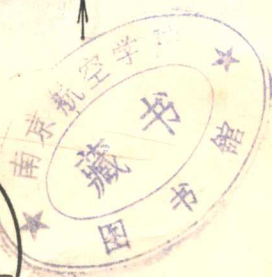
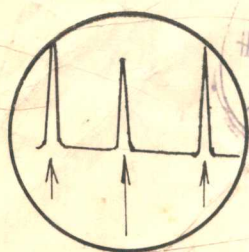
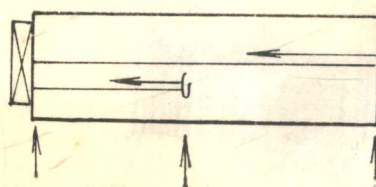


美国联邦航空局咨询通报

航空器超声检验



航空工业部适航性研究管理室

1986年6月

643064



美国联邦航空局咨询通报
航空器超声检验

☆

航空工业部第三〇一研究所
(内部资料 066)

☆

1986年×月 定价, 2.50元

出版说明

本咨询通报根据美国联邦航空局出版“航空器超声检验”(AC NO: 43-7 ULTRASONIC TESTING FOR AIRCRAFT) 1975年版本翻译。

全书对航空器上的另、部件超声检验应用与图示, 可供厂、所无损检验工作参考。

本咨询通报由航空工业部适航性研究管理室李子伟同志翻译, 由上海飞机制造厂任坚同志校对。由于时间仓促, 有不妥之处请指正。



航空工业部适航性研究管理室

1986年6月

647064

目 录

第一章 绪 言

1. 概述.....	(1)
2. 超声波的用途.....	(1)
3. 超声波检验的应用限度.....	(1)
4. 超声波检验用于腐蚀检查.....	(1)
5~9 暂缺	

第二章 换能器(探头, 测头, 晶片)

10. 概述.....	(2)
11. 换能器用材料.....	(2)
12. 压电效应.....	(2)
13. 换能器类型探头.....	(2)
14. 换能器分类.....	(4)
15~20 暂缺	

第三章 波的传播

21. 超声波.....	(6)
22. 纵波.....	(6)
23. 剪切波.....	(6)
24. 表面(瑞利)波.....	(7)
25. 板(兰姆)波.....	(8)
26~30 暂缺	

第四章 超声波振动

31. 检测方法.....	(9)
32. 超声波的反射.....	(10)
33. 超声波的拆射及波型转换.....	(10)
34. 波束离散.....	(11)
35~40 暂缺	

第五章 超声波系统

41. 概述.....	(12)
42. 脉冲系统.....	(12)
43. 谐振.....	(13)
44~50 暂缺	

第六章 图 象

51. 观察和记录响应图形.....	(15)
52. 阴极射线管 (CRT)	(15)
53. 扫描图象.....	(16)
54. 显示.....	(17)
55~60 暂缺	

第七章 记录器

61. 类型.....	(22)
62. 偏转调制。常用笔—图表记录器.....	(22)
63. 强度调制。图象传真记录C—扫描法.....	(22)
64~70 暂缺	

第八章 电子选通脉冲

71. 功能.....	(23)
72. 选通器的基本工作原理.....	(23)
73~75 暂缺	

第九章 延迟线路

76. 描述.....	(25)
77~80 暂缺	

第十章 耦合剂

81. 概述.....	(26)
82. 描述.....	(62)
83~85 暂缺	

第十一章 超声波参考试块

86. 绪言.....	(27)
87. 距离振幅比较试块.....	(27)
88. 面积振幅比较试块 (ALCOA试块)	(28)
89. 国际焊接协会 (I.I.W) 参考试块.....	(28)
90. 美国机械工程师协会 (ASME) 焊接参考金属板.....	(28)
91. 专用参考标准.....	(28)
92~95 暂缺	

第十二章 检测方法

96. 描述.....	(30)
97. 接触检测法.....	(30)
98. 液浸检测法.....	(31)
99. 液浸扫描技术.....	(32)
100. 水柱技术 (起泡器, 喷注器)	(34)
101. 滚轮探头.....	(35)
102. 超声波图象转换器.....	(36)
103. 暂缺	

