

俄制 220 MW 汽轮发电机组低压转子 振动分析及治理

郝向中

(华北电力科学研究院有限责任公司, 北京 100045)

摘要:为了解决某电厂 4 号机组低压转子振动长期处于报警值的状况, 首先对小修停机过程中轴系振动进行监测、分析, 进而制定了在低压转子加重的动平衡方案; 小修后启机, 针对轴系振动出现的变化, 经过分析判断, 确认是轴系中心调整所致, 并制定了在低压对轮加重的方案; 最后将低压转子振动降至优秀的水平。处理结果表明, 通过合理的轴系平衡可以以最少的启机次数解决低压转子振动超标的故障, 为类似机组振动处理提供了参考。

关键词:汽轮发电机组; 低压转子; 平衡; 对中

中图分类号: TH69; TK263

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)07-0089-05

Vibration analysis and disposal of LP rotor of 220 MW steam turbine unit made in russia

HAO Xiang-zhong

(North China Electric Power Research Institute Co. Ltd., Beijing 100045, China)

Abstract: The vibration of low pressure (LP) rotor of No. 4 unit was often up to alarm value, in order to solve this problem, during shutdown for minor repair, the shafting vibration was monitored and analyzed. In addition, the dynamic balancing solution of LP rotor was made. After repair, aiming at the changing of the shafting vibration during startup, by means of accurate judgment and analysis, the reason was confirmed; the shafting alignment resulted in this change. Based on it, counterweight was connected to the coupling between LP rotor and generator rotor. Finally, the vibration level of LP rotor became excellent. The processing result shows that the vibration fault of the LP rotor can be solved through reasonable shafting balance with minimum start-up times, which can be as reference when resolving vibration problems of relative units.

Key words: steam turbine unit; low pressure (LP) rotor; balance; alignment

0 引言

根据国内外相关资料介绍^[1-7], 大约 75% 的旋转机械振动属于普通强迫振动, 即振动频率与转速一致的工频振动; 这其中绝大多数都由轴系不平衡或不对中引起或与之相关。因此在火电厂实践中经常把不平衡及不对中故障列为汽轮发电机组轴系振动故障诊断及处理的首要因素。

轴系不平衡或不对中, 其旋转激振力方向以与转

子旋转角速度相等的角速度改变, 其大小随转速增加而明显升高, 振动相位稳定, 因此可以在旋转激振力反方向附加配重的方法即动平衡法消除这类振动。

汽轮发电机组的高速动平衡, 就其基本方法讲, 已是成熟、定型的, 但目前现场实践中针对一台具体机组的动平衡加重过程, 却既可能简单, 也可能复杂, 它常因动平衡人员不同会有不同的加重次数和不同的最终效果。造成这种差别的主要原因往往在于平衡人员是否熟悉平衡过程中的一些策略思路及关键技术和技

收稿日期: 2010-02-10

作者简介: 郝向中 (1973-), 男, 山西朔州人, 工学硕士, 高级工程师, 主要从事汽轮发电机组及其他旋转机械振动测试、诊断及现场处理工作。E-mail: xzhhao4@163.com

巧。因此,研究大型汽轮发电机组轴系不平衡、不对中故障的振动特征、振动诊断(特别是动平衡处理方法)就有较大的实用价值。

笔者通过对某电厂一台俄制 220 MW 汽轮发电机组低压转子振动故障的研究,获得了转子不平衡、不对中故障的分析、诊断方法,以及现场实际中处理此类故障的有效措施,对其他类似机组的振动处理具有借鉴意义。

1 振动概况

某电厂 4 号机组为俄罗斯生产的一次中间再热、单轴、三缸双排汽、凝汽供热式汽轮机组。轴系结构如图 1 所示。

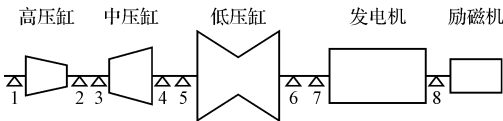


图 1 俄制 220 MW 汽轮发电机组轴系结构示意图

汽轮发电机组轴系共有 8 个支撑轴承。1 号、2 号

轴承支撑汽轮机高压转子;3 号、4 号轴承支撑汽轮机中压转子;5 号、6 号轴承支撑汽轮机低压转子;7 号、8 号轴承为发电机转子的两个端盖轴承。

该机组于 2007 年 10 月进行大修,大修后运行一年多来低压转子振动一直不稳定,突出表现在 6 瓦上,轴振最大超过 120 μm ,瓦振最大达到报警值45 μm 。2009 年 3 月利用小修机会研究人员对该机组进行了动平衡处理,处理后 6 瓦振动达到优良,问题得到圆满解决。

