

# 机车车轮轮缘探伤方法及定量标准的探讨

王家玉<sup>1</sup>,王志希<sup>2</sup>

(1. 南宁铁路局柳州机务段,柳州 545007;2. 柳州职业技术学院,柳州 545006)

**摘要:**针对机车车轮轮缘形状的特殊性,对机车车轮轮缘部位的探伤方法进行了探索,研制了轮缘周向缺陷及纵向缺陷探伤对比试块,研制了相应的 WM2R 型双晶纵波探头和双晶双向扫查横波斜探头;利用数字式超声波探伤仪制作波幅-当量曲线,提出了确定轮缘缺陷当量方法,在应用实践中得到了验证。

**关键词:**轮缘探伤;方法及缺陷当量;机车车轮;波幅-当量曲线

中图分类号: TG115.28 文献标志码:A 文章编号:1000-6656(2013)01-0051-05

## Investigation of Nondestructive Testing Methods and Quantitative Criterions for the Flange of Locomotive Wheel

WANG Jia-Yu<sup>1</sup>, WANG Zhi-Xi<sup>2</sup>

(1. Liuzhou Locomotive Depot of Nanning Railway Bureau, Liuzhou 545007, China;

2. Liuzhou Vocational Technology College, Liuzhou 545006, China)

**Abstract:** To detect the flange of locomotive wheel we investigate many testing methods but find out none can meet all requirements of the flange. We proposed some new methods and made their quantitative criterions and test-blocks which are appropriate for the needs. The applications of these methods work well in practice.

**Keywords:** Detection for the flange; Methods and quantitative criterion; Locomotive wheel; Amplitude-quantity Curve

轮缘是机车车轮上的一个特殊部位,起着曲线通过时的安全导向作用。机车车轮在行车过程中,轮缘缺陷、轮缘掉块的现象时有发生,如图 1,2 所示,严重威胁了机车的行车安全。



图 1 车轮在检修过程暴露出来的轮缘裂纹

收稿日期:2011-12-23

作者简介:王家玉(1954—),男,工程师,铁道部机务系统无损检测资格鉴定考核委员会委员,主要从事铁路机车无损检测技术管理工作。



图 2 轮缘裂纹底部呈现出来的裂纹源

铁路机车车轮超声波探伤工作已有二十多年的历史,但由于轮缘形状比较特殊,其由多个不同半径的圆弧组成,因此车轮轮缘处的探伤方法及定量标准始终未能解决。无论是铁道部机务局(88)机内字第 84 号《内燃、电力机车主要部件的探伤标准及工艺》,还是铁道部运输局运装技验[1998]64 号《公布铁道机车进口轮箍、整体辗钢车轮轮辋超声波探伤技术条件(试行)》以及铁道部运输局装备部运装技

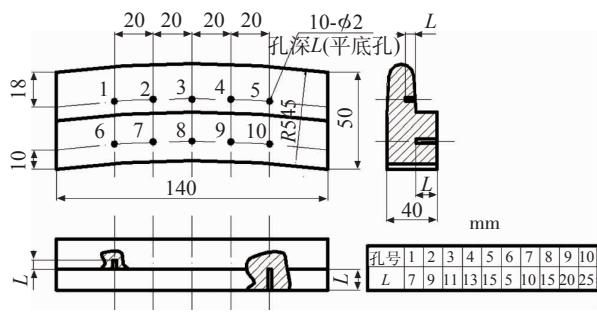
检[2000]335号《轮箍不动车超声波探伤技术条件(试行)》,均未对车轮(轮箍、整体辗钢车轮)的轮缘处的探伤方法进行描述和规定<sup>[1-2]</sup>。

为了解决车轮轮缘的探伤方法和缺陷当量问题,笔者进行了专题研究,主要包括:轮缘探伤对比试块的设计,WM2R型双晶片纵波探头和双晶片双向斜探头的设计及缺陷当量方法。

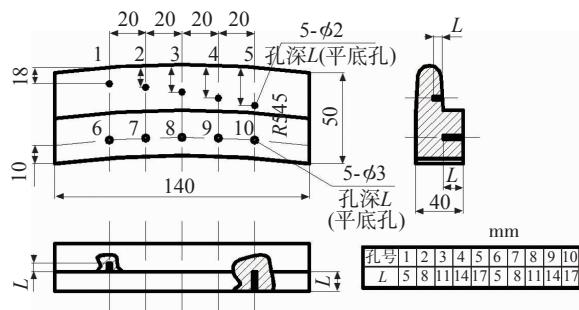
## 1 轮缘探伤试块的设计

### 1.1 设计试块的目的

首先使工作者建立起对轮缘内部缺陷的感性认识;其次制定出轮缘内部缺陷的检测、核查方法,以防止误判和漏探。为此,设计了一套轮缘探伤当量对比试块(图3)和轮箍探伤综合对比试块(图4)。



