

民航维修无损检测与故障诊断

(下)

朱名铨 编



西北工业大学
一九九五年七月

目 录

第四章 磁力检测与涡流检测方法	(1)
§ 4-1 磁力检测方法	(1)
§ 4-2 磁粉检测中的磁化与退磁	(3)
§ 4-3 磁粉检测方法及设备	(9)
§ 4-4 磁痕解释与评定	(14)
§ 4-5 磁粉检测在民航维修中的应用	(15)
§ 4-6 涡流检测方法	(18)
§ 4-7 涡流检测在民航维修中的应用	(25)
习题与思考题	(27)
第五章 渗透检测方法	(28)
§ 5-1 渗透检测原理	(28)
§ 5-2 渗透检测方法的种类与特点	(32)
§ 5-3 渗透检测装置与检测技术	(34)
§ 5-4 渗透检测的选择	(38)
习题与思考题	(40)
第六章 声发射检测方法与全息检测技术	(41)
§ 6-1 声发射检测的物理基础	(41)
§ 6-2 声发射信号的检测与处理	(44)
§ 6-3 声发射源位置的确定	(48)
§ 6-4 声发射源严重性的评定	(50)
§ 6-5 声发射技术在故障诊断中的应用	(51)
§ 6-6 全息检测技术	(55)
习题与思考题	(59)
第七章 飞机结构的目视检查与无损检测方法的选用	(60)
§ 7-1 飞机结构故障的目视检查	(60)
§ 7-2 裂纹和腐蚀的无损检测	(64)
习题与思考题	(67)

18-21017

第八章 故障诊断与状态监测 (68)

§ 8-1 故障与故障树分析 (68)

§ 8-2 故障诊断的一般方法 (71)

§ 8-3 振动、噪声监测与诊断技术 (74)

§ 8-4 油样分析诊断技术 (78)

§ 8-5 红外监测诊断技术 (83)

§ 8-6 信号处理与故障识别技术 (85)

习题与思考题 (88)

第四章 磁力检测与涡流检测方法

磁力检测是通过对铁磁材料进行磁化所产生的漏磁场，来发现其表面或近表面缺陷的无损检验方法。磁力检测包括磁粉法、磁敏探头法和录磁头法。

涡流检测是利用电磁感应原理，使金属材料在交变磁场作用下产生涡流，根据涡流的大小和分布来探测磁性和非磁性材料缺陷的无损检验法。

§ 4-1 磁力检测方法

一、磁力检测的基本原理

铁磁材料的工件被磁化后，在其表面和近表面的缺陷处磁力线发生变形，逸出工件表面形成漏磁场。用上述的方法将漏磁场检测出来，进而确定缺陷的位置（有时包括缺陷的形状、大小和深度），这就是磁力探伤的基本原理。

1. 漏磁场

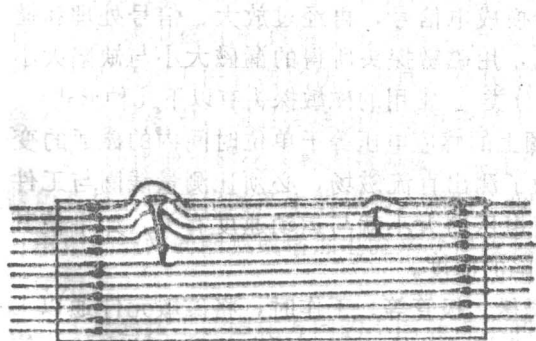


图4-1 零件表面的漏磁场

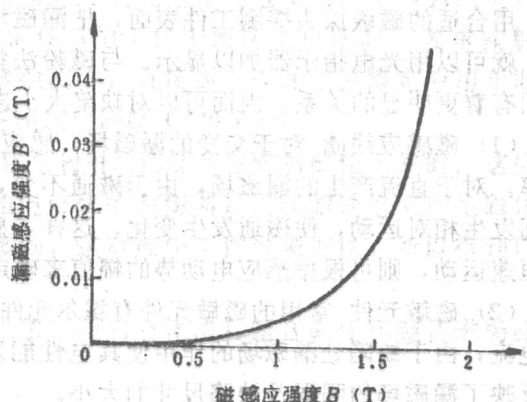


图4-2 漏磁场与磁感应强度的关系

当磁通量从一种介质进入另一种介质时，若两种介质的磁导率不同，在界面上磁力线的方向一般会发生突变。若工件表面或近表面存在着缺陷，经磁化后，缺陷处空气的磁导率（ $\mu_r=1$ ）远远低于铁磁材料的磁导率（钢 $\mu_r=3000$ ），在介面上磁力线的方向将发生改变。这样，便有一部分磁通散布在缺陷周围（见图4-1）。这种由于介质磁导率的变化而使磁通泄漏

到缺陷附近的空气中所形成的磁场，称为漏磁场。

2. 影响漏磁场的因素

了解影响漏磁场的各种因素，对分析影响检出灵敏度的各种原因具有实际意义。

(1) 外加磁场的影响。一般来说，缺陷漏磁通密度随着工件磁感应强度的增加而线性增加，当磁感应强度达到饱和值的80%左右时，漏磁场密度会急剧上升（见图4-2）。这对正确选择磁化规范提供了依据。

(2) 工件材料及状态的影响。钢材的磁化曲线是随合金成分、含碳量、加工状态及热处理状态而变化的。因此，材料的磁特性不同，缺陷处形成的漏磁场也不同。此外，若工件表面有覆盖层，则会导致漏磁场的下降。

(3) 缺陷位置和形状的影响。同样的缺陷，位于表面时漏磁通增多；若位于距表面很深的地方，则几乎没有漏磁通泄漏于空间。缺陷的深宽比愈大，漏磁场愈强。缺陷垂直于工件表面时，漏磁场最强；若工件表面平行，则几乎不产生漏磁通。

