

TBM 主变速箱的状态监测与故障诊断

赵 华¹, 苏 东², 乔文生³

(1. 中铁隧道集团专用设备中心, 河南 洛阳 471121;

2. 中铁隧道集团 TBM 公司, 陕西 商南 726300; 3. 北京京航公司, 北京 100076)

[摘 要] 以全断面掘进机 (TBM) 的主变速箱为例, 介绍振动分析和油质分析技术在工程机械故障诊断方面的应用, 希望能对施工企业提供一些故障诊断方面的参考。

[关键词] 全断面掘进机; 变速箱; 状态监测; 故障诊断; 振动分析; 油质分析

[中图分类号] TU621; TU607

[文献标识码] B

[文章编号] 1001-1366(2003)06-0044-02

The status monitoring and failure diagnosis of TBM main gearbox

ZHAO Hua¹, SU Dong², QIAO Wen-sheng³

1 前 言

随着科学技术与生产力的高度发展, 机械设备工作强度不断增大, 生产效率、自动化程度越来越高, 同时设备更加复杂, 某一个零件的故障就有可能产生连锁反应, 导致整个设备的毁坏。对设备进行状态监测, 使故障在萌芽状态时就能够进行有效的维护, 从而使设备发挥最大潜能。

中铁隧道集团承建的安康铁路秦岭 I 线进口端和西安南京铁路磨沟岭隧道采用德国产 TB880E 型全断面掘进机 (TBM) 进行开挖。TBM 集机、电、液于一体, 施工工序环环相扣, 各设备联系紧密。TBM 的刀盘直径 $\varnothing 8.8\text{m}$, 总重量 2 000 余 t, 总长度 256m, 设备总功率 5 400kW, 刀盘最大推力 2 100t、撑靴最大撑紧力 6 100t、每个掘进行程 1.8m, 刀盘转速 2.7r/min 和 5.4r/min, 采用 8 台电动机分别通过 8 台变速箱输出扭矩, 经传动轴传递给刀盘破碎岩石。

TBM 的主变速箱采用行星齿轮传动 (图 1), 承受高负荷、大扭矩, 故障发生率较高; 因施工现场噪声大, 受环境因素与诊断者经验差异的制约, 用传统的变速箱诊断法如手摸、耳听常常会出现误诊与漏诊, 判断故障源比较困难, 因而对变速箱故障诊断与状态监测的分析和研究就尤为重要。

由于旋转设备出现故障前都会有初期振动特征信号产生, 因此采用振动测试技术对变速箱运转时

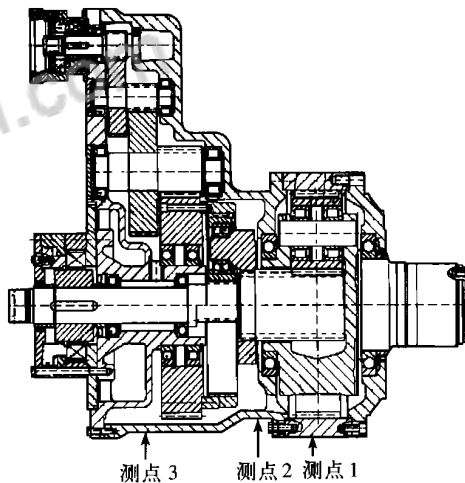


图 1 主变速箱及测试点

的各种特征信号进行采集、处理, 同时结合润滑油的磨粒分析 (如铁谱、光谱) 等多种监测手段, 可提高故障的预报和诊断能力, 减少故障的发生率。

2 振动监测与油液磨粒分析的综合应用

2.1 齿轮啮合特征频率计算

电机驱动时主变速箱传递路线见图 2 所示, 已知齿轮箱内各齿轮的齿数分别为: $Z_1 = 27$ 、 $Z_2 =$

[收稿日期] 2003-01-23

[作者简介] 赵 华 (1966 -), 男, 河南南阳人, 工程师, 副总工程师, 洛阳孟津火车站。

105、 $Z_3 = 39$ 、 $Z_4 = 19$ 、 $Z_5 = 65$ 、 $Z_6 = 23$ ，输入端转速 $n_1 = 1\,500\text{r/min}$ 。由图 2 可知，各轴的传动比及转速计算如下：

