350 MW超临界机组单列辅机可靠性提升策略研究

文/魏　伟　邹必华　陈学伟
国能广投柳州发电有限公司

摘要：详细分析了国能广投柳州发电有限公司针对风机油站溢流阀卡涩、小汽轮机低压调节伺服阀不能在线更换等单列辅机设备设计不完善问题采取的优化对策，以及单列辅机设备运行维护策略的优化，有效提升了设备健康水平，可以为单列布置机组可靠性提升提供参考和借鉴。
关键词：单列辅机；可靠性；改造；优化

国能广投柳州发电有限公司2×350 MW超临界湿冷燃煤热电联产机组，原设计为重要辅机按照常规的双列布置传统设计。为了降低投资，经过设计优化，锅炉送风机、引风机、一次风机、空预器和汽泵采用单列布置，无备用设备，而且不配备电泵。从经济性、运行操作方面考虑，单列布置优于双列布置；但从安全和可靠性考虑，当锅炉送风机、引风机、一次风机、空预器、给水泵任一设备发生故障时，必然导致机组停运。因此，如何提升单列辅机设备的可靠性，是保障单列机组安全稳定运行亟待解决的问题。

概况

该公司两台机组因原设计未充分考虑单列辅机可靠性对机组稳定的影响，仍按双列布置机组设计，导致投产前几年发生的非停事件全部和单列辅机有关。为提高单列辅机的可靠性，保障机组安全稳定运行，公司针对单列辅机，跨部门、跨专业成立攻关组，依托专业纵深化管理，通过调研同类型电厂以及与设备厂家深入研究，组织实施多项技改优化，并通过持续改进设备维护策略，使设备可靠性得到显著提升。近年来，该公司单列辅机设备缺陷发生数量大幅减少，基本杜绝单列辅机导致的不安全事件，连续三年实现无非停，且安全运行记录仍在连续，并获得南方电网“金牌机组”和中电联300 MW等级煤粉锅炉可靠性标杆机组称号。

技改优化提升可靠性分析

1. 风机油站双溢流阀改造

三大风机油站原设计溢流阀为总油路单溢流阀，当溢流阀被大颗粒污染物卡住时，溢流阀将失效，系统压力将迅速下降，同时因为大部分润滑油通过安全阀回到油箱，所以向外供油存在不足，流量开关触发报警，当辅助油泵起动增加供油量时，由于溢流阀一直保持开通，并不能根本改变供油量低的问题。当溢流阀出现故障时，无法实现在线清洗或更换，机组投产后风机液压、润滑油站多次出现因溢流阀卡涩导致油压波动异常事件，严重影响风机及机组的安全稳定运行。通过对油泵溢流阀结构的分析，将液压油站阀块组件更换为双溢流阀块，由单溢流阀改为双溢流阀，两台液压油泵及管路并联布置，每条管路安装一个溢流阀，并安装截止阀，便于系统隔离，如图1、图2所示。

