

超(超)临界机组低负荷时 MFT 动作原因分析及优化策略

袁世通

(大唐华中电力试验研究所, 郑州 450000)

摘要:针对两台超临界机组低负荷变工况运行中由于给水泵再循环阀开启,造成机组给水流量低,触发主燃料跳闸(MFT)信号的非停事件进行分析,设计了阶梯式比例-积分-微分(PID)控制策略:给水泵入口流量较高时,再循环阀由 PID 自动控制;给水泵入口流量降至保护开启定值时,再循环阀由流量阀位函数综合控制。大大降低了再循环阀对给水流量的影响,提高了机组低负荷运行的安全性。

关键词:超(超)临界机组;低负荷;主燃料跳闸;给水泵再循环阀;比例-积分-微分控制

中图分类号:TM 621 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-1951(2017)07-0048-04

0 引言

近几年,受我国用电量增速放缓和发电总装机容量(包括火电、水电、风电、光伏等)迅速增长的双重影响,火电机组发电小时数不断降低。由于电网运行中的负荷峰谷差不断增大,作为发电主力的火电厂,其深度调峰的作用凸显,各区域电网“两个细则”的实施,更是加大了火电厂的调峰压力。机组长期低负荷调峰,对运行设备的性能和控制系统的品质提出了更高的要求。本文对两台超临界机组低负荷变工况运行中由于给水泵再循环阀开启,造成机组给水流量低,触发主燃料跳闸(MFT)信号的非停事件进行分析。

1 某 650 MW 超临界机组 MFT 事件

1.1 事件经过

该机组锅炉为北京巴布科克·威尔科克斯有限公司引进美国 B&W 公司技术生产的 B&WB-1900/25.4-M 型超临界参数“W”火焰锅炉。

2015-11-01 T 04:47:00, 机组负荷为 270 MW, 锅炉给水流量为 698.00 t/h, 主蒸汽温度为 565.00 °C, 选择后中间点温度为 360.60 °C, 设定值为 364.20 °C。给水控制在自动方式正常调节, A, B 侧分离器出口温度偏差为 15.00 °C 左右。

04:49:42, 选择后中间点温度为 369.88 °C, 运行人员将中间点设定值的偏置由 -3.85 °C 调整为 -7.05 °C, 中间点温度设定值变为 357.43 °C, 设定值和测量值偏差为 12.45 °C, 给水控制切手动(逻辑

辑为偏差大于 10.00 °C, 延时 10 s 给水控制切手动), 此时给水统操指令为 55.26%, 锅炉给水流量为 731.50 t/h, 此后运行人员开始手动操作给水指令。

04:51:47, 锅炉燃料量为 118.00 t/h, 运行人员手动将给水统操指令增加至 57.05%, 将锅炉给水流量调整为 992.92 t/h, 控制逻辑中给水流量参考值为 797.45 t/h, 中间点温度设定值为 375.67 °C, 选择后中间点温度为 377.59 °C, 运行人员将给水控制投入自动调节, 此时 A, B 侧分离器出口温度偏差为 25.00 °C 左右。

04:52:07, 给水统操指令为 56.40%, 锅炉给水流量为 999.20 t/h, 中间点温度设定值为 376.00 °C, 选择后中间点温度为 372.50 °C, 运行人员将给水控制切手动, 开始手动减小给水流量, 此时 A, B 侧分离器出口温度偏差为 29.00 °C 左右。

04:52:47, 运行人员手动将给水统操指令减为 48.83%, 锅炉给水流量为 763.00 t/h, 控制逻辑中给水流量参考值为 808.49 t/h。此时 A 汽泵给水泵(以下简称汽泵)转速指令为 3402.69 r/min, 实际转速为 3804.72 r/min, B 汽泵转速指令为 3470.63 r/min, 实际转速为 3878.67 r/min, 两台汽泵的转速指令和实际转速相差 400.00 r/min 左右, 此时运行人员投入给水自动, 给水统操指令在 48.83% 的基础上开始增加。

