

专业技术学习资料



# 无损检验

关云隆 主编



国防工业出版社

PDG

20-20  
247

专业技术学习資料

# 无 損 檢 驗

关云隆 主編



國 防 科 學 出 版 社



## 內 容 簡 介

本书除緒論外共分四篇，在緒論部分里概括的論述了无损探伤的发展簡史、分类、作用、在科学技术領域中的地位、以及国内外无损檢驗現狀和发展趋向等。第一篇为射綫探伤，包括射綫探伤的物理基础，設备构造原理及其故障排除、探伤工艺及暗室处理等。第二篇为表面探伤，包括磁性探伤、油漆探伤、螢光探伤等的原理及探伤方法。第三篇为超声波探伤，在这一篇里較全面的論述了超声的发生；声場的分布与傳播特性；超声探伤的物理基础；探伤图形分类及其定名；探伤技术規程与工艺程序，即从发现缺陷开始到对其定位、定量、定性、探伤結果判定等的方法和程序以及实物探伤实例等。第四篇为无损探伤試驗室，包括試驗室的建設与布置、所需設备以及有关的規章制度等。此外，在每篇的后面，还以附录的形式介紹了实际探伤經驗，以供参考。

本书可供本专业的技术人员及有經驗的技术工人閱讀，也可供有关部門參閱。

## 无 損 檢 驗

关 云 隆 主 編

\*

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印張21 486千字

1964年8月第一版 1964年8月第一次印刷 印数：0,001—1,000册

統一书号：N15034·784 定价(科六) 2.60元

## 序

无损檢驗是一門新的科学技术，我国在解放前，由于工业技术水平落后，在这項技术方面尚未开展。解放后，在党的领导下，由于我国工业技术水平的迅速发展，无损檢驗技术从无到有，特别是自 1958 年以来，这門科学已在許多工业领域中得到了最为广泛的应用。我国已能自行設計与制造探伤設備了，技术队伍已迅速形成与扩大，在許多地区已建立了相应的学术組織，探伤技术水平不断提高，为解决生产关键、保証材料、零件、产品质量以及对改进設計与工艺、提高生产率、降低成本、促进产品质量的不断提高等方面起了重要作用。坚信，在党的领导下，这門新的科学技术在我国的应用与发展，在不长的时间里，定能赶上世界先进水平。

本书系在 1963 年举办无损探伤訓練班教材的基础上，作了較大的修改与整理而成。系由趙承生、关云隆、張敬源、吳云发、胡士康、胡殿文等同志集体討論，分工編写而成。本书緒論与超声物理部分特邀孔会时同志編写，全书最后由关云隆同志做了总的校閱。

本书主要以生产經驗为基础，經過分析归纳和系統化，并搜集了大量国外有关文献，結合国内实际情况，以实用为前提进行了編写，在編写过程中也曾引用和摘录了国内已发表过的有关文献的某些部分，为此，特对这些文献的著譯者以及为編写与出版本书而热心帮助与指导的徐善同同志表示感謝。

在編写过程中，参加編写的同志虽做了很大努力，但仍限于經驗和水平关系，书內缺点錯誤在所难免，我們热忱地希望讀者給予批評与指正，以便再版时补充修改。

編 者

1964年2月于北京



# 目 录

## 緒 論

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 一 探伤技术的进展及其基本工作原理 .....    | 9  |
| 二 无损探伤工作的作用 .....          | 17 |
| 三 无损探伤技术现状及其未来展望 .....     | 18 |
| 四 各种无损探伤方法的相互关系及其优缺点 ..... | 20 |

