

铁路车辆技术学习丛书



电磁探伤

宋潤泽編

人民铁道出版社

铁路车辆技术学何丛书

电 磁 探 伤

宋 润 泽 编

人 民 铁 道 出 版 社

1 9 6 4 年 · 北 京

书中概述了探伤工作的重要性，詳述了电磁探伤的理論，及各种电磁探伤器的构造、簡易电磁探伤器的基本計算与設計，电磁探伤的操作过程，金属配件缺陷的分类、产生原因和探伤时的显示形象及其确認方法等。

本书适合从事車輛探伤工作的职工学习，亦可供铁路其他部門及工矿企业电磁探伤工人、检查工人和有关工程技术人员参考与学习。

铁路車輛技术学习丛书

电 磁 探 伤

宋 潤 泽 編

人民铁道出版社出版

(北京市霞公府甲24号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 010 号

新华书店北京发行所发行

人民铁道出版社印刷厂印

书号1938 开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 3 字数 64 千

1964年6月第1版

1964年6月第1版第1次印刷

印数 0,001—3,000 冊 定价(科四) 0.34 元

序

铁路车辆是铁路运输部门的一项重要设备，车辆状态的好坏，直接影响到铁路运输效率和质量。解放后，党和国家对于铁路车辆业务给予极大的重视，加强了检修基地，对运用车辆实行了有计划的预防性检查与修理，保证了车辆技术状态经常良好。

在运输任务逐年增加，车辆运用效率不断提高，新技术、新设备和先进工作方法不断出现的形势下，从事车辆业务的职工必须进一步提高技术业务水平，才能适应工作的需要，为此我局组织各铁路局一部分有经验的工程技术人员编写了一套“铁路车辆技术学习丛书”。

这套丛书是以单项部件或一个工种为题，分别编写的，编写后均经铁道部机车车辆局审查。它的特点是从实际出发，密切结合生产，以现行规程及先进生产经验为主要依据，并参考过去行之有效的一些工作方法和技术理论编写的。

这套丛书将为全路车辆系统的职工同志们提供有利的学习条件，希望同志们进一步认真地学习，不断提高技术业务水平，加强车辆维修保养，提高车辆质量，以保证安全、经济、高效率地完成国家运输生产任务。同时也希望同志们在学习过程中，随时提出补充或修改的意见，使这套丛书逐步充实，日臻完善，发挥更大的作用。

铁道部机车车辆局

一九六四年四月

目 录

第一章 緒論	1
第二章 电磁探伤的原理及分类	2
一、电磁探伤的原理.....	2
二、电磁探伤的分类.....	6
(一) 从使用电流性质分.....	6
(二) 从磁化方向上分.....	7
(三) 从磁化方式上分.....	15
第三章 电磁探伤器的构造	16
一、电磁探伤器的种类.....	16
(一) 固定台式.....	16
(二) 中型移动式.....	17
(三) 轻便手提式.....	17
二、车辆部门常用电磁探伤器的构造.....	18
(一) 闭合环形电磁探伤器.....	19
(二) 开合环形电磁探伤器.....	19
(三) 开合式马蹄形电磁探伤器.....	22
(四) 轻便开合式马蹄形电磁探伤器.....	23
(五) 轮对探伤器.....	25
三、探伤器的电源供给问题及专用变压器.....	26
第四章 簡易电磁探伤器的設計与計算	28
一、空心环形电磁探伤器.....	28
二、马蹄形铁心电磁探伤器.....	36
三、直接通电磁化法的计算.....	38
四、心杆磁化法、平行电流磁化法的计算.....	41

第五章	电磁探伤的显示媒质	42
第六章	电磁探伤器的灵敏度及其检验方法	46
第七章	电磁探伤的操作过程	50
一、	电磁探伤的一般操作过程.....	51
二、	电磁探伤使用的辅助机具.....	56
三、	电磁探伤的退磁.....	60
第八章	配件的缺陷及其显示和确认	62
一、	钢铁配件的缺陷及其产生原因.....	62
二、	缺陷的显示形象.....	67
三、	缺陷的确认.....	76
第九章	常用车辆配件产生裂纹的部位与探伤	79
第十章	电磁探伤设备的保养及安全技术	87

