

减振与降噪

某型发电机组噪声异常分析

徐洪玲

(安庆中船柴油机有限公司, 安徽 安庆 246003)

摘要: 某发电机组台架试验时发出异常噪声。通过测试与分析该机组振动与噪声及曲轴轴系扭振幅值与频谱特征, 表明: 机组异常噪声的根本原因为轴系扭振过大; 高弹橡胶柱塞的挤压、滑动与摩擦是异常噪声的来源。据此提出了改进建议。

关键词: 发电机组; 轴系; 扭振; 噪声

中图分类号: TK421⁺.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2018)02-0045-04

Research on Abnormal Noise of a Generator Set

Xu Hongling

(Anqing CSSC Diesel Engine Co., Ltd., Anhui Anqing 243006)

Abstract: Abnormal noise occurred during the bench test of a generator set. By test and analysis of the vibration and noise of the genset, as well as the torsional vibration amplitude and spectrum characteristics of the crankshaft shafting, it shows that: the torsional vibration of shafting is the primary cause of abnormal noise, the squeezing, sliding and friction of high elastic rubber plunger are the main sources of abnormal noise. Suggestions are given based on the research results.

Key words: generating set; shafting; torsional vibration; noise

0 引言

在柴油机运行过程中, 不同的零件、不同的部位和不同的工况(转速、负荷、温度)所产生的振动是不同的, 因而发出异响的位置和频率也有所不同^[1-2]。本文所研究的机组在台架试验时出现异常响声, 查看装配记录, 各项间隙及装配数据均满足设计要求, 排除装配原因。通过测试该机组振动、噪声、曲轴轴系扭振幅值及频谱特征并进行分析, 确定机组噪声状态, 最终得出机组异常噪声的原因, 并提出相应的解决方案^[3]。

1 机组基本信息

机组基本信息如表 1 所示。

2 测点分布

(1) 在机组轴系发电机输入端布置光电式转

速传感器, 测量轴系转速;

(2) 在发电机主轴承(靠近柴油机端)布置一加速传感器(垂直方向), 测试轴承振动加速度;

(3) 在发电机风机出口处(靠近柴油机端, 间距 10 mm)布置一传声器, 测试发电机风机噪声;

(4) 在弹性联轴器的端面间距(10 mm)布置一传声器, 测试弹性联轴器噪声;

(5) 在柴油机自由端曲轴端面布置一扭振传感器, 测试发电机组轴系振动。

表 1 发电机组基本信息

机组功率/kW	610
转速/(r·min ⁻¹)	750
发电机轴承形式	双滑
连接方式	柱塞式高弹
安装方式	弹性安装

收稿日期: 2017-07-07; 修回日期: 2017-09-26

作者简介: 徐洪玲(1978-), 女, 主管设计师, 主要研究方向为轮机设计与技术开发, hy-xhll@163.com。

3 试验方法

因噪声与振动有一定的相关性, 所以试验方法为: 测量该机组噪声状态的同时进行跟踪振动测试^[4], 具体方法如下:

(1) 无负荷连续调转速测量: 从柴油机转速 400 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 开始, 在 2 min 左右的时间内, 逐渐均匀地使柴油机转速上升到 820 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$), 以 2 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 为间隔, 进行不同转速下的振动跟踪测试;

(2) 满负荷连续调转速测量: 在柴油机满负荷时, 从转速 680 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 开始, 在 2 min 的时间内, 逐渐均匀地将柴油机转速上升到 790 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$), 以 2 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 为间隔, 进行不同转速下的振动跟踪测试;

(3) 无负荷分档测量: 在机组无负荷下调节柴油机转速, 从 400 ~ 820 ~ 400 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$), 每隔 20 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 为一档, 进行不同转速下的振动噪声测试。

