



---

图书在版编目 ( C I P ) 数据

铁道机车车辆无损检测技术与应用 / 刘宏利, 房楠,  
朱慧勇主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2022.3  
ISBN 978-7-5643-8604-7

I. ①铁… II. ①刘… ②房… ③朱… III. ①机车车  
辆 - 无损检验 IV. ①U260.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2022) 第 029901 号

---

Tiedao Jiche Cheliang Wusun Jianche Jishu yu Yingyong

铁道机车车辆无损检测技术与应用

主编 刘宏利 房楠 朱慧勇

责任编辑	何明飞
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	<a href="http://www.xnjdcbs.com">http://www.xnjdcbs.com</a>
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	18.25
字 数	453 千
版 次	2022 年 3 月第 1 版
印 次	2022 年 3 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-8604-7
定 价	49.80 元

---

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 前 言

无损检测技术是机械工业的重要支柱，随着现代工业和科学技术的发展，无损检测技术在设备和装备运行、产品质量保证、提高生产率、降低成本等领域正发挥着越来越大的作用。

为了适应高职高专教育理念的改革及课程教学改革的实施，对接“1+X”职业资格证书要求，做到书证融通、课证融通，把握“必须+够用”的内容要求，突出高技能应用型人才的培养以及无损检测岗位对检测人员的需求，我们编写了这本《铁道机车车辆无损检测技术与应用》。

本书在工学结合理念的指导下，从无损检测探伤工工作的岗位技能出发，以企业实际工作过程和项目任务的实现过程为引线，以无损检测探伤工操作技能为向导，着眼于培养无损检测探伤工实用基本技能。全书系统地介绍了无损检测中所需要的检测基础知识、原理及检测方法，同时也突出了检测材料、工艺以及检测结果的分析、判定。书中不仅对6种常规的无损检测技术进行了详细介绍，同时还介绍了一些其他常用的无损检测技术，反映了当前国内外无损检测领域的最新动态和最新研究成果。

本书为新形态教材，精选生产过程中常见的维修作业项目作为课程教学任务，采用任务驱动的教学模式编写，即先提出检测作业任务，对该任务中涉及的相关理论知识进行必要阐述，然后进行了任务实施。让学生初步学会无损检测技术的检测操作方法、缺陷观察、数据记录以及缺陷评定。本书根据教学实际需求配置了相关微课视频、动画等数字化教学资源 and 二维码，同时添加“拓展知识”板块，为无损检测爱好者提供更深层的学习途径；最后设置了知识风暴的闯关答题，通过后台教师对学生重点知识学习的掌握程度进行评判。本书满足“四新”内容要求，符合职业教育教学规律，符合学生学习习惯。

本书由西安铁路职业技术学院刘宏利、房楠、朱慧勇担任主编，姚芳芳、田航、雷云涛、党会学、郝磊担任副主编，李益民、林辉担任主审。其中，模块一由姚芳芳编写，单元二磁粉检测技术里的项目一由林辉编写，剩余磁粉检测技术由刘宏利编写，单元三超声波检测技术由房楠编写，单元四涡流检测技术由雷云涛编写，单元五目视检测技术和单元六渗透检测技术由朱慧勇编写，单元七射线检测技术和模块三由田航编写，磁粉检测技术任务一由长安大学党会学编写，动车组动态检测技术由郝磊编写。

本书可作为三年制高职及五年制高职铁道机车车辆制造与维护、理化检测技术专业的教材，也可供相关工程技术人员参考。

本书在编写过程中得到校企合作中国中车戚墅堰机车集团公司、西安铁路局宝鸡机车检修段高级工程师蔡根社和西安市轨道交通集团有限公司运营分公司工程师侯江的大力支持。同时，编者参阅了许多专家和同行编著的书籍和相关技术文章，受到了不少启发和教益，在此表示诚挚的感谢。

尽管我们在教材特色的建设方面做了许多努力，但由于编者学识及水平所限，书中难免存在疏漏和不当之处，敬请读者批评指正，并将您的宝贵意见反馈给我们，以便对书稿进行完善。

所有意见和建议请发往：[lhong16306@126.com](mailto:lhong16306@126.com) 或 [312271170@qq.com](mailto:312271170@qq.com)。

**编 者**

2021年12月

## 二维码目录

序号	二维码名称	资源类型	页码
1	单元一项目一知识拓展	文档	019
2	单元一项目一心灵驿站	文档	019
3	单元一项目一头脑风暴	文档	019
4	马氏体不锈钢	文档	023
5	磁导率	文档	023
6	单元二项目一知识拓展	文档	024
7	单元二项目一心灵驿站	文档	024
8	单元二项目一头脑风暴	文档	024
9	真空磁导率	文档	028
10	材料内部磁畴排列	文档	029
11	居里点	文档	030
12	矫顽力	文档	030
13	磁阻	文档	031
14	安培环路定律	文档	036
15	单元二项目二知识拓展	文档	049
16	单元二项目二心灵驿站	文档	049
17	单元二项目二头脑风暴	文档	049
18	磁粉检测设备的组成	文档	053
19	磁粉的分类形状	文档	058
20	磁粉的性能测试	文档	059
21	DT4A	文档	061
22	单元二项目三知识拓展	文档	065
23	单元二项目三心灵驿站	文档	065
24	单元二项目三头脑风暴	文档	065
25	单元二项目四知识拓展	文档	076
26	单元二项目四心灵驿站	文档	076

27	单元二项目四头脑风暴	文档	076
28	典型缺陷	文档	080
29	单元二项目五知识拓展	文档	084
30	单元二项目五心灵驿站	文档	084
31	单元二项目五头脑风暴	文档	084
32	焊接、铸钢件磁粉检测实例分析	文档	087
33	单元二项目六心灵驿站	文档	095
34	单元二项目六头脑风暴	文档	095
35	纵波演示	视频	100
36	横波演示	视频	100
37	单元三项目一心灵驿站	文档	126
38	单元三项目一头脑风暴	文档	126
39	聚焦探头	文档	133
40	常用试块简介	文档	136
41	单元三项目二知识拓展	文档	144
42	单元三项目二心灵驿站	文档	144
43	单元三项目二头脑风暴	文档	144
44	超声波检测方法分类	文档	145
45	例题	文档	153
46	测长法分类	文档	155
47	底波高度法分类	文档	155
48	焊缝探伤实际操作过程	视频	161
49	车轴缺陷的种类及其对应的波形	文档	162
50	车轴超声波检测	文档	163
51	单元三项目三知识拓展	文档	164
52	单元三项目三心灵驿站	文档	164
53	单元三项目三头脑风暴	文档	164
54	单元四项目一知识拓展	文档	171
55	单元四项目一心灵驿站	文档	171
56	单元四项目一头脑风暴	文档	171

57	标准透入深度	文档	178
58	单元四项目二心灵驿站	文档	192
59	单元四项目二头脑风暴	文档	192
60	多频涡流仪的技术优势	文档	196
61	对比试样	文档	202
62	对比试样加工方法	文档	203
63	涡流检测技术及应用	文档	204
64	单元四项目三心灵驿站	文档	205
65	单元四项目三头脑风暴	文档	205
66	单元五项目一心灵驿站	文档	223
67	单元五项目一头脑风暴	文档	223
68	单元六项目一知识拓展	文档	233
69	单元六项目一心灵驿站	文档	233
70	单元六项目一头脑风暴	文档	233
71	单元七项目一知识拓展	文档	242
72	单元七项目一心灵驿站	文档	242
73	单元七项目一头脑风暴	文档	242
74	透照方法	文档	244
75	单元七项目二知识拓展	文档	258
76	单元七项目二心灵驿站	文档	258
77	单元七项目二头脑风暴	文档	258
78	单元八项目一心灵驿站	文档	272
79	单元八项目一头脑风暴	文档	272
80	单元八项目二头脑风暴	文档	278
81	行业标准	文档	280





