

ICS 77.040.20

H 26



团体标准

T/CSTM 00208-2020

无损检测 车轮超声检测方法

Non-destructive testing - Ultrasonic testing method for wheel

2020-09-25 发布

2020-12-25 实施

中关村材料试验技术联盟

发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义	1
4 方法概要	2
5 安全要求	5
6 人员要求	5
7 检测设备	5
8 检测过程	7
9 检测结果评价	8
10 检测记录与报告.....	8
附录 A (规范性附录)TCG 曲线制作	10
附录 B (资料性附录)车辆车轮超声检测对比试样轮及参数 (以 CRH1-M 型为例)	11
附录 C (资料性附录)本标准起草单位和主要起草人.....	13

前 言

本部分参照 GB/T1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国材料与试验团体标准委员会无损检测技术及设备领域委员会（CSTM/FC94）提出。

本标准由中国材料与试验团体标准委员会无损检测技术及设备领域委员会（CSTM/FC94）归口。

无损检测 车轮超声检测方法

1 范围

本标准规定了轨道交通车辆车轮的轮辋（或轮箍）、轮缘、轮辐部位超声自动检测方式。

本标准适用于动车组、机车、客车、地铁轨道交通车辆车轮在运用阶段的超声检测，新造轮对超声检测可参照此标准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 9445 《无损检测 人员资格鉴定与认证》
- GB/T 12604.1 《无损检测 术语 超声检测》
- GB/T 27664.1 《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第1部分：仪器》
- GB/T 27664.2 《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第2部分：探头》
- GB/T 32563 《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》
- JB/T 10061 《A 型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件》
- JB/T 10062 《超声检测用探头性能测试方法》