改造后，当一侧的溢流阀、单向阀发生故障时，可切换至另一侧油泵，关闭截止阀隔离系统后可对故障溢流阀、单向阀进行清洗和更换，避免因

溢流阀、单向阀故障导致风机和机组强停。

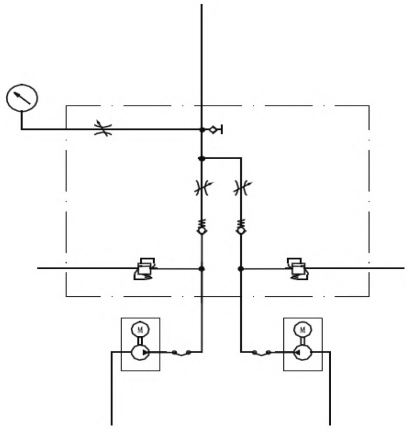

图1　双溢流阀块原理图

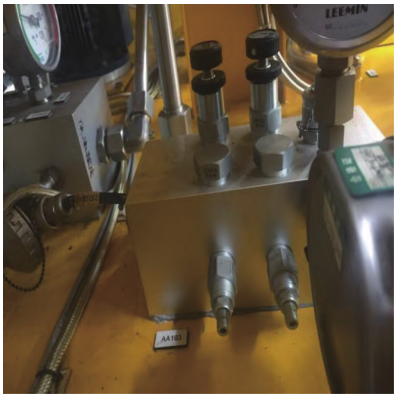

图2　双溢流阀块组件现场安装图

2. 给水泵机械密封水改造

给水泵机械密封水设计为自循环，由泵内高压给水经节流衬套减压，通过套装在轴上的螺纹泵循环，由机械密封与冷却套之间的冷却水降温，进入密封面进行，形成密封液并润滑、冷却及清洗密封面，排出至冷却器由低温闭式水冷却，再进入机械密封循环，如图3所示。机械密封的密封面材质为石墨，硬度很高，当缺失水的润滑冷却出现干磨时，2 min左右就会损坏，造成轴封大量漏水而不得不退出运行，公司的主机也将随之停运。厂家配套的密封水系统存在隐患，在机械密封进水管道只设置了一个Y形滤网，规格为40目/cm^2，过滤精度380 μm，当因泵组检修后残留的杂物或其他原因造成滤网堵塞时，密封水出水温度将急剧升高，泵组会因密封水温度高而保护跳闸。

图3　密封水系统现场图

为消除该隐患，增设了一路并联、可在线切换的滤网，如图4所示。同时考虑到优化后会增加流动阻力，经设计院核算，所增加的阀门、管道附件产生的阻力对系统流量无影响，改造后成功实现了滤网的在线切换。

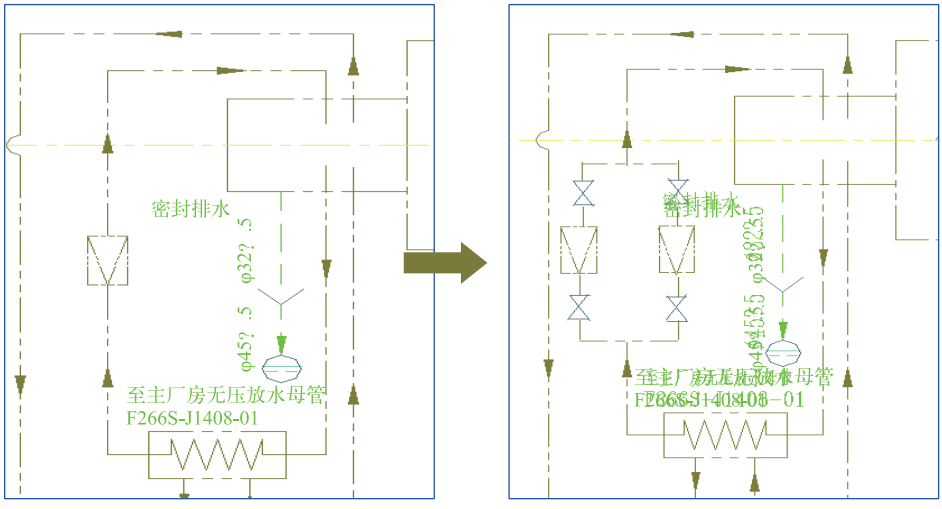

图4　系统优化前后图

3. 小汽轮机伺服阀冗余优化改造

小汽轮机为单台100%容量配置，控制汽动给水泵小汽轮机的高低压阀门均为单伺服阀（G761伺服阀）抗燃油控制调节系统，运行中小汽轮机主调节汽阀的伺服阀故障将造成机组非计划停运或给水流量无法调节。为了实现在线更换伺服阀的目的，提高单列辅机抗非停能力，对小汽轮机低压调节汽阀伺服阀进行冗余优化。实施方案为：在不改变小汽轮机原控制逻辑；以及小汽轮机抗燃油液压系统的用油量和压力的情况下，使用双路伺服阀控制小汽轮机主调节汽阀，运行方式一运一备，实现无扰切换功能，如图5、图6所示。

