

飞机制造技术丛书

飞机  
装配技术

姚任远 蔡青 等编著

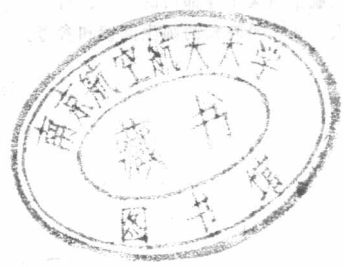


V262.4  
1006-4

飞机制造技术丛书

# 飞机装配技术

姚任远 蔡青 等编著



一九九三年十二月八日



\*30723692\*

国防工业出版社

723692

(京) 新登字106号

## 内 容 简 介

《飞机制造技术丛书》是由中国航空学会组织编写的。《飞机装配技术》是《丛书》中的一个分册。本分册共分五章：第一章为飞机装配技术综述；第二章为飞机装配中的机械连接技术；第三章为密封结构及试验；第四章为飞机部件装配；第五章为飞机总装配。

本书可供航空航天工业部门的生产、科研、使用、教学、管理的工程技术人员和高等院校的师生阅读和参考。

《飞机制造技术丛书》

飞机装配技术

姚任远 蔡青 等编著

责任编辑 余发棣

\*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京大兴兴达印刷厂印装

\*

850×1168毫米 32开本 印张5<sup>1</sup>/<sub>4</sub> 134千字

1993年3月第一版 1993年3月第一次印刷 印数：00001—1000册

ISBN 7-118-01000-6/V·83 定价：5.00元

# 中国航空学会

## 《飞机制造技术丛书》编委员

**主 编：**罗时大

**副主编：**马业广

**编 委：**董 孝 程宝藻 杨彭基 唐荣锡 戴世然  
董德馨 陆颂善 郭兴中 屠德彰 孙肇卿

武厚忠 黄道宏

**责任编辑：**余发棣

**秘 书 组：**梁国志 张士霖 杨奇光

## 前 言

《飞机制造技术丛书》是由中国航空学会组织编写的。编委会的成员都是飞机制造专业的学者和专家，他们毕生致力于飞机生产、科研、教学、管理工作，有丰富的生产实践经验。在此基础上，组织、指导、编写了这套《丛书》。

《丛书》的编写目的是：既要总结我国 30 多年来飞机制造的经验，又要有选择地吸取国外先进的飞机制造技术，为积累资料、总结经验、培育人才、发展新技术打下基础，探索出一套具有中国特色的飞机制造技术的基本经验。可以说，这是一项重要的基础工程建设，具有重大的现实意义。《丛书》共有 15 个分册，本分册是《丛书》中的一个分册。

飞机生产过程和一般机器制造业的生产过程相类似，可以分为如下三个阶段：毛坯制造、零件加工和装配工艺阶段。装配工艺过程是先把零件安放到装配位置上定位并固定，再把零件按一定的方法和顺序，逐步地连接成为组合件、段件和部件，再将部件对接并安装各系统成为整架飞机，最后调整和试验。

飞机的零件数量多，结构和连接型式复杂，质量要求高，因而飞机装配的劳动量和周期是比较大的。飞机装配工作的劳动量约占整个飞机制造劳动量的（45~60）%，周期很长。因此飞机装配工作占有相当重要的地位。

现阶段，飞机零件大部分是由板材和型材制成。今后的飞机，整体结构件（包括整体壁板）的比例会逐渐增加。这些零件不仅形状复杂，而且尺寸大，刚度小，连接过程又会有变形。因此，装配过程对于组合件和部件的最后形状和尺寸准确度有很大影响。如何采取正确的工艺过程，设计和制造良好的装配工艺装备和工具，对于保证质量有重要作用。为了保证飞机装配的质量和<sup>提高劳动生产率</sup>，在飞机制造中，零件定位、连接时，往往采用各种形式的装配型架（又称夹具），这是很重要的。为了使这些

生产工艺装备之间协调，需要大量准标工艺装备，设计和制造这些工艺装备是生产准备工作的重要内容，需要很长的周期。这里，零件与零件之间的协调，零件与工艺装备之间的协调，工艺装备之间的协调是属于飞机制造协调技术。另外，飞机上安装的液压、冷气、电缆等系统品种繁多，牵涉面广，安装的工作面狭小，先后次序和质量要求严格，因此，必需按照系统工程的观点来安排和组织各系统的安装、调整和试验工作。