## 第一篇 射线探伤

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 第一章 $\alpha$ 射线及其发生 .....            | 27 |
| 一 $\alpha$ 射线性质概述 .....              | 27 |
| 二 $\alpha$ 射线谱及 $\alpha$ 射线的发生 ..... | 27 |
| 第二章 $\gamma$ 射线及其衰变 .....            | 31 |
| 一 原子核 .....                          | 31 |
| 二 衰变定律和半衰期 .....                     | 31 |
| 三 衰变速率和放射活性 .....                    | 32 |
| 四 $\gamma$ 衰变 .....                  | 33 |
| 五 工业上应用的人工放射性同位素 .....               | 33 |
| 六 测量射线的通用单位 .....                    | 34 |
| 第三章 射线的衰减 .....                      | 36 |
| 一 射线的吸收与散射 .....                     | 36 |
| 二 衰减系数 .....                         | 36 |
| 三 射线的衰减律 .....                       | 38 |
| 第四章 $x$ 射线管 .....                    | 39 |
| 一 $x$ 射线管的两种基本类型 .....               | 39 |
| 二 $x$ 射线管的阴极 .....                   | 39 |
| 三 $x$ 射线管的阳极 .....                   | 40 |
| 四 $x$ 射线管的焦点 .....                   | 42 |
| 五 $x$ 射线管的真空度 .....                  | 43 |
| 六 $x$ 射线管特性 .....                    | 43 |
| 七 $x$ 射线管的保护罩 .....                  | 44 |
| 第五章 X 光机的高压发生装置 .....                | 45 |
| 一 半波自整流线路 .....                      | 45 |
| 二 半波倍压线路 .....                       | 45 |
| 三 三倍增压线路 .....                       | 46 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 四 高压发生器结构 .....                 | 47  |
| 五 高压变压器与加热变压器 .....             | 48  |
| 六 高压整流管与高压电容器 .....             | 48  |
| 七 高压电缆 .....                    | 49  |
| 第六章 X光机的操纵台 .....               | 51  |
| 一 电压的调整设备 .....                 | 51  |
| 二 X射线管和整流管加热调整设备 .....          | 52  |
| 三 操纵设备 .....                    | 52  |
| 四 时间控制器 .....                   | 53  |
| 五 电压稳定器 .....                   | 54  |
| 六 保护设备 .....                    | 54  |
| 第七章 常用的几种X光机 .....              | 56  |
| 一 苏联PVII-1M2型X光机 .....          | 56  |
| 二 西德Eresco-175型轻便式X光机 .....     | 59  |
| 三 国产100-4型工业用X光机 .....          | 61  |
| 四 X光机常见的故障和检修 .....             | 63  |
| 第八章 常用的Y射线探伤仪介绍 .....           | 66  |
| 一 Y射线探伤仪 .....                  | 66  |
| 二 FVII-Co-0.5-1型工业用Y射线透视仪 ..... | 66  |
| 三 FVII-Co-5-1型工业用Y射线探伤仪 .....   | 68  |
| 四 FVII-Co-50-1型工业用Y射线探伤仪 .....  | 71  |
| 五 轻便型Y射线探伤仪 .....               | 71  |
| 第九章 射线剂量的测定 .....               | 74  |
| 一 剂量测定法 .....                   | 74  |
| 二 射线剂量测定仪 .....                 | 75  |
| 第十章 射线的防护 .....                 | 81  |
| 一 射线对人体的危害作用 .....              | 81  |
| 二 射线的防护方法 .....                 | 81  |
| 第十一章 射线探伤工艺 .....               | 85  |
| 一 射线透照法的基本原理 .....              | 85  |
| 二 荧光作用与增感作用 .....               | 86  |
| 三 射线照相法的灵敏度 .....               | 88  |
| 四 影响照相底片质量和灵敏度的有关因素 .....       | 91  |
| 五 曝光曲线的形式与制作 .....              | 96  |
| 六 工件透照补整法 .....                 | 97  |
| 七 缺陷位置的测定 .....                 | 99  |
| 八 实际操作前的准备工作 .....              | 100 |
| 九 各种形状工件透照法例举 .....             | 104 |
| 第十二章 软片的摄影作用 .....              | 111 |
| 一 软片及其摄影作用 .....                | 111 |
| 二 照像底片的摄影密度 .....               | 112 |
| 三 软片的特性曲线 .....                 | 113 |



|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| 第十三章 軟片的暗室处理 .....                           | 116 |
| 一 显影作用和显影剂 .....                             | 116 |
| 二 定影作用和定影剂 .....                             | 121 |
| 三 底片的水洗和干燥 .....                             | 123 |
| 四 軟片的儲存 .....                                | 124 |
| 第十四章 射綫底片上缺陷的評定 .....                        | 125 |
| 一 工件内部实际缺陷和其在射綫底片上的影像 .....                  | 125 |
| 二 在鑄件檢查中常发现的几种缺陷 .....                       | 126 |
| 三 在焊件檢查中常发现的几种缺陷 .....                       | 127 |
| 四 射綫底片上的伪缺陷 .....                            | 128 |
| 五 射綫透照結果的推断 .....                            | 129 |
| 第十五章 高能 $\alpha$ 射綫探伤 .....                  | 131 |
| 一 高能 $\alpha$ 射綫的特性 .....                    | 131 |
| 二 高能 $\alpha$ 射綫产生的原理 .....                  | 132 |
| 第十六章 $\alpha$ 射綫螢光屏观察法和电视观察法 .....           | 133 |
| 一 $\alpha$ 射綫螢光屏直接观察法 .....                  | 133 |
| 二 $\alpha$ 射綫电视观察法 .....                     | 135 |
| 第十七章 电离探测法 .....                             | 138 |
| 一 射綫的电离作用与电离探测仪 .....                        | 138 |
| 二 工件内部缺陷的电离探测法 .....                         | 139 |
| 附录 I 提高射綫透視灵敏度的試驗方法 .....                    | 141 |
| 附录 II 杯形管节角焊縫 $\gamma$ -射綫透視方法 .....         | 159 |
| 附录 III $\alpha$ 、 $\gamma$ -射綫透視中的补偿材料 ..... | 165 |
| 附录 IV 放射性同位素的簡易倒装 .....                      | 169 |