(a) LY-1 试块



(b) LY-2

图3 轮缘探伤当量对比试块

### 1.2 轮缘探伤当量对比试块人工缺陷的设计

轮缘探伤当量对比试块即LY-1试块和LY-2试块的体积小、质量小,便于携带。

(1) LY-1试块 在距离轮缘顶部18 mm处设计制作了5个不同深度的φ2 mm平底孔,主要是方便用于制作轮缘探伤的DAC工艺曲线。

(2) LY-2试块 以距离轮缘顶部18 mm处为基点,在周向等距离,高度等差而不同深度处设计5个φ2 mm平底孔。在LY-1试块制作DAC工艺曲线的基础上,对发生在距离轮缘顶部不同高度上的缺陷,进行当量比较。图5为LY-2试块断面剖视图。

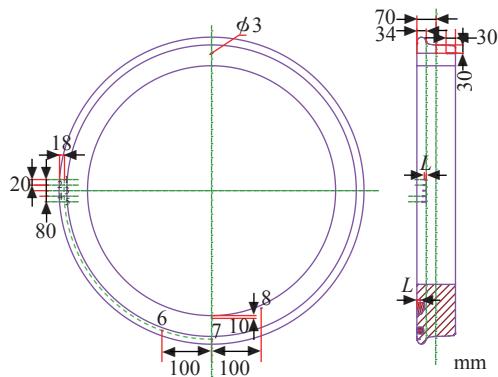


图4 LGZH 轮箍探伤综合对比试块

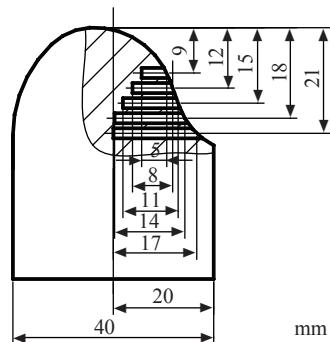


图5 LY-2 试块断面剖视图

另外,在LY-1和LY-2试块上距离轮缘顶部40 mm处分别设计了5个不同深度的φ2 mm平底孔和φ3 mm平底孔,用以制作DAC工艺曲线,以核查轮缘下部一定范围内的当量缺陷。

### 1.3 轮缘探伤综合对比试块人工缺陷的设计

(1) 缺陷形式的设计 人工缺陷通常有表面横槽和横通孔(横通盲孔),横通孔感觉上不如表面横槽形缺陷直观,校正灵敏度时不可用手触摸,必须用圆柱棒类去验证。横通盲孔人工缺陷比较隐蔽,比较符合内部缺陷的形式,能让工作者逐步养成一种对轮缘上内部缺陷的正确认识。因此,在轮缘上,选择了制作横通盲孔的人工缺陷形式。

(2) 缺陷位置的设计 根据轮缘形状及轮缘与钢轨横向接触的受力的复杂性,决定在轮箍综合对比试块的轮缘上,距轮缘顶部18 mm处(此位置是轮轨横向接触的主要受力点)设计两个人工缺陷;同时考虑到轮对中修探伤时,轮箍的轮缘及轮缘下方一定范围内均属于漏探区域,因此,在轮箍内侧面距轮箍的内径面10 mm处设计了一个人工缺陷,并设计了5个与LY-1试块相似的人工缺陷,具有LY-1试块的功能,但主要用于在LY-1试块上做好DAC工艺曲线后,再在整体轮箍上验证DAC工艺曲线在轮缘探伤中的直观性,以增加工作者对此工艺方

法的认知。

(3) 缺陷当量的设计 按照“短横通孔的直径和距离一定,长度增加一倍,其回波上升 6 dB”<sup>[1]</sup>的原理,在距轮缘顶 18 mm 处设计两个人工缺陷,尺寸分别为:φ 3 mm×10 mm,φ 3 mm×15 mm。在轮箍内侧面、距轮箍的内径面 10 mm 处的人工缺陷尺寸为 φ 3 mm×12 mm。三处人工缺陷的长度,分别为部运装技检[2000]335 号文件上的人工缺陷当量 φ 3 mm×30 mm 的 33%,40%,50%,这样有利于提高探伤灵敏度。