3 术语和定义

GB/T 12604.1和GB/T 32563界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

对比试样轮（实物试块） Reference Wheel

带有已知人工缺陷的、与被检测车轮外形、材质及声学特性相近，用于校验检测设备的超声灵敏度和验证检测区域可靠性的车轮。

3.2

检测系统信噪比 Signal to Noise Ratio (SNR) of Detection System

基准缺陷超声信号幅度与超声波检测设备显示的最大背景噪声幅度之比。

3.3

基准缺陷 Reference Defect

用于缺陷检测灵敏度的校准与评估，具有已知形状、尺寸和位置等的人工缺陷。

3.4

疲劳缺陷 Fatigue Defect

由于交变载荷引起工件部件或材料内部产生的裂纹。

3.5

材质缺陷 Material Defect

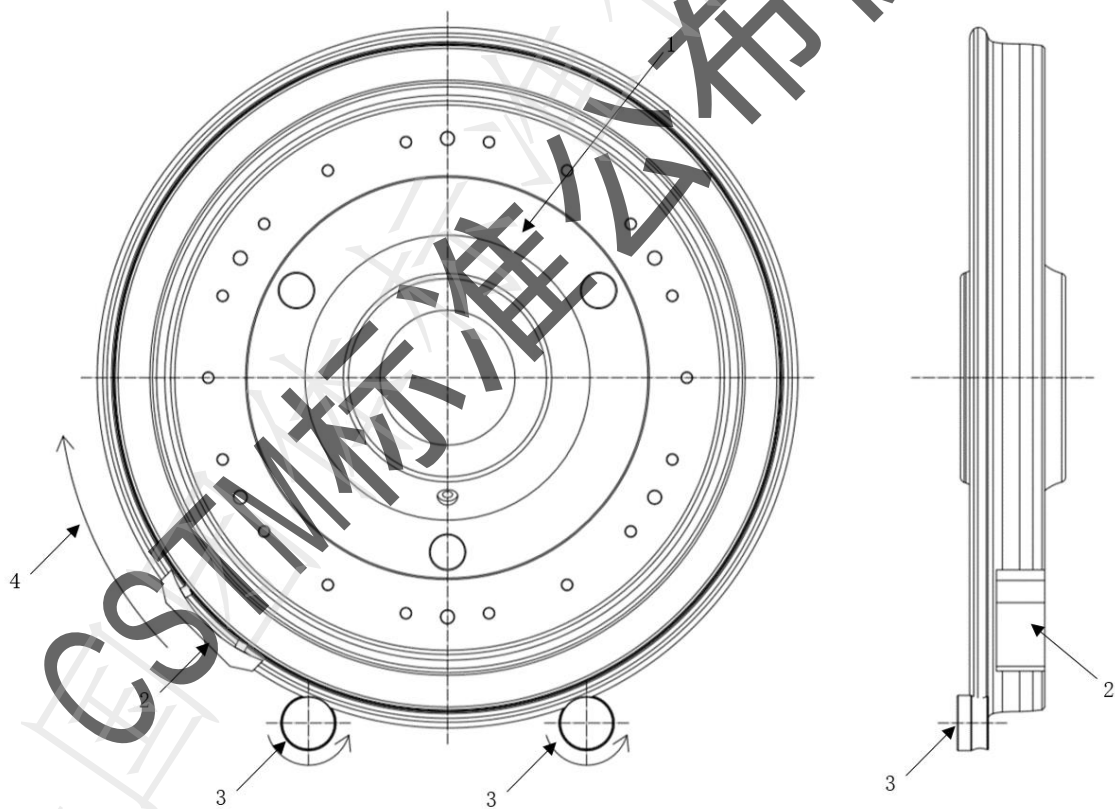
金属材料在冶炼和浇注的过程中产生的冶炼缺陷，如偏析、非金属夹杂、气孔、缩孔和裂纹等。

4 方法概要

4.1 检测原理

根据不同的检测要求，选择不同规格和数量的相控阵探头或常规探头组合成探头组件，通过探头组件定位机构将其定位于被检测车轮接触面。检测时，探头组件内置的耦合装置开始工作，转轮装置沿同一方向驱动被检车轮匀速转动，如图1所示。车轮转动过程中，超声检测单元按照一定的时间间隔发射和接收超声波，实现对车轮不同部位、不同类型缺陷的超声检测。

车轮各区域形状及缺陷特征不同，适用的探头和检测方法及要求不同，详见列表1及对应的示意图2-图6。



说明：

- 1——被检车轮；
- 2——探头组件；
- 3——转轮装置；
- 4——转轮方向。

图1 工作原理图

表 1 车轮各区域检测方法

检测部位及缺陷类型	检测方法	适用轮型
轮辋/轮箍内部缺陷	a) 如图2所示, 采用纵波双晶探头(近表面检测盲区应 $\leq 5\text{mm}$), 以踏面为接触面(踏面下 $5\text{mm}\sim 35\text{mm}$ 为重点探测区域), 检测轮辋区域轴向内部缺陷以及踏面近表面缺陷; b) 如图3所示, 采用纵波双晶探头, 以轮辋内侧面为接触面, 检测轮辋区域周向内部缺陷(重点覆盖踏面下 35mm 以内区域)。	整体车轮、带箍车轮
轮缘顶部缺陷	a) 如图4所示, 采用横波单晶斜探头, 以轮辋内侧面接触面, 检测轮缘顶部区域轴向缺陷; b) 如图5所示, 采用横波单晶斜探头, 以踏面为接触面, 检测轮缘顶部区域轴向缺陷。	整体车轮、带箍车轮
轮缘根部缺陷	a) 如图4所示, 采用横波单晶斜探头, 以轮辋内侧面接触面, 检测轮缘根部区域周向缺陷; b) 如图5所示, 采用横波单晶斜探头, 以踏面为接触面, 检测轮缘根部区域周向缺陷。	整体车轮、带箍车轮
轮辐周向缺陷	如图6所示, 采用两个相控阵探头, 以踏面为接触面, 采用PC模式检测轮辐区域周向缺陷。	整体车轮
轮辐径向缺陷	如图6所示, 采用单个相控阵探头横波斜入射, 以踏面为接触面, 采用PE模式检测轮辐区域径向缺陷。	整体车轮
轮辐斜向缺陷	如图6所示, 采用单个相控阵探头纵波斜入射, 以踏面为接触面, 采用PE模式检测轮辐区域斜向缺陷。	整体车轮
注: a) 各双晶探头应制作TCG曲线。(曲线制作方法参照附录A); b) 检测类型包括多种检测方法的情况, 可根据实现情况选用一种或多种检测方法。		