## 第二篇 表面探伤

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第一章 电磁探伤 .....            | 173 |
| 一 电磁探伤的基本原理 .....         | 173 |
| 二 电磁探伤法的种类 .....          | 173 |
| 三 磁化电流的选择 .....           | 175 |
| 四 电磁探伤的灵敏度及影响灵敏度的因素 ..... | 176 |
| 五 工件在电磁探伤后的退磁 .....       | 178 |
| 六 磁粉探伤中常見的几种缺陷 .....      | 179 |
| 第二章 螢光探伤 .....            | 184 |
| 一 螢光探伤法原理 .....           | 184 |
| 二 螢光探伤的步驟 .....           | 185 |
| 三 螢光探伤的灵敏度 .....          | 185 |
| 四 螢光探伤用的材料和設備 .....       | 188 |
| 五 螢光探伤注意事項 .....          | 190 |
| 附录 磁粉的簡易制作 .....          | 191 |

## 第三篇 超声波探伤

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 第一章 超声波探伤的物理基础 .....                | 195 |
| 一 超声波及其特性 .....                     | 195 |
| 二 物质的声学特性 .....                     | 205 |
| 三 声的辐射与传播 .....                     | 212 |
| 第二章 超声探伤设备及其使用条件 .....              | 234 |
| 一 超声的发生方法 .....                     | 234 |
| 二 超声波探伤器 .....                      | 234 |
| 三 纵波的发生与传播 .....                    | 241 |
| 四 横波的发生与传播 .....                    | 242 |
| 五 横波传播时的影响因素 .....                  | 243 |
| 六 表面波的发生与传播 .....                   | 243 |
| 七 表面波传播时的影响因素 .....                 | 244 |
| 第三章 探伤图形 .....                      | 249 |
| 一 反射讯号的名称与記号 .....                  | 249 |
| 二 探伤图形的分类及其判定法 .....                | 252 |
| 三 探伤图形的記錄 .....                     | 258 |
| 四 探伤图形的影响因素 .....                   | 259 |
| 第四章 超声波探伤工艺程序和探伤技术規程 .....          | 270 |
| 一 超声波探伤工艺程序 .....                   | 270 |
| 二 超声波探伤技术規程 .....                   | 270 |
| 第五章 超声波探伤缺陷的判断 .....                | 277 |
| 一 缺陷位置之确定 .....                     | 277 |
| 二 缺陷大小之确定 .....                     | 283 |
| 三 缺陷性质之判断 .....                     | 287 |
| 四 探伤記錄与探伤結果之质量評定 .....              | 291 |
| 第六章 超声波探伤灵敏度及验证探伤結果准确度的一些参考方法 ..... | 294 |
| 一 超声波探伤灵敏度概念 .....                  | 294 |
| 二 影响超声波探伤灵敏度有关因素 .....              | 295 |
| 三 验证超声波探伤結果准确度的一些参考方法 .....         | 297 |
| 第七章 常見工件超声波探伤例举 .....               | 299 |
| 一 板材超声探伤例举 .....                    | 299 |
| 二 焊缝超声探伤 .....                      | 303 |
| 三 軸类探伤 .....                        | 312 |
| 附录 I 超声波探伤中的几点体会 .....              | 317 |
| 附录 II 超声波探伤之工件表面光洁度要求及采用耦合剂 .....   | 322 |

## 第四篇 无损探伤試驗室

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第一章 試驗室的建立 .....           | 325 |
| 一 試驗室的設計 .....             | 325 |
| 二 試驗室应具备的必要仪器設备和附屬設备 ..... | 326 |
| 第二章 試驗室所需的各項規章制度 .....     | 327 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 一 技術責任制 .....                 | 327 |
| 二 儀器設備使用、維修和存放制度 .....        | 328 |
| 三 試驗研究制度 .....                | 329 |
| 四 探傷結論報告和底片的存放、外借制度 .....     | 329 |
| 第三章 探傷申請單和報告書 .....           | 330 |
| 一 申請單格式 .....                 | 330 |
| 二 報告書格式 .....                 | 331 |
| 第四章 放射性工作技術安全和勞動保護細則 .....    | 333 |
| 一 電離輻射的最大容許劑量標準 .....         | 333 |
| 二 放射性同位素工作場所的要求 .....         | 333 |
| 三 放射性同位素的安全操作 .....           | 334 |
| 四 放射性同位素的領取、儲存和運輸須知 .....     | 334 |
| 五 有下列情況之一者均不能參加放射性同位素工作 ..... | 335 |
| 六 放射性同位素工作者保健條例 .....         | 336 |
| 參考文獻 .....                    | 336 |

## 緒 論

“无损檢驗”这一概念，广义来讲系指在不损坏工件或原材料工作状态的前提下，測定其有关技术参数的所有方法。諸如測溫、測压、測粘度、測流速等等均屬无损檢驗范畴。但近几年来由于檢驗技术的迅速发展，无损檢驗作为檢驗技术的分支，已成为一个全新的概念出現在生产战綫上。其内容为涉及到保証产品质量而进行的各項測定。諸如金屬构件的內应力測定、强度試驗、內部缺陷情况測定等等。本书只討論其后一部分。即研討无损发现的发现各种构件內部缺陷的試驗方法，或簡称为探伤。

