

扭振应力测量装置标准化设计研究

陈得民¹ 谷扬²

(1 北京必创科技有限公司 北京 100085 2 北京市计量检测科学研究院 北京 100029)

摘要:标准化是进行产品开发、技术改造、确保产品质量以及提高产品市场竞争力的重要途径。目前,尚无线扭振应力测量装置产品标准,故给该装置的设计带来一定的不确定性。本文在充分研究扭振测量原理、应用以及国内外相关电子产品规范基础上,提出了无线扭振应力测量装置标准化设计要求,基于此,设计开发了一套便携式无线扭振应力测量仪,对其原理和应用作了介绍。本文的论述,为无线扭振应力测量仪开发人员提供了重要的设计依据,对扭振应力测量工程人员具有重要的指导意义。

关键词:无线扭振应力测量仪 标准化 扭振

1 引言

扭振广泛存在于各种回转轴系中,如内燃机曲轴、发电机、齿轮传动链等。扭转振动本质上是由于转子存在弹性,在以平均速度的旋转过程中,各弹性部件间会因各种原因而产生不同大小、不同相位的瞬时速度起伏,形成沿旋转方向的来回扭动。这种振动形式将引起材料内部的切向交变扭应力。若扭动幅度过大,剪切应力超过弹性限度,材料就会产生疲劳积累,当疲劳积累到寿命时材料就会开始出现裂纹,裂纹逐渐发展,终将导致材料断裂的恶性事故。对轴系扭转振动的测量分析,可以得到机器工作性能和轴系受力情况等重要信息,作为机械设计的依据和评价依据,还可以对机器的运行状态进行检测,成为故障诊断的重要手段。

目前,扭振测试装置按工作原理可分为:数字式电测扭矩仪、模拟式电测扭振仪(含激光扭振仪)、扭振应力测量仪、机械式扭振仪。数字式电测扭矩仪、模拟式电测扭振仪和机械式扭振仪,其扭振信号与对应的角振幅成线性关系,通过测量角速度的不均匀性而达到测量扭转振动的目的。扭振应力测量仪,其扭振信号与对应的应力成线性关系,通过测量剪应力的不均匀性而达到测量扭转振动的目的。虽然这些扭振测试仪器已经实际应用于工程试验,但由于其不同原理,性能、价格及使用方便程度都不一样(见文献[1~3]中相关论述)。

相比较,通过应变片测轴的扭转变形来计算

扭振比较方便,但该方法存在一个关键技术难点,即信号传递问题(见文献[4~5]相关论述)。此外,由于大部分转子工作在高温下,粘贴应变片时,良好的绝热保护是关键的一环。

基于应变片技术测扭振,文献[6]创立了一种测量转子扭转振动的新方法。该方法通过设计专门测扭装置直接提取和分析由转子扭振转化的动应变信号从而获知转子扭振特征,并利用电阻应变计的空间对称结构,实现了信号的加强、补偿以及多通道冗余功能。但该方法不是直接在轴系上粘贴应变片方式,而且该系统安装不方便,不能同时测量转速。

随着近年来高温应变片的设计以及无线传输技术的发展,扭振应力测量技术瓶颈得到解决,但是,目前市场上仍鲜有无线扭振应力测量仪。鉴于此,笔者查阅了大量的扭振测量相关技术规范及资料、无线电子产品技术规范、应变测量仪规范以及工程实际扭振测量技术要求等,在此基础上,对扭振应力测量装置标准化设计提出了明确的设计要求,并结合实际工作,研究设计了无线扭振应力测量装置,本装置已被708所使用,效果良好。本文的论述,对工程扭振测试人员、扭振测量装置设计人员具有重要的参考价值。

2 相关国家技术规范解读

目前,国内没有关于无线扭振应力测量装置的国家及行业标准。针对扭振测量仪,1992年国家制定了国标GB/T13436-1992《扭转振动测量仪器技术要求》,但未将无线扭振应力测量仪列入

其中。2008年,国家对扭振测量仪标准进行了更新,制定了GB/T13436-2008《扭转振动测量仪器技术要求》[7],增加了扭振应力测量仪及其技术要求,但该标准并未将扭振应力测量仪单独列出对其设计要求做出详细的说明。船用标准、国家标准和ISO标准等规定:凡功率大于150hp的内燃机扭转振动计算和测量资料必须提出审批,当扭转振动超过规范值时,不允许出厂。