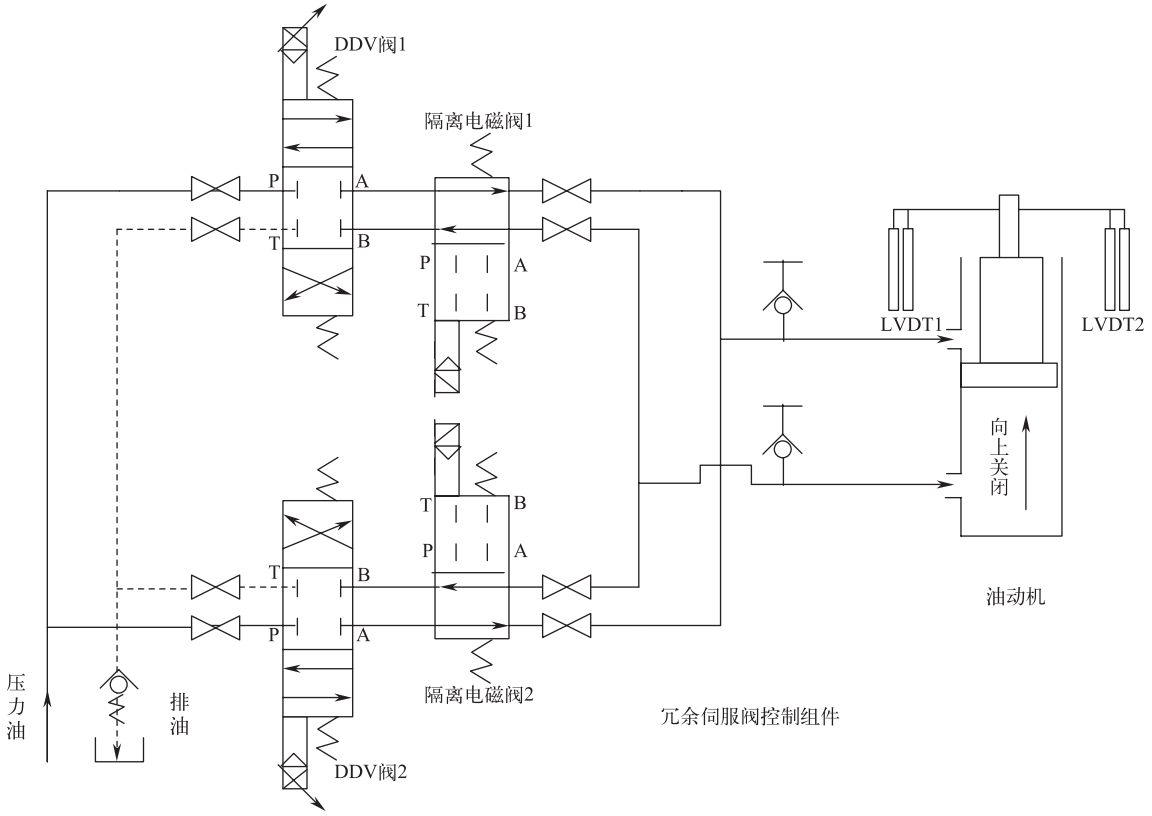

图5　改造原理图

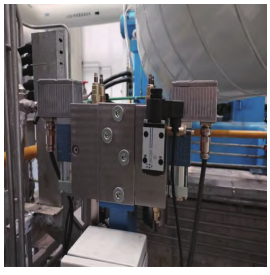

图6　改造后现场图

液压控制回路的伺服阀组件更换为冗余的伺服阀组件，一个油动机上配置两个伺服阀组件，隔离电磁阀组件等安装在油动机附近并通过油管路相连。伺服阀采用美国MOOG公司的直接驱动式电液伺服阀（DDV阀）D633伺服阀，替代传统的喷咀档板式MOOG阀的G761伺服阀，提高抗污染能力和工作可靠性。A、B伺服模块配置截止电磁阀，当运行伺服控制出现故障时，截止电磁阀带电截止油路，同时切换为另一组伺服阀进行油路控制，切换过程中实现无扰切换。在伺服阀进油通路上装有滤油器，在满足油压降和流量的条件下，选用过滤精度为5μm的滤油器。每个伺服阀配置一个隔离电磁阀和两个手动截止阀，故障时可通过隔离电磁阀动作迅速切断本条控制油路，且不影响另一条正常油路，故障油路切除时，对调门当前开度、液压油压无扰动，不影响调门控制功能，并可以隔离油路进行检查更换工作。

控制上一个伺服卡对应一个伺服阀，冗余的伺服卡模块分别接入两路LVDT行程反馈，冗余伺服卡之间用专用冗余线进行连接，两路互为热备工

作，伺服卡进行无扰切换，实现伺服阀、伺服卡模块、LVDT行程反馈全冗余功能。伺服控制简图如图7所示。