4 轴系扭振测试结果

(1) 根据扭振计算报告, 在正常工作转速范围内, 柴油发电机组轴系扭振测试重点是单节 2.5 阶谐次振动, 表 2 为该柴油发电机组轴系的实测频率与计算频率。

表 2 机组轴系单节 2.5 阶谐次振动的实测频率与计算频率

节点	谐次	共振转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	实测频率/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	计算频率/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	误差
I	2.5	468	1 170	1 176.0	0.51%
I	2.5	464	1 160	1 176.0	1.38%

(2) 扭振的共振应力测试结果

在发电机组轴系带负荷正常运行工况下 (非单缸熄火), 正常转速范围内, 扭振测量为单节 2.5 次振动。发电机组轴系扭振应力及波动扭矩测试的最大推算值及规范许用值见表 3。

发电机组轴系测点的扭转角振幅 ($V = 2.5$) 如图 1 所示。从图中可以看出: 轴系的扭转角振幅最大值出现在 464 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$), 最大达 842 md。

5 机组振动噪声测试结果

机组降速过程振动噪声测试结果见图 2 ~ 图 13。

图中: 第一条曲线 (signal 2) 为电机出风口附近声压; 第二条曲线 (signal 3) 为高弹端面附近声压; 第三条曲线 (signal 4) 为轴系振动加速度; 圆圈内区域对应的转速范围是 600 ~ 410

($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$), 可以听到异常噪声。

表 3 扭振应力测试的最大推算值及规范许用值

谐次	共振转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 及转速率 r	测点 振幅	轴段	测试 结果	许用值
I - 2.5	464 ($r = 0.62$)	0.842	曲轴应力/MPa	5.61	138.6
			发电机轴应力/MPa	27.71	142.5
			联轴器扭矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	28.66	11.60
			发电机轴扭矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	10.62	46.6
			发电机转子振幅/($^{\circ}$)	3.37	3.5
I - 2.5	712 ($r = 0.95$)	0.337	曲轴应力/MPa	2.24	25.2
			发电机轴应力/MPa	11.09	25.9
			联轴器扭矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	11.47	11.60
			发电机轴扭矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	4.25	15.5
			发电机转子振幅/($^{\circ}$)	1.35	3.5

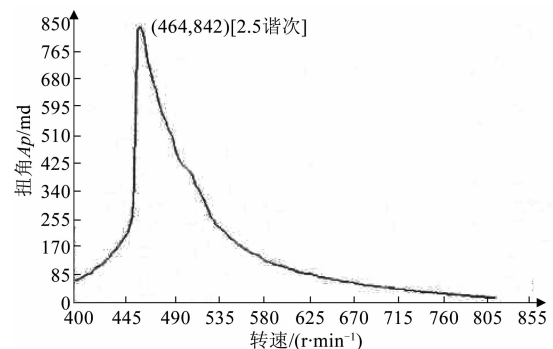


图 1 发电机组轴系测点的扭转角振幅 ($V = 2.5$)

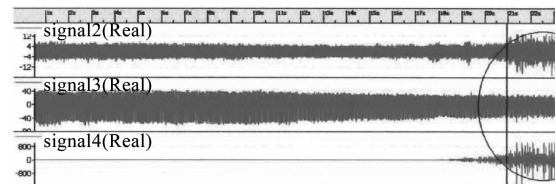


图 2 机组降速过程中振动噪声时域曲线
(810 ~ 440 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$), 无负荷)

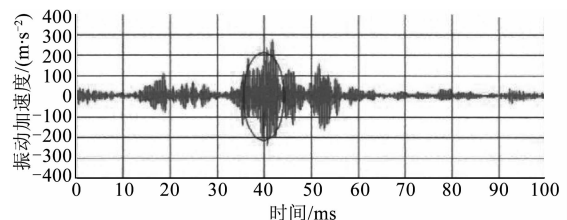


图 3 轴系振动加速度时域曲线 (440 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$),
无负荷, 有异常噪声)

