

某型燃气-蒸汽联合循环汽轮机汽缸卡涩原因分析及处理

云宪龙 张桂明 潘禹霖

东方汽轮机有限公司, 四川 德阳 618000

[摘要] 某电厂燃气-蒸汽联合循环汽轮机在大修时, 高中压外缸发生严重的卡涩现象, 通过对机组结构及卡涩情况的分析计算, 找到了汽缸卡涩的根本原因, 并制定了处理方案, 顺利解决了汽缸卡涩问题, 为后续类似问题的解决提供经验借鉴。

[关键词] 汽轮机; 高中压外缸; 卡涩

DOI: 10.33142/ect.v2i8.13020

中图分类号: TM611

文献标识码: A

Analysis and Treatment of Cylinder Jamming in a Certain Type of Gas Steam Combined Cycle Steam Turbine

YUN Xianlong, ZHANG Guiming, PAN Yulin

Dongfang Turbine Co., Ltd., Deyang, Sichuan, 618000, China

Abstract: During the overhaul of a gas steam combined cycle turbine in a certain power plant, a serious jamming phenomenon occurred in the high and medium pressure outer cylinder. Through analysis and calculation of the unit structure and jamming situation, the root cause of cylinder jamming was found, and a treatment plan was formulated to successfully solve the cylinder jamming problem, providing experience and reference for the subsequent solution of similar problems.

Keywords: steam turbine; high and medium pressure outer cylinder; jamming

1 机组高中压缸结构介绍

某电厂的燃气-蒸汽联合循环汽轮机, 以其卓越的功率和转速性能, 成为电力生产中的关键设备。其额定功率高达 129.8MW, 额定转速设定为 3000rpm, 确保了高效稳定的能源转换。旋转方向设定为逆时针方向(从汽侧观察), 确保了机组的顺畅运行和机械结构的合理性。该汽轮机机组采用了单轴设计, 使得整体结构紧凑、传动效率高。双缸双排汽的结构确保了蒸汽的有效利用和机组的热效率。同时, 机组还具备三压、一次中间再热的特性, 进一步提升了能源利用效率和机组的运行稳定性。

在蒸汽参数方面, 高压蒸汽的温度高达 538℃, 压力达到 9.91Mpa, 为机组提供了强大的动力来源。再热蒸汽的温度则进一步提升至 566℃, 压力为 3.34Mpa, 确保了蒸汽在循环过程中的热效率。机组的高、中压缸采用了合缸结构, 这种设计不仅减小了机组的占地面积, 还提高了机组的整体刚性和稳定性。高压部分采用了整体的高压内缸, 确保了高压蒸汽的稳定供应和密封性能。中压部分则采用了 3 个隔板套结构, 使得蒸汽在中压缸内得到充分的膨胀和做功。

值得一提的是, 高、中压蒸汽均从汽缸中部位置进汽, 这种设计使得蒸汽在汽缸内的流动更加均匀, 避免了局部过热或过热不均的问题。同时, 高压内缸与外缸肩胛配合部位处于高温蒸汽区, 这对机组的密封性能和耐高温性能提出了更高的要求。

综上所述, 该电厂的燃气-蒸汽联合循环汽轮机以其先进的技术和卓越的性能, 为电力生产提供了强有力的支持。

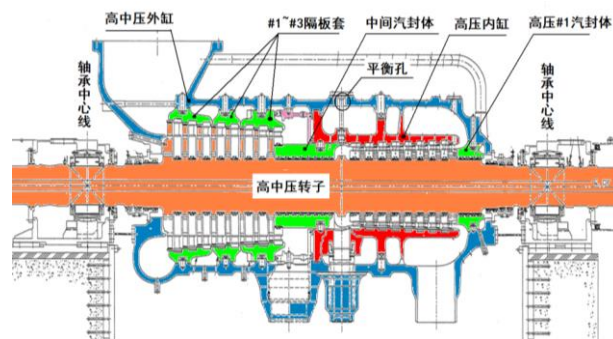


图1 汽轮机高中压缸结构示意图

2 高中压缸卡涩情况介绍

该机组于 2018 年 10 月进行首次大修, 大修时机组已正常运行了约 8 年。检修揭缸过程中, 发生了高压内外缸卡涩现象, 顶缸过程如下:

第一次顶缸: 按正常的揭缸流程, 采用汽缸中分面顶开螺钉及千斤顶缓慢顶起汽缸四角, 监视汽缸四角中分面间隙变化, 采用钢板尺测量, 间隙偏差在 2mm 以内。当外缸上半顶起约 16mm 时, 从中分面缝隙向内部观察, 发现高压#1 汽封体及各隔板套中分面压板已上翘, 压板螺栓损坏。从两端检测的百分表上, 高中压转子抬起约 13mm, 跟随内缸一起被抬起。并确认卡涩部位为高压内缸与外缸之间、中压#1 隔板套与外缸之间, 共 2 处卡涩较为严重。

