

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2019.09.016

阳煤西上庄 2 × 660 MW 热发电机组实现 FCB 功能的分析

Analysis of FCB function in Yangmei Xishangzhuang
2 × 660 MW thermal power units

白常青

BAI Changqing

(阳泉煤业集团西上庄低热值煤热电有限公司,山西 阳泉 045000)
(Yangquan Coal Industry Group Xishangzhuang Low Calorific Value Coal
Thermal Power Company Limited, Yangquan 045000, China)

摘要:阐述火力发电厂大容量机组实现快速切负荷(FCB)功能的意义,分析阳煤西上庄 2 × 660 MW 热发电机组实现 FCB 的重要性。该功能可以在电网出现故障时实现带厂用电孤网运行,并可随时恢复向外送电,缩短电网恢复时间,提高在电网崩溃情况下的生存机会,体现电厂的社会价值所在。通过对国内电力企业几家电厂 600 MW 以上等级超临界发电机组成功实施 FCB 功能经验的借鉴,针对阳煤西上庄热发电机组主辅机配置的特点,提出阳煤西上庄 2 × 660 MW 热发电机组实现 FCB 功能的建议,为项目在基建期试运行阶段实施 FCB 功能提供技术探索和支持。

关键词:热发电机组;超临界;快速切负荷;控制策略

中图分类号:TM 62 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-1951(2019)09-0059-04

Abstract:The significance of fast cut back (FCB) function for high-capacity units in thermal power plants, and the importance of implementing FCB for 2 × 660 MW units in Yangmei Xishangzhuang thermal power plant is introduced. This function can realize the operation on isolated network when there is fault in power grid, realize quick restoration of power transmission at any time, and improve the survival opportunity in the case of grid collapse. It reflects the social value of the power plant. Based on the experience of FCB function implemented in some supercritical units of 600 MW or above in domestic power enterprises, analysis on application of FCB function in Yangmei Xishangzhuang 2 × 660 MW thermal power units is proposed according to the characteristics of its main and auxiliary machine configuration. It provides technical exploration and support for the implementation of FCB function during the pilot phase of the project.

Keywords:thermal power unit; supercritical; FCB; control strategy

0 引言

近年来随着国民经济的快速发展,我国电力设备制造和装机水平已处于世界前沿,电网规模日趋庞大,电网的安全性也受到严峻考验。尤其是在 2001 年美国加州地区大停电事件之后,国内各大电力企业结合国外的研究成果,开展了如何在电网崩溃时能使机组幸存下来,避免被迫实施“黑启动”相关技术研究。2008 年我国南方地区雨雪冰冻灾害导致湖南省大面积输电线塔倒塌,造成湖南大面积停电,郴州电网成为全国关注的“电力孤岛”,虽然

郴州地区成功实施了 3 次“黑启动”,用水电机组启动火电机组,进而以点带面逐渐恢复电网供电。如果我国的火力发电机组具备 FCB 功能就可以在电网崩溃时幸存,对加速电网恢复具有社会价值和意义。也正是 2008 年的雨雪冰冻灾害促使我国电力领域认识到火力发电机组实施 FCB 功能的重要性和紧迫性,加快了 FCB 功能的研究。目前我国有多个电力企业成功实施了 FCB 功能,本文结合广东国华粤台山发电有限公司二期百万机组、浙江浙能兰溪发电有限责任公司 4 × 600 MW 机组、上海外高桥第三发电有限责任公司百万千瓦级机组(以下简称百万机组)情况,在借鉴经验、参考分析的基础上提出阳煤西上庄 2 × 660 MW 热发电机组实现 FCB 功

能的完善建议。

1 FCB 功能及意义

FCB 指火电机组在电网或线路出现故障而机组本身运行正常的情况下,机组主变压器(以下简称主变)出线开关跳闸,不联跳汽轮机和锅炉,发电机带机组的厂用电运行,汽轮机保持 3 000 r/min,锅炉快速减少燃料量,高低压旁路快速开启,实现机组仅带厂用电的“孤岛运行”方式。

适用于 FCB 功能的 3 种情况:停网不停电(发电机);停电不停机(汽轮机);停机不停炉。其中停网不停电(发电机)方式是火力发电机组最恶劣的运行工况,也是对机组设备、运行技术和控制性能的重大挑战,是火电机组最难实现、风险最大的功能,同时也是火力发电机组在电网崩溃时能使机组幸存下来成为“星星之火”的重要功能。实施 FCB 功能的火力发电机组具有如下社会价值和意义。

(1)有利于加快电网恢复,降低电网事故损失。因电网或电厂出线造成发电机组与电网解列时,试想,如果电厂具备 FCB 功能,可以实现发电机解列带厂用电运行的能力,将有助于电网在最短时间内恢复正常,其社会效益也不能简单地用数字衡量,同时也是该电厂在社会活动中的另一种价值体现。