二、磁力检测的分类

当铁磁材料的表面存在着裂纹等缺陷时，在磁化状态下，裂纹周围会产生漏磁通。根据检测漏磁通所采用的方式的不同，磁力检测可分为以下几类：

1. 磁粉法

在磁化后的工件表面上撒上磁粉，磁粉粒子便会吸附在缺陷区域，显示出缺陷的位置、磁痕的形状和大小。磁粉有干式磁粉和悬浮类型的湿式磁粉。磁粉法可用于任何形状的被测件，但不能测出缺陷沿板厚方向的尺寸。磁粉法提供的缺陷分布和数量是直观的，并且可以用照相机将其摄制下来，得到了广泛的应用。

2. 磁敏探头法

用合适的磁敏探头探测工件表面，把漏磁场转换成电信号，再经过放大、信号处理和储存，就可以用光电指示器加以显示。与磁粉法相比，用磁敏探头所得的漏磁大小与缺陷大小之间有着更明显的关系、因而可以对缺陷大小进行分类。常用的磁敏探头有以下几种形式：

(1) 磁感应线圈 对于交变的漏磁场，感应线圈上的感应电压等于单位时间内的磁通的变化率。对于直流产生的漏磁场，由于磁通不变，为了测出直流磁场，必须让测量线圈与工件之间发生相对运动，使磁通发生变化。这样，感应电压的大小就与运动速度有关。如果使其作恒速运动，则可根据感应电动势的幅值来确定缺陷的深度。

(2) 磁敏元件 常用的磁敏元件有霍尔元件、磁敏二极管等。工作时，将磁敏元件通以工作电流，由于缺陷处漏磁场的作用使其电性能发生改变，并输出相应的电信号。这个输出信号反映了漏磁场的强弱及缺陷尺寸的大小。

磁敏元件通常适用于测量较强的漏磁场，根据其性能的不同，可用来测量直流磁场以及频率高达数百千赫的交流磁场。探测缺陷的灵敏度不受被测件的大小和扫描速度的影响，但随着检测元件与被探件表面距离的增加而急剧变小。此外，磁敏元件的测量信号与温度有关，在作精确测量时，必须采取温度补偿措施。

(3) 磁敏探针 由于磁敏探针的尺寸制作得很小（例如1mm左右），故能实现近点状的测量。这种微型探头能测量大于 $2 \times 10^6 \text{ Hz}$ 的高频交变磁场，且灵敏度极高。

3. 录磁法

它采用磁带记录原理将缺陷处的漏磁通记录在磁带上。

§ 4-2 磁粉检测中的磁化与退磁

一、磁化的方式及方法

在磁力检测中,通过磁场使工件带有磁性的过程为工件的磁化。工件磁化由于其磁化的方式不同有不同的磁化方法。

(一) 按采用磁化电流的不同可分为直流电磁化法和交流电磁化二种

1. 直流电磁化 直流电磁化时,采用的是低电压(110~400V)大电流的直流电源。从检测效果来看,采用直流电源比较好。因为直流电源产生的磁力线稳定,穿透较深,能发现离工件表面较深的缺陷。但在工业上常用交流电源。因为把交流电变成直流电需要附加设备,成本较高,而且用直流电探伤以后,被磁化的工件,还有很大的剩磁,而剩磁给工件带来很多不利的影响,必须进行消除剩磁的工序(退磁)。

2. 交流电磁化 交流电磁化时,采用的是低电压大电流的交流电源。交流电源产生的磁力线不如直流电源产生的磁力线稳定,而且交流电在工件中产生集肤效应而使穿透力较浅,只能发现离工件表面较近的缺陷。但也由于集肤效应的作用而提高了检查工件表面小缺陷的灵敏度,因而是铁磁金属工件检查疲劳裂纹的最好办法。由于使用交流电方便,设备也很简单,故应用较广泛。

(二) 按通电的方式不同可分为直接通电磁化和间接通电磁化

1. 直接通电磁化又称为直接励磁法,其特征是在工件上直接通电流以产生磁力线进行检查。直接通电磁化的设备十分简单,方法也很简便,但工件表面接上电源时,要求接触良好,否则会把工件表面烧伤,因此,在民航维修检测中,直接通电检测法只限定应用于非重要零件的检测中,而且接触电的电流密度不允许超过允许值(100安/吋)。

2. 间接通电磁化又称间接励磁,即工件磁化是利用探伤器产生磁场磁化工件的。这样可避免直接通电磁化时产生的弊病。同时,间接通电磁化的探伤器是用线圈通电来产生磁化故可用增加线圈的圈数或增加电流来获得较强的磁场,这对探伤工作带来方便,所以得到广泛的使用。

(三) 按工件磁化方向的不同分为纵向磁化法、周向磁化法对组合磁化和旋转磁场磁化法四种

1. 纵向磁化法(Longitudinal Magnetization)

磁力线在工件中的方向与工件纵向轴线平行,这样的磁化称为纵向磁化。纵向磁化只能用来发现与工件纵向轴线垂直的横向缺陷。常用的纵向磁化方法有磁轭磁化、线圈开端磁化和线圈闭端磁化三种形式,如图4-3所示。

(1) 磁轭磁化如图4-3a所示。它是有一个U形磁轭,在磁轭上绕上线圈,探伤时,在磁轭的开端放上工件,线圈通电后则磁力通过工件并与磁轭成磁回路。这种方法一般用于检验小工件,在特殊的情况下,也可以分段的办法检查很长的工件。如图4-4所示。这种方向的优点