2.1 计量性能要求

GB 6299-1986《船用柴油机轴系扭振测量方法》[8]中要求,测量装置的测频范围一般为(1~600)Hz,如果测量仪器的频率范围不足,则必须满足测量信号中主谐波或副谐波频率要求,其频率响应平直部分的允许误差为 $\pm 10\%$ 。GB/T13436-2008中规定,扭振应力测量仪的测频范围为(0~1000)Hz,并在可使用量程范围内,扭振信号的输出量与其对应的应力成线性关系,当非线性偏差大于 $\pm 3\%$ 时,按动态校验确定的特性线进行换算。

2.2 其他技术要求

在GB/T13436-2008中,对扭振测量装置的制作要求,试验要求,使用要求以及标志、包装、运输和存储做了规定。要求扭振应力传感器能准确显示出扭矩及转速,能满足一般电子产品环境试验要求,使用时,应变片粘贴准确,并具备温度补偿。

3 无线扭振应力测量装置的标准化设计

3.1 无线扭振应力测量装置原理

本文研究设计了一种便携式无线扭振应力测量仪,依此对扭振应力测量仪的标准化设计进行论述。本文设计的无线扭振应力测量仪即可以测量扭应力,同时集成了转速测量功能,可以准确的测量出转速。其整体结构如图1所示,实线框内是传感器,虚线部分是外置部分[9]。

在传动轴上粘贴上专用的测扭应变片,并组成应变桥路,即为基础扭应力测量端。向应变桥路提供稳压电源,做为激励源。当轴发生转动时,应变桥路阻值发生变化,将导致测试端电压变化,数据采集电路采集测试端的电压信号,并将电压信号转换为扭应力值。

将一块永久磁钢固定在传动轴旁,在传动轴上固定扭振应力测量装置,将带霍尔元件的一端靠近永久磁铁端,轴旋转时,磁体通过霍尔传感器位置,霍尔元件受到磁钢所产生的磁场影响,传感器输出一个峰值为20mV的脉冲电压,该电压经运算放大器放大后驱动半导体三极管,使之完成导通、截止过程。将CPU接于半导体三极管输出端进行计数[10]。

扭振应力测量装置集成了无线通讯模块,将测得的扭应力值及转速值发送到上位机数据测试系统,无线的传输使得扭振应力测量得以实现,同时使得整个测量系统具有很高的测量精度和很强的抗干扰能力。

3.2 标准化设计

3.2.1 计量性能要求

3.2.1.1 测频范围要求

通过2.1节相关国家规范的研究可知,扭振应力测量仪的测频范围为(0~1000)Hz。如果一转轴转速为6000/rmp,则其基频大概为100Hz,按船级社规定,对扭振信号分析,高频要分析到十几阶次以上,特殊情况下,要达到二十阶次,这样,用于该转轴扭振测试的装置其测频范围需要1kHz以上。根据扭振测量原理可知,如果扭振仪测频范围越高,扭振分析越精确。同样,对于低速旋转轴,其基频较低,对扭振信号分析,要分析到半阶次,如果扭振仪低频测量不准,则在低速转轴上不能使用。

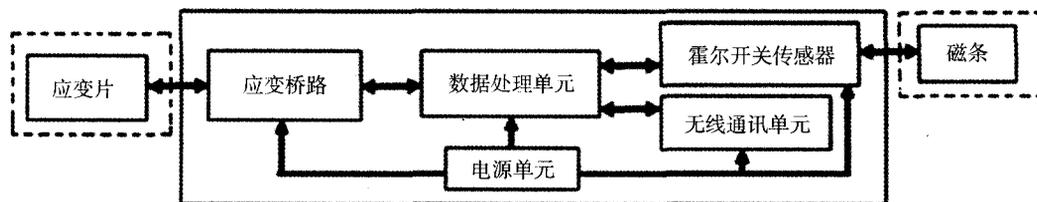


图1 无线扭振应力测量仪原理图

综上所述, 常规旋转轴扭振测量应用, 扭振仪测频范围可遵循国标GB/T13436-2008规定的0Hz~1000Hz, 但针对一些高速转轴扭振测量或特殊需要扭振信号高阶次分析领域, 扭振应力测量仪测频范围需要根据实际需要设计。

3.2.1.2 扭应力准确度要求

目前, 尚无国标及行标对扭振测量仪扭应力量程作明确的规定, 只对频率测量范围有要求。根据工程实际应用, 一般扭振应力测量仪可用量程都是固定的, 但在不同应用场合, 实际被测应力不同, 在很多比较粗的轴上, 应力较大, 如果应用不当, 将会出现超量程或准确度不够等问题。