探伤試驗方法有很多，工业生产中已广泛采用的方法有如下数种：

1. 放射綫探伤；
2. 磁力探伤；
3. 螢光探伤；
4. 渦流探伤；
5. 超声波探伤；
6. 着色探伤。

茲就探伤工作在国内外的发展情况、重要作用、基本工作原理、及其优缺点等等分別討論于后。

### 一 探伤技术的进展及其基本工作原理

#### 1. 磁力探伤

磁力探伤亦名磁粉探伤，或磁法探伤。是探伤领域中应用最早的一项試驗技术。

早在 1919 年国外已制成探伤用的实验設備。由于这种探伤設備簡單、制造方便、操作簡便迅速、对表面缺陷的发现具有較高的灵敏度，因而很快就被工业生产所采用。

我国在解放以前也已开始使用，但应用范围不广。解放后在一些大中型厂矿已普遍設置了此項設備，并作为正規生产工序应用于生产。

磁力探伤从磁場的建立方式来区分有两种方法，即恒磁探伤与电磁探伤。但其探伤工作原理却都相同，如图 1。都是基于鉄磁性材料在磁場中被磁化后而产生的漏磁現象来发现缺陷。漏磁場越严重，就越易于将缺陷暴露出来。因此磁力探伤試驗的关键在于如何在被測試的工件上建立起磁場。并将該磁場强度的变化情况指示出来或通过該磁場內磁力綫方向的变化来观察有无缺陷。

电磁与恒磁探伤的不同点，只是前者基于电磁感应現象将被測試的工件磁化。

磁力探伤設備簡單，全套裝置包括：

励磁裝置；

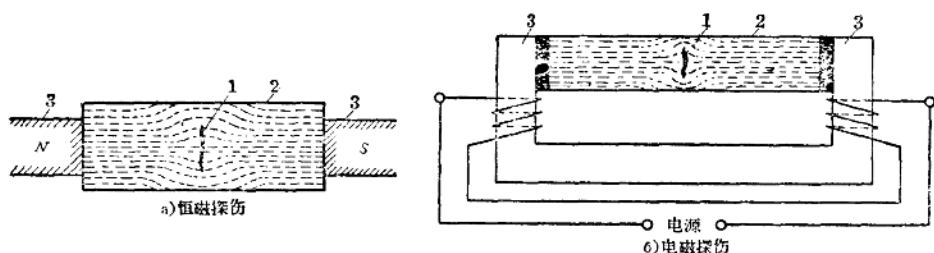


图1 磁力探伤原理:  
1—缺陷; 2—工件; 3—磁极。

虚线代表磁力线

退磁装置。

电磁探伤的励磁装置采用电焊机、直流发电机、变压器、蓄电池等均可代用, 通常只要输出 3~12 伏特, 500~5000 安培, 电能的电力装置均可作探伤装置。

## 2. 着色探伤与荧光探伤

着色探伤与荧光探伤是近几年来才被工业生产所广泛采用的一项探伤方法。着色探伤不须专门装置, 只须配制适宜的着色剂、显现粉, 即可获得探伤结果。其工作原理是基于一个线显的物理现象——毛细管现象来实现的。擦洗干净的工件浸没在着色剂中后, 流动性和渗透性良好的着色剂便渗入到工件表面的裂隙内。工件表面再次擦拭干净并涂以显现粉后, 浸入裂隙的着色剂, 则基于毛细管现象上渗到显现粉中来, 呈现出缺陷的形象。见图 2。

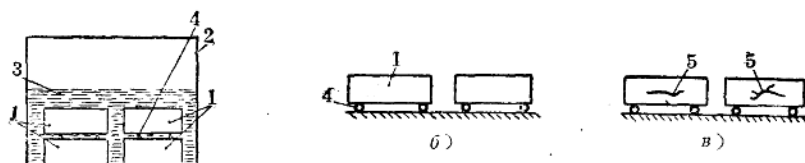


图2 着色探伤法:

a—浸液; b—涂粉; c—显现。1—工件; 2—液槽; 3—着色液; 4—支杆; 5—缺陷。

荧光探伤的工作原理与着色法相近, 不同点只是采用荧光探伤时, 将被探工件浸于荧光液中。其对缺陷的显现是基于光致发光材料, 能将视觉范围以外的紫外线转变为可见光的原理来完成探伤工作的 (见图 3)。因此荧光探伤须具有紫外线发生设备、荧光液及显

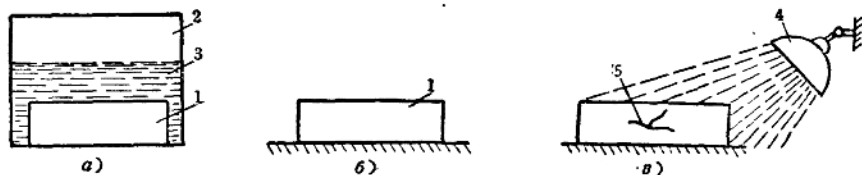


图3 荧光探伤法:

a—浸液; b—涂粉; c—显现。1—工件; 2—液槽; 3—荧光液; 4—紫外光灯; 5—缺陷。

現粉。

### 3. 渦流探傷

渦流探傷也是最近几年才广泛发展起来的一项探傷方法。当前在国外有迅速发展的趋势，并已較普遍地应用在大型企业的生产流水綫上，发展到自动化进行质量檢驗与质量分析的程度。我国目前虽已注意了对此項探傷技术的探討，并应用于生产，但使用范围远不如超声、射綫或其它几种探傷方法用得普遍。

