

文献标识码: B 文章编号: 1003-0492 (2021) 08-082-04 中图分类号: TP202+.1

提高汽轮机ETS保护回路可靠性的技术措施

Technical Measures to Improve the Reliability of Steam Turbine ETS Protection Circuit

★沈铁志 (国能神福 (石狮) 发电有限公司, 福建 泉州 362700)

摘要: 为了提高火电厂汽轮机危急遮断系统 (ETS) 及保护回路的可靠性, 排除ETS保护回路中存在的典型设计缺陷及隐患, 进一步优化汽轮机主保护联锁功能, 减少ETS保护联锁控制回路误动和拒动风险, 避免火力发电厂经济损失及不安全事件的发生, 针对汽轮机危急遮断系统保护回路设计及安装中常见的典型问题进行了列举和风险分析, 对国内火力发电厂汽轮机危急遮断系统及回路常见设计的潜在风险及产生的原因进行了研究, 提出了针对性的优化解决措施, 在应用中切实提高了汽轮机危急遮断系统及保护回路的可靠性, 对工控领域其他应用保护联锁功能的场所也具有同样的推广和借鉴作用。

关键词: 可靠性; 危急遮断系统; ETS; 保护回路; 保护误动

Abstract: In order to improve the reliability of turbine emergency trip system (ETS) and protection circuit in thermal power plant, eliminate the typical design defects and hidden troubles in ETS protection circuit, further optimize the interlock function of turbine main protection, reduce the risk of Maloperation and rejection of the fossil-fuel power station chain control circuit, and avoid economic losses and unsafe incidents, the typical problems in the design and installation of protection circuit for emergency trip system of Steam Turbine are enumerated and the risks are analyzed. This paper studies the potential risks and causes of common design of emergency trip system and circuit of fossil-fuel Power Station Steam Turbine in China, and puts forward the corresponding optimized solutions. The reliability of emergency trip system and protection circuit is improved in the application, which can be used as a reference for other places in industrial control field.

Key words: Reliability; Emergency trip system; ETS; Protection circuit; Protection misoperation

1 引言

火力发电厂汽轮机的危急遮断系统 (ETS) 及保护回路的可靠性直接影响汽轮机组的安全、稳定运行。ETS保护联锁逻辑和回路设计是否正确决定主保护是否能够正确地起作用。《防止电力生产事故的二十五项重

点要求》及电力行业热工自动化系统相关规程、标准等均对汽轮机主保护及相关回路做出了具体的要求。但在各火电厂基建项目及后续技改中, 因原始设计、技术人员的水平等原因经常出现一些错误、不合理的设计及安装接线方式, 导致了多起设备保护拒动、误动的不安全事件。以下结合国内百万火电机组汽轮机危急遮断系统的主保护回路的典型设计, 对潜在的隐患和风险分析, 并提出解决办法, 希望能给行业内同类机组主保护回路的实现起到借鉴作用。

图1为自动紧急停机 (AST) 危急遮断模块典型设计原理图。

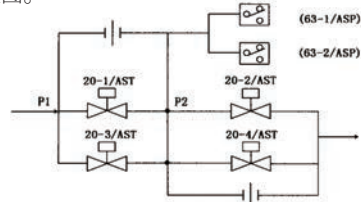


图1 AST危急遮断模块典型设计原理图

整个跳闸块采用“双通道”原理, 当一个通道中的任一只电磁阀打开都将使该通道跳闸, 但不能使汽轮机进汽阀关闭, 只有当两个通道都有一只电磁阀打开时, 才能使汽轮机进汽阀关闭, 起到跳闸作用, 因此提高了系统的可靠性, 有效地防止保护“误动”和“拒动”^[1]。63-1/ASP、63-2/ASP两个试验用压力开关, 动作时发出信号, 用以证明试验成功或失败。

2 控制装置及保护回路电源配置优化

为提高ETS装置的电源可靠性, 对ETS装置控制电

源及跳闸回路供电电源应遵循以下原则:

(1) ETS若采用与DCS一体化设计, 其控制器电源与DCS一致, 为DCS供电电源, 满足冗余及可靠性要求。

(2) ETS采用双套PLC方式时, 双套交流电源每一路应分别为一套PLC供电(防止电源切换造成的PLC重新启动或死机); 两路电源互相冗余, 两路PLC并行工作, 单路电源失去仅造成其中一套PLC失电, 不影响另外一套PLC的正常工作, 保证了机组保护系统功能的正常实现, 同时送出单路电源失电报警信号^[2]。

(3) AST电磁阀供电中, 无论采用交流或直流电源, 均应两套电源分别为四个AST电磁阀供电, 即一路电源带AST1/AST3, 另一路电源带AST2/AST4。

(4) 试验电磁阀 (LBOT1/LBOT2/LPT1/LPT2/LVT1/LVT2) 应单独供电, 不应与AST电磁阀共用同一电源。试验回路继电器接收ETS软逻辑试验指令, 驱动AST跳闸继电器或试验继电器, 跳闸继电器再驱动110VDC电磁阀动作^[3]; 试验继电器驱动220VDC电磁阀动作, 避免试验电磁阀短路等故障影响AST跳闸电磁阀电源。

(5) ETS中, 用于AST电磁阀控制的两路电源, 无论采用直流或是交流供电, 均不宜采用先由二极管完成冗余或由继电器实现备自投、再送AST电磁阀控制回路的方式, 而应为两路电源分别送至ETS的两个跳闸通道中。即V1电源用于AST1/AST3跳闸通道, V2电源用于AST2/AST4跳闸通道。两路AST电磁阀的电源是相互独立的, 而且不存在电源的切换, 这样就避免了电源切换引起的保护误动作^[4]。具体如图2所示(只列举AST1、AST3、AST2、AST4结构与此相同)。

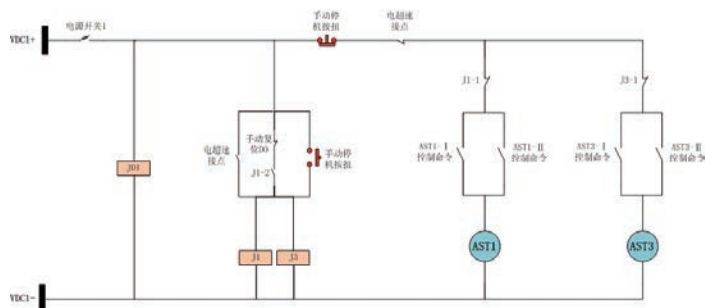


图2 合理的AST电磁阀供电原理图(单侧)

这样设计的优点：因AST电磁阀经常处于带电状态，防止由于某一个线圈短路导致两路电源全部失电。

对ETS保护来说,若采用二极管冗余方式的接法,虽可起到任一路直流电源消失时,仍保证四个AST电磁仍正常带电。但由于AST电磁阀回路在机组运行时,均为带电状态,因此,当任一电磁阀回路中由于某种原因发生短路故障,并且发生越级跳闸时,将会使两路电源先后相继跳闸,从而产生机组跳闸。

(6) ETS保护必须设置为失电跳闸方式, 并且“失电跳闸”应保证从控制逻辑输出指令开始至AST电磁阀动作全过程反逻辑(失电跳)的控制方式。

3 汽轮机跳闸触发发电机解列联锁回路优化

3.1 典型设计

汽轮机跳闸联锁发电机解列，具有两种联锁跳闸方式：

(1) “汽轮机跳闸指令”直接驱动发变组保护0秒动作,通常由发变组保护的电量保护控制柜完成此联锁跳闸指令。此种联锁跳闸方式是将跳闸指令作为触发条件,不是真正的跳闸状态。

(2) 触发发变组保护中程序逆功率保护动作，即“两个高压主汽门全部关闭，并且发电机逆功率，延时0.5秒，发变组保护动作”，通常由发变组保护中电量保护控制柜完成此联锁跳闸作用。主汽门关闭状态信号通常直接取自于高压主汽门终端开关，保护拒动风险较高。

3.2 风险分析

“汽轮机跳闸命令”仅代表汽轮机已满足跳闸条件，应触发跳闸，不能说明汽轮机真正跳闸。若汽轮机未真正跳闸，发电机解列，则将导致汽轮机超速。即便汽轮机已跳闸，由于主汽门关闭时间比发变组断路器分闸时间要长约5倍左右，因此，也会造成先解列而后关闭汽轮机主汽门的现象发生，致使汽轮机超速。另外，由于主汽门终端开关的可靠性相对较低，因此，极易导致“机跳电”大联锁的拒动。

