

数控双柱立式车床变速箱箱体噪声 诊断研究（上）

■ 齐重数控装备股份有限公司（黑龙江齐齐哈尔 161005） 李金龙 孙永超

摘要：本文针对数控双柱立式车床变速箱噪声故障的机理研究，分析变速箱典型故障振动频率特性，利用OneproD—MVP—2C的配套软件Graph提取变速箱的振动信号，进行同态解调分析，从而提取出数控双柱立式车床变速箱的故障特征信息，体现了变速箱故障特征在时域和频域里的对应性，弥补了时域分析、幅值谱分析这两种方法的不足，并达到了理想的工程应用效果。

本文研究内容取源于对齐重数控装备公司的数控双柱立式车床的研究，通过对变速箱信号的采集、分析、特征提取、状态监测和故障预报与诊断工作，对机床主变速箱进行状态监测与故障诊断，实现快而准的工程应用效果，从而达到理论成果应用于工程实际，并进一步转化为生产力的目的。这一研究将为该机床减少维修费用和因故障停产所带来的损失带来可观的经济效益，对于机床设备维修体系的科学管理具有现实意义。

变速箱原理结构分析

本文研究的对象为齐重数控装备配备在DVT500×25/50Q—NC数控双柱立式车床上的ZSY630型变速箱，其结构如图1所示。工业现场采集到的振动信号中既含有调幅现象又含有调频现象。

1. 数控双柱立式车床变速箱传动方式分析

DVT500×25/50Q—NC型数控双柱立式车床承担着加工形状复杂回转类零件的生产任务。机床的正常运行是加工质量的保

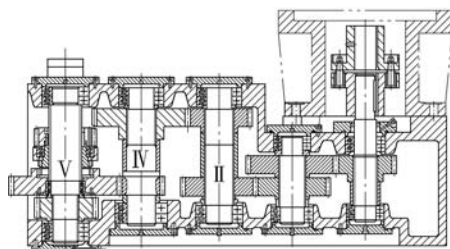


图1 变速箱结构图

证。传动机构是该机床的关键性机构。立式车床的传动包括电动机、展开式减速箱和联轴器三大部件。

2. 机床主轴电动机主要参数

机床主传动由75kW直流电动机驱动，此电动机为厂家定制电

表5 改善后工件销孔中心位置监测结果

	A孔	B孔	C孔
R430（半径） /mm	430.006 3	430.001	429.996
120（°）	120.000 6	120.0	119.999 4

上例说明：零件加工精度不仅和机床本身制造与安装精度相关，更与合理设计加工工艺路线关系密切。

6. 结语

大型精密加工中心类机床在常温条件下使用，受季节温度变化影响，机床精度保持期较短。严格按地基图正确施工，保证地基质量满足机床安装要求，这是决定机床能否正常使用的前提。立足于自身，培养一支精干的维修队伍，准备必要的精密检测器

具，加强监测，缩短对机床精度的检测周期，定期恢复机床安装精度，这些措施是生产能否正常开展的保证。生产工艺人员优化加工工艺路线，操作者精益求精，以保证进口机床发挥最大的作用。MW

（收稿日期：20150915）

动机，其参数如表1所示。

3. 数控双柱立式车床变速箱传动机构主要参数分析

变速箱主要参数如表2所示。
主传动转速分布如图2所示。

测试仪器配置与诊断方案确定

1. 测试仪器配置

变速箱振动噪声诊断一般以箱体振动速度的测量作为首要选择的参数，振动速度的均方根值就是振动烈度。由于数控双柱立式车床的变速箱结构复杂，传递途径多，所以采用可以对振动速度或加速度进行频谱分析的测试仪器，即振动加速度传感器，同时配置可以进行简易频谱分析的数据采集器和相应的振动分析软

表1 电动机主要参数

电动机型号	Z4—280—31B—V1
功率/kW	75
额定电压/V	400
励磁电压/V	310
转速/(r·min ⁻¹)	400~1 600
绝缘等级	F级
轴承	6320—CNE1
工作制	S1
执行编号	GB/76316—2006
质量/kg	1 500
额定电流/A	223
励磁电流/A	10.4
冷却方式	IC06
保护等级	IP21S
输出端	6218/CNE1