是无需将磁化线圈绕到工件上，但要求磁轭与工件有良好的接触，接触面间的空气间隙具有很大的磁阻，使通过工件的磁力线减少，降低探伤的灵敏度。

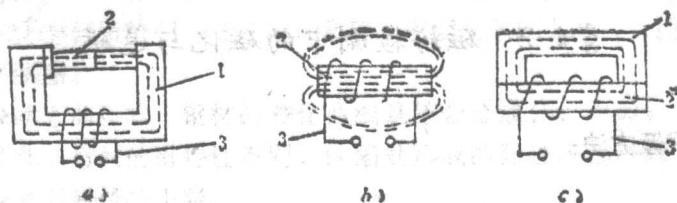


图4-3 纵向磁化法

1—磁轭 2—工件 3—线圈

(2) 线圈开端磁化，如图4-3b所示，此法是在工件上绕上线圈或用预先绕好的线圈套在工件，然后将线圈通电使工件磁化。其优点是设备轻便，在足够的电流时，只要在工件上绕上数圈线圈就可以使工件磁化。但其缺点是磁力线由两极出来是经空气构成的回路，出现外磁现象。因此，其磁场不如磁轭磁化法强。再者，此法一般线圈圈数较少，离线圈远的部位，磁场很弱，甚至弱到不能进行探伤，对于长的工件只能分段进行。同时，在工件两端棱角处由于磁力线的出进而形成局部磁力线过于密集，从而影响这部分工件的检查。

(3) 线圈闭端法，如图4-3c所示。它和线圈开端法基本上相同，所不同的是外加一铁心。利用磁轭来加强磁感应和改良工件两端的磁化情况。因此，其灵敏度比线圈开端磁化法高一些。

2. 周向磁化法 (Circular Magnetization)

工件磁化后，磁力线在工件的分布是环绕工件轴线的很多同心圆，这样的磁化称为周向磁化，它是用来发现与工件（或纵向焊缝）轴线平行的纵向缺陷。

周向磁化有直接通电磁化和间接通电磁化两种类型。

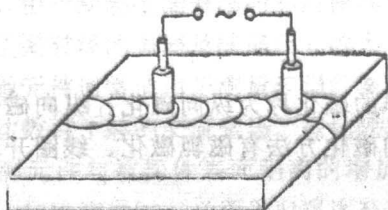


图4-5 触头法的周向磁化

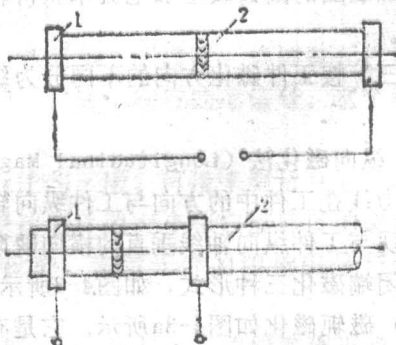
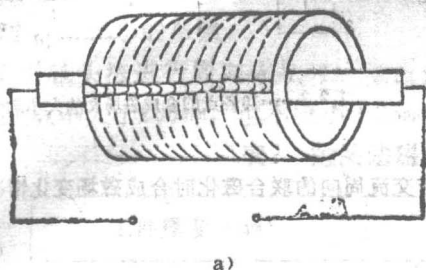


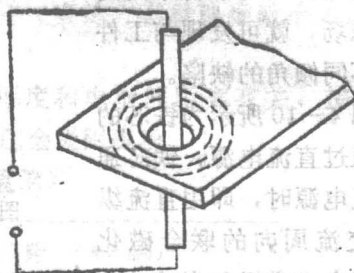
图4-6 直接通电周向磁化
1—电极接头 2—工件

(1) 直接通电周向磁化，如图4-5和图4-6所示。它是在被检的工件上局部或整个通以低电压大电流。图4-5的方法称触头法，它是用两个电极直接通电使工件局部磁化，产生周向或横向磁力线来发现电极间工件上的缺陷。此法常用于检查平板状工件上的缺陷。图4-6的方法是在工件两端直接通以强大的电流以使工件周围产生周向磁力线来发现纵向的缺陷。此法适用于检查棒状或管状工件。

(2) 间接通电周向磁化，如图4-7至图4-8所示。图4-7所示的方法称为中心导体法 (Central Conductor Method)。它用来检查管类和带孔工件中的缺陷，可发现空心工件内外表面纵向缺陷和端面上的缺陷。在中心导体法磁化中，工件内表面磁场强度大于外表面，在工件较厚时，可首先用小电流检测内孔，再用大电流检查外表面。对大内孔另件，中心导体可偏心放置，逐段磁化。



a)



b)

图4-7 中心导体磁化法的周向磁化

图4-8所示是局部周线磁化，这种方法所产生的磁力线不是整个圆周，而是圆周的一部分。当检查大直径的工件时，必须转动工件来逐步检查。

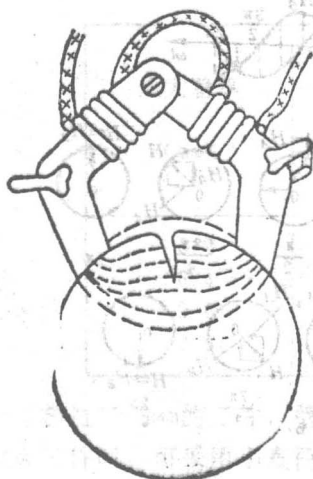


图4-8 局部周向磁化

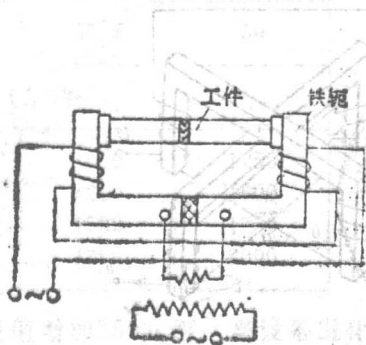


图4-9 联合磁化法

3. 组合磁化法 (Resultant Magnetization Method)

组合磁化法 (Combined Magnetization Method) 组合磁化法是将纵向和周向线磁化同时作用在工件上，使工件得到由两个相互垂直的磁力线作用而产生的合成磁场以检查各种不同倾斜方向的缺陷。图4-9所示是组合磁化法的示意图。组合磁化法的设备主要部分为磁轭，它与磁轭磁化装置相同。不同的是在磁轭中部嵌入一片不导电的绝缘片把磁轭分开在磁轭两个半体

