

基于阶比分析的机动车变速箱齿轮故障检测方法研究

薛华

(嘉兴市正达汽车综合性能检测有限公司 浙江 嘉兴 314050)

摘要: 变速箱是机动车传动系统的主要组成部分之一, 变速箱齿轮的正常运行对汽车传动系统起着非常重要的作用。因此, 对变速箱齿轮故障进行检测非常重要。本文对基于阶比分析的机动车变速箱齿轮故障检测方法进行研究。首先对机动车变速箱齿轮运行信号进行采集, 然后对基于阶比分析的机动车变速箱信号特征进行提取, 其中包括基于阶比分析检测齿轮齿形误差和齿轮是否磨损均匀, 最后进行机动车变速箱齿轮故障检测对比实验, 对实验准备以及结果进行分析说明。通过实验验证, 该方法检测可靠性较高, 具有比较明显的实际应用效果。

关键词: 阶比分析; 机动车变速箱; 变速箱齿轮; 故障检测

0 引言

变速箱作为机动车传动系统的重要组成部分, 具有不可替代的作用, 如果变速箱发生故障, 不仅会影响机动车性能, 还会影响行车安全, 严重时会造成交通事故。为了确保变速箱的正常使用, 对其进行故障检测非常必要。汽车行业近几年来在我国的发展十分迅速, 为适应汽车行业科技发展的新要求, 关于变速器的故障诊断方面的探讨也是十分必要的^[1]。阶比分析方法是旋转机械故障诊断的一种方法, 能够进行旋转部件转动测量。应用这种分析技术, 可以更加全面地掌握各种机械设备的特性, 从而更好地进行机械设备的使用。因此, 本文探讨基于阶比分析的机动车变速箱齿轮故障检测方法。

1 基本情况分析

随着社会和经济的不断发展, 汽车成为重要的交通工具, 在人们的工作和生活中具有不可替代的作用。而变速箱是汽车的核心, 其不仅能够变换行驶速度, 也可以增大输出转矩, 还能够使发动机处于有利的工况, 因此变速箱的性能决定了汽车质量, 要想提升汽车整车质量, 则需要分析和测试变速箱性能。在对变速箱进行测试时有很多种方法, 其中阶比分析方法是十分重要的一种, 对其进行研究可以推动汽车行业发展。

当前使用的故障检测方法有很多种, 而振动检测方法是目前最为常用的方法。但长期以来, 由于数字理论的限制, 在检测变速器中的振动时, 大多数

情况都需要施加状态载荷, 且变速器需要在恒定的天气条件下工作。为了测量稳定运行情况以及一定条件下的响应情况, 可以通过实时地监测状态还有进行诊断错误判断变速箱状态。如果不能满足以上条件, 可以假定设备处于恒定工作状态。

通过分析变速箱和齿轮故障情况, 可以明确其使用状况。而检测方法不仅对相关技术发展有着重要影响, 也可以全面提升变速箱质量。变速箱中故障率较高的是齿轮和轴承, 需要分析其振动信号和产生机理, 才可以明确故障特征, 从而明确齿轮故障情况。

在实际操作过程中, 不仅要注重理论层面分析, 也要根据实际情况才能采取有效方式进行故障检测。在检测中可以采用目视方式检测, 这是一种比较常用的诊断方法, 运用这种方式主要是依据检测人员的经验进行判断; 还可以使用听声法检测, 这种方法主要是倾听变速器运行中产生的噪声来判断齿轮是否存在故障, 但是对听力准确度要求较高。这两种检测方式是比较常见的, 也是传统的检测方式, 但是在具体应用过程中, 对于操作人员的经验和能力要求较高。

2 机动车变速箱齿轮运行信号采集

机动车变速箱齿轮信号采集是至关重要的一步。变速箱齿轮故障检测包括两方面内容: 一是, 在线的质量监测; 二是, 异常状态下故障部位检测和分析。也就是使用阶比运算对角度和信号进行快速地变换计算, 当信号和角度变换以后, 这时的信号单位就

是阶，最明显的就是将理论和实际进行结合，主要体现在以下几个方面：

- (1) 信号的获取和传感，这是进行故障检测的基础；
- (2) 信号的处理和特征提取，这是进行故障检测条件；
- (3) 识别和分类，并进行智能决策，这是故障检测的关键。