2 机组修前振动数据及小修工作情况

2.1 修前振动情况及分析

2009 年 3 月对该机组的停机过程进行了振动监测,包括从满负荷到空负荷滑停整个过程。低压转子、发电机转子 5~8 瓦的振动情况如表 1 所示。各瓦振动频谱图如图 2~图 6 所示(以空负荷时振动为例)。停机降速过程中 5、6 瓦轴振、瓦振波德图如图 7~图 10 所示。

表 1 修前振动情况 通频幅值/工频幅值/工频相位(单位: $\mu\text{m}/\mu\text{m}/^\circ$)

测点	空负荷	50 MW	100 MW	150 MW	220 MW
5X 轴振	67/35/35	65/35/27	61/30/14	54/18/4	54/19/358
5Y 轴振	45/10/308	38/7/342	38/12/352	43/17/340	42/18/343
6X 轴振	124/119/219	128/122/218	125/118/217	112/106/216	112/105/215
6Y 轴振	84/76/319	86/78/319	85/75/318	78/69/317	78/67/315
7X 轴振	80/54/271	83/55/270	84/55/267	82/54/267	82/53/267
7Y 轴振	45/26/11	47/27/13	46/28/10	44/27/10	44/26/9
8X 轴振	62/54/0	66/57/359	72/63/354	71/61/353	70/60/352
8Y 轴振	113/88/231	118/93/230	123/101/226	119/97/224	118/96/224
5 瓦振	20/13/209	22/14/214	20/12/207	17/9/204	15/7/194
6 瓦振	48/40/50	49/41/52	46/37/49	37/31/51	34/28/50
7 瓦振	19/15/174	20/18/176	21/18/181	20/17/183	20/16/181
8 瓦振	14/6/59	15/5/64	13/5/73	14/6/76	12/5/7

