

超临界 650 MW 汽轮机采用 DAS 汽封的技术改造

徐传堂¹, 姜涛²

(1. 华润电力(常熟)有限公司, 江苏 苏州 215536; 2. 广西防城港核电有限公司, 广西 防城港 538000)

摘要:文中介绍了日立技术生产制造的超临界压力机组, 针对汽轮机汽耗损失较大、效率偏低的情况, 进行了 DAS 汽封改造, 旨在提高机组的经济性、保证机组运行安全的情况下, 进一步减小汽封间隙、减小汽封泄漏量, 探索提高汽轮机工作效率的方法。

关键词:汽轮机; 汽耗损失; DAS 汽封改造; 提高效率

中图分类号:TK26

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)04-0070-04

华润电力(常熟)有限公司汽轮机为东方汽轮机厂引进日立技术生产制造的超临界压力机组, 型号为 CLN600-24.2/538/566, 是典型的超临界、一次中间再热、单轴、三缸四排汽、双背压、纯凝汽式汽轮机。该机组 2005 年 6 月投产运行, 于 2012 年 10 月 1 日进行第二次大修。为提高机组运行经济性, 根据机组实际运行情况, 结合国内机组汽封改造经验, 将汽轮机高中、低压缸隔板汽封由原来的梳齿式迷宫汽封改为 DAS 汽封。结果表明, 改造后汽轮机汽耗损失减少, 在额定工况下汽轮机汽耗率降低了 125.82 kJ/(kW·h)。

1 汽轮机通流部分与现状

高中压缸合缸、2 个低压缸都是双层缸结构, 高压缸共有 8 级, 中压缸共有 6 级, 低压缸共有 4×7 级, 全机共有 42 级; 高中压缸采用单流程、双层缸、水平中分结构, 外缸为上猫爪支撑形式, 上下缸之间采用螺栓连接。高中压内缸之间设置有分缸隔板, 在高中压外缸两端及高中压内缸之间设置有轴端密封装置, 在高中压外缸和轴承座之间设置有挡油环; 汽轮机的通流部分主要由各个级的通流部件和进、排汽部分组成, 它包括调节阀、喷嘴汽室的喷嘴、隔板静叶及动叶栅等部件, 是汽轮机完成能量转换的核心部件。

低压缸的通流部分, 共有 2×2×7 级, 2 个低压缸完全相同, 都是由内缸、外缸、隔板(隔板套)和转子等部件组成, 蒸汽沿中心线方向引入, 经环形进汽室, 均匀进入两侧的通流部分做功。为保证蒸汽在每一级中能自由膨胀, 避免动静部分的摩擦, 动静部分设置了一定的间隙, 为了减少漏汽, 在转子围带和隔板之间, 叶片围带和隔板之间均设置了汽封装置。

大修前经江苏省电力公司电力科学研究院测定, 在额定工况下, 修正后汽机汽耗为 8 071.68 kJ/(kW·h), 与同等级汽轮机相比, 机组汽耗损失较大。

高中、低压缸隔板汽封和轴端汽封采用传统的梳

齿式迷宫汽封, 又称曲径汽封。汽封背部有板弹簧, 其工作原理: 在合金钢环体上车制出一连串较薄的薄片, 每一个扼流圈后一个膨胀室, 当蒸汽通过时, 速度加快, 在膨胀室蒸汽的动能变化为热能, 压力降低, 比容增大, 依此类推, 在蒸汽通过多个扼流圈时, 其每个扼流圈的前后压差就很小, 汽封泄漏量就降低很多。梳齿式迷宫如图 1 所示。

