

法国 330 MW 汽轮机胀差异常的原因分析及应对措施

张德泽

(四川巴蜀江油发电厂, 四川 江油 621709)

摘要:四川江油发电厂引进的法国 330 MW 汽轮机组, 自 1990 年投产以来因汽轮机胀差异常, 多次引起机组跳闸。通过对汽轮机胀差异常引起的机组跳闸事故统计, 分析找出胀差异常原因, 并制定有效措施, 确保了机组在正常启动、停机和运行过程中安全稳定运行, 减少了机组非计划停运次数。

关键词:汽轮机; 汽缸; 转子; 胀差

Abstract: The 330 MW turboset which was imported from France of Jiangyou Power Plant in Sichuan has tripped several times since it was put into operation in 1990 because of abnormal differential expansion of steam turbine. Through the statistics of tripping accidents caused by abnormal differential expansion of steam turbine, the reasons for abnormal differential expansion are found and analyzed. The effective measures are given to ensure the safe and stable operation of the turboset during the normal starting, shutdown and operation, which also reduces the times of unplanned outages.

Key words: steam turbine; cylinder; rotor; differential expansion

中图分类号: TK263 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)04-0088-04

1 设备概述

1.1 设备的主要技术性能

四川江油电厂 330 MW 汽轮机是于 20 世纪 80 年代末从法国 ALSTHOM 公司引进亚临界、中间一次再热、单轴、双排汽、冲动式、凝器式抽汽轮机组, 与 1 004 t/h 亚临界、一次中间再热、燃煤强制循环汽包炉和 330 MW 水-氢-氢发电机配套, 锅炉与汽轮机热力系统采用单元布置。

1.2 汽缸滑销系统

1.2.1 高、中压缸的死点和膨胀

高、中压缸用跨过高一中压缸轴承箱的两根导杆刚性联接。高压缸与中压缸的绝对膨胀死点设在中压缸后侧的轴承箱上, 当缸体温度升高时, 高、中压缸由此点向前膨胀, 并由高中压缸猫爪在高压缸一中压缸轴承箱和前轴承箱水平面滑动板上滑动。各汽缸也可在各轴承箱上横向膨胀。

1.2.2 低压缸排汽罩(低外缸)

低压缸排汽罩放置在支撑板上, 支撑板放在固定于基座的垫板上。低压缸排汽罩从固定于靠中压缸侧基础上的固定垫块向机组后侧轴向膨胀, 也可横向膨胀。

1.2.3 低内缸的膨胀

低内缸以凝汽器的中心线为死点, 相对排汽罩向

前和向后轴向膨胀, 也可横向膨胀。

1.2.4 转子的死点和膨胀

推力轴承设在高中压缸之间的轴承箱内, 有两根连杆将推力轴承与高压缸前侧猫爪刚性联接, 可随同高压缸一起膨胀移动。整个汽轮发电机以推力轴承的推力盘为死点, 分别向前和向后膨胀。

2 胀差测量系统

四川巴蜀江油发电厂 330 MW 机组高、中、低压缸各装设了一套缸体胀差测量装置, 传感器型号 VF71A、转换器型号 WL173、放大器型号 SM-D, 胀差测量探头安装在磁性拖板上, 高、中压缸胀差测量拖板安装在缸体上, 低压缸胀差测量拖板安装在低、发联轴器外壳上, 通过检测拖板位移量, 经转换器、放大器、二次仪表(GMA 柜内 SM 卡件), 完成对缸体胀差的测量。

3 汽轮机胀差异常事故统计及分析

四川江油电厂 330 MW 汽轮机自 1990 年投运以来, 因汽轮机胀差造成机组跳闸或延迟开机等情况时有发生, 分析其原因有如下情况。

1) 2×330 MW 汽轮机由控制信号误发引起的汽

轮机胀差异常共五次；

2) 2×330 MW 汽轮机由控制设备缺陷引起的汽轮机胀差异常约七次；

3) 2×330 MW 汽轮机由运行操作不当引起的汽轮机胀差异常约五次。

表 1 汽轮机组胀差异常统计 (1990—2008 年)

项 目	原 因		
	信号误发	设备缺陷	运行操作不当
31号机组	1992 年高缸胀差信号误发一次	1991 年汽温参数 (主汽或再热汽温) 异常造成低缸胀差保护动作两次	1991 年低缸胀差大保护动作一次 1992 年低缸胀差大保护动作一次 2007 年低缸胀差大保护动作一次 2008 年开机汽轮机低缸胀差异常报警
32号机组	1992 年高缸胀差信号误发一次 1993 年高缸胀差信号误发一次 1995 年高缸、低缸胀差信号误发各一次	1991 年低缸胀差大保护动作一次	