第一章 緒 論

在火车、飞机、轮船、起重机等机械上，使用的金属零件，常常由于制造技术不良，在制品内部产生气孔，或者是由于长期使用，金属疲劳而产生裂纹。这些气孔、裂纹或者其他缺陷，大大削弱了零件的强度。特别在现代工业高度发展的情况下，为了减轻机械重量，节约原材料，就更不允许零件上存在着缺陷。否则，使用带有缺陷的零件进行工作，那将是十分危险的，而且迟早会发生折断。

在铁道运输事业上，如果车辆轮轴在运行中发生折断的事故，其后果是非常严重的，不仅会造成大量的车辆和线路破损，迫使行车中断，而且会严重危及人民生命财产的安全。因此在制造和修理机械设备时，对某些原材料及重要部件进行详细的检查与试验，及早发现材料和零、部件的缺陷，防止加工过程中劳动力的浪费，和保证机械设备的安全运用，是一项十分重要的工作。

如何检查发现金属零件和材料的缺陷呢？很早以前人们是凭着看外观、听声音来发现的，但是有些缺陷在金属内部，有些裂纹很细，即使用放大镜也不容易检查出来，那么只有用其他科学仪器来检查了。用科学仪器来检查金属零件缺陷的方法称为“探伤”。也就是探索金属的内伤。

我国铁路对机车车辆重要零件进行探伤，是在1949年开始的。1952年铁道部总结了过去一个阶段的探伤经验，选定了几种探伤器及公布了机务段、车辆段及机车车辆工厂重要配件电磁探伤细则以后，探伤工作才普遍在我国铁路上施行。

由于在机车车辆修理和制造工作中施行了探伤，有力的保证了运输安全，防止了大量事故。因此探伤工作在保证铁路运输任务的完成，在加速我国社会主义建设方面，具有极重要的意义。

从现代科学技术分类上看，探伤是属于材料试验这一技术科学范围。在材料试验中，一般分为材料的破坏试验，与材料的无损试验两种。前者通常是从一批零件中，选出一两件具有代表性的零件，加以锯开，或用其他方式击断来进行检查，以判断这批零件是否良好。这种方法，由于不能对每一个零件一一进行破坏试验，所以检查带有很大程度的偶然性与片面性。其缺点是破坏了零件，有时还不能真正判断零件的质量。后者是一种不损坏零件的试验方法，由于不损坏零件，因此可以对每一个零件一一进行检查，并且判断准确可靠。现今在材料试验中，广泛地采用无损试验法。

材料的无损试验，随着近代的技术发展，种类是很多的，有毛细管探伤法、荧光探伤法、电磁探伤法、X射线探伤法、超音波探伤法及 γ 射线探伤法等，其中以电磁探伤应用最为普遍，本书重点就是专门介绍这种方法。

第二章 电磁探伤的原理及分类

一、电磁探伤的原理

电磁探伤，是利用电磁原理来检查金属缺陷的。

利用电磁原理来进行探伤，近代也有很多种，如感应法、荧光磁粉法、电位差法等几种，但最常用的一种电磁探伤法，是利用电流产生磁力，使工作物磁化而具有磁性。然后在工作物上撒上铁粉，或者铁粉与油的混合液，有裂纹的地方由于磁力线外泄，形成局部磁极，磁力就特别强，铁粉便集中在裂纹处，沿着裂纹的形状，形成一条由铁粉组成的黑

线。观察工作物上有没有集中的铁粉黑线，便可以确定金属零件是否有裂纹。

这种电磁探伤主要是利用磁力，用电只不过是利用它产生磁力，有时甚至直接用永久磁铁磁化工作物进行检查，因此又称为磁力探伤。由于探伤时系利用磁粉显示，故又称为磁粉探伤。

