

文章编号:1005-0523(2000)02-0076-05

# 机车柴油机主轴承烧瓦故障振动诊断的研究

曾 诚<sup>1</sup>, 李玲新<sup>2</sup>, 刘正平<sup>1</sup>, 郭厚昆<sup>1</sup>

(华东交通大学 1. 机械工程学院; 2. 基础课部, 江西南昌 330013)

**摘要:**在对ND<sub>2</sub>机车柴油机滑动主轴承烧瓦故障机理分析的基础上,阐述了柴油机的振动激励源及特征量与烧瓦故障之间的关系,并介绍了柴油机的振动监测与诊断的试验研究,试验结果表明:利用机座外表面的振动特性的变化可以诊断出机车柴油机主轴承的故障状态<sup>19</sup>。

**关键词:**机车柴油机;主轴承;烧瓦;振动

**中图分类号:** TH165.3 **文献标识码:** A

## 0 引言

内燃机车是铁路运输的主要动力设备<sup>19</sup>。据统计:到1998年年底,全路内燃机车共有10 004台,占机车总保有量的72.2%<sup>19</sup>。柴油机因造价高、结构复杂和影响面广而成为机车最关键的部件,是内燃机车的“心脏”;并且由于柴油机是内燃机车的高热负荷、高机械负荷往复复式动力机械部件,因此其故障率高<sup>19</sup>。柴油机一旦发生故障,不仅影响整个机车的正常工作,直接或间接造成巨大的经济损失,有时甚至危及人身安全<sup>19</sup>。柴油机的故障一般占机车总故障的60%左右;另外查找柴油机故障所费的时间约占机车修理停驶时间的50%~80%<sup>19</sup>。ND<sub>2</sub>机车柴油机的主轴承由于承受交变的载荷、轴承系统内相互滑动所产生的大量的摩擦热使主轴承表面的工作温度较高、制造和装配的偏差、残留的金属切屑及运转中产生的磨粒等,容易造成主轴承的润滑油膜破坏或建立不起来,使主轴承常处于边界润滑或混合润滑状态而经常发生烧瓦<sup>19</sup>。据南昌铁路局不完全统计,该局目前共有96台ND<sub>2</sub>机车,仅1998~1999年就发生烧瓦22次,占柴油机总故障的63%,其中,1999年7月21日仅1台机车就发生5处烧瓦,造成曲轴报废,直接经济损失巨大<sup>19</sup>。因此,我校智能诊断研究所和南昌机务段联合开展机车柴油机主轴承烧瓦故障振动诊断的研究,在强调“快速、安全、重载”前提下,具有重要的现实意义和经济价值<sup>19</sup>。

## 1 主轴承烧瓦故障形式及机理分析

机车柴油机主轴承故障形式按照烧瓦故障严重程度的不同大致可分为:擦伤咬伤、穴蚀、过盈量消失、合金层疲劳剥落和烧损<sup>19</sup>。其故障机理如下<sup>19</sup>。

1) 合金层擦伤、咬伤 轴瓦在运行中,若机油压力不足、油隙过小、粘度太低而造成油膜

收稿日期:1999-12-10;修订日期:2000-01-18

作者简介:曾 诚(1971-),男,福建仙游人,华东交通大学讲师,在读硕士研究生<sup>19</sup>。

不易建立,或部分新曲轴颈两端与轴瓦两边缘线圆周接触而发生摩擦,将使轴瓦严重发热,合金层软化甚至熔化,导致轴瓦合金层与轴颈发生粘结或被轴颈在高压下拖动并从出口处溢出<sup>19</sup>。在这过程中,轴颈的切向运动惯性将加重擦伤、咬伤,使大量的热通过瓦背传递至该轴承孔座,使它们也发生粘结<sup>19</sup>。

2) 穴蚀 曲轴旋转使润滑油呈紊流流动,当润滑油在轴承间隙内的流动受到阻碍时就将造成穴蚀<sup>19</sup>。即柴油机在爆发行程时,曲轴由一侧飞快地转向另一侧,形成负压区,产生大量的蒸汽“气泡”<sup>19</sup>。曲轴受高速向心运动惯性作用时,“气泡”受到很高的压力而爆破,其爆破压力冲击轴承合金层表面,使表面产生“凹坑”<sup>19</sup>。在振动频谱中,将不但有能量较大的低频气体压力存在,而且有中、高频的冲击脉冲形成<sup>19</sup>。