(2)有利于降低电厂运行成本。在事故性质方面,与锅炉发生主燃料跳闸(MFT)工况相比,FCB 工况的触发条件属于可处理故障,停网不停电(发电机)、停电不停机(汽轮机)或停机不停炉,都维持着较高的运行参数,机组处于极热态、热备用状态,事故原因一经确认、消除,机组在极热态下重新启动升负荷可以节省大量时间和能耗,对降低电厂运行成本十分有益。

(3)有利于延长设备寿命。一般地火电发电厂热力机械设备的寿命计算是以金属应力变化幅度和次数作为依据,应力和温度存在函数关系。锅炉极端的变工况应该是带满负荷时突然发生 MFT,温度变化幅度最大,如果机组不设计 FCB 功能,那么发生 FCB 动作的条件毫无疑问会引起锅炉 MFT 动作,金属应力变化幅度和次数肯定增加,将有损于设备性能。而成功实施 FCB 功能将使锅炉热力参数运行在设计允许范围内,降低了设备损耗也就等同于延长了机组使用寿命^[1]。

上述充分说明,具有 FCB 功能的发电机组可以保证热力系统参数不超过安全定值,维持预定目标运行以及设备和人员的安全。因此,新建超超临界国产机组 FCB 功能的实施和应用,将对电厂在能源革命环境下生存具有特别的意义。

2 阳煤西上庄项目实施 FCB 功能分析

国家在“十三五”期间加强了能源领域绿色低碳环保的规划,火力发电企业迎来了新的发展机遇。最近几年随着“十三五”规划的逐步实施,火力发电企业也加强了绿色低碳环保的投入,但在全国火电份额日趋收紧且呈下降发展趋势的当下,如何提高火电企业生存的地位也成为国内电力企业研究重点。阳煤西上庄 2 × 660 MW 热电机组项目地处山西省东大门阳泉市,地理位置突出,是华北西部电网、山西中东部电网解环和改善电网结构,提高供电可靠性规划的电源建设点,是阳泉市西部地区唯一的支撑电源点,也是阳泉市西部地区民生供热的唯一热源点。如何提高电网适应性和电网崩溃情况下的生存机会,作为一个新建项目有必要进行充分的技术分析和论证。

2.1 主辅机配置情况

阳煤西上庄 2 × 660 MW 热电机组项目,锅炉采用哈锅制造的超超临界参数、直流锅炉、单炉膛 Π 型布置、一次中间再热、平衡通风、全钢架悬吊结构;前后墙对冲燃烧方式、运转层以下封闭布置、固态排渣,型号为 HG - 2080/28.25 - PM10。制粉系统采用双进双出钢球磨煤机正压直吹式制粉,微油点火,设 2 台豪顿华三分仓空气预热器,燃用低热值无烟煤,3 大风机各采用 2 台 50% 容量的动叶可调轴流风机。汽机采用哈汽制造的高效超超临界、一次中间再热、间接空冷、抽汽凝汽式汽轮机,型号为 CJK660 - 27/0.4/600/610。汽机高低压旁路系统采用两级串联旁路,容量为额定工况下 40% BMCR 流量。高压加热器采用大旁路系统,抽气系统采用 8 级回热。给水系统采用 1 台容量为 100% 的汽动给水泵和 1 台 30% 的电动启动给水泵。除氧器可滑压运行。凝结水系统采用 2 台 100% 的永磁调速凝结水泵。真空系统采用 2 台 100% 容量的水环真空泵。发电机采用水氢氢冷却,自并励静止励磁方式,型号为 QFSN - 660 - 2。机组工艺系统采用低温省煤器,干式电袋除尘器和湿式电除尘器,SCR 脱硝系统,石灰石 - 石膏湿法脱硫的超低排放工艺路线。仪控设备采用北京和利时系统工程有限公司制造的 HOLLiAS MACS - K 控制系统全厂一体化控制方案。

2.2 实现 FCB 难点分析

根据国内电厂的研究,FCB 控制难点是发电机组与电网解列后,汽轮机大幅度甩负荷,转速飞升的抑制,汽机超温、热应力、轴系的平衡;锅炉汽水系统超压和降温的突变控制。据相关文献资料可知,汽

机旁路容量越大越有利于实施FCB功能,目前国内百万机组基本都设有FCB功能,比如成功实施FCB功能的上海外高桥第三发电有限责任公司百万机组和广东国华粤电台山发电有限公司二期百万机组,这2个电厂都是100%容量高压旁路阀(以下简称高旁)+65%容量低压旁路阀(以下简称低旁)+100%再热安全阀;但也有600 MW等级机组通过优化控制和技术改造后也成功实施FCB功能的案例,比如浙江浙能兰溪发电有限责任公司4×600 MW机组,其汽机旁路40%容量的高低压两级串联旁路。