# 目 录

## 模块一 铁道机车车辆无损检测技术与应用基础知识

单元一 无损检测及其在铁道机车车辆上的应用 .....	002
项目一 认识无损检测技术 .....	003
任务一 无损检测技术的基本概念与常用方法 .....	003
任务二 无损检测技术在铁路上的应用 .....	008

## 模块二 铁道机车车辆无损检测技术与应用

单元二 磁粉检测技术 .....	021
项目一 磁粉检测基础知识 .....	022
项目二 磁粉检测的电流、方法及磁化规范 .....	025
任务一 磁粉检测的基本物理基础 .....	025
任务二 磁化电流与磁化方法 .....	033
任务三 磁化规范及其制定 .....	044
项目三 磁粉检测设备的分类、检测器材、保养与维护 .....	050
任务一 磁粉检测设备分类 .....	050
任务二 磁粉检测器材 .....	057
项目四 磁粉检测工艺及其应用 .....	066
任务一 磁粉检测工艺简介 .....	066
任务二 磁粉检测技术工艺准备 .....	069
项目五 磁痕分析与评定 .....	077
项目六 轨道交通装备典型零部件磁粉检测应用 .....	085
单元三 超声波检测技术 .....	096
项目一 超声波检测基础知识 .....	097
任务一 超声波检测基本物理基础 .....	097
任务二 超声波在介质中的传播 .....	104

项目二	超声波检测设备及检测器材 .....	127
任务一	超声检测设备 .....	127
任务二	仪器和探头的性能 .....	139
项目三	超声波检测方法及其应用 .....	145
任务一	超声波检测的方法 .....	145
任务二	车轮超声波检测 .....	161
<b>单元四</b>	<b>涡流检测技术 .....</b>	<b>165</b>
项目一	涡流检测的物理基础 .....	166
任务一	涡流检测的电磁学基础 .....	166
任务二	电磁感应及电磁检测国际单位 .....	168
项目二	涡流检测原理及影响因素 .....	172
任务一	涡流检测原理 .....	172
任务二	阻抗分析方法 .....	178
任务三	涡流检测线圈 .....	183
项目三	涡流检测设备仪器及其应用 .....	193
任务一	涡流检测仪器的工作原理及分类 .....	193
任务二	涡流检测仪的组成单元 .....	197
任务三	涡流检测的标准试样与对比试样 .....	201
<b>单元五</b>	<b>目视检测技术 .....</b>	<b>206</b>
项目一	目视检测基础知识 .....	207
任务一	目视检测中的光学基础 .....	207
任务二	目视检测的设备及器件 .....	210
<b>单元六</b>	<b>渗透检测技术 .....</b>	<b>224</b>
项目一	渗透检测基础知识 .....	225
任务一	渗透检测的基本原理 .....	225
任务二	渗透检测设备仪器 .....	229
任务三	渗透检测方法 .....	231
项目二	机车零部件渗透（着色）探伤工艺 .....	234
<b>单元七</b>	<b>射线检测技术 .....</b>	<b>237</b>
项目一	射线检测简介 .....	238
项目二	射线检测方法及设备 .....	243
任务一	射线检测方法 .....	243
任务二	射线检测装置 .....	252

### 模块三 无损检测技术与应用新技术

单元八 铁道机车车辆无损检测新技术 .....	260
项目一 动车组动态检测技术（动车组运行故障图像检测系统，TEDS-3D） .....	261
项目二 其他无损检测新技术 .....	273
参考文献 .....	279
附录 .....	280





模块一

铁道机车车辆无损检测技术  
与应用基础知识

现代工业生产中广泛使用的金属材料是由冶炼得到的，之后通过铸造、锻压、焊接等热加工工艺及车、铣、刨、磨、钳等冷加工工艺加工成机器中所使用的零部件，后经装配在工业生产各领域中使用，其加工过程如图 1-0-1 所示。机车车辆中使用的典型零部件如轮对、轴承、制动盘、曲轴、螺栓以及线路中的钢轨等都是使用这些工艺流程加工制成的。

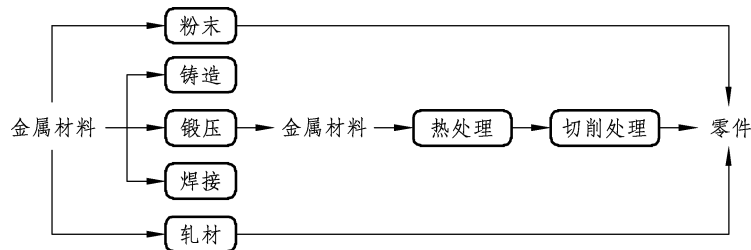


图 1-0-1 零件加工的基本流程

铸造、锻压、焊接等热加工工艺通常用于制成毛坯，由于金属在冷却结晶时冷却速度的不均衡以及杂质的存在，会导致毛坯中不同程度地产生缺陷。这些缺陷在工件的切削加工和使用中会导致应力集中，甚至开裂，应及时发现并避免使用。在切削加工前通常会用热处理消除部分缺陷，但是无法完全避免，而且某些热处理方法还会导致材料内部产生其他的缺陷。故需要使用一种在不破坏工件本身的前提下，检测出其内部缺陷的方法，在加工前判断毛坯质量是否符合设计与使用需求，即用无损检测技术评价毛坯质量。

零部件在工作中会承受一定的载荷，导致其产生裂纹、磨损、腐蚀、变形等损伤。如铁道机车车辆的车轮踏面与车轴轮座处承受交变载荷，易产生疲劳裂纹；轴箱导框及导槽与车钩及缓冲器零件间存在摩擦，易被磨损等。裂纹的产生既可能出现在零件的表面，也可能出现在零件内部，内部的裂纹不易被发现，会在持续使用中长大并导致脆断，这是极其危险的。需要在零部件的使用过程中在不破坏零件的前提下，检测零件内部组织的连续性、完整性、安全可靠性及某些物理性能，即无损检测技术评价零部件的使用性能。

无损检测的意义在于保障零件、组件的安全使用，节约材料，在零件无损的条件下检测零件、部件、组件、设备、材料和大型工程项目，使之安全有效地生产、工作。

## 项目一 认识无损检测技术



### 知识目标

1. 了解无损检测技术的基本概念与发展。
2. 掌握无损检测技术的常用方法及特点。
3. 掌握无损检测技术在全面质量控制中的作用。



### 能力目标

1. 理解无损检测技术的意义。
2. 能够根据无损检测技术的特点，合理选择无损检测方法。



### 素质目标

1. 培养学生树立正确的人生观与价值观。
2. 培养学生正确认识事物的发展规律，一切事物都有产生、发展和转化为其他事物的历史，都有其过去、现在和未来。

## 任务一 无损检测技术的基本概念与常用方法

### 【任务提出】

什么是无损检测技术？在工业生产中是如何产生这项技术的？它的发展又经历了哪些过程？具体检测方法都有哪些？工作原理如何？具有什么样的特点？

### 【任务目标】

1. 了解无损检测技术的基本概念。
2. 了解无损检测技术的发展过程。
3. 了解无损检测技术的常用方法。
4. 了解无损检测技术不同方法的特点。

### 【相关知识】

#### 一、无损检测技术的基本概念

无损检测技术又称为“非破坏试验”（Non-destructive Testing, NDT），是指在不破坏材

料和制品的前提下，应用声、光、磁和电等多种物理原理和化学现象，借助现代的技术和设备器材，对各种工程材料、零部件、结构件进行有效检验和测试，判断出可能存在的缺陷尺寸及位置，借以评价它们的连续性、完整性、安全可靠性及某些物理性能。

对材料进行无损检测后得到的工艺特征信息，可以协助找出材料性能与这些工艺参量间的关系，帮助改进工艺，维持产品质量。同时，还可以在设定应力及环境载荷下，对材料在给定的寿命期间内，能否可靠使用或长期保存后是否仍能可靠使用做出评价。

## 二、无损检测技术的发展

在飞机设计的早期，人们认为材料是无缺陷的连续均匀介质，并在此前提下计算构件的承载能力，以此作为产品的设计依据。设计人员承认在零件中可能存在宏观缺陷，但认为这可通过无损检测予以确定，当时对无损检测的要求也只是把有缺陷的零件分选出来。