3) 过盈量消失 轴瓦安装在轴承孔座时,过盈量使轴瓦在轴承孔座中不松动,不颤振<sup>19</sup>。这样有利于达到刚度和散热,从而提高其承载能力<sup>19</sup>。但过盈量过大时,瓦在安装状态下,瓦口向内勾缩出较大的椭圆形和锥度;过盈量过小时,轴瓦与瓦座贴合不良、散热差,润滑恶化<sup>19</sup>。这2种情况在负载作用下都将引起轴瓦工作表面烧损,甚至引起轴瓦在轴承孔座内转动,影响油路的畅通,严重的造成曲轴断裂<sup>19</sup>。在振动频谱中表现为中、高频频谱能量较大并在某一主要的频率上出现较大谱峰<sup>19</sup>。

4) 合金层疲劳剥落 当曲轴与各主轴颈的跳动量相差过大、曲轴与轴瓦的同轴度差以及装配间隙不符合要求、轴瓦与瓦座贴合不良时,将引起负载集中;离心冲击运动惯性使轴瓦过热而产生疲劳剥落裂纹,导致合金层疲劳剥落<sup>19</sup>。振动频谱中,将有周期性的中频的冲击脉冲存在<sup>19</sup>。

5) 烧损 当轴成鼓形、轴振大、机油压力不足、油道窄而造成油量小、工作间隙小或润滑方法不当时,将引起轴瓦发生混合摩擦或干摩擦,轴瓦工作表面的金属发生流动或金属被烧坏并被挤压出去而造成轴瓦烧损<sup>19</sup>。在振动频谱中,将产生能量较大且较为集中的中、高频频谱<sup>19</sup>。

## 2 柴油机主轴承振动激励源分析

ND<sub>2</sub> 机车柴油机属于中速、重载内燃机,由于受到气体力和惯性力的相互作用,工作条件恶劣<sup>19</sup>。柴油机机座外表面的振动是各种激振力的综合反映,其特征与激振源的性质及结构的传递特性有关<sup>19</sup>。柴油机运动件多且十分复杂,工作时引起振动的激励源很多,但一般来讲主要的激励源有:气体压力、曲轴连杆机构运动产生的周期性激励、其它机构运动产生的激励<sup>19</sup>。

缸内气体压力是主轴承振动的原动力,它与内燃机工作过程及负荷大小有关,是一种与柴油机发火频率相关的低频周期性激励<sup>19</sup>。本人曾对 ND<sub>2</sub>-0185 机车的 2036 柴油机 1-04 测点,通过对两缸之间的轴承座处采用截止频率分别为 200 Hz、500 Hz 低通滤波测取其振动位移信号,并进行频谱分析实验<sup>19</sup>。

结果表明:柴油机缸内气体压力的能量集中在低频部分<sup>19</sup>。其中,50 Hz 以下频段所具有的能量分别占气体总压力能的 97% 及 98%,100 Hz 以下频段分别占气体总压力能的 99.8% 和 100%,其它测点也具有相似的情况<sup>19</sup>。因此,缸内气体压力激励作用在发火频率的 30 次谐波以下的低频部分,气体压力所引起的机体振动主要在低频段<sup>19</sup>。

曲轴连杆机构的周期性激励主要包括运动件的往复惯性力和离心惯性力,它们是伴随各

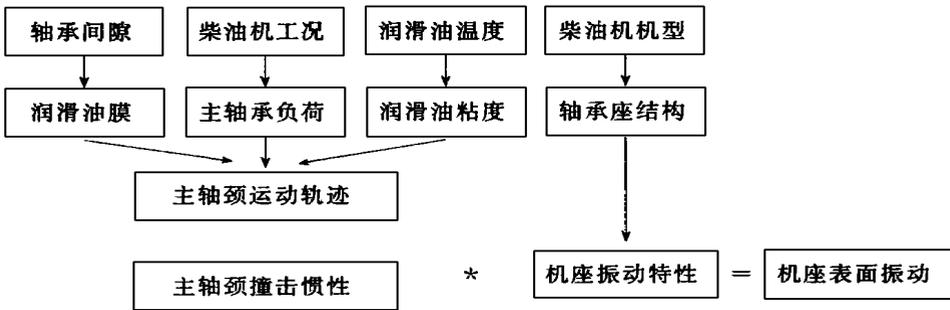


图1 机座表面振动影响因素的内在关系

零件运动而产生的,与内燃机工作过程及负荷大小无关,而仅与转速有关,这些激励主要影响轴承座和机座的振动特征<sup>19</sup>。随着主轴承烧瓦故障的发展,使主轴承与轴颈之间的间隙增大,它们将引起主轴与轴颈之间冲击力增加和轴心轨迹的变化<sup>19</sup>。当主轴承发生严重烧瓦故障时,主轴颈就会以一定的加速度在主轴颈与轴瓦油膜厚度最小处与轴瓦直接撞击,引起轴承座的振动特性发生变化,所以由主轴承烧瓦引起的振动经油膜、轴瓦、轴承座传递到机座,必然引起机座外表面的振动特性发生变化<sup>19</sup>。因此,分析机座外表面的振动特性发生变化就可以进行主轴承的故障状态诊断<sup>19</sup>。