前面已述,具有FCB功能的机组通常可以实现停网不停电(发电机)、停电不停机(汽轮机)、停机不停炉3种情况。这3个情况最不易实现的就是停网不停电(发电机),即带厂用电运行。阳煤西上庄电厂在设计之初只考虑了后2种功能的实现,由于西上庄项目在电网中以带基本负荷为主,兼具一定调峰功能,所以汽轮机旁路系统未考虑带厂用电运行功能,旁路容量最终按40%设计,这样给FCB实现带厂用电运行功能带来一定困难。因为实现停网不停电(发电机)这种恶劣工况对机组热力系统的设计有一定的要求,也是实现FCB功能的难点^[2]。

2.2.1 主汽、再热和旁路管道的设计

要求在FCB工况下高、低旁阀后管径按旁路容量+减温水量考虑,这样给水泵和凝结水泵出口流量也需要考虑FCB工况下的减温水量。由于高旁减温水取自给水泵出口,低旁减温水取自凝结水泵出口,阳煤西上庄项目要实现FCB功能,旁路阀后管径和水泵出口流量还需满足FCB停网不停电(发电机)工况下的余量。

2.2.2 汽水系统工质的平衡与回收

机组FCB动作后,由于汽水系统工质平衡被打破,如果旁路系统不是大旁路设计,那么大量的工质将被安全阀排出,如何快速向系统补充工质是常规两级串联旁路(30%~40%)实现FCB停网不停电(发电机)功能必须要考虑的难点。除了系统设计要留有余量外,还需要控制系统优化逻辑和有关参数。阳煤西上庄项目旁路容量是40%锅炉最大连续蒸发量(BMCR),锅炉设计有电磁安全阀(PVC阀),过热器和再热器设有弹簧安全阀,配置上满足快速释放压力的要求,但在满负荷工况发生FCB时,如何使汽水系统快速实现新的平衡,还需要考虑增加可调节型再热器安全阀,按不超压的原则控制,当其开启时只排放多余的蒸汽,这对改善FCB工况下的工质平衡极为有利;从几家成功实施FCB功能的电厂经验来看,在FCB动作后期对工质的补充仍显紧张,阳煤西上庄项目凝汽器补水系统取消了凝

结水补水箱,改为直接由化学除盐水变频泵补水,需要除盐水泵出力选型设计满足FCB工况下快速大量补水的要求。

2.2.3 辅助蒸汽系统汽源的切换

100% FCB 工况下,由于抽气系统被破坏,自动给水泵、高压除氧器需要考虑切换到再热冷段,要求辅助蒸汽系统设计汽源可切换到再热冷段,考虑在FCB工况下再热冷段至辅汽系统,辅汽系统至除氧器、小汽机管道的管径能满足通流和热力性能要求。阳煤西上庄项目辅汽系统备用汽源为再热冷段,并且单台100%容量的小汽机设计有汽源内部切换功能,配置上满足实现FCB功能的要求,但需要根据FCB工况设计管径的通流能力,热力性能应能满足再热冷段蒸汽参数。

2.2.4 控制系统的优化设计

根据浙江浙能兰溪发电有限责任公司4×600 MW机组的改造经验,需要优化电气FCB信号的组成,需要将零功率跳机、发电机出口开关合位和主蒸汽阀开3个信号相与作为电气FCB信号。汽轮机FCB信号采用电气FCB信号和发变组保护未动作信号相与。锅炉FCB信号采用RS触发器的输出信号(如图1所示),其中“置位”采用电气FCB信号和锅炉负荷>35%相与,“复位”为RS触发器输出信号延时60 s,该RS触发器为复位优先方式^[3-7]。

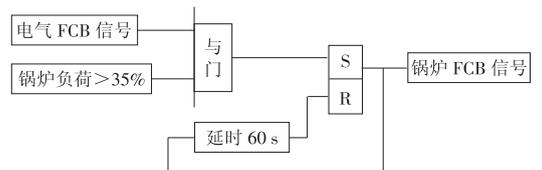


图1 锅炉FCB信号

Fig.1 Boiler FCB signal

此外,由于阳煤西上庄项目未设计发电机出口断路器,还需要优化厂用电切换条件,在电网故障时发电机变压器组出口断路器跳闸,发电机运行时,不切换厂用电,由发电机带厂用电进行孤岛运行;机、电、炉大连锁逻辑按照借鉴经验,需增加解除机、电、炉大联锁的反向保护功能的逻辑,即当FCB功能投入时,自动退出“零功率切机动作联锁发变组保护动作”“汽轮机紧急跳闸系统(ETS)动作联锁锅炉MFT动作(负荷大于额定工况的40%)”保护。另外,还需要对模拟量控制系统(MCS)、顺序控制系统(SCS)、协调控制系统(CCS)、汽轮机旁路控制系统(BPS)的逻辑参数优化满足FCB工况,需修改励磁系统初始给定值,以防FCB动作时发电机过电压。