第二次世界大战后，随着飞机使用率的提高和服役期的延长，疲劳问题引起重视。在飞机的结构设计中，除了静强度外，还必须满足疲劳寿命的要求，要通过对材料、部件和全尺寸飞机构件的试验决定结构的疲劳寿命，再除以安全系数作为飞机的安全寿命，而一旦出现了裂纹就认为结构已到了寿命。20世纪60年代末，即便在飞机结构上应用了高强度、超高强度的材料，美国仍出现了多起安全寿命设计飞机的灾难性事故，这使人们认识到安全寿命设计并不能保证安全，无损检测也不能保证不漏检，从而为飞机设计思想和无损检测的可靠性带来了新的课题。20世纪70年代，破损安全设计概念建立并得到试验的支持。破损安全设计是通过使用多载荷通道或止裂装置，在构件使用寿命期间，疲劳裂纹或其他损伤在规定的检验期内被检出之前将不发展到破坏性状态，飞机工业由于采用破损安全设计思想，有效地减少了早期失效问题。

20世纪70年代中期以后，基于断裂力学理论进行损伤容限设计和对无损检测可靠性进行定量评定的要求几乎同时形成。断裂力学方法的实施必须取得无损检测的密切配合才使得损伤容限设计具备其意义，无损检测技术也进入了定量无损检测阶段，它的检测方法和设备要便于现场使用、有定量检测缺陷大小的能力，同时要有符合要求的可靠性。

20世纪80年代，随着工业技术的迅速发展，无损检测技术的应用领域更加广泛，检测设备的研制及其实用性得到了快速发展和提高，迅速进入工业现场。无损检测技术也从单纯的无损探伤（Non-destructive Inspection, NDI）和无损检测（Non-destructive Testing, NDT）向无损评价（Non-destructive Evaluation, NDE）发展过渡。无损评价包含了无损探伤和无损检测的内容，在实际工作中，不但需要发现缺陷，还要做出该材料或制品能否应用的结论。

## 三、无损检测技术的常用方法

工程中常用的无损检测方法，一般是指磁粉检测（MT）、超声检测（UT）、涡流检测（ET）、渗透检测（PT）、射线检测（RT）和目视检测（VT），其适用范围如表1-1-1所示。



表 1-1-1 五大常规无损检测方法的适用范围

无损检测方法	磁粉检测 (MT)	超声检测 (UT)	涡流检测 (ET)	渗透检测 (PT)	射线检测 (RT)
内部缺陷		√			√
表面缺陷	√	√	√	√	
近表面缺陷	√	√	√		

### (一) 磁粉检测

磁粉检测 (Magnetic Particle Testing, MT) 只适用于检查铁磁性材料的铸件表面缺陷和表面以下 6~7 mm 深埋藏的缺陷 (或叫表层缺陷)。检测操作需要使用磁粉或磁悬液以及直流或交流的磁化设备 (固定式的或便携式的) 进行。磁化设备在铸件外表面或内表面的一定范围内产生磁场, 在磁化区内的缺陷, 就会产生漏磁场。此时, 撒上磁粉或喷上磁悬液, 磁粉就被吸住, 这样就可以显示出缺陷来。这样显示出的缺陷 (如裂纹) 基本上都是横切磁力线的缺陷, 对于平行于磁力线的长条形缺陷则显示不出来。为此, 操作时还需要不断改变磁化方向, 以保证能够检查出未知方向的各个缺陷。只有当缺陷的取向与磁场方向 (或磁力线) 垂直时, 并且该磁场的强度正好使铸件达到饱和时, 才能得到最大的显示灵敏度, 磁粉显示出的缺陷形状轮廓才最清晰。

根据铸件的大小、形状和磁粉检测的要求, 采用不同的磁化设备和具体方法。对于大批量生产的较小铸件, 可以采用固定式磁化设备, 对于单件或小量生产的大型铸件则使用便携式磁化设备, 有的用触头磁化, 有的用磁轭、线圈、中心导体或软电缆等不同的具体磁化手段进行磁化。所有这些都由合格的检测人员根据铸件的具体情况和检测要求去认定。

磁粉检测的检测灵敏度较高, 可以发现极细小的裂纹缺陷, 显示缺陷直观, 不受工件大小和几何形状的限制, 能适应各种场合的现场作业, 检测成本低, 速度快。但磁粉检测仅适用于检测铁磁性材料; 检测缺陷在表面或表层且受工件几何形状影响 (如键槽), 易产生相关显示; 检测灵敏度受磁化时磁场方向影响较大; 如果缺陷与磁化磁场方向平行, 缺陷则不容易被检测出来; 覆盖层的存在将导致缺陷漏磁的降低, 对磁粉检测灵敏度造成不良影响; 具有较强剩磁的零件必须进行退磁, 否则会对其使用造成不利影响。

### (二) 超声检测

超声检测 (Ultrasonic Testing, UT) 是利用超声波在介质中传播时发生衰减, 碰到内部表面或缺陷时, 由于界面的存在产生反射而被发现的性质来检测表面和内部缺陷的一种常规无损检测方法。一般的超声检测都是非直观的, 不能呈现出缺陷的真实形状、大小和分布情况, 只有采用有专门多种成像功能的仪器, 才能显示出来。

反射声能的大小是内表面或缺陷的指向性和性质以及这种反射体的声阻抗的函数, 因此

可以应用从各种缺陷或内表面反射的声能来检测缺陷的存在位置、壁厚或者表面下缺陷的深度。对缺陷大小的测定一般用当量大小来评定，而利用超声检测铸件内部组织结构甚至强度，则是利用声速的变化与相应组织结构的关系进行的。

超声检查对面积型缺陷的检出率较高，但对体积型缺陷的检出率较低；适宜于检测厚度较大的工件，不适宜检测较薄的工件；应用范围广，可用于各种零件；检测成本低、速度快，仪器体积小、质量轻、现场使用较方便，对缺陷在工件厚度方向上的定位较准确。但是无法得到缺陷的直观图像，定性困难，定量精度不高；检测结果无直接见证记录，检测零件的材质、晶粒度对检测有影响；工件不规则外形和一些结构会影响检测；探头扫描面的平整度和粗糙度对超声检测有一定影响。

### （三）涡流检测

涡流检测（Eddy Current Testing, ET）适用于检测铁磁性材料和非铁磁性材料铸件的表面缺陷及表面以下一般不大于6~7 mm深的缺陷，需要使用相应的涡流检测设备。将一个带交流电的探头式线圈或马蹄形线圈的测试线圈放置在铸件表面上时，在铸件上感应产生出旋涡式电流，简称涡流。涡流的电磁能量又反射回测试线圈上，如果铸件表层存在缺陷，则涡流的电特征就会有畸变而发现缺陷的存在。所发现的缺陷（如裂纹）一般都是垂直于涡流流动方向的。因为涡流是交流电，由于趋肤效应的原因，所以它不能发现距表面太深的缺陷。另外，要注意检查铁磁性材料的铸件时，可能因为磁导率的变化影响而使测量的缺陷大小、深度不准确或者测量值不稳定。还要注意校对仪器用的试块材质最好与被测工件相同或相近，对试块上的人工缺陷也要制造精确。涡流检测对探测出的缺陷大小和形状不直观，一般只能确定缺陷的所在表面位置和深度，对比较大的缺陷，才可能确定出在铸件表面上的大致形状大小或范围。另外，对于在工件表面上小的开口缺陷，检测灵敏度不如渗透或磁粉检测。

涡流检测适用于检测导电材料，可以检测出表面和近表面缺陷，其检测结果以电信号输出，便于数字化分析处理，不需要耦合零件或耦合介质，容易实现快速及自动化检测。但是涡流检测在形状复杂的试件上很难应用，一般只用于检测管材、板材等轧制型材；仅能够进行当量检测，不能对缺陷定性；其干扰因素较多，容易引起杂乱信号，导致检测结果失真；由于受到“趋肤效应”的限制，对深层缺陷不敏感，只适用于检测导电材料，且检测灵敏度较低。