渦流探傷是基于交变的磁場在金属材料内发生同频率的渦流电現象所产生的渦电流大小与金属材料比电阻間的关系变化来发现缺陷的。換句話說，金屬材料的表面缺陷与金属材料本身具有不同的比电阻值，因而对渦电流便发生不同程度的影响。当金屬表面有缺陷，例如存在裂紋时，該处的比电阻便因缺陷的存在而增大，与其相关的渦电流則相应减小。无缺陷或材质均匀的地方，則保持相对稳定的渦电流值。因此測量渦流损耗功率的大小及其变化程度就能表达出工件表面有无缺陷。由缺陷所引起的功率损耗通常是极其微小的，但通过高灵敏度无失真的放大器放大后，可使其值达到采用指示器能指示出来的程度。

### 4. 放射綫探傷

放射綫探傷是工业生产檢驗上应用得較早的一项探傷技术，至少已有 40 年的应用历史。这里所說的放射綫探傷或简称射綫探傷包含有如下三个内容：

- 1)  $\alpha$  射綫探傷，亦称倫琴射綫探傷；
- 2)  $\gamma$ -射綫探傷，亦称丙种射綫探傷；
- 3) 高能射綫探傷。

力图了解放射綫的发现与发展則要追溯到很久以前，远在上个世紀九十年代的 1895 年，德国渥茨堡大学教授倫琴在研究阴极射綫时，便发现一种新的，对物质具有强大穿透能力且能使螢光材料激发出螢光，使照相軟片感光的不可見射綫。即所謂倫琴射綫。鉴于当时对此射綫的来源与性质均不明了，故命名为  $x$  射綫。

早期的  $x$  射綫由于受設備条件与技术水平的限制，諸如冷阴极管，低电压，长波长，穿透力弱等等，使其只是在医学研究上得以应用。1913 年电子学和真空技术的发展，使得  $x$  射綫应用技术迅速跨前一步。热阴极高真空度  $x$  射綫管的制作成功，使  $x$  射綫裝置的管电压高达 20 万伏以上，其对物质的穿透能力显著增加。因而一跃而进入工业生产領域。自本世紀 20 年代起， $x$  射綫裝置已在許多国家的工业生产中获得了广泛的应用。

$\gamma$ -射綫的发现也具有較为久远的历史。1896 年法国科学家貝克勒尔在研究磷光現象时，首次发现了一种与  $x$  射綫具有相似性能的不可見射綫。其强度与試样的含鈾量成正比。該射綫乃是由不因任何外界作用而发生的原子核自发裂变而产生，亦即具有天然放射性。两年后居里夫妇用放射化学方法，从鈾矿中又分离一种放射性比鈾大得多的新放射性物质——鐳。从而奠定了放射性化学与物理的研究基础。

1919 年英国科学家卢瑟福利用  $\alpha$  粒子轰击氦气，打出质子来，因而建立起第一个人工核反射裝置。1939 年鈾裂变現象的发现，使人們得获得新的巨大的能源——原子能。于是具有强大穿透本领的天然放射性  $\gamma$ -射綫与人工制造的放射性同位素，便随着原子科学的发展而进入到工业探傷領域中来，成为檢驗深厚工件内部缺陷情况的有力手段。

高能射線的应用時間并不很久，只是近十几年才在探伤領域內获得应用。其发生設備有如下三种：

- 1) 共振变压器式高能射線发生器；
- 2) 静电起电机式高能射線发生器；
- 3) 电子迴旋加速器式高能射線发生器。

其中以电子迴旋加速器的采用最早，远在1922年J·斯莱宾就曾闡明过采用电子迴旋加速器来作为高能 $\alpha$ 射線发生裝置的原理。

而在我国由于旧时代反动統治階級的腐朽、落后，上列射線探伤技术的应用除日伪时代在少数企业安装一些残旧的 $\alpha$ 射線裝置外，几乎近于空白。直到解放后才获得了空前迅速的发展。不只大批的生产了供工业与医疗使用的各种X光机，也建立起了原子反应堆和提供多种人工放射性同位素射線源，以供工业探伤。

上列三种放射射線探伤的基本原理都是一样的(如图4)。只是射線源有所不同。探伤結果大多数場合通过三种方式来获得。

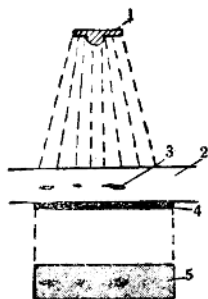


图4 放射射線探伤原理：

- 1—射線源( $\alpha$ 、 $\gamma$ 或高能 $\alpha$ 射線)；2—工件；  
3—缺陷；4—裝有軟片的暗盒；5—暗室处理后的底片及其缺陷显示。

