



# 中国机械工程学会无损检测分会 PT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)

# 第三章 渗透检测系统

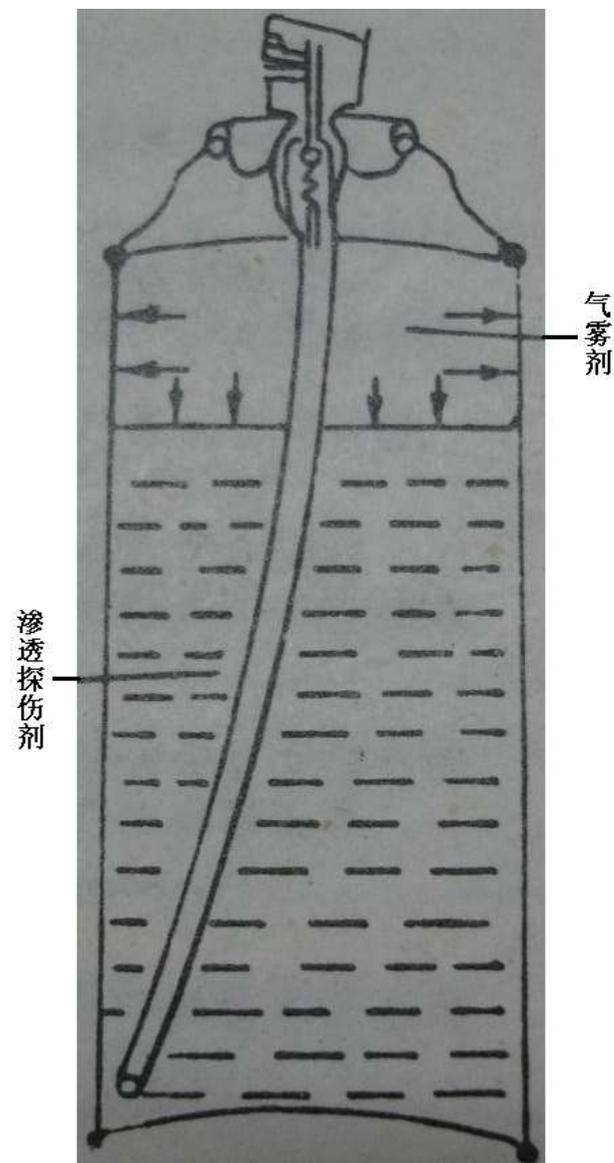
## **Chapter 3 Testing System for PT**

# 内容 Contents

- 检测设备 **Inspection equipment**
- 渗透探伤剂 **Inspection agent**
- 试块 **block**
- 光学设备 **Optical equipment**

# 检测设备 Inspection equipment

- 便携式：  
喷罐，铝合金制成，  
内含气雾剂（氟利昂），  
使用时注意摇匀、避火



# 检测设备 **Inspection equipment**

- 固定式：

固定工位，包括：预处理、渗透、乳化、水洗、干燥、显像、检验等。

# 渗透探伤剂 **Inspection agent**

- 渗透剂 **Penetrant**
- 去除剂 **Remover**
- 乳化剂 **Emulsifier**
- 显像剂 **Developer**
- 选择原则

# 渗透剂

- 作用：渗透到表面开口不连续性中并回渗到表面
- 分类：
  - 按所含染料：荧光、着色、荧光着色。
  - 按去除方法：水洗型（自乳化）、亲油性后乳化型、溶剂去除型、亲水性后乳化型
  - 按灵敏度等级（荧光）：
    - 最低级（1/2级）、低级（1级）、
    - 中级（2级）、高级（3级）、超高级（4级）

# 渗透剂

- 组成：  
一般由染料（荧光或着色）、溶剂（溶解染料和产生渗透）、乳化剂和多种改善渗透液性能的附加成分所组成。
- 要求：  
渗透性强、荧光亮度或颜色强度高、去除性好、保留性好、不易挥发着火、无腐蚀。
- 选择：保证灵敏度、环保。