## 2 轮缘探伤探头的设计

### 2.1 轮缘探伤 WM2R 型双晶片纵波探头

#### 2.1.1 设计思路

(1) 要能对平行于轮缘的周向缺陷进行正确定量。由于轮缘结构的复杂性,专用探头必须要满足于轮缘上不同区域表面形状的要求,即要能检测出 LY-2 试块上的 5 个不同位置的平底孔缺陷。

(2) 要能对轮缘上的轴向缺陷进行有效检测。对用横波探头检测到的轮缘方向缺陷,应用专用探头进行验证,即能对 LY-2 试块上的 5 个横通孔进行定量比较。为满足上述要求,探头生产厂家制作了 WM2R 型双晶片纵波探头。

#### 2.1.2 探头的测试

(1) 在 LY-1 试块上对 φ 2 mm 平底孔的测试结果见表 1。

(2) 在 LY-2 试块上对 φ 2 mm 平底孔的测试结果见表 2(仅以 1、2 号探头为例)。

表 1 WM2R 型双晶片纵波探头对 LY-1 试块上

探头	φ 2 mm 平底孔的测试数据					dB
	平底孔深度/mm					
编号	7	9	11	13	15	
1	45.5	48.7	50.1	53.4	53.6	
2	42.7	43.6	45.2	47.9	49.9	
3	47.2	48.9	50.9	53.6	54.3	
4	47.5	47.2	51.0	51.6	51.0	
5	47.9	49.0	50.5	52.7	54.1	
6	47.9	46.9	49.6	52.8	52.6	
7	46.4	46.4	49.4	49.6	51.2	
8	45.3	47.3	49.9	52.0	52.3	
9	48.1	48.9	50.4	52.2	53.7	
10	41.0	43.7	45.1	48.2	49.0	

表 2 WM2R 型双晶片纵波探头对 LY-2 试块上

探头	φ 2 mm 平底孔的测试数据					dB
	平底孔深度×距离轮缘顶部距离/mm					
编号	5×9	8×12	11×15	14×18	17×21	
1	43.0	41.2	51.5	52.4	54.5	
2	41.4	45.5	46.8	53.5	53.5	

(3) 在 LY-2 试块上对 φ 2 mm 横通孔的测试(仅以 1、2 号探头为例)结果见表 3。

表 3 WM2R 型双晶片纵波探头对 LY-2 试块上

探头	φ 2 mm 横通孔的测试数据					dB
	平底孔深度×距离轮缘顶部距离/mm					
编号	5×9	8×12	11×15	14×18	17×21	
1	—	46.2	46.2	47.2	44.8	
2	—	46.2	40.9	47.1	44.0	

通过测试记录可以看出,WM2R 型探头能够有效地检测出 LY-1 和 LY-2 试块上不同位置的所有平底孔人工缺陷,以及 LY-2 试块上的多数横通孔人工缺陷,达到了设计目的(5 mm 横通孔未能检测到数据,原因是轮缘曲面比较复杂,当 WM2R 型探头处于轮缘顶部区域时,其声场无法覆盖到该横通孔)。

### 2.2 双向斜探头

#### 2.2.1 设计的思路

在落实铁道部[2000]335 号文件的过程中,对有轮缘自然裂纹的车轮重复性的摸索检测中发现,用大角度单晶片斜探头探伤,在 0.5 个跨距内,当探头与车轮的外侧面形成一定角度时,可以检测到轮缘上的裂纹缺陷;但单一的大角度探头不适用于机车中修时的轮箍探伤工艺(即铁道部机务局 88 机内字第 84 号文件)。

为了既能够满足上述两个文件的要求,在一次探伤作业中,轮箍踏面和轮缘处均不出现漏探,又能减少工人的作业劳动强度,研究设计了双向斜探头。

#### 2.2.2 基准探头的确定

在设计双向斜探头的过程中,首先确定了以 0.8K 角度的探头作为双向斜探头的基准探头。由多年的轮箍探伤实践可知,0.8K 斜探头具有声程短,灵敏度高,一、二次声程能量误差小的优点,便于对缺陷进行正确定量。

#### 2.2.3 不同大角度的探头与 0.8K 角度的探头组合

依据  $\omega=2R\cos\beta, h_0=R(1-\sin\beta)$  的公式<sup>[2]</sup>,分

别对应不同的轮箍厚度,计算出  $\omega$  和  $h_0$  值。设计了一组(4个)0.8K 加大角度的双晶片双向发射的复合斜探头,其有关数据如表 4 所示。