上, 各有一个线圈。检测时, 线圈接上电源, 磁轭本身也接入低电压大电流的电源, 这样在磁轭间的工件上产生纵向磁化的同时亦产生周向磁化, 因此工件实际出现一个组合的磁场(合成磁场)。这个磁化是与工件轴线成一个倾斜角度分布的。这就可以检验既不是纵向也不是周向的, 而与工件轴线成某一个角度的缺陷。通过改变纵向或周向的磁化强度可取得不同的合成磁场, 就可发现与工件轴线不同倾角的缺陷。

图 4-10 所示为铁芯的线圈通过直流电源, 铁芯通以交流电源时, 即用直流纵向和交流周向的联合磁化

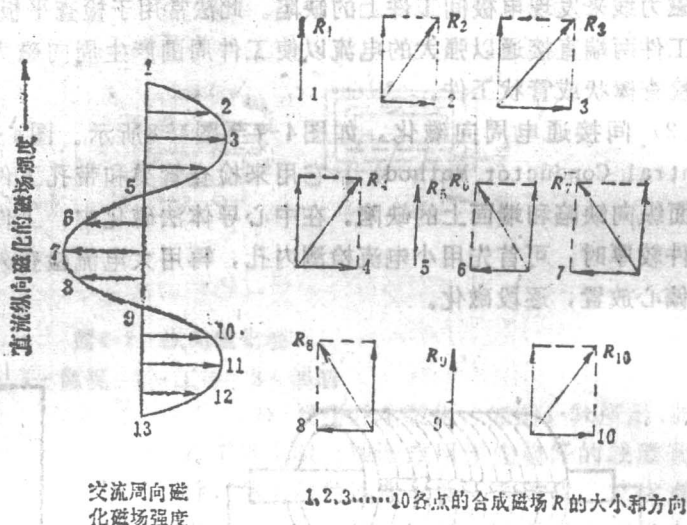


图 4-10 直流纵向与交流周向的联合磁化时合成磁场变化情况

时, 其合成磁场 R 的方向和大小的变化情况。

4. 旋转磁场法 (Rotational Magnetic Field Method) 将绕有激磁线圈的 II 型磁铁交叉 90° 放置, 各通以相位不同的交流电, 使在工件表面上的合成磁场方向作圆形旋转运动 (图 4-11 所示)。旋转磁场磁化可以发现沿任意方向分布的缺陷。

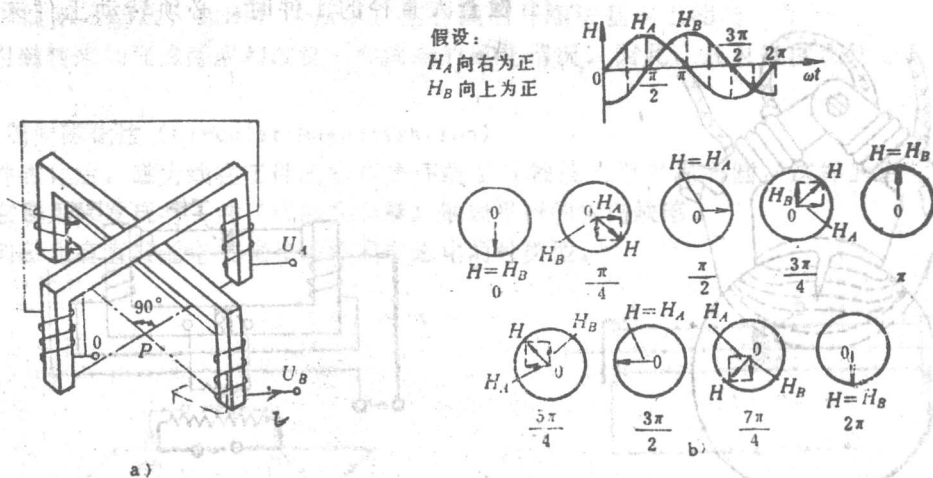


图 4-11 旋转磁化法

a) 交叉磁轭的结构 b) 旋转磁场的方向变化

二、磁化电流的确定段尾

磁力检测电流的确定是和工件材料的导磁率、工件的直径 (或厚度)、电源的性质以及

磁化方法等因素有关。一般应根据磁化方式由相应标准或技术文件中给出，最好由试验确定。

1. 当采用直接通电磁化时，若采用半波或全波整流电流，推荐的电流值如表1所示

表1 直接通电磁化电流推荐值

工 作 尺 寸 D (mm)	电 流 值 A / mm
$D \leq 125$	16~36
$125 < D \leq 375$	14~28
$D \geq 375$	4~12

注：表中D为直径或横截面上最大尺寸

若用交流电磁化检测表面缺陷时，电流值为上述数值一半

直接通电磁化电流值也可按经验公式选取 $I = (6 \sim 18) D$ (安培) 当材料导磁率高，或工件直径大时，选取小的系数。

2. 使用触头法进行周向磁化时，电流值与工件截面厚度和电极间距离有关，按表2选取。极间距应不大于200mm，也不应小于75mm，否则电极周围会吸附磁粉。

表2 触头法磁化电流值 (交直流)

工件厚度 (mm)	电流值 / 极间距 (A / mm)
< 19	3.5~4.5
≥ 19	4~5

3. 中心导体磁化时，磁化电流按表3选取。

表3 中心导体磁化电流选取

最大壁厚 (mm)	中 心 导 体 直 径 (mm)			
	12.5	25	37.5	50
	电 流 值 A (±10%)			
3.2	500	750	1000	1250
6.4	750	1000	1250	1500
9.6	1000	1250	1500	1750
12.8	1250	1500	1750	2000

壁厚超过12.8mm的工件，壁厚每增加3.2mm，电流值增加250安培。当设备磁化电流不足以磁化大工件时，可采用小直径中心导体逐渐偏斜的方法分段磁化，每次有效磁化的周向距离为中心导体直径的4倍。为保证磁化区域有10%的重叠，中心导体每次移动距离为3d (d为中心导体直径)