《防止电力生产事故的二十五项重点要求（2014版）》^[5]第8.1.6节规定：机组停机时，应先将发电机有

功、无功减至零，检查确认有功功率到零，电能表停转或逆转后，再将发电机与系统解列，或采用汽轮机手动打闸或锅炉手动主燃料跳闸联跳汽轮机，发电机逆功率保护动作解列。严禁带负荷解列。

3.3 改进措施

在发变组保护中，解除“汽轮机跳闸指令”直接驱动发变组保护0秒动作的保护条件（退出此压板），将“汽轮机跳闸命令”同“主汽门关闭”信号采用“或”冗余方式，接至发变组保护的程序逆功率保护中，形成“汽轮机跳闸指令”或“汽轮机主汽门已关闭”，并且逆功率信号产生，延时0.5秒，发变组保护动作跳闸。

“汽轮机主汽门已关闭”信号由DEH中2个DO通道送出“主汽门已关闭”的综合判据（即两个高主门任一关闭，并且两个中主门任一关闭），2个信号分别送至发变组保护A屏和B屏。“汽轮机跳闸命令”的状态信号由ETS继电器柜送出两路分别至发变组保护A屏和B屏。

4 发电机故障触发汽轮机跳闸联锁回路优化

4.1 典型设计

“电跳机”联锁跳闸中，目前多数电厂仅具有“发变组保护动作（或称之为发电机故障）”联锁汽轮机跳闸的保护功能，其保护跳闸条件采用分别由发变组A、B、C三屏仅送至ETS控制柜一个（或两个）开关量信号，在保护逻辑中采用单点方式或者是“二取一”逻辑的冗余方式。

4.2 风险分析

三个保护跳闸信号采用“或”冗余方式，来自电量保护屏的信号增加了误动的风险，而来自非电量保护屏的跳闸信号为单点信号，误动及拒动风险均增加。

《防止电力生产事故的二十五项重点要求（2014版）》第9.4.3节规定：所有重要的主、辅机保护都应采用“三取二”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，应有防保护误动措施。

4.3 改进措施

正确的设置方法应为：在ETS保护控制柜内，将来自A、B、C三屏的“发变组保护已动作”信号环并（两

两之间全部并连）后，再分别送至三个不同的DI模件的输入通道，在ETS中采用三取二冗余方式，形成“发电机故障”保护跳闸条件，作用于汽轮机跳闸。

发电机解列触发汽轮机跳闸的方式，利用三个“机组未并网”状态信号，通过三取二冗余方式，形成“发电机解列”的保护条件判据，由“DEH请求汽轮机跳闸”保护输出通道作用于ETS保护，实现第二套“电跳机”的大联锁控制。此保护信号应采用脉冲控制方式。

5 锅炉MFT触发汽轮机跳闸回路优化

5.1 典型设计

ETS保护中，炉跳机指令仅取自于MFT跳闸继电器柜，缺少炉膛安全监控系统（FSSS）控制器至ETS的跳闸命令。

5.2 风险分析

MFT跳闸继电器柜作为FSSS保护的后备保护，当其故障时，虽然FSSS保护通过DCS各控制器之间的信号传输可完成MFT的正确跳闸，但此时机炉电大联锁中的“炉跳机”联锁将发生拒动。

5.3 改进措施

在FSSS控制逻辑中增加3个“MFT跳闸指令”的DO输出，接至ETS控制器，在ETS控制逻辑中，采用三取二冗余方式，形成“MFT跳闸指令”状态信号；将来自MFT跳闸继电器柜的“MFT已跳闸”状态信号（三取二）和来自FSSS控制柜的“MFT跳闸命令”状态信号通过“或”逻辑运算，最终形成“MFT跳闸”的综合判据，作用于ETS中“炉跳机”控制。