通过对四川江油电厂法国 330 MW 汽轮机胀差异常统计,可以看出,法国 330 MW 汽轮发电机组在开始投运五年内因汽轮机胀差信号误发造成汽轮机保护动作次数较多,经过技术攻关,且经过试验将胀差保护逻辑修改后,杜绝了机组正常运行期间胀差保护误动。自 1996 年以后汽轮机胀差异常存在原因是机组设备缺陷和开机过程中运行操作不当引起,为了确保法国 330 MW 机组运行的安全性、可靠性、经济性,通过分析论证,采取了相应的技术措施,使汽轮机胀差变化处于可控、在控范围。

4 胀差变化的影响因素

300 MW 等级的汽轮机胀差变化,当机组正常运行时,由于汽缸和转子温度趋于稳定,一般情况变化很小。但在机组参与电网调峰时、负荷变化率较大时,胀差指示会有较大变化,所以分析汽轮机胀差的影响因素查找汽轮机胀差异常原因,以便采取切实有

效措施,控制汽轮机胀差的异常变化。

4.1 测量回路的检查

胀差测量回路是由探头、前置器和卡件组成,现场设备无明显受损现象;前置器工作温度为 40℃左右,符合要求;前置器工作电压稳定、无波动。

根据胀差测量原理和现场数据可推算出零点间隙位置,再与探头的原始安装零点间隙位置相比较,以判断胀差探头安装位置与测量回路是否正常。如果推算出的零点间隙位置与原始数据存在偏差,则说明胀差探头所测量的胀差值非实际值,探头或测量回路可能存在故障;否则说明胀差的增大不是由于探头安装及测量回路出现故障所致。

4.2 胀差大小的影响因素

汽轮机在启动、停机及运行过程中,胀差的大小与下列因素有关。

4.2.1 负荷变化速度

当负荷变化时,汽轮机各级蒸汽流量发生变化,特别是在低负荷范围内,各级蒸汽温度的变化较大,负荷增长速度越快,蒸汽温升速度越快,与金属表面之间的温差越大,汽缸和转子温升速度的差别越大。负荷增加速度加快,则正胀差增大;反之将出现负胀差;如果机组在某一负荷下稳定运行,其胀差将随时间增长而减小,最后稳定在某一数值。

4.2.2 蒸汽温升速度

机组在启动或正常运行过程中主蒸汽温度变化,则将影响各级蒸汽温度,主蒸汽温升速度越快,汽缸与转子之间的胀差越大;反之将出现负胀差。

4.2.3 轴封供汽温度

汽轮机的轴封体是嵌在汽缸的两端,其膨胀对汽缸轴向长度几乎没有影响,但转子轴封段的膨胀却影响转子的膨胀,因而使正胀差增大。由于轴封段占转子长度较小,故对总胀差影响较小,可是轴封处局部胀差比较大。如果轴封供汽温度过高,可能使轴封的轴向间隙消失,动静部分发生摩擦。如轴封供汽温度低于轴封金属温度,则情况相反,轴封处的局部胀差为负值。为避免轴封处出现过大的正胀差和负胀差,轴封供汽温度应略高于轴封金属温度,且热态启动时应先向轴封供汽后抽真空,以免大量冷空气从轴封处漏入而出现较大的局部负胀差。

4.2.4 摩擦鼓风损失

在机组启动和低负荷阶段,蒸汽流量较小,中低压级内会产生较大的鼓风摩擦损失 (与转速三次方

成正比), 损失产生的热量被蒸汽吸收, 使其温度升高。由于叶轮直接与蒸汽相摩擦, 因此转子温度比汽缸温度高, 故出现正胀差。随着转速升高, 转子摩擦鼓风损失产生的热量相应加大, 但此时由于流量增加, 使产生鼓风损失的级数相应减少, 因此每千克蒸汽吸收摩擦鼓风损失产生的热量先随转速升高而增大, 后随转速升高而减小, 对胀差的影响也逐渐减小。

4.2.5 排汽温度

由于排汽缸对应的转子轴端露出在汽缸外, 因此排汽温度变化主要影响排汽缸的膨胀量。随着排汽温度升高, 排汽缸的膨胀量比对应转子的膨胀量大, 使低压缸的相对胀差较小。如果排汽温度的升高是由于凝汽器内压力升高而引起的。为了保持机组的转速或功率不变, 进汽量需相应增加, 从而引起高压缸胀差增大。

