

汽轮机转子中心孔进油故障诊断及处理

管志义 黄江昆 钟天炜

湖南华菱湘潭钢铁集团有限公司 湖南湘潭 411101

摘要: 某厂2号机组通流改造时汽轮机更换了新转子和隔板,带负荷过程中2号瓦振几次出现爬升现象,停机通过临界转速时1、2号瓦振大幅度增加,调整启动及运行参数依然如故。最后发现转子中心孔进油约2~3kg,清理积油后开机带负荷再次出现相似振动。再次清理转子中心孔积油,封堵转子电侧中心孔堵板上的小孔。带负荷及投入抽汽以后,机组振动稳定在优良值。

关键词: 汽轮机转子;中心孔;进油;诊断

Oil inlet fault diagnosis and treatment of turbine rotor center hole

Zhiyi Guan, Jiangkun Huang, Tianwei Zhong

Hunan Hualing Xiangtan Iron and Steel Group Co., Ltd. Hunan Xiangtan 411101

Abstract: During the flow modification of Unit 2 at a certain plant, the steam turbine's rotor and diaphragm were replaced. However, during operation under load, there were several instances of vibration surging in the 2nd bearing. When the unit was stopped at the critical speed, the vibration of the 1st and 2nd bearings increased significantly. Adjustments were made to the startup and operating parameters, but the issue persisted. Finally, it was discovered that there was an approximate 2~3kg oil influx into the rotor's center hole. After cleaning the accumulated oil, the unit was started under load again, and similar vibrations reappeared. The rotor's center hole was cleaned again to remove the accumulated oil, and the small hole on the plug plate of the rotor's electrical-side center hole was sealed. After being loaded and steam extracted, the unit's vibration stabilized at an excellent value.

Keywords: turbine rotor; center hole; oil intake; diagnosis

一、概述

某厂2号机组汽轮机系哈尔滨汽轮机厂制造,型号CC25-9.32/1.27/0.118,为单缸冲动双抽凝汽式,全周进汽喷嘴调节。2023年1~3月机组大修期间,由哈汽实业对汽轮机进行了全通流改造,保留汽缸、前箱和主油泵,汽轮机转子、叶片、隔板和汽封全部换新,额定功率从之前25MW提高到30MW。

轴系由汽轮机和发电机转子组成,两转子之间用刚

性对轮连接,轴系结构如下图1示。汽轮机转子共21级,其中:高压部分11级、中压部分6级、低压部分4级。汽轮机转子总长约6.3m,1、2号轴颈之间长度约5.3m,转子中心孔直径100mm。

现场临时安装的本特利“9200”型振动速度传感器测量1~4号轴承垂直方向瓦振,4号轴承前端左侧水平方向临时安装的光电传感器与大轴上的反光片配合测量机组转速和振动相位,机组瓦振及键相信号都输入到SK4432振动分析仪进行测量、分析和存储。

二、改造后开机带负荷机组振动现象

某厂2号机组大修及汽轮机全通流改造完成以后,2023年3月16日10:39冷态开机,分别在500、1200、2400r/min停留暖机,由于机械超速保护动作,几次都不能升至额定转速。首次升速通过临界转速时汽轮机瓦振

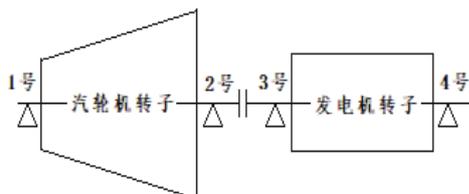


图1 2号机组轴系结构示意图

最大 $17\mu\text{m}$ 、发电机瓦振最大 $14\mu\text{m}$ ，之后几次升降速过程临界转速下汽轮机瓦振最大增加到 $60\mu\text{m}$ ，而发电机瓦振最大仍然约为 $16\mu\text{m}$ ，2400r/min暖机过程2号瓦振从 $6\mu\text{m}$ 增加到 $21\mu\text{m}$ 。

停机后先暂时拆下飞锤杠杠，再次开机，15:10首次定速3000r/min时1~4号瓦振分别为17、10、19、 $12\mu\text{m}$ ，完成汽机、电气相关试验以后，3月17日4:38发电机并网，4:47~5:15负荷13~16MW，5:41负荷24.5MW，由于2号瓦振持续增加被迫降负荷，6:29负荷9.6MW，6:39时2号瓦振显示值 $80\mu\text{m}$ 打闸停机，降速过程通过临界转速时汽轮机转子1、2号瓦振达 $190\mu\text{m}$ 以上。