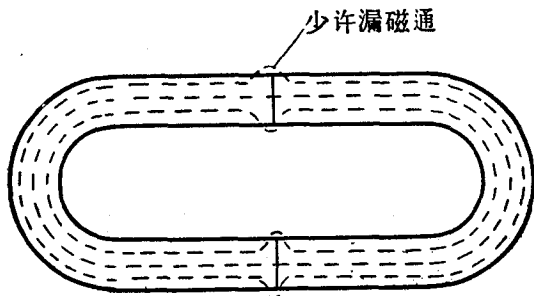


图2—1 两个对置起来的马蹄形磁铁

电磁探伤时，为什么要利用磁力线外泄呢？我们知道，一个马蹄形磁铁的两极，磁力比较强。如果将两个马蹄形磁铁对置起来（图2—1），这时两极处磁力就小。这是甚么原因呢？因为磁力线的大小，取决于两极处磁力线外泄的多少。一个马蹄形磁铁的两极，之所以磁力强，是因为磁力线由一极泄到空气中，经由空气进入另一极中（如图2—2

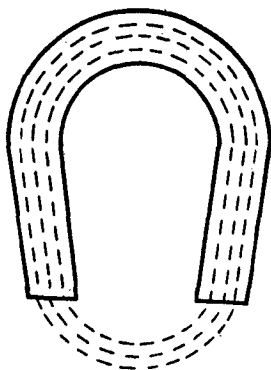


图2—2 马蹄形磁铁

所示），而两个对置起来的马蹄形磁铁，由于磁力线通过磁

铁内部构成一个磁回路，向外泄漏很少（只在其接缝处有一些泄漏），因此磁力就小。这种向外泄漏的磁力线称为漏磁通。

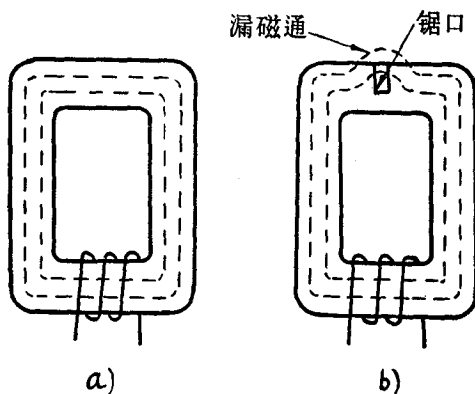


图2—3 漏磁通的试验

现在我们作下面一个试验：

在一个□形软铁心上，绕很多圈导线（图2—3a），在线圈中通入电流，铁心中会产生很多的磁力线，但是如果用铁去接近它，并没有吸力。如果在□形铁心的另一边锯一个小口（图2—3b），则在此锯口处便会有很大的磁力，这便是由于有了锯口，磁力线便从此口外泄，形成了一个磁极。

反过来说，如果用一个线圈去磁化一根铁棒（图2—4），铁棒中就有磁力线通过，而且铁棒上有一个裂纹，则这个裂纹等于把铁棒锯了一个口，因此便有一部份磁力线从这里泄漏出，形成漏磁通，造成一对局部磁极，使得在这里的磁力要比邻近他处的磁力要强得多。这时如果在裂纹的周围，撒上铁粉，由于裂纹处磁力特别强，铁粉便都集中在裂纹处，因此凭着铁粉的集中，就可以辨别金属配件中是否有裂纹，

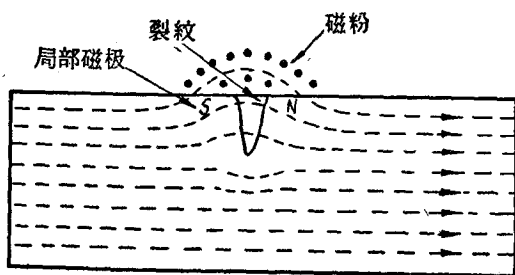


图2-4 铁棒中裂纹的漏磁通

这就是电磁探伤的基本原理。

由于裂纹或缺陷的长度与深浅不同，所以在裂纹处各处的磁力线泄漏也有所不同，铁粉聚集时各处的粗细也不一样，因此从聚集的铁粉形象便可以大致判断裂纹的深度和长度。

由此我们也可以知道，电磁探伤只适用于具有磁化性能的物质，即铁磁性物质。如果物质不具备磁化性能，自身不能被磁化形成磁铁，这样也就没有甚么磁力线外泄，当然也不会产生铁粉聚集。因此电磁探伤只适用于钢铁或钢铁合金等铁磁性物质的探伤。

