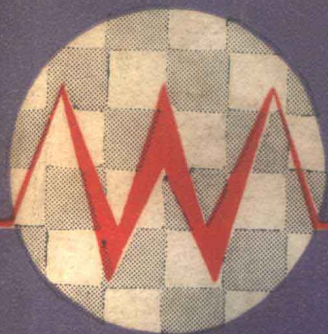


622000 51711

8702

无损检测技术丛书



# 渗透检验

国防工业出版社

711

02

无损检测技术丛书

# 渗透检验

郑文仪 编著

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书简明地介绍了渗透方法的基本知识，包括渗透检验原理、渗透探伤剂、工艺过程、检验设备、质量管理、国内外状况等内容。全书通俗易懂，力求实用。

本书可供从事无损检测工作的工人、技术人员、以及有关的管理人员阅读。读者通过阅读可以对渗透检验有一个概括的了解。书中所介绍的工艺方法均来自实践，可作为工厂制订工艺规程的参考。

无损检测技术丛书

### 渗 透 检 验

郑文仪 编著

\*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092 1/32 印张2<sup>3</sup>/<sub>8</sub> 47千字

1981年8月第一版 1981年8月第一次印刷 印数：0,001—3,700册

统一书号：15034·2261 定价：0.21元

## 前 言

无损检测是一门新兴的综合性科学技术。它以不损坏被检对象的使用性能为前提,应用物理和化学现象,对各种工程材料、零部件和产品进行有效的检验和测试,借以评价它们的完整性、连续性、安全可靠性及物理性能。无损检测是实现质量控制、节约原材料、改进工艺、提高劳动生产率的重要手段,目前已成为产品制造和使用中不可缺少的组成部分。

现代科学技术的发展,为无损检测提供了新的理论和物质基础。目前已经有五十多种检测方法,并且在一些领域中还实现了电子计算机控制的自动化检测。在我国实现四个现代化的进程中,无损检测技术的应用和发展日益受到重视,并有着广阔的前景。

为普及、推广无损检测技术,决定编写这一套《无损检测技术丛书》。编写组由丑维恭、张鄂、关云隆、杨新荣、潘炳勋、戴树春、李林、郑文仪、袁振民、王永保、周在杞、陈积懋、方志诚等同志组成。这套丛书有如下十个分册:

- 超声检测;
- 射线检验;
- 磁粉检验;
- 涡流检测;
- 渗透检验;
- 声发射检测;

激光全息检验；  
微波与红外检测；  
胶接结构与复合材料无损检验；  
无损检测自动化与信息处理。

编写这套丛书的资料一部分来自生产、科研实践，一部分是参阅了国内外有关的技术书刊。在编写过程中曾得到编写组各成员所在单位的大力支持。本分册的编写是在孙殿寿、周大应、孙惠君、周岩、朱目秀等同志的积极帮助下完成的，在定稿时还得到邓日红同志的帮助，在此一并表示感谢。

由于水平所限，书中缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

《无损检测技术丛书》编写组

一九八〇年十二月

# 目 录

概述	1
一、什么叫渗透检验	1
二、渗透检验基础知识	5
三、渗透检验的发展简史和现状	14
渗透探伤剂	15
一、渗透液	15
二、乳化剂和渗透液去除剂	27
三、显像剂	27
四、国外渗透探伤剂简介	28
五、国内渗透探伤剂简介	32
渗透检验装置	35
一、便携式设备	35
二、荧光检验分离装置	36
三、荧光检验成套装置	39
四、自动荧光检验装置	40
五、渗透检验照明装置	43
六、紫外线强度计	47
渗透检验方法	50
一、渗透检验程序	50
二、特殊的渗透检验方法	58
三、渗透检验器材的质量管理	61
四、安全注意事项	68
附录 国外渗透检验标准	70

# 概 述

## 一、什么叫渗透检验

渗透检验是用渗透的方法无损地检查零件表面的缺陷，它包括荧光法和着色法两大类。

荧光法是将含有荧光物质的渗透液涂敷在零件表面，使其渗入表面缺陷之中，然后除去表面多余的渗透液，干燥后施加显像剂，将缺陷中的渗透液吸附到零件表面，再在紫外线下观察，缺陷中的渗透液受紫外线照射发出明亮的荧光，将缺陷的图象显示出来。