变速箱工作时不是完全匀速的状态，而是经常来回地切换，在匀速状态下获取的信号不能准确地反映变速箱实际状态，因此变速箱变速和运行时产生的信号是不稳定的，可以使用阶比分析法进行分析。在变速器故障的诊断和分析中，阶比分析比传统的谱分析更可靠，这是因为阶比分析可以分析速度不变状态下的实际情况，能够避免“混频”现象发生，具有非常明显的使用优势。

齿轮检测流程如图1所示。

对提取信号进行分析和处理后，根据不同的要

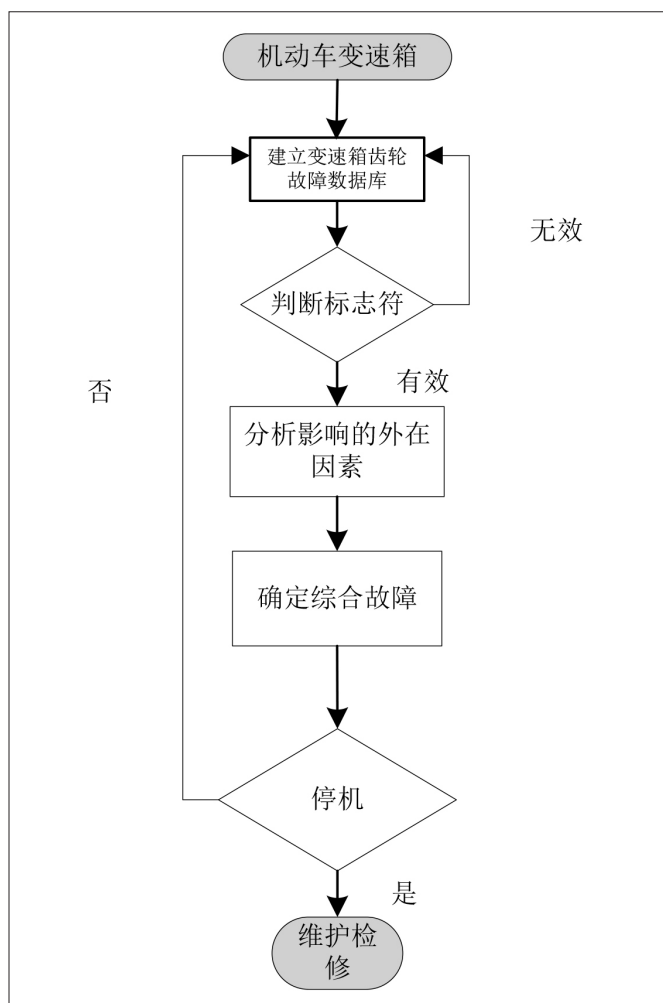


图1 齿轮检测流程

求选择评断准则，以此判断机械设备是否存在故障，然后再判断故障类型和故障位置，以此来实现机动车变速箱齿轮运行信号采集^[2]。

3 基于阶比分析的机动车变速箱信号特征提取

3.1 采用阶比分析检测齿轮齿形误差

变速箱的典型故障情况，就是齿轮齿形的误差。齿轮合阶比与谐波是载波阶比，而齿轮所在的轴阶比和谐波是调制阶比，这是比较典型的阶比调制现象。通常情况下齿形的误差阶比带较窄，而且幅值较小^[3]。所以振动信号和能量及有效值等相关指标会在一定程度上增大。阶比分析可以使用转轴和旋转频率进行调整，也可以使用分数倍频进行采样，当完成上述操作以后进行变换计算，就可以求出阶比幅值和相位。

3.2 基于阶比分析研究齿轮磨损

齿面的损坏表现及原因主要有以下四种情况：

- (1) 齿轮表面损坏：由于齿面工作环境较差，金属杂物、粉尘及较硬的粒子等进入齿面，从而引起齿轮表面损坏；
- (2) 齿表面间隙的正常损坏：主要原因是传动齿轮在接触表面上的金属表面的缓慢损坏；
- (3) 磨材性损伤：细颗粒状材料进入啮合力的齿面处，产生较短路线形划痕，而引起的机械损伤；
- (4) 干涉损伤、损坏：由于齿轮加工和装配错误，引起齿轮之间不合理的碰撞，从而造成齿轮间出现损坏。

