

富余煤气利用发电工程60MW汽轮发电机组振动测试分析及轴系动平衡报告——首钢水城钢铁（集团）有限公司

周宏伟

（武汉都市环保工程技术股份有限公司，武汉 43000）

摘要：受武汉都市环保工程技术股份有限公司的委托，分别于2012年6月10日-15日和7月26日-8月3日对首钢水城钢铁（集团）有限公司富余煤气利用发电工程60MW汽轮发电机组的振动故障进行了测试分析，采取对发电机转子和汽轮机转子进行现场动平衡等措施后，机组的振动达到了优良的水平。

关键词：发电机组；振动测试；平衡报告

中图分类号：TM311

文献标识码：A

文章编号：1674-7712 (2013) 12-0010-02

一、设备概况

该机组主机为中国长江电力（集团）生产的N60-8.83/53 5型凝汽式汽轮机，功率60MW，进汽压力为8.83MPa(a)、温度535℃，排汽压力0.0049MPa(a)。发电机型号QF-65-2，功率65MW，额定电压10.5KV，额定电流4468A。

二、机组振动概况

该机组投产运行以来，振动状况逐渐恶化，经过几次消缺，依然没有彻底消除，经过振动测试发现振动存在的问题主要有两个：一是发电机3瓦垂直振动偏大，达35μm左右；二是汽轮机2瓦垂直振动亦偏大（45μm左右）。此外1瓦发生乌金磨损，3瓦发生断裂，对机组的安全运行造成了较大威胁，以至发展到无法正常运行。

三、测量仪表及测点

（一）振动测量仪表

该机组原安装一套江阴仪表厂生产的振动在线监测系统，对各瓦振动进行监测。本次测试中，为了全面分析机组的振动问题，在现场又临时装设了一套美国NATIONALINSTRUMENTS振动数据采集分析系统。在机组1~4瓦的垂直方向临时装设速度传感器，以对轴承座振动信息进行连续跟踪采集；轴承座水平和轴向的振动则采取间断测量的方式。

（二）振动测量位置

机组轴系支撑和轴承编号如图1所示，2号和3号轴承位于同一轴承箱内，轴承箱与汽机后汽缸相连。在机组1~4瓦的垂直方向安装振动速度传感器，对机组轴承座的振动进行实时连续测量；另用便携式测振仪对轴承座其它方向的振动进行巡测。

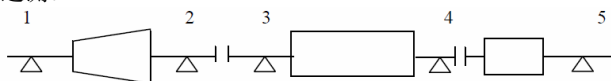


图1 机组轴系示意图

四、试验内容

（一）测量机组在启动过程中各轴承垂直振动的波特图，以实测机组轴系的临界转速、振动。

（二）测量机组在工作转速下和带负荷时各轴承座垂直、水平和轴向的振动，并进行频谱分析，为诊断机组的振动性质和振动原因提供依据。

（三）根据测试结果，确定是否需要专门的试验如负荷试验、励磁电流试验、真空试验和轴承的外特性试验等。

（四）根据对原始振动测量和分析的结果，分析诊断机组异常振动的主要原因，制定改善或消除机组振动的具体措施，并逐步予以实施。

（五）如有必要，在现场进行转子高速动平衡试验，试验

的方案和要求另定。

五、振动原因分析及处理

（一）3000rpm及带负荷振动原因分析

由机组启动过程的测试数据知，在2500rpm之前轴系各瓦振动良好，到达3000rpm时，发电机3瓦垂直振动和汽轮机2瓦垂直振动均已超过30μm的良好标准，发电机3瓦轴向振动达110μm。并网带负荷后，振动变化不大，汽轮机2瓦垂直振动略有减小。频谱分析表明，3000rpm振动的主要分量为工频，两倍频等其它振动分量较小，说明机组振动的性质属于普通强迫振动。对于普通强迫振动来说，引起振动增大的原因不外乎两个方面的因素：一是转子上不平衡激振力较大，二是转子支撑刚度差，通常转子上不平衡激振力的增大是主要因素。通过测试数据分析，认为发电机转子和汽轮机转子上的激振力较大是机组振动大的主因；因此，解决该机组的振动也必须主要从现场轴系动平衡着手。