新材料、新结构、新工艺的不断出现，如纤维复合材料结构的产生，要求工程技术人员提供合适的工艺和装配方法，以满足飞机设计性能的要求。在胶接、点焊、胶焊、胶铆和复合材料制造技术中，也都含有装配技术。

目前，装配工作的机械化、自动化程度还相当低，如何提高劳动生产率，改善工人的劳动条件，已是我国飞机制造工程技术人员当前的重要任务之一。一般机械工业的机械化、自动化技术已有新进展，而飞机装配工作有它的特殊性（如品种多，结构复杂等等），还需进一步研究。电子计算机和数控技术的出现，计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）技术提供了这方面技术改造和发展的可能性。CAD/CAM 技术成功地解决了飞机制造中的一个难题，即形状和尺寸由模拟量传递转化为数值量传递的问题。它使设计和制造综合在统一的信息流中，从而改变了飞机制造中外形和尺寸的传递方法。

CAD/CAM 技术逐步采用，传统的生产路线和方法将改变，促使新的生产流程逐步形成。在新旧两种方法共存的过渡期中，大量技术及组织问题交织在一起，要逐个理顺加以解决。另外，CAD/CAM 技术需要较大投资，因此，发展步伐要适应生产规模的需要而逐步建立。

任何新技术都不是万能的，因而正确处理 CAD/CAM 技术与发展其他新工艺的关系是一个重要问题。CAD/CAM 的发展，必然要改变飞机设计及其工艺方法。例如，超音速飞机和数控技术的发展，要求设计人员尽量采用整体件代替铆接件；计算机应

用技术和成组技术的发展，使装配工艺过程可用计算机辅助设计(ACAPP)，它们可按照构造——工艺特征和工艺系统特征建立关系；数控加工用的板材预拉伸消除内应力的问题；复合材料铺设与采用数控技术的问题以及如何利用原有旧设备的问题等等。

本书由成都飞机公司姚任远高级工程师、西北工业大学蔡青教授担任主编。本书的前言、第一章由蔡青编写；第二章由刘年刚编写；第三章由孟昭才编写；第四、五章由姚任远编写。在编写过程中，戴世然总工程师、罗时大总工程师、程宝蕖教授、杨彭基教授都提出很多宝贵的意见，并进行了指导和帮助；崔连信、王立则、陈晓、陈宣德同志提供了很多资料；熊进义、毛东昇负责全书的制图工作；王云渤教授负责本书的主审工作，提出了很多宝贵的意见。对以上各位同志的辛勤劳动，特此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，难免有错误之处，请读者批评指正。

编 者

## 目 录

第一章 飞机装配技术综述	1
一、飞机装配技术	1
二、飞机装配技术及其发展概况	6
三、装配过程设计的一般原则	14
四、装配件的划分原则	19
五、飞机装配工艺过程的设计	24
六、系统工程在飞机装配中的应用	30
七、飞机装配技术的发展趋势及展望	39
第二章 飞机装配的机械连接技术	55
一、概述	55
二、机械连接与飞机的疲劳寿命	57
三、铆接	60
四、螺栓连接	65
五、单面连接	71
六、复合材料的机械连接	78
七、机械连接的自动化	87
第三章 密封结构装配及试验	92
一、密封形式和密封材料	92
二、整体油箱密封连接	100
三、飞机其他部位的密封连接	103
四、密封性检测及整体油箱清洗	105
第四章 飞机部件装配	110
一、飞机结构的分解	110
二、飞机部件装配方案及装配图表	118
三、装配方法和装配基准	121
四、装配准确度	128
第五章 飞机总装配	135



# VI

一、飞机总装配工作内容及其特点.....	135
二、飞机总装配工作的组织及计划评审技术的应用.....	137
三、飞机部件对接.....	143
四、导管的制造、安装与试验.....	145
五、飞机电缆的制造和检测.....	149
六、飞机系统的安装、调整和测试.....	157

# 第一章 飞机装配技术综述

## 一、飞机装配技术

社会的需要是一切科学技术发展的动力。飞机的发明、发展和应用也是如此。社会的需要对科学技术提出了新的要求，形成了研究和改进科学技术的迫切愿望，从而为科学技术的发展提出了新课题，开辟了新领域。以后，人们为了满足使用的要求，进入了争取提高飞行速度的阶段。飞行速度的提高依赖于飞机的外形和飞机的动力装置。由于飞机速度的提高，要求飞机结构形式的改善，同时，材料和工艺的创新，也促使结构形式产生了变化，从而提高了飞机的飞行性能。