观察齿轮合阶比和谐波变化，如果幅度出现明显增加，那么就说明阶数和幅度增加会越大。因此振动信号能量和指标也会在一定程度上提高，当齿轮没有被均匀磨损时，将会产生与齿轮齿形误差类似的特征。

现在已经使用维护、保养和检测日志系统建立了传输错误信息库。该数据库中包括了一些影响数据传输的外部 and 内在原因，内部条件信息包括特殊传动参数、润滑条件。而传动数据包括模数、齿轮硬度、传动质量等方面。其中的表面温度可以用 T 表示，用来代表变速箱表面温度和外界温度间比值。而震动可以用 V 来表示，主要表示振动位置值、震动速率值及震动加速度值。该数据库还包括了一些干扰传播的外部 and 内在原因，内部条件包括匹配的变速器参数和润滑的环境。

在具体计算时,不仅要知道温差值,也要知道振动的具体情况,这样才能更加准确地进行计算。基于变速器故障数据库,分析影响变速器故障的外部原因还包括:温差 T 、声音 S 、振动 V 和裂纹 D 。与此同时,确定每一个外部因素的修正系数,并确定变速器故障系数 N :

$$N = \frac{aT + bS + cV + dD}{AB} \quad (1)$$

式中: a - 温度和修正系数;

b - 声音和修正系数;

c - 振动和修正系数;

d - 裂纹和修正系数。

其中涉及的初始修正系数 $a=0.01$, $b=0.01$, $c=0.6$, $d=600$ 。在检测声发射过程中可以获得 D 裂纹状况,然后根据监测数据和传输参数确定传输的综合 FR 故障率。

由式(1)可得变速箱齿轮的综合故障率 FR 为:

$$FR = N \times L = \frac{(aT + bS + cV + dD)L}{AB} \quad (2)$$

式中: L - 负荷系数。

在以上的过程中,刚生成的数据将会实时更新到故障数据库里,而且必须要根据维修、维护、检查记录和实际变速器故障来不断更新各种校正系数,以提高连续变速器综合 FR 故障率分析的准确性^[4]。

阶比分析和传统的频谱分析类似,第一步是对信号的采集,通过硬件设备获得角域内的平稳信号,再通过快速傅里叶变换(FFT)就能得到阶比谱,最后对阶比谱进行分析就可以获知变速箱各零部件的运行状态和故障情况^[5]。

而与转速有关联的一些振动信号通过阶比分析后,可以消除和降低速度变化对振动信号产生的实际影响。在变速箱齿轮运转时,可以采集到大量的数据,因此得到的数据与速度有很大关系,同时也会影响振动频率和转速频率。由此可知使用阶比分析法处理齿轮检测问题,具有非常明显的优势。

4 机动车变速箱齿轮故障检测对比实验

为证明上文中提出的故障检测方法具有真实的应用效果,需通过实验验证完成对比分析环节。

4.1 实验说明

此次实验选取本文方法、传统方法以及多分量非平稳信号仿真方法对机械设备故障进行检测,并对三种方法进行对比。

4.2 实验准备

实验时事先准备一个不合格的变速箱,还有一个合格的变速箱,将其作为实验对象;让它们处于四档正向滑行的状态下进行测量;通过可调速电动机控制主轴的转速,使输入轴的转速处于 1600r/min 和 2000r/min 之间,使其在这个区间内不断变化;然后使用 BK3560 分析仪对采集到的信号和振动信号进行检测。

此次实验中,将机动车变速箱齿轮故障设定为设备转子不平衡、设备零件松散以及中控信号异常三部分。

将每种故障训练样本数量设定为 100 组,测试样本数量设定为 50 组,无故障正常运行样本 500 组,迭代计算次数设定为 2000 次。在此实验环境下,进行 5 轮测试,确定每种方法的检测准确率与检测时间,通过对比数据,确定本文方法与其他两种方法在日常应用过程中的差异。且设定传统方法为对比方法 1,多分量非平稳信号仿真方法为对比方法 2。

4.3 实验结果

三种方法对变速箱齿轮故障检测情况、机械设备故障检测耗时的实验结果统计分别见表 1、表 2。

对表 1 中数据进行分析可以看出,在对不同的故障进行分析时,三种方法的检测情况具有明显的差

表 1 变速箱齿轮故障检测情况(检测到为 X; 未检测到为 Y)

