

供热机组消除颤振操作法

施红杰

江苏国信滨海港发电有限公司, 江苏盐城, 224000;

摘要: 国信启东热电#1号机组是装机0.85千瓦背压式燃气供热机组, 2018年投产, 转子采用25CRMOV合金钢锻造, 有良好的低温抗脆断、耐热、高强度性能, 精加工前进行了磁粉探伤检查以及热跑合、热稳定性试验、理化性能指标。转子安装完毕, 进行高速试验动平衡。在机组检修试转过程中, 当提速到2000转/分时, 产生机组颤振的情况, 到2800转/分振动数据达到0.26mm以上, 引动负荷直线下降, 直接影响机组的安全运行。

关键词: 供热机组; 可倾瓦轴承; 轴承垫片间隙; 轴颈间隙; 颤振; 油挡间隙; 滑环; 稳定性

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.060

前言

电厂燃气供热机组的高压转子的锻造毛坯先进行热处理, 在粗加工后, 进行热跑合热稳定性试验, 抗弯800MPa、屈服强度大于590MPa等机械性能, 转子是由几段转鼓、两个端轴组焊而成, 联轴器与端轴锻成一体。结构依次为1号轴颈、轴封、反动级叶轮、调节叶轮、轴封、推力盘、2号轴颈、靠边轮, 高压转子的进汽端设有平衡活塞, 从而可以平衡一部分轴向推力。但受到初速度扰动后, 会引起振动, 由于设备阻尼的缘故, 这种振动总是不断衰减, 直至消失。但随着转动速度的增大, 振动处于气流中, 情况也有所不同, 一旦发生振动, 会产生附加的气动力, 在运行中有的起到激励作用, 有的起到阻尼作用, 在转速提速到2000转/分以上时, 气动力对机组结构做正功, 大于阻尼耗损的能量时, 偶然的小扰动也会引起无限的放大, 产生激烈的振动, 引发失稳, 发生了机组“颤振”的状况, 导致机组无法运转。我们经过探索和攻关, 查阅了系统及设备资料, 检查了轴瓦、三支撑转子的形位, 尺寸, 同轴度, 不柱度, 不圆度, 表面粗糙度等, 采用可适用机组的“可倾瓦工艺轴承”、完善检修操作流程, 根据转子、油挡与轴颈间隙数据值, 科学调整轴承垫片厚度, 降低轴承轴瓦的温度, 提高检修质量, 为消除机组“颤振”的隐患, 总结出了一套消除燃气机组“颤振”的工艺方案。

1 消除颤振操作法、采用适合机组的“多瓦块可倾瓦工艺轴承”, 避免油膜振荡使系统失稳, 产生燃气机组颤振现象

汽轮机组径向支持轴承, 可倾瓦轴承, 它们担负着支承和润滑的任务, 高速旋转的转子轴颈将具有一定黏度的润滑油至轴颈下方, 形成油膜, 将转子托起, 转子轴颈处于润滑油包围之中, 这样就避免了轴颈与轴承轴瓦表面发生干摩擦。在转子轴颈线速度很低时, 轴颈下

