

DIANCI TANSANG

魏殿荣 合编  
俞展猷  
孙永昌 审校

N S N S S N



# 电磁探伤

中国铁道出版社

# 电 磁 探 伤

魏殿荣 合编  
俞展猷  
孙永昌 审校

中 国 铁 道 出 版 社

1984年·北京

## 内 容 提 要

本书先概述了电磁学基础知识,然后较详细地叙述了电磁探伤的原理及分类、电磁探伤装置的构成、简易探伤器的设计计算、电磁探伤灵敏度、金属零件上常见缺陷的显示与确认、电磁探伤设备的保养与安全技术,以及车辆主要零部件的电磁探伤方法、车辆零部件上产生裂纹的部位与分析判断等。

本书适合从事机车车辆探伤工作的职工学习,也可供铁路其他部门及工矿企业中的电磁探伤工人、检验人员和有关工程技术人员学习与参考。

## 电 磁 探 伤

魏殿荣 合编  
俞展猷

孙永昌 审校

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 庄大圻 封面设计 丑毓平

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$  印张: 7.375 字数: 163 千

1984年7月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—6,000 册 定价: 0.80元

## 前 言

铁路现代化是四个现代化的重要组成部分，而目前铁路运输在国民经济中尚属薄弱环节。据调查，全路每年都要发生多起因某些机车车辆零部件断裂而造成的重大事故。其中重要原因之一是与探伤检查的开展有关。十年动乱期间，由于受到林彪、四人帮的干扰，生产秩序遭到破坏，以致有章不循、探伤技术水平下降，探伤设备技术状态不良。近年来，新工人增加，实际经验少，技术水平有待提高。因此，编写一本普及探伤基础知识的书，对提高现场工人探伤水平很有好处。本书正是为此目的而编写的。

由于近代科学技术的发展，无损探伤检查的种类日益增多。目前已在工业生产中广泛采用的有：射线探伤、电磁探伤、荧光探伤、涡流探伤、超声波探伤、着色探伤等，其中电磁探伤是应用最早和最为普遍的一种无损探伤检查方法。本书就是专门介绍这种探伤方法的。

电磁探伤亦称磁力探伤或磁粉探伤，早在1919年国外就已制成了探伤用的实验设备。由于电磁探伤设备结构简单、制造方便、容易操作，并且对表面缺陷的发现具有较高的灵敏度，所以很快在工业生产中被采用。我国在解放以前也已开始使用，但应用范围不广。解放后，在一些大中型厂矿普遍设置了电磁探伤设备，并作为正常生产工序加以规定。我国铁路对机车车辆重要零部件进行电磁探伤是在1949年开始的，1952年铁道部在总结了前一段时期探伤经验的基础上，公布了机务段、车辆段和机车车辆工厂重要零部件电磁探伤

细则，此后，探伤工作才普遍在我国铁路上开展起来。

随着现代冶炼技术的日趋完善，各种金属原材料的质量也在不断提高，但不论采用什么先进冶炼技术，要提供完全没有任何缺陷且又材质均匀的坯料乃是相当困难的事情。机车车辆零部件常常由于制造技术不良，在制品内部产生缺陷；同时，即使原材料是好的，但由于长期使用，金属也会产生疲劳裂纹。这些内部缺陷和裂纹大大削弱了零件的强度，如果继续使用这些零件那将是十分危险的，严重地威胁着行车安全。如果在运行中发生折断事故，其后果是不堪设想的。因此，如何在毛坯中选出缺陷较少或没有缺陷的进行机械加工；或把运用中带有危险性缺陷的零件挑剔出来以防止事故的发生，便成为机车车辆零部件加工和检修运用中极为重要的问题。这就是电磁探伤检查的主要任务。探伤检查不同于理化检验的重要特点之一是，它不是抽样检查，而是直接在产品本身上进行检查，而且，检查的结果直接关系到零件的弃用。这对及早发现材料和零部件上的缺陷，防止加工过程中劳动力和工时的浪费，保证机车车辆的安全运用是一项十分重要的工作。