第十三章 整体燃油箱腐蚀检验

111. 概述.....	(37)
112. 方法.....	(37)
113. 仪器.....	(37)
114. 显示.....	(37)
115~120 暂缺	

第十四章 航空器代表性另件的检验

121. 概述.....	(38)
122. 主前起落架轮.....	(38)
123. 主起落架扭力连杆.....	(38)
124. 主起落架扭力连杆凸耳.....	(39)
125. 主起落架液压外作动筒.....	(39)
126. 主起落架耳轴支架结构.....	(39)
127. 前起落架外作动筒.....	(39)

128. 内外发动机短舱支柱前翼梁接头..... (41)

129. 前起落架外作动筒..... (41)

130~135 暂缺

(131)
(132)
(133)
(134)
(135)

(136)
(137)
(138)
(139)
(140)
(141)
(142)

(143)
(144)
(145)
(146)

(147)
(148)
(149)
(150)

插图目录

图1. 角波束探头.....	(2)
2. 超声波振动的产生.....	(3)
3. 一个超声波探头的图解.....	(3)
4. 天然石英晶片 (X和Y切割)	(3)
5. 通用发射—接收探头.....	(4)
6. 组合式发射—接收探头.....	(4)
7. 分离式发射—接收探头.....	(5)
8. 波传播的机械类推.....	(6)
9. 纵波.....	(6)
10. 剪切波.....	(7)
11. A波以一小角度传播.....	(7)
12. 表面波.....	(7)
13. 表面波技术.....	(8)
14. 板波.....	(8)
15. 超声波反射.....	(9)
16. 超声波束的折射.....	(10)
17. 产生剪切波.....	(10)
18. 产生表面波.....	(11)
19. 声波在钢中波束离散.....	(11)
20. 纵波射入一表面的图示.....	(11)
21. 基本脉冲回波系统的方块图.....	(12)
22. 示波器显示与缺陷检查的关系.....	(13)
23. 穿透传播技术.....	(13)
24. 超声波在金属板里谐振情况.....	(14)
25. 谐振厚度测量系统的方块图.....	(14)
26. 射频轨迹和视频轨迹.....	(15)
27. 显示器系统的类型.....	(16)
28. A—扫描图象.....	(16)
29. B—扫描图象.....	(16)
30. C—扫描图象.....	(17)
31. 液浸晶片聚焦在试块上及其可能产生的显示.....	(17)
32. 液浸晶片聚焦在带缺陷及非平行表面试块上.....	(18)
33. 液浸晶片聚焦在长得难从背面回波反射的轴上.....	(18)
34. 角波束穿透一焊道.....	(19)

35. 角波束穿透一焊道.....	(19)
36. 角波束穿透一平板.....	(20)
37. 前后表面粗糙的结果.....	(20)
38. 在钢上的钎焊硬度合金刀头的评定.....	(21)
39. 从疏松材料所接收的显示.....	(21)
40. 不规则另件.....	(21)
41. 各种记录图表.....	(22)
42. 钎焊蜂窝面板的超声波记录.....	(22)
43. 试件中可控制选通脉冲区域.....	(23)
44. 极限选通脉冲电路图.....	(24)
45. 极限选通脉冲波形式.....	(24)
46. 超声波延迟线路.....	(25)
47. 耦合剂(接触检测法).....	(26)
48. 耦合剂(液浸检测法).....	(26)
49. 振幅距离比较试块.....	(27)
50. 阶梯试块.....	(28)
51. 面积振幅比较试块.....	(28)
52. 国际焊接协会焊接试块.....	(28)
53. 美国机械工程师协会焊接参考试块.....	(29)
54. 接触角波束进入一起落架液压支柱的埋藏焊接区域.....	(30)
55. 一机翼前梁的超声波检验.....	(30)
56. 一发动机吊挂结构件的超声波检验.....	(31)
57. 超声波检测(接触法)原理.....	(31)
58. 超声波检测(液浸法)原理.....	(32)
59. 起泡器角波束检测(管材).....	(32)
60. 滚轮扫描方法.....	(32)
61. 液浸角波束技术(导管和管材).....	(33)
62. 液浸角波束技术(厚板或薄板).....	(33)
63. 液浸穿透传播技术.....	(33)
64. 从检验区域去除界面初次重复显示.....	(33)
65. 聚焦探头.....	(34)
66. 波束准直器.....	(34)
67. 起泡器扫描方法.....	(35)
68. 起泡器角波束技术(厚板).....	(35)
69. 在一固定位置的滚轮探头.....	(35)
70. 在材料上的滚轮探头.....	(35)
71. 图解一超声波图象转换器系统.....	(36)
72. 主前起落架轮.....	(38)
73. 主起落架扭力连杆.....	(39)