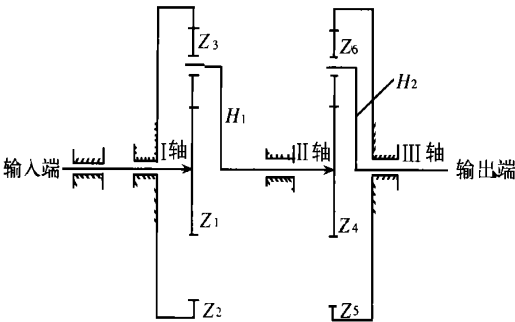


图 2 主变速箱运动简图

由于太阳轮 2、5 固定不动，故 $n_2 = 0$ 、 $n_5 = 0$
$$i_{12}^H = (n_1 - n_{H1}) / (n_2 - n_{H1}) = 1 - (n_1 / n_{H1}) = -Z_2 / Z_1 = -3.89$$

 $n_1 / n_{H1} = 4.89$ ，故 $n_{H1} = n_1 / 4.89 = 306.74(\text{r/min})$

同理

$$i_{45}^H = (n_4 - n_{H2}) / (n_5 - n_{H2}) = -Z_5 / Z_4 = -3.42$$

 $n_{H2} = n_4 / 4.42$ ，又 $n_4 = n_{H1}$ ，故
 $n_{H2} = n_4 / 4.42 = n_{H1} / 4.42 = 69.41(\text{r/min})$

Z_1 与 Z_3 的啮合频率

$$f_{c1} = Z_1 \times n_1 / 60 = 675\text{Hz}$$

二倍频 $2f_{c1} = 1\,350\text{Hz}$

Z_4 与 Z_6 的啮合频率

$$f_{c2} = Z_4 \times n_2 / 60 = 97.13\text{Hz}$$

二倍频 $2f_{c2} = 194.26\text{Hz}$

2.2 故障诊断实例

TBM 在西安南京线掘进施工时发现主变速箱发生异响，机身温度超过 60℃，由于施工环境恶劣、噪声较大，与其它变速箱相比变化并不十分明显，无法确定故障的严重程度。如果此时停机对变速箱进行拆解，若无故障将会影响 TBM 的正常掘进、对企业造成经济损失；如确实存在故障而继续运转，将会造成设备的进一步损坏。

故障检测人员迅速对变速箱进行了振动数据采集和频谱分析以及润滑油样的抽取化验。根据变速箱的结构以及振动信号测点的选取原则，我们选取测点 1、2、3 作为测点（图 1），采用 HG-3518 数据采集器进行信号数据采集，仪器采样点数选 $N = 1\,024$ ，最大分析频率 $f_s = 2\,000\text{Hz}$ 、谱线 $M =$

400 线、频率分辨率 $f = f_s / M = 5\text{Hz}$ 。

图 3 为变速箱测点 2 的振动信号功率图谱，从图中可以看出， Z_1 与 Z_3 的啮合频率 670Hz 处的振动幅值高达 $295(\text{m/s}^2)^2$ ，图 4 为测点 3 的功率图谱，图中出现一个 1 345Hz 的频率（ Z_1 与 Z_3 的二倍频率）及少量边频，其振幅高达 $490(\text{m/s}^2)^2$ 。与以往的谱图对比可知，啮合频率 670Hz 及其倍频处的振幅不应超过 $60(\text{m/s}^2)^2$ ，而此时的振幅已远远超出标准值，因此怀疑齿轮 Z_1 与 Z_3 啮合处可能有问题。

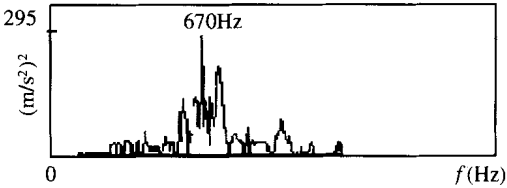


图 3 修理前测点 2 的功率图谱

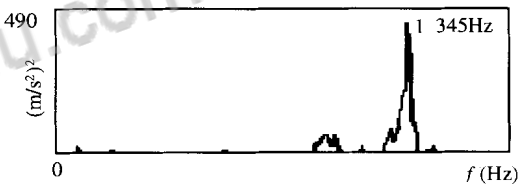


图 4 修理前测点 3 的功率图谱

为避免误诊，又对变速箱的油品（德国福斯 CLP220 齿轮油）分别作了粘度和铁谱、光谱分析，粘度实测结果为 232Cst，在允许的粘度指标范围（242 ~ 198Cst）之内；而铁谱分析的结果是油中含有大量的黑色氧化物及较多的大于 100μm 的严重磨损颗粒及剥块，说明齿轮齿面有大面积的磨屑剥落。由齿轮油光谱分析（表 1）可知，油中铁、铝、硅含量偏高，特别是铁的含量达 90.3ppm，已远远超过正常标准（30 ~ 40ppm），说明主变速箱齿轮磨损状况不良。