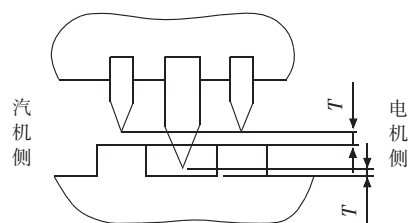


图 1 梳齿式迷宫汽封

由于梳齿汽封的本身特点, 汽封间隙设计偏大, 梳齿密封要想密封效果好又要安全稳定地运行, 必须满足 3 个条件: (1) 汽封齿端部厚度尽可能小; (2) 密封腔室尽可能多; (3) 安装间隙尽可能小。前 2 个条件因汽封材料、工艺和汽轮机设计等诸多因素的限制和影响, 很难再有突破。一方面, 若减小间隙, 在机组启、停过程中就会使转子与汽封发生碰磨, 导致汽封磨损, 增大了转子与汽封径向间隙(纵使机组在检修过程中将转子与汽封的径向间隙调整到了最佳值, 但经过几次启停后, 汽封仍被磨损); 另一方面, 为了机组的安全起见, 专业人员常常把间隙人为地放大, 导致梳齿汽封泄漏量较大, 也是造成机组经济性差的原因。

检修前, 高中、低压缸汽封径向间隙值(设计值)均偏大, DAS 汽封改造实施后, 隔板汽封间隙相对减少, 有利于减低汽轮机的汽耗损失, 检修前高中、低压缸汽封径向间隙值具体为: 高压第 2~8 级隔板汽封的上下、左右间隙均为 1.3 mm; 中压第 1~3 级隔板汽封的上下间隙为 1.3 mm, 左右间隙为 1.5 mm; 中压第 4~6 级隔板汽封的上下间隙为 1.3 mm, 左右间隙为 1.5 mm; 低压所有隔板汽封上下最小间隙为 1.6 mm, 左右最小

表 2 A,B 低压隔板汽封径向间隙值

mm

名称	汽封片 A; 实测值 $T(-0.13\sim 0)$								汽封片 B; 实测值 $T(-0.05\sim +0.05)$							
	上		下		左		右		上		下		左		右	
	设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值
正向第 2~6 级隔板汽封	1.07	1.07	1.07	1.07	0.31	0.31	0.71	0.71	1.07	1.07	1.07	1.07	0.31	0.31	0.71	0.71
反向第 2~6 级隔板汽封	1.07	1.07	1.07	1.07	0.31	0.31	0.71	0.71	1.07	1.07	1.07	1.07	0.31	0.31	0.71	0.71

表 3 A,B 低压轴封径向间隙

mm

汽封体	汽封圈	实测值 $T(-0.05\sim +0.05)$							
		上		下		左		右	
		设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值
1 号	汽封圈	0.71	0.31	0.31	0.31	0.31	0.71	0.71	0.71
4~7 号	轴封	2 号	汽封圈	0.71	0.31	0.31	0.31	0.71	0.71
	3 号	汽封圈	0.71	0.31	0.31	0.31	0.71	0.71	0.71

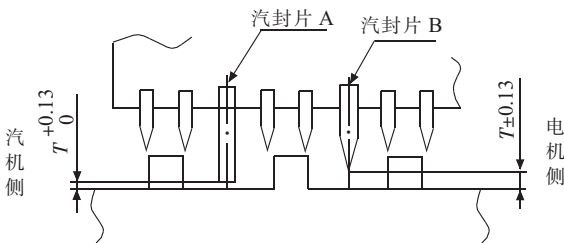


图 2 高中压隔板、轴封汽封间隙图示

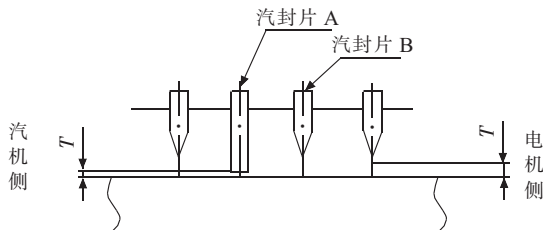
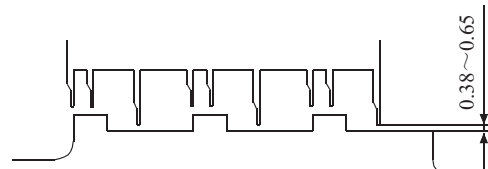