74. 主起落架扭力连杆凸耳.....	(39)
75. 主起落架液压外作动筒.....	(40)
76. 主起落架耳轴支架构件.....	(40)
77. 前起落架外作动筒.....	(40)
78. 内外侧发动机短舱支柱前梁接头.....	(41)
79. 前起落架外作动筒.....	(41)

第一章 绪 言

1. **概述** 飞机的超声波检验,无论在安全和经济方面都起着重要作用。为了完成规定的超声波检验,在飞机上通常只需要有少量易接近的开口。例如,就飞机发动机来说,检验可在发动机安装于飞机的“飞行状态”进行。对于飞机骨架,超声波检验只需要做最少量的分解和拆除有干扰的设备。在“停机坪”或“在航线上”飞机能在与全部分解完全不同的情况下进行超声波检验。它是一种非常灵敏的无损检验方法,其局限性很少,而当能与待检另件建立直接耦合(或接触)时,其分辨能力是极好的。但是,要求由经培训的工作人员来判断。

2. **超声波的用途** 超声波用电子仪器产生高效频率声波,以每秒钟数千英尺的速度穿透金属、液体、复合材料和其它材料。这种技术可用于:

- a. 探查在安装另件中的折叠、发纹、分层、夹杂物、裂纹、腐蚀以及其它缺陷。
- b. 判明在棒材中疏松、深挤压和非金属夹杂物。
- c. 判明在焊接件中裂纹、气孔、未焊透、未溶透,以及其它不连续性缺陷。
- d. 评判在钎焊接头和蜂窝结构复合材料部件的粘合质量。
- e. 检验锻件,诸如涡轮发动机轴、发动机涡轮盘和起落架结构组件。

3. **超声波检测的应用限制** 限制超声波检测应用范围的诸因素是:

- a. 灵敏度 仪器对检查从不连续性缺陷所反射少数能量的能力。
- b. 分辨力 仪器对检查靠近检测表面的缺陷或对试件中所产生几个紧靠缺陷显示的区分和辨别的能力。
- c. 噪音鉴别 测试仪器对在缺陷信号和其电气或声学方面所不需要噪音信号之间的辨别本领。
- d. 这些因素是受其它因素诸如频率和脉冲能量影响的。例如当频率增加时,灵敏度也增加。随着灵敏度增加,在材料里面较小的不均匀性会变为可检出。这会增加噪音程度,从而妨碍信号的辨别。随着脉冲能量增加,材料噪声会增加而分辨力会降低。

4. **超声波检验用于腐蚀检查** 虽然超声波检验在航空工业使用已好多年了,只是到最近超声波才被使用作一种腐蚀探测方法。目前,这种腐蚀检查方法还在初期阶段而肯定不是绝对可靠的;但是它已表明,在一定限度内,超声波对遭受腐蚀能提供一相当可靠的显示。如果要从显示装置中获得有用的信息,则必须由受过严格训练的人员来观察。它的复杂是由于所得结果随所用仪器的制造和型号以及每个进行检查人员所用的技术而变化的。

5~9 暂缺

第二章 换能器(探头,测头,晶片)