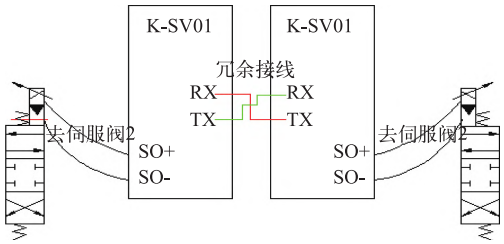

图7　伺服控制简图

DCS逻辑组态方面，采用杭州和利时公司DCS最新K系列硬件K-SV01伺服卡，具有冗余工作模式的特点，两路互为热备工作，伺服卡模块切换时间不大于10 ms。逻辑组态利用原DCS进行，完成对伺服卡控制故障的逻辑判断和对控制回路进行定期切换的功能。系统自动判断并给出该伺服阀的闭锁阀的关闭指令，同时切除对应的伺服卡输出指令，通过隔离电磁阀动作切断油路，并通过油路上的截止阀隔离故障点进行维修，保证机组的正常运行。故障判断逻辑简图如图8所示。

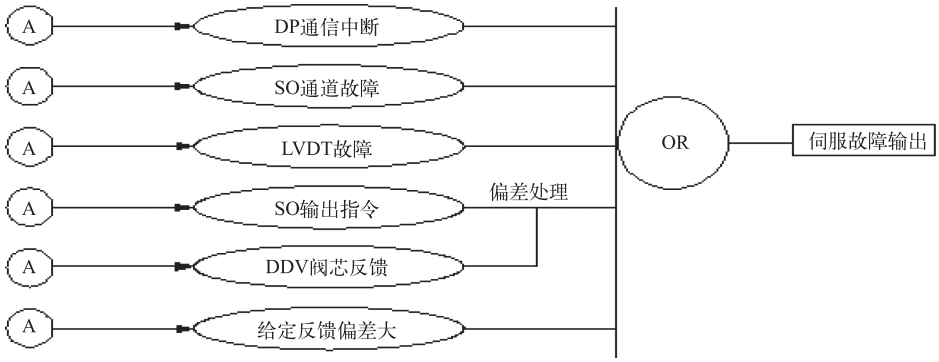

图8　故障判断逻辑简图

改造后，该系统冗余功能齐全，具有逻辑级冗余和控制板级、设备硬件级的多重冗余功能，能及时判断伺服阀故障无扰切换至另一伺服阀，伺服阀故障时实现在线无扰更换。

4. 小机速关阀新型控制改造

速关阀作为小机进汽唯一通道，速关阀的故障情况直接影响给水泵汽轮机安全稳定运行，速关阀停机电磁阀原设计为双电磁阀串联，任意一个停机电磁阀失电都会导致小机跳机，进而造成机组非停。为防止因小机停机电磁阀误动作而导致的停机事件，柳州公司对小机速关阀进行了双通道改造。改造方案为小机停机电磁阀由双电磁阀串联，改为双路4个电磁阀串并联结构，同时具备在线更换电磁阀功能。