本书由原锦州铁路局魏殿荣同志和铁道部科学研究院俞展猷同志合编，铁道部车辆局孙永昌同志审校。由于水平所限，书中一定会有不少缺点和错误，希批评指正。

编 者

1983年12月

## 目 录

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>第一章 电磁学基础知识 .....</b>    | <b>1</b>  |
| 一、电磁学中的几个基本概念 .....         | 1         |
| 1. 磁    极 .....             | 1         |
| 2. 磁    力 .....             | 2         |
| 3. 磁    场 .....             | 2         |
| 4. 磁    化 .....             | 5         |
| 5. 磁畴与居里点 .....             | 6         |
| 6. 铁磁性物质 .....              | 8         |
| 7. 磁感应线 .....               | 9         |
| 8. 磁路的欧姆定律 .....            | 10        |
| 9. 磁化曲线 .....               | 14        |
| 10. 导磁率曲线 .....             | 16        |
| 11. 磁滞现象与磁滞回线 .....         | 16        |
| 12. 剩余磁感应强度曲线 .....         | 18        |
| 13. 磁化强度矢量 .....            | 19        |
| 二、电磁探伤中的几个电磁学概念 .....       | 20        |
| 1. 漏磁场 .....                | 20        |
| 2. 漏磁的原因 .....              | 21        |
| 3. 有关参量对漏磁场分布的影响 .....      | 22        |
| 4. 剩    磁 .....             | 23        |
| 5. 硬磁和软磁 .....              | 23        |
| 6. 矫顽力 .....                | 23        |
| <b>第二章 电磁探伤的原理及分类 .....</b> | <b>24</b> |

|                     |    |
|---------------------|----|
| 一、电磁探伤的原理 .....     | 24 |
| 二、电磁探伤的分类 .....     | 27 |
| (一) 电磁探伤方法的分类 ..... | 27 |
| 1. 外加磁场法 .....      | 27 |
| (1) 直流电磁化法 .....    | 28 |
| (2) 交流电磁化法 .....    | 28 |
| (3) 半波整流磁化法 .....   | 28 |
| (4) 干粉法 .....       | 29 |
| (5) 湿粉法 .....       | 29 |
| 2. 剩余磁场法 .....      | 30 |
| (二) 磁化方法的分类 .....   | 30 |
| 1. 纵向磁化法 .....      | 31 |
| (1) 轭铁磁化法 .....     | 31 |
| (2) 线圈开端磁化法 .....   | 32 |
| (3) 线圈闭端磁化法 .....   | 33 |
| (4) 直角通电法 .....     | 33 |
| (5) 磁力线贯通法 .....    | 33 |
| 2. 周向磁化法 .....      | 34 |
| (1) 直接通电磁化法 .....   | 34 |
| (2) 刺入法 .....       | 35 |
| (3) 心杆磁化法 .....     | 36 |
| (4) 平行电流磁化法 .....   | 36 |
| (5) 局部周向磁化法 .....   | 37 |
| (6) 环行磁化法 .....     | 37 |
| 3. 复合磁化法 .....      | 37 |
| (1) 轭铁复合磁化法 .....   | 38 |
| (2) 交叉线圈式探伤法 .....  | 38 |