表 4 不同角度组合的双向斜探头检测对应的轮箍厚度

探头 规格	适用于箍厚 /mm	探头检查的 $h_0$ /mm	大角度探头的 $\omega$ /mm
0.8K+62°	65~70	60.86	483.5~488.2
0.8K+63.5°	60~65	55.58	455.1~483.5
0.8K+65°	50~55	46.84	422.6~435.2
0.8K+67°	45~50	39.74	386.8~422.6

注: $\omega$  为一跨距或一次反射波的声程长度(即弦长), $h_0$  为探头主声束在一次反射声程内探测到的最深点(即弦高)。

表 5 双向斜探头对不同缺陷的测试数据

反射体种类 mm×mm×mm	0.8K+62°			0.8K+63.5°			0.8K+65°			0.8K+67°			
	声程 /mm	波高 /mm	反射当 量/dB	声程 /mm	波高 /mm	反射当 量/dB	声程 /mm	波高 /mm	反射当 量/dB	声程 /mm	波高 /mm	反射当 量/dB	
轮缘自然裂纹	449.6	62	35	366.8	82	35	448.4	72	35	357.3	80	35	
φ 3×10×18	462.8	78	35	317.7	81	35	392.0	60	35	324.8	75	35	
φ 3×15×18	387.3	80	35	379.9	80	35	372.9	82	32	368.0	82	32	
φ 3×12×60	269.7	70	35	261.3	46	35	—	—	—	—	—	—	
LA-1 试块 <sup>1)</sup>	一次声程	104.3	80	56	100.7	80	57	104.4	80	59	105.5	80	56
40×2×5	二次声程	201.4	80	52	196.6	80	54	201.4	80	56	202.6	80	52

注:1) LA-1 试块上是槽形缺陷。

表 6 大角度探头对 φ 3 mm×30 mm 距轮缘

顶部 30 mm 横通孔的测试数据

探头 规格	近距离 /mm	波高 /mm	反射当 量/dB	远距离 /mm	波高 /mm	反射当 量/dB
0.8K+62°	95.5	84	55	258.9	81	41
0.8K+63.5°	97.0	82	49	205.0	75	40
0.8K+65°	100.7	81	52	214.6	86	40
0.8K+67°	104.3	82	48	207.4	83	42

φ 3 mm×10 mm×18 mm, φ 3 mm×15 mm×18 mm 横通孔检测的当量基本相当。

(2) 相同反射体的比较 ① 0.8K+65° 和 0.8K+67° 探头对 φ 3 mm×12 mm×60 mm 缺陷没有得到测试数据,是因为其  $h_0$  值偏小,主声束无法到达该横通孔的缘故。② 0.8K+62° 和 0.8K+63.5° 探头对 φ 3 mm×12 mm×60 mm 缺陷的当量差值形成的原因,也是由于其  $h_0$  值之差的缘故( $h_0$  值的比较见表 4)。

## 2.2.4 对不同当量的缺陷测试

大角度晶片对 φ 3 mm×10 mm×18 mm(最后一个 8 mm 表距轮缘顶部距离,下同),φ 3 mm×15 mm×18 mm,φ 3 mm×12 mm×60 mm 横通孔及轮缘上自然裂纹的测试数据,和与之匹配的 0.8K 探头在 LY-1 试块上的测试数据见表 5,其中的当量值以 dB 表示。

## 2.2.5 大角度探头的测试数据

大角度探头对 φ 3 mm×30 mm×30 mm 横通孔的测试数据见表 6。

## 2.2.6 测试数据的比较

(1) 不同反射体的比较 从表 5 可以看出,四个不同大角度的探头对轮缘上的自然裂纹和对

(3) 表 4 与表 5 的比较 在相同角度的前提下比较:φ 3 mm×30 mm×30 mm 的横通孔的反射当量要大于 φ 3 mm×10 mm×18 mm,φ 3 mm×15 mm×18 mm,φ 3 mm×10 mm×12 mm 横通孔的反射当量,远距离测得的值差 5~6 dB,基本上符合短横通孔的变化规律。

## 3 双向斜探头在中修轮箍上的应用

### 3.1 双向斜探头的优点

(1) 在对在役轮箍一次探伤作业过程中,可实现对轮箍径向断面的全面检查,基本上解决了原探伤工艺中存在的不足。

(2) 对滚动圆的内部缺陷,可重复出现 3~4 次反射波,能有效防止漏探。

(3) 双向斜探头的两晶片反射波互不干扰,反射波清晰,易于分辨。

### 3.2 双向斜探头的不足

当需要对轮缘上的缺陷进行当量验证时,由于大角度探头的声束扩散角大,往往不能进行正确定量。

## 4 轮缘探伤的定量标准探讨

轮缘探伤的定量标准主要参考了铁道部运输局、运装技检[1998]64号文件:“轮箍和整体碾钢车轮轮网超声波探伤不得存在大于ISO 5948—1994《铁路车辆材料超声波探伤验收试验》标准中规定的 $\phi 2$  mm平底孔当量缺陷”的规定。在LY-1和LY-2试块的设计中,对轮缘上的缺陷定量,采用了 $\phi 2$  mm平底孔作为当量标准。