# 渗透剂

- 红色染料

着色液中所用染料多为红色染料，因为红色染料能与显象剂的白色背景形成鲜明的对比，产生良好的反差。着色液中的染料应满足色泽鲜艳，易溶解、易清洗、杂质少、无腐蚀、对人体无害等。

- 种类：油溶型、醇溶型和油醇混合型等。一般着色液中多使用油溶型偶氮染料。常用的染料有苏丹红、128烛红、223号烛红、荧光桃红、刚果红和丙基红等。其中以苏丹IV使用最为广泛，即偶氮苯。

# 渗透剂

- 荧光染料：荧光强度和波长与所用的溶剂及其浓度有关。荧光液的荧光强度随着浓度的增加而增加，但浓度达到某一数值后，就不再继续增加，甚至会减弱。

- 溶剂

主要作用：溶解染料；渗透作用。应具有渗透能力强，对染料溶解性能好，挥发性小、毒性小、对金属无腐蚀等性能。煤油最常，它具有表面张力小，润湿能力强等优点，但它对染料的溶解度小。

# 渗透剂

- 乳化剂

在水洗型着色液与水洗型荧光液中，表面活性剂作为乳化剂加到渗透液内，使渗透液容易被水洗。乳化剂应与溶剂互溶，不应影响红色染料的红色色泽，或不影响荧光染料的荧光亮度。

# 渗透剂

- 渗透液的性能:

综合性能、物理性能、化学性能。

# 渗透剂

## 渗透液的综合性能

- 渗透力强，容易渗入零件的表面缺陷中。
- 荧光液应具有鲜明的荧光，着色液应具有鲜艳的色泽。
- 清洗性好，容易从零件表面清洗掉。
- 润湿显象剂的性能好，容易从缺陷中被吸附到显象剂表面
- 无腐蚀，对零件和设备无腐蚀性。
- 稳定性好，
- 毒性小，或无毒。
- 检查钛合金与奥氏体不锈钢材料时，要求渗透液低氟低氯，检查镍合金材料时，要求渗透液低硫；检查与氧、液氧接触的工件时，要求渗透液与氧不发生反应。

# 渗透剂

## 渗透液的物理性能

- 粘度
- 表面张力和接触角
- 密度
- 挥发性
- 闪点和燃点
- 电导性

# 渗透剂

- 闪点：刚刚出现闪光现象时，液体的最低温度。
- 燃点：指液体加热到能被接触的火焰点燃并能继续燃烧时的液体的最低温度。
- 比较：对同一液体而言，燃点高于闪点。闪点低，燃点也低，着火的危险性大。

# 渗透剂

## 渗透液的化学性能

- 化学惰性：要求渗透液对被检材料和盛装容器不腐蚀，水洗型渗透液中乳化剂可能呈若碱性，可能腐蚀铝镁合金。

渗透液中硫、钠等元素的存在，在高温下会对镍基合金零件产生热腐蚀（热脆），渗透液中的卤族元素很容易与钛合金及奥氏体不锈钢材料作用，在应力的作用下，产生应力腐蚀裂纹。

- 清洗性
- 毒性
- 溶解性
- 腐蚀性能

# 渗透剂

- 含水量：渗透液总的水含量与渗透液总量之比的百分数。
- 容水量：渗透液中含水量超过某一极限时，渗透液出现分离、混浊、凝胶或灵敏度下降等现象。

渗透液含水量越小越好，渗透液容水量指标越高，抗水污染能力越强。

# 渗透剂

- 粘度、表面张力、接触角与清洗性能等影响渗透液的灵敏度；
- 闪点、燃点、电导性、化学惰性、毒性等涉及操作者的安全及零件和设备的腐蚀；
- 任何一种渗透液，不可能具备一切优良性能，也不能只用某一项性能来评价渗透液的优劣。

# 渗透剂——着色渗透剂

- 水洗型着色液：灵敏度太低，用在极少场合。一种是水基的，另一种是自乳化的。
- 后乳化型着色液：
- 溶剂去除型着色液：与速干式显象配合使用，灵敏度较高。
- 着色渗透液灵敏度较低，不能用于探测临界疲劳裂纹、应力腐蚀裂纹或晶间腐蚀裂纹等非常微小的裂纹。