方可能无法形成油膜, 此时转子轴颈与轴瓦表面将相接触, 发生干摩擦, 容易导致转子轴颈和轴瓦拉毛。为了避免这种现象发生, 我们在燃气机组采用设置高压顶轴油系统, 在转子轴颈线速度很低时, 高压顶轴油系统投入运行, 高压油从轴颈下方将轴颈顶起, 使转子处于安全的运转状态, 直到转子轴颈的线速度足以在其下方将轴颈形成油膜, 且油膜的承载能力能够与轴颈载荷平衡, 此时, 高压顶轴油系统自动停运。转子轴颈的线速度越高, 形成油膜的托起合力就越大。当油膜托起的合力大于轴颈加到该轴承的载荷时, 轴颈将被抛荡起来, 这时转子轴颈、油膜、轴承构成的系统发生“油膜振荡”使系统失稳, 产生燃气机组颤振。在机组检修中, 我们根据设计情况, 选用轴承时要注意这些问题: 1 尽量不采用“单油楔圆轴承”, 常用的圆轴承在下瓦中分面位置处有进油口, 轴颈旋转时只能形成一个油楔, 这种轴承有可能发生失稳现象。在机组维修实践中尽量不予以运用。2、安装中尽量不采用“三油楔圆轴承”工艺, 在其下瓦偏垂直位置两侧都有进油口, 在上瓦还有一个进油口, 这种轴承也有可能发生失稳现象。3、椭圆轴承其垂直方向的长径略大于水平方向的短径。在其下瓦中分面附近位置处有进油口, 轴颈旋转时只能形成一个油楔, 这种轴承也有可能发生失稳现象, 实践中尽量不宜采用。4 “袋式轴承”这种轴承类似于椭圆轴承, 但由于采取了特殊的加工方法, 在结构上, 在轴瓦距两端面40mm处仍然是完整的圆轴瓦, 借以阻挡油的泄漏程度; 轴瓦的中间段与两端面之间形成深度约0.7mm的小台阶, 形成油袋。下轴瓦还设置了顶轴油囊, 其最深处的深度约0.2mm。5、可倾瓦轴承, 其轴瓦由若干可绕其支点转动的轴瓦弧段之间的间隙作为瓦面的进油口, 轴颈旋转时, 瓦形成一个油楔。在检修中, 我们采用适合机组的“多瓦块可倾瓦工艺轴承”新工艺, 避免油膜

