一起煤电机组深度调峰下高加切除原因的研究与探讨

文/朱勇基
陕煤电力信阳有限公司

摘要：近年来，随着电网负荷结构显著变化以及新能源装机容量的迅速增长，火力发电机组承受着巨大的调峰压力。针对公司3号机组因一次调频动作过强对高加水位产生扰动，导致3号高加水位高保护动作、对高加切除的现象进行原因分析、试验调整、并制定优化方案。通过总结机组运行期间以及深度调峰工况下一次调频动作过强对机组稳定运行的影响，为分析同类问题积累一定的经验。
关键词：一次调频；高加水位；扰动；切除；优化

火电机组调峰运行时，负荷大幅变动容易造成高低加水位控制不稳，对机组安全性、运行稳定性都会带来不利的影响。本文主要针对陕煤电力信阳有限公司（简称公司）在机组运行期间以及深度调峰下3号机组高压加热器（简称高加）切除运行进行分析，对一次调频逻辑进行优化，并通过实验证明了方案的可行性，保证了机组的安全运行。鉴于采用类似设计的电厂用户还有很多，问题的分析和解决过程对同类型系统具有一定的借鉴意义。

机组概况

公司煤电机组分散控制系统（DCS）采用北京日立公司 H-5000M 控制系统，由工程师站、操作员站、历史记录站及控制器单元等组成，控制功能包括模拟量控制系统（MCS）、炉膛安全监控系统（FSSS）、辅机顺序控制系统（SCS）、电气控制系统（ECS）、数据采集系统（DAS）、汽轮机调节系统（DEH）、小汽轮机调节系统（MEH）及与外系统接口等。

案例分析

1. 高加切除过程

2022年2月9日14时20分8秒，3号机组一次调频动作（汽轮机实际转速低于3 000 r/min且超过2 r/min），汽轮机主控总阀位反馈由67%突涨至72.5%，汽轮机主控总阀位输出值67%，由于实际主汽压值低于主汽压设定值，汽轮机主控总阀位输出值缓慢下降。14时23分13秒，由于汽轮机实际转速低于3 000 r/min且超过4 r/min，系统一次调频再次动作，汽机主控总阀位反馈由68%突升至73%，汽轮机主控总阀位输出值63%，由于实际主汽压值低于主汽压设定值，汽轮机主控总阀位输出值缓慢下降。14时24分49秒，一次调频动作结束，此时汽轮机主控总阀位输出值59%，汽轮机主控总阀位反馈由71%突降至59%，汽轮机主汽调门由51%突关至31%，3号高加进汽压力由0.62 MPa突降至0.56 MPa，正常疏水不畅加上抽汽压力突降产生的虚假水位造成3号高加水位30 s之内由－139 mm突涨至159 mm，高加切除。高加切除动作过程如图1所示。