着色法与荧光法相似，只是渗透液内不含有荧光物质，而是含有有色染料，缺陷在白色显像剂的衬托下显色，检查只需在白光或日光下进行。

此外，还有一种荧光着色检验方法，兼备荧光和着色两种方法的特点，缺陷处的图像在白光或日光下显色，在紫外线下又激发出荧光，这种方法目前也在不断地得到应用。

无论是荧光法或着色法，都必须包括预清洗、渗透、清洗、显像和检查等基本步骤。其示意图见图1。

根据从零件上清洗渗透液的方法，渗透检验可分为水洗型、后乳化型和溶剂清洗型三种。从显像剂类型来区分，又有干式显像和湿式显像的区别。

水洗型渗透法是渗透液内含有一定乳化剂，零件表面多余的渗透液可直接用水洗掉。

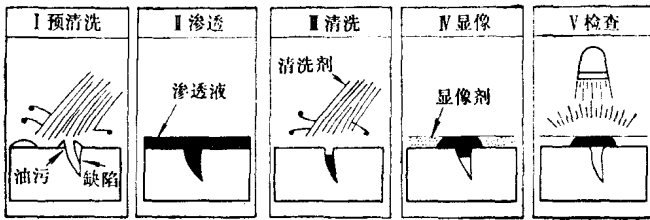


图1 渗透检验的基本步骤

后乳化型渗透法的渗透液不能直接用水从零件表面洗掉，必须增加一道乳化工序，即零件表面上的渗透液要用乳化剂“乳化”后方能用水洗掉。

溶剂清洗型渗透法是用有机溶剂清洗表面多余的渗透液。

干式显像是以白色微细粉末作为显像剂，撒在清洗并干燥后的零件表面上，湿式显像则是将显像粉末悬浮于液体之中，喷涂于零件表面上。

常用的几种渗透检验方法的操作程序及其优缺点见表1至表4。

表1 渗透检验的操作程序

渗透检验方法		显像剂	操作程序
荧光法	水洗型	干式	预清洗—渗透—清洗—干燥—显像—检查
		湿式	预清洗—渗透—清洗—显像—干燥—检查
	后乳化型	干式	预清洗—渗透—乳化—清洗—干燥—显像—检查
		湿式	预清洗—渗透—乳化—清洗—显像—干燥—检查
着色法	湿式	预清洗—渗透—清洗—显像—干燥—检查	



表 2 水洗型荧光法的优缺点

优 点	缺 点
有明亮的荧光 易于水洗 检查速度快 价格较便宜 应用广泛适宜于表面粗糙零件 (铸件、焊接件)的批量检查	需在暗室进行 光洁度高的零件重复检查效果较差 宽而浅的缺陷容易漏检

表 3 后乳化型荧光法优缺点

优 点	缺 点
有极明亮的荧光 灵敏度高 渗透时间短 能检查宽而浅的缺陷 重复检查效果好	需在暗室进行 多一道乳化工序 清洗要仔细 价格高

表 4 着色法优缺点

优 点	缺 点
便于携带 不需要电气设备 适于大型工件的局部检查 可用于不允许水洗的零件,在白 光或日光下检查	灵敏度低于荧光法 过于粗糙的零件表面不宜采用

根据检查对象,选择使用不同的渗透检验方法时,可参考表 5。

表5 渗透检验方法的选择

检 查 对 象	渗透检验方法					
	水洗型荧光法	后乳化型荧光法	溶剂清洗型荧光法	水洗型着色法	后乳化型着色法	溶剂清洗型着色法
细小裂纹、宽而浅裂纹、表面光洁度高的零件		○			○	
疲劳裂纹，磨削裂纹，其它细小裂纹		○	○			
小型零件的批量检查	○			○		
大型工件的局部检查			○			○
粗糙面检查	○			○		
没有暗室的场合				○	○	○
没有水电的场合						○

渗透检验不受材料的组织结构和化学成分的限制，也不受缺陷形状和尺寸的影响。它具有较高的灵敏度，所发现的缺陷宽度可达0.1微米，能够有效地检查出各种表面裂纹、折叠、气孔、疏松、冷隔等缺陷，因此被广泛地用来检查黑色、有色金属的铸件、焊接件和锻件，也可用于陶瓷、塑料及玻璃制品的检查。