6 试验结果分析

(1) 振动测试结果分析

柴油发电机组轴系实测的第 1 节固有频率与轴系扭振计算频率接近, 误差 $< 2\%$ 。

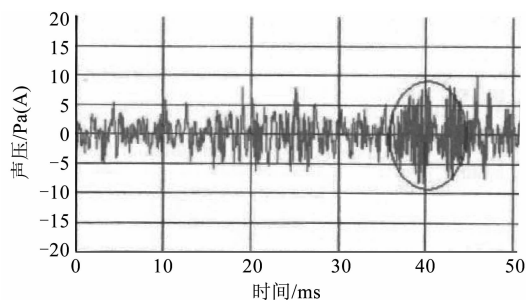


图4 高弹端面附近声压时域曲线 ($440 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$, 无负荷, 有异常噪声)

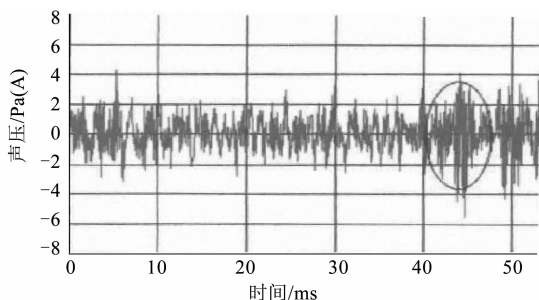


图5 风机出风口附近声压时域曲线 ($440 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$, 无负荷, 有异常噪声)

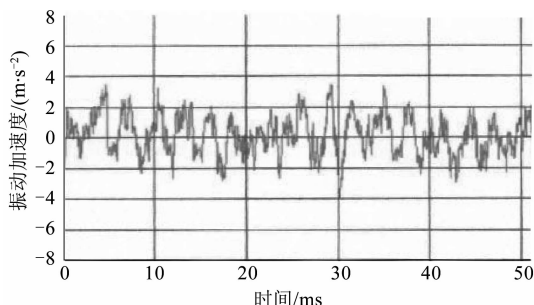


图6 轴系振动加速度时域曲线 ($740 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$, 无负荷, 无异常噪声)

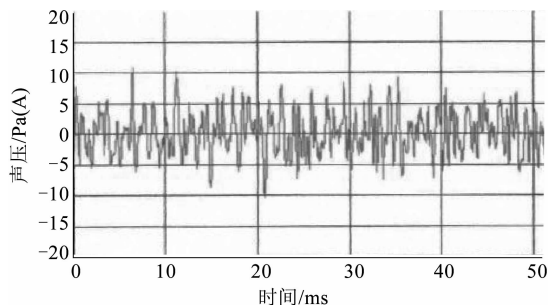


图7 高弹端面声压时域曲线 ($740 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$, 无负荷, 无异常噪声)

机组不带负荷正常运行工况下 (非单缸熄火, $0.5 \leq r \leq 1.1$), 在测试的转速范围内, 轴系对应的各谐次扭振共振应力小于相应许用值, 联轴器波动扭矩远大于许用值, 为许用值的 247%, 不允许长时间运行^[56]。

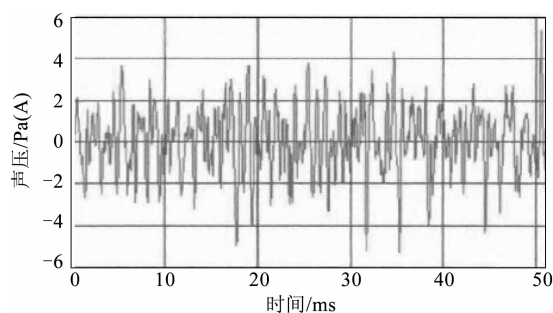


图8 风机出口附近声压时域曲线 ($740 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$, 无负荷, 无异常噪声)

