直流锅炉最后一道防线，当出现异常时能够及时动作，避免事故的进一步扩大。智能协同技术能够通过实现保护系统、控制系统的联动、预警系统的协调联动，提高主保护可靠性。

1 应用 FSSS 系统案例的背景介绍

本章以某660MW超超临界机组为例，采用直流锅炉、四角切向燃烧、设置6层燃烧层等构造特征，其辅助设备包括1台送风机、1次风机、1台空预器、1台汽动给水泵（无电给泵）、2台引风机（无燃层），只在A、C燃烧层各设有两层等离子点火装置。智能化协同是指基于多源数据融合，利用人工智能算法完成对跨保护系统数据关联性分析，采用数字孪生技术形成“感知-决策-执行”闭环联动协同，并利用深度神经网络发现海量历史故障数据中存在的隐含联系，在开机前0.5~2s发现潜在危险，将边缘计算+云决策并行的工作模式同贯穿整个保护系统的过程不断结合，不断改进最合理的保护策略，使主保护系统可靠性的增幅超过了30%，为火电厂“安全与效率协同优化”提供有力技术支撑。

2 MFT 保护的触发逻辑设计

2.1 手动MFT。该功能既能通过DCS软回路三取二触发MFT也可以通过MFT继电器柜硬回路直接触发MFT。当通过硬回路直接触发MFT时，手动MFT按钮采用两个

按钮“串并”的方式，即每个按钮有两个触点，当第一个按钮中任意一组触点动作与上第二个按钮中的任意一组触点动作触发MFT继电器柜动作。当通过软回路触发时，手动按钮送DCS三个开关量，在做3取2判断后触发MFT动作。

2.2 送风机全停。送风机全停信号判断条件，以下3个条件三取二：送风机合闸状态取非、送风机跳闸状态、送风机电流信号小于5。送风机跳闸信号从19号控制器开出3个跳闸信号硬接线点去10号控制器，三取二触发MFT。

2.3 引风机全停。引风机全停信号判断条件，以下3个条件三取二：引风机合闸状态取非、引风机跳闸状态、引风机电流信号小于5。A引风机跳闸信号从17号控制器开出3个跳闸信号硬接线点去10号控制器，B引风机跳闸信号从18号控制器开出3个跳闸信号硬接线点去10号控制器三取二，两个信号与之后触发MFT。

2.4 空预器全停。（三取二，延时120秒）空预器跳闸信号1（来自21号站），空预器跳闸信号2（来自21号站），空预器跳闸信号3（来自21号站）。空预器停止条件判断：空预器主电机变频运行状态取非与空预器主电机工频运行状态取非、空预器主电机电流信号小于5、空预器转子停转状态三取二。副电机同理。

2.5 火检冷却风丧失。火检冷却风机出口母管冷却风压低 $\leq 3\text{KPa}$ （3取2延时10分钟）。

2.6 炉膛压力高高。炉膛压力高高1、炉膛压力高高2、炉膛压力高高3。三取二。

2.7 炉膛压力低低。炉膛压力低低1、炉膛压力低低2、炉膛压力低低3。三取二。

2.8 锅炉点火记忆位时，给水泵跳闸（3取2，延时2秒）。汽动给水泵跳闸（MEH），给水泵小机停机1、给

水泵小机停机2、给水泵小机停机3分别从56号站送3个硬接线点去10号站。

2.9 锅炉点火记忆位时, 锅炉总风量低 $< 25\%$ (550T/H) (3取2, 延时3秒), 总风量为所有磨的一次风量和二次风量的总和。总风量低1、总风量低2、总风量低3分别从19号站送到10号站。

2.10 全部燃料失去。锅炉点火记忆位与上所有磨组均停运 (A磨组停运、B磨组停运、C磨组停运、D磨组停运、E磨组停运、F磨组停运)。

2.11 全炉膛火焰丧失。以下条件与: (一) 锅炉点火记忆位。(二) 所有燃烧器火焰丧失。A磨燃烧器无火 (4取3) 或A磨等离子模式下, A磨等离子断弧 (4取2), B磨燃烧器无火 (4取3), C磨燃烧器无火 (4取3) 或C磨等离子模式下, C磨等离子断弧 (4取2), D磨燃烧器无火 (4取3), E磨燃烧器无火 (4取3), F磨燃烧器无火 (4取3)。

2.12 再热器保护动作 (a与上 (b或c), 延时10秒) a、锅炉总燃料量, 大于45T/H。b、汽轮机高压主汽门关闭, 且汽轮机高压旁路关闭。c、汽轮机中压主汽门关闭, 且低压旁路关闭。