# 渗透剂——荧光渗透剂

- 水洗型荧光液（自乳化型荧光液）：分低、中、高灵敏度,常用水洗型低灵敏度检查铝镁合金铸造件，批量螺栓、键槽、齿轮等零件。容易受到水污染。
- 后乳化型荧光液：分标准、高、超高灵敏度。用于表面光洁的，灵敏度要求较高的零件检查。抗水污染能力强，也不易受酸或铬酸的影响。
- 溶剂去除型荧光液

# 去除剂

- 作用：去除表面多余渗透剂。
- 分类：与渗透剂对应：  
水洗型——水；  
后乳化型——乳化剂、水；  
溶剂去除型——配套的溶剂（含卤、不含卤、特殊）。

# 去除剂

- 要求：染料的溶解度高、不降低荧光亮度或着色色度、不与渗透剂化学反应。
- 选择：  
与渗透剂对应。

# 去除剂

## ——乳化剂 **Emulsifier**

- 作用：乳化、洗涤。
- 分类：
  - 亲水性（水包油）——去除亲水性后乳化渗透剂，稀释后使用；
  - 亲油性（油包水）——去除亲油性后乳化渗透剂，不稀释使用。
- 要求：性能稳定、乳化性和洗涤性好、容水量高、耐渗透剂污染、高闪点、低挥发。

# 去除剂

## ——乳化剂 **Emulsifier**

- 乳化剂的浓度：浓度高，乳化能力强，乳化速度快，乳化时间难以控制且乳化剂拖带损耗大；若浓度低，乳化能力弱，乳化速度慢，乳化时间常。应根据被检零件的大小、数量、表面光洁度等情况，通过试验来选择最佳浓度和时间。

# 去除剂

## ——乳化剂 **Emulsifier**

乳化剂的性能

- 综合性能

外观能与渗透液明显区别；受少量水或渗透液污染不降低性能；乳化性能适中，乳化时间合理，容易操作；存储保管中，温度稳定性好，性能不变；对操作者的健康无害，无毒及无不良气味；闪点高，挥发性低，废液及去除污水的处理简便等。

# 去除剂

## ——乳化剂 **Emulsifier**

- 物理性能

粘度：影响乳化时间，最短的乳化时间大于等于30s。

闪点：不低于50° C。

挥发性：应低。

- 化学性能

毒性：无毒。

容水性：应能允许混入5%的水含量。

与渗透液的相容性：应允许混入20%的渗透液而不变质。

# 去除剂 —— 溶剂去除剂

- 分类：  
卤化型、非卤化型、特殊用途。
- 性能要求：  
去除时挥发适度，存储保管中稳定，不使金属腐蚀与变色，无不良气味，毒性小等，一般多使用丙酮、乙醇、汽油或三氯乙烯等有机溶剂。

# 显像剂

- 作用：加速渗透剂回渗、放大显示、增强对比度。
- 分类：干式、湿式显像剂；
- 湿式显像剂：
  - 水溶性显像剂；
  - 水悬浮性显像剂；
  - 溶剂悬浮（非水）显像剂；
  - 特殊显像剂。