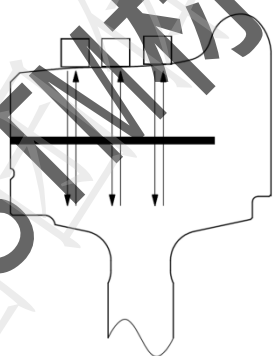


图2 轮辋/轮箍内部缺陷检测示意图1

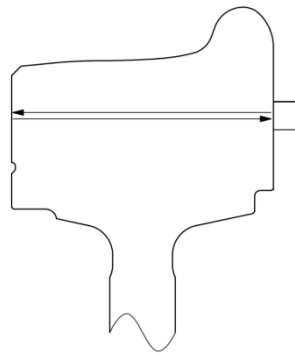


图3 轮辋/轮箍内部缺陷检测示意图2

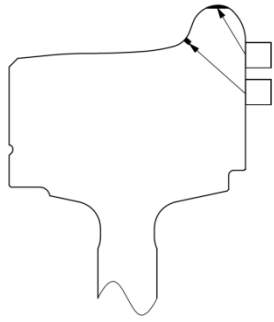


图4 轮缘顶部、根部缺陷检测示意图1

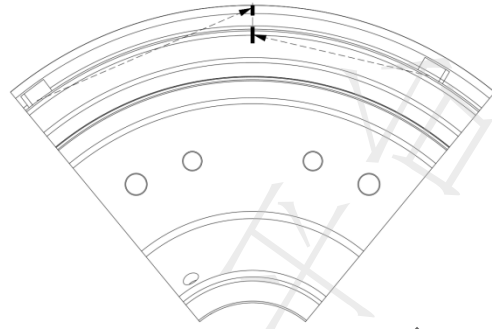


图5 轮缘顶部、根部缺陷检测示意图2

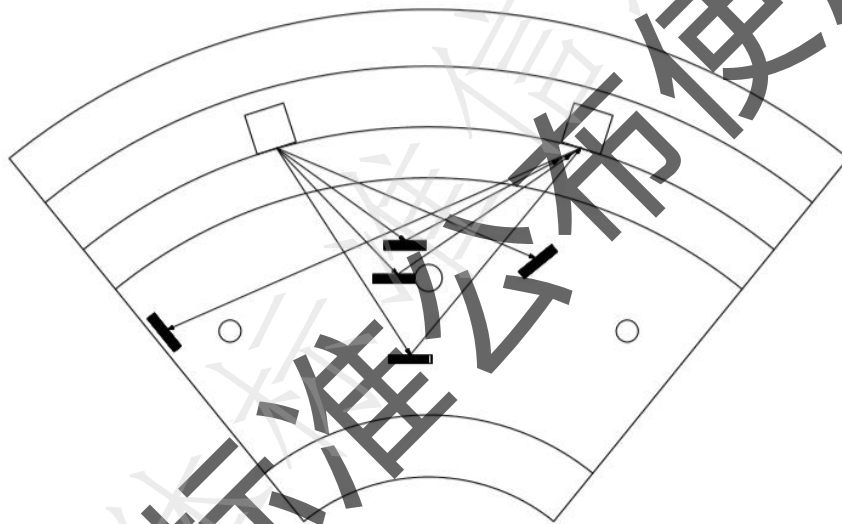


图6 轮辐区域周向、径向、斜向缺陷检测示意图

4.2 优点及特点

检测方法的优点及特点:

- a) 检测区域覆盖全;
- b) 检测缺陷类型全;
- c) 检测结果重复稳定性好;
- d) 检测效率高;
- e) 操作简单, 自动化程度高。

4.3 局限性

检测方法的局限性:

- a) 对于辐板区域内缺陷, 只限于超声波一次声程覆盖范围;
- b) 对操作人员经验要求较高。

4.4 应用

4.4.1 检测时机

轨道交通车轮运用过程中的超声检测。

4.4.2 主要用途

检测方法的主要用途：

- a) 检测车轮材质缺陷；
- b) 检测车轮在役过程中产生的疲劳缺陷。

4.5 影响因素

影响检测方法的相关因素：

- a) 检测时耦合状态；
- b) 振动、潮湿、粉尘场所，避免强电磁干扰；
- c) 电源接地、供电质量；
- d) 工作环境温度。

5 安全要求

5.1 本章未列出进行检测时所有的安全要求，使用本标准的用户应根据应用场景建立相应的安全准则。

5.2 检测过程中的安全要求至少包括如下要素：

- a) 检测人员应遵守劳动安全防护规定，穿戴防护服与装备；
- b) 检测过程中应做好被检车辆、轮对的防溜设置；
- c) 电力车辆被检前应降弓断电并接地；
- d) 检测设备应具有可靠的保护装置、保险措施、警示标识；
- e) 检测设备使用的电源，应与大型机械、动力电源线分开并单独接线。

6 人员要求

6.1 本章未列出所有的人员要求，使用本标准的用户应根据实际情况建立相应的人员准则。

6.2 检测人员要求至少包括如下要求：

- a) 检测人员应符合GB/T 9445标准要求，取得轨道交通行业认可的，超声检测相关工业门类的Ⅱ级或以上级别的资格证书，并经使用单位或其代理进行过专业操作培训；
- b) 检测人员应熟悉被检测对象的制造、加工、组装工艺状态，包括热处理状态或其它；
- c) 检测人员应掌握锻件、铸件超声检测知识与检测经验，对检测原理也具有清晰的理解和认知；
- d) 检测人员应掌握检测设备的使用、测试、保养要求及性能特点；
- e) 检测人员应熟知车轮装车状态下各零、部件易产生裂纹的部位，并能熟练、规范地按工艺及作业指导书进行检测作业；
- f) 检测人员应熟悉有关劳动安全防护规定。

7 检测设备

7.1 设备组成

设备由超声检测单元、探头、探头载体、顶转轮机构及对比试样轮组成。

7.2 设备功能

检测设备至少应包括如下功能：

- a) 具备自动和手动控制检测工作模式；
- b) 具备A、B显示功能；
- c) 具备检测结果存储、查询、统计、对比、打印；
- d) 具备自动生成检测报告功能。

7.3 设备技术指标

7.3.1 检测系统信噪比

检测系统信噪比指标要求如下：

- a) 轮辋/轮箍部位： $\Phi 3\text{mm}$ 深度当量横孔 $\geq 20\text{dB}$ ；
- b) 轮辐部位： $15\text{mm} \times 3\text{mm}$ 人工刻槽 $\geq 12\text{dB}$ ；
- c) 轮缘部位： $10\text{mm} \times 3\text{mm}$ 人工刻槽 $\geq 12\text{dB}$ 。

7.3.2 重复检测稳定性

以对比试样轮为检测对象，将基准缺陷检测波幅调整至50%~70%，连续检测10次，各基准缺陷极差值 $\leq 3\text{dB}$ 。

7.3.3 定位精度

定位精度要求如下：

- a) 以踏面为检测接触面：
 - 轴向定位精度以平均值为中心值，允差 $\pm 1\text{mm}$ ；
 - 周向定位精度以平均值为中心值，允差 $\pm 25'$ 。
- b) 以轮辋内侧面为检测接触面：
 - 径向定位精度以平均值为中心值，允差 $\pm 1\text{mm}$ 。