因渗透检验是利用渗透液渗入工件表面缝隙的方法来显示缺陷，故只能检查表面缺陷，而不能检查内部缺陷。零件表面过分粗糙，容易造成假象，也会降低检验效果。对于结构疏松的粉末冶金零件或其它多孔材料，不宜采用此法，因为渗透液会进入细孔，而每个小孔都会象缺陷一样显示出来。

## 二、渗透检验基础知识

简单说来，渗透检验原理就是将一种含有荧光物质（或有色染料）的渗透液涂敷在被检验的零件表面上，如果零件表面有缺陷，渗透液就会渗入到缺陷中去，去除掉零件表面多余的渗透液，经干燥显像后，在紫外线（或白光）下便能够显示出零件表面的缺陷，为了进一步了解渗透检验各过程的作用原理，对液体表面现象、乳化现象、光激发光等作如下介绍。

### 1. 液体的表面现象

#### （1）表面张力

渗透液进入缺陷的能力与渗透液的表面张力有关。

什么是表面张力呢？我们经常可以观察到，荷叶上的小水滴，草叶上的露珠都近似于球形，说明液体有将其表面收缩到尽可能小的趋势，通常把这种存在于液体表面，使液体表面收缩的力，称为表面张力。液体分子受到液体内部其它分子的吸引力，称为内聚力，此力是产生表面张力的原因。

从图2可以看出，在液体内部，分子间的吸引力虽然很大，但彼此抵消了，而处在液体表层的分子却没有被其它分子所完全包围，吸引力不能完全抵消，结果这些分子受到一种垂直指向液体内部的吸引力，表面越小，受到此种吸引力的分子数目越少，体系的能量也越低，因此液体的表面有自行收缩的趋势。

表面张力可以当作沿着表面单位长度所加之力，其单位用达因/厘米表示。

表面张力实际上是液-气界面的张力，但在渗透检验中

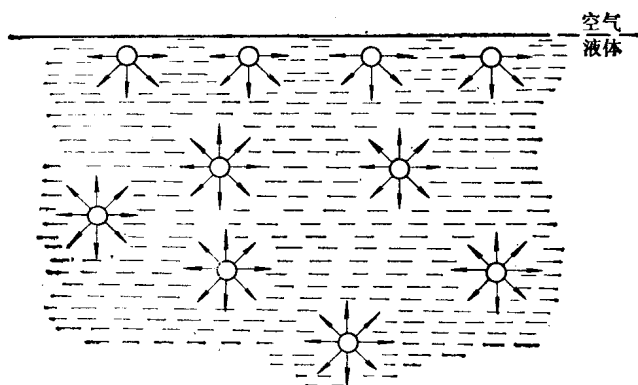


图2 分子在液体表面及里面所受之力

还遇到两种液体的界面张力和固-液的界面张力。

## (2) 润湿现象

荷叶上的露珠呈球形，并不散开附着在荷叶上，为什么水滴在玻璃上就会向四面散开而附着在玻璃上呢？原来液体与固体表面接触时有润湿和不润湿两种不同的现象。液体与固体表面接触时，附着层里的液体分子不仅受到液体内部其它分子的吸引力，即内聚力的作用，同时还与固体表面分子之间产生相互吸引力，即附着力。这两种力共同决定着液体和固体之间的接触角  $\theta$ 。

将液体放在固体的平面上，可有液-气，固-气和固-液三个界面，见图3。用  $\gamma_s$  表示固体与气体的界面张力， $\gamma_L$  表示液体与气体的界面张力，即液体的表面张力， $\gamma_{sL}$  表示固体与液体的界面张力。在液体停留在固体上时，三种界面张

