

凸轮轴磨削棱面数字化测量方法的研究与探索实践（上）

神龙汽车有限公司 （湖北襄樊 441003） 叶宗茂

凸轮表面磨削棱面是凸轮磨削加工中最常见又最难排除的质量缺陷之一，它来源于磨削系统的振动，砂轮与凸轮产生时重时轻或断续的磨削与接触，在凸轮表面留下的一道道不均匀的磨削或接触痕迹，俗称磨削棱面，专业名称叫振纹，是零件表面的一种质量缺陷。

若磨削系统内存在振动，磨削深度越小，零件表面的振纹越明显，振源不同，振纹的特征也不同。通常有两种振纹对凸轮轴的功能影响最大，一种是在凸轮表面形成的轴向多边形棱面，深而宽，手感很明显，如图1所示，肉眼很容易识别，这种振纹叫“小棱面”；另一种是在凸轮表面呈现轴向白线条，浅而窄，手感不明显，如图2所示，肉眼很难识别，给人的感觉是时隐时现，很不明显，这种振纹叫“颤痕”。这两种凸轮表面缺陷都会给发动机功能带来影响，增加了发动机的噪声，严重时，会使发动机在高速运转过程中产生“哨声”和“啸叫”，影响汽车驾驶的舒适性，造成整车的质量缺陷。

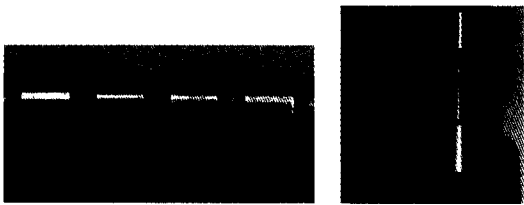


图1 棱面比较明显的凸轮表面

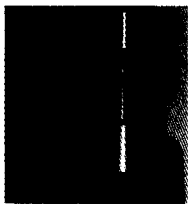


图2 棱面不明显的凸轮

因此，国际上各大汽车企业对凸轮表面的“小棱面”和“颤痕”的质量控制都非常严格，大多数企业为了避免用户退返，采取100%的目视检查来防止有“棱面”的和有“颤痕”的凸轮轴流入到装配。这不仅增加了质量控制成本，而且漏检的风险仍然存在。企业应采取一些积极预防性措施来防止

凸轮轴磨削过程中产生“棱面”和“颤痕”。要从源头消除磨削振纹的产生，这才是提升产品质量的关键。

一、凸轮表面“棱面”和“颤痕”检查目前存在的问题

凸轮表面“棱面”和“颤痕”实质就是凸轮回转表面因磨削不当而在其表面形成的一种微观结构，就频率而言，它们介于高频的表面粗糙度和低频的形状误差之间，属于“圆周波纹度”范畴。经验表明，此时的频率约在45~350UPR之间，具体说，“棱面”发生的频率在45~75UPR，“颤痕”发生的频率在75~350UPR。

凸轮表面磨削振纹检查不同于常规的几何参数，如尺寸公差、角度公差、形状和位置公差、表面波纹度及表面粗糙度等几何量参数检查。这些几何量参数都有国际标准或国家标准来定义，有一定的公差等级和具体的界限值，全球都执行这个标准，同时有全球认可的检测标准或检测规范，有大量的通用检测设备或专用检测设备来测量，按标准执行，很容易控制。凸轮表面振纹也不同于常规的功能参数，如泄漏量、容积及功率等。这些功能参数都有行业标准或企业标准来规范，大多数企业都积累了大量的经验值和具体的判定标准，有一系列的检测规范和专用检测设备，汽车行业都执行类似的规范，或者借鉴这个规范再根据自身企业实际制定本企业规范，也容易控制。无论是几何参数还是功能参数都有量化的标准，但凸轮表面振纹控制，目前还没有量化标准，更没有行业标准和国际标准，仅有的是一句定性描述——“凸轮表面不允许有棱面存在”，目前没有一家产品图样或工艺图样

能够给出一个定量标准,更没有专用检测设备来检测,大多数企业都是依靠人的感官来定性判断,这就给凸轮表面棱面的符合性判定或控制带来了一定的不确定性,而且很容易引起争议,造成制造成本的增加,同时给产品质量控制带来了风险。目前凸轮表面“棱面”和“颤痕”控制存在的最大问题就是没有量化的判断标准,缺少专用的检测设备和检测分析方法,可以借鉴的应用案例较少。