对于金属内部较深的裂纹与缺陷（即表面以下的），采用电磁探伤是不大容易发现的，这是因为虽然磁力线遇到缺陷而弯曲，但由于缺陷与外表面距离较远，磁力线不大可能泄漏到外表面，以致工作物表面各处的磁力相差不大，铁粉不会集中。但在离表面较近的裂纹（3~4毫米以下），也有少许磁力线外泄，因此有比较微弱和不太清晰的铁粉集中，有经验的操作工人还是可以辨认的。近代在采用大电流和磁性性能很好的铁粉情况下，可以检查距表面以下7毫米的缺陷。

在电磁探伤时，当磁力线方向与裂纹或缺陷的方向垂直时，最容易发现裂纹；如果磁力线方向和裂纹的方向一致，那么裂纹并没有阻碍磁力线通过，因此磁力线不弯曲也不外

泄，铁粉也不会集中，没有探伤效果。因此在进行电磁探伤时，为了检查不同方向的裂纹，需要采取几种不同方向的磁化，以产生几种不同方向的磁力线，来检查各个方向的裂纹。

通常只采用两种方向，即纵向的与圆周方向的，用以检查横向裂纹和纵向裂纹就行了。斜裂纹可以在纵向磁化时，将探伤器或工作物略加倾斜就可以发现。

对于表面涂有油漆或镀有铬、锌、镍、铜、锡的零件，也可以不清除其镀层而直接进行电磁探伤检查。不过其灵敏度是十分低的，只有在万不得已的情况下才这样做。

二、电磁探伤的分类

电磁探伤是将工作物磁化，使它产生磁力线，利用裂纹或缺陷处的磁力线外泄，来检查配件的缺陷。由于使工作物磁化的手段不同，磁化以后产生磁力线的方向不同，和使用电流性质及操作方法的不同，因此电磁探伤分为以下几种：

（一）从使用电流性质分：

从使用电流性质上分，电磁探伤分为直流法与交流法两种：

1. 直流法 直流法电磁探伤，是磁化工作物时用低压直流电源。

从探伤的效果来看，直流法比较好。因为直流电产生的磁力线稳定，穿透力比较强，对发现表面以下的裂纹比较灵敏。

用直流法探伤，其主要缺点是设备比较复杂，成本也比较高，而且探伤以后，被磁化的工作物，特别是硬钢，还具有很大的剩磁，这些剩磁给工作物带来很多不利的影响，因此还必须进行消除剩磁的工作（俗称退磁）。由于这些原因，目前用直流法探伤比较少。但是它能检查较深的缺陷，因而某些大型精密的探伤设备，仍用直流法进行探伤。

2. 交流法 交流法电磁探伤，是磁化工作物时用低压交流电源。

交流法的缺点，是它的穿透力比较弱，磁力线不如直流电的稳定，并且交流电在导体中流过时，有一种趋于表面的集肤作用。

交流电的这种集肤作用，使得交流电在检查表面裂纹比较灵敏，而检查配件内部缺陷不如直流法灵敏，不过其影响并不十分显著，而且金属零件产生的裂纹，几乎绝大部分发生在表面，因此交流法探伤还是十分适用的。