故障类型	实验序号	本文方法	对比方法 1	对比方法 2
设备转子不平衡	AS1-01	X	Y	Y
	AS1-02	X	X	X
	AS1-03	X	Y	Y
	AS1-04	X	X	Y
	AS1-05	X	Y	X
设备零件松散	AS2-01	X	X	Y
	AS2-02	X	X	X
	AS2-03	X	Y	Y
	AS2-04	X	X	Y
	AS2-05	X	Y	X
中控信号异常	AS3-01	X	Y	X
	AS3-02	X	X	Y
	AS3-03	X	Y	Y
	AS3-04	X	Y	X
	AS3-05	X	X	X

表2 机械设备故障检测耗时 /s

故障类型	实验序号	本文方法	对比方法 1	对比方法 2
设备转子不平衡	AS1-01	9.43	14.55	15.24
	AS1-02	9.65	17.25	13.35
	AS1-03	9.71	16.27	13.76
	AS1-04	9.19	19.81	12.79
	AS1-05	9.79	16.71	14.15
设备零件松散	AS2-01	9.61	18.72	12.08
	AS2-02	9.48	16.71	12.96
	AS2-03	9.68	15.21	13.86
	AS2-04	9.22	15.82	12.94
	AS2-05	9.19	16.67	12.42
中控信号异常	AS3-01	9.61	18.99	13.97
	AS3-02	9.22	15.62	13.65
	AS3-03	9.14	18.55	13.90
	AS3-04	9.39	17.00	13.41
	AS3-05	9.49	16.25	17.00

异。本文方法可在测试样本基数不同的前提下,较好地完成故障检测,所得结果可靠性较高、准确率很高。且此方法不会受到故障类型的影响,在各种故障检测中均可达到预期的效果。另外两种方法在应用过程中极易受到故障的影响,整体检测结果准确性波动较大,检测结果可靠性不佳,应用效果整体不如本文方法。综合上述实验结果可以确定,本文方法的检测可靠性较高。

从表2中的数据可以看出,在进行变速器齿轮故障检测时,本文方法可以在短时间内完成检测过程,并确定变速器齿轮故障类型,而其他两种方法的故障检测耗时相对比较久。而且对数据进行纵向分析也可以看出,其他两种方法在检测过程中耗时波动较大,而本文方法在检测过程中耗时波动比较稳定,可以为机动车变速器齿轮的维修工作提供优质决策信息。综上所述实验结果可以确定,本文方法具有更

高的应用价值。

5 结语

我国的故障检测技术与西方国家存在一定差距,而实时智能故障诊断是未来汽车制造业的研究热点。本文主要研究了阶比分析方法在变速器故障诊断中的应用,提出了阶比跟踪计算的具体思路,还对信号采样过程和采样频率设置进行了研究。最后,通过实验获得阶谱,比较合格和不合格变速器的阶谱,成功地识别了故障类型和变速器的位置,验证了阶比分析方法应用于非平稳信号处理的可能性。阶比分析在诊断齿轮箱运行产生的不稳定信号方面具有一定的优势,是一种非常有效的检测技术。

参考文献:

- [1] 袁荷伟,李高磊,袁黎,等.基于LF-GWO优化FKCA模型的齿轮箱故障诊断研究[J].机械设计与制造,2023(04):239-242.
- [2] 杨瑞博,王建国.无转速计阶比分析在电机轴承故障诊断中的应用[J].内蒙古科技大学学报,2022,41(03):264-268.
- [3] 王冰,魏志恒,王文斌,等.基于同步压缩变换的阶比分析法在城市轨道交通车辆轴承故障诊断中的应用[J].城市轨道交通研究,2021,24(07):30-35.
- [4] 全军令,李占芳.阶比分析在矿井提升机齿轮箱故障诊断中的应用[J].煤矿机械,2021,42(05):172-174.
- [5] 吴康福.基于同步提取变换与阶比分析的轴承变转速故障诊断[J].组合机床与自动化加工技术,2021(04):14-18.

作者简介:薛华(1974.10-),男,汉族,浙江嘉兴人,本科,工程师,研究方向:机动车检测。