

生物质发电机组调速系统涉网功能研究及应用

高 剑¹, 兰立刚², 王鸿砾², 李 甘¹

(1. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041; 2. 国网四川综合能源服务有限公司, 四川 成都 610072)

摘要:针对生物质发电机组调速系统的涉网功能安全风险和性能缺陷, 提出了一套完整改造方案。方案包括三方面内容: 数字电液控制系统由低压透平油纯电调改造为高压抗燃油纯电调; 涉网保护-超速保护控制逻辑及定值适应电网要求重新整定; 一次调频控制策略按试验导则要求重新设计并与超速保护控制动作相结合。该方案既能满足电网安全稳定运行要求, 又能满足电厂安全运行要求, 对加强生物质发电机组的涉网安全管理工作有着重要的借鉴和推广意义。

关键词:数字电液控制系统; 超速保护控制; 一次调频

中图分类号: TM 611 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2022)02-0017-04

DOI: 10.16527/j.issn.1003-6954.20220204

Research and Application of Grid-related Functions of Governor System in Biomass Power Generating Unit

GAO Jian¹, LAN Ligang², WANG Hongli², LI Gan¹

(1. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China; 2. State Grid Sichuan Comprehensive Energy Service Co., Ltd., Chengdu 610072, Sichuan, China)

Abstract: In order to eliminate risks and enhance performance of grid-related functions of the governor system in biomass power generating unit, a complete transformation scheme is proposed. The scheme includes three aspects: firstly, the digital electro-hydraulic control system (DEH) is transformed from a low-pressure turbine oil pure electronic regulation to a high-pressure fire-resistant oil pure electronic regulation; secondly, the grid-related protection over-speed protection control (OPC) logic and settings is reset according to the requirements of power grid, and thirdly, the primary frequency control (PFC) strategy is redesigned according to the test guideline and combined with the over-speed protection control (OPC) action logic. The proposed solution not only meets the requirements of the safe and stable operation of power grid, but also meets the requirements of the safe operation of thermal power plants, so that it has important reference values and promotion significance for the grid-related safety management of biomass power plants.

Key words: digital electro-hydraulic control system; over-speed protection control; primary frequency control

0 引 言

2019年6月, 渝鄂背靠背柔性直流联网工程正式投运以来, 由川、渝、藏三省电网组成的西南电网与华中—华北电网组成的两华电网交流解耦, 正式进入异步联网运行。西南电网在异步联网后, 交流同步电网规模仅为原两华电网的1/6, 电网转动惯量显著减小, 频率调节能力弱, 频率稳定问题突出,

“小电网大外送”的特征使得西南电网频率越限的风险较异步联网前剧增。异步联网后, 在发生多直流同时换相失败或者闭锁、损失大型电源或大容量送电通道等严重故障时, 维持西南电网的频率稳定将更为困难^[1-3]。

另一方面, 西南电网水电装机容量占到全网总装机容量的70%左右。在国家“碳达峰、碳中和”总体目标下, 火电机组装机容量增长空间和装机容量比例在“十四五”期间将进一步压缩。由于水电机

组在 0.1 Hz 以下频段表现为负阻尼特性,西南电网的超低频振荡风险突出。为此,西南电网调整了网内主力水电机组调速系统 PID 参数,大幅放慢了水电机组出力调节速度,从而抑制全网超低频振荡风险,但同时这也导致水电机组的一次调频性能严重削弱^[4-6]。因此,充分发挥火电机组的一次调频能力,对于西南电网的频率稳定就具有重要的意义。

随着生物质发电的不断发展壮大,生物质发电机组总装机容量仅在四川就已突破 1000 MW,其对电网频率稳定的作用应予以重视。由于四川电网内生物质机组单机容量小、台数众多、管理粗放,较长时间以来对发电机组涉网功能和性能缺乏重视,存在较高的涉网安全风险。因此,针对西南电网的网源协调工作特殊性,亟需开展生物质机组调速系统涉网安全功能改造完善。