4. 使用电磁轭的磁场强度通过其提升力确定，当磁轭最大间距时，交流电磁轭至少应有44N (4.5Kgf) 的提升力，磁极间距应在 (50—200) mm范围内，检测区域应限制在两磁极连线的两侧相当于1/4最大间距的面积内。

5. 线圈磁化法中, 线圈两端外伸的有效磁场长度约等于线圈的半径。长工件应分段检测而不应超出这个范围。其合适的磁场强度用安匝数 (Ampere-turns, At) 表示。

若工件尺寸小于线圈内径的10% (称为低充填因数线圈), 且长径比 (L/D) 在3~5之间时, 则合适的安匝数为:

$$NI = \frac{45000}{L/D} (\pm 10\%) \quad (4-1)$$

式中: I , N 分别为线圈中电流值与匝数

若工件外径与线圈内径相等, 则线圈安匝数按下式计算

$$NI = \frac{35000}{L/D+2} (\pm 10\%) \quad (4-2)$$

当长径比 L/D 小于3时, 应使用与工件直径相同的铁磁材料的磁极加长块以增加有效长径比或改用其他磁化方法。对于长径比 L/D 大于15时, 取长径比的极大值 ($L/D=15$)。

6. 波音公司检测规程建议, 对铸件、锻件以及塑性成形件按外径或对角线尺寸计算磁化电流值, 推荐值为1000安培/吋 (39.37安/mm)。

对于变截面另件, 建议首先用按最小截面计算出的电流值检测, 然后逐步增加电流值, 一直增加到最大截面的相应电流值为止。

用触头法通电磁化时, 推荐的磁化电流值为每寸磁极距相应电流为100安培 (100/吋), 即每毫米极距电流值约为3.94安培。

采用线圈磁化时, 长径比 L/D 应在2~15之间, 当 L/D 小于2寸时, 应在相互垂直的两个或三个方向进行周向磁化, 例如在长度和宽度方向或分别在长、宽高三个方向磁化检测。

采用固定线圈 (Fixed Coil) 时, 最适宜的线圈长度是比另件每边短6~9吋。绕线圈 (Coil Wrapping) 的有效磁化范围比线圈两端每边延长6吋, 最合理的线圈数为3~5匝。

当 L/D 在2~15之间, 且 L 不大于18吋 (约457mm) 时, 磁化电流的安匝数与式 (4-1) 相同, 当不满足上述条件时, 建议取8000~10000安匝。

三、退磁

经磁力检测的工件都会有剩磁, 这些剩磁会带来很多不利的影响。例如带剩磁的轴、轴承、滑动导轨等。在使用中会把磨损出来的铁粉吸住, 从而加快它们磨损。又如加工有剩磁的零件时, 由于剩磁的作用加剧了刀具磨损和增加动力的消耗。再者, 带有剩磁的工件会影响装在它们周围的电磁仪表的准确性, 因此带有剩磁的零件如不再进行热处理 (因为加热超过居里点后, 剩磁会消失), 必须进行退磁。

根据图4-12的退磁磁滞回线, 把工件放入磁场中 (退磁的起始磁场强度大于或等于磁化时的磁场强度) 然后不断改变磁场方向, 同时使其逐渐减小到零, 即可除去工件的剩磁。去磁方法由以下几种:

(一) 交流电退磁

1) 将工件从交流磁化线圈中移开。把工件放在通有交变电流的磁化线圈中, 然后缓慢地将工件从线圈中移出。推荐使用5000~10000安匝的退磁线圈。对焊缝表面可采用磁轭作局部退磁, 其方法是把磁极放在其表面上。围绕着该区移动, 保持电磁轭处于激励状态, 让焊缝表面缓慢移开。

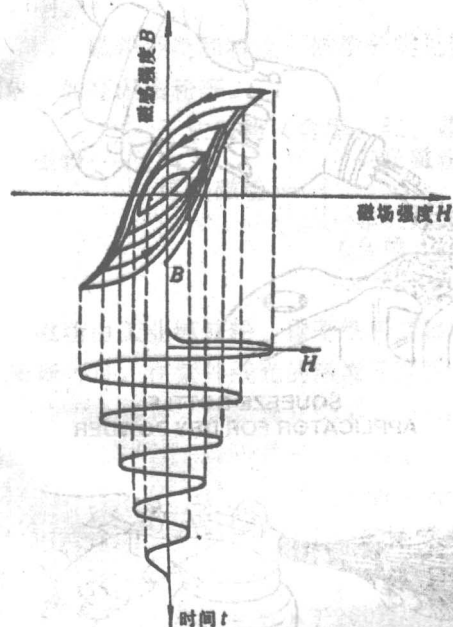


图4-12 退磁磁滞回线

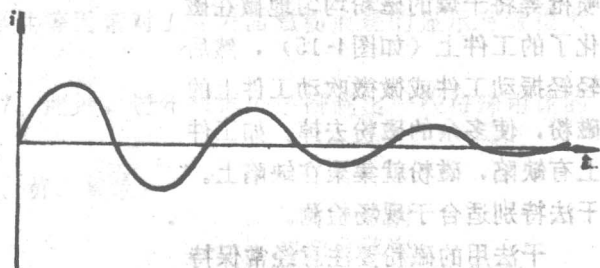


图4-13 交流电退磁电流随时间的变化

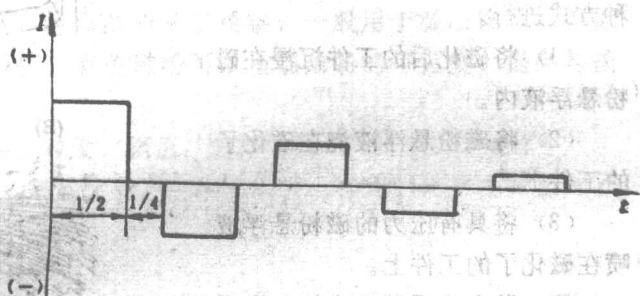


图4-14 直流电退磁电流随时间的变化

2) 减少交流电。把工件放入磁场中，其位置不变逐渐减少交流电，把磁场降低到规定值。交流电流的波形见图4-13，幅值逐渐减少。

(二) 直流换向衰减退磁。为了使工件内部能获得良好的退磁，可让电流通过工件，并不断切换电流方向，同时使电流逐渐衰减至零（见图4-14）。电流衰减级数应尽可能大（一般要求30次以上），而每级衰减的幅度应尽可能小。由于直流磁化比交流磁场穿透得深，所以直流退磁比交流退磁效果要好。