04:53:06, 给水统操指令增至 53.27%, 锅炉给水流量为 541.90 t/h, 此时 A 汽泵转速指令为 3612.37 r/min, 实际转速为 3745.32 r/min, B 汽泵转速指令为 3675.37 r/min, 实际转速为 3802.70 r/min, 运行人员将给水控制切手动, 开始增加给水统操指令。

04:53:09, 给水统操指令增至 53.84%, A 汽泵

转速指令为 3 662.37 r/min,实际转速为 3 746.80 r/min,B 汽泵转速指令为 3 725.40 r/min,实际转速为 3 800.80 r/min,锅炉给水流量为 522.90 t/h,B 汽泵进口流量为 296.52 t/h(低于 300.00 t/h),B 汽泵最小流量阀超驰开启。

04:53:37,锅炉给水流量为 424.80 t/h,给水流量低 MFT 保护动作。

1.2 事件分析

给水控制切手动后,由于运行人员手动大幅增减锅炉给水流量,导致 B 汽泵最小流量阀因为 B 汽泵入口流量低于 300.00 t/h 而超驰联开,锅炉给水流量下降,最终导致给水流量低 MFT 保护动作,具体过程分析如下。

04:49:42,给水统操指令为 55.26%,锅炉给水流量为 731.50 t/h。

04:52:07,手动增加给水统操指令至 56.40%,锅炉给水流量为 999.20 t/h。

04:52:47,运行人员手动减小给水统操指令至 48.83%,锅炉给水瞬时流量为 763.00 t/h,此时由于给水统操指令降速过快,且汽泵正常转速调节需要一定时间,两台汽泵的转速指令比实际转速低 400.00 r/min 左右,给水指令对应的给水流量远低于 763.00 t/h。此后,虽然给水指令开始增加,但转速指令仍然低于汽泵当前转速,因此汽泵出力继续下降,锅炉给水流量继续降低。

04:53:09,由于此前给水统操指令降得太低,虽然给水统操指令已增至 53.84%,但此时对应的汽泵转速指令仍低于汽泵实际转速(A 汽泵转速指令为 3 662.37 r/min,实际转速为 3 746.80 r/min; B 汽泵转速指令为 3 725.40 r/min,实际转速为 3 800.80 r/min),因此汽泵出力并无增加,此时 B 汽泵进口流量降为 296.52 t/h(低于 300.00 t/h),B 汽泵最小流量阀超驰开启。此后,虽然给水统操指令继续增加,但由于 B 汽泵最小流量阀超驰全开,锅炉给水流量继续降低。

最终在 04:53:37,锅炉给水流量降为 424.80 t/h,给水流量低 MFT 保护动作。

2 某 660 MW 超超临界机组 MFT 事件

2.1 事件经过

该机组使用上海锅炉厂有限公司生产的 SG-2000/26.15-M625 型锅炉,为国产超超临界参数变压直流炉,一次再热、固态排渣、全钢结构、II 型布置,采用平衡通风以及四角切圆燃烧方式。

2016-07-15 T 01:37:02,锅炉跳闸,跳闸首出为锅炉给水流量低。锅炉跳闸前,机组负荷为

330 MW,主给水流量约为 920.0 t/h,A 汽泵进口流量为 560.0 t/h,B 汽泵进口流量为 520.0 t/h,但主给水流量波动较大。查询现场历史趋势,B 汽泵的低压调节阀伺服阀存在卡涩现象,造成伺服指令与线性可变差动变压器(LVDT)反馈存在较大延迟,从而产生伺服指令与 LVDT 反馈交替变化的正弦波振荡,造成主给水流量波动较大。

01:25:12,由于给水流量波动,运行人员将 B 汽泵切手动调整,B 汽泵实际转速与指令存在偏差。

01:28:54,将 B 汽泵重新投入自动,A 汽泵指令在 40%~37%之间波动,B 汽泵指令在 41%~37%之间波动,给水流量在 920.0~850.0 t/h 之间波动,A 汽泵入口流量在 490.0~440.0 t/h 之间波动,B 汽泵入口流量在 520.0~440.0 t/h 之间波动。

01:34:00,运行人员将 A 汽泵切手动,A 汽泵实际指令为 38%,A 汽泵入口流量稳定在 530.0 t/h 左右;B 汽泵自动,指令自动由 41%逐渐下减。