振荡使系统失稳，产生燃气机组颤振现象。



图1 选用机组检修

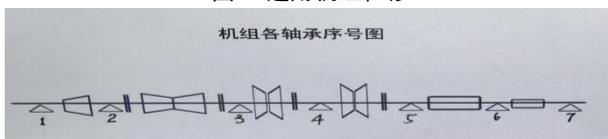


图2 机组检修轴承序号

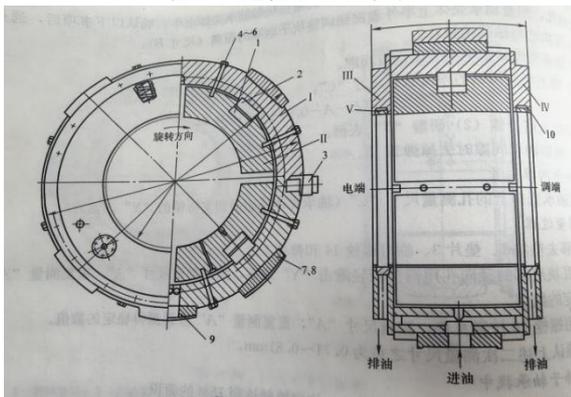


图3 选用多瓦块可倾瓦轴承

多瓦块可倾轴承 1、8-调整垫片；2-支持销；3、10-止动销；4~6-临时螺栓；

7~9-钢垫块；I -轴承外壳；II-轴承；III、IV-油封环；V-轴颈；

2 消除颤振操作法二、完善检修操作流程，确保转子、油挡与轴颈间隙数据值，降低轴承轴瓦的温度，提高检修质量

转子之间都是采用法兰式刚性联轴器连接，形成了

轴系。轴系的轴向位置用高压转子前端推力轴承中的推力盘来定位的，转子轴颈在轴瓦内高速旋转，造成油膜内的液体摩擦，所消耗的能量将转变成热能，因此每个轴瓦运转应有足够的润滑油流量，及时把轴瓦内的热量带走，油来自润滑油系统，通过轴承箱底部的油管供给。油通过底部垫块的孔进入轴承外壳下半部分，并沿轴向流到轴承外壳两端的环形槽内，油从这些槽经6个孔进入轴承瓦块，其中2个孔在垂直中心线的顶部，2个孔在水平中心线两侧。油同时也通过垂直中心线底部的一个孔流入轴瓦。油沿着轴颈分布，并从两侧流出。轴承两端的油封环防止油从端部过多的泄漏，油通过油封环及其挡环下半的油孔返回到轴承支座。用止动销10防止挡油环转动。汽轮机挡油环的作用是防止润滑油沿着转子泄漏，挡油环由上半和下半组成，通过六角头螺钉固定在轴承箱端部。挡油环上、下用六角螺钉在水平中分面处连接。我们为保证轴瓦金属温度始终保持在允许的范围（在70~90℃极限小于100~110℃），要求轴颈与轴瓦有足够的间隙数据见表1、表2，在机组运转的状况下，要有足够的油膜厚度，自动存储，在内数据处理时显示油膜最大厚度0.2mm；油挡洼窝和定位转子轴颈扬度等均在规定的范围之内；台板无间隙，垫铁与台板、垫铁与垫铁之间用0.05mm塞尺塞不进；轴颈晃度，扬度值小于0.10mm的安装标准；#4轴承座底座标高+0.86mm的补偿；联轴器间所留的下张口值为0.15~0.25mm。通过轴瓦供油足够压力，保证子转子各轴颈处被顶起的高度值，完善检修操作流程，保证转子与轴颈间隙，降低轴承轴瓦的温度，消除了燃气机组“颤振”。



图4 检测机组的各项检修数据调整油挡间隙

表1 转子各轴颈处被顶起的高度值

轴承编号	1	2	3	4	5	6	7
转子顶起高度 (mm)	0.11	0.10	0.11	0.08	0.11	0.10	0.09

制表人：施红杰

表2 各轴承内外油挡与转子之间的间隙值

轴承编号	内油挡间隙 (mm)				外油挡间隙 (mm)			
	左侧	右侧	顶部	底部	左侧	右侧	顶部	底部
1	0.16	0.02	0.23	0				

2-3	0.36	0.22	0.42	0.17	0.35	0.02	0.35	0
4-6	0.25	0.02	0.33	0	0.5	0.15	0.55	0.15
7	0.46	0.21	0.54	0.15				

制表人：施红杰

3 消除振动操作法三、科学调整轴承垫片，修正联轴器的螺栓孔通流间隙

1、拆下轴承垫块并重新安装垫片，使这两个垫块与轴承贴合，并使转子位置符合转子间隙图的要求换上永久垫片，厚度应和取下的垫片组的总厚度相等。2、垫片装配底部的垫块，与轴承箱底相接触，使得垫块与轴承箱之间的间隙为0~0.05 mm，在顶部的垫块处加垫片，使这些垫块和轴承箱上半之间有0.075 mm的过盈量。3、轴承垫块和中心线成45度夹角，必须注意轴承和中心线垂直方向的移动量不等于垫片厚度的改变量，在垫片厚度和轴承移动量之间有一个0.7的常数，在下半的45度方向一个垫块上加一个0.125 mm厚的垫片，产生一个0.875 mm的垂直位移和水平位移。4、在下半的45度方向一个垫块上加一个0.125 mm厚的垫片产生0.1786 mm和垂直位移，但没有水平位移。5、垂直提高轴承0.25 mm，在下半各垫块均增加0.175 mm垫片。6、向右移动轴承0.25 mm，从右边下半垫块减去0.175 mm垫片，并在左边下半垫块加厚0.175 mm。并根据表3、表4数据值，

确定在联轴器通流间隙平直度不超差，针对联轴器的螺栓孔，我们用先进刀具可调式铰刀，进行铰孔修正，调整联轴器的螺栓孔通流间隙。修正时铰刀必须与螺栓孔良好对中，且保持铰刀在钻铰过程中不发生偏摆，直到全部螺栓孔符合要求为止。铰孔后测量铰孔直径，精加工销与孔间隙小于0.03mm然后称出螺栓螺母垫片的重量，并将其分别组合，使它们的重量最大偏差小于5克，并打上编码；通过采用以上先进工艺调整法（见图5），保证了联轴器螺栓孔与支承轴瓦的中心轴线、汽轮机、发电机、励磁机轴线在同一中心上，消除“颤振”时产生的扰动力。