6 ETS与DEH之间的状态联锁回路优化

6.1 设计缺陷

机组DEH中，缺少ETS跳闸指令；ETS中，缺少“DEH失电”及表征汽轮机跳闸的相关信号保护控制功能。

6.2 风险分析

当ETS保护动作后，仅能依靠“挂闸油压低”信号将调门指令复位，而“挂闸油压低”信号是保护动作的结果，因此，不能实现汽轮机保护动作时，AST电磁阀

动作并自动关闭所有调门的控制功能,降低了保护动作的可靠性。

另外,ETS系统逻辑设计应充分考虑保护拒动风险。当就地油系统故障或误动导致AST母管安全油压失去时,各汽门实际已关闭,但ETS系统表征的“汽轮机跳闸”信号并未动作,直接使用“ETS动作”装置信号会造成汽轮机主保护拒动、汽轮机本体联锁保护设备拒动,增加锅炉超压和汽轮机超速的风险^[6]。

《DL/T 996-2006 火力发电厂汽轮机液控制系统技术条件》^[7]第5.4.3节规定:DEH应具有“接受汽轮机紧急跳闸系统(ETS)指令,实现对机组的停机保护”功能;《火电厂热控系统可靠性配置与事故预控》第5.7条规定:“当DCS、DEH总电源消失时,应直接通过FSS和ETS的输出继电器回路,自动发出停炉和停机指令”^[8]。

6.3 改进措施

正确的设置方法应为:在DEH中,增加“ETS保护动作,强制复位所有调门控制命令”的保护控制功能。此保护信号应采用脉冲控制方式。

针对ETS中缺少“DEH失电”保护控制功能问题,建议采用DEH控制站电源监视继电器接点信号,送至ETS控制柜,在ETS控制逻辑中组态,实现“DEH失电时,汽轮机紧急跳闸”的保护控制功能;或者在DEH控制站中,将“DEH遮断输出”取反后再输出;同时,将主汽门关闭信号(脉冲)或AST母管安全油压低信号(脉冲)接入ETS逻辑反跳一次,避免产生保护拒动。

7 ETS手动停机回路优化

7.1 典型设计

如某火力发电厂东汽百万机组的ETS保护中,手动停机按钮采用24V中间继电器、110V中间继电器的动作,实现紧急停机控制。控制方式如图3所示。手动停机按钮驱动24V中间继电器KA05和K09动作,由KA05的一副常开触点驱动110V中间继电器KB01\KB02\KB03\KB04动作,再通过该4个继电器的常闭触点控制四个AST电磁阀动作。

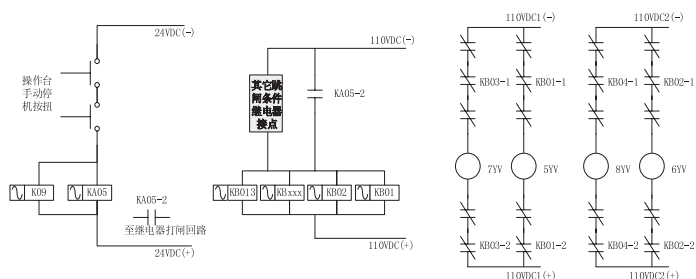


图3 带中间继电器的AST跳闸回路原理图

7.2 风险分析

手动停机按钮采用24VDC中间继电器、110VDC中间继电器的动作,实现紧急停机控制,极大地降低了手动紧急停机按钮的可靠性,不满足规程要求。手动跳闸及ETS跳闸是通过中间继电器常闭节点驱动ETS 110VDC主跳闸回路,若中间继电器24VDC电源系统故障,将导致机组危机状态下无法通过“手动停机按钮”和ETS跳闸系统停机^[9]。

《DL/T 5428-2009 火力发电厂热工保护系统设计规定》^[10]第5.2.4节规定:停止锅炉或汽轮机运行的重要保护回路,跳闸按钮应独立并直接接至停机、停炉的驱动回路。

7.3 改进措施

手动停机按钮采用4对常闭触点,每2对常闭触点并联,分别直接接至5YV/7YV和6YV/8YV电磁阀110V驱动回路中。(原来KA05继电器接点对KB01-KB13的控制保持不变)。具体如图4所示。