(三) 振荡电流退磁。将充好电的电容器跨接在退磁线圈上，构成振荡回路。电路以固有的谐振频率产生振荡，并逐渐减弱至零。

此外，若将工件加热到居里点以上也可达到退磁的目的。

测量工件的剩磁可采用剩磁测量仪。有时也可用一段未被磁化的钢丝、铁丝（如大头针）去靠近零件的端部，若零件有剩磁，钢丝或铁丝将被吸附。

§ 4-3 磁粉检测方法与设备

一、磁粉检测方法

磁粉探伤是用磁粉来检查漏磁的方法，可分为干法和湿法两种。

1. 磁粉干法检验

干粉法是利用手筛、喷雾器或喷枪等将干燥的磁粉均匀地撒在磁化了的工件上(如图4-15),然后轻轻振动工件或微微吹动工件上的磁粉,使多余的磁粉去掉。如工件上有缺陷,磁粉就集聚在缺陷上。干法特别适合于现场检测。

干法用的磁粉要注意经常保持干燥及纯净。

2. 磁粉湿法的检验

磁粉湿法的检验可采用下列几种方式进行。

- (1) 将磁化后的工件沉浸在磁粉悬浮液内。
- (2) 将磁粉悬浮液浇在磁化了的工件上。
- (3) 将具有压力的磁粉悬浮液喷在磁化了的工件上。

第一种方法适用于小的和剩磁比较大的工件。此法检验时,先将磁粉悬浮液搅拌后,将磁化了的工件放入磁粉悬浮液中,经过一分钟后将工件拿出来进行检查。如果工件放入磁粉悬浮液的时间过长,则工件表面积满了磁粉,使发现缺陷增加了困难。

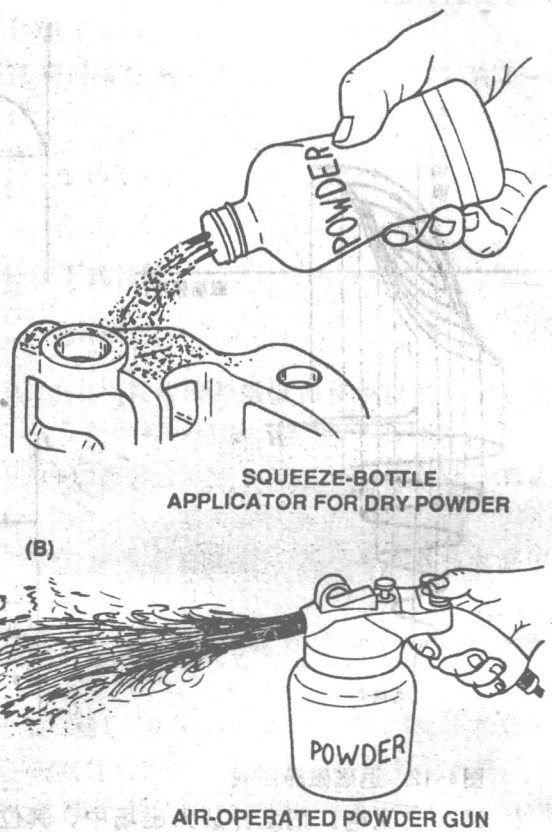


图4-15 手动喷雾器及喷枪

第二、第三种方法适用于大型工件。由于磁粉液具有流动性,因此喷上磁粉液后,有缺陷的地方就会留下缺陷的磁粉痕迹。为了检验的可靠性,可将第一次出现的磁粉抹去,进行第二次检查。如果磁粉痕迹重复出现,就可确定该处存在缺陷。

磁粉法探伤由于使用电流的性质不同,而且又有干法与湿法之分,其发现缺陷的能力也就各不相同。图4-16示出了不同的磁粉检测方法灵敏度的差异情况。一般来说,干法比湿法灵敏,直流比交流灵敏。

根据施加磁粉的时间与磁化时间关系,磁粉检验可分为连续磁化法和剩磁法。在剩磁法中,磁化停止后才施加磁粉,而连续磁化法中,施加磁粉时,并未停止磁化,因而对检验近表面缺陷有比剩磁法更高的灵敏度。

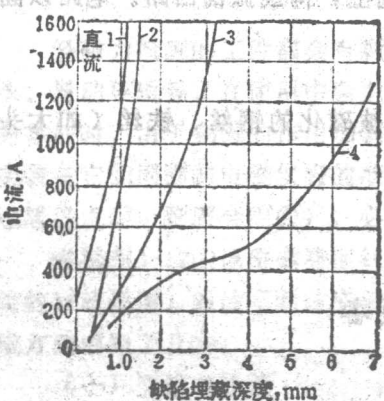


图4-16 各种磁粉检测的灵敏度曲线

- 1-交流湿法
- 2-交流干法
- 3-直流湿法
- 4-直流干法

二、磁粉与磁悬浮液

1. 磁粉

磁粉是磁粉探伤的显示介质，由铁磁性金属微粒组成。这些微粒具有适当的大小、形状和较高的磁导率，其磁性、粒度、颜色和悬浮性等因素对工件表面磁粉痕迹的显示有着很大的影响。