1 汽轮机数字电液控制系统

汽轮机数字电液控制系统 (digital electro-hydraulic control system, DEH) 主要分为低压透平油纯电调 DEH 和高压抗燃油纯电调 DEH。为节省投资,生物质发电机组调速系统大都采用低压透平油 DEH。DEH 发出的阀位指令信号,经伺服放大器后,直接驱动式伺服阀 (direct drive valve, DDV) 将电信号转换成脉动控制油压信号控制动态进油,直接控制油动机带动调节汽阀以改变机组的转速或功率,如图 1 所示。低压透平油 DEH 有着系统简洁、制造成本低、运行维护费用低和抗污染能力强等特点。

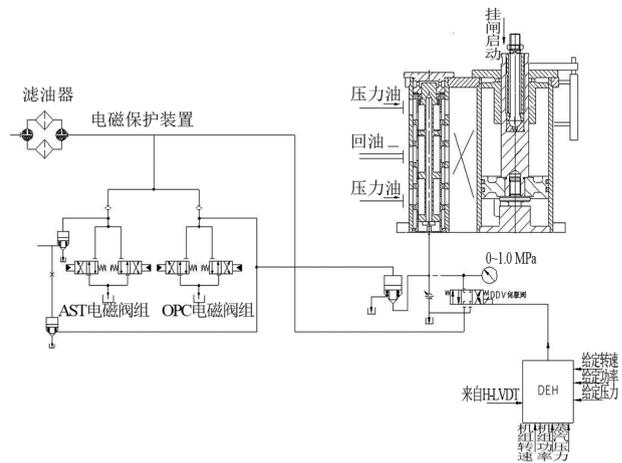


图 1 低压透平油电液伺服系统原理

网安全稳定运行的主要问题之一,这对并网机组一次调频响应特性和动态性能提出了更高要求。低压透平油 DEH 在实际运行中存在阀门调节迟缓率大和非线性问题,影响机组一次调频性能;另一方面,低压透平油 DEH 阀门开关动作特性不一致,在机组保护动作快关调节汽门(以下简称调门)时关闭缓慢,易造成机组超速,影响机组和电网安全运行。

随着电力工业的发展进步,高压抗燃油 DEH 在中大型火电机组中已有广泛、成熟的应用。高压抗燃油 DEH 具有控制精度高、系统迟缓率小、汽机保护动作阀门关闭快速安全,能有效防止机组超速等优点,因此特别适用于当前电网快速发展,以及对机组一次调频性能要求高的场景^[7-9]。

目前,四川新投运的采用高压抗燃油 DEH 的生物质机组均无一次调频性能不合格的情况,而部分采用低压透平油 DEH 的生物质机组则因调速系统性能不佳造成一次调频性能指标不满足试验导则要求。因此,建议新投运生物质机组应采用技术成熟、优点突出、使用广泛的高压抗燃油 DEH。

2 涉网保护功能

按照四川电网高周切机要求,汽轮机超速保护控制 (over-speed protection control, OPC) 功能应与频率相关的涉网保护定值相匹配,并网火电机组在频率上升至 51.5 Hz 时,机组正常运行时间应不低于 3 s,并确保 OPC 动作后机组保持并网运行,避免机组在电网频率异常时频繁、无序动作^[10-13]。据此对生物质机组 OPC 功能做了完善和改进,如图 2 所示。