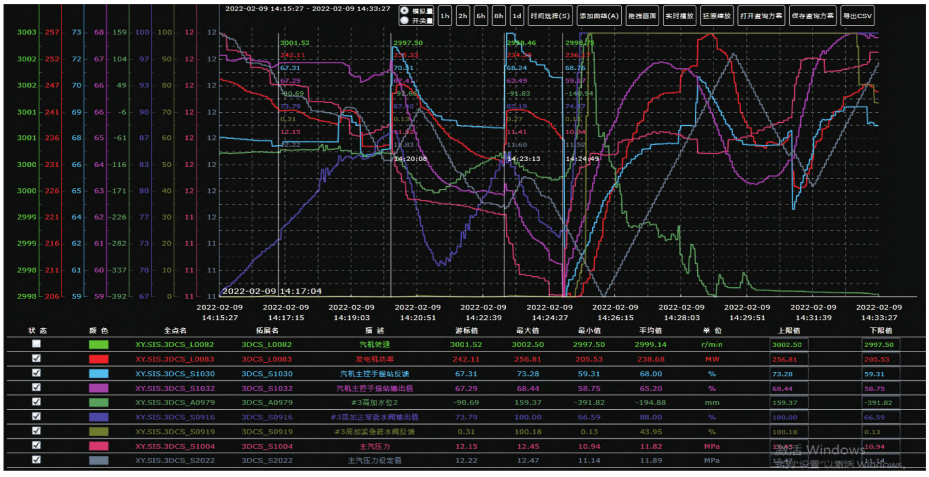

图1　高加切除动作过程图

2. 高加切除原因分析

3号机组负荷为24万kW·h 3号高加进汽压力为0.62 MPa，除氧器压力为0.32 MPa，3号高加与除氧器高度差为30 m左右，已出现疏水不畅的情况；一次调频动作后主汽调门突关造成抽汽压力下降，正常疏水受阻，再加上抽汽压力突降产生的虚假水位，由于危急疏水开启有个过程，不足以控制高加水位的上涨，一次调频动作过强，对高加水位产生扰动，造成高加切除。

通过分析3号机组一次调频运行数据，检查控制逻辑和参数并结合大唐中南院一次调频性能测试试验，发现目前3号机组一次控制逻辑存在两个问题。

1）DEH 侧一次调频阀位因子主汽压力存在两次修正，校正作用过强。3号机组一次调频阀位因子（前馈作用）在DEH逻辑组态中经过两次主汽压力修正，在中低负荷下压力修正系数经二次方修正后数值为修正前的2～5倍。以3号机组态为例（两台机组逻辑参数一致），两次主汽压力修正系数分别通过折线函数和公式计算得到。第一次主汽压力修正折线函数（见组态页DEH3300E）见表1。

表1　主汽压力修正折线函数

主汽压力/MPa	主汽压修正系数1
0	2
12	2
20	1.25
22	1.25
24	1
50	1

第二次主汽压修正的修正系数逻辑图（见组态页DEH33003）如图2所示，主汽压修正系数2=1.25×25/主汽压。

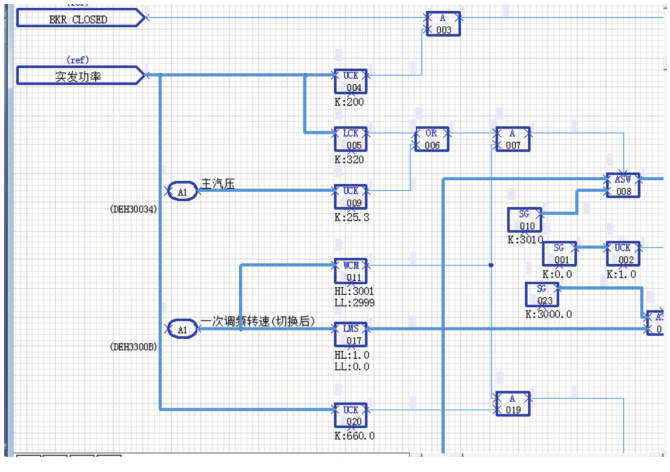

图2　第二次主汽压修正系数2逻辑图

当主汽压力为12 MPa时，二次压力校正共增加约5倍的正常阀位变动量。3号机组2月9日14时23分一次调频动作时：电负荷为235 MW，主汽压力为11.92 MPa，转速差约为4 r/min，理论一次调频阀位和功率因子应为2%和13.2 MW，但实际一次调频动作结束时，DEH总阀位指令瞬间下降约12%、功率下降30 MW，在其他修正因素共同作用下，阀位因子动作幅度近6倍，主汽调门突关幅度过大导致高加水位受到强烈扰动。

2）一次调频转速差在高低负荷时存在闭锁现象。2月9日14时23分，3号机组一次调频动作过程：电功率235 MW，一次调频转速已从最低2 996 r/min恢复至2 998 r/min调频死区内，一次调频动作结束，但由于转速仍低于2 999 r/min，一次调频转速差保持在4.2 r/min持续1 min，机组在升负荷方向以较高调频动作量持续动作1 min，导致高加水位后期受到强烈叠加扰动。