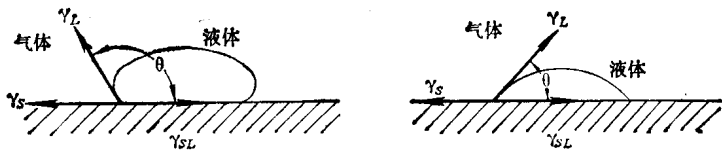


图3 液体和固体之间的接触角

力相平衡，界面与接触角  $\theta$  的关系是：

$$\gamma_S - \gamma_{SL} = \gamma_L \cos \theta \quad (1)$$

即

$$\cos \theta = \frac{\gamma_S - \gamma_{SL}}{\gamma_L} \quad (2)$$

$\gamma_S - \gamma_{SL}$  反映了固体与液体之间的附着力。如果附着力大于内聚力， $\theta$  角小于  $90^\circ$ ，就会产生润湿现象，表明液体能润湿这种固体；反之，如附着力小于内聚力，则表明液体不能润湿这种固体。在渗透检验中如果渗透液不能够润湿零件，渗透液就不可能进入缺陷，也就失去检验效能了。

### (3) 毛细现象

与润湿现象紧密相关的是毛细现象。

把几根内径在 1 毫米以下的细玻璃管插在水中，细管中的水面就比管外的水面高，见图 4。

如果是插在水银里，细管中的水银面就比细管外的低。这种液面高、低的现象叫做毛细现象，能发生毛细现象的细

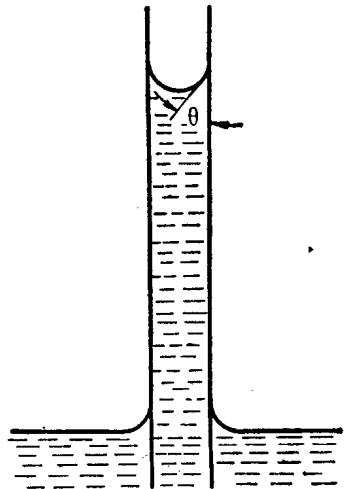


图4 毛细现象

管叫毛细管。

毛细现象是怎样发生的呢？

如果将毛细管插在液体中，液体的内聚力小于附着力时，靠近管壁的液面就会上升，形成表面凹下，从而扩大了液体表面。接着在表面张力的作用下，液体表面向上收缩而又成为平面。此时，附着力又起主导作用，靠近管壁的液面又向上升，重新形成表面凹下，而表面张力的作用又使其收缩成平面，如此循环，使细管内的液面逐渐上升，直到向上的表面张力与细管内升高的液柱重量相等达到平衡的时候，方停止上升。