# 显像剂

- 要求：粒度小、吸湿性强、易去除、无荧光（荧光检测）、无消色（着色检测）

# 显像剂

## 显像剂的性能

- 综合性能

吸湿能力强、速度快，容易被缺陷处的渗透液所润湿并吸出足量渗透液。显像剂粉末颗粒细微，能在零件表面形成均匀的薄覆盖层，将缺陷显示的宽度扩展到足以用肉眼看到

- 物理性能

颗粒度：应足够细，不大于 $3\mu\text{m}$ ；

干粉密度：松散时 $<0.075\text{kg/l}$ ，包装状态 $<0.130\text{kg/l}$ ；

悬浮性：足够。

- 化学性能

毒性、腐蚀性（F、Cl、S等）、温度稳定性、污染。

# 杂质控制

- 奥氏体不锈钢、钛合金：氯、氟；
- 镍基合金：硫

# 选择原则

- 渗透探伤剂系统

主要由渗透液、乳化剂、去除剂和显象剂所构成的特定组合系统。既要满足各自的要求，又要互容，达到检测缺陷的目的。

- 渗透探伤系统同族组

同族组：指完成一个特定的渗透探伤全部检验过程所必须的一系列材料，含渗透液、乳化剂、去除剂和显象剂。

渗透探伤时，必须采用同一厂家提供的同族组的产品，不同族组的产品不能混用。

# 选择原则

- 不同族组，不可混用
- 满足灵敏度
- 根据工件特点
- 无腐蚀
- 安全

# 试块 **Block**

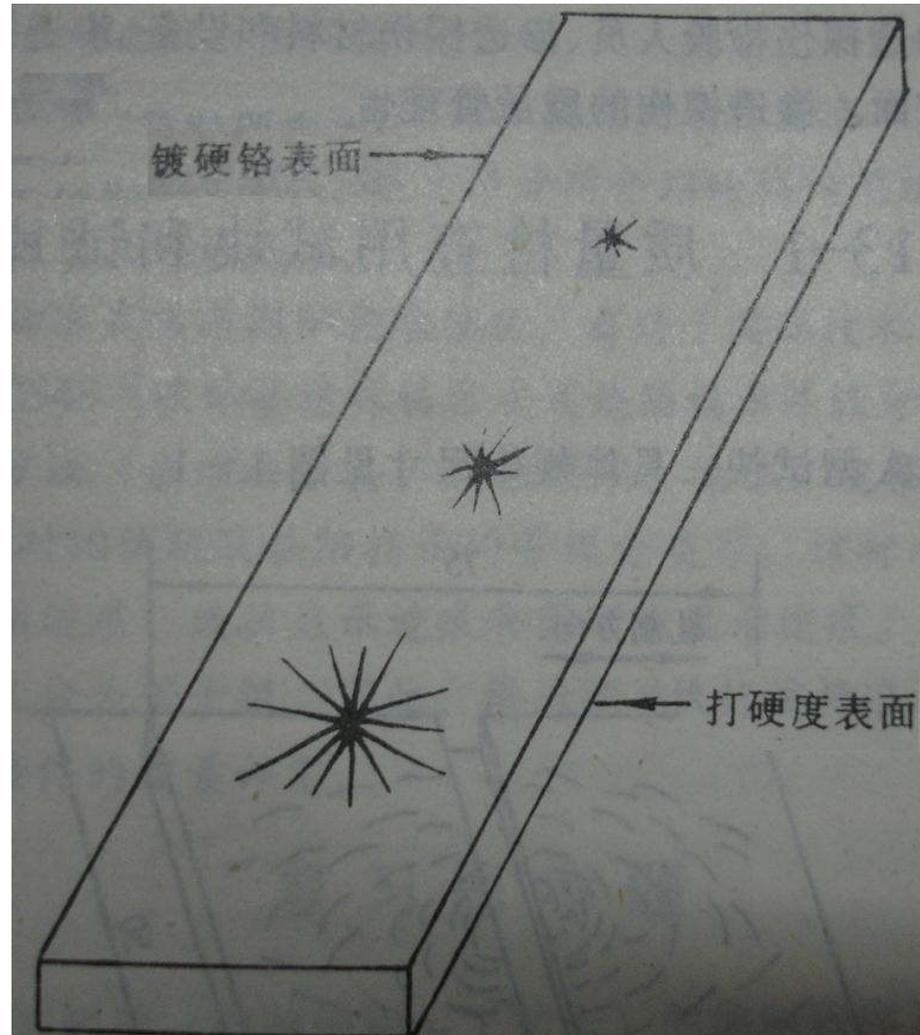
- **A型试块**：铝合金淬火裂纹试块
- **B型试块**：不锈钢镀铬辐射裂纹试块
- **C型试块**：黄铜镀镍铬裂纹试块

