



# 中国机械工程学会无损检测分会 MT培训讲义

本讲义由学会常务委员 晏荣明 编写  
(仅供参考)

中国机械工程学会无损检测分会 深圳市无损检测人员培训中心

电话：021-65550277

电话：13538291001

邮箱：chsndt2008@163.com

邮箱：[yanrongming@126.com](mailto:yanrongming@126.com)

# 第四章 磁粉检测技术

## **CHAPTER 4 TECHNIQUES OF MPI**

# 内容 CONTENTS

- **磁粉检测技术 TECHNIQUES for MPI**
- **退磁方法 DEMAGNETIZATION METHODS**

# 磁粉检测技术

- 按磁场方向：周向、纵向、复合磁化检测；
- 按磁化和施加磁粉顺序：连续法、剩磁法；
- 按磁粉的状态：干法、湿法；

# 磁粉检测技术——周向、纵向和复合磁化

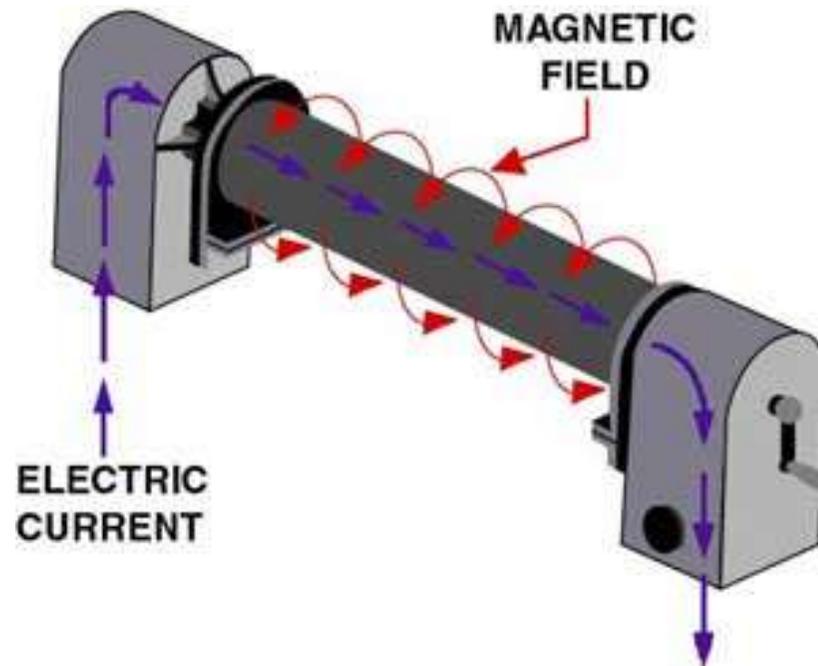
- 周向磁化 circumferential magnetization
- 纵向磁化 Longitudinal Magnetization
- 复合磁化 Mixed Magnetization

# 周向磁化

## circumferential magnetization

- 通电法conducting
- 中心导体法/穿棒法central conductor/threading bar
- 偏置导体法 offset threading conductor
- 支杆法 prods
- 感应电流法 Induction current
- 环形工件绕电缆法

# 周向磁化circumferential magnetization ——通电法conducting



- 磁场方向: 周向
- 检测缺陷方向: 纵向

## 周向磁化circumferential magnetization ——通电法conducting

- 磁场分布:

工件内部周向; 最大: 外表面

- 优点:

整体磁化; 易确定磁通值; 灵敏度高、无退磁场、效率高、易操作。

周向磁化circumferential magnetization  
——通电法conducting

- 缺点:

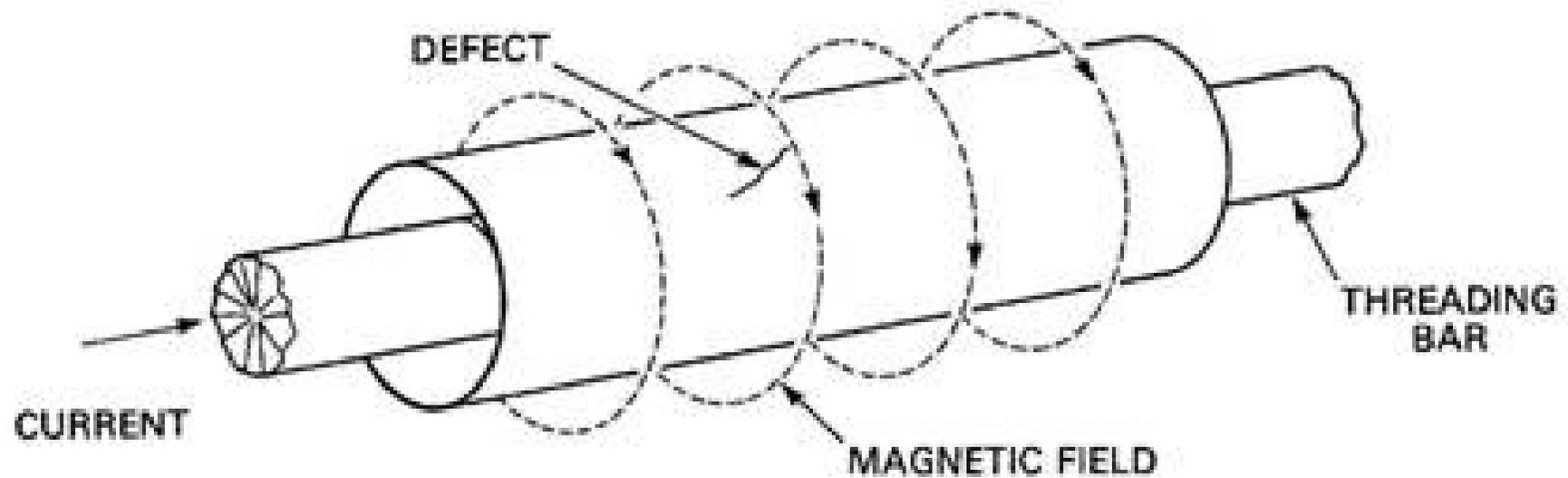
过热或烧伤; 工件可能变形; 不适用于内表面检测

- 应用:

实心或空心件

周向磁化circumferential magnetization  
——中心导体法/穿棒法  
central conductor/threading bar

- 导体材料conductor material : 铜、铝



LONGITUDINAL DEFECTS

周向磁化circumferential magnetization

——中心导体法/穿棒法

central conductor/threading bar

- 磁场分布:

工件周围周向; 最大: 内表面

- 优点:

对内外表面纵向及两端径向缺陷灵敏; 整体磁化; 易确定磁通值; 无退磁场、效率高。

周向磁化circumferential magnetization  
——中心导体法/穿棒法  
central conductor/threading bar

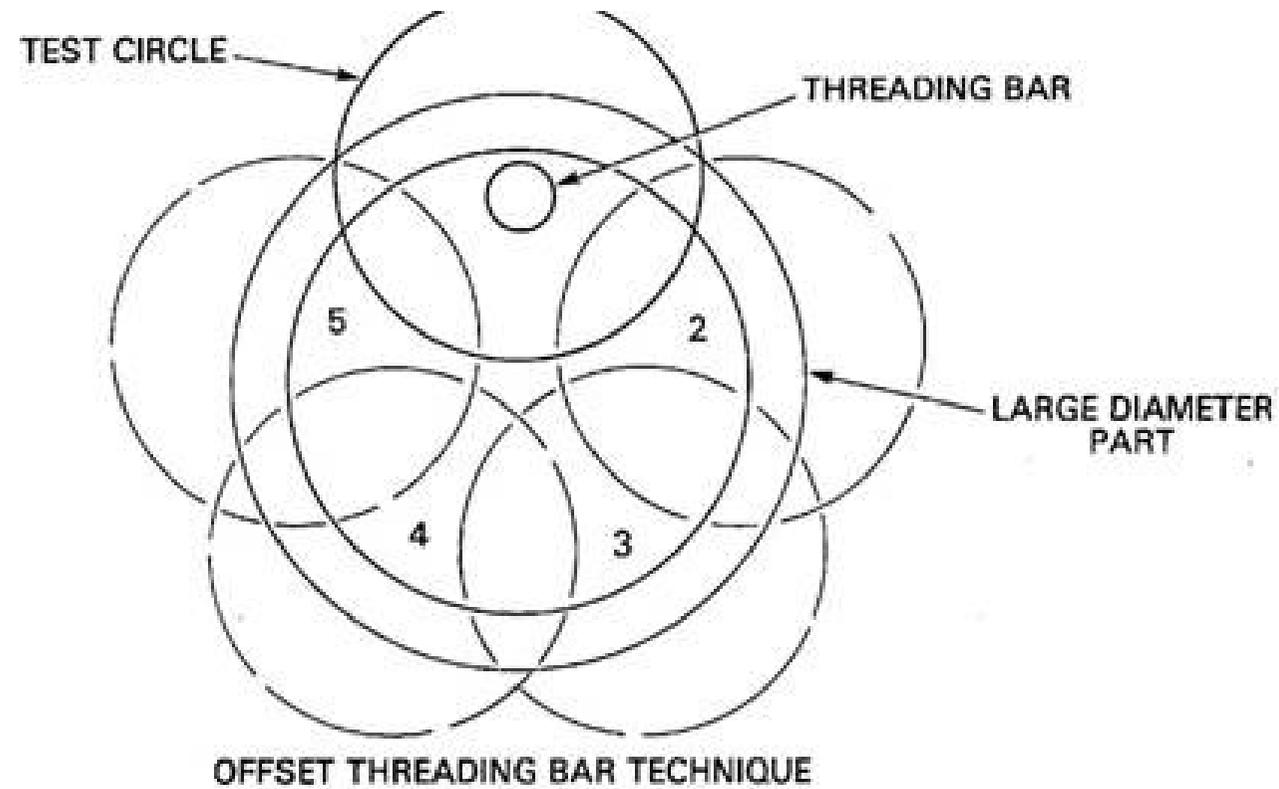
- 缺点:

内外表面灵敏度不同

- 应用:

空心件

周向磁化circumferential magnetization  
——偏置导体法 offset threading conductor



周向磁化circumferential magnetization  
——偏置导体法 offset threading conductor

- 磁场分布:

工件周围周; 最大: 内表面

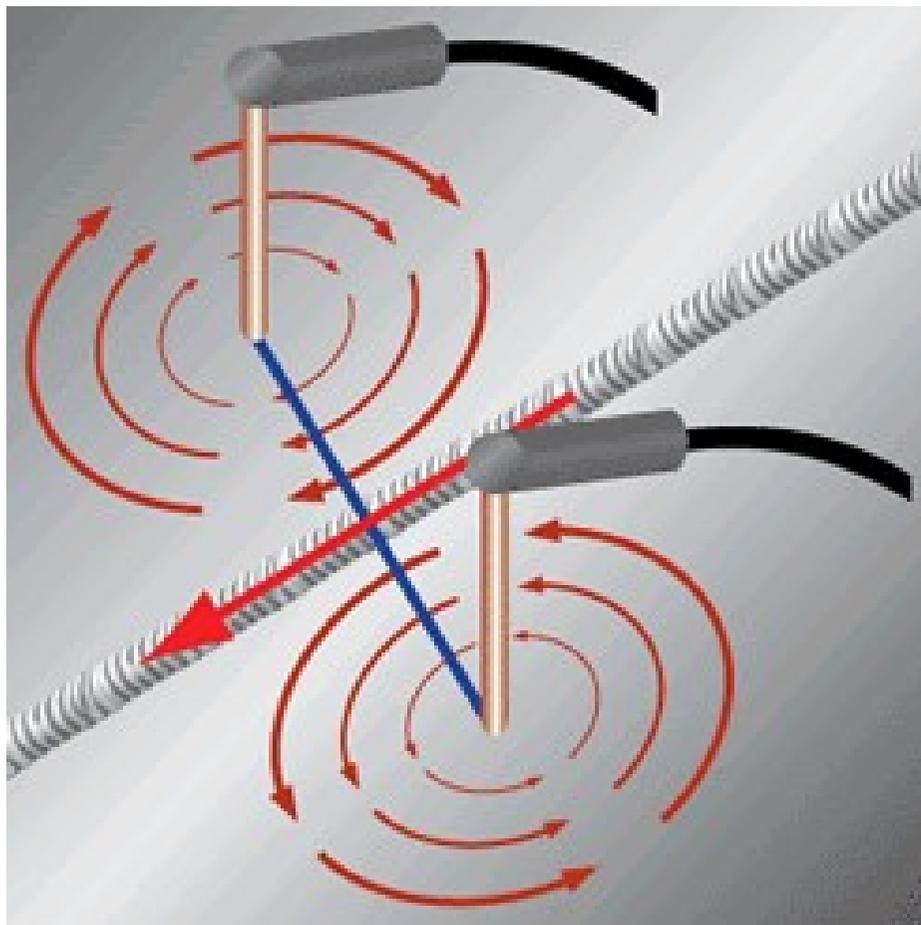
- 优点:

对内外表面纵向及两端径向缺陷灵敏

周向磁化circumferential magnetization  
——偏置导体法 offset threading conductor

- 缺点：  
    局部磁化、效率低。
  
- 应用：  
    空心件；孔。

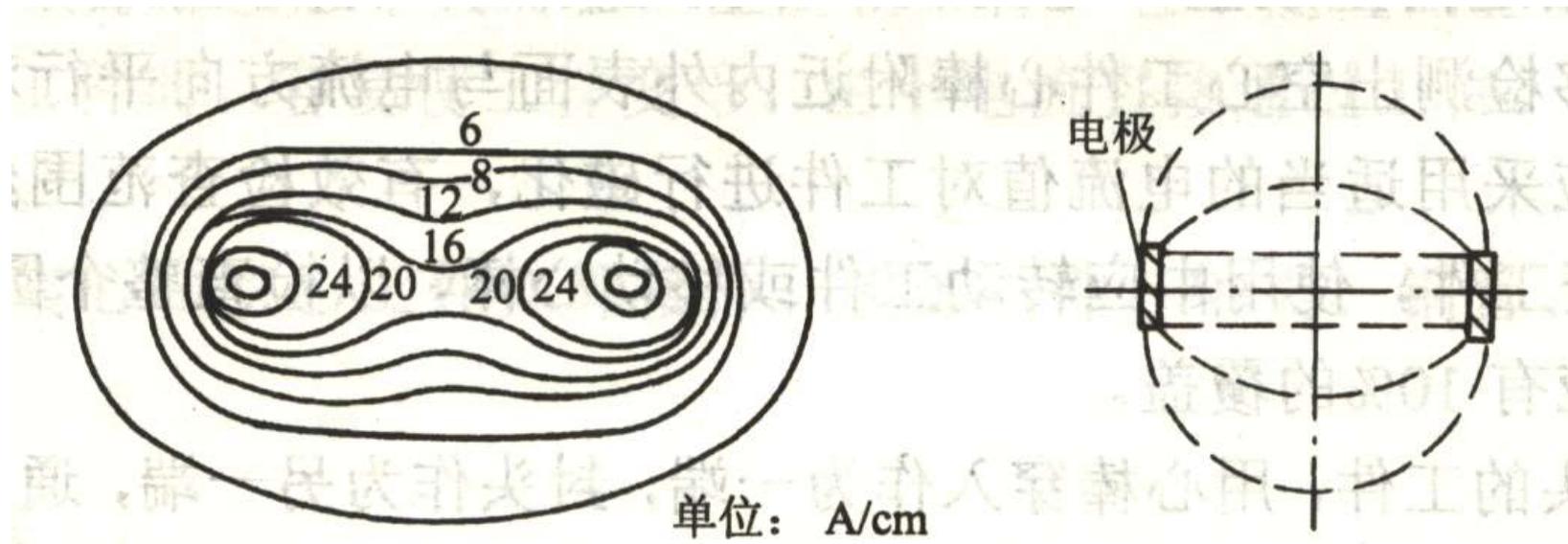
周向磁化circumferential magnetization  
——支杆法 prods



周向磁化circumferential magnetization  
——支杆法 prods

- 磁场分布:

两电极周围近似周向; 最大: 两极周围



周向磁化circumferential magnetization  
——支杆法 prods

- 优点:

对两极间的纵向缺陷灵敏; 移动性好

- 缺点:

过热或过烧; 盲区

周向磁化circumferential magnetization  
——支杆法 prods

- 应用:

焊缝; 大工件局部检测

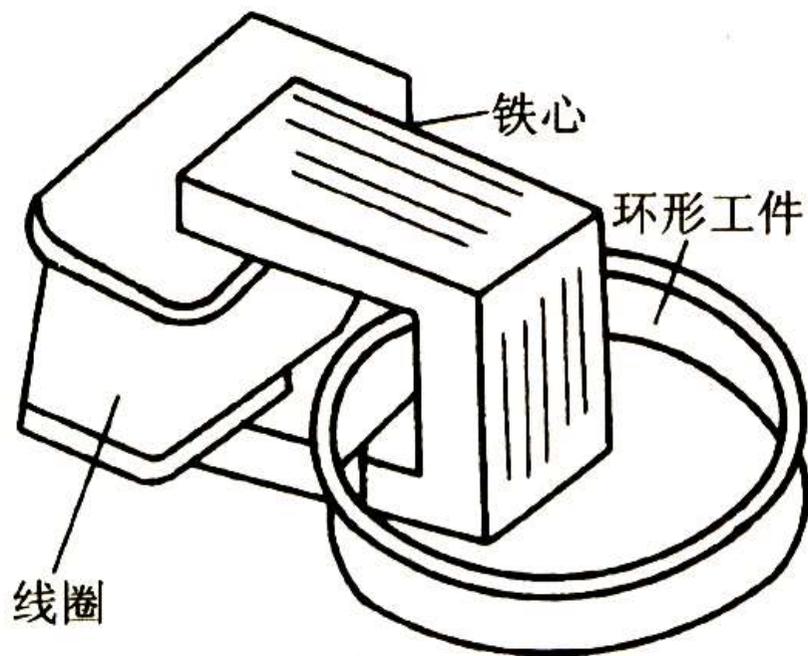
- 注意:

间距: 150 ~ 200mm ,max:200mm, min:50mm

电流: 半波整流电

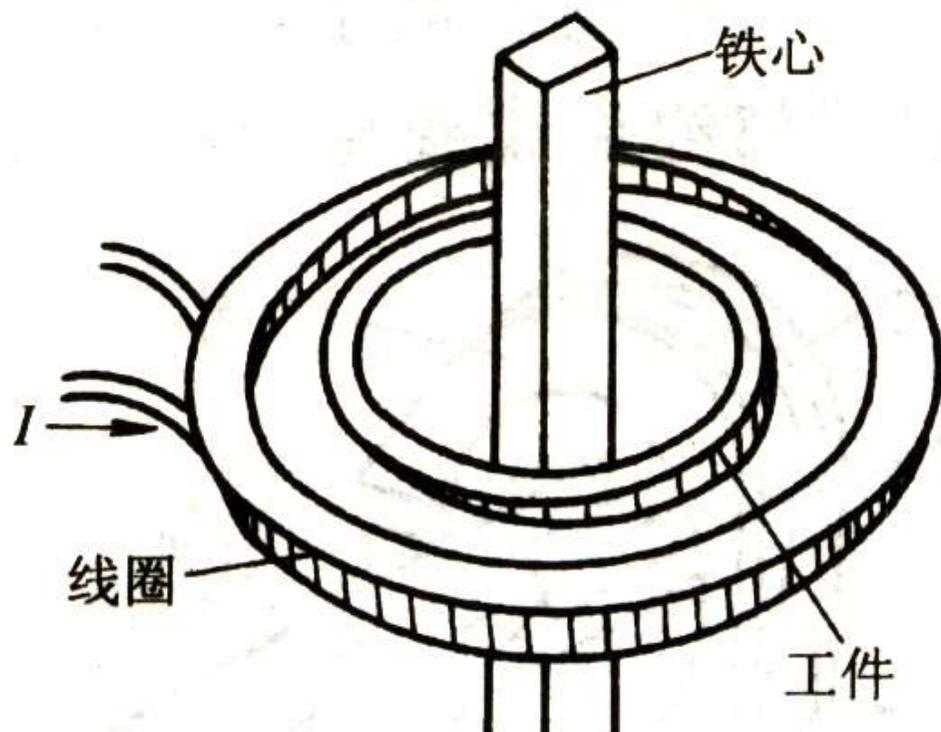
# 感应电流法

- 原理：环形工件作为变压器次级，当工件中的磁通变化时，在工件中感应出环形电流，形成周向磁场
- 优点：工件不受力，  
不变形



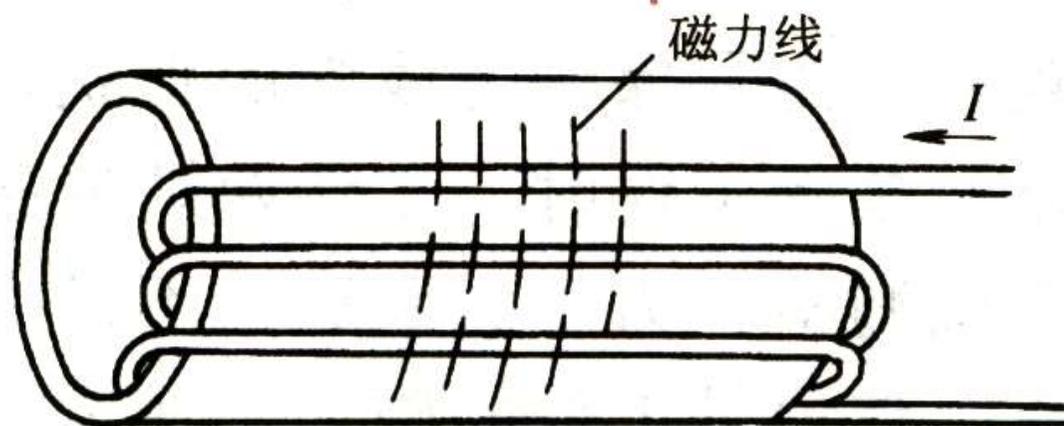
# 感应电流法

- 线圈磁化时可在工件内加铁芯



# 环形工件绕电缆法

- 原理：环形工件绕电缆，产生环形周向磁场
- 优点：易磁化，无退磁场
- 缺点：操作困难



纵向磁化

longitudinal magnetization

Indirect Induction (Indirect Magnetization)