(1) 磁粉种类和特点 磁粉分类见图4-17。此外，近年来国外还研制出一些特殊用途的磁粉，如高温磁粉等。

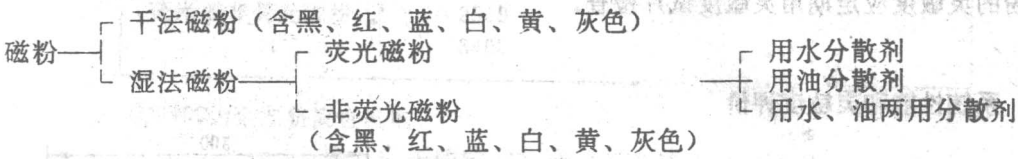


图4-17 磁粉的分类

磁粉由工业纯铁粉、羰基铁粉或磁性氧化铁粉 (Fe_2O_3 或 Fe_3O_4) 制造。荧光磁粉显示的缺陷清晰可见，在紫外线光的激发下呈黄绿色，色泽鲜明易于观察，一般用于湿法检验。若配上光电转换装置，可实现自动或半自动化探伤。有色磁粉可以增强磁粉的可见度，提高与被检件表面的衬度，使缺陷容易发现。

(2) 磁粉的性能。磁粉的性能包括磁性、粒度、颜色、悬浮性等。应满足以下要求：

- 1) 磁粉应具有高磁导率和低剩磁性质，磁粉之分不应相互吸引。用磁性称重法检验时，磁粉的称量值应大于7g。
- 2) 磁粉的粒度应不小于200目。
- 3) 磁粉的颜色应与被检工件有最大的对比度。

检测时，为保证检测灵敏度，应事先用灵敏试片对干湿磁粉进行性能和灵敏度试验。对于干粉，使用前必须在60~70℃的温度下经过2小时的烘干处理。

2. 磁悬液

将磁粉混合在液体介质中形成磁粉的悬浮液，简称磁悬液。用来悬浮磁粉的液体叫分散剂（或称载液）。在磁悬液中，磁粉和载液是一定比例混合而成的。

根据采用的磁粉和载液的不同，可将磁悬液分为油磁悬液、水磁悬液和荧光磁悬液。油悬浮液磁粉悬浮性好，对工件湿润性好且无锈蚀作用。水悬浮液流动性好、不易燃，使用安全。但应有良好的润湿性，即可湿润全部被检区域。荧光悬浮液能在紫外线下呈黄绿色，色泽明显，易观察。

磁粉悬浮液的浓度应在使用前或定期用梨形离心管（图4-7）测定，在取样之前，循环系统旋转悬浮液至少30分钟，然后取100毫升溶液，经30分钟沉殿后，试管底部的沉淀表示溶液中的磁粉浓度，其数值应满足制造厂方的标准要求。

荧光磁粉沉淀体积约为（0.1~0.5）毫升，非荧光磁粉为1.2~2.4毫升。美国波音公司对磁粉治凝体积的要求如表4-4所示

表4-4 磁悬浮液浓度

水或油悬浮油	每100ml中的固体 (ml)	
	要求值	优先值
荧光磁粉	0.1-0.5	0.15-0.25
非荧光磁粉	1.0-2.4	/

磁粉沉殿物应是固体层，若沉殿物显示出松散的聚集物，则磁粉可能已被磁化，需要更换。对水磁悬浮液应作湿润性试验，即使水悬浮液溢流通过与被检工件表面粗糙度一样的试件，若悬浮液连续的覆盖了试件全表面，则认为湿润性好。水悬浮液在试件表面形成单个微滴，则表明湿润剂不足。

磁粉的灵敏度应定期用灵敏度试片检查。

三、系统性能和灵敏度评价

系统的全面性能和灵敏度。应定期检验，通用的检验装置有如下三种：

(1) 性能测试板。性能测试板的材料应与被检材料相同，其形状和尺寸见图4-18。试板上有10个不同深度的小槽（深度为0.125~1.25mm，增量0.125），当用磁轭法和触头法磁化时，通过观察最浅的磁痕来比较和评定磁粉材料的灵敏度及设备性能。试板的厚度、宽度和长度可根据实际需要改变。

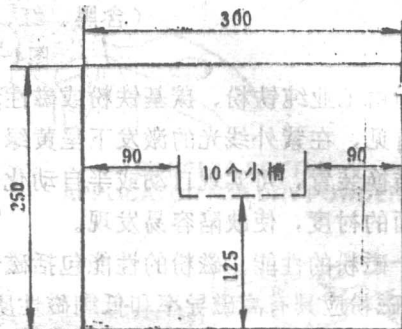
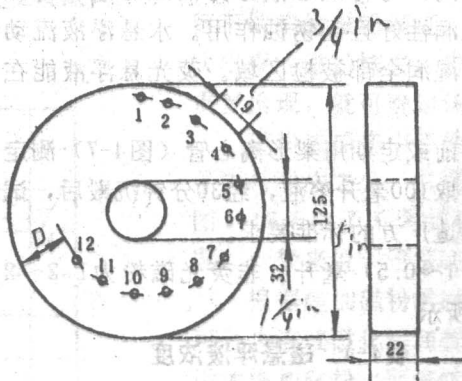


图4-18 磁粉探伤系统性能测试板

(2) 试验环。带有人工缺陷的试验环用于评价中心导体法的磁粉材料和系统灵敏度。其形状和尺寸见图4-19。测试时，使用全波整流电，通过直径为32mm的铜质中心导体来对试验环产生周向磁化。在试验环的外圆柱面上所显示的磁痕数量应达到表4-2、表4-3中的规定值。否则，应对所使用的系统（磁粉、设备、方法等）加以检查和修正。



孔 序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D×25.4(mm)	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.56	0.63	0.70	0.77	0.84