图 3 A,B 低压隔板汽封径向间隙值图示

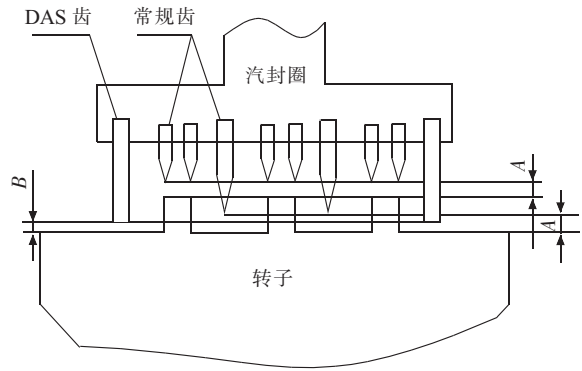
3 改造实施及其注意问题

3.1 改造实施

在高中、低压缸转子中心和洼窝中心确定合格且具备安装条件的情况下,进行汽封的安装、间隙测量和调整工作。即以油档洼窝作为假轴找中心的依据,利用假轴调整低压内、外缸洼窝中心,调整隔板、轴封套洼窝中心;利用假轴调整汽封、轴封径向间隙(用特制的内径千分尺测量汽封至假轴的径向距离,再与真轴在该处的直径比较,对照汽封间隙标准计算出调整量),最后用滚胶布方法测量、调整汽封、轴封径向间隙。



(a) 原装铁素迷宫汽封



(b) DAS 汽封

图 4 汽封磨损齿原理图

滚胶布方法测量、调整汽封、轴封径向间隙时,按规定的间隙要求,在每块汽封两端近 15 mm 处,贴、并压紧相应层数的胶布(常用医用胶布,做成 7~10 mm 宽的带子,每层一般按 0.25 mm 计算),在贴胶布前,汽封表面要清理干净,不能有灰、锈、油,这样胶布才会贴实,不会翘起,不会出现假间隙,切记要顺着转轴的旋转方向粘贴,以免胶布被转子刮掉。当所有汽封块的胶布都贴好后,吊入转子并在转子上涂少许红丹粉,通过全实缸滚胶布验收的方法,在全实缸、低压内外缸汽缸中分面间隙小于 0.10 mm 的情况下,盘车一周,滚胶布检查径向间隙,根据胶布与转子的接触情况,分析汽封的实际间隙,在调整块和汽封圈之间加减调整垫片,或修磨汽封圈与调整块的结合面,若阻汽片挡板过高,可在挡板和刷丝之间用插片隔开,再修磨挡板,直至间隙符合要求为止,并做好每次间隙调整的尺寸记录。在全实缸条件下,经过几次汽封调整后(最后少许调整时,可对汽封背板内缘采取“小削大冲”的调整方法),隔板汽封、轴封径向间隙合格,待全部汽封装复后,打入销钉,紧固上下隔板螺栓,扣内外缸,盘动转子,检查汽封

内有无动静摩擦声, 低压缸刷式汽封隔板改造位置示例见图 4。最后正式扣缸时, 仔细检查确无工具或其它杂物遗留, 用压缩空气吹扫隔板、汽封, 拆除孔洞封堵, 内窥镜检查, 确认夹层、孔洞内无杂物遗留后, 对刷式汽封进行正式安装, 进行低压内、外缸的正式扣缸。

3.2 注意问题

(1) 用塞尺测量间隙时, 不可用力过大, 以免因弹性变形造成测量误差。(2) 贴胶布时, 一定要贴的平整、均匀, 不可有重叠成翘起现象, 胶布的每织间应剪断, 以免碰磨时互相影响。(3) 转子涂红丹时, 不可太多, 以免影响测量精度。(4) 测量上半只汽封的径向间隙时, 要注意防止压板压出汽封块, 使间隙变大。装复时同样注意, 压板一定要装好, 防止汽封块转动。(5) 测量间隙和装复时, 均应先把汽封块撬松, 以免卡住。(6) 汽封块的垫片要平整, 不起皱、卷边, 螺钉要拧紧, 垫片不能比汽封块的调整块宽, 并且垫片不能过多。(7) 加减垫片必须注意螺钉要有一定的拧紧深度(至少旋入 5 mm)。(8) 在进行最后一次调整时, 必须将螺钉的顶部用样冲封好, 以免松动。(9) 挫削汽封块端面时, 要保持平整, 不要偏斜。(10) 合缸时, 应注意挂耳接触面要清洁无杂物。(11) 用扁嘴钳将歪齿夹直, 并整理刷毛, 直至外观平直。