01:35:55,A,B 汽泵入口流量分别为 566.0,556.0 t/h,A,B 汽泵转速分别为 4 115,4 126 r/min,此时运行人员再次将 B 汽泵切至手动控制,B 汽泵指令为 32%。

01:36:41,锅炉给水流量下降至 785.0 t/h,B 汽泵入口流量降至 358.0 t/h,低于设定值 360.0 t/h,B 汽泵再循环阀逐渐开启。

01:36:42,B 汽泵再循环流量降至 348.6 t/h,B 汽泵再循环阀全开,01:36:48 主给水流量低于 500.0 t/h,延时 15 s 后,锅炉因给水流量低跳闸。

2.2 原因分析

(1)因 B 汽泵伺服阀卡涩造成给水泵汽轮机伺服系统的迟缓率增大,伺服指令发出后,约 30 s 后 LVDT 反馈才动作,造成控制不及时,导致给水流量波动大。

(2)运行人员发现给水流量波动后,由于操作不当造成给水流量波动加大,导致 B 汽泵的入口流量低于 350.0 t/h,B 汽泵再循环阀快速打开,从而使主给水流量快速降至跳闸值。

(3)B 汽泵运行时 B 汽泵再循环阀投入自动,再循环阀根据 B 汽泵入口流量设定值(360.0 t/h)与 B 汽泵入口流量偏差进行自动调节,逐渐开启阀门。但是,B 汽泵再循环调节阀的逻辑中有超驰开 B 汽泵再循环阀逻辑,超驰开的定值为 350.0 t/h;01:36:42,B 汽泵入口流量降至 348.6 t/h,超驰信号起作用,再循环阀瞬间打开,从而使主给水流量降至跳闸值,所以该超驰逻辑是不合理的^[1-2]。

3 给水泵再循环阀控制策略分析和优化

3.1 控制策略分析

这两次机组非停的直接原因是给水流量波动

时,达到汽泵入口流量低限,触发给水泵再循环阀动作,快速开至 100%,导致给水流量进一步降低,最终触发 MFT 信号。给水泵再循环阀控制逻辑如图 1 所示(图中:DPU 为分散处理单元)。

3.2 控制策略优化方案

针对上述问题,设计了阶梯式比例-积分-微分(PID)控制策略^[3-4],该策略主要包括 PID 控制

部分和流量阀位函数控制部分。给水泵入口流量较高时,再循环阀由 PID 自动控制;给水泵入口流量降至保护开启定值时,再循环阀由流量阀位函数综合控制;另外,该控制逻辑保留原有逻辑的超驰保护部分(适当降低流量低限设定值),控制逻辑如图 2 所示。