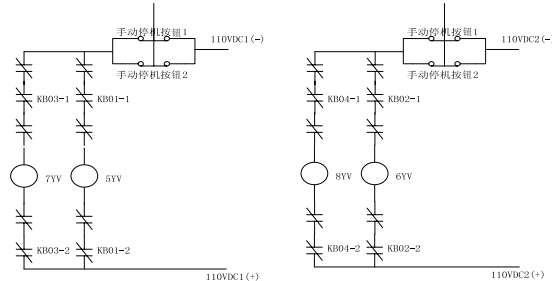


图4 优化后的AST跳闸回路原理图

8 AST跳闸电磁阀驱动回路优化

8.1 典型设计

ETS保护中,AST电磁阀驱动回路中由5组继电器

常闭触点串连组成, 包括2组DEH单电磁阀试验继电器常闭触点、2组DEH通道试验继电器触点、1组ETS试验继电器触点。而DEH单电磁阀试验和通道试验的输出分布在两个控制站中(单电磁阀试验逻辑分配在A站, 通道试验逻辑分配在B站)。具体如图5所示。

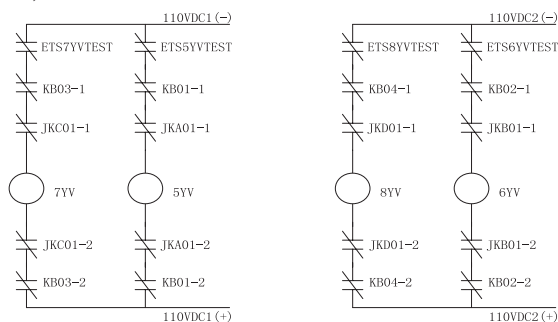


图5 优化前AST跳闸电磁阀驱动回路原理图

8.2 风险分析

AST电磁阀驱动回路中由5组继电器常闭触点串连组成, 串联的常闭触点数量较多, 且DEH单电磁阀试验和通道试验的输出分布在两个控制站中, 试验时分别动作相应的常闭触点, 增加了故障点。当其中任一常闭接点故障, 常闭触点都会断开(或接触不良), 将使相应的AST电磁阀失电动作。因此, 此种结构保护误动的风险较高。

8.3 改进措施

(1) 保留A站中关于5YV、6YV、7YV、8YV的保护控制逻辑及B站中关于5YV、6YV、7YV、8YV电磁阀的试验逻辑。

(2) 将B站通道试验的输出DO点所接的线路移至A站的DO输出端, 统一输出。

(3) 取消原控制回路中的JKA01、JKB01、JKC01、JKD01的常闭触点作用(将原触点接线位置短接)。

修改后5YV、7YV、6YV、8YV控制回路如图6所示。

这样, 总体上不影响在线的单电磁阀试验和通道试验, 同时取消了两对常闭触点, 减少了故障点, 提高了保护回路的可靠性。

9 AST失电跳闸反逻辑的改善

9.1 典型设计

ETS保护中, AST电磁阀控制仅在跳闸驱动级采用

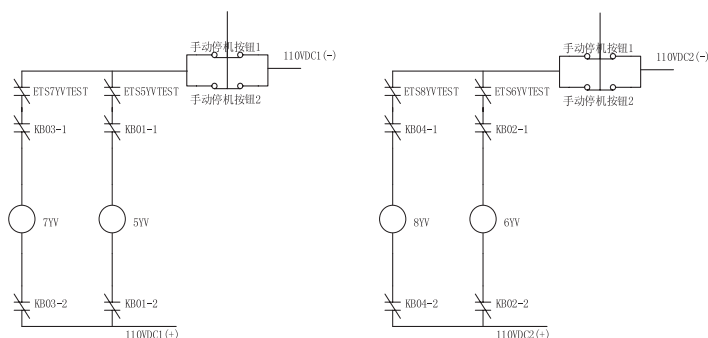


图6 优化后AST跳闸电磁阀驱动回路原理图

了反逻辑控制(失电跳闸), 而在ETS跳闸出口端均采用正逻辑(带电跳闸)控制方式, 未满足AST电磁阀控制全过程均为失电跳闸方式的要求。图7为采用正逻辑的ETS跳闸输出逻辑图。