7.4 超声检测单元

7.4.1 技术性能

主要技术性能要求如下：

- a) 增益或衰减器控制总量： $\geq 80\text{dB}$ ；
- b) 衰减器误差： $0.5\text{MHz} \sim 15\text{MHz}$ 工作频率范围内，每 12dB 的工作误差 $\leq 1\text{dB}$ ；
- c) 垂直线性误差： $\leq 5\%$ ；
- d) 动态范围： $\geq 26\text{dB}$ 。

7.4.2 性能测试方法

参照 GB/T 27664.1和JB/T 10061。

7.5 探头

7.5.1 常规超声探头

常规超声探头技术性能要求如下：

- a) 探头频率： $2\text{MHz} \sim 5\text{MHz}$ ；

- b) 纵波双晶探头盲区: $\leq 5\text{mm}$;
- c) 纵波双晶探头焦距: $10\text{mm}\sim 35\text{mm}$;
- d) 双晶探头分辨力: $\geq 26\text{dB}$;
- e) 斜探头分辨力: $\geq 20\text{dB}$ 。

7.5.2 相控阵超声探头

相控阵超声探头技术性能要求如下:

- a) 中心频率: $f_c \pm 10\%$ (f_c 为探头标称中心频率);
- b) 晶元间耦合串扰: 相邻阵元间 $\leq -30\text{dB}$;
- c) 晶元灵敏度偏差: 均值 $\pm 3\text{dB}$ 。

7.5.3 性能测试方法

参照 GB/T 27664.2和 JB/T 10062 。

7.6 对比试样轮

7.6.1 对比试样轮应经检测合格,除人工缺陷外,车轮内部应无 $> \Phi 2\text{mm}$ 平底孔当量的缺陷,车轮轮辋、辐板内部 $< \Phi 2\text{mm}$ 平底孔当量的材质缺陷数量 ≤ 1 处。

7.6.2 对比试样轮人工缺陷见附录B。

8 检测过程

8.1 检测前准备

8.1.1 检测作业指导书或工艺卡片

确认作业指导书或工艺卡片。

8.1.2 开机自检

设备自检通过后才能进行检测作业。

8.2 日常性能校验

选用与被检轮对型号相同的对比试样轮。

8.2.1 系统灵敏度标定

各通道应检测到对比试样轮上对应的人工缺陷,其反射波幅应达到 $80\% \pm 15\%$ 。如单个通道检测到多个人工缺陷,则选择其中的1个人工缺陷作为灵敏度标定的基准缺陷。

8.2.2 开工前系统校验

在标定灵敏度的基础上增加 $0\text{dB}\sim 6\text{dB}$ 作为检测灵敏度。在此条件下,各人工缺陷均应能正常检出,且波幅 $\geq 40\%$ 。

8.3 检测作业

8.3.1 检测前填写或选择被检车轮的编号信息,检测人员根据检测图像确认检测结果。

8.3.2 检测结果异常处理方法如下:

a) 检测数据出现报警指示时，应对该车轮复核检测，排除异常导致的报警；

b) 当缺陷的反射面比入射声束截面小时，采用当量法判定缺陷的当量大小。具体方法如下：

将被检车轮中自然缺陷回波与对比试样轮人工缺陷回波进行比较，当同声程处的自然缺陷回波与某人工缺陷回波高度相等时，该人工缺陷的尺寸为自然缺陷的当量大小，按公式（1）计算，如人工缺陷和自然缺陷声程不同，可采用声程相近的两个人工缺陷，用插值法确定缺陷当量大小，并按公式（2）计算。

$$\Delta = 20 \times \log \frac{H_1}{H_2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Δ ——缺陷当量大小(单位 dB)；

H_1 ——自然缺陷回波幅度；

H_2 ——人工缺陷回波幅度。

$$\Delta = 20 \times \log \frac{H_1}{\frac{(V_2 - V_1) \times (D_3 - D_1)}{D_2 - D_1} + V_1} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Δ ——缺陷当量大小(单位 dB)；