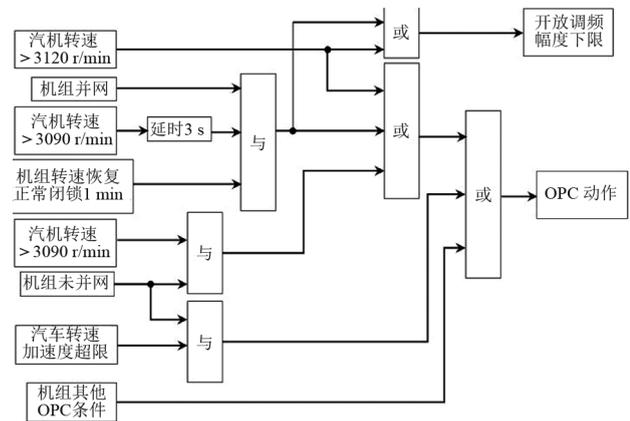


图 2 OPC 动作逻辑原理

西南电网异步运行以来,频率稳定问题成为电

1) 为满足电网稳定运行要求,设计有并网机组频

率高于 51.5 Hz(汽轮机转速 3090 r/min)延时 3 s OPC 动作逻辑,而在机组未并网时,仍沿用原逻辑即频率高于 51.5 Hz 立即动作逻辑;

2)为防止 OPC 动作后,汽轮机总阀位指令清零,机组所有调门关闭,导致发电机逆功率保护动作,设计逻辑保证:机组并网运行,OPC 动作复位后,汽轮机控制方式均切换为阀控方式,并将总阀位指令保持在 OPC 动作之前的值,以便电网高频故障消失机组能够快速接带负荷。

3)为避免电网频率异常时机组 OPC 保护频繁动作,引起电网频率大幅波动,设计逻辑如下:机组并网运行时,OPC 保护在动作后至转速恢复正常 1 min 内闭锁再次动作,同时在此期间开放一次调频幅度下限(但不突破机组最小技术出力)。这一设计确保 OPC 保护在网频异常时不会反复动作,且如电网因线路故障网频持续偏高时,利用开放下限的一次调频指令,直接叠加到总阀位指令,使调门开度维持在合理范围,防止网频持续升高。

4)为满足电网稳定运行要求,机组并网运行时,如 OPC 保护包含汽轮机转速加速度保护,屏蔽加速度保护,以防止汽轮机转速加速度保护误动引起 OPC 保护动作。

5)为防止机组并网时对侧变电站故障造成机组带部分地区负荷孤网运行而出现频率飞升,在并网机组频率 51.5 Hz 延时 3 s OPC 动作基础上,增加频率 52 Hz(汽轮机转速 3120 r/min)第二道 OPC 保护,防止机组在孤网运行时汽轮机转速在 3 s 内飞升过快^[14]。

3 一次调频控制策略优化

按照火电机组一次调频试验导则要求,设计一次调频逻辑如下^[15]:

1)设置机组一次调频正常范围为机组最小技术出力至 $106\%P_e$ (P_e 为机组额定功率);根据记忆的一次调频动作前的机组负荷,与调频上、下限比较确定裕量,通过调频裕量限制调频动作幅度。一方面,当机组负荷小于最小技术出力时,开放增负荷方向调频、闭锁减负荷方向调频;负荷大于 $106\%P_e$ 时开放减负荷方向调频、闭锁增负荷方向调频,以确保

一次调频动作始终处于机组的有效调节范围及安全运行区间。另一方面,当 OPC 超速限制动作时,开放一次调频下限至 $-100\%P_e$,但仍受机组最小技术出力限制,确保 OPC 动作复位后,机组负荷不低于最小技术出力,在系统频率恢复正常后,能够快速接待待负荷。如图 3 所示。