### （四）渗透检测

渗透检测（Penetrant Testing, PT）只用于检查各种材质的铸件表面上的开口缺陷，如表面细裂纹、表面针孔等肉眼难以发现的缺陷。它是利用有色的高渗透能力的渗透剂，浸湿或喷洒在铸件表面上，待数分钟，使渗透剂渗入开口缺陷里面后，快速洗去或擦掉表面渗透液

层，再将易干的显示剂喷洒在表面上，待把残留在开口缺陷中的渗透剂吸出来后，显示剂就被染色，反映缺陷的形状、大小和分布情况，对于有经验的检测人员来说，一般还能估计缺陷的深度。所有这些检测结果对检测部门判断铸件合格与否，是否返修，如何返修等都是非常有用的。此外，对于铸造工艺人员来说，该方法在改进铸造工艺方面也是很有用的。渗透检测的结果比目视检测的结果更为全面、精确。

渗透检测适用于检测非疏孔性材料表面的开口缺陷，其检测方法不受材料的组织结构和化学成分的限制，一次性检测可以覆盖到零件的所有表面，可以检测出任何方向的缺陷。但是检测受零件表面粗糙度影响较大，检测结果容易受操作者经验、知识水平的影响；对于开口被封闭的缺陷，不能被有效地检测出，可以检测出缺陷的分布，但难以确定缺陷的实际深度；检测工序多，速度慢，检测所需材料较贵、成本较高，检测灵敏度比磁粉检测低。

### （五）射线检测

射线检测（Radiographic Testing, RT）用于检查各种金属材料铸件的内部缺陷。对铸件的射线检测，一般用 X 射线或 $\gamma$ 射线作为射线源，因此需要有产生射线的设备和其他的附属设施。当工件置于射线场照射时，射线的辐射强度就会受到铸件内部缺陷的影响。使得穿过铸件射出的辐射强度随着缺陷大小、性质的不同而有局部变化，形成缺陷的射线（强度）图像，通过射线胶片予以显像记录，或者通过荧光屏实时系统予以实时检测观察，或者通过辐射计数仪检测。通过射线胶片显像记录的方法，是最常用的方法，就是通常说的射线照相检测，简称射线检测。射线照相反映出来的缺陷图像是直观的，缺陷形状、大小、数量、平面位置和分布范围都能呈现出来，只是自铸件表面的深度一般反映不出来，需要采取特殊措施和计算才能确定。因为它永久记录了缺陷的图像，是铸件射线检测最常用的方法。在射线照相时，一定要按照铸件相应的标准要求、灵敏度和质量等级进行评片工作。

射线检测可以检测零件内部的缺陷，检测基本不受材料、形状、外轮廓尺寸等因素的限制，检测结果直观，可用底片直接记录，缺陷定性、定量准确；对体积型缺陷检出率很高，但面积型缺陷的检出率受到各种因素的影响，因此适宜检测厚度较薄的零件；适宜检测对接焊缝，检测角焊缝效果较差，不适宜检测板材、棒材、锻件，较难确定缺陷在零件厚度方向的位置和尺寸；检测成本高，检测速度慢，射线对检测人员有伤害。

### （六）目视检测

目视检测（Visualand Optical Testing, VT）常用于目视检查焊缝，根据焊缝自身的工艺评定标准。可以通过目测和直接测量尺寸来做初步检验，如果发现咬边等不合格的外观缺陷，需要先打磨或者修整，之后才做其他深入的仪器检测。例如，焊接件表面和铸件表面较多采用目视检测，而锻件就很少，并且其检查标准是基本相符的。目视检测，在国内实施得比较少，但在国际上是非常正式的无损检测第一阶段首要方法。按照国际惯例，目视检测要先做，以确认不会影响后面的检验，再接着做五大常规检验。

### 【任务实施】

学习任务一相关内容，完善表 1-1-2 和表 1-1-3。

表 1-1-2 无损检测技术的发展历程

时 间	典型事件	发展历程
飞机设计的早期		无损探伤能把有缺陷的零件分选出来
第二次世界大战后	飞机使用率的提高和服役期的延长	一旦出现疲劳裂纹，就认为结构已到了寿命
20 世纪 60 年代至 70 年代	多起飞机的灾难性事故	断裂力学理论进行损伤容限设计和对无损检测可靠性进行定量评定
20 世纪 80 年代	工业技术的迅速发展	无损检测技术进入工业现场

表 1-1-3 常用无损检测方法的特点

方 法	应 用	优 点	缺 点
磁粉检测法			
超声检测法			
涡流检测法			
渗透检测法			
射线检测法			
目视检测法			

## 任务二 无损检测技术在铁路上的应用

### 【任务提出】

现代工业中无损检测技术的应用领域广泛，在铁道机车车辆的日常维护与维修作业中，哪些零部件需要使用无损检测？又会选择哪种具体方法进行无损检测呢？

### 【任务目标】

1. 掌握材料中常见的缺陷类型及特点。
2. 掌握轨道交通中无损检测技术的应用。
3. 掌握轨道交通中常用的无损检测方法。

## 【相关知识】

### 一、材料和构件中的缺陷

金属材料的热加工方式通常有铸造、锻造和焊接，在加工过程中会造成一定的材料内部缺陷，影响后续的加工与零部件的使用。在此，我们通过学习原材料和焊缝中的缺陷种类及产生的原因，以便正确选择无损检测方法，制定合理的检测方案，最终得到正确的检测结果。铸件中常见的宏观缺陷有夹砂和夹渣、缩孔和疏松、铸造裂纹及冷隔等；锻件中常见的宏观缺陷有偏析、残余缩孔、缩管和疏松、夹杂物以及锻造裂纹；焊接件中常见的宏观缺陷有焊接裂纹、气孔、固体夹渣、未熔合和未焊透、形状缺陷及其他缺陷。这些缺陷的存在会使零件的强度降低，原始的微小裂纹处更易引起应力集中与腐蚀开裂，进而导致裂纹逐渐长大，使材料的疲劳极限降低，最终导致零件脆性断裂。

#### （一）焊接缺陷

##### 1. 焊接裂纹

焊接裂纹是指金属在焊接应力及其他致脆因素共同作用下，焊接接头中局部地区金属原子结合力遭到破坏而形成的新界面所产生的缝隙。焊接裂纹是焊接结构（件）中最危险的缺陷。焊接裂纹的特征是具有尖缺口和长宽比大。按裂纹的外观形貌和产生的部位来分类，各种裂纹的特征及分布见表 1-1-4 和图 1-1-1。

表 1-1-4 按外观形貌划分的裂纹特征及分布

名称	特征	分布
横向裂纹	裂纹长度方向与焊缝轴线相垂直	位于焊缝、热影响区或母材中
纵向裂纹	裂纹长度方向与焊缝轴线相平行	
弧坑裂纹	形貌有横向、纵向或星形状	位于焊缝收弧弧坑处
放射状裂纹	从某一点向四周放射的裂纹	位于焊缝、热影响区或母材中
枝状裂纹	形貌呈树枝状	
间断裂纹	裂纹呈断续状态	
微观裂纹	在显微镜下才能观察到	

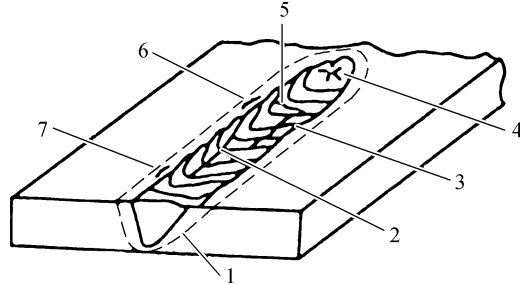
##### 2. 气孔

焊接时，熔池中的气泡在凝固时未能逸出而残留下来所形成的空穴称为气孔。气孔有时以单个出现，有时以成堆的形式聚集在局部区域，其形状有球形、条虫形等，如图 1-1-2 所示。