之后根据制造厂家意见，控制启动参数和运行参数（主汽压力、主汽温度、真空、轴封压力、轴封温度等），又进行了三次开机带负荷，每一次都是随着运行时间延长和负荷增加，2号瓦振不断增大，停机降速通过临界转速时1、2号瓦振都很大，四次开停机及带负荷1、2号瓦振数据见表1，第二次开停机汽轮机1、2号瓦振伯德图见图2，带负荷过程汽轮机#1、#2瓦振变化曲线见图3。

三、汽轮机异常振动分析

2号机组改造后开机带负荷过程，汽轮机异常振动表现在两个方面：一是带负荷过程随着运行时间延长和负荷增加2号瓦振持续攀升，二是热态停机降速汽轮机通过临界转速时1、2号瓦振大幅度增加（图2）。而每次

表1 第一阶段开停机及带负荷机组瓦振测量值

单位： $\mu\text{m}\angle^\circ$

工况		1号瓦振	2号瓦振	3号瓦	4号瓦
		\perp	\perp	振 \perp	振 \perp
3月16~17日 第一次开 停机及带 负荷	17日4:55 带负荷	4	18	30	15
	17日6:39 打闸前	28	89	38	19
	停机过临界	190	192	41	20
3月17日 第二次开 停机及带 负荷	开机过临界 (1740r/min)	21 \angle 81	31 \angle 54		
	17日11:13 3000r/min	14 \angle 218	2 \angle 105	15	13
	17日12:35 打闸前	20 \angle 27	77 \angle 192	26	16
	停机过临界 (1669r/min)	236 \angle 120	192 \angle 85	39	19
3月18日 第三次开 停机及带 负荷	18日14:03 3000r/min	16	11	17	12
	18日15:58 打闸前	4	43	28	16
	停机过临界	156	162	33	15
3月19日 第四次开 停机及带 负荷	19日14:27 3000r/min	12	9	13	10
	19日16:32 打闸前	7	25	29	11
	停机过临界	139	115	32	13

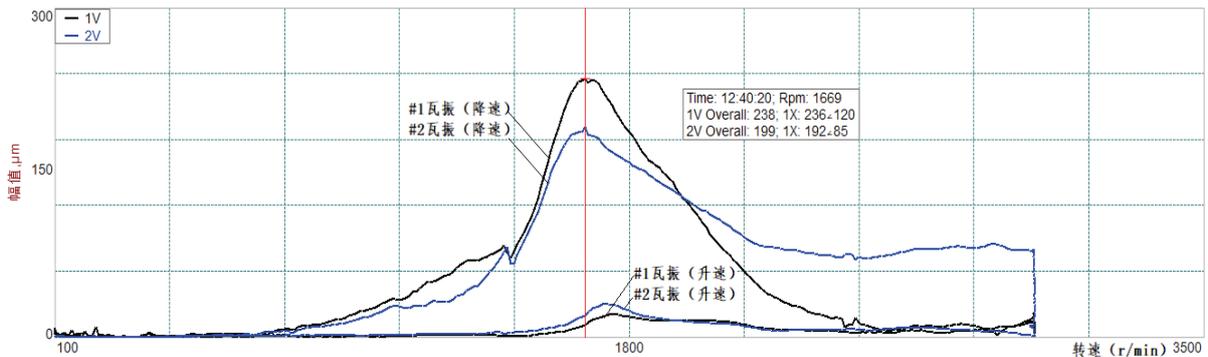


图2 第二次开、停机（带负荷）汽轮机瓦振伯德图

开机升速过程，汽轮机转子临界转速区1、2号瓦振都很小，说明带负荷过程汽轮机转子产生的热弯曲是临时性的，原因分析有以下三个方面。

一是动静部分碰磨。根据大修期间汽轮机调整的通流间隙推测，碰磨最可能的部位是在前后轴封处，这时汽轮机一端的振动会大幅度增加，但停机通过临界转速时振动不会反应很大。特别是第四次带负荷时，2号轴承

振动仅增加到 $25\mu\text{m}$ 就打闸停机了，但降速通过临界转速时汽轮机瓦振竟高达 $115\sim 139\mu\text{m}$ 。而且，一般的动静部分碰磨，经过几次磨合以后，随着间隙增加、碰磨逐渐脱离，机组振动将会越来越小。从四次带负荷汽轮机瓦振变化看，显然不是单纯的动静碰磨能够解释清楚的。

二是汽轮机转子中心孔进油。汽轮机转子中心孔进油以后，润滑油不均匀附着在汽轮机转子中心孔内壁，

随着负荷增加、转子温度不断升高, 传热不均匀使汽轮机转子断面上出现温差导致转子产生热弯曲。带负荷过程振动增加后期振动趋于同相, 停机通过临界转速时较开机振动会大幅度增加。