表 1 齿轮油光谱分析

元素名称	含量 (ppm)	元素名称	含量 (ppm)
Fe	90.3	Ba	61.2
Al	5.0	Ti	0.2
Si	8.2	Cr	0.7
Cu	1.2	Mg	3.1
Zn	45.2	Mo	0.11
Ca	45.7	P	145.2

（下转第 43 页）

球, 节省时间, 泵送较易成功, 对清洗较短管路尤其方便。

其缺点: 用水量且泵水必须连续, 水很容易排在浇注地点; 如有垂直向上的管道, 通常必须拆弯管; 输送管线较长时管道内易有残留; 对分配阀密封性要求较严。

2 拆出料管法

1) 泵送完砼后反泵 1~2 个循环, 消除输送管中压力。如向上泵送则必须先关闭截止阀, 防止砼倒流, 然后拆下出料管。

2) 打开料斗卸料门, 反泵将分配阀、砼缸和料斗中的砼冲洗干净。

3) 把第 1 根 6B 或 5B 输送管口部的砼掏出一些, 塞进浸透水的清洗球或柱形清洗活塞。

4) 关闭分配阀卸料门, 如有截止阀则打开, 泵送清水至活塞从输送管输出端泵出为止。

拆出料管法的优点是管道清洗较干净, 水源的流速可以较低、可以暂停。其缺点是出料口拆开后再次连接困难, 费事费力。

3 加活塞法

1) 用 10~20 个水泥袋卷成直径略小于输送缸

直径、头部略尖、长度 400mm 左右的柱状体, 用细铁丝捆扎好, 并将清洗球用铁丝轻扎在柱状体尾部, 用水浸透。

2) 泵送完砼后反泵 1~2 个循环, 消除输送管中压力, 点按动按钮, 使砼缸活塞退至最后点。如向上泵送且有截止阀则须先关闭, 以防止砼倒流。

3) 拆下出料管, 打开料斗卸料门, 反泵将分配阀、砼缸和料斗中的砼冲洗干净。

4) 关闭料斗卸料门, 向料斗中加水, 当水加至砼缸直径 2/3 高度时, 将柱状体头部朝分配阀方向装入砼缸, 用 1 根长约 1m、直径约 30mm 的木制撬棒将柱状体抵住, 继续加水至搅拌轴中心线高度。

5) 撤出撬棒, 迅速启动泵送, 持续加水, 直至柱状体从输送管输出端泵出。

加活塞法的优点是管道清洗较干净, 水源的流速可以较低、可以暂停, 同时减少拆出料口和弯管的麻烦。缺点是操作要求较高, 分配阀容易将柱状体切断。

以上 3 种砼泵水洗方法各有优缺点, 其中最为可靠的是拆出料管法, 最简单的是加活塞法, 如输送距离较短, 则直接打水法也是一种不错的选择。具体方法要根据施工的实际情况而定, 总之要做到既有效又经济。

(编辑 吴学松)

(上接第 45 页)

综合以上分析, 最后判断主变速箱齿面极可能出现较大面积的擦伤、剥落或裂纹, 应及时进行停机处理。经拆机检修发现: Z_1 齿轮有一齿断裂, Z_3 齿轮有大面积的擦伤。维修后重新试机进行测试, 见图 5。

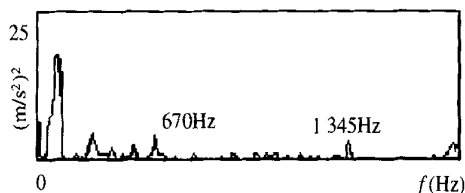


图 5 修理后测点 2 的功率图谱

图 5 中的图谱主要以低频为主, 振动幅值已在控制范围之内, 而且 670Hz 及 1345Hz 处的振动幅值也大大降低。一星期后再进行油品分析, 各项指标已恢复正常。由于此次事故处理及时, 避免了大