第二次顶缸: 在汽缸上半平衡孔位置, 焊接龙门架(图 2、图 3), 并采用 100 吨液压千斤顶结合 $\phi 60\text{mm}$ 顶杆向下

顶内缸，同时将外缸上半继续往上顶。外缸上下半中分面间隙已达到 150mm，从中分面上观察到，内缸及隔板套中分面和外缸中分面基本齐平，即内缸及#1 隔板套被外缸带起，卡涩情况并没有缓解迹象。

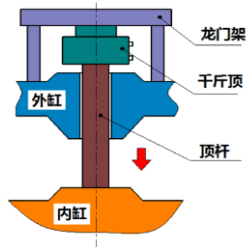


图 2 龙门架顶缸装置示意图



图 3 龙门架顶缸场景

然后在高中压外缸中分面上布置临时支撑，维持高中压外缸中分面间隙不变，增大液压千斤顶至 200 吨，继续顶缸，看能否将内缸从外缸上半顶下。结果作用不大，龙门架发生了明显的变形。

第三次顶缸：在内缸及隔板套上焊接辅助顶板（图 5），采用千斤顶顶辅助顶板及外缸上半，直至焊缝顶裂，都无法将内缸从外缸上半顶开。



图 4 外缸支撑及顶缸示意图



图 5 辅助支撑板顶缸示意图

第四次顶缸：经尝试了各种常规方法，均无法顺利将内外缸分开，考虑到整体起吊存在很大的安全风险，并且整体吊开后，也无有效手段将内缸及隔板套从外缸上半中分开。最终决定在外缸上加工顶开螺孔（图 6），采用顶开螺钉将内缸及#1 隔板套从外缸中顶开（图 7、图 8）。所开螺孔规格经设计严格校核，确保不对机组的运行安全性造成影响，所用的主要设备及工具见表 1。

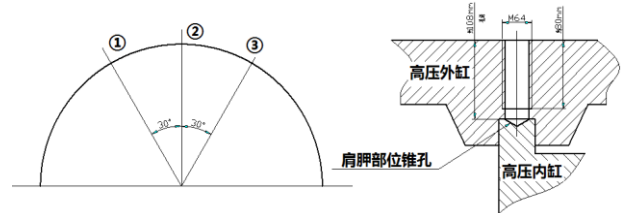


图 6 汽缸顶开螺孔加工示意图



图 7 外缸外缸顶开螺孔加工场景



图 8 液压力矩扳手+顶开螺钉

表 1 主要设备及工具清单

序号	名称	数量
1	万向摇臂钻及机床附件	1 套
2	M64 丝锥	2 套
3	锥柄麻花钻 $\Phi 30/\Phi 41/\Phi 50/\Phi 50$	各 2 套
4	M64 特制顶开螺钉	6 件
5	液压力矩扳手及 M64 标准过渡头	2 套

3 卡涩原因分析

经过对解体后的各个零部件进行细致入微的检查与分析，我们深入探究了汽缸卡涩问题的核心原因。以下是关于这一问题的详细阐述：

3.1 卡涩部位配合间隙过小

在检查过程中，我们发现高中压内缸凸台与外缸槽、隔板套凹槽与外缸凸台之间的轴向配合间隙存在明显问题。具体来说，这两处的配合间隙仅有 0.20mm，这样的间隙设计在实际运行中显得过于紧凑。更值得注意的是，这些配合面的面积相对较大，这进一步加剧了卡涩问题的出现。

进一步分析发现，这些卡涩部位恰好位于汽缸进汽的高温区域，即高压内缸及中压#1 隔板套处。在这样的高温环境中，机组经过长时间的连续运行，配合部位的表面很容易形成一层氧化皮。如图 10 所示，这些氧化皮层的存在不仅影响了部件的原有性能，还使得汽轮机外缸与内缸之间的配合间隙进一步缩小。当间隙缩小到一定程度时，汽缸的卡涩现象就不可避免地发生了。

综上所述,汽缸卡涩的根本原因在于卡涩部位的配合间隙过小,加之长期运行产生的氧化皮层影响,使得原本就紧凑的间隙变得更加狭窄,从而导致了卡涩问题的出现。为了解决这一问题,我们需要对配合间隙进行适当调整,并加强对高温区域部件的维护与保养,以减少氧化皮的产生和积累。

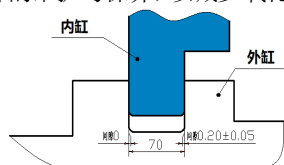


图9 内外缸肩胛配合间隙



图10 配合部位氧化皮及拉伤情况

3.2 配合部位表面发生粘结

外缸及内缸材质均为 ZG15Cr2Mo1, 卡涩部位处于高温区域, 机组长期运行后, 容易发生材料分子扩散, 出现烧结现象。如图 11、12 所示, 整个内缸凸肩均出现了明显的粘结现象。