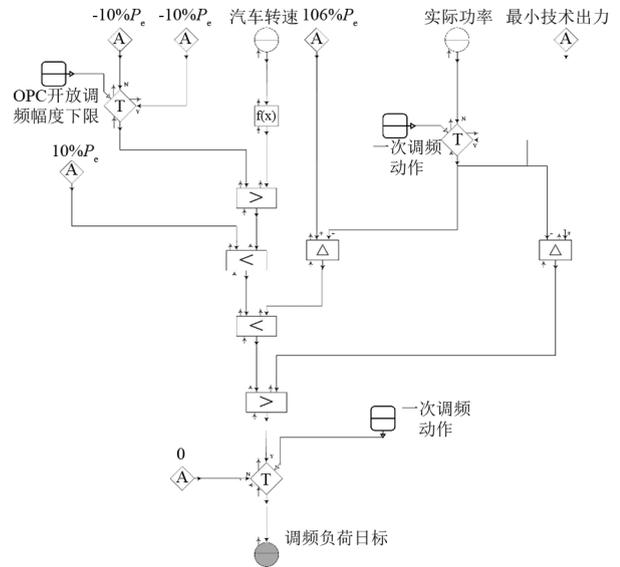


图3 一次调频负荷目标设备

2)为克服调速系统迟缓率对小频差一次调频影响,在一次调频不等率函数中,设置考虑调节系统迟缓率的一次调频不等率函数。通过阶跃量克服系统迟缓率以响应小频差扰动,确保一次调频动作的有效性,使实际调频负荷指令满足“两个细则”考核指标要求,并能克服系统迟缓率造成实际一次调频动作积分贡献电量的不足^[16]。

3)DEH 一次调频采用增量前馈与功控闭环相结合的方式,一次调频流量前馈根据不等率函数转换为汽机流量前馈,并采用主汽压力函数修正,以确保一次调频在不同压力下动作的持续性和准确性,如图 4 所示。

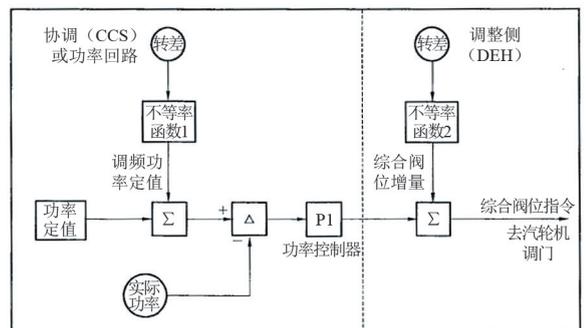


图4 一次调频功能典型原理

4 应用效果

2020 年年末,西南电网某火电机组正常运行时,电网发生瞬时故障,汽轮机加速度限制保护误动作,触发 OPC 超速保护动作,全关闭所有汽轮机调门,总阀位指令归 0。随后电网故障消除,OPC 动作复位,总阀位指令仍保持 0,最终触发电机逆功率保护动作,机组非计划停运。该火电机组采用所述涉网保护控制策略对调速系统进行改造,成功消除了异常脱网的风险。

某 15 MW 生物质发电机组,采用机组出厂涉网保护控制策略,进行汽轮机转速大于 3090 r/min(即网频大于 51.5 Hz) OPC 超速保护仿真。仿真结果如图 5 所示:转速大于 3090 r/min 后,立即触发 OPC 超速保护动作,总阀位指令和调门快关置 0,实际功率为 0,其后转速虽恢复正常转速 3000 r/min,总阀位指令仍保持 0,在无运行人员手动干预的情况下,汽轮机出现逆功率后逆功率保护延时 1 min 动作,最终引起汽轮机 ETS 保护动作,机组全停。