根据扭振应力测量仪原理可知, 在不同轴的不同粗细测点处, 都可以粘贴应变片进行测量, 其工作原理和无线动态电阻应变仪测量系统相同。北京必创科技企业标准Q/HDBC1001-2011对动态应变仪准确等级做了明确的规定[11]。

扭矩传感器按工作原理可分为多种, 直测式电阻应变式扭矩传感器和动态电阻应变仪原理等同。关于扭矩测量仪, JJC769-2009扭矩标准机检定规程[12]中第4.6节对扭矩标准机扭矩值误差做了规定。机械行业标准JB/T6876-1993扭矩转速传感器[13]中第3.1节对扭矩转速传感器的规格做了统计, 第3.2节中对转速变化引起的转矩误差做了规定。

基于电阻应变式扭振测量仪与动态电阻应变仪、电阻应变式扭矩测量仪原理的相同性, 借鉴其相关标准要求, 我们可以对扭振应力测量仪应力准确度做出规定。在可用的应力测量量程内, 为了保证测量准确性, 扭振应力测量仪的扭应力准确度应符合表1要求。

3.2.1.3 转速要求

在扭振分析时, 需要将转速作参照, 所以扭振应力测量仪在输出应力时需要同时输出转速, 国家标准GB/T13436-2008也有规定, 但该标准没有对转速作具体规定。转速测量方法有多种, 但

适合集成在扭振应力测量系统中同步测转速的, 最常见、最方便的测速装置还是本文3.1.2节设计的霍尔转速传感器。针对转速测量系统, 国家计量检定规程JJG105-2000转速表[14]对各种类型的转速表做了规定, 但未对霍尔式转速传感器作出规定。根据霍尔转速传感器原理可知, 处理器时钟频率越大, 转速量程及测量精度也较大。

JJC924-2010转矩转速测量装置检定规程[15]根据转矩转速测量装置不同准确度等级对其转速示值误差做了要求。综合考虑扭振测试仪实际应用, 在可用的转速测量量程内, 为了保证测量准确性, 扭振应力测量仪的转速示值误差应满足 $\pm 0.2\%FS$ 。

3.2.2 采样率要求

通过3.2.1论述可知, 一般扭振应力测量仪最高测频可达1000Hz, 则根据Nyquist采样定律可知, 该扭振仪采样率至少是2560 Hz。但在工程实际应用中, 为了保证数据精度, 采样率一般都是最高测频值的3倍以上, 即按最高测频值1000Hz计算, 扭振仪采样率至少3kHz以上。采样率越高, 扭振分析频率上限及阶次分析上限越高。

3.2.3 传输率要求

传输率是根据采样率而定, 采样率越高, 数据传输率要求也越高。对于采样率较高, 而受无线传输技术传输率的限制, 无法实时将数据传出来的扭振仪, 可采用离线时技术, 即将采集的数据进行存储, 进行离线分析。通过3.2.2论述可知, 按国标GB/T13436-2008相关规定, 对应的扭振应力测量仪的有效数据传输率至少在3ksp/s ($1\text{sp/s}=2\text{Byte/s}$) 以上。

3.2.4 无线通信技术要求

通过上述各小节论述知道, 目前还没无线式扭振测量仪相关的标准, 而无线技术是实现直测式扭振应力测量的关键技术。作为无线部分, 除了3.2.3传输率的要求外, 还必须满足国内工信部无(2005)423号关于发布《微功率(短距离)无线电设备的技术要求》的通知要求和国际ETSI

表1 无线扭振应力测量仪扭应力准确度

示值误差	非线性误差 (FS)	标称值误差	衰减误差	信噪比
$\pm (1.0\%red+5Pa)$	$\pm 0.2\%$	$\pm (1.0\%red+2Pa)$	$\pm 1.0\%$	$\geq 30dB$

EN 300 328中R&TTE指令要求[16,17]。具体包括EIRP有效全向辐射功率,最大功率谱密度,频率范围,发射机杂散,接收机杂散。以无线传感器网络常用的射频2.4GHz为例,其限值分别如下。

- (1) 有效全向辐射功率不超过-10dBW (100mW)。
- (2) 功率谱密度最大限制值不超过10dBm。
- (3) 工作频带宽度为:2400 MHz~2483.5 MHz。
- (4) 发射机杂散限值作如表2和表3要求:
- (5) 接收器杂散限值作如表4和表5要求:

表2 发射机窄带杂散发射限制

Frequency range	Limit when operating	Limit when in standby
30 MHz to 1 GHz	-36 dBm	-57 dBm
above 1 GHz to 12,75 GHz	-30 dBm	-47 dBm
1,8 GHz to 1,9 GHz	-47 dBm	-47 dBm
5,15 GHz to 5,3 GHz		