（二）升速过程中两倍频振动大的原因分析

在汽轮发电机组的振动中，两倍频振动通常由下列原因产生：（1）电磁激振：磁力不对中，匝间短路等；（2）动静摩擦；（3）联轴器不对中；（4）轴刚度不对称；（5）转子裂纹；（6）结构共振。根据该机组的情况，首先可排除电磁激振，因为振动发生在升降速过程中；动静摩擦和联轴器不对中也基本可以排除，因为动静摩擦所产生的倍频谐波分量通常应该是瞬态的、不稳定的。联轴器不对中产生的两倍频，在消除或调整了联轴器的对中之后，应该随之有所变化。发电机轴承发生结构共振的可能性亦不大，因为发电机两轴瓦同时发生共振的几率应该很小。轴刚度不对称和转子裂纹在升降速过程中的振动特征完全相同，倍频峰值应该出现在转子临界转速一半的地方，如图五所示，600~700rpm间的峰值对应发电机的第一临界转速，2000~2100rpm对应发电机的第二临界转速。但轴刚度不对称产生的两倍频振幅、相位不会随时间变化，而裂纹转子随裂纹的缓慢发展所产生的两倍频振幅、相位可能会随时间而变化。

综上所述，发电机升降速过程中出现的两倍频振动的原因，不能排除轴刚度不对称和转子裂纹。建议机组升降速过程中，加强对振动的监测，尤其是对两倍频振动分量变化的跟踪。

六、缺陷处理及动平衡过程

（一）对于发电机，根据对测量数据的分析结果，估算的试加重量数值如下： $P_3=320g/340^\circ$ ， $P_4=320g/160^\circ$ 。再次启动后，机组振动比原来有较大改善。

（二）对于汽轮机，根据对测量数据的分析结果，估算的试加重量数值如下： $P_2=682g/35^\circ$ 。

再次启动后，机组振动比原来有较大改善，完成机组2#

撞击子超速试验, 超速时 2#轴承垂直振动 $\leq 40\mu\text{m}/3211\text{rpm}$; 3#轴承垂直振动 $\leq 32\mu\text{m}/3211\text{rpm}$ 。

(三) 完成动平衡后的机组, 当联轴器脱离检修时, 应注意做好联轴器及相应紧固销的标号工作, 检修完成后按标志号对应恢复, 避免转子支撑质心的再次调整。

根据计算结果, 在保持发电机和汽轮机原加重不变的情况下, 在汽轮机 2 瓦侧平衡槽再加重 $1.1\text{Kg}/108^\circ$, 机组振动尤其是 2 瓦振动可进一步改善。

七、试验结果

表 1 机组的实测临界转速 (r/min) 及振动值 (μm)

序号	1 瓦垂直	2 瓦垂直	3 瓦垂直	4 瓦垂直
升速	15/15/70 (1683)	32/22/227 (1952)	35/32/38 (1460)	18/16/9 (1438)
降速	18/17/179 (1579)	50/47/195 (1600)	22/17/153 (1419)	6/5/106 (1396)
发电机加重后升速	44/43/98 (1602)	81/81/100 (1622)	35/33/37 (1448)	16/16/360 (1427)
汽轮机加重后升速	22/20/108 (1634)	38/36/95 (1610)	33/32/62 (1447)	14/14/33 (1425)

表 2 3000rpm 及带负荷振动数据单位 (μm)