H_1 ——自然缺陷回波幅度；

D_3 ——自然缺陷声程。

V_1 ——小于自然缺陷声程的人工缺陷回波幅度

V_2 ——大于自然缺陷声程的人工缺陷回波幅度

D_1 ——小于自然缺陷声程的人工缺陷声程

D_2 ——大于自然缺陷声程的人工缺陷声程

c) 当缺陷的反射面比入射声束截面大时，采用-6dB法测量缺陷的延伸度。具体方法如下：

移动探头找到缺陷的最大反射波（不能达到饱和）然后沿缺陷扫查方向移动探头，当缺陷波高降低一半时（6dB），探头中心线之间距离为缺陷延伸度。

8.4 完工后系统校验

各人工缺陷应被正常检出，且波幅 $\geq 40\%$ ，否则该班次所有检测失效。

9 检测结果评价

检测结果评价处理方法如下：

a) 被检车轮不允许存在任何疲劳缺陷，对于存在疲劳缺陷且无法消除的，被检车轮判废；

b) 被检车轮不允许存在大于或等于对比试样轮中轮辋/轮箍、轮缘、辐板区域人工缺陷当量大小的材质缺陷；

c) 被检车轮允许存在小于对比试样轮中轮辋/轮箍、轮缘、辐板区域人工缺陷当量大小的材质缺陷，缺陷当量大于等于对比试样轮中人工缺陷当量-3dB的材质缺陷，应跟踪观察。

10 检测记录与报告

10.1 检测记录

检测记录要求如下：

- a) 应按检测作业指导书或工艺卡片的要求记录检测数据和有关信息。除此之外，还应至少包括检测报告中的内容；所有记录的保存应符合有关法规、标准和（或）合同的要求。
- b) 轮辋轮辐检测系统中的原始检测数据应定期进行备份，保存期为车轮寿命期。
- c) 打印及填写的记录表应统一保管，保存期为车轮寿命期。

10.2 检测报告

检测报告应至少包括如下内容：

- a) 检测日期；
- b) 检测地点；
- c) 检测人员；
- d) 报告编号；
- e) 检测单位；
- f) 检测设备型号；
- g) 检测设备编号；
- h) 被检工件型号；
- i) 被检工件编号（编号应唯一）；
- j) 走行公里数；
- k) 检测结论；
- l) 检测人员、质检人员等相关人员签字。