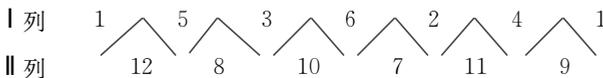
试验表明机座外表面的局部振动主要由主轴颈的垂向运动引起的<sup>19</sup>。另外,润滑油温度影响油的粘度,柴油机工况影响轴承负荷,这两者对主轴颈的运动惯性也有很大的影响<sup>19</sup>。它们的关系如图1所示<sup>19</sup>。

振动监测参数的选择是最关键的<sup>19</sup>。在过去一年多时间内,通过对大量振动信号的对比分析,笔者发现2 000 Hz以下低频加速度振动信号较好地反映主轴承烧瓦及其相关故障,并且垂直振动信号有较强的诊断效果,能反映出气缸压力和运动件的惯性力<sup>19</sup>。ND<sub>2</sub>机车柴油机属于中速内燃机,其运动件的重力由于数值较小,一般可不予以考虑<sup>19</sup>。

### 3 主轴承烧瓦故障振动诊断

#### 3.1 测试和分析

以ND<sub>2</sub>机车柴油机为研究对象<sup>19</sup>。该机为双列直立H型的四冲程增压柴油机<sup>19</sup>。缸数12,缸径280 mm,额定转速750 r/min,最低空载标定转速350 rot/min<sup>19</sup>。额定功率2 100和2 300 hp;轴承内径205 mm,轴承宽度108 mm,轴承间隙0.097~0.196 mm,轴承间距410 mm,正车发车顺序如下所示<sup>19</sup>。



测点选择在2缸之间的轴承座处所对应的机座外表面的平台处,以紧靠自由端的左列I作为基准,测点布置如图2所示<sup>19</sup>。

采集振动信号前,先清除测点处的油污及杂物以确保数据的准确性<sup>19</sup>。经前面验证已知测取垂直方向的2 000 Hz以下低频加速度振动信号,就能在足够宽的频率范围内,测量到包括有主要分量在内的全部信息<sup>19</sup>。水平方向的振动信号与其的相关性较小可不考虑<sup>19</sup>。传感器采集的

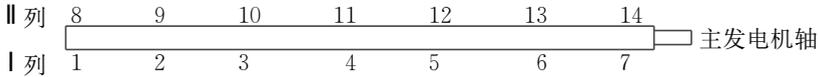


图2 测点布置图

信号是包含多个激励源的复合信息,通过时域和频域分析并提取有效征兆,就可以了解柴油机主轴承的大致情况<sup>19</sup>。

### 3.2 主轴承烧瓦故障振动诊断试验研究

从 1998 年至今,经对 70 多台次 ND<sub>2</sub> 机车柴油机近 1 000 个测点的振动数据测量,并进行频谱分析<sup>19</sup>。结果表明:随着磨损的加剧及烧瓦故障状态的发展,轴承间隙不断增大造成主轴与轴颈之间冲击力增加,柴油机主轴承垂向振动加剧,功率谱总能量将相对增加、在频域内向高频方向移动;曲轴与主轴承磨合后,频谱的主要峰值将稳定在一定带宽的频域内,当烧瓦故障发展到一定程度,主轴颈就会以一定的加速度在主轴颈与轴瓦油膜厚度最小处与轴瓦直接撞击,这时将会在某一主要的频率上出现较大峰值,其时域峰值和倒频谱峰值也有相应的特征<sup>19</sup>。这为准确诊断主轴承烧瓦故障的状态提供了可靠的依据<sup>19</sup>。如本人对几台机车柴油机换瓦后 1 天、14 天、5 个月、8 个月等进行了跟踪采集并进行频谱分析,其频谱分析的 PSD 能量图分别如图 3、图 4、图 5、图 6 所示<sup>19</sup>。