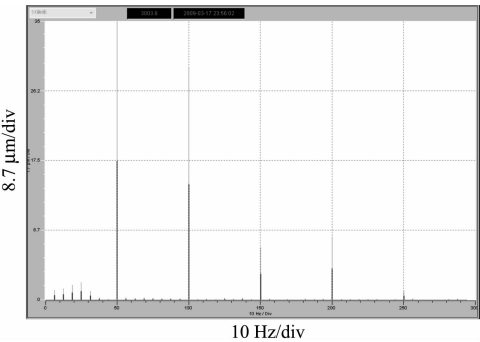


图 2 5X 轴振频谱图

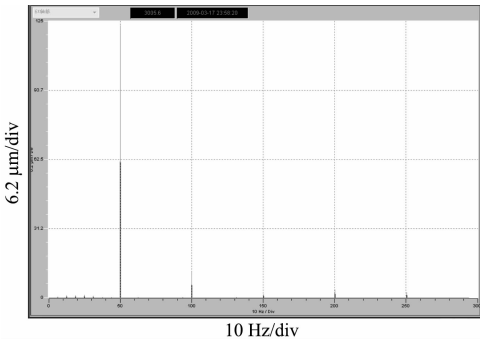


图 3 6X 轴振频谱图

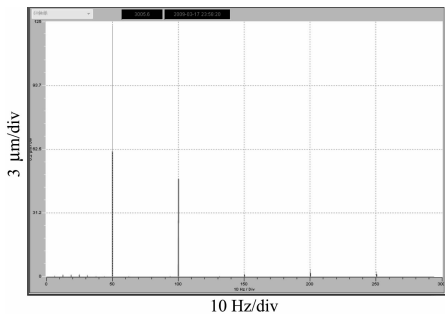


图 4 7X 轴振频谱图

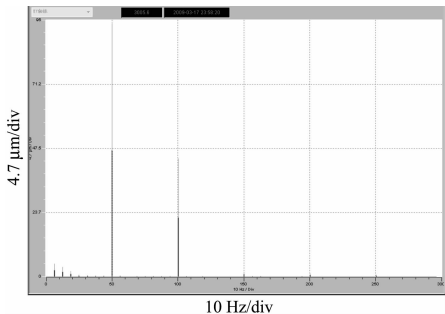


图 5 8Y 轴振频谱图

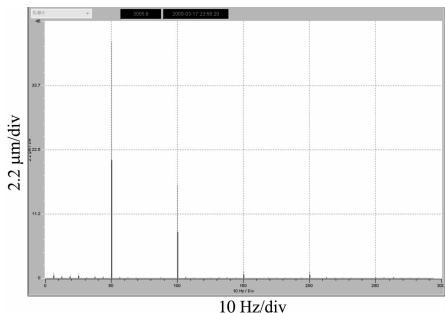


图 6 6 瓦振频谱图

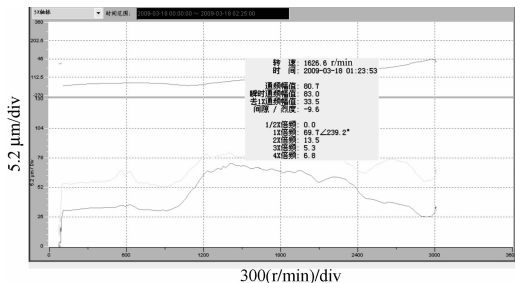


图 7 5X 轴振停机波德图

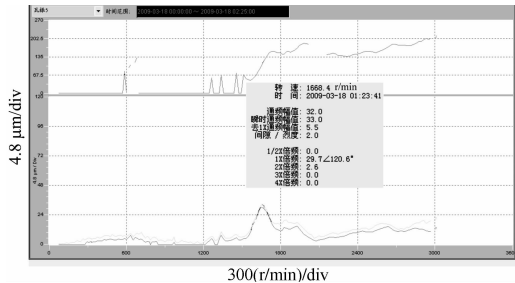


图 8 5 瓦瓦振停机波德图

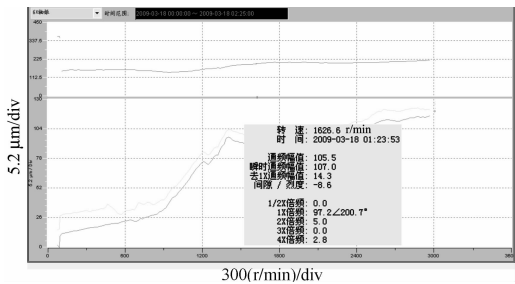


图 9 6X 轴振停机波德图

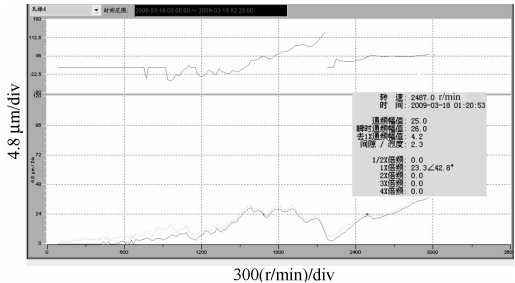


图 10 6 瓦瓦振停机波德图

通过分析以上带负荷数据及停机降速过程数据,表明有下列问题:

(1) 在全负荷过程中 5 瓦轴振很小(除工频外有一定其它频率成分),6~8 瓦轴振均以工频成分为主,6 瓦、8 瓦轴振偏大;6 瓦瓦振偏大,以工频成分为主,5、7、8 瓦瓦振不大。

(2) 6 瓦轴振、瓦振随负荷有一定的变化,但幅值、相位总体来说还比较稳定。

(3) 5~8 瓦停机过临界转速振动均正常。6 瓦瓦振从 3 000 r/min 到 2 200 r/min 趋势上看一直在下降,特别是在接近 2 200 r/min 时振动下降更为明显;而 6 瓦轴振在接近临界转速 1 620 r/min 时虽然有一定的下降,但变化不太明显;5 瓦轴振、瓦振从 3 000 r/min 下降到临界转速时均有一定的增加;5、6 瓦振动相位在 3 000 r/min 时接近反相,在接近临界转速时相位逐渐逼近。

(4) 6 瓦瓦振在 2 500 r/min 处出现一个峰值。

上述(1)~(3)是典型的质量不平衡特征;同时由问题(1)可知,6 瓦、8 瓦轴振数值相当,但瓦振却相差很大,说明 6 瓦动刚度可能偏弱;(4)似乎象征 6 瓦存在共振,但其波特图上对应振幅峰值前后的相位变化不大,而且这个峰较宽,如果用共振放大因子计算, Q 值较小。这说明工作转速下 6 瓦振动高的主要原因还是由于存在质量不平衡,可以考虑采用动平衡的手段来解决^[8-11]。