在 PID 控制部分,通过给水泵出口压力设定给

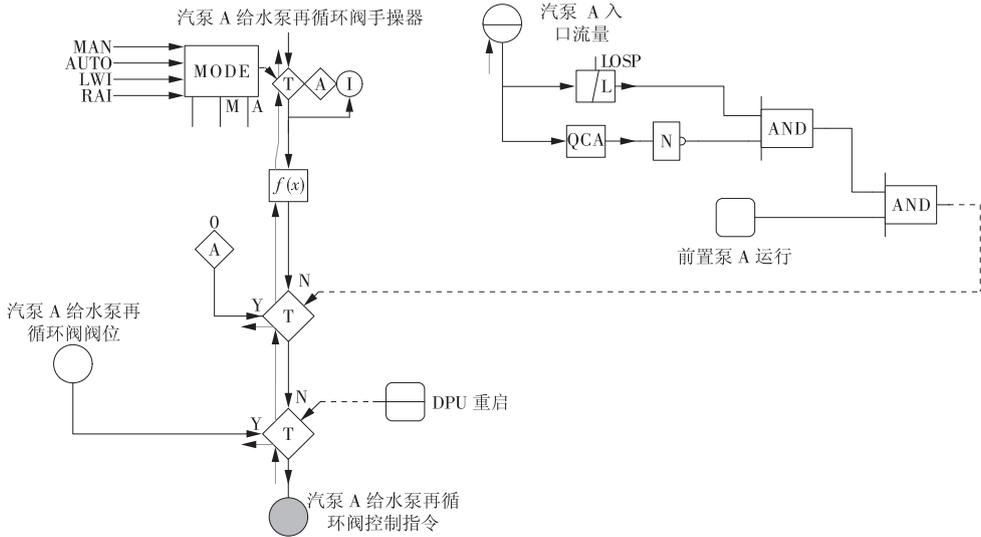


图 1 给水泵再循环阀控制逻辑

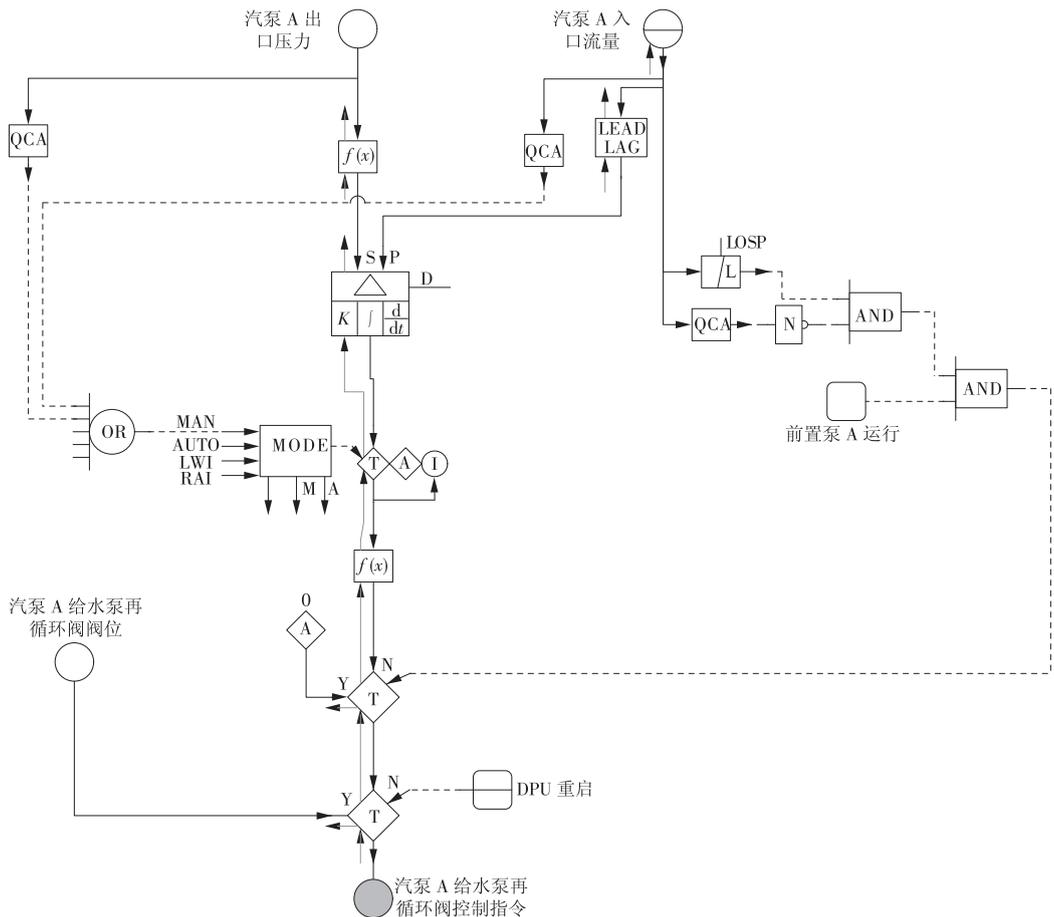


图 2 阶梯式 PID 控制策略

水泵入口最小流量定值,压力-流量函数关系见表 1,然后再通过 PID 自动调节给水泵再循环阀开度。

在流量阀位函数控制部分,通过给水泵的最小流量安全运行区域,确定给水泵转速对应的再循环阀指令,转速-开度函数关系见表 2。

表 1 压力-流量函数关系

给水泵出口压力/MPa	0	5.6	10.0	11.0	15.0	18.6	25.0	30.0
给水泵入口最小流量设定值/(t·h ⁻¹)	210	210	300	310	370	410	480	520