附录 A
(规范性附录)
TCG 曲线制作

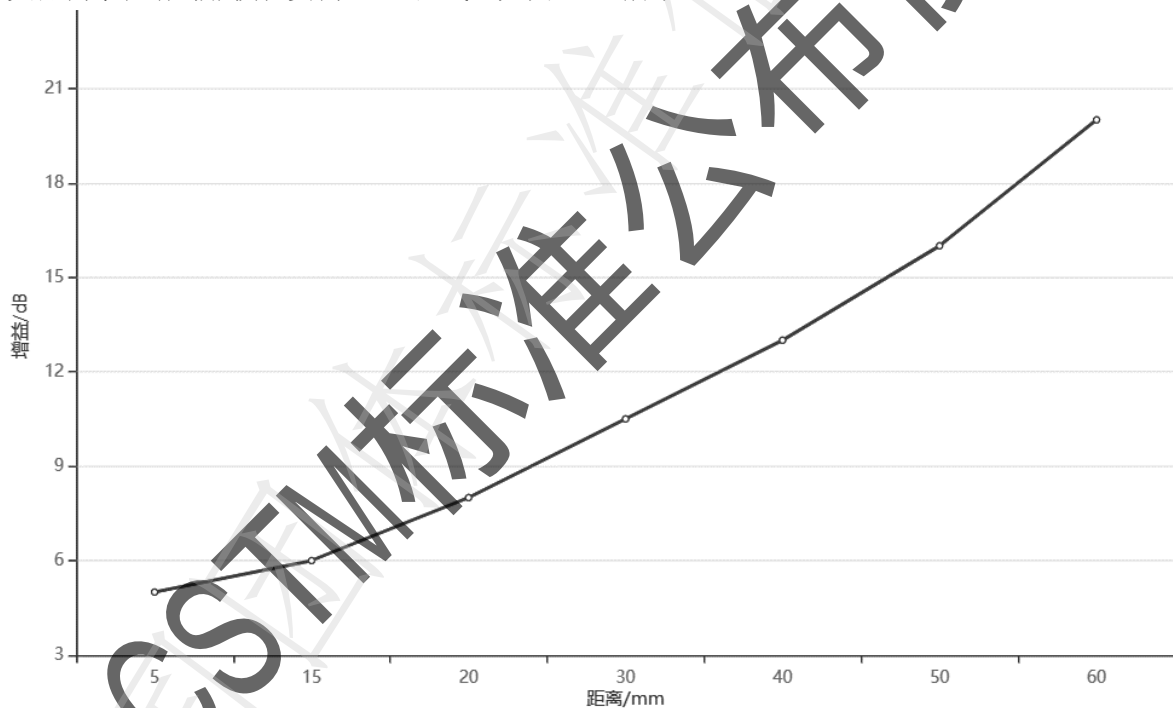
A.1 TCG (时间校正增益)曲线示意图

A.1.1 TCG 曲线由检验人员根据所使用的检测系统制作。使用前应对 TCG 曲线进行校验。

A.1.2 径向探测 TCG 曲线制作时,使用双晶探头,选用对比试样轮不同深度、当量相同的横孔人工缺陷,根据不同深度横孔人工缺陷的测试分贝值绘制。

A.1.3 车轮径向探测 TCG 曲线绘制

车轮探测曲线绘制:将探头置于对比试样轮探测面上检测,找到埋藏深度最浅的横孔反射波,调整仪器使反射波高为满刻度的 80%,记录 dB 值,然后依次探测并记录其他不同深度横孔反射波高为满刻度 80%时的 dB 值和深度值。将所标记的各点连成圆滑曲线,并延伸到整个探测范围,该曲线即为探头探测车轮(轮辋)横孔实测 TCG 曲线,如图 A.1 所示。



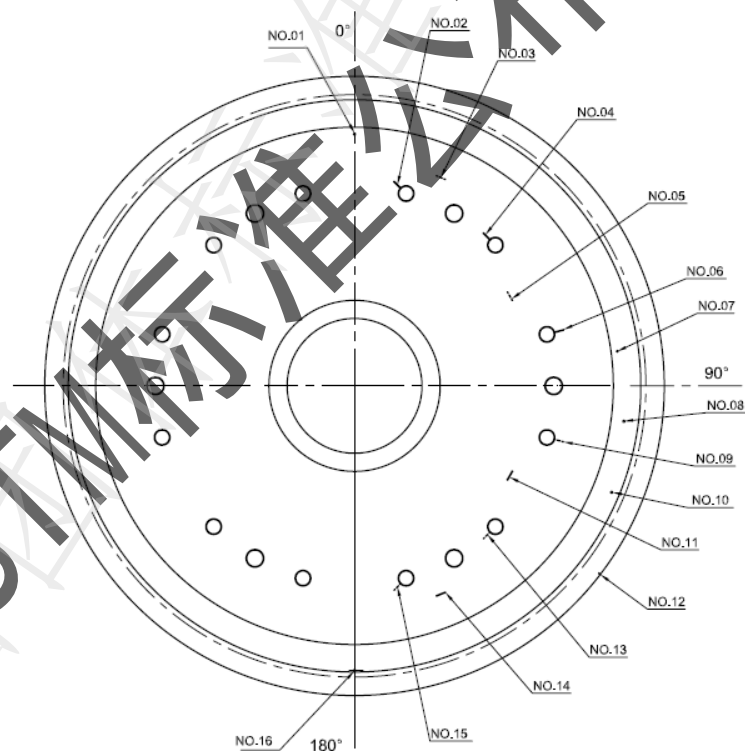
图A.1 TCG 曲线图

附录 B

(资料性附录)