##### 3. 固体夹渣

焊接后残留在焊缝中的熔渣称为夹渣。其形状较复杂，一般呈线状、长条状、颗粒状及其他形式，主要发生在坡口边缘和每层焊道之间非圆滑过渡的部位，在焊道形状发生突变或

存在深沟的部位也容易产生夹渣。横焊、立焊或仰焊时产生的夹渣比平焊多。当混入细微的非金属夹杂物时，在焊缝金属凝固过程中可能产生微裂纹或孔洞（图 1-1-3）。



1—热影响区；2—纵向裂纹；3—间断裂纹；4—弧坑裂纹；  
5—横向裂纹；6—枝状裂纹；7—放射状裂纹。

图 1-1-1 各种裂纹的外观形貌

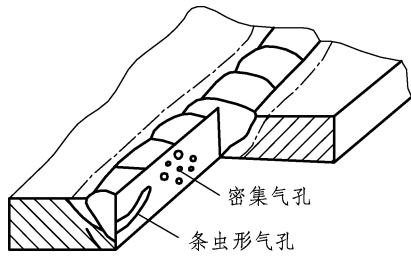


图 1-1-2 焊缝中的气孔

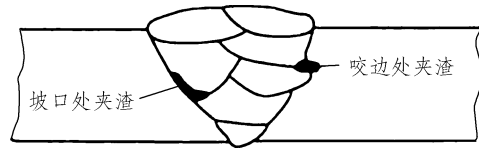


图 1-1-3 夹渣

#### 4. 未熔合和未焊透

(1) 未熔合：在焊缝金属和母材之间或焊道金属与焊道金属之间未完全熔化结合的部分。未熔合常出现在坡口的侧壁、多层焊的层间及焊缝的根部。这种缺陷有时间隙很大，与熔渣难以区别。有时虽然结合紧密但未熔合，往往从未熔合区末端产生微裂纹（图 1-1-4）。

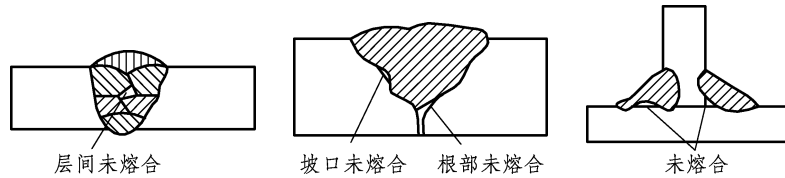


图 1-1-4 未熔合

(2) 未焊透：焊接时，母材金属之间应该熔合而未焊上的部分。未焊透出现在单面焊的坡口根部及双面焊的坡口钝边。未焊透会造成较大的应力集中，往往从其末端产生裂纹（图 1-1-5）。

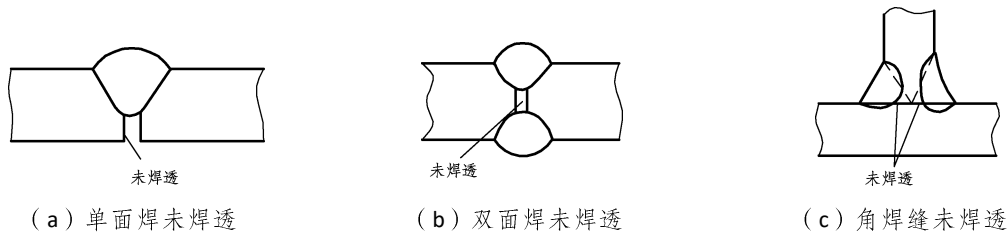


图 1-1-5 未焊透

## 5. 形状缺陷

(1) 咬边：由于焊接参数选择不当，或操作工艺不正确，沿焊趾的母材部位产生的沟槽或凹陷。在立焊及仰焊位置容易发生咬边，在角焊缝上部边缘也容易产生咬边（图 1-1-6）。



图 1-1-6 咬边

(2) 焊瘤：焊接过程中，熔化金属流淌到焊缝之外未熔化的母材上所形成的金属瘤。焊瘤存在焊缝表面，在其下面往往伴随着未熔合、未焊透等缺陷。由于焊缝填充金属的堆积，使焊缝的几何形状发生变化而造成应力集中（图 1-1-7）。

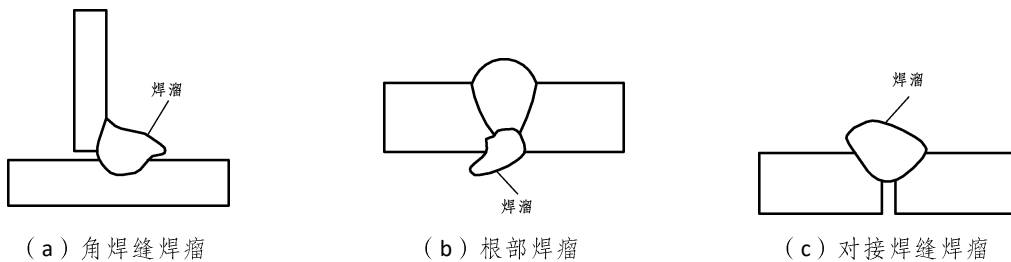


图 1-1-7 焊瘤

(3) 烧穿和下塌。焊接过程中熔化金属自坡口背面流出，形成穿孔的缺陷叫烧穿[图 1-1-8 (a)]。烧穿容易发生在第一道焊道及薄板对接焊缝或管子对接焊缝中。在烧穿的周围常有气孔、夹渣、焊瘤及未焊透等缺陷。穿过单层焊缝根部，或在多层焊接接头中穿过前道熔敷金属塌落的过量焊缝金属称为下塌[图 1-1-8 (b)]。



图 1-1-8 烧穿和下塌

(4) 错边和角变形。由于两个焊件没有对正而造成板的中心线平行偏差称为错边。当两个焊件没有对正而造成它们的表面不平行或不成预定的角度称为角变形（图 1-1-9）。