### 第三章 电磁探伤装置的构成 .....

|                   |    |
|-------------------|----|
| 一、电磁探伤专用变压器 ..... | 40 |
|-------------------|----|

|                          |    |
|--------------------------|----|
| (一) TB型1.5千伏安变压器 .....   | 41 |
| (二) TB型0.5千伏安变压器 .....   | 42 |
| (三) JMB型0.4千伏安变压器 .....  | 42 |
| 二、电磁探伤器 .....            | 43 |
| (一) 手提式电磁探伤器 .....       | 43 |
| 1. 开合式环形电磁探伤器 .....      | 43 |
| 2. 闭合式环形电磁探伤器 .....      | 45 |
| 3. 开合式马蹄形电磁探伤器 .....     | 46 |
| (二) 轮对探伤机 .....          | 48 |
| (三) 固定台式探伤机 .....        | 50 |
| (四) 移动式探伤机 .....         | 51 |
| 三、撒磁粉装置 .....            | 55 |
| (一) 干磁粉撒粉器 .....         | 55 |
| (二) 喷磁悬液装置 .....         | 55 |
| (三) 磁悬液槽 .....           | 55 |
| 四、电磁探伤使用的辅助机具和电气装置 ..... | 55 |
| (一) 电磁探伤架 .....          | 56 |
| (二) 卧式转动装置 .....         | 58 |
| (三) 摩擦滚轮式转动装置 .....      | 58 |
| (四) 电气装置 .....           | 60 |
| 1. 小型配电盘 .....           | 60 |
| 2. 照明灯 .....             | 60 |
| (1) 磁粉探伤照明灯 .....        | 60 |
| (2) 荧光磁粉探伤照明灯 .....      | 60 |
| 3. 导    线 .....          | 60 |
| 4. 断电相位控制器 .....         | 60 |
| (1) 断电相位与探伤的关系 .....     | 61 |
| (2) 断电相位控制器的结构原理 .....   | 62 |
| (3) 断电相位控制器的安装 .....     | 65 |



|                      |    |
|----------------------|----|
| (五) 其    他 .....     | 67 |
| 五、退磁装置 .....         | 67 |
| (一) 退磁原理 .....       | 67 |
| 1. 零件纵向磁化的退磁原理 ..... | 69 |
| 2. 反转磁化磁场的方法 .....   | 70 |
| 3. 减弱磁化磁场的方法 .....   | 70 |
| (二) 退磁方法 .....       | 70 |
| 1. 反向直流退磁法 .....     | 70 |
| 2. 交流退磁法 .....       | 71 |
| 3. 旋转磁场退磁法 .....     | 73 |
| (三) 退磁装置 .....       | 73 |
| (四) 退磁要求 .....       | 73 |
| 六、稳压器 .....          | 74 |
| (一) 结    构 .....     | 74 |
| (二) 工作原理 .....       | 74 |

#### 第四章 简易电磁探伤器的设计计算 .....

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 一、空心环形电磁探伤器 .....        | 77 |
| 二、马蹄形铁心电磁探伤器 .....       | 93 |
| 三、直通电流磁化法的计算 .....       | 96 |
| 四、心杆磁化法与平行电流磁化法的计算 ..... | 99 |