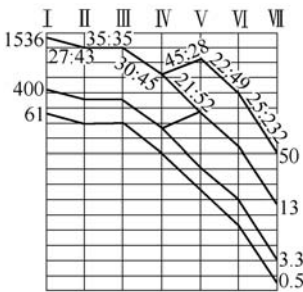


图2 变速箱主传动转速分布

件。本次测试采用的是法国01dB公司，基于MVP—2C分析仪模块的型号为OneproD手持式测振仪以及相配套的软件Graph。

其主要参数如表3所示。
其测试系统工作原理如图3所示。



图3 测试系统工作原理图

2. 数控双柱立式车床变速箱诊断方案

(1) 简易诊断。简易诊断即采用便携式测振仪oneproD—MVP—2C对变速箱的各主要测点进行检测，检测物理参量为振动位移峰—峰值和振动速度均方根值，即振动烈度。同时，简易诊断所有数据都按时间保存在档案

表2 变速箱主要参数

序号	模数或螺距	齿数或线数	齿形角	螺旋角或螺旋升角	螺旋方向	材料	热处理
1	8	45	20°	—	—	40Cr	T235齿部G52
2	8	30	20°	—	—	40Cr	T235齿部G52
3	8	43	20°	4° 30′ 30″	左	40Cr	T235齿部G52
4	8	27	20°	4° 30′ 30″	右	40Cr	T235齿部G52
5	8	35	20°	4° 30′ 30″	左	40Cr	T235齿部G52
6	8	35	20°	4° 30′ 30″	右	40Cr	T235齿部G52
7	8	21	20°	—	—	40Cr	T235齿部G52
8	8	52	20°	—	—	40Cr	T265齿部G52
	6	33	20°	—	—	40Cr	T265齿部G52
9	8	28	20°	—	—	40Cr	T265齿部G52
10	6	33	20°	—	—	40Cr	T265齿部G52
11	10	22	20°	12° 15′ 30″	左	40Cr	T265齿部G52
12	10	49	20°	12° 15′ 30″	右	40Cr	T235齿部G52
13	12	25	20°	12° 15′ 30″	左	40Cr	T265齿部G52
14	12	232	20°	12° 15′ 30″	右	40Cr	齿部G42

表3 OneproD—MVP—2C测试仪基本参数

仪器名称	OneproD—MVP—2C手持式测振仪
技术特征	一种手持式测振仪，是具有320×240像素彩色背光显示的多功能现场使用仪器。具有低功耗、测量精度高、抗干扰能力强及使用携带方便等特点。其性能与日本的VM—63测振仪相近，可测量振动的加速度、速度和位移，其测量数据有液晶显示器直接显示。仪器使用时采用压电加速度传感器与仪器配接的方式，而传感器可用磁座方便地固定在不同的位置，使用时安全可靠
技术参数	测量范围：位移：1~1 999 μm（峰值） 速度：0.1~199.9mm/s（有效值） 加速度：0.1~199.9m/s ² 频率范围：位移：10~2 500Hz，速度：10~2 500Hz 加速度：10~2 500Hz，精度：（±5%±5）个字 显示方式：彩色背光图形屏幕，分辨率320×240 采样速度：1次/s 保持功能：松开测量按钮，测量保持约1min 外形尺寸：117mm×70mm×24mm；质量：150g 电源：9V积层电池 相对湿度：≤85% 环境中相应无腐蚀性气体，环境中无强电磁场干扰 环境温度：传感器：40~+80℃ 仪器：0~+40℃
应用范围	主要用于振动量级的测定及大型旋转机械（如汽轮机、风机、发电机和大型机床等）各种动态信号的振动测量、故障诊断维修等
生产厂家	法国01dB公司 北京泛泰克斯仪器有限公司

中。以便和后来的作比较，还可以画出其趋势图。

(2) 精密诊断。主要指利用FFT分析、细化分析、倒谱分析、同态解调谱分析和小波分析等方法来进行振动信号的分析 and 处理，从而判断故障的类型、部位和程度。精度诊断结果也得按时间保存在档案库中，以便和以后做类比。

(3) 测点合理布置。在振动信号采集过程中，测点是否合理布置直接影响信号的真实性和准确性。布置测点应注意以下事项：①所布置的测点要牢固不得松动。②测点应布置在轴承或轴承座附近，这是反映齿轮振动信息最集中，振动特征最敏感的部位。要尽可能选在联接刚度较高的地方而且安装面要光滑。③测点应直接安装在相关被测零件上，如果通过不同零件联接，会对其振动能量产生影响，使振动信号不准确。④尽量保持每次测量时测点安装位置，齿轮传动的工况条件、测试方法一致。

(4) 测试时间。本次对数控双柱立式车床的振动噪声检验共两次，中间间隔10天。分别在第一次和第二次对振动噪声进行检测。每次分别进行简易诊断和精密诊断。以保证诊断分析的正确性。