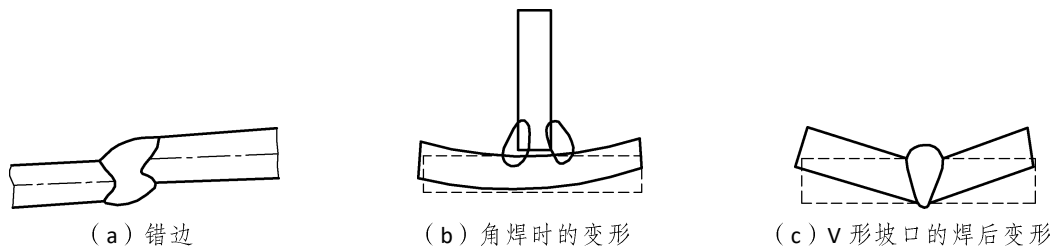


图 1-1-9 错边和变形

(5) 焊缝尺寸、形状不合要求。焊缝的尺寸缺陷是指焊缝的几何尺寸不符合标准的规定(图 1-1-10)。

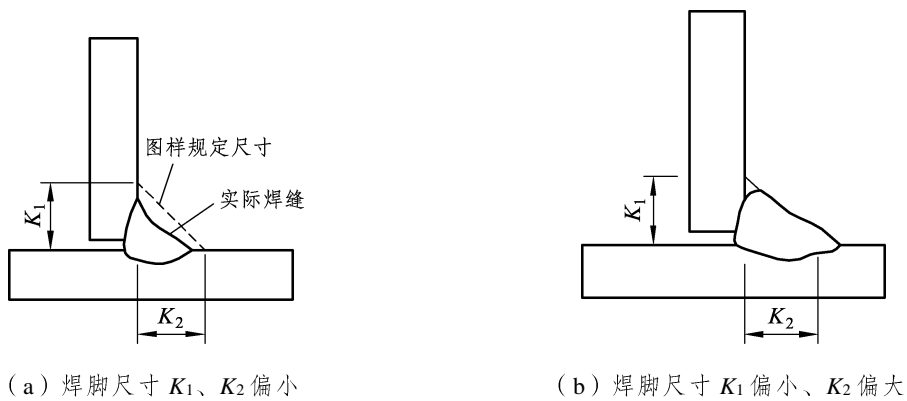


图 1-1-10 焊缝尺寸不合要求

焊缝形状缺陷是指焊缝外观质量粗糙，鱼鳞波高低、宽窄发生突变，焊缝与母材非圆滑过渡(图 1-1-11)。

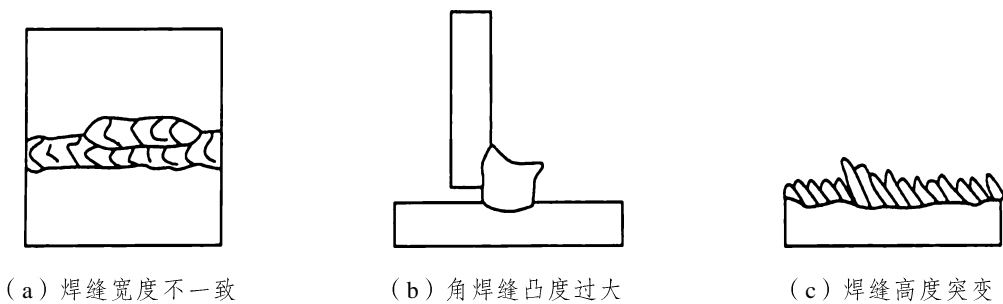


图 1-1-11 焊缝形状不合要求

## 6. 其他缺陷

(1) 电弧擦伤：在焊缝坡口外部引弧时产生于母材金属表面上的局部损伤。如果在坡口外随意引弧，有可能形成弧坑而产生裂纹，该缺陷又容易被忽视、漏检，从而导致事故的发生[图 1-1-12 (a)]。

(2) 飞溅：熔焊过程中，熔化的金属颗粒和熔渣向周围飞散的现象称为飞溅[图 1-1-12 (b)]。不同药皮成分的焊条具有不同的飞溅损失。



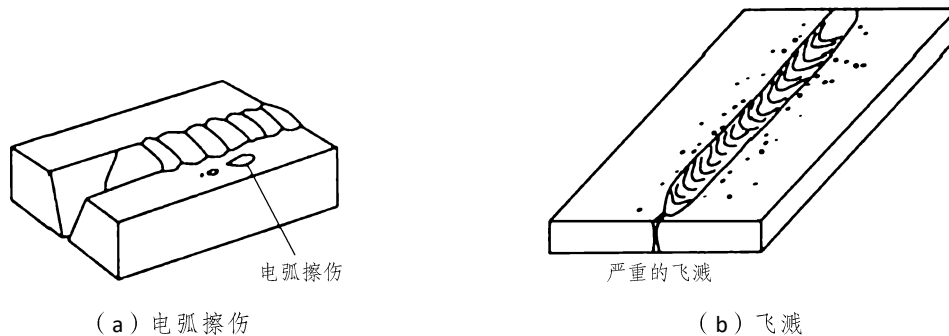


图 1-1-12 电弧擦伤和飞溅

## (二) 铸件中常见宏观缺陷及产生的原因

(1) 夹砂(冲砂)和夹渣:铸件表面的砂粒和高温熔液接触,剥离后混入钢中形成夹砂。钢熔液中混入熔渣后又将钢水注入铸型中形成夹渣。当浇口设计不当时,容易出现夹渣。夹砂可用超声波检测。

(2) 缩孔和疏松:凝固过程中熔液供给不足时产生,与铸件的材质也有关系,收缩率越大的材料越容易出现缩孔。对于这种缺陷,通过射线和超声波检测共同使用效果最好。

(3) 铸造裂纹:铸件各部分冷却速度不同,会产生内应力,当内应力超过该温度下的承受能力时,便会造成铸件撕裂而形成裂纹。铸造裂纹属于热裂纹(1300℃),其特点是晶间夹杂物是脆性的,在晶间拉伸应力的作用下产生。缩孔性裂纹:不能完全承受其他部位的收缩力产生。冷裂纹(260℃):在奥氏体向马氏体转变温度范围内,组织应力造成穿晶断裂。该缺陷可用超声波检测,大型铸件射线透照时可加高能加速器。

(4) 冷隔:同一铸件中一次浇铸或两次浇铸时,由于温度偏低,金属液体未能充分熔合在一起,边界形成带有氧化层的隔层。可用超声波探伤检测出冷隔。

## (三) 锻件中常见宏观缺陷及产生的原因

(1) 偏析:在钢锭浇铸过程中,未凝固部分将引起合金元素和杂质浓度的升高,此时在重力作用和钢水的对流下就会导致偏析,偏析带上的主要元素包括S、P、C、Mn、Mo等。

(2) 残余缩孔、缩管和疏松:浇铸中未能及时补充钢水导致残余缩孔和缩管;疏松则是钢锭中的微细空隙形成的,它产生在晶粒结合较弱、锻造过程中又未能充分锻合的部位,多由于熔炼不良、锻锭形状不适当、锻造比不适当造成。可用射线和渗透检测这些缺陷。

(3) 夹杂物:内夹杂物(通常位于偏析带非金属夹杂物,但主要是硅酸盐,如 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}_2$ 等)、外夹杂物(金属和非金属夹杂物,炼钢炉、钢水包等),可采用金相分析、扫描电镜分析、X射线能谱定量分析、X射线衍射结构分析等方法检测。

(4) 锻造裂纹:锻造温度不适当、加热温度不均匀、加热和冷却速度不适当及压力加工用力不当等导致金属局部破裂形成裂纹。对内部裂纹可用超声波检测,对表面或者表层裂纹可用磁粉或者渗透检测。

#### （四）在用设备定检中常见宏观缺陷及产生的原因

在用设备定检中，除常发现因制造方式不同导致的制造缺陷继续发展以致缺陷超标，还应注意设备因运行而发生的运行缺陷。

（1）疲劳裂纹：设备或部件承受交变载荷而引起的裂纹，该类裂纹的断口一般有明显的呈同心圆状的疲劳源，并伴有脆性断口。

（2）应力腐蚀裂纹：处于特定腐蚀介质中且受拉应力作用产生的裂纹，一般认为它与氢脆性有关。

（3）氢损伤：金属中由于含有氢或金属中的某些成分与氢反应，从而使金属材料的力学性能发生改变的现象。

（4）摩擦腐蚀：两接触面处在微小振动和互相摩擦状态时，其微小部分反复进行结合与分离，同时与周围环境发生化学反应，引起摩擦腐蚀。一般可以看到有小碎片和微细粉末伴随产生。

（5）空化侵蚀：液体中产生的气泡破灭时，对材料表面进行冲击，产生空化侵蚀。

## 二、机车车辆转向架的无损检测

转向架是机车车辆最重要的部件之一，它主要由轮对轴箱装置、弹簧悬挂装置、构架（侧架）、基础制动装置和车体支承装置等组成。转向架的技术状态将直接影响列车的运行安全。

### （一）轮 对

轮对是由一根车轴和两个相同的车轮组成的，两者间采用过盈配合牢固地结合在一起，如图 1-1-13 所示。轮对承担车辆全部重量，且在轨道上高速运行，承受着来自车体、钢轨的各种静、动作用力，受力复杂。轮对是转向架中重要的部件之一，又是影响车辆运行安全性的关键部件之一，故对轮对必须进行非常严格的无损检测，确保其质量。