对飞机性能起关键性作用的机翼结构的演变也可以看出工艺技术的变化。早期的机翼是由二根木质梁通过机翼的全部展长，表面为涂布油收缩拉紧的蒙布，发展为金属桁条（或梁）与蒙皮连接的半硬壳式结构。高速飞行要求不同的机翼形状和更薄的机翼剖面，从而提出了新的设计概念（如变后掠机翼），导致新结构形式的产生。机翼结构形状的发展过程大体上是普通梯形直机翼、后掠机翼、三角形机翼、变后掠机翼等阶段。另外，为了装载更多的燃油，机翼采用密封整体油箱结构。

不同的结构形式，有不同的连接方法，对应着不同的装配技术。现在我们针对具体结构进行简述：

### 1. 构架蒙布式结构的装配技术

这类结构形式是机翼、机身由杆件构成的桁架或由支柱与翼梁构成的构架成为受力结构。双翼和单翼支柱式（或张线式）受力结构是由翼梁（桁架凸缘）支柱及张线（或斜杆）所组成的立体桁架，机翼的气动载荷以集中力的形式传递到节点上。

一般桁架是由钢管或铝管组成，可以采用焊接或铆接工艺方法使杆件连接起来。这种构架蒙布式结构的装配技术关键在于工

艺变形。

## 2. 全金属薄蒙皮式结构装配技术

无论是翼面类或机身类的段部件，都是由纵向构件和横向构件及薄蒙皮组成。蒙皮承受较小载荷，只起减少空气阻力，保持外形的光滑作用（图 1-1 所示为机身结构的形状）。

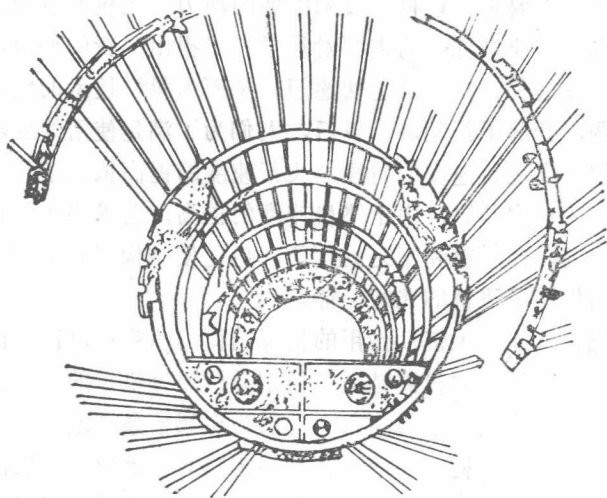


图1-1 某轰炸机机身的桁条与隔框

其装配过程是：首先在飞机装配夹具中，由骨架零件装配成骨架结构，然后再在骨架上铆上蒙皮。这里采用的方法就是所谓以骨架为基准的装配方法。

在这种结构型式的装配中，装配技术的特点是：

- (1) 装配顺序应保证所有零件能按设计要求装配成段、部件；
- (2) 为保证飞机飞行性能和互换要求，对部件接头的相对位置准确度应提出要求，即在装配过程中，保证接头之间的尺寸准确度和接头与外形之间的相对准确度是特别重要的；
- (3) 在薄蒙皮的结构中，经常发生的技术问题是蒙皮鼓动问题。所谓蒙皮鼓动就是蒙皮表面受力后，就产生变形，力消除

后，蒙皮恢复原状，并伴有响声。蒙皮鼓动是蒙皮受力失稳的现象，虽然从受力角度分析，薄蒙皮只需要承受很少的力，但飞行过程中，蒙皮鼓动产生的响声给飞行员造成较大的心理压力，这是飞机飞行所不允许的。

(4) 铆接变形问题。这个问题在所有的铆接构件中都是存在的，只是变形量的大小不同。产生这种变形的原因是由于铆接时，铆钉杆膨胀不均匀（见图 1-2），造成铆接构件上下面的内应力不均匀，形成铆接构件的变形。