检查控制逻辑发现，组态将一次调频转速进行了限值处理。当功率低于320 MW时，一次调频转速大于3 001 r/min或低于2 999 r/min，一次调频转速上限自动切换为动作时段的转速单向极值；当功率高于660 MW时，一次调频转速大于3 001 r/min或低于2 999 r/min，一次调频转速下限自动切换为动作时段的转速单向极值。因此，在235 MW负荷下，一次调频转速低于2 999 r/min，经限值后的一次调频转速会维持在2 996 r/min对应的最低值，直至实际转速恢复至2 999～3 001 r/min。在深度调峰负荷工况下，该设计不利于机组安全运行。修改前逻辑示意图如图3所示。

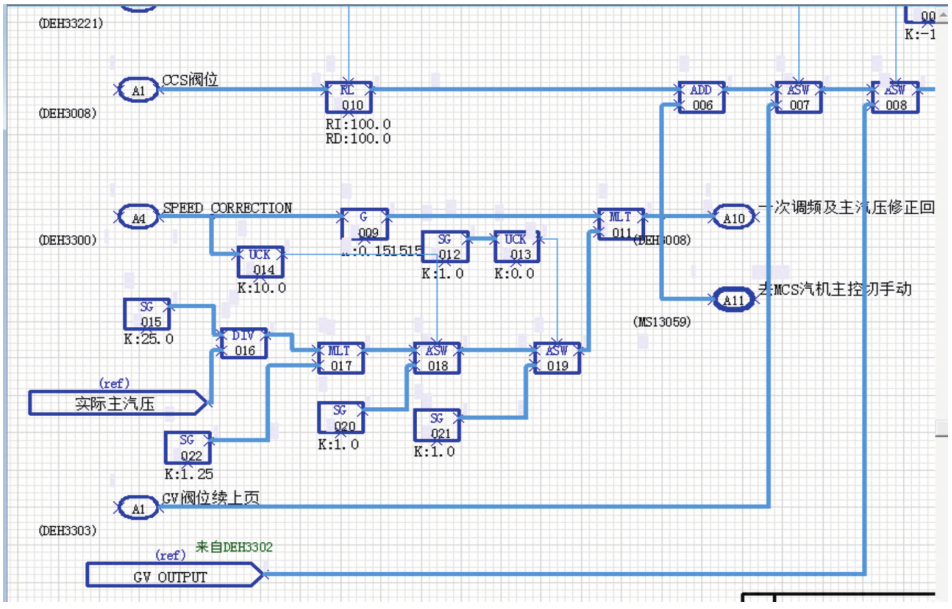

图3　修改前逻辑示意图

优化方案

（1）取消DEH 侧一次调频阀位因子第二个主汽压力修正

将主汽压力修正系数2置为常数1，仅采用折线函数修正，在60%P_e、75%P_e工况下一次调频的贡献率均能够达到80%以上。综合考虑机组稳定性和一次调频合格率，本次优化取消主汽压力修正系数2的修正功能，将其置为常数1。取消第二个主汽压修正逻辑图如图4所示。

（2）一次调频转速差在高低负荷时存在闭锁逻辑优化

根据《华中区域发电厂并网运行管理实施细则》[国家能源局华中监管局 华中能监市场（2020）153号]文件第十七条关于一次调频功能投入情况考核的规定，机组实际出力较低（火电P＜0.46 MCR）性能免考核。文件附件中对一次调频技术要求规定“当系统频率下降时，具备短时过负荷