#### 第五章 车辆主要零部件的电磁探伤 .....

|                  |     |
|------------------|-----|
| 一、对探伤人员的要求 ..... | 100 |
| (一) 两    定 ..... | 100 |
| (二) 三    包 ..... | 100 |
| (三) 四    懂 ..... | 101 |
| (四) 五    会 ..... | 101 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 二、电磁探伤的范围和期限 .....       | 102 |
| 三、电磁探伤前的准备 .....         | 103 |
| (一) 工地组织 .....           | 103 |
| (二) 工艺装备与备品 .....        | 103 |
| (三) 电磁探伤设备的技术要求 .....    | 103 |
| (四) 电磁探伤灵敏度的校验 .....     | 105 |
| (五) 磁粉标准 .....           | 105 |
| 四、一般操作程序 .....           | 106 |
| (一) 准备工作 .....           | 106 |
| (二) 操作的一般要求 .....        | 107 |
| 五、轴承零件的电磁探伤 .....        | 109 |
| (一) 探伤前的准备工作 .....       | 109 |
| (二) 磁    化 .....         | 109 |
| (三) 检    查 .....         | 113 |
| (四) 退    磁 .....         | 113 |
| (五) 探伤结束后 .....          | 114 |
| (六) 注意事项 .....           | 114 |
| 六、车轴的电磁探伤 .....          | 115 |
| (一) 探伤设备的选用 .....        | 115 |
| (二) 探伤方法 .....           | 115 |
| 七、均衡梁的电磁探伤 .....         | 117 |
| (一) 探伤设备的选用 .....        | 117 |
| (二) 探伤重点 .....           | 117 |
| (三) 探伤方法 .....           | 117 |
| 八、吊杆、小轴、销子和螺栓的电磁探伤 ..... | 118 |
| (一) 探伤设备的选用 .....        | 118 |
| (二) 探伤方法 .....           | 118 |
| 九、钩舌的探伤 .....            | 119 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| (一) 探伤设备的选用 .....  | 119 |
| (二) 探伤方法 .....     | 119 |
| 十、制动梁端轴的电磁探伤 ..... | 119 |
| (一) 探伤设备的选用 .....  | 119 |
| (二) 探伤方法 .....     | 119 |
| 十一、拱板的电磁探伤 .....   | 120 |
| (一) 探伤设备的选用 .....  | 120 |
| (二) 探伤方法 .....     | 120 |
| 十二、车轮的电磁探伤 .....   | 121 |
| (一) 探伤设备的选用 .....  | 121 |
| (二) 探伤方法 .....     | 121 |

## **第六章 零件上常见的缺陷及其显示与确认 .....122**

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 一、钢铁零件上的缺陷及其产生原因 ..... | 122 |
| (一) 制造过程中产生的缺陷 .....   | 122 |
| (二) 使用过程中产生的缺陷 .....   | 130 |
| 二、缺陷的显示形象 .....        | 131 |
| (一) 疲劳裂纹的显示 .....      | 131 |
| (二) 夹灰、气孔、疤痕的显示 .....  | 132 |
| (三) 发线的显示 .....        | 133 |
| (四) 锻造裂纹的显示 .....      | 134 |
| (五) 淬火裂纹的显示 .....      | 134 |
| (六) 电焊裂纹的显示 .....      | 135 |
| (七) 锻件重皮的显示 .....      | 136 |
| (八) 磨削裂纹的显示 .....      | 137 |
| (九) 白点的显示 .....        | 138 |
| 三、非缺陷的假显示 .....        | 138 |
| 四、缺陷的确认 .....          | 141 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| (一) 不损伤金属表面的确认 ..... | 142 |
| (二) 损伤金属表面的确认 .....  | 143 |

## 第七章 车辆零部件上产生裂纹的部位与分析 .....146

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 一、轮 对 .....     | 146 |
| 二、滚动轴承 .....    | 156 |
| 三、均衡梁 .....     | 157 |
| 四、拱 板 .....     | 158 |
| 五、钩 舌 .....     | 158 |
| 六、钩舌销.....      | 159 |
| 七、螺 栓 .....     | 160 |
| 八、制动梁吊 .....    | 160 |
| 九、钩尾销 .....     | 161 |
| 十、摇枕吊 .....     | 161 |
| 十一、摇枕吊轴 .....   | 162 |
| 十二、客车制动梁吊 ..... | 162 |
| 十三、制动梁端轴 .....  | 162 |

## 第八章 电磁探伤灵敏度.....163

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 一、磁化电流的选择.....             | 164 |
| (一) 根据磁化特性曲线选择磁化电流 .....   | 164 |
| (二) 用经验公式确定磁化电流 .....      | 166 |
| (三) 用标准探伤灵敏度试片选择磁化电流 ..... | 184 |
| 二、电磁探伤的显示媒质 .....          | 198 |
| (一) 磁 粉 .....              | 198 |
| (二) 磁悬液 .....              | 206 |
| (三) 两种显示媒质的用途 .....        | 216 |
| (四) 光亮磁粉的制作 .....          | 217 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 三、磁化时间 .....                      | 218 |
| 四、操作方法 .....                      | 218 |
| 五、被探零件表面状态的影响 .....               | 219 |
| 六、磁力线方向的影响 .....                  | 219 |
| 七、磁化电流种类的影响 .....                 | 220 |
| 八、检验方法的影响 .....                   | 220 |
| <br>第九章 电磁探伤设备的保养及安全技术 .....      | 221 |
| 一、在电磁探伤设备的保养方面，应注意以<br>下几点: ..... | 221 |
| 二、在技术安全方面必须注意以下几点: .....          | 222 |
| 参考文献 .....                        | 223 |