三是汽轮机转子套装部件松动。查汽轮机转子结构图纸, 只有最后4个低压级和低压轴封体为套装结构, 套装处直径为425~465mm, 套装叶轮工作温度最高约104℃, 低压轴封套温度稍高。一般来说, 只有前面几级高温部位的套装部件容易松动, 低压部分这样低的温度不足以引起套装部件松动导致汽轮机转子变形。

如果汽轮机动静部分碰磨长期不能脱离, 只能揭缸重新调整间隙。如果汽轮机转子套装部件松动, 更为麻烦, 不仅必须揭缸, 而且套装部位的接合面需要重新处理以增加紧力。本着先易后难的原则, 决定先检查下列项目: 1、2号轴瓦乌金面及安装数据, 排汽缸及末级叶片, 中心孔是否进油。

四、检查处理及第二阶段开机带负荷机组振动

停机冷却后, 检查1、2号轴瓦乌金及间隙、紧力基本正常, 进入排汽缸内检查低压缸及末级叶片正常, 测量低压轴封间隙基本均匀。最后拆开前箱主油泵短轴与汽轮机前端对轮, 发现有积油约2~3kg, 清理干净后用高温密封胶涂抹对轮结合面封堵, 但后端对轮中心孔堵板上的通气小孔未封堵(图5, 改造以前的老转子一直也有小孔)。

全部恢复以后4月3日开机带负荷, 最高负荷达26MW。带负荷前期1、2号瓦振不稳定, 2号瓦振最大52 μm。4月7日2号瓦振快速爬升打闸停机, 降速通过临界转速时汽轮机1、2号瓦振达160 μm, 怀疑汽轮机转子中心孔再次进油, 决定第二次停机检查处理。



图5 汽轮机转子电侧对轮中心孔堵板上的小孔

五、第二次检查处理及第三阶段开机带负荷机组振动

汽轮机冷却以后, 拆开汽发对轮, 再次发现汽轮机转子中心孔进油, 积油清理干净, 封堵汽轮机转子中心

孔电侧堵板通气小孔(图5)。机组恢复后4月21日开机带负荷, 之后投入高、低压抽汽运行, 机组振动基本稳定, 现场TSI显示振动数据见表2, 所有测点振动都在优良范围内

表2 第二次检查处理后第三阶段带负荷运行机组

工况	TSI振动显示值 μm		
	1号瓦 振⊥	2号瓦 振⊥	3号瓦 振⊥
4月21日20:04 负荷3.9MW	18	9	12
21:37 负荷15.3MW	14	6	12
21:54 负荷15.2MW 高抽46t/h	14	6	12
4月22日8:27 负荷25MW 高抽42t/h	21	12	9
4月23日8:14 负荷25MW 高抽47t/h	17	9	9
4月24日10:57 负荷25.1MW 高抽44t/h	16	8	10
4月25日8:27 负荷25MW 高抽39t/h	16	8	10
11:29 负荷25.1MW 高抽41t/h、低抽10t/h	16	9	9
15:30 负荷25MW 高抽41t/h、低抽15t/h	15	9	8

六、结论与建议

某厂2号机组大修改造后开机及额定转速时振动优良, 前后两个阶段带负荷过程2号瓦振持续爬升、停机通过临界转速汽轮机1、2号瓦振大, 都是因为汽轮机转子中心孔进油引起的, 清理积油、严密封堵前后端面的进油处, 目前带负荷及抽汽运行过程机组振动稳定, 所有测点振动都在优良范围内。

参考文献:

- [1]张其显, 刘晓峰. 汽轮机转子中心孔进油诱发异常振动故障分析诊断[J]. 汽轮机技术, 2007(01).
- [2]罗剑斌, 卢一兵, 袁立平, 石峰, 王瑞军, 孙玉泰, 杨占月, 张作礼. 一台汽轮机转子中心孔进油的振动原因分析[J]. 华中电力, 2005(02).
- [3]李红艳, 刘景忠. 转子中心孔进油引起汽轮机振动的原因及处理方法[J]. 聚氯乙烯, 2004(03).
- [4]任学良, 王振龙. 汽轮机转子中心孔进油故障的诊断与排除[J]. 中国设备工程, 2002(10).
- [5]吴志军. 汽轮机转子中心孔进油的振动原因分析与诊断[J]. 中州大学学报, 2005(04).
- [6]郑庆行, 温玉磊, 张文良, 赵锦同. 30Cr2Ni4MoV 钢汽轮机转子冲击性能低的原因分析[J]. 热处理, 2022(05).
- [7]袁芳元. 汽轮机转子中心孔进油故障诊断及处理[J]. 东北电力技术, 1995(05).