- 电磁轭 electromagnet

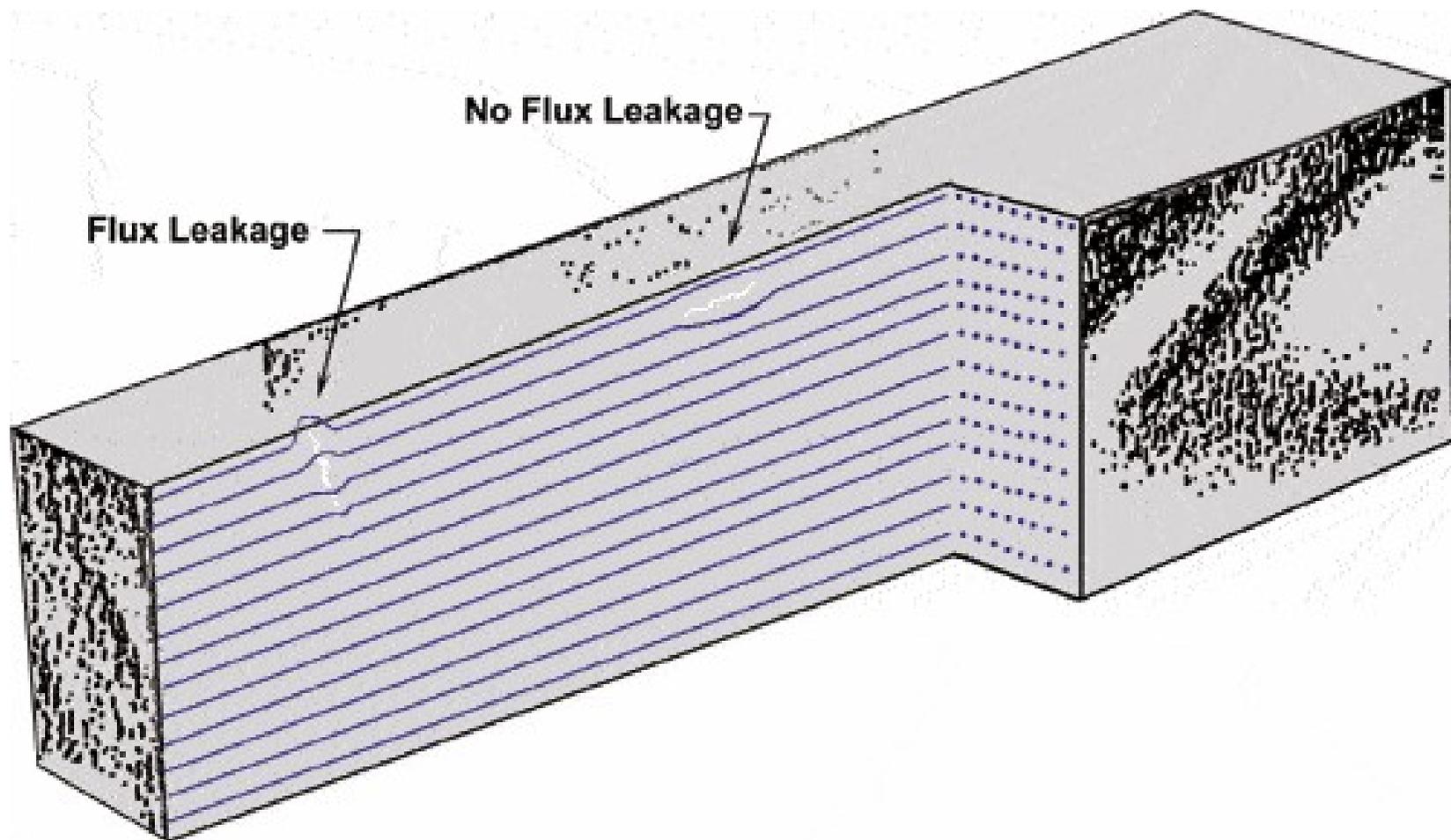
  - 固定式电磁轭 stationary electromagnet

  - 手提式电磁轭 portable electromagnet

- 永久磁铁 permanent magnet

- 线圈 coil

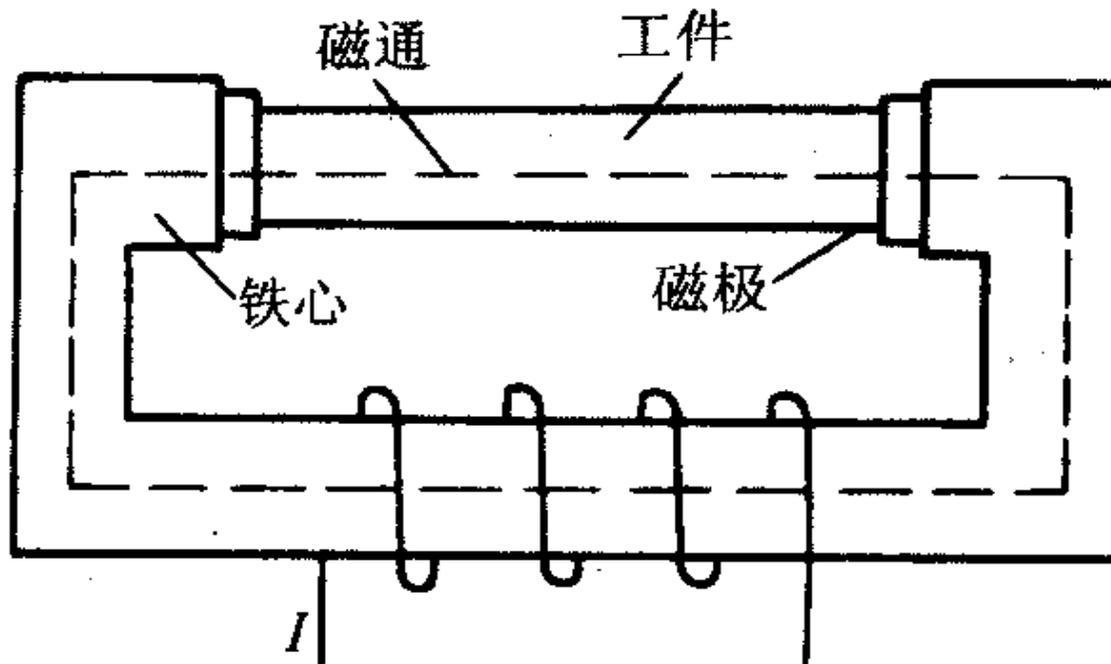
## 纵向磁化 磁场分布



电磁轭 electromagnet

——固定式电磁轭 stationary electromagnet

- 结构：工件夹在磁极之间；磁化线圈装在磁极两端；铁芯较大且用软磁性材料制作