10. **概述** 要弄清楚为什么用听不见的声音来显示在正常听觉范围内看不出的某些情况,有必要首先知道超声波是怎样传播和接收的。

11. **换能器用材料** 有三种换能器材料能被用来制造超声波探头。它们是天然石英晶体,硫酸锂和极化结晶状陶瓷。

a. 石英 主要优点是:电气和热稳定性,在多数液体里不可溶性,高机械强度,耐腐蚀性,极好的均匀性和耐老化性。石英的一个局限性是它的电机械转换效率比较低。

b. 硫酸锂 主要优点是:易于为获得最好分辨率所需最适宜的声衰减,中等转换效率,以及很小的波型相互间的干扰。

c. 极化陶瓷 主要优点是:高转换效率产生高探头灵敏度。由于较低机械强度和相对较高电容量,它们通常限于用在频率低于15兆赫(MHE)。另一局限性是在不同的振动波型之间有些相互干扰。

为了利用晶片的压电特性,将它放在电路里,这种情况很象一个电容器。即将其两面涂以一种导电材料而使其两面之间不接触。(见图1)晶片的涂层可以是任何导电材料诸如铝、银、金或铬。然而,涂层在硫酸锂晶片上沉积是困难的,因此通常是将薄金属箔粘接于晶片。

12. **压电效应** 超声波检测可以利用压电效应产生超声波振动。晶片当经受交变的电荷时,在这些电荷影响下膨胀和收缩。相反地,发现这些材料当受到交替压力和张力时,在它们的两面产生交变电荷。(见图2)这就被称为压电效应。

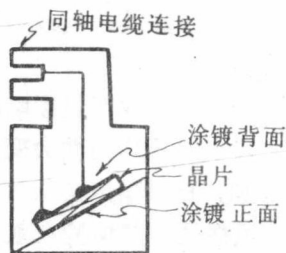


图1一角波束探头

一个超声波检测系统的核心是将电能变成机械振动,并将机械振动转换成电能。

对X切割晶片施加交变电压

通常利用在一精确时间内产生所需频率的一个无线电频率波列,并通过压电换能器将其转换成振动从而产生超声脉冲。有些超声波仪器不采用无线电频率波列,代之以用冲击脉冲而让探头来选择工作频率。

13. **换能器类型探头** 探头是由机械保护外壳,一种供便于握住或安放探头使用的装置,换能器元件,电气连接以及一种抑制由晶片传播反向能量背衬材料组成。(见图3)

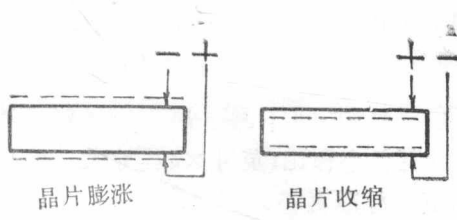


图2—超声波振动的产生

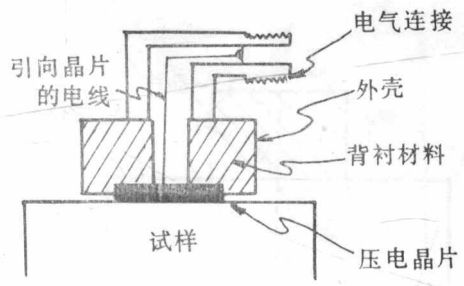


图3—超声波探头的图解

换能器现有的各种类型包括：

- a. X方向切割晶片以产生纵波。（见图4）
- b. Y方向切割晶片以产生横波。（见图4）
- c. 同底座的双晶片。
- d. 三块或更多晶片的镶嵌件。
- e. 50兆赫或更高的高频。
- f. 代用晶片材料。
- g. 夹层结构和串联排列组合。
- h. 弧形晶片以便与试件配合。