2.13 主蒸汽压力高保护。(3取2延时3秒) 主蒸汽管道压力高1 (机前压力31.4Mpa)、主蒸汽管道压力高2 (机前压力31.4Mpa)、主蒸汽管道压力高3 (机前压力31.4Mpa)。

2.14 汽机跳闸, 且负荷大于20% (延时3秒)。汽轮机跳闸3个信号分别从ETS逻辑开出。

2.15 FGD跳闸。FGD跳闸1、FGD跳闸2、FGD跳闸3分别来自脱硫系统。

2.16 点火记忆位时, 一次风机跳闸。一次风机全停信号判断条件, 以下3个条件三取二: 一次风机合闸状态取非、一次风机跳闸状态、一次风机电流信号小于5。一次风机跳闸信号从19号控制器开出3个跳闸信号硬接线点去10号控制器, 三取二触发MFT。

2.17 MFT继电器柜控制电源失电。以下条件与: a、直流电源失电信号1。b、直流电源失电信号2。这两个信号都使用的是常闭触点, 当两路电源均失电时触点闭合, 触发保护动作。

3 MFT 触发后对应同时对下列设备快速发出连锁指令

3.1 停A~F磨煤机; 停A~F给煤机; 关所有磨煤机分离器出口速关阀; 停一次风机; 关过热器一次、二次减温水阀及减温水喷水电动门; 停所有吹灰器; 跳汽动给水泵; 跳汽轮机; 至SOE; 至相关控制站; 至等离子点火花装置; 至SCR; 所有二次风调节挡板切手动, 全开;

关所有过热器减温水隔离电动门; 关所有再热器减温水隔离电动门; 所有过热器减温水调节阀切手动, 全关; 退出投运吹灰器, 闭锁吹灰; 至脱硫系统; 跳闸给水泵; 机组协调切手动; 锅炉主控切手动; 汽机主控切手动; 关闭主给水电动门; 关闭主给水旁路调门。

MFT设计成软硬回路相互冗余的, 当MFT条件出现时, 控制站会送出相应的信号来停掉相关的设备, 同时MFT继电器柜也会向一些设备中送出一个硬接线信号来停掉他们。这种软硬件互相冗余的设计, 有效的提高了MFT动作的可靠性。

4 影响保护可靠性因素

4.1 硬件故障

传感器失效会引发测量信号失真或缺失, 典型如温度传感器失效时输出异常温度值, 导致保护系统误动作。保护控制系统的硬件设备 (如控制器、I/O模块) 故障可能导致逻辑中断或指令无法输出; 执行机构卡涩等故障会使保护动作失效, 例如阀门执行机构卡涩导致阀门无法关闭。硬件老化、质量缺陷及环境因素 (高温、潮湿、电磁干扰) 是引发故障的主要原因。某电厂曾因传感器长期运行老化导致测量偏差, 险些引发主保护误动作。所有重要的主、辅机保护都应采用“三取二”、“四取二”等可靠的逻辑判断方式, 保护信号应遵循从取样点到输入模件全程相对独立的原则, 确因系统原因测点数量不够, 应有防保护误动及拒动措施, 保护信号供电亦应采用分路独立供电回路。

为降低因硬件出现故障带来的主保护系统失灵概率, 一般会使用冗余的方法来提升系统的可靠程度。通常来说, 对一些重要参数采用多路检测, 用三选二或者四选三的方式确定有效值。而在保护控制系统的硬件方面, 通常会采取冗余的电源、冗余的控制器以及冗余的输入输出模块。冗余电源能够在出现一个电源故障之后自动切换到备用电源, 使系统一直处在工作的状态。而冗余的控制器和输入输出模块能够在其中一个模块出现故障之后及时由另一个模块接管并且维持正常工作, 以防因主保护控制系统出现故障而引发事故。比如在前面讲述的例子中就是电厂的主保护控制系统设置了冗余控制器, 这样当一次运行过程中, 主控制器出现故障, 备用控制器能在极短的时间内切换过来, 并没有影响到保护系统的工作。

4.2 执行机构可靠性

实施机构负责把保护系统的控制指令转换成跳闸磨煤机或关断阀门之类的动作。实施机构要根据它控制的对象来确定。例如, 对于磨煤机跳闸执行机构, 应要求

其有较好的快速性、可靠性,在很短的时间内能够切断磨煤机电源,使磨煤机停止;而对燃油系统阀门执行机构,则要求有良好的密封性及准确性,即当收到保护信号后要马上关掉阀门,从而切断燃油供给;实施机构的驱动形式可以是电动、气动或者液动。此外,对执行机构还需做到:满足规定动作时间;保证动作精度;满足所加载荷的要求,这样才能实现快速准确地按各类工况下达的各种保护指令。

