浅谈空心车轴超声波探伤方式不同结果的差异

Talking about the Difference of Different Results of Ultrasonic Flaw Detection Methods of Tubular Axle

薛清涛

Qingtao Xue

智奇铁路设备有限公司
中国·山西 太原 030032
Zhiqi Railway Equipment Co., Ltd.,
Taiyuan, Shanxi, 030032, China

【摘要】论文介绍了空心车轴超声波探伤方式不同导致探伤结果不同的原因,讨论了车轴进行径向超声波探伤时,应考虑钻孔前扫查外表面和钻孔后从钻孔表面扫查的试验结果之间可能存在差异。在车轴新造和运用过程中,会出现各种缺陷,其中不乏危害性缺陷,这些缺陷应及时发现并制止,避免给铁路运输安全带来事故隐患。因此,加强空心车轴的无损检测是确保动车组运行安全的重要技术措施。

【Abstract】This paper introduces the reasons for the different inspection results of tubular axle due to the different ultrasonic inspection methods, and discusses the possible differences between the inspection results of the outer surface of axle before drilling and that of the surface after drilling should be considered when conducting radial ultrasonic inspection of axle. In the process of axle new build and use, there will be a variety of defects, some of which are harmful defects, these defects should be found and stopped in time, to avoid the railway transport safety accident hidden trouble. Therefore, strengthening the nondestructive testing of tubular axle is an important technical measure to ensure the safe operation of emu.

【关键词】空心车轴;超声波探伤;内部材质缺陷;工艺方法

【Keywords】tubular axle; ultrasonic flaw detection; internal material defect; process method

【DOI】10.36012/etr.v2i4.1679

1 情况简介

空心车轴是动车组最重要的受力部件之一,它把动车组的车辆载荷通过车轮传递给钢轨,并通过轮对在钢轨上转动和制动来完成动车组的运行,因此动车组质量情况直接影响着动车组的行车安全。在车轴新造和运用过程中,会出现各种缺陷,其中不乏危害性缺陷,这些缺陷应及时发现并制止,避免给铁路运输安全带来事故隐患。同时,车轴的设计使用寿命是很长的,实际运用过程中不可避免会产生偶发性故障,在多数应力集中的部位,因技术工艺问题(如错误的维修方法)或者恶劣运用条件(如大面积腐蚀或者道砟冲击损伤)造成的缺陷,其裂纹的形成及扩展形式都是不可预计的。因此,加强空心车轴的无损检测是确保动车组运行安全的重要技术措施。

空心车轴探伤主要检测三类缺陷,一是内部材质缺陷,二是轮对组装部位的拉伤缺陷,三是未外露表面的横向疲劳缺陷,在此主要以检测内部材质缺陷为例。

空心车轴从车轴内外表面探伤方式近似于曲面的反射和透射,如果平面波入射到介质 I 和另一介质 II 之间的曲界面

(球面或柱面)上,如图 1 所示,那么只有垂直入射的声线才能不改变角度地反射和透射。偏离轴线的声线则按某一角度反射和折射,声线离轴线愈远该角度愈大,此时声束将会聚焦或发散,如同凹面镜或透镜产生的光学现象一样。平面波入射至凹界面和凸界面是的反射也不相同,对于球凹界面反射后将会聚于一个焦点上,对于球凸界面,则声束反射后将是发散的。

图 1 平面波入射至曲界面时的反射和折射

探头置于外圆周径向检测空心圆柱体, $\chi \geq 3N$,类似于球面波在凸柱面上的反射,探测面为凸面,虚焦点在车轴的外面。如图 2 所示,声波在轴内是发散的,声场单调变化,但声波

能穿过车轴的整个横截面,因此没有盲区,但回波声压低于同距离大平底面回波声压。探头从置于圆柱体内侧,从内孔检测圆柱体,类似于球面波在凹柱面上的车轴的内孔表面进行探伤时,探测面为凹面,如图 3 所示,不仅存在这盲区,而且声波在轴内会自然产生聚焦现象,回波声压大于同距离大平底面回波声压,轴内声场不再是均匀的,也不单调。

图 2 从外表面检测

图 3 从内表面检测

2 车轴超声波探伤工艺简介

按照 ISO 5948 标准,对于空心轴,制造商可选择在钻孔前或钻孔后进行径向超声波探伤。如果制造商选择在钻孔前进行试验,应考虑钻孔前扫查外表面和钻孔后扫查钻孔表面的试验结果之间可能存在差异。以车轴号 L E1601076 0057 探伤检测结果为例。

2.1 从外表面检测工艺

钻孔前,应在热处理之后、精加工之前要进行内部完整性探伤。我司采用 BLC-8Z 型车轴水浸超声波机,该设备以车轴外圆面为扫查面对车轴实施径向超声波自动探伤,该设备含有 8 个通道,探头类型为 4P20Z 纵波直探头。水浸超声波探伤法是将探头放入水中,其发射超声波将会产生多次水界面反射波,同时被探物体也产生反射波,由于超声波在水中和钢中的传播速度不同,通过调整探头与被探物体间的水层厚度,使被探物体的底波位于二次水界面反射波前,缺陷波可在一次水界面波和底波之间产生。由于水浸探伤克服了超声波探伤的盲区,使盲区被淹没在始波和一次水界面波之间,因而提