工况	方向	2 瓦	3 瓦	4 瓦
升速 3000rpm	垂直	45/43/253	35/33/227	13/11/50
	水平	27/20/125	11/3/279	27/11/166
	轴向	9/4/138	32/28/79	67/65/71
降速 3000rpm	垂直	7/7/109	40/38/254	35/33/229
	水平	17/15/104	52/51/259	27/25/287
	轴向	21/18/117	25/19/250	34/22/250
发电机加重后 (P3=320g/340° ; P4=320g/160°) 升速 3000rpm	垂直	11/8/130	35/34/77	22/11/270
	水平	13/12/95	45/44/255	28/27/287
	轴向	25/21/107	24/19/286	1 瓦
发电机加重后降速 3000rpm	垂直	20/16/43	27/23/190	13/11/112
	水平	10/7/144	34/32/275	22/21/289
	轴向	12/10/155	37/36/279	19/18/304
汽轮机加重后 (P2=682g/35°) /3000rpm	垂直	11/8/146	37/35/280	19/17/303
	水平	26/19/147	12/6/210	22/11/267
	轴向	18/13/193	22/26/103	42/36/128
超速后 3000rpm	垂直	11/8/176	33/32/297	14/13/292
	水平	11/8/146	37/35/280	19/17/303
	轴向	26/19/147	12/6/210	22/11/267
并网	垂直	18/13/193	22/26/103	42/36/128
	水平	11/8/176	33/32/297	14/13/292
	轴向	11/8/176	33/32/297	14/13/292
带负荷	垂直	11/8/176	33/32/297	14/13/292

八、结论

机组在空负荷 3000rpm 和带负荷时, 轴系 5 个轴承的振动均小于 $30\mu\text{m}$, 且振动主要是工频。根据《电力工业技术管理法规》中规定的汽轮发电机组轴承振动标准, 该机组的振动属于良好范围, 机组可以长期安全运行。

(上接第 9 页)

电子设计的流程都是自顶向下的顺序, 这样的一种特点就表示它是与硬件完全无关的一种系统设置, 以 FPGA 为基础发展起来的 DSP 系统就是基于这种设计流程的, 在仿真测试上, 利用了 Matlab 提供的 IP 核来完成, 接着的转型是通过 SignalCompiier 来进行的, 将设计的模型转化成了 RTL, 在此基础上进行时序的仿真, 实现硬件 DSP 系统的仿真测验。

以 FPGA 为基础的 DSP 系统, 是结合了 FPGA 的大容量、高速度的优势发展起来的, 并且与电子设计中的自顶向下的结构顺序相适应, 对于现今市场上存在的硬件灵活性、开发效率和知识产权等许多方面存在难以克服的缺点来进行的改进, 很有市场利用价值。

(四) 在电子设计的处理器上运用

在通信领域的电子设计技术运用是十分广泛的, 将 FPGA 和一般的处理器相结合来实现通信是稀松平常的一件事。但是真正地二者相结合还是十分有挑战的, 利用 FPGA 实现高性能的处理器是很有前景的。

如果采用 FPGA 直接来武装电脑, 就会形成超级电脑的概念, 由于 FPGA 拥有独特的嵌入式的微处理器, 所以结合他的可重配置的特性就可以对于现场的具体情况来配置整理文件。从而使得同一硬件电路结构在不同的时间段, 形成不同的等效硬件结构以高效地对付不同的处理任务。例如, 此类超级计算机某一段

时间可以用于预报全球天气状况, 下一时间则能用于根据某一公司的主要利率对冲情况来评估债券市场的风险, 然后又可进入基因组合核对的分析等等。利用 FPGA 发展的电子设计的处理器虽然还研究地不够深入, 但是真正的研究出来的成果是十分符合现今的电子设计市场对于处理器的功能需求的。

四、总结

FPGA 技术, 即现场可编程门阵, 在电子设计领域的运用可以说是十分重要和广泛的。本文就 FPGA 的主要特点进行了简单的描述, 其具有的片上可编程性是很有特色的一个特点, 基于这样的一种设计也可以开发出很好的功能。在电子设计上的运用, 主要体现在器件的革新, 嵌入式的处理器在设计 FPGA 时的运用和电子设计相结合, 还有 DSP 系统的革新, 以及电子设计处理器的运用等, 这些运用足以见得 FPGA 在电子设计领域的重要性。

参考文献:

[1]朱明程.FPGA 原理及应用设计[M].北京:北京电子工业出版社,1994.
[2]刘丽华,辛德禄,李本俊.专用集成电路设计方法[M].北京:北京邮电大学出版社,2000.
[3]SLattice.DataBook2004[M].illsboro:OR97124USA,2004:310-324.
[4]IXilinx.DataBook2004[M].SanJose:CA95124USA,2004:104-107.