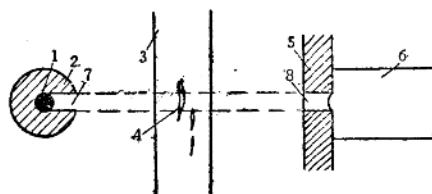


图5 电离法 $\gamma$ -射線探伤原理：

- 1— $\gamma$ -射線源；2—防护壳；3—工件；  
4—缺陷；5—防护屏；6—計量器；7—辐射窗口；8—接收窗口。

其一为透視——即螢光观察；

其二为透照——摄取照片；

其三为电离探测——測量强度变化(见图5)。

射線透視的探伤原理，是基于具有强大穿透能力的放射射線通过被檢驗工件后能使螢光材料激发出螢光，因而透过工件的射線，由于材质厚薄差异其强度衰减亦不同，显出明暗不同的区域。即显现出缺陷(见图4)。

透照法的原理同上，只是使透过工件的射線作用于照相軟片使其发生不同程度的感光影响，从而在照相底片上，摄照出缺陷的投影图像。

电离探测法的探伤原理是基于对射線通过工件后的强度衰减情况的測量来确定工件内部缺陷的有无，其探伤結果是通过計量器来获得的。

## 5. 超声波探伤

超声波探伤在工业領域中的应用，近十几年来取得了长足的进展。無論就使用效果，經济价值或其适用范围看来，它都有着頗为广闊的发展前途。因此已为世界各国有关科研

部門及工程界所密切注意。

超声波探伤技术的发展，概括起来讲不外是从超声波探伤设备的改进过程进而为探伤技术的完善过程。而超声波探伤仪器从开始使用直到今天，也只不过才经历二、三十年的考验历程。但是，无论就设备的完善程度还是探伤理论以致于工作经验来看，当前均已发展到相当成熟的应用阶段，成为现代超声学在工业生产中应用最为广泛的一项新的实用技术——超声波探伤技术。

首次发现以压电式振源发生超声来探测材料内部缺陷是在 1928 年。不过当时使这一工作付诸现实还有许多困难。1934 年，苏联科学院通讯院士索克洛夫，基于 1880 年居里兄弟所发现的晶体压电效应，在铜试件上完成了最早期的超声波金属探伤试验（见图 6），为无损探伤技术史掀开了新的一页。

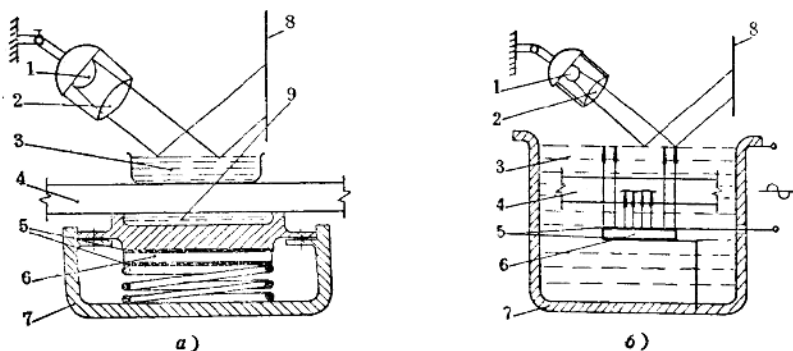


图 6 早期的超声波探伤装置：

1—光源；2—聚光镜；3—液体；4—工件；5—电极板；6—压电晶体；7—外壳；8—屏幕；9—水银。

初始的超声波探伤装置是由数块具有相同厚度，镶拼起来的沿 X 方向切石英片夹在两块金属板中间构成的声源。石英片上表面的金属板固定在试验装置的外壳上。该板具有突状边缘，使板呈盘状，盘中盛以耦合介质水银。水银之上置放试件。试件表面上置着一个用油耦合着的磨平的玻璃容器，器内装着液体。

试件内部的缺陷情况借助于斜射至液面后反射到屏幕上的光线指示出来。因而早期的超声波探伤仪器实质乃是连续波穿透式探伤仪。很显然，上列装置在实用上是有许多不便之处的。为此，此后不久索克洛夫院士改进了这套装置。将声源及试件全部置于液体中，使装置及操作简单化，更便于试验的进行，从而在实用的角度上奠定了超声波探伤的基础。然而早期的超声波试验装置毕竟有许多满足不了生产技术要求的地方。因而 1935 年索克洛夫院士又在连续波穿透式超声波探伤装置的基础上拟订出采用脉冲反射法进行探伤的途径，从工作原理上看来，此项装置已接近当前使用的超声波探伤器了。

第二次世界大战期间，无线电电子学的卓越成就，推动了水声学及电声学的迅速发展。雷达、微波通讯的建立更使得超声技术的进展迅速跨前一步。于是在战后（1947~1948 年间）便出现了类似于雷达装置的，结构完善的 AAc 及 ADc 型脉冲反射（及穿透）式超声波探伤器。直到今天仍在继续延用着。这些设备很快就在许多冶金，机器制造等工业部门获得了广泛的应用。同时也较为成功的解决了许多过去工业生产上长期存在的大型工件质量