的机械事故发生, 保证了施工的顺利进行。

综上所述, 对大型、复杂的设备进行故障诊断时, 采用多种监测手段相结合可以提高设备的故障诊断准确率, 从而避免因片面误诊对生产带来的损失。展望前景, 振动分析与油质分析技术将在设备状态监测与故障诊断维修工作中发挥越来越重要的作用。

[参考文献]

- [1]徐 敏. 设备故障诊断手册[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1998
- [2]陈克兴, 李川奇. 设备状态监测与故障诊断技术[M]. 北京:科学技术文献出版社, 1991.
- [3]韩 捷, 张瑞林. 旋转机械故障机理及诊断技术[M]. 北京:机械工业出版社, 1996.
- [4]易新乾. 油样光谱分析在工程机械状态监测中的应用研究[C]. 第二届全国设备故障诊断学术会议论文集, 1988.

(编辑 李英伟)



论文写作，论文降重，
论文格式排版，论文发表，
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，
英文翻译，提供全流程发表支持
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

阅读此文的还阅读了：

- [1. 机电设备的状态监测与故障诊断](#)
- [2. 用于状态监测与故障诊断的虚拟系统的设计](#)
- [3. 液压系统状态监测与故障诊断方法的研究](#)
- [4. 舰船远程监测与故障诊断系统的研究](#)
- [5. FMS 机器人的实时状态监测与故障诊断研究](#)
- [6. 带式输送机减速器的状态监测与故障诊断](#)
- [7. 多级多速复杂机组的状态监测与故障诊断](#)
- [8. 状态监测在TBM施工中的应用](#)
- [9. 电力系统的状态监测与故障诊断技术](#)
- [10. 辊碾磨状态监测与故障诊断系统研究](#)
- [11. 状态监测与故障诊断在6000m³/h制氧机组的应用](#)
- [12. 基于FPGA的旋转机械无线监测系统](#)
- [13. 设备状态监测与故障诊断技术在济钢的应用](#)
- [14. 滑油状态监测与故障诊断](#)
- [15. 柴油机状态监测与故障诊断系统](#)
- [16. 在线设备状态监测与故障诊断技术的应用](#)

- [17. 浅谈供配电设备状态监测与故障诊断](#)
- [18. 设备状态监测与故障诊断技术](#)
- [19. D800鼓风机的状态监测与故障诊断](#)
- [20. 基于带式输送机的多种状态监测与故障诊断](#)
- [21. 电气设备的状态监测与故障诊断](#)
- [22. TBM施工中的油液监测与故障诊断](#)
- [23. 大机组的状态监测与故障诊断](#)
- [24. 状态监测与故障诊断技术在冶金企业的应用](#)
- [25. 基于网络的设备状态在线监测与故障诊断系统](#)
- [26. 状态监测与故障诊断技术在我厂的应用](#)
- [27. TBM状态监测与故障诊断](#)
- [28. 自主变速箱收获阶段性成果](#)
- [29. 旋转机械在线状态监测与诊断系统](#)
- [30. 嵌入式状态监测与故障诊断装置的设计](#)
- [31. 基于自我-非我识别机理的状态监测与故障诊断](#)
- [32. TBM及盾构机设备状态监测与故障诊断实用技术综述](#)
- [33. 冶金设备状态在线监测与故障诊断系统](#)
- [34. 离心风机的状态监测与故障诊断](#)
- [35. 球磨机的状态监测与故障诊断](#)
- [36. 化工机器状态监测与故障诊断](#)
- [37. 设备状态监测与故障诊断](#)
- [38. 状态监测与故障诊断案例教学实践](#)
- [39. 设备状态监测与故障诊断实例浅析](#)
- [40. SF₆断路器的状态监测与故障诊断](#)
- [41. 异当电动机工作状态的监测与故障诊断](#)
- [42. 设备状态监测与故障诊断](#)
- [43. 船舶动力装置运行状态监测与故障诊断系统](#)
- [44. 电动机状态监测与故障诊断技术](#)
- [45. 基于XML的数控机床远程监测与诊断系统研究](#)
- [46. 浅议设备监测与故障诊断在煤矿机电设备管理中的应用](#)
- [47. 煤炭设备的状态监测与故障诊断技术的应用](#)
- [48. 基于网络的机床远程监测与故障诊断系统技术的研究](#)
- [49. 状态监测与故障诊断的Petri网建模与分析](#)
- [50. 换流站阀冷系统轻微漏水检测方法研究](#)