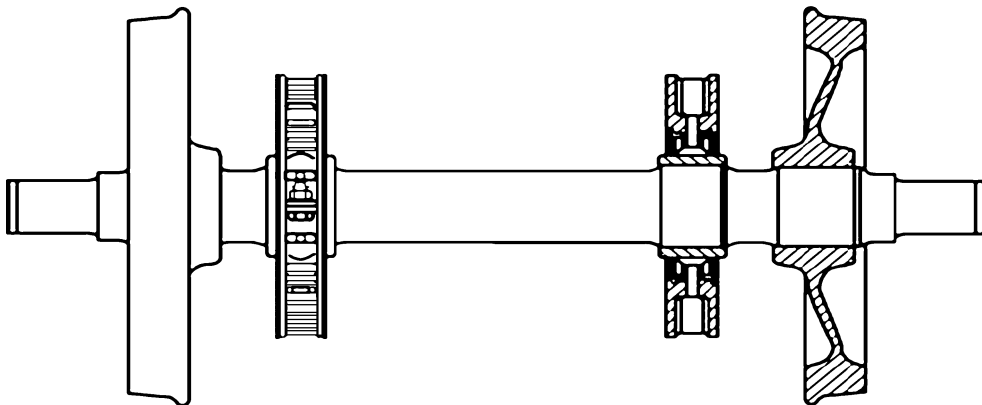
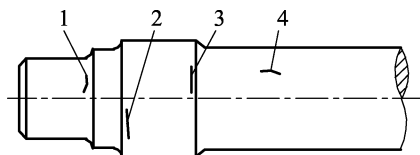


图 1-1-13 车辆轮对示意图

## 1. 车轴缺陷

车轴是转向架轮对中重要的部件之一，车轴有实心轴和空心轴之分。我国车辆用的车轴绝大多数是圆截面实心轴。为了降低车辆簧下部分质量以改善车辆运行平稳性和减小轮轨间的动力作用，高速列车常采用空心车轴。车轴的轮座镶入部和轴颈根部是容易产生疲劳裂纹的部位，如图 1-1-14 与图 1-1-15 所示。目前，列车车轴的无损检测方法主要有磁粉检测法和超声波检测法。磁粉检测法能对轮轴表面和近表面的缺陷进行有效检测，对于发生在轮座镶入部的各种内部缺陷，常采用超声波检测方法。超声波检测轴类大锻件时，通常在两个垂直方向布置探头，如图 1-1-16 所示。



1—防尘板座与轴颈交界处的裂纹；2—轮座外侧边缘 10~20 mm 裂纹；3—轮座内侧边缘 10~20 mm 裂纹；4—轴身及轴中央的裂纹。

图 1-1-14 车轴裂纹部位图

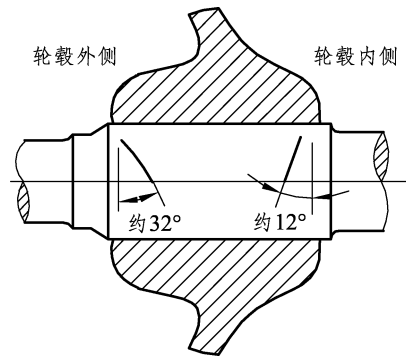
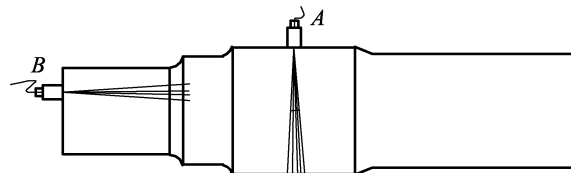


图 1-1-15 车轴轮座部裂纹的特征



A—径向检测；B—轴向检测。

图 1-1-16 超声波检测探头布置方式

## 2. 车轮缺陷

车轮是车辆走行部极为重要的部件，车轮出现故障不仅会降低车辆和线路的使用寿命，大大增加能源消耗和维修成本，而且还可能导致轴温急剧上升，造成车轴热切。特别是铁路提速后，其故障率一度呈上升趋势，如何科学地对车轮实施无损检测，对保证列车行车安全具有十分重要的作用。目前，车轮故障检测方法主要有静态检测法和动态检测法两种。静态检测技术是指车轮在检修过程中，从转向架上卸下，再用相应的检测仪器或装置进行测量。这种方法存在着检测效率低、工人劳动强度大、不能在线发现运行中车轮故障以及不便于信息化管理等弊端，故现在国内外都大力发展动态检测法。动态检测是指在铁路机车车辆运行过程中对车轮进行的检测。该方法具有非接触、检测速度快、在线测量等优点。目前，车轮动态检测方法主要有超声波检测法、电磁超声（EMAT）检测法、振动加速度检测法以及光学图像检测法等。

车轮的损伤形式有车轮踏面及轮缘的磨损、裂纹，踏面的缺损、剥离、擦伤、局部凹入、碾宽，踏面上粘有熔化金属等。表面缺陷可由目视检测记录后，通过镟修恢复踏面原有几何尺寸。但是由于承受交变载荷产生的疲劳裂纹多发生在踏面下面，需要通过无损检测的方法或者镟修后才能发现。踏面内部产生的疲劳裂纹方向与车轮旋转方向的关系，如图 1-1-17 所示。据经验，踏面内部产生的疲劳裂纹倾斜  $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ，如图 1-1-18 所示，该部位由于受到较强的冷作碾压而产生了塑性变形，使之变硬并延伸，呈薄片状脱落，造成踏面剥离。产生踏面剥离的另一个原因主要是因为材质不良、有夹渣，在运行中经反复碾压，材质疲劳而出现鳞片状剥离。

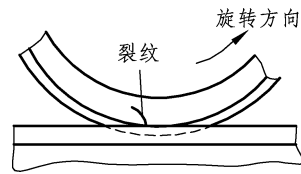


图 1-1-17 车轮踏面裂纹的方向

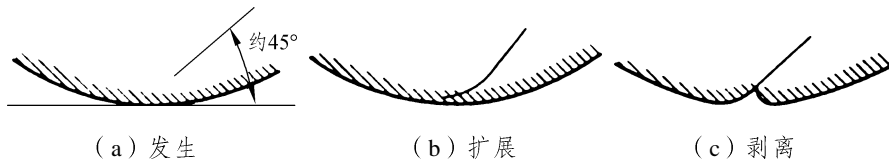
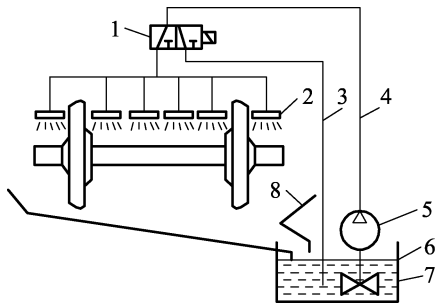


图 1-1-18 车轮踏面裂纹的扩展

### 3. 轮对的无损检测方法

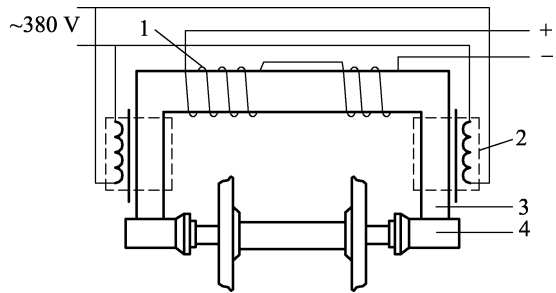
车辆轮对在装配前，应对车轴各部位用探伤仪器进行检查；检修时按规定对轴颈、防尘板座、轮座、制动盘座及轴身进行探伤检查，常用的探伤方法有磁粉探伤与超声波探伤。铁路客货车轮对车轴表面探伤常用荧光磁粉探伤仪，如图 1-1-19 与图 1-1-20 为 TYC 型轮对荧光磁粉半自动探伤仪的机构图。电磁探伤的操作工艺过程如下：

- (1) 探伤之前，必须将被探工作物表面的锈蚀、油垢、灰尘及水分除净，直至完全露出表面。
- (2) 清理被探工作物表面以后，应先做外观检查，找出肉眼可以看到的缺陷及可疑的地方，以此作为探伤的重点。
- (3) 准备工作做好以后，应先检验探伤器的灵敏度及性能，确认探伤器良好后再进行探伤作业。
- (4) 按照轮对的轮廓尺寸放置探伤器，使受探各部位都能受到磁场励磁。探伤时应采取纵向磁化法和周向磁化法交叉探测。
- (5) 探伤中，如果发现有铁粉集中现象，应将探伤器角度略加变动，使磁力线与铁粉集中处有较大的交角，促使显示更加清晰。如果初步断定为裂纹，可将铁粉全部擦去，再重新探伤两三次，如仍呈现铁粉聚集现象，便可确认是裂纹了。
- (6) 探伤完了按规定打钢印，并将探伤情况填写在规定的记录簿中。