由于用交流法所供给的电源方便，探伤手续和设备都比较简单，而且不需要退磁，因此在工业电磁探伤中，几乎大部分都采用交流法。

(二) 从磁化方向上分：

从磁化方向上分，一般分为纵向磁化法，圆周方向磁化法（简称周向磁化法），与联合磁化法三种：

1. 纵向磁化法 用纵向磁化法磁化工作物时，产生的

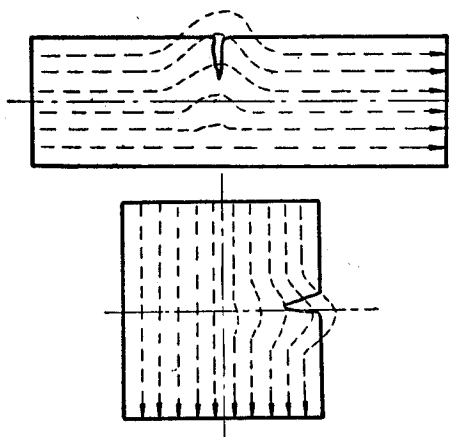


图2—5 纵向磁化法

磁力线方向和工作物的轴线是一致的（图2—5）。所谓纵向是指长形工作物，如果工作物是四方形的，纵横不好分，那么纵向和横向是相对的，无论是纵向或横向都是属于纵向范围。

根据电磁探伤的原理，我们知道纵向磁化法只能检查和磁力线垂直的裂纹，对于棒件来说就是横裂纹，而不能检查和磁力线平行的纵裂纹。

纵向磁化法，由于磁化时所用的机具不同，分为轭铁磁化法、线圈开端磁化法、与线圈闭端磁化法三种。

（1）轭铁磁化法（如图2—6），是用一个U形铁心，在铁心上绕上线圈，在U形的开口端（即两极处）放上工作物，通以电流使磁力线通过工作物构成一个闭合的磁回路。

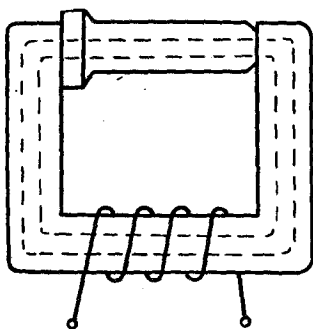


图2—6 轭铁磁化法

采用这种方法时，工作物两端应与磁极紧密接触，如果接触面不严密有空隙存在，则它对磁力线阻力很大，会使通过工作物的磁力线减少而影响检查，因此U形轭铁两端应设计成可以自由调整距离的结构，以保证工作物与磁极接触严密。

U形轭铁应采用导磁系数较高、电气性能良好的材料，如用硅钢片叠成。轭铁的大小可以根据工作物大小设计，因此它的大小不定，小的可以探伤各种销子、螺栓，大的可以探伤车辆轮轴。

当工作物的形状一定时，采用这种方法极为简便。如在铁路上，通常用的一种大型轮轴探伤台，和开合式马蹄形电磁探伤器就是采用这种方式的。

(2) 线圈开端磁化法(如图2—7), 是在被探伤的工作物上(工作物多半为棒状), 绕上几圈导线当作线圈, 或者用一个已经绕好的线圈套到工作物上, 然后将线圈通以电流, 工作物就被磁化, 撒上铁粉就可以进行探伤。

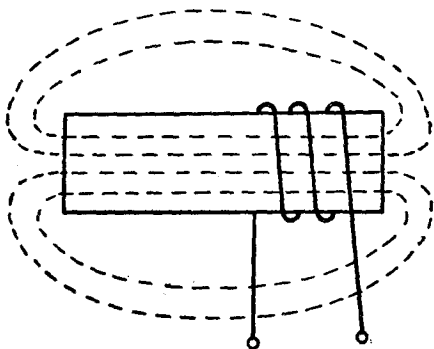


图2—7 线圈开端磁化法

铁路机车车辆常用的环形探伤器, 就是按这种原理设计的。

线圈开端磁化法的特点是: 探伤器轻便简单, 适合于对大型杆状工作物的探伤。其缺点是, 磁力线由两极出来, 经过空气而构成回路, 因之磁力不如轭铁磁化法大。再是一般线圈圈数较少, 工作物距线圈较近的地方磁力较大, 离线圈较远的地方磁力很小, 甚至不能进行探伤。因此在采用线圈开端磁化法时, 对于长大工作物必须一段一段地进行探伤。