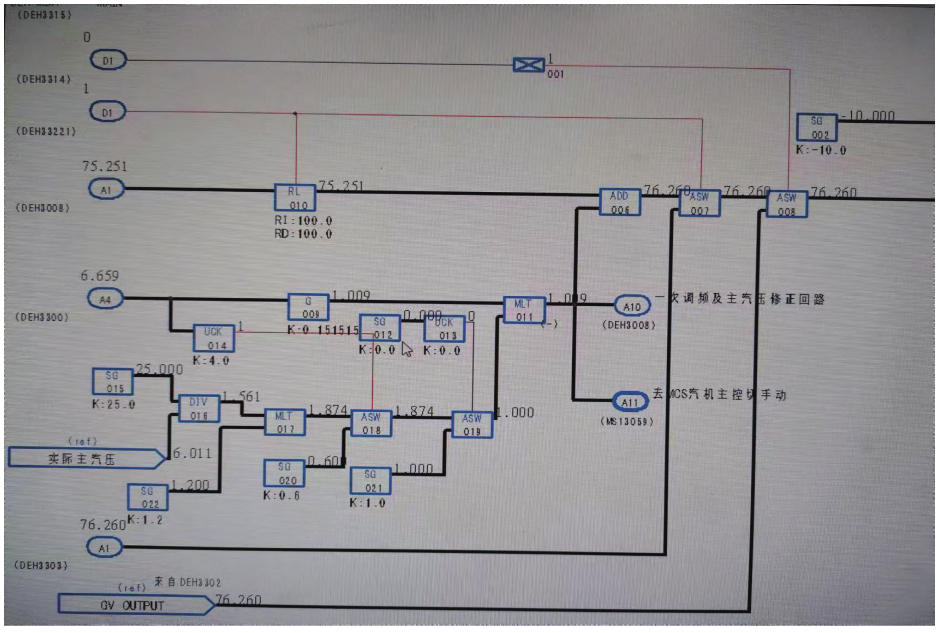

图4　取消第二个主汽压修正逻辑图

能力的火电机组应在确保机组安全的前提下充分发挥机组过负荷能力；当系统频率上升时，向下调峰运行的火电机组一次调频应能正确动作，在确保机组安全的前提下充分发挥机组深调峰能力。”本优化方案将控制逻辑中的WCM功能块（011功能块）改为UCK功能块和LCK功能块；负荷低限修改为300 MW。当负荷低于300 MW（根据火电免考核标准P＜0.46 MCR计算得出），且一次调频转速大于3 001 r/min时，一次调频转速上限跟踪当前转速值，闭锁一次调频减负荷动作；当负荷高于660 MW，且一次调频转速低于2 999 r/min时，一次调频转速下限跟踪当前转速值，闭锁一次调频增负荷动作。

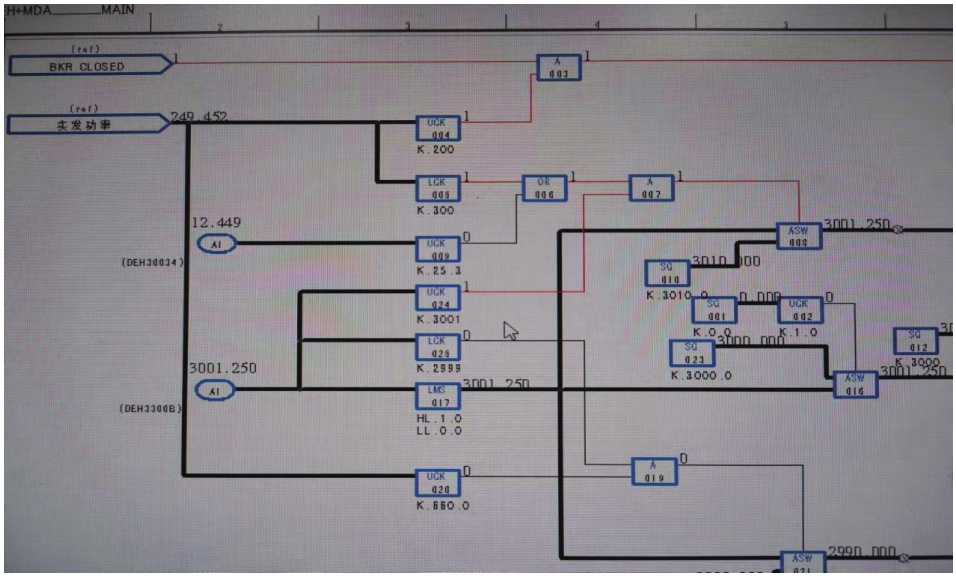

图5　修改后转速限制逻辑图

目前机组实际调峰负荷可达到调度要求。公司二期660 MW机组可实现220 MW以上投协调运行，220 MW以下非协调方式，运行人员手动减负荷深度调峰至60 MW并且稳定运行8 h以上。优化后3号机组一次调频动作后未出现高加水位波动现象，并且大唐中南院针对本次优化给予了认可。EA