其次, 在机组安装过程中, 内外缸配合面未涂抹防烧结剂或涂抹不均匀, 也可能导致该现象发生。



图11 内缸凸肩粘结情况



图12 内缸粘结拉伤情况

3.3 汽缸顶起过程中操作不当

在汽轮机的大修过程中, 揭外缸是一项至关重要的步骤, 它涉及到汽缸的精确调整和定位。在这个过程中, 技术人员通常会使用钢板尺来测量汽缸四个角的水平度, 以确保汽缸的平稳放置。然而, 钢板尺作为一种传统的测量工具, 其测量精度相对较低, 存在一定的误差范围。

当我们在揭外缸过程中使用钢板尺进行水平度测量

时, 如果发现前后水平相差达到 2mm, 那么这一微小的差异在汽轮机复杂的结构中可能会产生显著的影响。通过精确的计算和模拟分析, 我们得知这一 2 毫米的水平差异在高压内缸凸台与外缸凹槽的接触面上将转化为约 0.12mm 的偏差。

这 0.12mm 的偏差虽然看似微不足道, 但在汽轮机运行过程中却可能产生严重的后果。由于高压内缸凸台与外缸凹槽之间的间隙非常有限, 任何微小的偏差都可能导致两者之间的摩擦增加, 进而加重汽缸的卡涩现象。卡涩不仅会影响汽轮机的正常运行, 还可能导致设备损坏和安全事故的发生。

4 结构优化及揭缸注意事项

4.1 配合部位结构及间隙优化

根据机组结构特点, 优化了内外缸凸肩配合间隙, 由原来的 0.20mm 增大至 0.30mm, 同时对内缸凸肩非定位进行补充加工 (图 13), 通过加工 15° 斜角, 减小非定位面配合部位的面积, 降低卡涩风险。

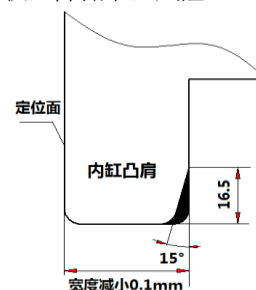


图13 内缸凸肩补充加工示意图

4.2 检修揭缸方案优化

(1) 汽缸水平测量方法优化: 常规揭外缸过程中使用卷尺测量汽缸 4 角水平 (图 14), 钢板尺测量精度低, 误差较大。为避免因汽缸前后水平偏差加剧汽缸的卡涩, 可采用在汽缸上下半打百分表的方式 (图 15), 提高测量精度。打表位置, 根据机组结构, 若有栽丝螺栓, 也可将百分表座吸在螺栓端面, 百分表指针打在汽缸螺孔法兰面上。



图14 卷尺测量汽缸水平



图15 百分表检测汽缸水平

(2) 转子辅助压紧方案: 对于卡涩不是很严重的机组, 可在转子上设置压紧装置, 结构如图 16、图 17。通过在液压千斤顶的作用力, 将转子往下压, 利用转子将内缸部件从上半外缸中拉出。采用该方式需注意以下几点:

a. 通过临时支撑装置支撑转子对轮底部(对轮外圆为圆弧面, 可采用 V 型铁支撑), 支撑稳固后, 将支持轴承从轴承座中翻出;

b. 千斤顶与转子的贴合部位需垫后橡胶皮, 防止损伤转子;

c. 在转子上打百分表, 用于检测顶开过程中, 转子的变化;

d. 顶转子过程中, 需缓慢增压, 并注意观察汽缸的顶开情况, 切忌盲目操作, 一旦发现顶开力较大, 且效果不明显, 应停止顶转子, 防止转子发生弯曲;

e. 操作前, 做好安全策划及工作前的技术交底, 确保人员及设备安全。

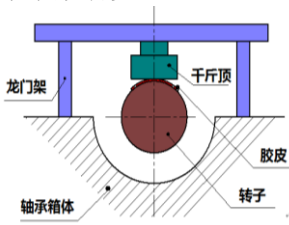


图 16 钢板尺测量汽缸水平



图 17 百分表检测汽缸水平

(3) 配合面均匀涂抹防烧剂: 汽缸检修扣缸时, 应在各静子部件配合面均匀涂抹防烧剂, 特别是内外缸肩膀部位。防烧如: P37 等。降低下次检修时, 各部件发生卡涩的风险。

5 结语

本文通过对某型燃气-蒸汽联合循环汽轮机大修时发生的汽缸严重卡涩现象, 进行仔细研究分析, 找到汽缸卡涩的根本原因, 并制定了处理方案, 顺利解决了汽缸卡涩问题。为后续汽轮机检修时同类问题的解决提供经验借鉴。

[参考文献]

[1] 陈洪炼. 汽轮机阀门卡涩常见故障分析与预防[J]. 技术与市场, 2016, 23(8): 22-24.

[2] 胡洲, 吴文健, 樊印龙, 等. 主汽阀故障造成汽轮机单侧进汽的判断与分析[J]. 浙江电力, 2015, 34(9): 50-52.

作者简介: 云宪龙(1988—), 男, 吉林长春, 大学本科, 工程师, 主要从事汽轮机厂内总装及电厂服务方面的研究。