为了保证其正常运行,应定时对其执行机构的机械部分,如:传动部分、阀门的密封件等进行检查,看是否有损裂、脱落及松动等现象;对电动执行机构要查看电机的绝缘性、碳刷的磨损情况;对气动执行机构要检验气源压力及气管的连接处是否漏气;对液动执行机构要查看液压油的油质和油量,以及油泵、油缸等工作状况。同时,应该定期进行试验,发出保护动作信号,检查执行机构的动作情况,如果存在异常应该及时发现、排除,保证其在投入运行时可以正常工作,充分发挥主保护系统的作用。

4.3 信号传输线路的可靠性设计

信号传输线路主要用来传输传感器采集的信号到保护控制系统。为了避免信号在传输过程被干扰、衰减或中断,所以要用到可靠的信号传输线,常用的有屏蔽电缆,它的屏蔽层要接好地线。而对于重要的信号,例如MFT保护信号,将两条独立的同一路由信号分别引入至两个不同的保护系统,并且保证其中一个运行正常,在另外一条线路故障的时候另一个不会受其影响而依然工作正常。定时做好信号传输线路的维护保养工作:比如电缆外皮有无破损、电缆接头有无松动等问题。发现问题及时处理以保证信号传输正常。

目前已构建完成主保护系统的基本理论和技术路线框架,在高参数机组高负荷和大容量的运行模式下,在应对各种运行工况需求方面的适应性有待提高,在多变量耦合逻辑优化以及智能化预警等方面还存在一定不足;下一步将结合数字化建模技术和智能算法,发展自动调节、预测性维护方向的保护技术,利用自学习能力实现对保护定值的自动修正,并结合其他系统的动态数据信号,加强互相之间的联动,时刻监控火电厂运行情况并预测可能出现问题,提高保护系统主保护的准确性及预见性。

5 锅炉主保护智能化协同技术应用

超临界工况变负荷过程中智能化协同体现“保护-控制-预警”的多系统联动,在机组负荷由50%升到80%,系统时刻监控汽水分离器压力、水冷壁出口焓值偏离设定的动态曲线数值,如果大于设定的阈值,即刻联动协

同,一方面联动模型预测控制(MPC)根据给水泵、燃料量实际输入值及时调节两者比例;另一方面将汽温保护动作定值进行动态修正(过热汽温上限临时提升5℃);最后向运行人员发送三维可视化预警信息(故障演化概率热力图),完成“主动干预而非被动跳闸”的保护思想落地。

本文仅分析了目前国内外对于主保护方面的研究,虽然已经形成一定的理论体系和具体实践路径,但对于高参数机组复杂的运行要求,其极端工况下适用性、多变量耦合逻辑合理性以及智能化预警等方面仍有改进的空间,有待加强数字化建模以及智能算法的应用,在实现保护系统自适应调节与预测性维护的同时,动态修正保护定值、加强跨系统协同工作,在保证其更加精准的前提下,还可以让其具有一定的前瞻性,为火电厂的安全高效运行提供更多更好的技术支持。

结束语

本文是基于660MW超超临界机组工程的背景,研究火电厂直流锅炉主保护系统的智能化协同及高可靠性的优化方法,从FSSS系统的组成、MFT保护触发逻辑和硬件冗余等方面进行了详细的阐述,从传感器故障、执行机构可靠性、信号传输线路等方面论述了“三取二”逻辑判断、“保护-控制-预警”跨系统协同工作的有效性以及软硬件冗余配置的有效性,并说明了上述技术和设备选型可以进一步提高FSSS系统的安全性、可靠性和稳定性。智能协同技术为“保护-控制-预警”跨系统的实现提供了可行性,并在实际中为直流锅炉的安全运行提供了有利的技术支撑,给火电厂向智能化方向的转变提供了一定的实践指导。

参考文献

- [1]中国电力企业联合会.DL/T5450-2010火力发电厂锅炉炉膛安全监控系统设计技术规程[S].北京:中国电力出版社,2010.
- [2]岑可法,樊建人,池作和.锅炉原理与计算[M].北京:中国电力出版社,2016.
- [3]王致杰,孙为民,张涛.超超临界机组锅炉主保护系统可靠性分析与优化[J].中国电力,2018,51(05):112-118.
- [4]国家能源局.DL/T1578-2016火力发电厂热工保护系统设计技术规程[S].北京:中国电力出版社,2016.
- [5]刘吉臻,牛玉广,刘金琨.智能控制在火电机组中的应用[M].北京:科学出版社,2020.
- [6]朱北恒.火电厂热工自动化系统试验[M].北京:中国电力出版社,2014.