表3 发射机宽带杂散发射限值

Frequency range	Limit when operating	Limit when in standby
30 MHz to 1 GHz	-86 dBm/Hz	-107 dBm/Hz
above 1 GHz to 12,75 GHz	-80 dBm/Hz	-97 dBm/Hz
1,8 GHz to 1,9 GHz	-97 dBm/Hz	-97 dBm/Hz
5,15 GHz to 5,3 GHz		

表4 接收器窄带杂散发射限值

Frequency range	Limit
30 MHz to 1 GHz	-57 dBm
above 1 GHz to 12,75 GHz	-47 dBm

表5 接收器宽带杂散发射限值

Frequency range	Limit
30 MHz to 1 GHz	-107 dBm/Hz
above 1 GHz to 12,75 GHz	-97 dBm/Hz

3.2.5 其它性能要求

无线扭振应力测量仪不仅属于无线电子产品也属于计量器具产品,除了满足上文提到的计量性能要求和无线射频性能的要求外,还必须满足一般电子产品的气候环境适应性要求、电磁兼容性要求、产品使用、产品标志、包装、运输和存储的要求。这些要求可参考GB/T13436-2008扭振测量仪器技术要求。

4 产品应用

通过对相关标准的研究,在其要求基础上,北京必创科技研究开发了一款无线式扭振应力测

量仪,该产品已经在上海708所得到应用。

将应变片粘贴在螺旋桨轴上,无线扭振应力测量系统直接可以测得轴的扭应力历时曲线。通过FFT对每个转速下的扭矩信号进行分析,可以得到不同谐波下不同转速对应的扭矩值。详细测量过程及效果见文献[18]描述。需要说明的是,由于受采样率及扭应力测量范围限制,该扭振测量仪适用于低速、低功率旋转轴的稳态信号测量,具体应用,需专业技术人员指导。

5 总结

标准化是进行技术开发、技术改造、确保产品质量、提高市场竞争力的重要途径。目前,还没有无线扭振应力测量装置相关标准,本文在充分研究扭应力测量系统原理基础上,参阅相关标准,对无线扭振应力测量装置的标准化要求进行详细的论述,同时开发了一种便携式无线扭振应力测量仪。该仪器在实际工程中得到应用,并取得良好效果。本文的论述为无线扭振仪的开发提供了技术性指导。

参考文献

- [1] 段国芳,苗岩松. 国内外扭矩测试方法综述[J]. 测试技术学报, 1997,12(4):44-47.
- [2] 郭力. 轴系扭转振动测量方法评述[J]. 磨床与磨削, 2000(3):53-56.
- [3] 廖明夫,段曙光,李颖峰. 转子扭转振动测量的新方法[J]. 航空学报, 2006,27(3):525-530.
- [4] 李玩幽. 利用扭振信号诊断动力装置轴系裂纹. 博士后学位论文. 上海交通大学, 2004.
- [5] 段曙光. 转子的扭振及其测量技术. 硕士学位论文. 西北工业大学, 2005.
- [6] 廖明夫,段曙光,李颖峰. 转子扭转振动测量的新方法[J]. 航空学报, 2006,27(3):525-530.
- [7] GB/T13436-2008《扭转振动测量仪器技术要求》.
- [8] GB 6299-1986《船用柴油机轴系扭振测量方法》.
- [9] 陈得民. 无线扭矩&转速传感器在传动轴测试中的应用[J]. 传感器世界, 2012,03: 31-33
- [10] 邵显涛,陈明,李俊. 基于霍尔传感器电机转速的单片机电量[J]. 研究与开发,2008,27(10):20-31.
- [11] Q/HDBC1001-2011无线电阻应变仪.
- [12] JJG769-2009扭矩标准机检定规程.
- [13] JB/T6876-1993扭矩转速传感器.
- [14] JJG105-2000转速表.
- [15] JJG924-2010扭矩转速测量装置检定规程.
- [16] ETSI EN 300 328 V1.7.1-2007 电磁兼容性和无线光谱物质(ERM); 宽带传输系统; 运行在2.4 GHz ISM频段使用宽带调制技术的数据传输设备; 在R&TTE导则第3.2章下调和EN的基本要求.
- [17] 信部无(2005)423号 关于发布《微功率(短距离)无线电设备的技术要求》的通知.
- [18] 张俊辉,罗银生,肖万猛. 扭振测量方法及新型扭振测试系统研究[J]. 传感器世界, 2012,18(12):22-25.