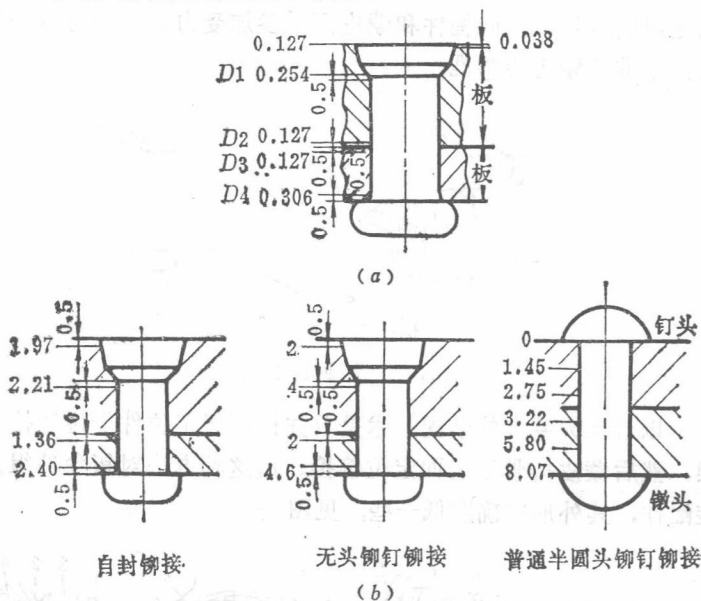


图 1-2 铆钉的膨胀

(a) 无头铆钉铆接后各部位的膨胀量；(b) 自封铆接、无头铆钉铆接、普通半圆头铆钉铆接。

解决铆接变形的的方法有：

- ① 采用夹具内铆接，使铆接件成为具有一定刚度的构件，夹具有限制变形的作用；
- ② 采用设计或工艺补偿，来补偿装配过程中的变形（包括铆接变形）；

③ 采用预变形的办法，使铆接装配件卸下型架后，形状满足设计要求；

④ 尽量采用压铆，减少铆接变形。并在制定工艺分离面时，划分成板件，便于采用压铆机压铆方法。

### 3. 半硬壳式和硬壳式结构装配技术

这类结构型式的机翼、机身是由纵、横向构件组成（如图1-3所示）或由横向构件和厚蒙皮所组成。一般零件都用硬铝材料，某些承受集中载荷的零件是用合金钢或钛合金材料。结构特点是纵向构件、横向构件和蒙皮同时参加受力。一般可以采用骨架为基准或蒙皮为基准。

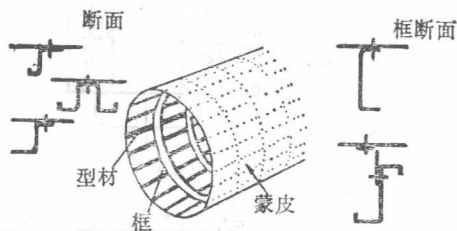


图1-3 半硬壳式结构

以骨架为基准的装配技术是首先按型架定位件定位铆接成骨架，然后蒙皮按骨架表面定位铆接。用这种方法对钣金件组成的装配件，其外形准确度低一些。见图1-4。

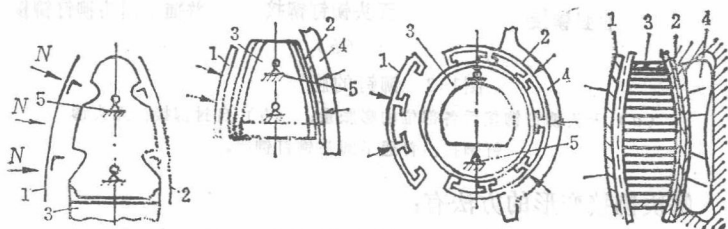


图1-4 以骨架为基准

- 1—安装到骨架上以前的蒙皮（板件）；
- 2—安装到骨架上的蒙皮（板件）；
- 3—骨架；
- 4—将蒙皮压到骨架上的装配夹具元件；
- 5—骨架在装配夹具中定位点。