速关组合件采用杭汽SSB-5-A-220 V DC-1(4)-S系列速关阀，主要由集块本体、速关油电磁阀1842、启动油电磁阀1843、停机电磁阀2221～2224、截止阀5220～5227、手动停机阀2250、试验电磁阀2309、两通插装阀、组合阀2200、在线测压接头和支架等组成。装置的4个停机电磁阀运行时带电。当4个或3个电磁阀同时失电时，速关油失电压。单独一个电磁阀失电时，2222和2224及2223和2225这两组电磁阀组合同时失电，不会使速关油失电压。其他4种的两电磁阀失电组合，均会使速关油失电压而停机。

改造同时增加油路压力监测点和速关阀在线试验功能，及时检测速关阀油路是否正常，及时发出报警并进行处理，可定期对停机电磁阀进行在线切换试验，及时判断电磁阀工作情况，如有异常可立即在线进行处理。

5. 三大风机、小机油站油泵控制回路增加电气硬联启回路

三大风机油站、小机润滑油两台油泵原设计仅有热工回路进行油泵联启控制，如热工回路存在故障，极易导致机组非停。通过改造，在保留DCS联锁启动的情况下，增加A（B）润滑油泵硬接线联锁启B（A）润滑油泵接线，将油泵主接触器KM1的常闭辅助触头并联至另一台油泵的启动回路中，并增加压板投退，提高风机油泵联启的可靠性，如图9所示。

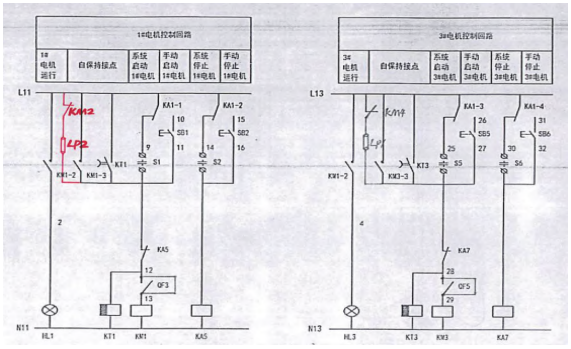

图9　增加硬联启后原理图

通过进行小机运行状态下的主辅油泵DCS联启及硬接线回路联启效果对比试验，DCS联启用时约在500 ms，硬接线回路联启用时很短，几乎无延时。

6. 引风机液压油泵振动治理

由于引风机液压油泵功率较大，油泵下部支撑板较薄，油泵支撑刚度不够，导致运行中引风机液压油泵频繁出现振动大的问题，通过分析液压油泵型式、支撑等构造，采用在油箱内部的液压油泵附近加支撑杆，在外部加支撑吊杆，同时对油泵电动机台板进行更换。通过以上改造后，引风机液压泵振动值成功达到合格水平以下。

7. 风机液压缸伺服阀连杆优化

三大风机液压缸伺服阀连杆原设计调节螺栓过多，在风机运行中螺栓松动脱开风险较大，通过对连杆型式进行优化，优化后仅有两个调节螺母，并利用每次停机机会进行点焊加固，有效防止连杆脱开导致非停风险。

8. 小机润滑油泵DCS控制站可靠性优化

原设计小机A/B润滑油泵共DCS控制站，当该控制站失灵时，将造成两台润滑油泵跳闸，引起小机跳闸机组非停。将小机B润滑油泵引入相邻DCS控制站进行控制，两台润滑油泵采用独立DCS控制站进行控制，防止由于某一DCS控制站失灵造成机组非停。

9. 三大风机控制油压力取样管优化

原设计三大风机控制油压力共取样母管，当该控制油压力取样母管堵塞时，将造成风机控制油压力保护误动作，引起风机跳闸，导致机组非停。按照风险分散原则，将风机控制油压力1、2、3取样管分开布置，防止由于某一控制油压力取样管堵塞引起的保护误动作造成机组跳闸。