(5) 测试选用挡位。现场观察发现在主轴转速为13r/min时，振动和噪声较大，故测试时选择了此挡传动链。在此挡位下变速箱内各轴的基本参数如表4所示。

3. 数控双柱立式车床变速箱故障诊断与分析研究

根据制定的变速箱振动噪声测试与诊断方案，两次对

DVT500×25/50Q—NC数控双柱立式车床进行振动噪声信号采集工作，并分别以简易故障诊断和精密故障诊断两种诊断方法，对运行中的变速箱进行了故障诊断与分析研究。

由于V轴、VI轴和VII轴压在机床底座内，不易测量，故只测I轴、II轴、III轴和IV轴。测点具体分布如图4所示。测量I轴时，通过测量离轴承最近的箱壁得到I轴的振动信息。

变速箱简易诊断

对于此台机床的变速箱，对

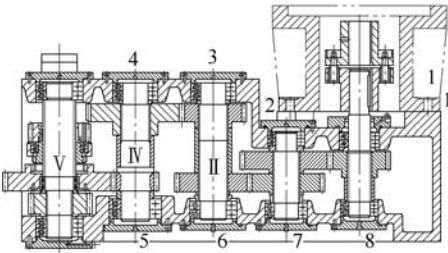


图4 测点的选择

表4 在此挡位下变速箱内各轴的基本参数

轴	转速/ (r·min ⁻¹)	转频/Hz	啮合频率/Hz
输入轴 I	$n_1=1\ 536$	$f_{r1}=25.6$	$f_{g1}=691.2$
中间轴 II	$n_2=964.5$	$f_{r2}=16.075$	$f_{g1}=691.2$ $f_{g2}=562.625$
中间轴 III	$n_3=964.5$	$f_{r3}=16.075$	$f_{g2}=562.625$ $f_{g3}=482.25$
中间轴 IV	$n_4=643$	$f_{r4}=10.72$	$f_{g3}=482.25$ $f_{g4}=225.12$
中间轴 V	$n_5=259.5$	$f_{r5}=4.325$	$f_{g4}=225.12$ $f_{g5}=95.15$
中间轴 VI	$n_6=116.5$	$f_{r6}=1.942$	$f_{g5}=95.15$ $f_{g6}=48.55$
输出轴 VII	$n_7=13$	$f_{r6}=0.212$	$f_{g6}=48.55$
备注	取机床振动噪声较大的挡位进行分析，即：1 536：13挡位		

表5 变速箱各测点简易测振的振动烈度值

测点	1			2			3			4		
	V	H	A	V	H	A	V	H	A	V	H	A
5.06	7.8	4.6	7.5	8.8	3.5	7.2	6.1	3.2	11.4	3.4	7.8	7.0
5.16	12.7	10.6	11.5	8.6	9.6	18.9	4.8	5.1	20.5	8.5	7.8	9.2
测点	5			6			7			8		
	V	H	A	V	H	A	V	H	A	V	H	A
5.06	8.3	4.6	7.7	5.2	9.5	14.8	5.0	4.7	8.9	7.3	14.7	7.8
5.16	10.3	8.6	12.5	12.3	9.4	16.7	11.8	12.9	12.7	16.7	20.3	9.2
备注	V为垂直方向；H为水平方向；A为轴向											

其进行了两次简易诊断，诊断参数主要为振动烈度Vrms（振动速度有效值，单位mm/s）。

1. 诊断数据

表5所示为第一次和第二次两次对变速箱的简易诊断数据。所测得的主要数据为垂直方向（V）、水平方向（H）和轴向（A）三个方向上的振动烈度。根据设备振动的评估标准如表6所示。

2. CLASS设备分类

分类Ⅰ：在正常运行条件下，与整机连成一体的电动机或机器的单独驱动部件功率在15 kW或15 kW以下。

分类Ⅱ：无专用基础的中型机器，电动机或驱动部件功率在15~75kW。

分类Ⅲ：具有旋转质量、安装在刚性重型基础上的大型原动机和其他大型机器。基础在振动

表6 设备振动评估标准

Vibration Velocity (RMS) 振动速度 (均方根值) / (m·s ⁻¹)	Class I	Class II	Class III	Class IV
0.28	Zone A	Zone A	Zone A	Zone A
0.45				
0.71				
1.12	Zone B	Zone B	Zone B	Zone B
1.80	Zone C			
2.80	Zone C	Zone C	Zone C	
4.5	Zone D	Zone D	Zone D	Zone D
7.1				Zone D
11.2				Zone D
18.0				Zone D
28.0				Zone D
45.0				Zone D