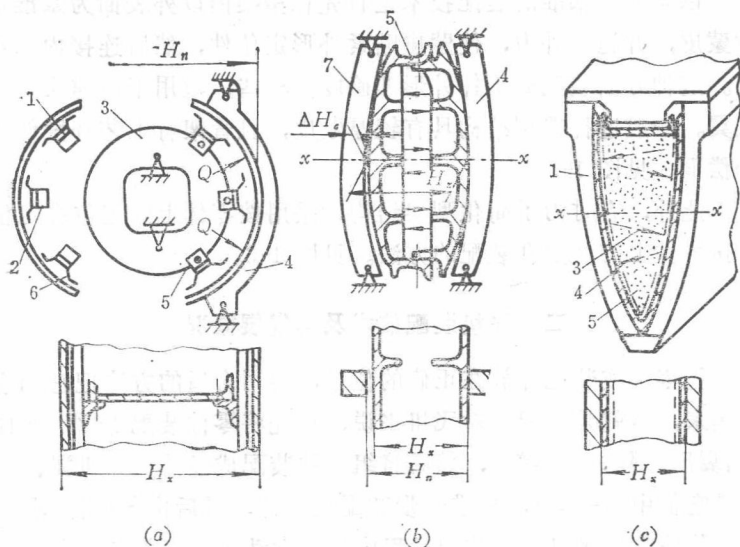


图1-5 以蒙皮外表面为基准

(a) 薄壁结构；(b) 整体壁板结构；(c) 用自发泡塑料填充的夹层结构。

1—板件（蒙皮）；2—补偿件；3—骨架；4—型架卡板（挡板）；5—连接元件（铆钉、螺栓、胶）；6—桁条。

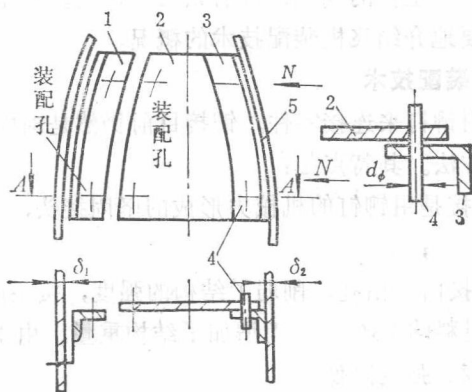


图1-6 按装配孔装配

1、3—型材；2—腹板；4—定位销；5—蒙皮。

以蒙皮为基准的装配技术是首先在型架内以外表面为基准定位蒙皮，并施加外力，使蒙皮贴紧外形定位件，然后连接内部骨架。这种方法装配的工件外形准确度高一些，应用于高速飞机的机翼。一般这种类型结构具有较厚蒙皮，且骨架有工艺补偿件或补偿面。见图 1-5。

此外，有时为了简化型架结构，采用按零件上的定位孔定位或按零件上的装配孔装配的方法。见图 1-6。

## 二、飞机装配技术及其发展概况

把零件或装配件放在正确的位置，再用合适的方法把它们连接起来，这就是装配。对飞机来说，首先将零件装配成组合件（如翼肋、隔框、梁等），然后将组合件装配成段件（如机翼、机身或它们中的一段），再进一步装配成部件，最后由各部件对接和总装成整架飞机。在装配过程中，把发动机、起落架、设备、仪表以及各种操纵、液压、冷气、燃料、电气等系统按图纸或模型准确地安装在装好的飞机壳体上，称为安装。装配和安装完毕的飞机还要经过严格的检查、试验、试飞。

飞机的装配和安装工作在飞机制造中占有重要的地位，而装配工作又是这些工作的基础，占有很大的比重。这里我们从连接方法入手扼要地介绍飞机装配技术的概况。

### 1. 铆接装配技术

铆接是用铆钉来连接零件。铆接目前仍然是国内外飞机结构的主要连接方法。其特点是：

（1）铆接是用铆钉的机械力形成的坚固接头，它是一种不可拆的连接方法；

（2）铆接由于钻孔，削弱了结构的强度，接头的强度系数仅达到基体材料的 75%，从而增加了结构重量。由于钉孔处的应力集中，疲劳强度降低；

（3）铆接方法简单，生产上容易掌握，能适应比较复杂的结构，检验方便、可靠，便于维修更换，且连接强度也比较稳定；

(4) 铆接主要靠笨重的手工操作, 生产率低, 手工铆接还容易变形、产生噪音和震动等缺点;