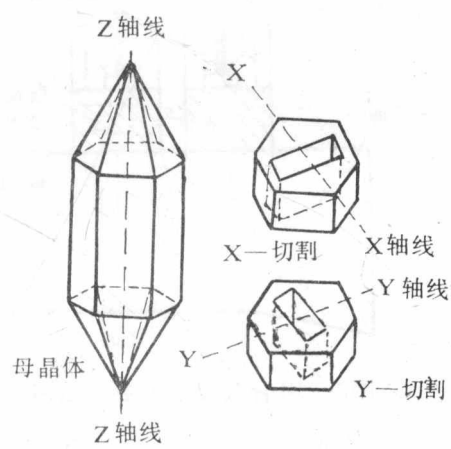


图4—天然石英晶片（X和Y切割）

- i. 旋转探头。
- j. 聚焦探头。
- k. 温度探头（在温度至 1.100°F 下测厚）

有效的换能器比1/8英寸直径小和比1英寸 $\times$ 4英寸大，然而，对大多数超声波检测，采用1/4英寸、1/2英寸和1.0英寸标准直径。

14 换能器分类 发射—接收类探头，通常有三种：

- a. 通用发射器—接收器（T—R） 这类探头使用单一晶片而有共同连接器连至发射和接收放大器上。（见图5）

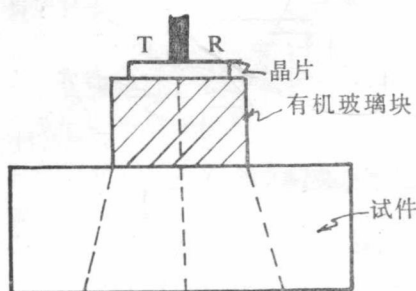


图5—通用发射—接收探头

因为探头既作发射器又作接收器，它以1到4微秒发射一个脉冲；随后以数千微秒的周期作为一接收器。这种发射和接收的循环以每秒50到5000次的速率下重复，如果要求高速自动扫描则速率更高。

- b. 组合发射器—接收器（T-R）这类探头有二个换能器镶嵌在一单头上，并使彼此声隔绝。一个换能器和脉冲发生器连接，而另一个换能器和接收器连接。组合发射—接收（T-R）探头用于检测靠近入射表面和当背面是粗糙或受腐蚀时测量厚度从0.40英寸到2.0英寸。发射探头射出一振动波束进入材料；振动波行经材料并从遇到的任何不连续性缺陷或从如平行于入射面的背面边界反射回到接收探头上来。（见图6）

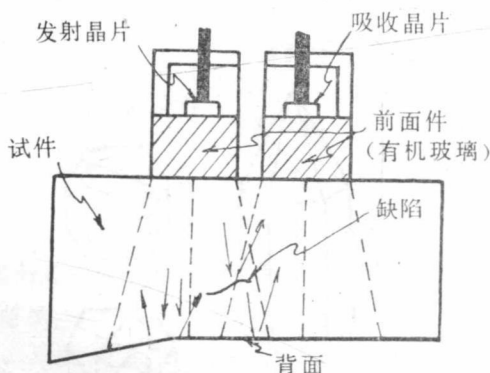


图6—组合式发射—接收探头

- c. 分离的发射—接收器（T-R），或投掷—捕捉探头 在这类探头中用两个头分别地

电连接于发射器和接收器。一个头用作发射元件，另一个头被用作接收元件。（见图7）

粗晶材料往往引起超声波速散射；此类材料可用分离的 T-R 探头，分别装在一适当的实心塑料楔块上加以有效的检验。当采用单独的楔块时，入射角可根据被检验截面厚度而变化。

15~26 暂缺

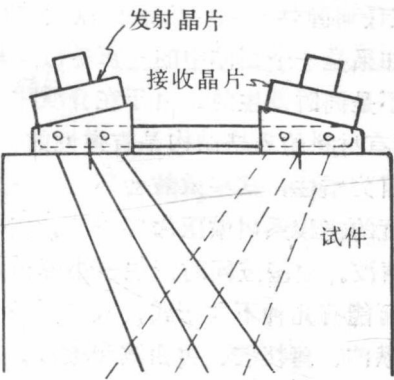


图7—分离式发射—接收探头

第三章 波的传播

21. **超声波** 超声波能在任何弹性材料中以某种程度进行传播。产生这种传播就好像材料中连续单元的一种位移。如果是一个固体中的一部份以某种方式分布或位移，固体中的其他部份的分子会受影响，但不是同时发生的。由于在介质中分子连续位移，扰动从它的原点不断传播。（见图8）由于所有材料的晶格结构是有弹性的，存在一种恢复力会使每个分子有返回至原始位置的倾向。因为惯性，这些微粒会环绕其原来扰动位置处摆动直到静止。这种分子到分子传播导致一干扰的连续系叫做压缩膨胀波。如果运动频率在每秒20,000以上（CPS），此波称为一超声压缩波。这些波同时产生一小部份，它们不同其他波一起向前或向后的称为波列或脉冲。脉冲可能有几种不同形式，取决于各个波振幅和波的产生和衰减的方法。用得最多的振动型式是纵波、剪切波、表面波和板波。