10. 引风机大轴加装接地碳刷改造

由于引风机电动机为大型电动机，定子采用扇形硅钢片错位叠装工艺，由于加工误差，存在不平衡漏磁，运行中可能产生一定的轴电压，且经长时间运行后会缓慢加剧，可能造成热工温度保护误动作引起非停。通过在引风机大轴驱动端转轴部位安装接地碳刷，将碳刷接地，消除了轴电流的存在，提高了引风机运行的可靠性。

设备维护策略改进分析

除了从设计、安装等方面对单列辅机设备进行优化改造消除隐患，持续优化日常维护策略也是保障设备可靠运行的重要手段。

1. 强化单列辅机可靠性攻关

该公司成立以生产副总经理为组长的单列辅机专业攻关组，定期召开攻关组会议，专题研究单列辅机可靠性提升和改进方案。根据各电厂非停事件，深入分析原因，及时完善单列辅机非停措施，并对单列可靠性控制措施落实情况进行检查、考核。

2. 加强油站油务监督

油站作为单列辅机可靠性重要一环，除了在设计、保护等方面进行改进外，对三大风机、小机油站油质监督也上升等级管控，日常中增加化验频次，且标准按比行业标准高一等级管控。将油站滤油纳入定期工作，增加小机在线油净化装置，严格控制油质不超标，有效提升单列辅机运行可靠性。

3. 加强单列辅机状态评估和逢停必检

由于单列辅机的重要性，将单列辅机与主机同等对待，每周、月对单列辅机开展专项评估，重点对电流、振动温度趋势、各油站渗漏点、风机动叶执行机构、风门挡板、小机低压调节阀控制部件、小机各调节阀LVDT连杆以及伺服阀运行参数进行跟踪监视。只要有停机机会，就将各连杆、油站及控制系统、电动机接线柱、CT接线、保护装置等易发生故障的部件和系统纳入逢停必检项目，提升设备健康水平。

提升运行管理水平

针对单列辅机设备，定期开展运行系统参数核

查，开展机组间横向对标及本机组纵向对标工作，对于异常参数进行及时分析，通过专业组人员共同分析，及时检查治理，保证设备隐蔽性较强的缺陷得到妥善管控治理。

在电网对发电运行、辅助服务水平要求逐渐提升的背景下，柳州公司加大了机组和单列辅机的可靠性管理力度，除了日常精密点检外，还在节假日特殊时间段增加单列辅机巡检次数，建立专项检查台账，通过对设备轴承、电动机外壳和接线柱的重点检查，保障了巡点检质量，对连杆松脱、参数偏离正常值等情况进行及时关注，通过临时降温、调整负荷等方式保障设备系统可靠运行，为电网负荷低谷时段的消缺打下基础，对于无法在线处理的缺陷和隐患，制定临时管控措施和应急处置方案，待机组停运后处理。

优化机组起停步序。柳州公司无电动给水泵，无法实现锅炉快速的直接上水，必须通过起动炉或临机蒸汽给起动给水泵供汽，这就增加了机组起动时间和运行操作量，对于不同方式的机组起停来说有着更多考验，为了最大限度地实现更安全可靠、更经济节能的效果，柳州公司通过不断优化起停步序，先后修编完善机组起停文件包，这使运行人员的操作规范化、程序化效果得到了进一步提升，较公司投产初期，机组起停操作过程中的异常次数降为0，机组冷态起动时间减少了4 h，能耗下降了15%。

结束语

单列辅机布置具有造价低、厂用电率低、占地面积少和结构紧凑的优点，越来越多新投产的机组采用单列辅机布置，虽然与传统的双列布置相比，单列辅机布置会导致机组可靠性降低，但经过一系列可靠性提升措施，本着“逢停必检、逢停必维”的原则精心维护好设备，设备的可靠性也能得到保障，故障导致机组非停的可能性也降到很低的水平。EA