(5) 在铆接时, 为了保证铆接质量, 一般铆接件的总厚度  $t \leq (6 \sim 8) d$  (铆钉直径)。

在飞机上普通铆接占的比例较大, 为了改善劳动条件、降低劳动强度, 提高铆接质量和劳动生产率, 人们正在不断提高铆接的机械化、自动化程度, 已有压铆机、自动钻铆机、自动钻铆机等设备。对于密封结构, 钻孔后又要堵严, 不仅操作复杂, 也不容易密封住, 为此, 人们采用各种密封铆钉或自密封铆钉。为了提高铆接的疲劳寿命, 改善铆钉的自密封性能, 现在采用无头铆钉干涉配合铆接方法。对结构比较封闭的部位, 为了能进行铆接, 并使质量稳定、操作简便, 采用各种单面铆接方法, 单面铆钉有各种抽芯铆钉、环槽铆钉 (又称虎克 HUCK 钉、高抗剪铆钉等)。由于飞机上钛合金零件和连接件的增加, 钛合金的硬度高, 塑性差, 铆钉时, 易产生裂纹, 难于成形镦头, 且钉杆膨胀量小, 不易填满铆钉孔, 为此, 正在研究热铆、电磁铆接和应力波铆接等方法。以上诸内容, 我们将在今后的章节中详细论述。

## 2. 胶接装配技术

胶接是用胶粘剂来连接零件。它是现代飞机结构中常用的一种连接方法。目前国内外采用金属胶接 (包括金属蜂窝结构) 的机种已有 100 种以上。例如“三叉戟”的中机身、机翼、尾翼板件都是胶接的; B-58 战略轰炸机胶接板件占全机表面积的 98%, 其中胶接蜂窝夹层结构占 90%; F-14 战斗机胶接结构面积占 40%。图 1-7 所示为胶接应用的一些实例。胶接连接技术的特点是:

- (1) 胶接是一种不可拆的连接方法, 它不削弱基体材料;
- (2) 胶接的表面光滑, 没有铆钉头的突起和点焊点的凹陷, 结构变形小, 因而空气动力性能好;
- (3) 胶接所形成的连接缝是连续的, 受力时应力分布比较均匀, 并且可以改善板材的支撑情况, 提高结构的临界应力, 从



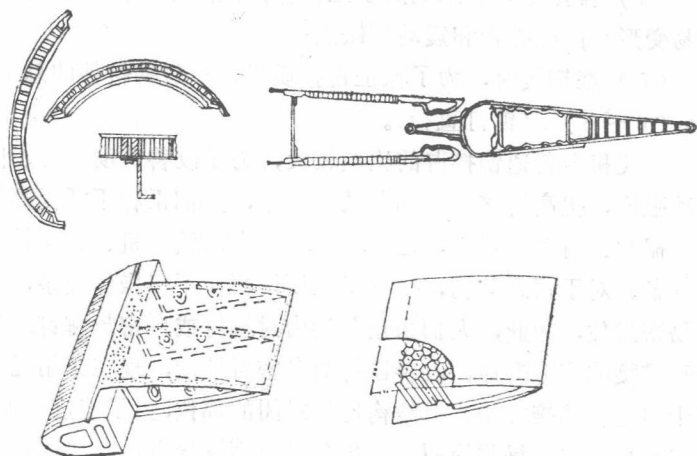


图1-7 胶接应用的一些实例

而提高了结构的疲劳强度。多层胶接还可以提高材料利用率，提高结构的抗破损性能；

(4) 胶接是靠胶粘剂通过物理和化学反应使胶层中间以及胶层和零件之间产生粘结力，形成坚固接头。可以连接薄板以及不同的材料，如非金属与金属；

(5) 胶接的抗剪和抗疲劳强度较铆接和点焊都高，因而使用胶接可以减轻结构重量，例如 F86—D 的减速板由铆接结构改为胶接结构后，重量由 12.5 kg 减少到 8 kg；

(6) 胶接具有良好的密封性，适用于气密舱和整体油箱等要求密封结构。胶层对金属有防腐保护作用，可以绝缘，防止电化学腐蚀。此外，各种胶接夹层结构还有隔热、减震和消音作用；

(7) 胶接接头的不均匀，剥离强度差。胶缝强度易受各种因素的影响，稳定性差，例如胶缝的抗剪强度可以在  $\pm 15\%$  范围内变动。这是因为胶的性质由它的分子量决定的，其分子量在一定范围内变动，再加上工艺因素的影响，使强度的变化范围较大；

(8) 胶接质量的无损检测方法还不完善；