22. **纵波** 当粒子运动平行于波运动方向时，此波被认为是纵向的（压缩的）。（见图9）

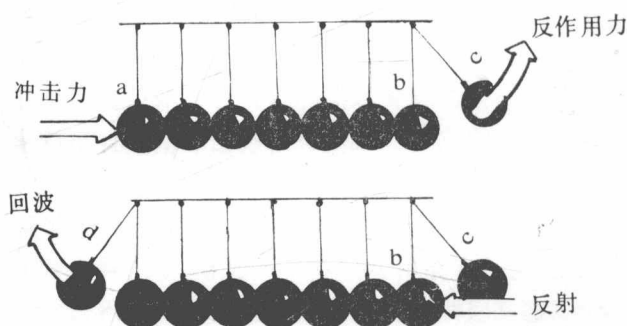


图8 波传播的机械类推

纵波波型传播可能是超声波检测中最广泛应用，而且也是最容易看到传播的方法。这种波易于产生、检出，并在大多数介质中有高传播速度。

纵波用于检查和定出缺陷位置，而此缺陷是存在于距离要进行检测表面的一较大前区处。

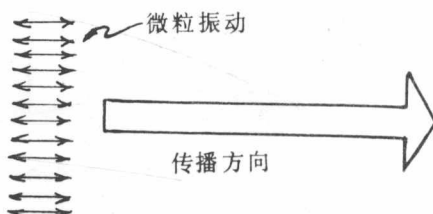


图9 纵波

23. 剪切波 当微粒运动是垂直于波的运动方向时,这种波被认为是剪切波(横波)。(见图10) 此类波较纵波的速度低(在钢和其他金属中,约为其一半)。由于它们具有较低的速度,剪切波波长较相同频率的纵波波长为短。这种较短的波长使剪切波对小夹杂物有较高的灵敏度,因此他们在试件里更容易散播。

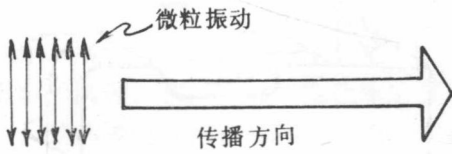


图10 剪切波

这类波的主要优点是适用于要求使超声波束与表面成一小角度射入的试件。(见图11)

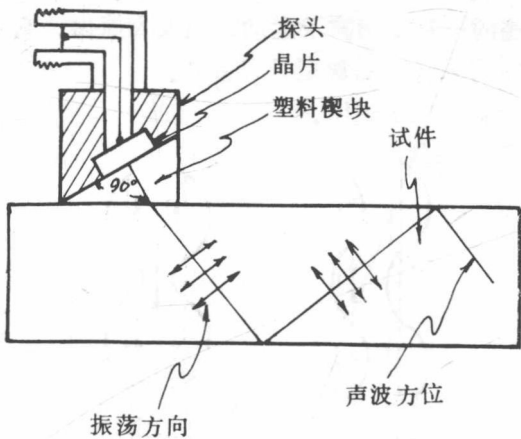


图11 A波以一小角度传播

24. 表面(瑞利)波 表面波以较小的衰减在传播方向行进,但是当波穿透到表面以下时,其能量迅速地减小。波的运动其微粒位移沿着椭圆形轨迹,它是由纵波和剪切波两种运动组成。(见图12)

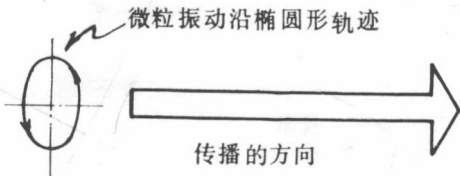


图12 表面波

表面波速度随材料而异,而约为剪切波速度的十分之九。表面波在其传播中似乎受硬度变化、镀层、喷丸强化或表面缺陷所影响,并很容易受试件表面灰尘或润滑脂而减速。表面波经常存在能产生不希望有的效应而产生,尤其是当接触表面粗糙时。