液体在毛细管中上升的高度与哪些因素有关呢？从图 5

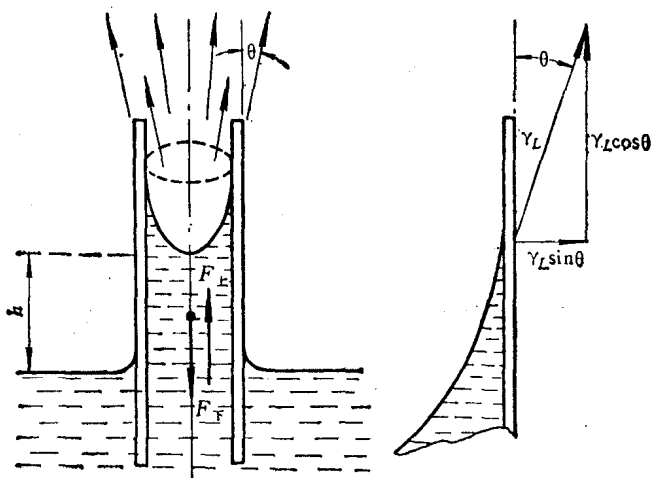


图 5 毛细管中力的分析

可以看出：毛细管中上升力来源于沿细管内壁周长的表面张力，上升力  $F_{\uparrow}$  等于液体表面张力  $\gamma_L$  与细管内壁周长的乘

积，即

$$F_{\uparrow} = \gamma_L \cos \theta \cdot 2\pi r \quad (3)$$

式中  $\theta$  为接触角， $r$  为毛细管内壁的半径。

毛细管中的下降力  $F_{\downarrow}$  等于液柱的重量。

$$F_{\downarrow} = \pi r^2 d g h \quad (4)$$

式中  $h$  为液体在管中上升的高度， $g$  为重力加速度， $d$  为液体密度。

当液面停止上升时，上升力与下降力相平衡，

$$\gamma_L \cos \theta \cdot 2\pi r = \pi r^2 d g h \quad (5)$$

即

$$h = \frac{2\gamma_L \cos \theta}{r d g} \quad (6)$$

从上式可以看出：液体上升的高度与液体的表面张力和接触角的余弦成正比，与液体的密度和毛细管内壁的半径成反比。既然上升高度正比于表面张力，是不是渗透液的表面张力越大越好呢？不是。液体的表面张力过大，液体与固体之间的附着力便很难超过液体之间的内聚力，凹下的液体表面难于形成，渗透能力便谈不到了。从公式上看，起主导作用的还是接触角的余弦，表面张力增大， $\cos \theta$  将迅速减小，接触角  $\theta$  增大，渗透高度就会降低。所以，只有在表面张力与接触角适当取值时，才能取得较好的渗透效果。

工件上贯通缺陷是不常见的。非贯通缺陷类似于一端封闭的毛细管，渗透液进入缺陷后，被压缩的空气和水蒸气将产生反向压力，液体上升高度将受到限制。

综上所述，表面张力所产生的润湿液体的毛细管升高现象，说明了渗透液进入表面缺陷的基本物理过程。在渗透检

验实践中具体缺陷比普通毛细管要复杂得多,但是,液体和固体的表面相互作用正是导致渗透液进入微小缺陷的原因。实际上,渗透液进入表面缺陷的能力与零件的表面粗糙度、缺陷的形状和尺寸、液体的表面张力和润湿零件材料的能力等因素有关。

## 2. 乳化现象

渗透液一般为油基,难于用水洗掉。因此,在水洗型渗透液中均加入表面活性剂,而对于后乳化型渗透液,要用乳化剂进行后乳化处理。这些都是利用表面活性剂的乳化作用,使零件上的渗透液容易用水洗掉。

什么是表面活性剂呢?

油水混在一起,即使用力振荡,可以暂时混合,但很不稳定,静置后又会分成两层,这是由于水油接触面上存在界面张力,起着相互排斥和尽量缩小其接触面积的作用。如果在混合液中加入少量表面活性剂,油就会变成微小粒子,分散于水中,呈乳化液,静置后也很难分层,这种现象称为乳化。乳化是表面活性剂的主要应用之一。有乳化作用的表面活性剂称为乳化剂。

乳化现象是怎样发生的呢?原来表面活性剂分子是由易溶于油的亲油基和易溶于水的亲水基所组成,如图6所示。它能够吸附在水和油的界面上,降低它们的界面张力,



图6 表面活性剂分子模型



以其两个基团把油和水连接起来，防止了他们的相斥作用，并且不使其分离。渗透检验利用乳化现象清洗零件的原理见图7。

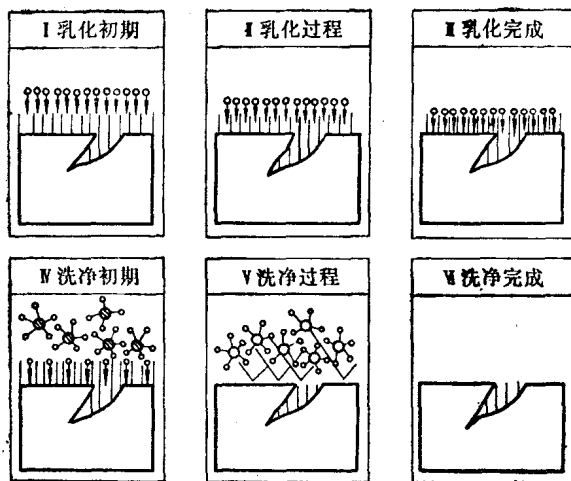


图7 乳化现象清洗零件原理

水和油乳化的形式有两种，一种是少量的油分散在多量的水中，水是连续相，油被分散为细小颗粒，这种类型称为水包油型，用O/W表示。另一种是少量的水分散在多量的油中，即油是连续相，水被分散为细小的颗粒，这种类型称为油包水型，用W/O表示。渗透液的清洗属于第一种类型。

表面活性剂是否易溶于水，即所谓亲水性大小，是一项非常重要的指标。非离子型表面活性剂（即不能电离生成离子的表面活性剂）的亲水性，可以用其亲水基的分子量大小来表示，称作亲憎平衡值，即H.L.B.值。