3 实现FCB功能的建议

FCB功能的实现是一个系统工程,需要机组工

艺系统、设备、控制等统筹配置和协调控制。阳煤西上庄 2 × 660 MW 热电机组项目要实现 FCB 功能,建议在机组下一步选型和设计阶段加强事前设计,按照 FCB 工况下机组能量快速平衡和回收的原则,优化汽轮机旁路控制逻辑和参数,提高快速响应性;合理选择锅炉安全阀排泄流量和工质补充的优化设计。建议优化汽轮机数字电液调节系统(DEH) 逻辑控制机组转速飞升;电气 FCB 逻辑判断条件和厂用电切换条件,优化机组大联锁保护协调关系等。

4 结论

通过上述分析,阳煤西上庄 2 × 660 MW 热电机组项目在主辅设备选型配置和工艺系统路线选择上已基本具备实施 FCB 功能。当前受国家政策影响,煤电机组比重降低,非化石能源比重增高,国家为消纳非化石能源,要求煤电机组参与大幅度调峰。而组成非化石能源结构的水电、风电、太阳能发电机组,受特定的季节和时间约束,新能源发电机组对电网的冲击增大,电网可靠性降低。阳煤西上庄项目作为区域骨干支撑电源点,下一步应结合火电灵活性改造政策在校核设备出力和控制系统逻辑优化的基础上,可利用基建调试期对 FCB 功能实施 100% 和 75% 负荷情况下的 FCB 功能试验。

(上接第 58 页)三次风进行浓淡分离,并将三次风下移的布置方式,在工程实际应用中取得了很好的改造效果。

参考文献:

[1]徐旭常,吕俊复,张海. 燃烧理论与燃烧设备[M]. 北京:科学出版社,2012.

[2]冯俊凯,沈幼庭,杨瑞昌. 锅炉原理及计算[M]. 北京:科学出版社,2003.

[3]吴碧君. 燃烧过程中 NO_x 的生成机理[J]. 电力环境保护,2003,19(4):9-12.

[4]哈尔滨普华煤燃烧技术开发中心. 大型煤粉锅炉燃烧设备性能设计方法[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002.

[5]张成恩. 分级燃烧技术的应用[J]. 锅炉技术,1998,29(6):20-23.

[6]刘武成. 现代电站锅炉技术及其改造[M]. 北京:中国电力出版社,2006.

参考文献:

[1]罗志浩,尹峰,陈小强,等. 国产 600 MW 超临界直流机组实现 FCB 功能的可行性研究[J]. 浙江电力,2009,28(1):16-19,44.

[2]石佳. 1000 MW 机组 FCB 功能的热力系统配置[J]. 科技资讯,2018(31):126-127.

[3]王学根,滕卫明,舒畅. 通过控制系统改造实现国产 600 MW 超临界机组 FCB 功能[J]. 中国电力,2009,42(10):73-76.

[4]李鹏,赵启成. 火电机组 FCB 设计及试验分析[J]. 华电技术,2018,40(12):1-3.

[5]王孟,赖艳云,王戟. 工况下旁路控制系统的改进与优化[J]. 华电技术,2017,39(1):27-30.

[6]赵伟刚,王宏杰,朱家英. 622 MW 机组快速甩负荷试验控制策略[J]. 华电技术,2016,38(7):8-10.

[7]林艺展. 利用深度磨煤机 RB 试验优化 660 MW 机组 FCB 给水控制策略[J]. 华电技术,2016,38(11):26-29.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

白常青(1971—),男,山西阳泉人,工程师,从事火力发电厂生产技术管理方面的工作(E-mail:sd2308@163.com)。

[7]苏亚欣,毛玉如,徐璋. 燃煤氮氧化物排放控制技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

[8]朱全利,聂明局,曾汉才. 大型燃用贫煤和烟煤锅炉 NO_x 排放特性的研究[J]. 电力环境保护,1998,14(4):1-4.

[9]程俊峰,曾汉才,熊蔚立,等. 降低 300 MW 贫煤锅炉 NO_x 排放的试验研究[J]. 中国电机工程学报,2002,22(5):157-160.

[10]还博文. 锅炉燃烧理论与应用[M]. 上海:上海交通大学出版社,1999.

[11]王恩禄,张海燕,罗永浩,等. 低 NO_x 燃烧技术及其在我国燃煤电站锅炉中的应用[J]. 动力工程,2004,24(1):23-28.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

杨海勇(1978—),男,河北邯郸人,工程师,从事燃烧器优化设计等工作(E-mail:tomyang@foxmail.com)。