1—纵向磁化线圈；2—周向磁化线圈；3—铁芯；4—探头；5—液压泵；6—储液槽；7—搅拌器；8—回收槽。

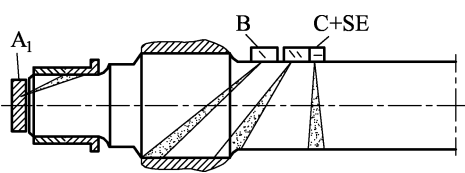
图 1-1-19 TYC 探伤机磁悬浮液喷洒回收装置



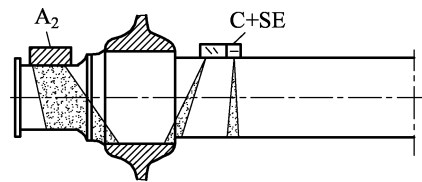
1—换向阀；2—喷头；3—输液管；4—输液管。

图 1-1-20 TYC 探伤机磁化机构

使用超声波探伤时，根据车轴裂纹的位置（图 1-1-16）合理布置超声波探头的位置，如图 1-1-21 所示。图 1-1-21 (a) 中，使用探头  $A_1$  检测轴颈和轮座外侧，轮座内侧使用组合探头 C 和直探头 SE 进行检测，组合探头 C 探测轮座内侧部，直探头 SE 探测轴中央部分。图 1-1-21 (b) 中，使用小角度纵波探头  $A_2$  检测轴颈，将斜探头 B 设在轴中央部分检测轮座外侧部分。



(a) 滑动轴承及未装滚动轴承车轴



(b) 滚动轴承车轴（装有滚动轴承）

图 1-1-21 车轴探伤位置示意图

自动化超声波探伤装置的探头布置可参照图 1-1-22 设置，两侧车轮踏面及轮辋上各装一组探头 1 和 2；轴颈、轴端面、轴身也是每侧各装一组探头 3、4、5。对于各种类型的车轴，由于结构、几何尺寸、是否有滚动轴承等不同，其探头可根据具体情况调节机械结构及进行不同组合。

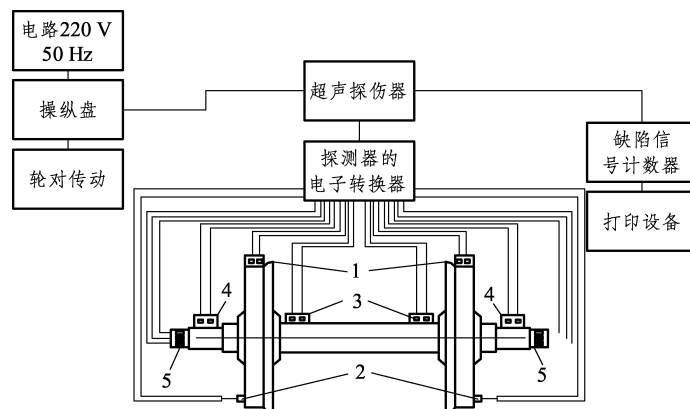


图 1-1-22 超声探头布置示意图

## （二）滚动轴承

轴箱装置将轮对和侧架或构架联系在一起，一方面把轮对沿钢轨的滚动转化为车体沿线路的平动，另一方面承受着车辆的重量，传递各方面的作用力。为了显著降低车辆起动和运行的阻力，现代机车车辆大都采用滚动轴承轴箱装置。我国铁路机车车辆滚动轴承箱装置按所使用的轴承类型不同，可分为有轴箱的圆柱滚动轴承轴箱装置和无轴箱的圆锥滚动轴承箱装置两大类。圆柱滚动轴承轴箱装置主要用于客车转向架，货车转向架只有少量进口罐车装有圆柱滚动轴承轴箱装置，其结构和客车圆柱滚动轴承轴箱装置相比只有轴箱体两侧结构有所不同。无轴箱圆锥滚动轴承装置只用于货车转向架。

铁路车辆用滚动轴承均配置在簧下，除承受车辆载荷外，还直接承受着轮轨间发生的振动、冲击，其可靠性直接关系行车安全。与其他机械零部件相比，滚动轴承的一个显著的特点就是其寿命的离散性很大，即用同样的材料、同样的加工工艺和生产设备制造出来的同一批轴承，即使在相同的工况条件下，其寿命也可能有较大的差别，有的轴承还远未达到设计寿命就出现了各种故障。所以加强轴承的监测和诊断，及时了解 and 掌握轴承的工作状态，可以尽量发挥轴承的工作潜力，避免或减少事故的发生，对列车的安全运行具有十分重要的意义。

早期的轴承故障诊断方法是听音棒接触轴承部位，依靠听觉来判断轴承有无故障。后来逐步采用电子听诊器、各式测振仪器和仪表并利用振动位移、速度或加速度的均方根值来判断轴承有无故障。随着滚动轴承运动学、动力学的不断发展，对轴承振动信号中频率成分和轴承零件的几何尺寸及缺陷类型的关系有了比较清楚的了解，加之快速傅里叶变换技术的发展，开创了用频域分析方法检测和诊断轴承故障的有效途径，从而奠定了滚动轴承状态监测及故障诊断的理论基础。目前，已有多种信号分析仪可用于对滚动轴承进行故障诊断。由于采用了各种现代信号处理技术，如相干滤波、自适应滤波、频率细化、倒频率、包络谱等，大大提高了诊断的灵敏度和有效性。

为预防由轴承故障引起的事故，在全国铁路主要干线上都安装了大量的红外线轴温探测系统，并形成了探测网络，以便及时发现温度过高的轴承，防止燃轴、切轴和脱轨事故，取得了很好的效果。考虑到重载、快速运输体系的发展及轴承工作环境的恶劣情况，仅仅依赖红外轴温探测系统难以有效保障列车的安全。为提高铁路行车的安全性，避免或减少由轴承引发的燃轴、切轴和脱轨事故，一些新技术与新装备也在不断应用到滚动轴承早期故障的预报监测中。

## 三、铁路钢轨的无损检测

钢轨是机车车辆运行的基础，钢轨状态的好坏直接关系到铁路运输安全。轮轨之间存在着复杂的作用力，车轮作用于钢轨上的力有垂直力、横向水平力和纵向水平力。此外，气候和其他因素也对钢轨受力有影响，使钢轨除产生基本弯曲应力外，还有接触应力、残余应力、局部应力和温度应力等，从而造成钢轨产生压缩、伸长、弯曲、扭转、压溃或磨损、断裂等损伤，对车辆的安全运行构成很大的威胁。例如，2000年10月17日，一列高速列车在从伦敦（London）驶往利兹（Leeds）的途中发生出轨事故，整个列车11节车厢的后面8节脱轨，

2 节几乎完全倾覆，造成 4 人死亡，70 人受伤的严重事故。后来，查明脱轨事故就是由于曲线外侧钢轨的断裂引起的。又如，1994 年 2 月 12 日，哈尔滨铁路局牡丹江铁路分局管内滨绥线九江泡至一面坡间，一货物列车发生颠覆、脱轨，造成重大行车事故。该起事故也是由于钢轨严重侧磨、轨距过大、扣件松动、钢轨弹性挤开等因素造成的。因此，国内外铁路部门从很早就开始对钢轨进行各种无损检测，保证铁路运输的安全。

目前，我国铁路主要采用手推式和全自动式轨道检测车相结合的方式对钢轨进行检测，采用的无损检测手段主要是超声波检测法和涡流检测法。

### 【思考题】

1. 简述什么是无损检测技术。
2. 请列举能够对材料内部缺陷进行检测的方法。
3. 简述超声波检测技术的工作原理。
4. 列举铸件中的主要缺陷。
5. 车轮的损伤形式有哪些？铁路中常用的无损检测方法是什么？



【知识拓展】



【心灵驿站】



【头脑风暴】