测量方向上相对是刚性的。

分类Ⅳ：具有旋转质量、安装在刚性重型基础上的大型原动机和其他大型机器。基础在振动测量方向上相对是柔性的（如输出功率大于10MW的汽轮发电机组）。

此机床的变速箱由75kW直流电动机驱动，设备分类为第二类。测点1、测点2、侧点3、测点4、测点5、测点6、测点7和测点8的振动烈度值远远超过D区的上限7.1mm/s，达到停机值。特别是这些测点（除测点8）的轴向振动烈度值更大，测点8的水平方向振动烈度表现最为强烈。

3. 简易诊断结论

从上述简易诊断的振动烈度值可以初步判断，该机床的变速箱存在着一定的故障，需要用精密诊断诊断出变速箱故障的确切信息。

变速箱精密诊断

简易诊断的特征决定了它只能初步判断齿轮箱有无故障存在，而不能确定故障的类型、部位。因此，简易诊断为下一步精密诊断划定了诊断范围，给进一

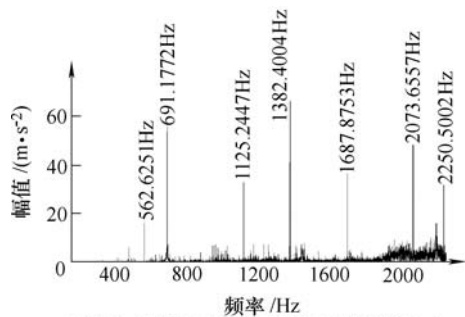
步确定故障信息打下了基础。以下针对简易诊断过程中振动烈度严重超标的典型测点进行精密诊断，即利用FFT分析、细化分析、倒频谱分析及同态解调分析等方法来进行振动信号的分析 and 处理，从而判断故障的类型、部位和程度。

1. 测点8精密诊断分析

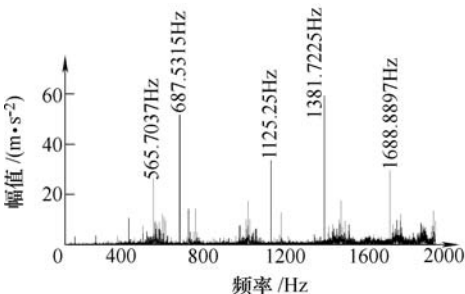
(1) 测点8振动时域信号和FFT变化幅值分析，如图5、图6所示。

(2) 测点8同态解调分析，如图7所示。

测点8信号的同态解调谱分析结果表明：故障调制信号主要为 f_{r2} （16.075Hz）及其倍



(a) 测点8 振动加速度 FFT 变换幅值谱 (5.6)



(b) 测点8 振动加速度 FFT 变换幅值谱 (5.16)

图6 测点8的FFT变换幅值谱图

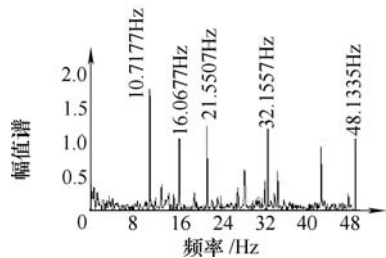


图7 测点8同态解调分析谱图

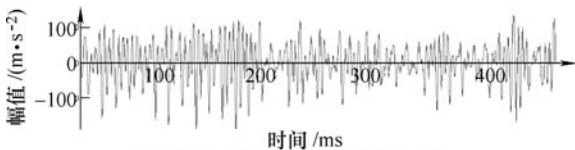
频，另外还有突出的Ⅳ轴转频 f_{r4} （10.72Hz）及 $2f_{r4}$ 的调制成分。

(3) 测点8分析结果。从测点8的上述分析可知，一级啮合频率 f_{g1} 及其高次谐波 $2f_{g1}$ 、 $3f_{g1}$ ，

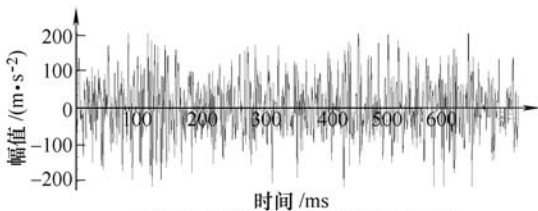
且在它们周围存在大量的以Ⅱ轴转频 f_{r2} （16.075Hz）的调制成分；另外，还存在二级齿轮啮合频率 f_{g2} 及其高次倍频 $2f_{g2}$ 、 $3f_{g2}$ 、 $4f_{g2}$ ，由此可推断一级齿轮副的齿轮Z2（43齿）有严重故障。

MW（待续）

（收稿日期：20151106）



(a) 测点8 振动加速度时域信号 (5.6)



(b) 测点8 振动加速度时域信号 (5.16)

图5 测点8振动加速度信号时域信号