高了探伤灵敏度,因探头与工件不直接接触,因而它具有探头不易磨损,声波的发射和接收比较稳定等优点。但是,水浸法所用的水是干净的,否则对声波会有大的衰减,换新水时试件和探头表面可聚焦气泡,这不会使灵敏度降低,还可以在意想不到的地方产生反射脉冲。一般解决办法利用水的特性吹入热空气将水温加热到 60°以上使过饱和空气溢出后冷却使用。水与周围空气存在温差时会因对流而使回波不稳,水中声速与水温的关系如表 1 所示。当被检物体直径小于 150mm 时,探头的平面与棒材表面因曲率相差较大,实际接触面减小,有时甚至会达到线接触状态。探头与被检物体间耦合不好会使入射波和反射波损失较大且不稳定,以致难于准确判断物体中的缺陷。

表 1 水中声速与水温的关系

水温/°C	水中声速/(m/s)
10	1450
20	1480
30	1500
40	1550

BLC-8Z 型车轴(水浸)超声波自动探伤机探测 L E1601076 0057 车轴,该车轴距轴端 610mm 齿轮座处有一个缺陷,缺陷深度 50mm,缺陷当量为 $\varphi 2\text{mm}-1.5\text{dB}$,标定波形如图 4 所示,实物车轴缺陷波形如图 5 所示。

图 4 标定波形及实物车轴缺陷波形

图 5 标定波形及实物缺陷波形

2.2 从深孔表面检测工艺

钻孔后,应在成品车轴或者组装成轮对进行超声波探伤。我司采用 GILADONI 空心轴超声波探伤机,该设备以车轴深孔面为扫描面对车轴实施径向超声波自动探伤,该设备含有 7 个通道,径向检测探头类型:4MHz-10mm×6mm 双晶直探头,GILARDONI 空心轴超声波探伤机以脉冲反射直接接触法在车轴的内孔表面对车轴进行超声波探伤,直接接触法是采用双晶直探头将声束垂直入射工件探伤面进行探伤的方法。由于该法是利用纵波进行探伤,故又称纵波法。当直探头在工件探伤面上移动时,经过无缺陷处探伤仪示波屏上只有始波和底波。若探头移到有缺陷处,且缺陷的反射面比探头的声束角度小时,则示波屏上出现始波、缺陷波和底波。若探头移至大缺陷(缺陷比探头的声束角度大)处时,则示波屏上只出现始波和缺陷波。

车轴的内部材质缺陷绝大多数是冶炼锻造过程产生的非金属夹杂物,因此应按照产品交货条件和相关超声波探伤标准进行探伤。车轴的内部完整性超声波探伤采用脉冲反射法,缺陷当量大小评定和质量评判标准采用平底孔当量法,即缺陷的最高回波高度与同声程已知参考反射体的回波高度比较,若两者相等,则缺陷当量大小表示为已知反射体的当量尺寸。例如,选择与声束轴线垂直的 $\varphi 2\text{mm}$ 平底孔作为参考反射体,若某缺陷的最高回波高度等于同声程 $\varphi 2\text{mm}$ 平底孔的回波高度,则称该缺陷当量大小为 $\varphi 2\text{mm}$ 平底孔当量。

GILARDONI 空心轴超声波探伤机探测 L E1601076 0057 车轴(该车轴已按照要求进行加工),探测结果为距轴端 460mm 发现一处缺陷,缺陷深度 44mm,缺陷当量为 $\varphi 2\text{mm}-11.5\text{dB}$;经计算缺陷位置与之前的位置相吻合,但当量不同。具体标定波形如图 6 所示,实物缺陷波形如图 7 所示。

3 实际应用

钻孔前,使用水浸探伤设备(型号 BLC-8Z,探头型号为 4P20Z,使用 DAC 方法进行缺陷当量评估),探头置于外圆周径向检测空心圆柱体在车轴外圆表面进行探测;钻孔后,使用空心轴超声波探伤机(型号为 3ISD4200;双晶探头型号为 4MHz-10mm×6mm;使用 DAC 方法进行缺陷当量评估),探头置于圆柱体内侧,从内孔检测圆柱体,同一根车轴使用不同的方法检测结果,如表 2 所示。

表 2 缺陷比对

轴号	钻孔前外圆表面检测探伤结果	钻孔后内孔检测探伤结果	备注
L E1601076 0057	$\Phi 2\text{mm}-11.5\text{dB}$	$\Phi 2\text{mm}-11.5\text{dB}$	—

图 6 标定缺陷波形

图 7 实物缺陷波形

从缺陷比对的结果来看,探伤结果差异很大,因车轴的直径很小、缺陷取向不同、缺陷形态不同、曲率不尽相同,所以外部探测的缺陷当量与内部探测的缺陷当量有差异,但超声波探伤的结果还须考虑人员的综合素质。

从标准来看,对于空心轴,制造商可选择在钻孔前或钻孔后进行径向超声波探伤检测。如果制造商选择在钻孔前进行试验,应考虑钻孔前扫描外表面和钻孔后从钻孔表面扫描的试验结果之间可能存在差异,如何处理可能存在的差异应在询价和订货时商定,并签订相关的技术文件。

从探伤时机来看,应该按车轴的加工流程进行:毛坯径向超声波探伤→深孔加工→端面加工→粗车→精车→磨削→磁粉探伤→深孔超声波探伤,这样可以逐步筛查,进行双重保护,确保产品的质量。

4 结语

车轴外表面探测虚焦点在车轴的外面,声波在轴内是分散的,声场单调变化,但声波能穿过车轴的整个横截面,因此没有盲区。车轴内表面探测不仅存在盲区,而且声波在轴内会自然产生聚焦现象,轴内声场不再是均匀的,也不单调。空心轴,可选择在钻孔前或钻孔后进行径向超声波检测;但探伤时机不同试验结果之间可能存在差异。探伤时机建议按照车轴加工流程,逐步筛查缺陷,进行双重保护,确保产品的质量。