## 第一章 电磁学基础知识

### 一、电磁学中的几个基本概念

历史上，磁学的建立是由研究磁铁的磁性开始的。人们认为在磁铁的南北两极存在有磁荷，与电场由电荷产生相似，认为磁场是磁荷产生的，用磁场强度 $H$ 来描述磁场。直到1819年奥斯特发现电流对磁针有作用，才发现电流亦可以产生磁场，后来无数事实证明，磁场是由电流或运动的电荷引起的。我们在本章中将从电流产生磁场出发，研究磁场的基本性质等问题。

1. 磁极 把磁体放到铁屑里，然后再拿出来，我们可以看到它能吸起很多的铁屑，如图1—1所示。吸引铁屑最多的地方，磁性最强，称为磁极。

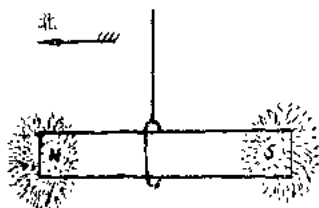


图 1—1 磁极

把一根条形磁体用软线悬挂起来，使它能在水平面里自由转动，我们可以看到：当磁体静止下来以后，它的一个磁极总是指北方，另一个磁极总是指向南方，如图1—1所示。把这个总是指北方的磁极叫做北极，用N表示；把另一个总是指南方的磁极叫做南极，用S表示。

磁极不但能吸引铁磁性物质，经实验得知：它们彼此之间还有很明显的相互作用，即同号磁极相互排斥，异号磁极相互吸引，如图1—2所示。

2. 磁力 磁极的吸引力和排斥力称为磁力。在定量地研究磁极之间的相互作用时，首先我们对磁极本身的磁性强弱要建立起一个量的概念，这和电荷的多少（电量）相似，叫做磁极强度。同一个磁体的两个磁极，其强度相等；不同磁体的磁极，其强度不一定相等。

3. 磁场 如图 1—3 所示；如果在一直导线旁放一些可以自由偏转的小磁针，当导线中通电流时，我们发现磁针发生偏转，当电流反向时，磁针的偏转方向亦相反；如果改变磁针与导线间的距离，那末磁针的偏转角度也不同。如果把一段直导线放在如图 1—4 所示的 U 形磁铁的磁极间，当导线中通以如图所示的电流  $I$  时，导线将受到力  $F$  的作用；再如把两根通有电流的导线并列着，如图 1—5 所示，我们发现，它们都受力的作用，在两导线中通以同向电流时（右），两导线互相吸引；通反向电流时（左），则互相排斥。

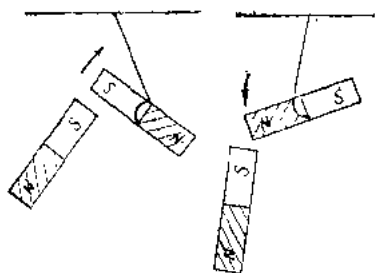


图 1—2 磁极相互作用

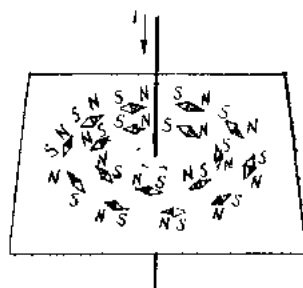


图 1—3 电流对磁针的作用

从上述这些实验可以看到，电流对磁针、磁铁对电流或运动电荷以及电流与电流之间都有力的作用；我们还知道，两个磁体的磁极靠近时总要发生相互作用，电流间、电流与磁铁之间也要发生相互作用。显然相互作用必定是通过在周围存在一种特殊的东西来实现的。这种特殊的東西就是磁