图4-19 带有人工近表面缺陷的试验环

表4-5 湿磁粉环状试块磁痕显示

磁悬液的类型	磁化电流(A) (FWDC)①	所显示出近表面孔的最小数目
荧光或非荧光磁粉	1400	3
	2500	5
	3400	6

①FWDC为全波整流直流电。

表4-6 干磁粉法、环状试块磁痕显示

磁化电流(A)	所显示出近表面孔的最小数目
500	4
900	4
1400	4
2500	6
3400	7

(3) 磁场指示器。磁场指示器(图4-20)可反映被检工件表面场强和方向,但不能作为磁场强度或磁场分布的定量指示。当磁场指示器上没有形成磁痕或没有所需的方向上形成磁痕时,应改变或校正磁化方法。只有当磁粉在磁化力的作用下,在指示器的表面形成清楚的规则磁痕时,才表明有适当的磁通或磁场强度,并可根据规则的横跨磁痕确定磁场方向。

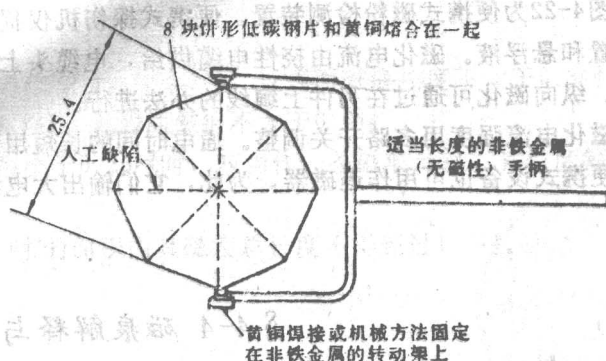


图4-20 磁场指示器

四、磁粉检测设备

磁粉检测设备可分为固定式、移动式、便携式三种,可根据工作环境,试件大小及工件表面缺陷分布等因素选用。固定式磁粉检测机适用于需要较大磁化电流的可移动的中小工件。移动式可置于小车上,便于移动,以检测不易搬动的大型工件。便携式适于现场检测,如对飞机上未拆卸下来的机件的检查,特别是检查怀疑在工作中已产生裂纹的起落架或发动机架时,常需用这种便携式设备。

图4-21为固定式磁粉探伤设备,台面的固定头和移动头用于夹持工件。工件可通过接触板通电进行圆周磁化,也可由线圈纵向磁化。悬浮液在台架内的液槽中,由循环泵加压经喷

嘴喷到工件上，再回流到液槽中。

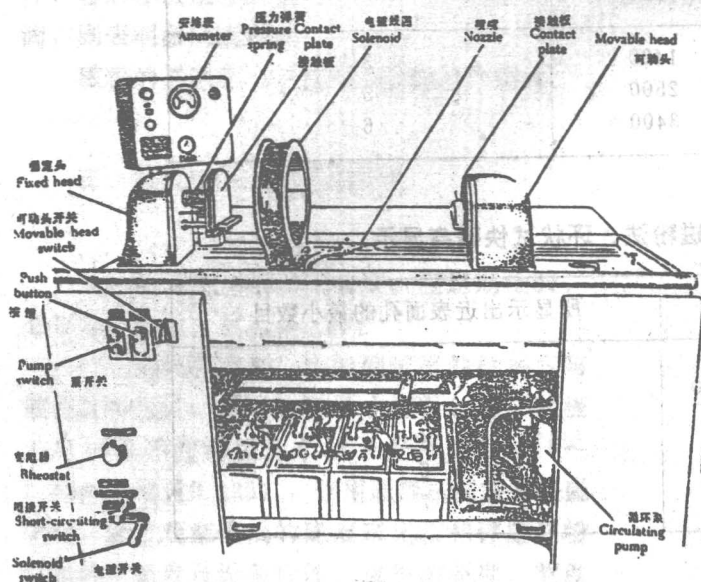


图4-21 固定的通用磁力探伤设备

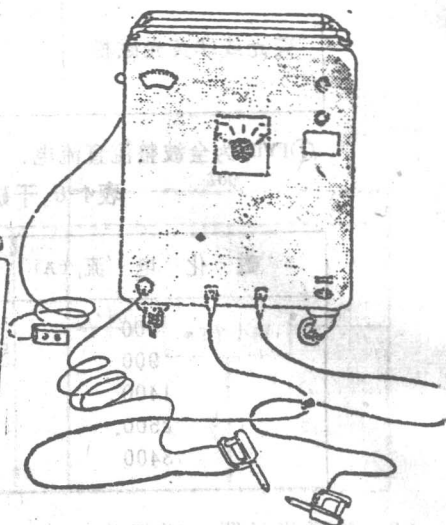


图4-22 通用的便携式装置

图4-22为便携式磁粉检测装置。便携式探伤机仅提供磁化和退磁电源，而没有支承工件的装置和悬浮液。磁化电流由挠性电缆供给，电缆头上可安装锥形触头或线夹，以实现圆周磁化。纵向磁化可通过在另件上缠线的办法进行。

磁化电流强度用多路开关调整。通电时间的长短用自动断路开关来调节。

便携式设备也可用作退磁器，为此，它们输出大电流、低电压的交流电。

§ 4-4 磁痕解释与评定

一、磁痕 (Magnetic Particle Indication)

磁粉检测中，在工件表面上由于缺陷或其他因素引起的漏磁而形成的磁粉的积聚称为磁痕。磁痕可以是相关显示 (Relevant Indication)，也可以是无关显示 (Nonrelevant Indication)。相关显示是由缺陷引起的，无关显示为伪显示 (False Indication)。例如磁导率或工件几何形状的变化等均可产生磁痕，这些磁痕是无关显示。当不能判定是否真正的缺陷时，应该复验。

对工件上的磁痕应制作磁痕记录，其记录方法可以有以下几种：

1. 绘制磁粉草图
2. 用透明胶带盖住磁痕，然后将粘着磁粉痕迹的胶带粘在纸上。
3. 在工件上喷涂一层可剥离的薄膜，然后将粘有磁粉的薄膜取下。