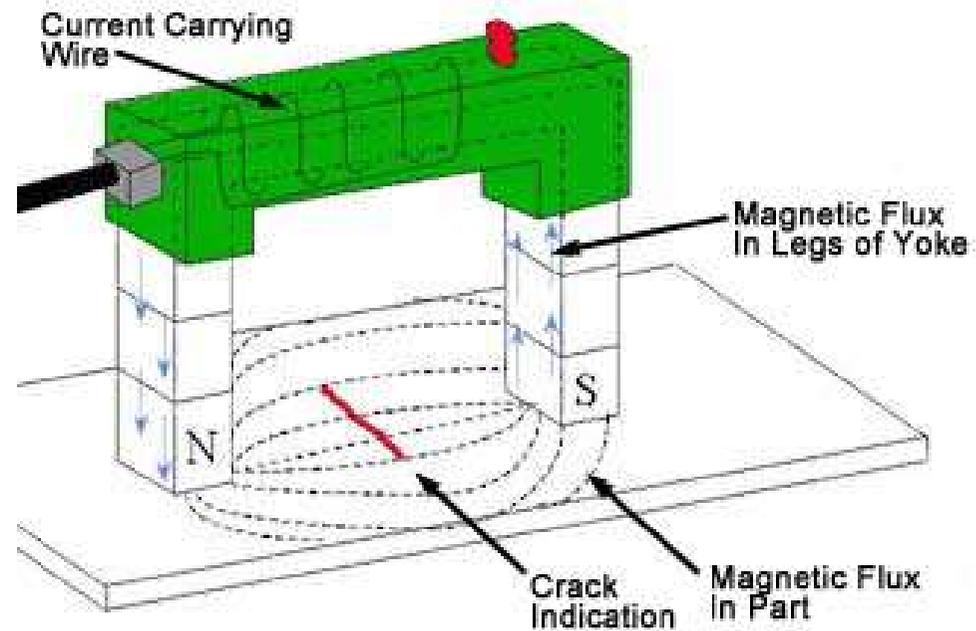
电磁轭 electromagnet

——固定式电磁轭 stationary electromagnet

- 优点：磁感应强度大
- 缺点：工件不能太长
- 电流：整流电（交流电损耗大）

电磁轭 electromagnet——  
手提式电磁轭 portable electromagnet

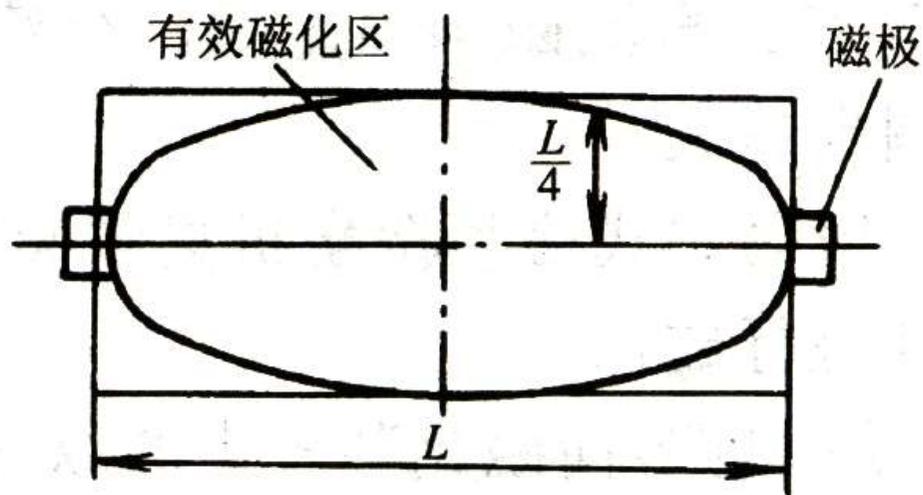
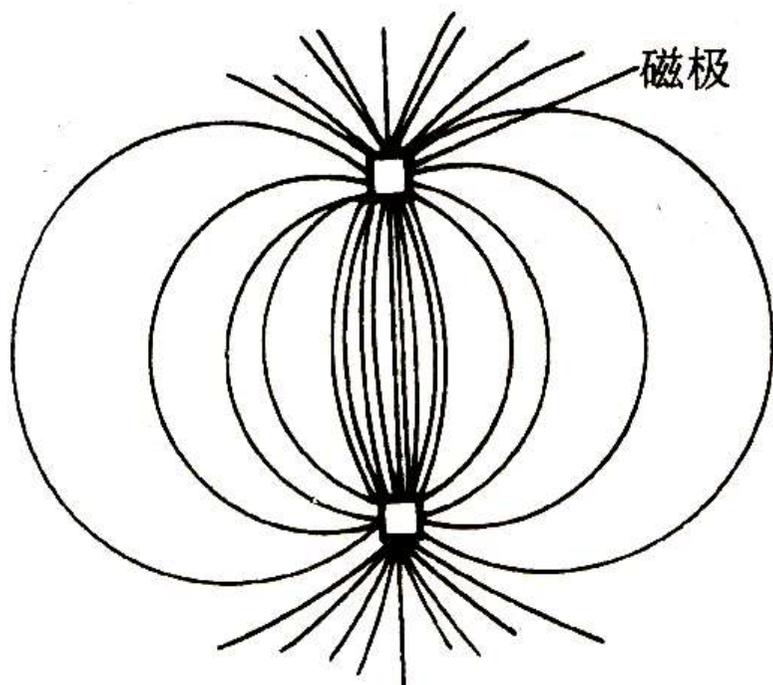
- 结构：  
磁化线圈和铁芯