2.2 小修工作情况

基于以上考虑,本研究决定对低压转子进行动平

衡处理;通过对轴系振动数据的分析、计算,停机后在低压转子两端加反向平衡质量 300 g。关于 8 瓦轴振偏大的问题,由于发电机存在短路故障,需要抽转子进行检查,故暂不考虑平衡手段,视具体情况再定。抽发电机转子后,拔励侧(即 8 瓦侧)护环进行检查,处理短路故障部位后护环回装;穿发电机转子后,复测低发转子中心,发现低发对轮有 0.11 mm 的下张口,现场按标准进行了调整,并控制在 0.03 mm 以内。

3 小修后机组振动分析及处理情况

3.1 小修后首次启动及振动分析

机组小修后 4 月 8 日首次启动。冲转过程顺利,但定速时,5、6、7 瓦轴振均超过 100 μm ,6 瓦瓦振达到 40 μm ,与小修前比较无明显好转,5~8 瓦振动数据如表 2 所示。定速运行半小时后轴系振动比较稳定,鉴于 6 瓦振动仍然偏大,故停机进行进一步处理。

从表 2 及启动升速过程数据可以得到如下信息:
(1) 与小修前比较,5 瓦、7 瓦轴振明显增加,6 瓦轴振变化不大,8 瓦轴振显著降低;5~8 瓦轴振仍以工频成分为主,与修前比较相位均有变化;6 瓦瓦振仍偏大。

(2) 从升速波特图来看,与停机时的状况基本一致。但与修前不同的是,5、6 瓦振动自临界转速以后相位虽有分开迹象,但 3 000 r/min 时仍以同相为主。反观 6、7 瓦轴振,在接近工作转速时相位却逐渐逼近,3 000 r/min 时相位完全相同。

以上两点表明轴系振动仍然是质量不平衡的特征,考虑到此次机组小修所进行的工作,造成轴系 5~7 瓦振动变化的原因只可能是两方面:低压转子动平衡加重和低发对轮中心调整。先看低压转子动平衡,从加重方式来分析,应该主要影响 5、6 瓦振动,不太可能对转子跨外的 7、8 瓦产生如此大的影响;而且因为加重方式是反对称形式,应该主要影响 5、6 瓦的反相分量;但从加重后的结果来看,5、6 瓦的相位从修前的完全反相变化为接近同相,计算表明反相分量显著减小,这应该是加重所产生的效果,同时同相分量却增加 43 μm ,这与低压转子加重关系不大,应该是其他方面的原因所引起,即可能是低发中心的问题。而分析低发对轮两侧的 6、7 瓦振动,在接近工作转速时工频振动增加、相位逐渐逼近,这是轴系角度不对中的典型特征;这个特征与修前比较明显不同,也验证了轴系振动变化的原因是低发中心的问题。由此可以断定,此次小修低发中心下张口调整量太大(未考虑机组当时状

况,与完全冷态不同,调整中心存在偏差),对对轮两侧的 5、6、7 瓦产生了比较大的影响。至于 8 瓦轴振降低,可能的原因是重新安装了励侧护环后校正了原始存在的不平衡量。

振动原因分析清楚后,对出现的问题进行了处理。从理论上讲,对中问题引起的振动,可以通过重新找中心解决。但是轴系中心的调整只能在检修期间进行,从减少停机时间的角度出发,应尽可能用平衡的手段改善振动。通过向现场了解,确认该机组可以在低发对轮进行动平衡加重。经过对修后轴系振动数据的分析、计算,动平衡方案确定为在低发对轮加重 800 g。

表 2 小修后振动情况

处理情况	低压转子加重及调整低发中心		低发对轮加重 800 g	
工况	空负荷		空负荷	220 MW
测点	通频/ μm	工频幅值及相位/($\mu\text{m}/^\circ$)	通频/ μm	通频/ μm
5X 轴振	125	102/188	59	70
5Y 轴振	87	65/290	59	65
6X 轴振	114	106/258	69	69
6Y 轴振	72	66/353	55	51
7X 轴振	115	96/258	73	74
7Y 轴振	48	34/358	44	42
8X 轴振	41	17/13	53	64
8Y 轴振	56	17/90	74	81
5 瓦振	16	9/44	13	17
6 瓦振	40	35/107	28	29
7 瓦振	20	17/124	12	6
8 瓦振	14	5/264	11	16

3.2 小修后第二次启动及振动情况

在低发对轮加重后,4 月 10 日启动。定速时,5、6、7 瓦轴振均在 80 μm 以内,6 瓦瓦振在 30 μm 以内,振动达到优良。表明此次加重效果显著,对轴系振动的原因判断准确,处理方法得当。并网带负荷后轴系振动基本维持不变。数据如表 2 所示。