# 试块 **Block**——**A**型试块

- 作用：  
不同渗透剂灵敏度的比较；  
相同渗透剂不同工艺的灵敏度比较。
- 制作方法：  
在试块中心用气体灯加热发到426° C左右，再放入冷水中淬火，然后在110° C下干燥15分钟，冷却至室温保存。

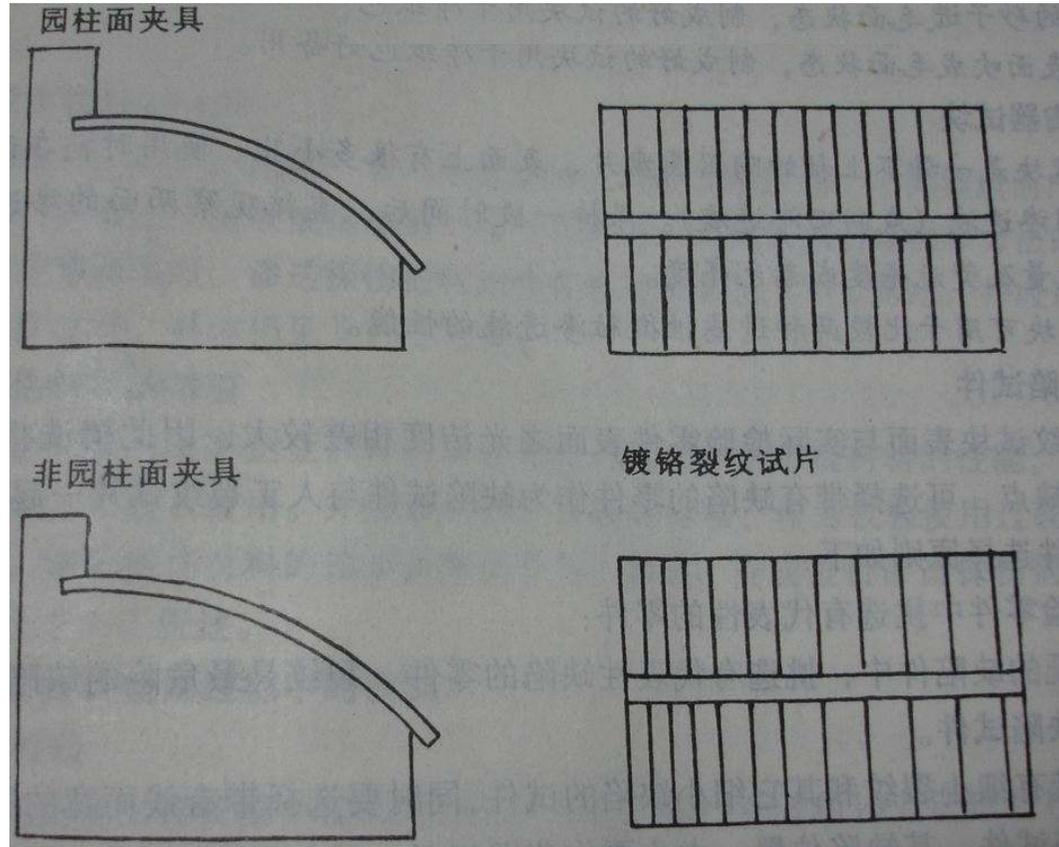
# 试块 Block——B型试块

- 作用：  
校验渗透检测  
系统灵敏度。



# 试块 Block——C型试块

- 作用：  
鉴别各类渗透  
探伤剂性能和  
确定灵敏度等级。



# 光学设备 **Optical equipment**

- 黑光灯：高压汞蒸汽弧光灯，通电后氙气产生电极放电，使管内水银蒸发成压力达0.4MPa的蒸汽，导致电弧放电，经滤波后输出波长320—400nm，峰值波长365nm的紫外线。

使用时注意：少开关、电压稳定、检查滤波片

- 黑光辐射照度计，单位： $\mu\text{w}/\text{cm}^2$
- 白光照度计，单位：lx