电磁轭 electromagnet——  
手提式电磁轭 portable electromagnet

- 磁场分布:

近似纵向, 两磁极间的椭圆; 最大: 两磁极周围



电磁轭 electromagnet——  
手提式电磁轭portable electromagnet

- 电流： AC, DC

- 优点：

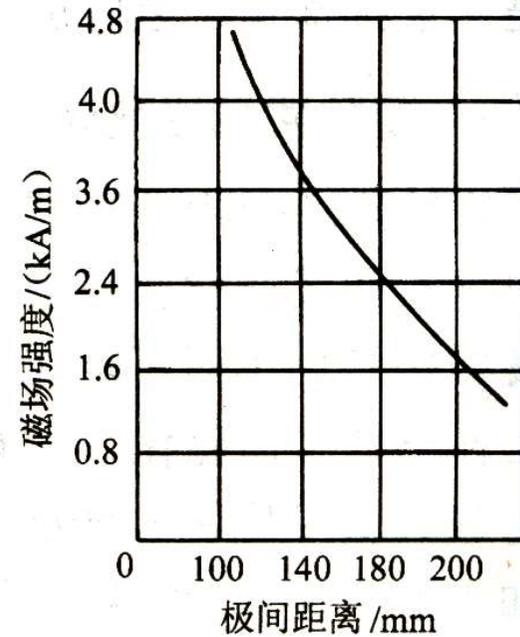
对横向缺陷灵敏； 局部磁化； 无电击

电磁轭 electromagnet——手提式电轭 portable electromagnet

- 缺点:

由于磁极与工件表面间隙, 有盲区;

磁场强度随磁间距变化



# 永久磁铁 permanent magnet

- 磁场分布:  
近似纵向, 两磁极间的椭圆; 最大: 两磁极周围
- 优点:  
不需电源; 对横向缺陷敏感; 局部磁化; 无电击。

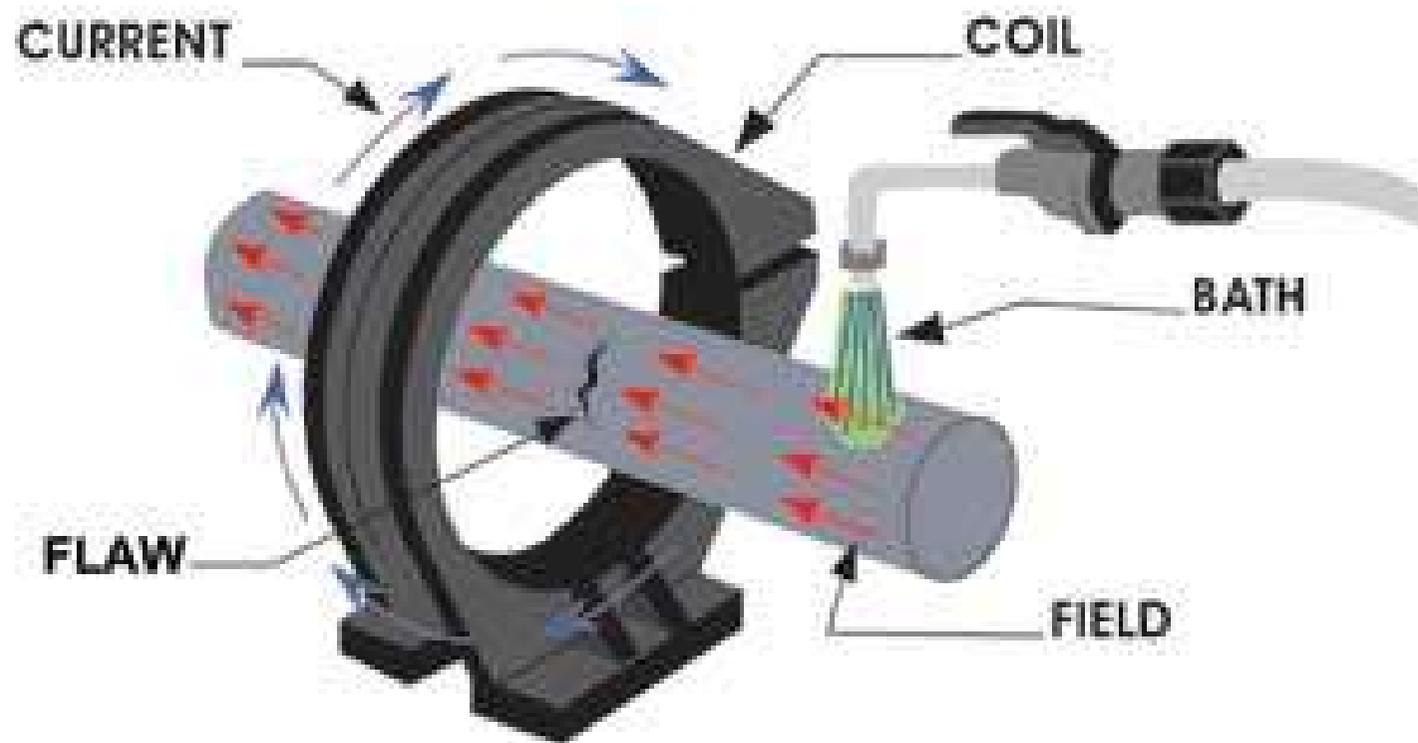
# 永久磁铁 permanent magnet

- 缺点:

磁场强度比电磁轭小; 灵敏度低; 磁场强度不可调;  
磁轭移动困难。

- 应用: 现场检测

# 线圈 coil



# 线圈 coil

- 磁场分布:  
纵向磁场

横截面：中心最小；内壁最大

纵截面：中心最大；往两端衰减

# 线圈 coil

- 优点:
  - 对周向缺陷敏感；整体/局部磁化；无电击
- 缺点:
  - 有退磁场；端部灵敏度低（注意：快断）

# 线圈 coil

- 应用: 轴类
- 注意
  - 工件轴线与线圈平行
  - 几个短零件相互连接
  - 对单个短零件使用加长杆

# 复合磁化 Mixed Magnetization

- 摆动磁场
- 旋转磁场

# 摆动磁场

- 施加磁场

纵向X:  $H_x = H_0$

周向Y  $H_y = H_0 \sin \omega t$

- 合成磁场:

大小:  $H = H_x + H_y$      $H = (H_x^2 + H_y^2)^{1/2}$

$H_{\max} = H_0$      $H_{\min} = H_0$

方向:

$\tan \phi = H_y / H_x$

$\phi_{\max} = \pi / 4$      $\phi_{\min} = -\pi / 4$

# 旋转磁场

- 施加磁场：同幅度，同频率，相位差 $\alpha$

X:  $H_x = H_0 \cos \omega t$

Y:  $H_y = H_0 \cos(\omega t + \alpha)$

- 合成磁场：

大小:  $H = H_x + H_y$

$$H = (H_x^2 + H_y^2)^{1/2}$$

方向:  $\Phi = \tan^{-1} H_x / H_y$

# 连续法与剩磁法

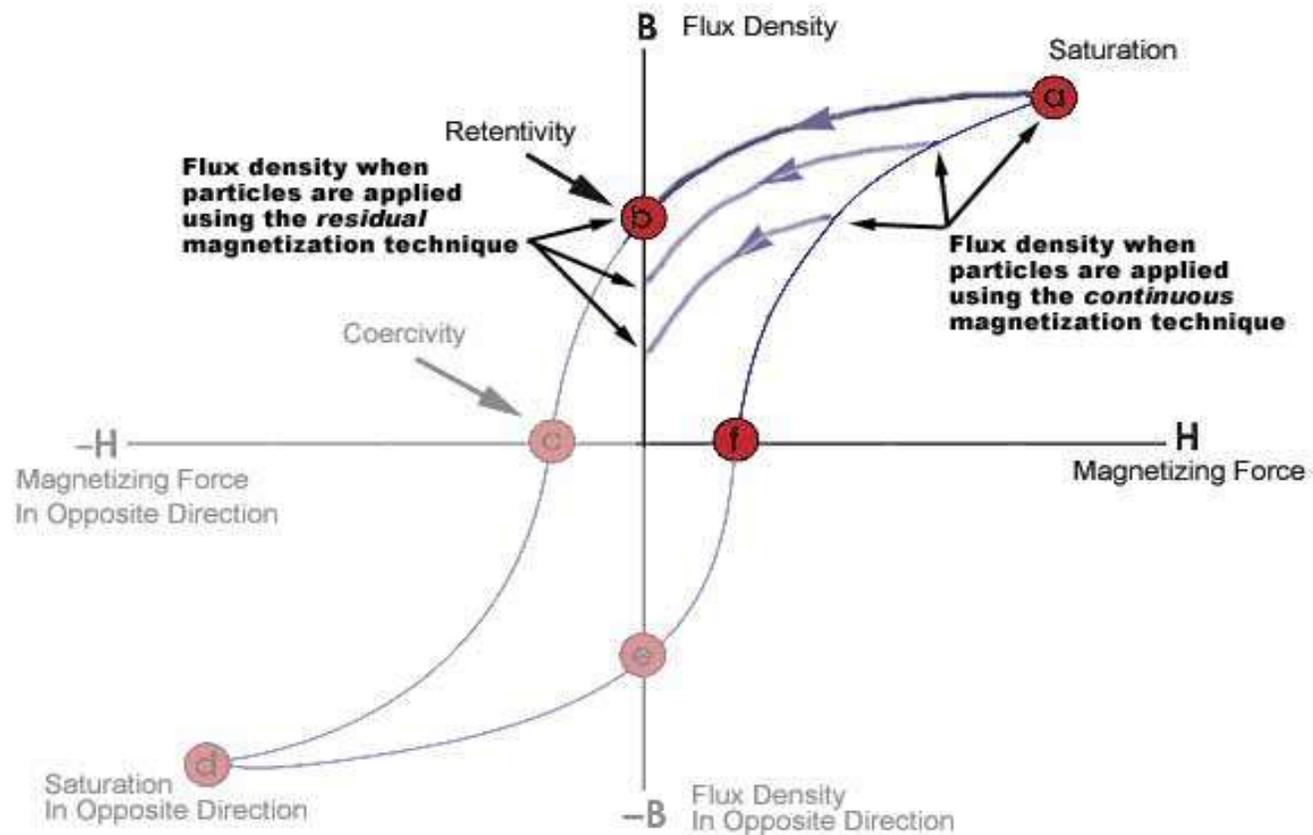
## CONTINUOUS & RESIDUAL METHODS

- 连续法：  
磁化的同时施加磁粉
- 剩磁法：  
磁化后施加磁粉

# 连续法与剩磁法

## CONTINUOUS & RESIDUAL METHODS

磁化强度相同时，连续法 $B >$ 剩磁法 $B$



# 连续法与剩磁法

CONTINUOUS & RESIDUAL METHODS

## 适用材质

- 连续法：剩磁小工件
- 剩磁法：剩磁大工件

# 干法与湿法 DRY & WET METHODS



# 磁化方法选择

- 工件大小：小工件：整体磁化；大工件：局部
- 工件形状：简单：单一磁化；复杂：多种磁化
- 工件表面状态：粗糙：通电；光滑：感应
- 工件数量：多：多向或自动；少：分二次磁化
- 不连续性可能取向：纵向：周向；周向：纵向

# 退磁方法

## DEMAGNETIZATION METHODS

- 热处理方法
- 反转并衰减磁场方法：
  - 交流电衰减法
  - 交流电移动工件法
  - 低频直流电反向衰减法

# 热处理方法

- 原理：加热到居里点
- 应用：检测后须热处理

# 交流电退磁

- 原理
- 操作