同时,为发现轮缘上的轴向缺陷,设计的两个尺寸为 $\phi 2$  mm $\times$ 10 mm $\times$ 18 mm, $\phi 2$  mm $\times$ 15 mm $\times$ 18 mm的横通盲孔,及在轮缘侧下方距轮箍内径10 mm处设计的尺寸为 $\phi 2$  mm $\times$ 12 mm的横通盲孔,与[2000]335号文件的尺寸为 $\phi 3$  mm $\times$ 30 mm $\times$ 30 mm的横通盲孔的当量相比,提高了检测灵敏度。

## 5 应用实例

### 5.1 WM2R型探头的探伤方法

使用9002数字式探伤仪,对LY-1试块,在制作好DAC距离-波高-当量曲线的基础上,将探头置于轮缘的外侧面,对轮缘的整个高度范围逐步进行扫查。

WM2R型探头的探伤,主要用于发现材质内部的原始缺陷和疲劳缺陷。

### 5.2 双向斜探头对轮缘的检测方法

用双向斜探头的大角度探头朝着轮缘方向,探头与轮箍外侧面约成30°~40°的夹角,前后移动探头,扫查轮缘上的轴向缺陷。

(上接第46页)

### 参考文献:

- [1] NAM J H, LEE H B. A novel feature extraction for eddy current testing of steam generator tubes [J]. NDT & E International, 2009, 42(7): 658—663.
- [2] CHEN Zhen-Mao, YUSAB N, MIYA K. Enhancements of eddy current testing techniques for quantitative nondestructive testing of key structural components of nuclear power plants [J]. Nuclear Engineering and Design, 2008, 238(7): 1651—1656.
- [3] MAOUCHE B, ALKAMA R, FELIACH M. Semi-analytical calculation of the impedance of a differential sensor for eddy current non-destructive testing [J]. NDT & E International, 2009, 42(7): 573—580.

### 5.3 发现的典型轮缘内部缺陷

应用WM2R型双晶片探头制作好的DAC距离-波高-当量曲线工艺,发现了一例较大的轮缘内部缺陷,该缺陷沿周向长230 mm,深19~23 mm不等。缺陷当量超过Ⅲ线3.9 dB,属于材质缺陷。缺陷位置及反射当量如图6所示。

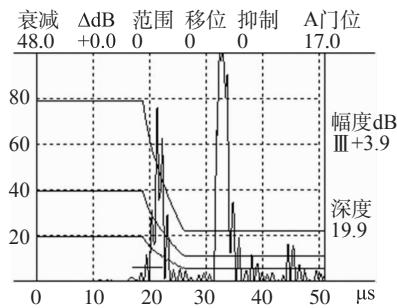


图6 轮缘缺陷反射当量波形图

## 6 结论

通过对机车车轮轮缘处的探伤方法及定量标准的技术研讨,逐步完善了对轮箍轮缘的探伤方法,解决了机车车轮轮缘处的漏探问题,为提高机车走行部件质量,提高机车的安全行驶,起到了积极的作用。

### 参考文献:

- [1] 全国锅炉压力容器无损检测人员资格考委会.超声波探伤[M].北京:劳动人事出版社,1989.
- [2] 黎连修.轮箍超声横波探伤研究[J].无损检测,2000, 22(4): 162—164.
- [4] 叶波,蔡晋辉,黄平捷,等.多层导电结构电涡流扫描检测缺陷自动识别和分类技术研究[J].传感技术学报,2007,20(10):2253—2258.
- [5] 韩捷,廖述圣.蒸汽发生器传热管涡流检验中多缺陷信号判别的可靠性[J].无损检测,2010,32(12):935—939.
- [6] 况旭冉,刘福顺.不锈钢管件裂纹深度的涡流阻抗分析[J].无损检测,2010,32(5):349—352.
- [7] JOHN W, TIAN Gui-Yun, ILHAM M. PEC thermography for imaging multiple cracks from rolling contact fatigue[J]. NDT & E International, 2011, 44 (6): 505—512.
- [8] JOUBERT P Y, LE BIHAN. Multi sensor probe and defect classification in eddy current tubing inspection [J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2006, 129 (1): 10—14.