图5 科学调整轴承垫片修正联轴器的螺栓孔通流间隙

表3 各轴承主要技术数据

轴承号	油楔 (mm)	直径 (mm)	长度 (mm)	长度比	载荷 (kN)	载荷比 (MPa)
1	0.15	200	157	0.785	36	1.15
2	-	355	290	0.810	189	1.86
3	0.17	450	400	0.890	395	2.21
4	0.22	475	425	0.890	588	2.79
5	0.22	500	450	0.900	595	2.67
6	0.17	400	335	0.880	309	2.20
7	0.15	250	211	0.840	9.49	0.18

制表人：施红杰

表4 各轴承耗功、润滑油量、进油孔板前后压差、轴心位移数据

轴承号	耗功 (KW)	润滑油量 (L/S)	孔板压差 (10PA)	孔板直径 (mm)	轴心位移 (mm)		示意图
					X	Y	
1	15	0.8	0.8	11	-	-	
2	286	7.9	1.0	31	-	-	
3	180	7.0	0.8	31	0.19	0.22	
4	220	8.0	0.8	33	0.25	0.20	
5	280	9.0	0.8	35	0.26	0.22	
6	107	5.5	0.8	27	0.19	0.18	
7	30	1.4	0.8	12.5	-	-	

制表人：施红杰

4 消除振动操作法四：提高供热机组汽轮发电机滑环的精度

机组运转过程中，由于机组所处的环境水汽较大，这样滑环与碳刷接触面部分就出现了氧化，机组停运的时间越长，氧化就越厉害。久而久之，滑环表面就出现了排列较规则的粒状锈斑。运转的滑环与碳刷间有火花产生，就要弄清火花产生的原因，应测试并分析碳刷电流分布密度是否发生变化，如有必要应尽快安排停机处理。并对滑环表面进行处理，把原来的不平整度达1~2毫米修复到直线度小于0.03毫米精度要求，对消除安装过程中辅助汽轮机滑环精度的影响有明显的提高。并带领小组成员实地调查，认真讨论分析影响加工的末端原因。确定滑环损坏主要原因1、滑环表面粗糙，产生划痕。2、运行中碳粉和转子轴瓦漏出的油混合在一起。影响了电刷和滑环的接触形成环火。3、电刷端面不垂直，导入不正确。

团队找出上述主要原因，进行了充分的分析和研究，制定相应的对策，创新设计改进了机床拖板装置，可移动式复合操作台C700H-1型系列设备。发电机滑环在发电机端盖和轴承座之间，空间位置狭窄，决定用车床的加工方法对滑环表面进行加工。根据车床车削原理，要想对滑环表面进行修复加工，必须满足以下条件：滑环应能作回转运动；应有一把刀具沿轴向作直线运动；刀具还应能沿径向作直线运动（如图6所示）。这样就能实现现场车削，完成滑环表面的修复。



图6 工作人员提高机组滑环的平整度

4.1 效果检验

在设备检修中，为了消除机组振动，盖上轴承上瓦盖并拧紧上半轴瓦，通过运用以上先进的工艺，对轴承瓦面进行转子的就位、找中，并以轴承座作为基准，检查并调整轴颈之间的间隙，使其均匀，而是应当仔细地调整对中，标高，扬度，使轴瓦与轴颈之间的接触面符合设计要求。完成螺栓螺母和轴承座相关部件收紧工作；增加瓦面的强度和轴承座的刚性，提高耐磨度。机组试转启动后，严密监视汽轮机组各轴承振动及金属温度的变化，各轴承振动在1500r/min前不超过0.03mm，过临界转速时各瓦振动不超过0.07mm，瓦盖振动不超过0.05mm，3000r/min时各瓦振动不超过0.03mm，瓦盖振动不超过0.03mm。

参考文献

- [1] 华东六省一市电机工程（电力）学会编，火力发电机组培训教材《汽轮机设备及其系统》北京：中国电力出版社2006.
- [2] 郭延秋《大型火电机组检修实用技术丛书》汽轮机分册北京：中国电力出版社1998.