因此,研究探索凸轮表面棱面的量化标准和检测分析方法有一定的现实意义,对提升发动机性能具有积极的推动作用。

二、凸轮表面棱面目视检查法简介

目前,绝大多数汽车制造企业检测凸轮表面“棱面”和“颤痕”的方法是采用目视定性检查法,具体检查方法有三种:第一种方法是直接拿一根凸轮轴在白光下观察每个凸轮表面一周是否有沿轴向方向上的直线白条纹,如果看不出就认为零件无棱面,或者用手沿凸轮周向凸轮表面方向上感触,如果感触不到棱角的存在,就认为凸轮没有棱面;第二种方法是用一根没有棱面或者是棱面高度较浅不影响零件使用功能的零件作为样件,将被检测的零件与样件做比较在白光下观察或用手触摸,被测凸轮表面棱面感觉不超过样件棱面感觉的认为合格;第三种方法是采用着色法检查,就是在凸轮表面涂红丹粉或绿丹粉,然后用一个液压挺杆或摇臂放在凸轮表面上且施加一定的力,旋转凸轮一周或数周后,观察凸轮表面的涂红丹粉或绿丹粉是否呈现很明显的白色条纹。如果有,说明凸轮表面有棱面;如果没有,说明凸轮表面没有棱面。另外,用这种检查方法如果发现有白色条纹,还可以数出棱面数量。如果数量低于50个,一般认为是不可以接受的棱面;如果数量大于50个,认为不影响零件功能,可以接受。

以上三种棱面的目视检查方法在凸轮轴制造企业广泛使用且具有一定的判断能力,尤其对于磨削系统低频率震动产生的较宽、较深的棱面判断效果非常明显,但对于磨削系统高频震动产生的“颤痕”就无能为力了。这些高频振纹,如果振幅较大,同样可能在发动机高速运转过程中产生噪声,因此对高频振幅也应该进行有效控制,给出一定的

界限值。一旦超出这个界限值,就应该及时调整磨削系统的震动,将其控制在一个合理的范围。但问题是如何检测出这些高频振纹的振幅呢?

三、凸轮表面棱面高度测量方法探索

1. ADCOLE 振纹分析软件的功能简介

自动化凸轮轴检测设备制造商美国ADCOLE公司近年来根据用户的需求开发出了一款凸轮轴颤动分析软件,是目前分析凸轮轴棱面和振纹高度较成熟的一种振纹分析方法,其原理就是利用谐波分析原理,使用“快速傅立叶变换”算法将凸轮表面图形还原成一系列频率的波形并计算每一个波形的最大幅值,用户通过对一组谐波最大幅值的分析判断,确定零件运转过程是否会产生噪声,进而判断零件棱面和振纹的符合性,对零件质量实施监控。

ADCOLE颤动分析软件提供了三种颤动分析方法:标准方法、可选方法、标准方法加上去除在区域1开始UPR的80%UPR数据,三种颤动分析方法通过指令197来选择。

(1) 标准方法 计算在规定角度(根据指令192)内数据的离散富利叶变换(DFT)。变换长度等于每转的数据点数(N),该变换经过标准化,即给定频率(每转的波动)的正弦波一个单位振幅,将产生在该频率的一个单位的富利叶系数振幅,然后在整个规定的区域编号上确定富利叶系数的最大振幅,例如:10~50、50~150、150~500 UPR。

(2) 可选的方法 用快速富利叶变换(FFT)的幂,代替N长度的DFT。此外,最小二乘线用所选的数据构建后从原始数据中减去,然后在整个规定的区域编号上确定富利叶系数的最大振幅,例如10~50、50~150、150~500 UPR。

(3) 标准方法加上去除在区域1开始UPR的80%UPR数据的方法 该方法具体指用标准方法还原UPR数据,同时去除80%的UPR数据,这些数据低于区域1UPR的开始角。

下面我们通过一个凸轮轴检测实例分别用三种颤动分析方法分析凸轮表面振纹,观察三种分析方法有什么差异,以明确我们在实际应用中如何选择合理的颤动分析方法。如图3所示,这是一张被测零件的凸轮升程型线误差图形,从这个标准凸轮轴