表 2 转速-开度函数关系

给水泵入口流量/(t·h ⁻¹)	210	250	280	320	350	370	400	2000
给水泵再循环阀开度/%	100	80	40	25	15	0	0	0

4 结束语

针对两台超临界机组在低负荷变工况运行中,由于给水泵再循环阀开启,造成机组给水流量低,触发 MFT 信号的非停事件,提出了阶梯式 PID 控制给水泵再循环阀的解决方案,经过控制系统的改进优化,取得了良好的效果。

参考文献:

- [1]侯悦. 300 MW 机组汽动给水泵出口流量低的原因分析及处理[J]. 机电信息,2012(9):41,43.
 [2]岳建华,谢建民,朱延海,等. 火力发电厂给水泵再循环

(上接第 47 页)

(4)随着我国电网建设和城乡电网改造的深入,为满足广大电力用户对节能型配电变压器的需求,用非晶合金变压器取代那些低效、高耗、性能落后、安全性差的配电变压器已势在必行。根据我国非晶合金铁芯变压器生产制造和使用的现状,在各方共同努力下,非晶合金铁芯变压器的研究制造会更上一层楼,不久的将来,其在供配电领域内的应用一定会大面积展开。

参考文献:

- [1]徐泽玮. 非晶合金铁芯变压器开发现状和应用前景[J]. 电气应用,1992(4):15-17,20.
 [2]陈新周,林知音. 浅谈非晶合金铁芯变压器的发展与应用[J]. 机电工程技术,2011,40(8):178-181,206.
 [3]陈鹏. 非晶合金变压器市场现状及分析[J]. 电力设备,2008,9(10):112-115.
 [4]宋天林. 非晶合金变压器发展前景探析[J]. 电器工业,2008(6):30-33.
 [5]冯玉良,刘德坤. 非晶合金干式变压器的应用[J]. 华北电力技术,2008(8):25-28.

3.3 运行效果

按照阶梯式 PID 控制策略对两台机组进行优化,机组低负荷运行时,给水泵再循环阀可以平稳开启、关闭,大大降低了再循环阀对给水流量的影响,同时也降低了给水泵的电耗,提高了给水泵的经济性和机组的安全性。

- 控制系统优化研究[J]. 中国电力,2014,47(9):11-17.
 [3]毕明波,李国浦,闵兆俭. 600 MW 超临界机组电动给水泵控制逻辑优化[J]. 内蒙古电力技术,2015,33(2):75-79.
 [4]李波,张谦,殷建华,等. 350 MW 汽轮发电机组给水泵再循环阀控制策略优化[J]. 内蒙古电力技术,2016,34(1):45-48.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

袁世通(1985—),男,河北武邑人,工程师,工学博士,从事发电厂复杂系统建模与控制方面的工作(E-mail:yyst.19@163.com)。

- [6]黄海燕. 非晶合金变压器的节能效果及应用[J]. 华中电力,2008,21(4):69-72.
 [7]王金丽,盛万兴,向驰. 非晶合金配电变压器的应用及其节能分析[J]. 电网技术,2008,32(18):25-29.
 [8]郑国华. Dyn11 联结组别配电变压器的应用分析[J]. 应用能源技术,2008(11):27-29.
 [9]《变压器》杂志社. 美国非晶合金铁心变压器研制动态[J]. 变压器,1992(5):10.
 [10]谢树章. 非晶合金变压器对节能和环保作用[J]. 中国勘察设计,2010(9):64-68.
 [11]刘焕. 浅谈非晶合金铁心变压器[J]. 变压器,2007,44(4):15-17.
 [12]长征. 非晶变压器的节能效果[J]. 金属功能材料,2002,9(3):43.
 [13]屈卫民. 非晶合金铁芯配电变压器浅析[J]. 山西电力,2007(1):63-65.
 [14]韩能霞. 非晶合金铁心变压器的特点分析[J]. 江苏电器,2008(9):50-52.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

王文(1990—),男,贵州安顺人,助理工程师,从事电力生产技术工作(E-mail:1365495486@qq.com)。