4.2.6 转子回转(泊桑)效应

转子在旋转时, 产生很大的离心力, 转子材料在离心力的作用下沿径向产生弹性伸长, 从而使轴向长度缩短, 故在相同加热条件下, 转子的轴向膨胀量较静止时小, 因而对胀差产生影响。

汽缸和法兰螺栓加热装置(江油发电厂法国 330 MW 汽轮机无汽缸、法兰加热装置)在汽轮机启动时必须要在汽缸夹层中通以适当的蒸汽, 否则将会出现较大的正胀差。

5 解决方案及效果分析

5.1 选择合理的启动参数

根据法国 330 MW 汽轮机汽缸最高缸温, 特别是冷态开机过程中当锅炉点火后通过调整锅炉燃烧, 维持再热蒸汽温度稳定在 340°C , 避免蒸汽温度大幅波动, 是控制胀差异常的最有利手段。为此可从以下几方面采取措施。

(1) 由于天然气资源短缺及国家环保要求, 为了冷态开机顺利进行, 综合平衡后, 法国 330 MW 机组停运时力争降低锅炉粉仓粉位均在 5 m 以下; 由此就大大减少了开机过程给粉机启停次数, 主蒸汽、再热蒸汽温度控制达到稳定可靠, 汽轮机胀差有效控制。经过近几年实践, 法国 330 MW 机组因汽轮机胀差异常停机次数已大幅度减少。

(2) 在法国 330 MW 机组停运时对锅炉过热器及再热蒸汽减温水电动隔离门、调节门进行解体检

修、碾磨, 必要时更换新门, 确保开机或事故情况减温水量足够, 确保锅炉蒸汽温度控制稳定。

(3) 开机过程中, 为提高汽轮机缸温水平, 及时投运汽轮机保安系统进行高中低压缸暖机。

5.2 制定合适的升温、升压曲线

制定合适的升温、升压曲线, 开停机过程中严格执行。

5.3 控制汽轮机升速速度及定速暖机时间

法国 330 MW 汽轮机冷态启动升速速率为 100 r/min 热态启动升速率为 500 r/min ; 当汽轮机冲转升速至 980 r/min 进行低速暖机 20 min , 当汽轮机高压缸温度达到允许值时才又升速至 3000 r/min 进行高速暖机 20 min 后并网, 机组并网带 $30\sim 45\text{ MW}$ 负荷时进行投运汽轮机高压缸运行, 汽轮发电机低负荷即 $80\sim 120\text{ MW}$ 暖机 30 min 以提高汽轮机缸温水平, 避免低压缸胀差大幅飚升, 此时机炉参数必须匹配一致, 根据汽轮机胀差变化逐步地、小幅度地提高主蒸汽、再热汽温度以及缓慢增加机组负荷等办法, 运行人员随时监控汽轮机的胀差、各轴瓦振动和轴承温度、串轴等变化情况, 特别应严密监视汽轮机低压缸胀差的变化情况, 必要时可以稳定机组负荷来提高汽轮机缸温, 达到将汽轮机胀差变化控制在允许范围内; 只有在此阶段严格控制胀差异常变化, 才能确保开机顺利进行。对法国 330 MW 汽轮机冷态开机近 20 年摸索, 已经形成了一套严格的规范操作程序, 特别近 10 年内的历次操作中已相当有效。

5.4 及时调整汽轮机真空度

当汽轮机真空太高情况时可停运真空泵降低真空度, 可以根据凝汽器排汽温度确定真空泵停运时间。经过近几年实践摸索, 特别是机组低负荷 $30\sim 50\text{ MW}$ 时, 当汽轮机排汽温度较低时, 可以采取停运真空泵的办法, 提高凝汽器背压, 但是当排汽温度升至 60°C , 必须立即投运真空泵提高真空, 达到抑制汽轮机低压缸胀差快速攀升, 如此循环使用, 该方法在实践中有效。

5.5 轴封供汽使用适当

控制轴封母管温度在 $110\sim 120^{\circ}\text{C}$ 之间。当轴封温度异常时, 及时联系热控检修来人处理, 使轴封母管温度控制在有效范围内; 特别在汽轮机热态启动时投用高温轴封汽是必要的, 轴封供汽要和汽缸温度匹配, 且必须充分暖管, 这对防止转子轴封段受热冲击和阻止高中压负胀差的增大都是有利的。

5.6 对法国 330 MW 汽轮机胀差标准适当修改

通过对法国 330 MW 汽轮机至 1990 年投产运行后发现,汽轮机胀差控制标准是可以适当将胀差报警值减小,胀差跳闸值不变,以达到对汽轮机胀差的有效可控、在控范围。