场。磁场的基本性质之一是它对于任何置于其中的其它磁极或电流施加作用力。

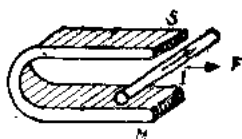


图 1—4 磁铁对电流的作用

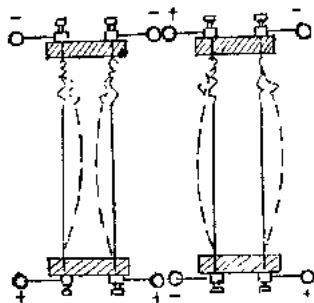


图 1—5 电流间的相互作用

从图 1—6 所示的磁场实验中得知，磁针在磁场不同位置上，其北极所受作用力的方向一般是不同的。通常把磁针北极（图中黑色的一端）在磁场某点所指的方向，规定为该点的磁场方向。

磁场中各点的磁场方向，可以用一些曲线形象地表示出来。在磁场中画一系列曲线，使曲线上每一点的切线方向都跟该点的磁场方向一致，这些曲线就叫做磁力线。磁力线的形象，可用实验粗略地表示出来。根据磁场方向的规定，我们可以知道，在磁铁周围的磁力线，都是从磁铁的北极出来，进入磁铁的南极，又在磁铁的内部从南极回到北极，形成闭合曲线，如图 1—7 所示。

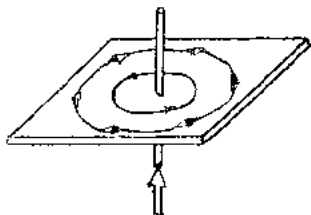


图 1—6 直线电流磁场的磁力线方向

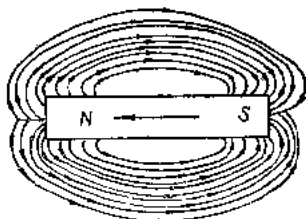


图 1—7 磁力线



电流磁场里的磁力线，并不是从什么磁极开始到什么磁极终止的，而是环绕着电流的一些闭合曲线。拿通过直线导体的电流来说，它周围的磁场里，磁力线是在垂直于电流的平面上的同心圆，这些圆的公共中心就是电流穿过磁力线平面的地方。通过实验得知，电流的方向和它的磁力线的方向是有固定关系的，如图 1—8 所示。如果反转电流的方向，磁力线的方向也随着反转。这种关系，可用图 1—9 所示的右手定则来描述：用右手握住导线并将拇指伸直，如果拇指指向电流的方向，那么环绕导线的四个手指就指示出磁力线的方向。

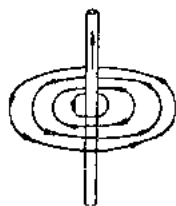


图 1—8 电流磁场磁力线方向

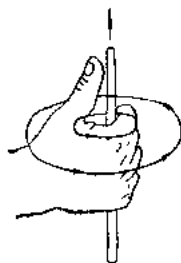


图 1—9 右手定则

从实验中还可以看到：靠磁铁两极越近，磁力线越密，磁场越强；离磁铁两极越远，磁力线越疏，磁场越弱。因此可以用磁力线的疏密来表示磁场的强弱。

在磁场里，垂直穿过某一横截面的磁力线根数叫做磁通量，在这个面上的平均磁场强度等于穿过这个横截面的平均磁力线密度（即穿过单位横截面的磁力线根数），如用公式表示，则为

$$\bar{H} = \frac{\Phi}{S} \quad (1.1)$$

式中  $\bar{H}$ ——表示平均磁场强度；