图7 采用正逻辑的ETS跳闸输出逻辑图

9.2 风险分析

当机组运行中AST控制输出DO模件或其继电器故障时, 将导致相应的AST电磁阀拒动, 增加了保护拒动的风险, 不满足规程关于汽轮机保护应采用失电跳闸的要求。

9.3 改进措施

应将危急遮断系统整个回路优化设计为全程失电动作的回路, 这样在机组出现危急情况时, 依靠整个回路的失电动作的可靠性能够帮助汽轮机安全停止^[11]。

(1) 修改ETS控制逻辑, 将ETS跳闸指令取反后再输出。

(2) 修改AST控制回路, 将5YV、7YV、6YV、8YV控制回路中的ETS5YVTEST、ETS6YVTEST、ETS7YVTEST、ETS8YVTEST控制接点改为常开接点。具体如图8、图9所示。

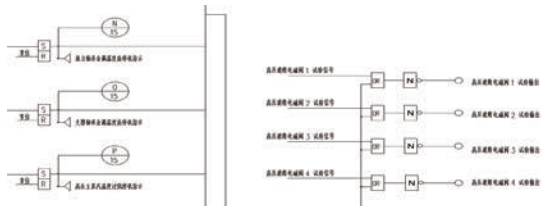


图8 采用反逻辑的ETS跳闸输出组态图

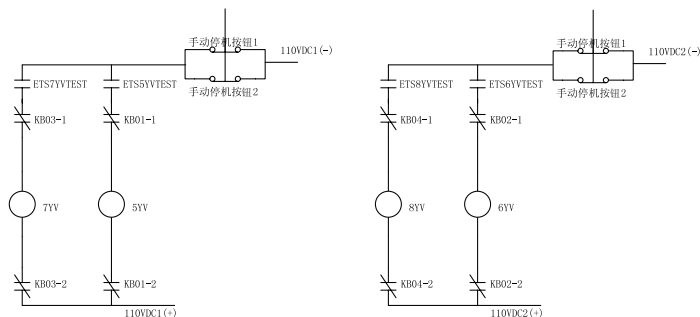


图9 采用反逻辑的AST跳闸回路原理图

10 结束语

综上所述各个实际案例分析，火力发电厂汽轮机危急遮断系统在实际设计及基建审查中，一定要对ETS保护

联锁回路进行认真的分析。往往一个小细节的疏忽，或者汽轮机厂原始的不合理设计，都可能影响主保护回路的正确动作，从而引发不期望的主机保护误动和拒动事件。对于类似的主机保护，应按照《防止电力生产事故的二十五项重点要求》，以及热工保护相关规程的要求逐项排查和认真分析。同时，日常检修及维护过程中，应严格执行保护联锁试验，认真学习电力行业典型事故案例，针对性排查和消除机组保护回路中存在的隐患，进一步提高热工仪表设备的可靠性。**AP**

作者简介

沈铁志（1975-），男，黑龙江哈尔滨人，高级工程师，学士，现就职于国能神福（石狮）发电有限公司，从事火力发电厂热控技术管理工作。

参考文献：

- [1] 范井生. 300MW机组ETS控制逻辑设计[J]. 自动化应用, 2018, (8): 19 - 21.
- [2] 夏均霞. ETS系统问题分析与优化方案[J]. 电工技术, 2017, (11): 60 - 61.
- [3] 马平. 汽轮机ETS保护系统可靠性分析及改进. [J]. 低碳技术, 2017,(6): 72 - 73.
- [4] 赵梁. ETS 系统电源可靠性分析[J]. 锅炉制造, 2019, 2 (3): 62 - 63.
- [5] 国家能源局. 关于印发防止电力生产重大事故的二十五项重点要求的通知[EB/OL]. <https://news.bjx.com.cn/html/20140605/516247.shtml>, 2014.
- [6] 周旭战, 等. 一起330MW汽轮机组异常跳闸原因分析及ETS系统改进[J]. 中国电力, 2018, (50): 39 - 46.
- [7] DL/T 996-2006. 火力发电厂汽轮机电气控制系统技术条件[S].
- [8] 电力行业热工自动化委员会. 火电厂热控系统可靠性配置与事故预控[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [9] 周芳芳. 600MW机组ETS系统成功改造优化[J]. 中小企业管理与科技, 2017, 10 (10): 179 - 180.
- [10] DL/T 5428-2009. 火力发电厂热工保护系统设计规定[S].
- [11] 陈鹏原. 汽轮机危急遮断系统硬回路设计优化分析[J]. 仪器仪表用户, 2018, (2): 83 - 86.