4 结束语

该机组大修后 6 瓦振动偏大的原因在于低压转子存在一定的残余不平衡量和支承刚度偏弱。小修时低压转子的动平衡加重有一定的效果,但低压一发电机转子中心调整量过大抵消了这个影响。最终通过在低发对轮加重,效果显著,圆满解决了困扰电厂一年多的振动问题。

需要指出的是,上述的动平衡加重方案不是惟一的。如果小修后继续在低压转子两端加重,也可能同样能使得 6 瓦振动有所降低,但根据预测,效果将不如上述方案;特别是 7 瓦轴振不会显著降低。因此对数
(下转第 126 页)

4 结束语

如何实现异构 PDM 系统间的信息集成,一直是企业需要解决的问题。STEP/PDMschema 中的产品信息模型,为解决不同 PDM 系统间的信息集成提供了重要的技术基础。本研究主要讨论了 STEP/PDMschema 中以产品信息模型为载体的信息组织模式,分析了建立产品信息模型的方法,并在产品结构信息模型基础上针对企业具体产品对象模型的建立进行了实践。实例应用结果表明,该产品信息模型能解决不同 PDM 系统的信息集成问题。

参考文献 (References):

- [1] 李永胜,王 杰,蒋玉明,等. 基于 STEP 的 CAx 信息管理与系统集成研究[J]. 成组技术与生产现代化,2002,19(3):37-39.

(上接第 92 页)

据的全面分析进而正确制定加重方案是其关键。加重方案的确定必须考虑多种因素,在比较各个方案的基础上,确定一个最佳者,才能收到最好的效果。

本研究结果表明,对诊断为轴系不平衡或不对中的机组,可以进行动平衡处理;动平衡时,对不平衡质量轴向位置的判断、加重位置的确定是关键,在此基础上,形成一个合理的轴系平衡方案后,就可以以最少的启机次数解决转子振动超标的故障;本研究中对轴系振动的分析、诊断方法及动平衡处理等,为类似机组进行振动处理提供了参考。

参考文献 (References):

- [1] 寇胜利. 汽轮发电机组的振动及现场平衡[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [2] 陆颂元. 汽轮发电机组振动[M]. 北京:中国电力出版社,2003.
- [3] 顾 晃. 汽轮发电机组的振动与平衡[M]. 北京:中国电力出版社,2003.
- [4] 施维新. 汽轮发电机组振动及事故[M]. 北京:中国电力

- [2] 李善平,刘乃若,郭 鸣,等. 产品数据标准与 PDM[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [3] ISO 10303 - 44, Industrial Systems and Integration—Product Data Representation and Exchange—Part 44: Integrated Generic Resource; Product Structure Configuration[S]. ISO,1994.
- [4] 龚 雄,陈力平,周军龙. PDM 与 CAD 集成中的若干问题及解决方案[J]. 计算机辅助工程,2002(1):48-55.
- [5] 杨百龙. 基于 Web 的产品数据共享及可视化技术研究[D]. 西安:西北工业大学机电学院,2001.
- [6] 万苏文. 基于 STEP 的 CAX 集成系统的开发研究[J]. 重庆工学院学报,2005(3):28-31.
- [7] 谢鹏寿,康永平. 基于 STEP 的三维 CAD 和 PDM 系统集成方法研究[J]. 计算机工程与设计,2007(3):671-673.
- [8] [作者不详]. STEP PDM Schema[EB/OL]. [日期不详]. http://www.steptools.com/support/stdev_docs/express/pdm/index.html. [编辑:张 翔]

出版社,2001.

- [5] WILCOX E. Troubleshooting Turbomachinery using Startup and Coastdown Vibration Data[C]//Proceedings of the 31st Turbomachinery Symposium. College Station: [s. n.], 2002:91-104.
- [6] MAURICE L A. Rotating Machinery Vibration From Analysis to Troubleshooting[M]. New York: Marcel Dekker, Inc.,2000.
- [7] GENTA G. Vibration of Structures and Machinery: Practical Aspects[M]. New York: Springer-Verlag, Inc.,1995.
- [8] 寇胜利. 关于大型汽轮发电机组低压转子的振动问题[J]. 热力发电,1993(3):13-16.
- [9] 王仕龙,黄葆华. 320 MW 机组的振动分析与解决[J]. 华北电力技术,2005(11):51-54.
- [10] 曾治邦,商晓丹. 东方 D29 型汽轮机振动原因分析[J]. 热力发电,1998(2):23-29.
- [11] 郭平英,张富屏. 330MW 汽轮机低压缸结构振动分析及处理[J]. 西北电力技术,1997(6):11-13.

[编辑:李 辉]