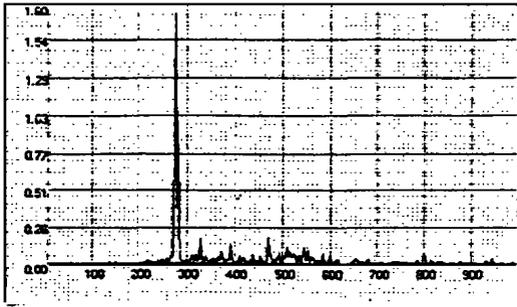


图 3 烧瓦维修后第 1 天功率谱图

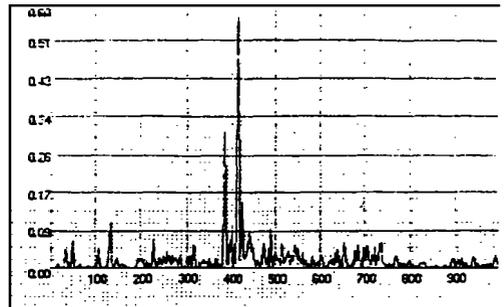


图 4 烧瓦维修后第 14 天功率谱图

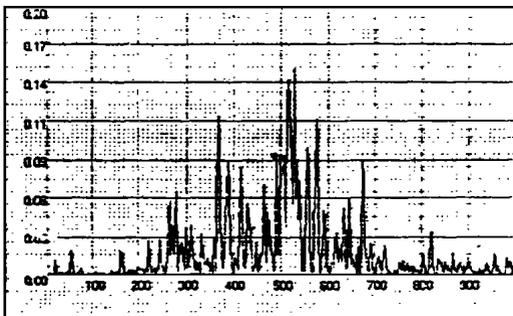


图 5 烧瓦维修后第 5 个月功率谱图

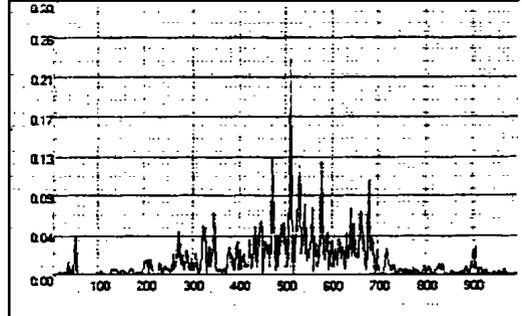


图 6 烧瓦维修后第 8 个月功率谱图

## 4 结 论

1) 研究表明,可利用 ND<sub>2</sub> 机车柴油机机座外表面的振动信号代替主轴承座表面的振动

信号进行主轴承烧瓦故障的诊断,利用机车柴油机机座表面的振动信号诊断烧瓦故障的状态是可行的<sup>19</sup>.

2) 柴油机主轴承振动的主要激励源有气体压力、曲轴连杆机构运动产生的周期性激励<sup>19</sup>.在两缸之间的轴承座处测取垂直方向 2000 Hz 以下低频加速度振动信号,能反映柴油机主轴承的运行状态信息<sup>19</sup>.

3) 随着烧瓦故障状态的发展,柴油机主轴承垂向振动加剧<sup>19</sup>.功率谱频带能量及其能量移动速度和所占带宽、特征频率、时域峰值和倒频谱峰值是机车柴油机主轴承烧瓦故障振动的重要特征参数<sup>19</sup>.综合考虑多个特征参数能较准确诊断主轴承烧瓦故障的状态<sup>19</sup>.

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王晓武,杨建国.柴油机主轴承磨损故障振动诊断的研究[J].武汉交通科技大学学报.1999,(1):125~130<sup>19</sup>.
- [2] 胡以怀,杨叔子等.柴油机磨损故障振动诊断机理的研究[J].内燃机学报.1998,(1):50~61.
- [3] 彭勇,周轶尘等.发动机主轴承状态和振动信号之间关系的研究[J].武汉水运工程学院学报.1993,(2):125~130<sup>19</sup>.
- [4] 朱建元.船用中速柴油机的振动诊断研究[J].船舶工程.1997,(3):29~32<sup>19</sup>.
- [5] 杨建国,周轶尘.内燃机振动监测与故障诊断[M].大连:大连海运学院出版社.1993.115~138<sup>19</sup>.
- [6] 夏演荪.ND<sub>2</sub>型内燃机车[M].中国铁道出版社.1985.6~7,58~62<sup>19</sup>.
- [7] 叶岚.16V240ZJB和C型柴油机失效分析与处理[M].北京:中国铁道出版社.1999.207~221<sup>19</sup>.
- [8] 曾诚.机车柴油机主轴承烧瓦故障诊断专家系统的研究[D].华东交大硕士学位论文,2000.

## Research on Vibration Fault Diagnosis for Fire-loss Bush of the Main Bearing in Locomotive Diesel Engine

ZENG Cheng<sup>1</sup>, LI Ling-xing<sup>2</sup>, LIU Zheng-pin<sup>1</sup>, GUO Hou-kun<sup>1</sup>

(School of Mechanical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** Based on analyzing the fault mechanism for fire-loss bush of the main bearing in ND<sub>2</sub> diesel engine, The paper firstly presents the relations between exciting source of vibration and fire-loss bush fault; then introduces experiments on vibration detection and diagnosis of the engine; finally, the results show that the condition of fault for the main bearing can be diagnosed through detecting the vibration of engine base surface.

**Key words:** locomotive diesel engine; main bearing; fire-loss bush; vibration