4 改造效果与分析

大修两周后, 江苏省电力公司电力科学研究院做性能试验。620 MW 工况下, 修正后机组热耗率为 7 945.86 kJ/(kW·h), 相比大修前, 降低 125.82 kJ/(kW·h); 高压缸通流效率(包括门损)较设计值偏低约 5.3%(绝对值), 中压缸效率(试验值)较设计值偏低约 3.93%(绝对值)。试验中, 高压缸效率偏低的一个原因是顺序阀控制方式下, 调门开度偏小, 节流损失偏大。由于大修前后试验高调门开度不同, 故高压缸效率不便于直接比较; 中压缸效率低于修前的原因是, 高中压缸过桥汽封漏汽量减少, 造成名义的中压缸效率下降。另外三抽温度较修前有大幅度上升从另一个角度反映

了过桥汽封漏汽量的减少。因大修前后两次试验高调门开度不同, 高压缸效率不便于直接比较。大修后试验 620 MW 工况时的调门开度较修前试验更小, 故节流损失更大, 这将影响到高压缸效率。从数值上看一抽、高排温度较修前有所下降, 如一抽下降达到 10.6℃, 这反应了高压缸性能与修前相比是有提升的; 三抽温度较修前有大幅度上升, 同时名义中压缸效率也低于修前, 从另一个角度反映了过桥汽封漏汽量的减少; 监视段温度依然高于设计值, 这主要与级间漏汽量偏大、叶片工作工况偏离设计工况、叶片型线变形等相关。

5 结束语

DAS 汽封用在超临界 600 MW 机组, 国内国内已有多例, 目前该汽封用于汽轮机, 确实能产生一定的节能效果, 但要注意首先在决定采用 DAS 汽封时, 在机组调试阶段要有启动或打闸几次的准备, 不要指望机组一次启动成功, 因为在安装过程中 DAS 汽封的径向安装间隙较原设计值要小(与转子间的间隙较常规汽封小 0.1~0.13 mm), 使在机组启动初始阶段, 在没有充分暖机的情况下、在汽缸和转子没有充分膨胀的情况下 DAS 汽封的长齿会与转子发生碰磨, 导致震动过大而需打闸; 另外, DAS 汽封长齿较原来梳齿汽封的齿顶要宽的多, 故“碰磨”的效果并不好, 需在经过几次机组的启动、打闸后, 多次利用机组真空的升降及机组转速的变化来保证机组的持续运行、暖缸, 使得机组得以充分暖机, 转子、汽缸膨胀充分到位, 避免汽封长齿碰磨的发生, 机组才能够正常运行。

参考文献:

- [1] 郭振宇, 刘凯. 汽轮机汽封型式及其应用效果评价方法[J]. 江苏电机工程, 2010, 29(3): 10-15.

作者简介:

徐传堂(1968), 男, 辽宁大连人, 高级工程师, 从事发电厂汽机技术支持管理工作;

姜涛(1975), 男, 广西防城港人, 工程师, 从事汽轮机检修工作。

Technical Retrofit of DAS Steam Seal for 650 MW Supercritical Steam Turbine

XU Chuan-tang¹, JIANG Tao²

(1. Huarun (Changshu) Electricity Power Co. Ltd., Suzhou 215536, China;

2. Guangxi Fangchenggang Nuclear Power Co. Ltd., Fangchenggang 538000, China)

Abstract: Focusing on the overlarge steam consumption encountered in the supercritical power plant manufactured using the Hitachi technology, retrofit scheme for DAS steam seal, which is intended to improve the thermal efficiency, is performed. It is expected that the clearance can be further reduced and less steam is leaked. Furthermore, methods aiming to obtain higher operating efficiency are also analyzed in this paper.

Key words: steam turbine; loss of steam consumption; DAS seal retrofit; improving efficiency