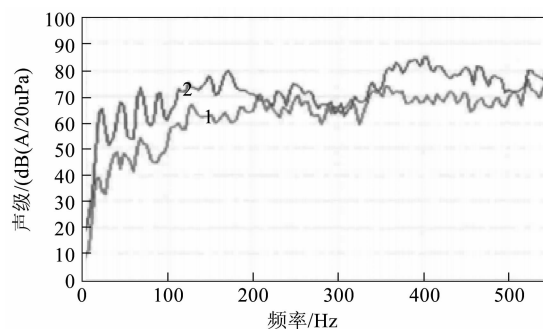


图9 电机出风口附近 (1) 和高弹附近 (2) A 声级线谱 ($440 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$, 无负荷, 有异常噪声)

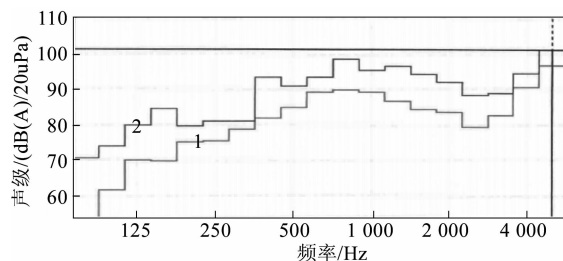


图10 电机出风口附近 (1) 和高弹附近 (2) A 声级线谱 (续图) ($440 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$, 无负荷, 有异常噪声)

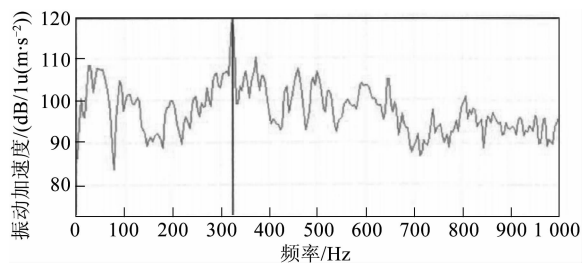


图11 轴系振动加速度线谱 ($740 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$, 无负荷, 无异常噪声)

机组带负荷正常运行工况下 (非单缸熄火, $0.95 \leq r \leq 1.1$), 在测试的转速范围内, 轴系对应的各谐次扭振共振应力和波动扭矩小于相应许用值, 联轴器波动扭矩接近许用值, 基本满足使用要求。轴系的扭转角振幅最大值出现在 $464 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$ 时, 达 842 md。

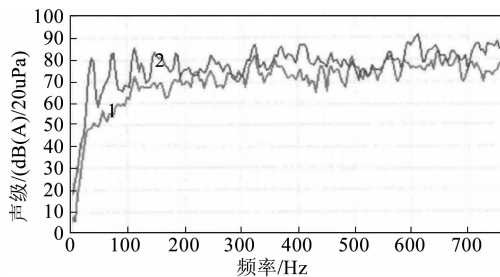


图 12 电机出风口附近 (1) 和高弹附近 (2) A 声级线谱 (740 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$), 无负荷, 无异常噪声)

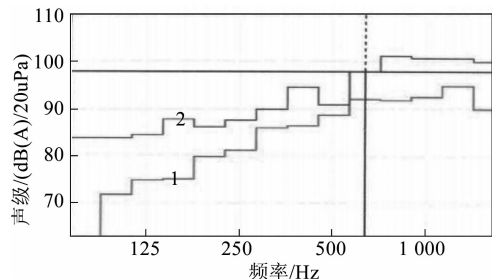


图 13 电机出风口附近 (1) 和高弹附近 (2) A 声级线谱 (续图) (740 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$), 无负荷, 无异常噪声)

(2) 噪声测试结果分析

从机组降速过程振动噪声时域曲线 (图 2) 可以看出: 机组的异常噪声主要出现在 410 ~ 600 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 的转速范围内。在机组出现异常噪声时, 轴系的振动加速度时域曲线中包含了瞬间非稳态信号 (图 3), 该非稳态振动信号幅度大, 最大幅值达到 300 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$), 远大于正常转速下的振幅 (图 6), 上下波动达 500 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$), 且出现的时间间隔不均匀, 其产生的噪声即是异常噪声的来源。