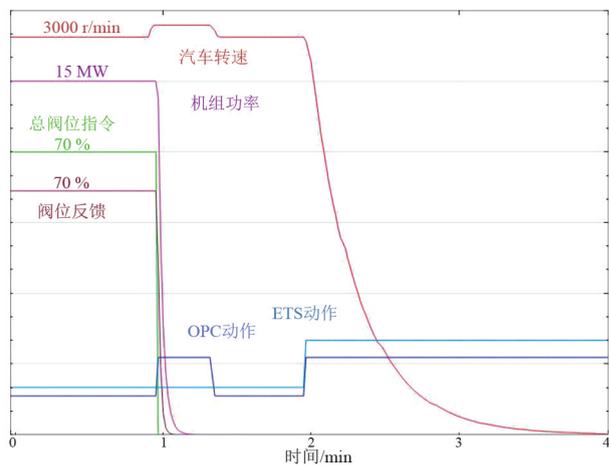


图 5 涉网保护控制改造前机组 OPC 仿真曲线

该机组应用所述涉网保护控制策略后,进行转速大于 3090 r/min OPC 超速保护仿真。仿真结果如图 6 所示:机组功率 15 MW、转速超过 3090 r/min 时,首先,一次调频作用使机组功率下降 10%(最大正常调频幅度),3 s 后 OPC 超速保护动作触发,调门快关(阀位反馈置 0),总阀位指令仍保持不变,OPC 动作 2 s 后自动复位,调门恢复开启;在 OPC 动作开放一次调频下限及大于机组最小技术出力限

制下,调门恢复开启至机组功率大于最小技术出力,避免发电机逆功率保护动作。

随着转速恢复至 3000 r/min(即网频恢复 50 Hz),调门在一次调频作用下恢复开启至达到总阀位指令,满足电网故障消除后机组接带负荷要求;随后若电网再次发生故障,转速再次升高到 3090 r/min(1 min 内),此时 OPC 保护不动作,依靠一次调频开放下限功能关小调门,降低机组出力,避免网频短时大幅度波动时,OPC 保护反复动作/复位,调门反复开启/快关,满足汽轮机安全运行要求。

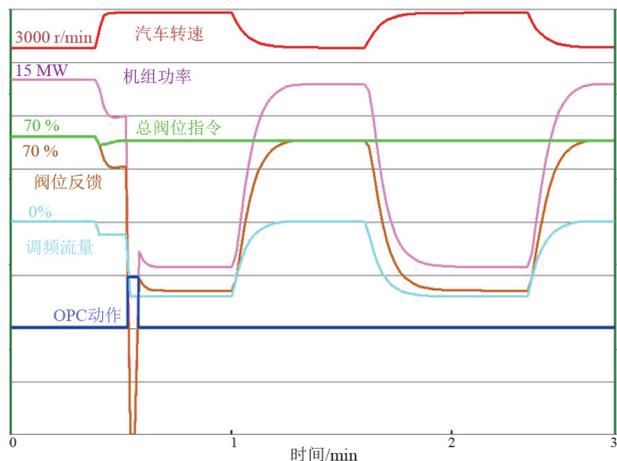


图 6 涉网保护控制改造后 OPC 与一次调频仿真曲线

5 结论

随着西南电网生物质机组总装机容量不断增长,生物质发电对城市供电安全和垃圾废物处理都发挥着不可替代的作用,对电网频率稳定的支撑作用也愈发重要。针对生物质机组调速系统的涉网功能和性能存在的缺陷,从汽轮机数字电液控制系统改造、涉网保护整定和一次调频策略优化三方面提出了一套完整改造方案,对加强生物质机组的涉网安全管理工作有着重要的借鉴价值和推广意义。

参考文献

- [1] 陈刚,丁理杰,李旻,等.异步联网后西南电网安全稳定特性分析[J].电力系统保护与控制,2018,46(7):76-82.
- [2] 屠克哲,张健,王建明,等.大规模直流异步互联系统受端故障引发送端稳定破坏的机理分析[J].中国电机工程学报,2015,35(21):5492-5499.

- [14] 牛卓博.消弧线圈在保定电网的应用研究[D].保定:华北电力大学,2012.
- [15] 于化鹏,陈水明,余宏桥,等.110 kV 变压器中性点过电压的计算及其保护策略[J].电网技术,2011,35(3):152-158.
- [16] 李啸骢,龙军.供电技术[M].重庆:重庆大学出版社,2017.
- [17] 张娜.我国大型城市 10 kV 配电网中性点接地方式的适应性及对策[D].保定:华北电力大学,2019.
- [18] 彭俊桦.信号注入法测量中压配电网对地电容电流的研究[D].西安:西安科技大学,2020.
- [19] 刘宝稳,李晓波.跟踪补偿消弧装置变参调谐通用方法[J].电力系统及其自动化学报,2015,27(9):1-6.
- [20] 田丽鸿,许小军,刘勤,等.电路分析[M].南京:东南大学出版社,2016.
- [19] 杨小强,陈邦栋,董增平,等.具有限制串联谐振过电压功能的消弧线圈:CN00216020.X [P]. 2000-11-15.