(3) 线圈闭端磁化法和线圈开端磁化法基本上是一样的, 只不过为了减少线圈开端磁化法中, 由于磁力线经由空气形成回路造成的损失, 以及磁力不强等缺点, 因此利用一个口形铁心将工作物全部或部份联成□形, 使磁力线由工作物和口形铁心中通过, 构成一个磁回路(如图2—8)。

线圈闭端磁化法, 只适合于较小零件的探伤。因为工作

物大了，铁心任意移动是不方便的。实际上线圈闭端磁化法，只是轭铁磁化法的另一种形式，二者基本上是一样的。

线圈闭端磁化法，由于使用起来麻烦，因此应用较少。

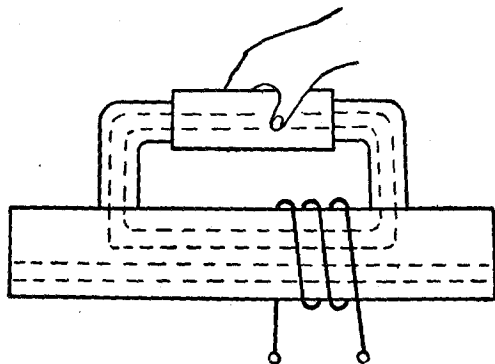


图 2—8 线圈闭端磁化法

2. 周向磁化法 用周向磁化法磁化工作物时，产生的磁力线形成同心圆形(如图 2—9)，相当于通以电流以后的直导线所产生的磁力线。用周向磁化法磁化以后，工作物的两极不是在工作物的端部，而是围绕着工作物自身形成一个闭合的磁路。磁力线是连续的，因此不能分开南极与北极，如果在工作物上有纵向裂纹时，等于把连续的磁力线切开了，在切开的地方有磁力线外泄，成为一个局部磁极，撒上铁粉便会有集中现象。因此周向磁化法对于杆件工作物来说，能检查工作物的纵向裂纹（即与轴线平行的裂纹），而对于横向裂纹，则由于其方向与磁力线的方向一致，所以探伤不出来。

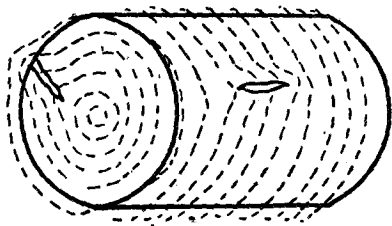


图 2—9 周向磁化法的磁力线

周向磁化法，由于磁化时使用的设备不同，也分为直接通电磁化法、刺入法、心杆磁化法、平行电流磁化法以及轭铁局部周向磁化法等几种。兹分别说明如下：

(1) 直接通电磁化法 这是周向磁化法中最简单的一种。它是在工作物的两端直接通以强大的电流（把工作物当作直导线），而使其周围产生磁力线以检查工作物的缺陷（见图 2—10）。

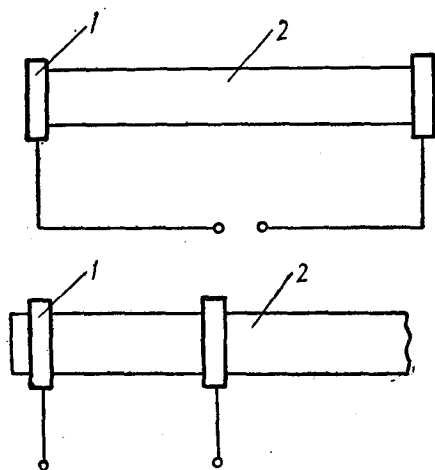


图 2—10 直接通电磁化法：

1——电极， 2——工件。

用这种方法时，探伤器有两个能与工作物接触的极，以保证导线与工作物接触良好。有时，在长大工作物上，为了方便，通电流时，可以不从工作物的两端通电，而是一段一段地通入电流，逐段地进行探伤检查。直接通电磁化法，一般适合于杆状工作物的探伤。

(2) 刺入法 刺入法探伤，就其性质来说仍然是属于直接通电磁化法的。探伤器有两个形似手枪电极，探伤时只