控制問題。

十多年来，超声波探伤技术水平得到很大提高，不仅成功的建立起纵波探伤，也广泛地采用横波及表面波探伤解决一些特殊的問題。对于缺陷大小的判定及其潜伏部位的判定已集累起相当丰富的現場探伤經驗。但是与其同时，实践过程中也不断出現一些具有共同性质的技术問題需待解决。諸如对探伤图形的統一解釋，缺陷性质的判定，探伤标准的制訂，原始記錄的永久保存方法等等，已成为各国广大探伤工作人員所普遍关心的問題，为此，1955年曾在布魯塞尔召开了一次国际性會議，就无损檢驗問題进行了專門的討論。1958年在芝加哥及1960年在东京又召开了同样性质的国际會議，进一步集中的討論了大家所共同关心的問題。1963年9月在倫敦举行了第四次国际无损檢驗會議。会上除宣讀了代表超声波探伤方面現代成就的优秀論文外，对射綫探伤、渦流探伤、 $x$ 射綫应力測定等方面也进行了深入的探討。超声波探伤有着远大的发展前景，生产过程中所显示出来的許多迹象表明，超声波探伤在短时期内由于受设备性能及技术水平限制，虽然还不具备取代其它探伤方法的充分条件，但是由于其本身所具备的許多优越性，在沒有更新或更合理的探伤方法出現以前，至少它有“挖掘潜力”的余地。

我国各工业部門对超声波探伤技术的采用始于全国解放以后。

随着工业生产建设範圍的迅速扩大，許多过去依靠进口的大型设备，特别是承受高温、高压、高速运转的大型设备和易爆设备开始自行制造。为确保产品质量，无损探伤工作逐渐成为生产当中必不可少的工序。于是，在第一个五年計劃一开始，超声波探伤技术的选用已納入研究日程。国内早期制成的超声波探伤仪乃是由一台发射机及一台接收机各带一探头联合起来进行工作的連續波穿透式超声波探伤仪。該仪器采用电表指示，根据声能穿过工件的多少来判定工件内部缺陷的有无。这种結構简单，制造方便的探伤仪器，曾在一些厂矿的生产綫上經受考驗，并在一定程度上解决过生产上存在的若干問題。諸如决定毛坯工件的廢或合格，以及成批生产的同类工件的质量控制問題等等。但是生产实践得出的結論是：此种仪器的檢驗速度慢，准确度不高，对于較小缺陷的分辨能力及对其位置的判定都有許多困难。因而在使用此项仪器的同时，很自然的便使得研究方向轉向脉冲式超声波探伤仪器，而在实际生产上逐渐淘汰了穿透式设备。

大約在1954年，中国科学院机电研究所制成并試用了由电子射綫示波管作指示器的脉冲反射式超声波探伤仪。同时召开了全国性的超声波技术訓練班，培訓技术骨干。当时由于生产的设备数量有限，且較为笨重，偏重于适合在試驗室內使用，而不便于經常搬动。因而在生产上并沒能普遍应用。

1956年开始，国内制成了一些适合車間生产条件下使用的便携式脉冲超声波探伤仪，同时組織了小批量的生产。这批设备試用效果良好，綜合灵敏度很高，因而立即引起普遍重視，及时推广了这一經驗。这便是当前遍及全国各主要工业区的江南型超声波探伤仪器的前身。

在大跃进的年代里，超声波仪器的制造得到了空前的进展。無論就品种，产量还是质量上都有显著的提高。58-I型、江南-I型、管件探伤器、路軌探伤器、超声波測厚仪、低頻混凝土探伤仪等设备便是这一时期内的产物。

此外，显像式超声波探伤仪的制造也在試驗情况下进行了試用。此間，上海、武汉、辽

阳、撫順、旅大等市均先后出现了从事制造超声波探伤设备的工厂或企业。

在 1956~1959 年这短短的四年时间里,超声波探伤设备的使用已遍及全国各主要工业区的许多工厂。成功地解决了许多产品的质量关键课题。例如由于及时发现了重要轴件的疲劳裂痕而避免断轴事故;检查出高压容器的内部缺陷而防止了爆炸等等。在这一时期里,航空、造船、冶金、机器制造等工业部门所生产的高、大、精、尖产品的质量鉴定书中出现了证明产品内部质量良好的探伤报告书。刊物上出现了数以百计的有关超声波探伤方面的专题论文、经验介绍、翻译资料等等。从不同角度上阐述了超声波探伤的可行性及重要性,进一步推动了此项工作的开展。

目前采用超声波探伤已能有效地检验出存在于大型铸、锻、焊、铆等工件内部的缺陷。并且已能成功的采用特殊方法解决某些工件的“死区”范围与较薄工件(1毫米以下)的探伤问题。

当前,全国范围内的无损探伤专业队伍在迅速扩大,技术水平在逐步提高。预期在不久的将来,超声波探伤技术必将和其它无损探伤技术一样在我国各项生产战线上发挥出更大的作用。

“超声波探伤法”这一概念,广义来讲,系指利用超声振动来发现材料或工件缺陷(内部的或外表的)的所有方法。

超声振动根据调制方式的不同,它可能是连续振动——产生连续波,也可能是脉冲振动——产生脉冲波。两者均能用于探伤且具有相同的声学特性。

根据振动方式与传播方式的不同,超声振动又可以纵波、横波及表面波等三种形式在工件中传播。每种形式的振动在探伤工作中都有其独特的作用。根据声的发射与接收条件的不同,纵波及横波探伤又经常采用单探头与双探头方法探伤。而后法除可采用反射法进行工作外还能以穿透法工作。除此而外,根据指示方式的不同、声耦合方式的不同、以及探头结构和采用方法的不同等等,使“超声波探伤法”的涵意更为广泛。然而其工作原理又都大致相同,因此这里只就检验方法之不同,将超声波探伤的基本原理归纳为如下三种方法来进行讨论:

1) 穿透法:亦称透过法。声源产生的连续波或脉冲波均能采用穿透法来进行探伤。采用此种方法探伤时,声波由发射探头发出,经由工件的一面传入工件内部而由其另一面被接收探头接收。当工件内部组织结构均匀时,声能可以顺利通过工件而为接收探头所接收。从而在指示器上便会显示出明显的“声能透过讯号”。反之,工件内部在声波传播的路径上存在缺陷时,则声波在材质不相连续的缺陷与基体金属交界面上将大量被散射、反射或被缺陷吸收、衰减,形成所谓“声影”,使接收到的“声能透过讯号”的振幅迅速减弱或消失。因此穿透法探伤就是基于显示出声能通过有缺陷部位与无缺陷部位的能量衰减差值的原理来发现出工件内部的缺陷。

从其工作原理上不难看出,工件本身对声能的衰减与吸收因素对该法能否合理的被采用将起着决定性的作用。例如探测的工件长大或粗晶粒组织,发射出去的声能不足以透过工件便衰减削弱,则此法便不能使用。

在此前提下,采用穿透法探伤不受声源振动方式及波传播方式的限制。亦即深入工件内部传播的纵波与横波,均可用于穿透法探伤,如图 7 所示。

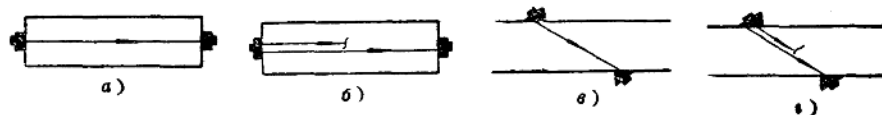


图7 穿透法探伤示意图:

$a$ —纵波(无缺陷);  $b$ —纵波(有缺陷);  $c$ —横波(无缺陷);  $d$ —横波(有缺陷)。

2) 反射法: 亦称回声法。自声源发出的超声振动, 在某一均匀连续的介质内部传播过程中, 在其传播路径上遇到声阻抗相异的介质(即缺陷)界面时, 即在该界面上引起反射(详见第三篇第一章三一3)。异质界面反射声能的多少取决于该异质界面在垂直于超声波传播方向上的截面大小。异质界面愈大则在该界面上反射的声能亦越强; 反之则声能反射就愈弱。传声途径上的异质界面大至全部“遮住”入射声束时, 则声波便全部由该界面反射; 倘在传声介质中的异质界面较小, 这时除反射部分声能外, 大部分声能将继续按发射方向沿直线传播, 直至遇到探伤工件的底面后才发生反射。于是在工件内部形成由不同界面上反射声振动的时差值及反射能量差值。基于此原理, 便能很方便地确定出缺陷在工件内部所处的部位以及其大小。

反射法可用于纵波, 横波或表面波探伤。且无论采用单探头或双探头均可在一面能够置放探头的情況下正常工作(如图8)。

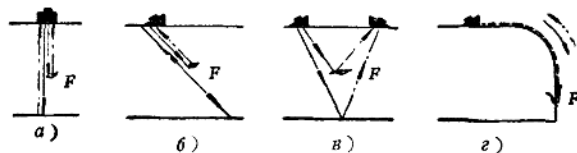


图8 反射法探伤示意图:

$a$ —纵波, 单探头;  $b$ —横波, 单探头;  $c$ —横波, 双探头;  $d$ —表面波, 单探头;  $F$ —缺陷;  $\rightarrow$ —发射波;  $\cdots\rightarrow$ —反射波;  $\cdots\cdots$ —表面波。

3) 共振法: 采用共振法探伤时, 声源以连续发射的非衰减波形式发出超声振动。该振动的频率随发生器所发射的频率改变而连续调变。亦即所发出声波的频率是可以调节的。当声源所发出的声振动频率恰好与待测工件的固有振动频率成倍数关系, 或者说工件待测部分的厚度恰好是发射声波半波长的整数倍时, 则该振动在被测件内发生共振, 从而在传声介质内形成驻波(如图9)。这时换能器——探头的负荷阻抗将骤然改变。换言之, 共振的产生乃是声源发射出去的声波与反射波相干涉的结果。由于在共振状态下声波振动频率与待测件厚度成函数关系, 因此在已知待测件声速的条件下, 测出待测件的共振频率, 就能得知其厚度。在等厚的工件测量共振频率时, 突然发生频率骤变, 则可知在该工件中存在异质界面(缺陷与基体金属的界面)。基于此原理建立起共振法探伤(如图9)。

该法在探测件只有一面能够置放探头的情況下测量板件厚度可得到良好的效果。因而通常都用此法测量板材厚度及其中存在的层状缺陷。其专用设备称之为共振式超声波测厚仪或简称超声波测厚仪。