6 结 论

四川江油发电厂的法国 330 MW 机组运行 20 年以来,汽轮机胀差异常曾多次出现,概括其原因主要是在机组启动过程中经常出现,特别在机组冷态启动时容易出现,因法国 330 MW 汽轮机采用中低缸启动方式,当开机过程中主蒸汽、再热蒸汽温度控制不好,在汽轮机冲转或者低负荷运行时间较短等情况(无论是设备异常或运行人员操作)造成汽轮机暖机时间不充分时,以及轴封供汽参数高,使转子在轴向方向的膨胀程度比汽缸的膨胀程度大,都将造成汽轮机

胀差异常增大,特别是汽轮机低缸胀差异常增大,造成汽轮机停机事故;因胀差值异常停机后(非测量原因)只有采取停机冷却降低胀差的措施,严重影响汽轮发电机组运行经济性;针对汽轮机胀差异常变化,应高度重视,认真分析引起胀差异常变化的原因,一个一个的排查,采取有效措施控制。当在机组启动、停机和运行过程中,要对设备系统及机组的运行参数进行认真的检查、监视和控制,特别是开机过程汽轮机和锅炉之间参数要协调配合一致,当机组初负荷运行时,采用逐步地、小幅度地提高主汽、再热蒸汽温度和缓慢增加机组负荷等办法来提高汽轮机缸温水平,只有当汽轮机缸温提高到 200℃ 以上(主要是中缸外缸下部 1/2 处金属温度)时,机组加负荷时汽轮机胀差变化才稳定可以控制。当单元机组的各项参数指标控制在合格范围内时,才能确保汽轮发电机组运行的可靠性、安全性、经济性,达到延长汽轮机的使用寿命的目的。

(收稿日期: 2010-02-10)

(上接第 45 页)

计算出的载流量值与 IEC 60287 标准法计算值的误差在 5% 以内,且变化趋势一致。因此,本模型具有较高的准确性和可靠性。

对于含有外部热源的电缆区域,IEC 60287 标准法没有给出相关计算公式,无法对该类情况进行分析。因此,与基于 IEC 60287 标准的电缆温度场计算法相比,当模型参数发生变化时,本模型可方便地通过修改相关参数得到与实际条件相对应的仿真结果,具有较强的实用性。

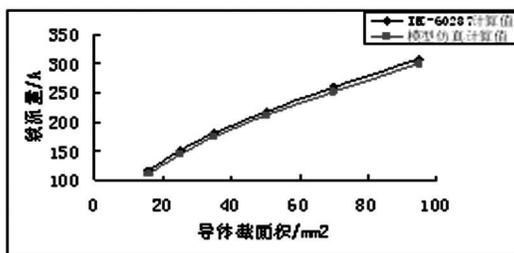


图 4 不同导体截面两种方法对比分析

5 结 论

基于电缆沟敷设方式下电力电缆的广泛应用,根据传热学的基本原理,利用二分法,建立了基于有限元法的电缆载温度场计算模型。实例表明,该方法能够根据实际情况对模型参数进行修改,具有计算精度高、建模简单方便的优点,对优化电缆沟电缆敷设方

案具有较高的理论指导意义。

参考文献

- [1] 赵中原, 吕征宇, 段乃欣, 等. 交联聚乙烯电缆局部放电在线监测系统研制 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(5): 59-62.
- [2] DOWNES J LEUNG H Y. Distributed Temperature Sensing Worldwide Power Circuit Monitoring Application [C]. 2004 International Conference on Power System Technology POWERCON, Singapore 2004, 1804-1809.
- [3] LI H. J. Estimation of Thermal Parameters and Prediction of Temperature Rise in Crane Power Cables [C]. // IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, May 2004, 151(3): 335-360.
- [4] 赵建华, 袁宏水, 范维澄, 等. 基于表面温度场的电缆线芯温度在线诊断研究 [J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(11): 52-54.
- [5] 刘英, 曹晓珑. 电力电缆在线测温及载流量监测的研究进展与应用 [J]. 输配电技术, 2007, 4(11): 11-14.
- [6] 陶文铨. 数值传热学 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
- [7] 孔祥谦. 有限单元法在传热学中的应用 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1998.
- [8] 孟凡凤, 李香龙, 徐燕飞, 等. 地下直埋电缆温度场和载流量的数值计算 [J]. 绝缘材料, 2006, 39(4): 59-61.

(收稿日期: 20010-05-10)