车辆车轮超声检测用对比试样轮要求及参数 (以 CRH1-M 型为例)

- B.1 对比试样轮用于轨道交通车轮轮辋轮辐超声检测设备性能测试。
- B.2 对比试样轮可按对应轮型进行踏面外形修形。
- B.3 对比试样轮外表面应完好无损伤, 无锈蚀、无油污, 轮对外表面不得有飞边、毛刺。
- B.4 对比试样轮表面粗糙度 $\leq Ra12.5$ 。
- B.5 对比试样轮采用与实际车轮材质或声学特性 (声速、衰减系数) 相同或相近的材料制作。
- B.6 CRH1-M型对比试样轮人工缺陷的分布图和缺陷列表如图B.1和表B.1所示。其它车型的车轮实物试块的人工缺陷参照执行。



图B.1 CRH1-M型对比试样轮人工缺陷分布示意图

表B.1 CRH1- M 对比试样轮人工缺陷列表

序号	缺陷编号	缺陷类型	深度 mm	角度	缺陷大小 mm
1	NO.1	横孔	60	0°	($\Phi 3 \pm 0.1$) \times 100
2	NO.2	斜向外侧刻槽	126.5	12.5°	15 \times (3 \pm 0.1)
3	NO.3	内侧周向刻槽	100	22.5°	15 \times (3 \pm 0.1)
4	NO.4	外侧周向刻槽	140	41°	20 \times (3 \pm 0.1)
5	NO.5	内侧周向刻槽	170	60°	20 \times (3 \pm 0.1)
6	NO.6	外侧径向刻槽	121.5	75°	15 \times (3 \pm 0.1)
7	NO.7	横孔	40	82.5°	($\Phi 3 \pm 0.1$) \times 100
8	NO.8	横孔	30	97.5°	($\Phi 3 \pm 0.1$) \times 100 FBH
9	NO.9	内侧径向刻槽	121.5	105°	15 \times (3 \pm 0.1)
10	NO.10	横孔	20	112.5°	($\Phi 3 \pm 0.1$) \times 100
11	NO.11	外侧周向刻槽	170	120°	20 \times (3 \pm 0.1)
12	NO.12	轮缘顶部刻槽	25	127.5°	10 \times (3 \pm 0.1)
13	NO.13	内侧周向刻槽	140	139°	20 \times (3 \pm 0.1)
14	NO.14	外侧周向刻槽	100	157.5°	15 \times (3 \pm 0.1)
15	NO.15	斜向内侧刻槽	126.5	167.5°	15 \times (3 \pm 0.1)
16	NO.16	横孔	10	180°	($\Phi 3 \pm 0.1$) \times 100FBH

附录 C

(资料性附录)

本标准起草单位和主要起草人

本标准起草单位：北京新联铁集团股份有限公司。

参编单位：中国特种设备检测研究院、中国铁路济南局集团有限公司、中国铁路广州局集团有限公司广州动车段、中国铁路上海局集团有限公司、中国铁路南昌局集团有限公司、大秦铁路股份有限公司湖东电力机务段、中国铁路广州局集团有限公司机务部、中车唐山机车车辆有限公司、中车株洲电力机车有限公司、北京航空航天大学、广东工业大学、华东交通大学、北京博力加机电技术有限公司。

本标准主要起草人：谭鹰、张闪、张旭亮、吴艳杰、郑阳、徐占山、杜新伟、厉浩、王伟、刘宪、凌璋、李来顺、段怡雄、周正干、纪轩荣、肖乾、刘少瑛、单继光、张立峰、王迎亮、葛静、李冬静、王玫、杜学钢。

国家标准公告