作者简介:

袁明哲(1985),男,高级工程师,国网四川省电力公司研究生工作站企业导师,研究方向为电力系统继电保护及信号处理在电力系统中的应用;

马娅妮(1995),女,硕士研究生,研究方向为配电网故障特性及消弧线圈在系统中的应用;

汪祺航(1985),男,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护;

邹经鑫(1988),男,博士,研究方向为油纸绝缘故障与老化诊断及二次系统运行状态评估;

曹柯(1985),男,工程师,研究方向为电力系统继电保护。

(收稿日期:2021-12-07)

(上接第 20 页)

- [3] 陈湘,刘兵,任大江,等.交直流混联系统直流功率转移对交流电压的影响[J].电网技术,2016,40(7):1957-1961.
- [4] 刘春晓,张俊峰,陈亦平,等.异步联网方式下云南电网超低频振荡的机理分析与仿真[J].南方电网技术,2016,10(7):29-34.
- [5] 付超,柳勇军,涂亮,等.云南电网与南方电网主网异步联网系统实验分析[J].南方电网技术,2016,10(7):1-5.
- [6] 丁国强.西南电网超低频振荡关键机组识别和控制研究[D].北京:华北电力大学,2019.
- [7] 闫兴国,毛大彬.100 MW 汽轮机低压透平纯电调改造[J].甘肃科技,2004,20(11):34-35.
- [8] 胡忠国,万忠明,等.低压透平纯电调的改造[J].自动化博览,2004,21(4):95-98.
- [9] 史玲玲,万文军,张曦,等.超超临界 1000 MW 机组给水泵汽轮机 2 种纯电液调节系统的对比研究[J].热力发电,2011,40(9):5-8.
- [10] 国网四川省电力公司.国网四川省电力公司关于印发 2015 年电网高周切机方案的通知[Z].成都:川电调控,2015.
- [11] 张志强,袁荣湘,徐友平,等.适应多回特高压直流的四川电网高频切机优化[J].电力系统自动化,2016,40(2):141-146.
- [12] 杨琦,唐晓骏,苏寅生,等.机组涉网保护与高频切机措施优化配置方案[J].电力系统自动化,2013,37(20):127-131.
- [13] 周智行,石立宝,陈义宣,等.异步联网下云南电网高频切机优化配置方案[J].电力系统自动化,2020,44(20):86-102.
- [14] 吴琛,李文云,杨强,等.云南电网“西电东送”1600 MW 高周问题与火电机组 OPC 功能协调配合研究[C]//云南电力技术论坛论文集:中国电机工程学会,昆明云南省电机工程学会.2005:475-481.
- [15] 全国电站过程监控及信息标准化技术委员会.火力发电机组一次调频试验及性能验收导则:GB/T 30370—2013[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [16] 国家能源局华中监管局.关于印发《华中区域并网发电厂辅助服务管理实施细则》和《华中区域发电厂并网运行管理实施细则》的通知:华中监能市场[2020]153号[A/OL].(2020-09-07)[2021-09-08].
<http://hzj.nea.gov.cn/adminContent/initViewContent.do?pk=AEB05CC013339FBDE050A8C0C1C86959B>

作者简介:

高剑(1975),男,硕士,高级工程师,从事电网安全稳定管理工作;

兰立刚(1981),男,硕士,高级工程师,从事电厂热工自动控制技术研究与应用工作;

王鸿砾(1989),男,硕士,工程师,从事电厂热工自动控制技术研究与应用工作;

李甘(1983),男,博士,高级工程师,从事网源协调管理工作。

(收稿日期:2021-11-20)