从信号时域曲线 (图 3 ~ 图 5) 看: 瞬间非稳态信号首先出现在曲轴轴系振动上, 比高弹端面附近声压中出现非稳态信号要早 3 ms 左右, 然后在高弹端面附近声压中出现非稳态信号, 而电机出风口附近声压比高弹端面附近的迟 5 ms 左右。

从频谱图 (图 9、10) 看: 在机组出现异常噪声时, 在绝大多数频率下, 高弹端面附近的噪声 A 声级比电机出风口附近的噪声 A 声级要高 5 ~ 10 dB (A)。因此从噪声辐射传播途径上来看, 异常噪声来源于高弹。

发电机组的噪声试验结果表明: 异常噪声的频率成分复杂, 频率范围宽, 来源于振动引起的结构噪声。异常噪声频谱图中没有发现与电机风机叶频相关的特征频率的成分, 可以排除异常噪声与电机风叶数及倾角有关, 即可排除异常噪声是发电机风机的空气动力性噪声。

另从曲轴的振动测试来看: 在 464 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)

时, 曲轴应力仅为许用应力的 4%, 曲轴刚度满足要求, 表明噪声不是由于曲轴本身扭转振动造成。

在轴系扭振测试过程中, 对轴系 2.5 谐次振动进行转速跟踪分析时发现: (1) 轴系扭振振幅较大, 空载时柴油机自由端扭振达到 0.842 md, 峰值出现在 465 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 左右, 波峰较尖; (2) 机组的异常噪声主要出现在 410 ~ 600 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 范围内, 该转速范围正好是轴系振动振幅较大的范围; (3) 机组转速变化时, 机组的异常噪声伴随着轴系扭振幅值的增大而增大, 随着扭振幅值的下降而减弱。因此, 可以明确得出: 异常噪声的来源与轴系扭振有关。在 410 ~ 600 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 下, 轴系扭振过大, 导致轴系运行时转速波动, 引起联轴器中橡胶柱塞与惯性飞轮之间产生相对挤压、滑动与摩擦, 从而导致间隙性非平稳振动, 产生辐射噪声。因此, 轴系扭振过大是异常噪声出现的诱因, 高弹橡胶柱塞的挤压、滑动与摩擦是异常噪声的来源。

7 结论及建议

综上所述表明: 造成本文柴油发电机组异常噪声的根本原因为轴系扭振过大。针对此种情况建议如下:

- 1) 轴系加阻尼器, 改善轴系振动, 大幅度降低轴系振动共振幅值。
- 2) 柴油机与发电机之间采用刚性连接, 排除噪声源, 即使轴系扭振应力偏大, 也不致产生异常噪声。
- 3) 更换联轴器类型, 如片式联轴器, 以消除噪声源。
- 4) 加粗电机轴, 提高轴系刚度, 从而改善轴系的扭振应力。

参考文献

- [1] 赵玫. 机械振动与噪音学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 陈大荣. 船舶柴油机设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.
- [3] 王小哲. 495Q 柴油机的噪声测量与频谱分析 [J]. 机械设计与制造工程, 2002, 31 (03): 69 - 70.
- [4] 倪振华. 振动力学 [M]. 西安交通大学出版社, 1989.
- [5] 胡以怀. 船舶柴油机振动噪声及废气排放 [M]. 大连: 大连海事学院出版社, 2003.
- [6] 王佐民. 噪声与振动测量 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [7] 谢晓阳, 乔新勇, 刘建敏. 柴油机工作不均匀性的振动检测方法 [J]. 噪声与振动控制, 2013 (3): 79 - 83.
- [8] 黄朝明, 于洪亮, 武起立. 柴油机振动信号的四阶盲识别分析研究 [J]. 噪声与振动控制, 2011, 31 (1) 90 - 94.