

# 铝合金薄壁壳体研制过程多余物控制分析

樊晓霞 李娜 张玉良 汪浩

(北京卫星制造厂, 北京 100094)



**摘要:** 介绍了铝合金薄壁壳体的结构特点, 针对铝合金薄壁壳体的研制过程, 分析了工艺会签和生产过程控制环节中的多余物控制措施, 并提出了具体的多余物检查与排除方法。

**关键词:** 铝合金薄壁壳体; 多余物; 控制措施; 检查与排除方法

## Remainder's Control Analysis in Development Process of Thin-walled Aluminum Shell

Fan Xiaoxia Li Na Zhang Yuliang Wang Hao

(Beijing Spacecrafts, Beijing 100094)

**Abstract:** The paper introduces the structural characteristics of the thin-walled aluminum shell. Considering the development process of the thin-walled aluminum shell, it analyzes the remainder's control measures in the process countersign tache and the production control tache, and also proposes the specific examination and elimination methods about the remainder.

**Key words:** thin-walled aluminum shell; remainder; control measures; examination and elimination methods

### 1 引言

在影响航天型号产品质量的众多因素中, 多余物是主要因素之一。多余物的存在对航天型号产品研制和试验的危害严重, 可导致产品丧失其规定的功能, 甚至造成型号发射任务的失败<sup>[1~3]</sup>。

铝合金薄壁壳体是以载人航天器为代表的各类航天器广泛采用的一类主承力结构, 其组成零部件数量较多、零件形状各异、装配关系复杂, 且工艺研制流程长, 涉及的工序和工种较多, 存在较高的多余物引入风险, 因而在研制过程中对多余物的控制要求更为严格。通过对铝合金薄壁壳体研制各环节多余物产生情况进行分析, 提出了多余物的控制措施。

### 2 多余物产生环节分析

#### 2.1 铝合金薄壁壳体的结构特点

铝合金薄壁壳体由端框、蒙皮、法兰、桁条和隔框等主要零件组成, 分为密封舱结构和非密封舱结构两种。密封舱结构均为焊接结构, 我国的神舟号系列飞船的返回舱和轨道舱、返回式卫星密封舱、月球探测器返回器等均属于该类型 (如图 1 所示)。非密封舱壳体结构为整体铆接或焊接+铆接的结构, 神舟飞船推进舱、卫星与运载火箭连接用的对接段等均属于该类结构 (如图 2 所示)。

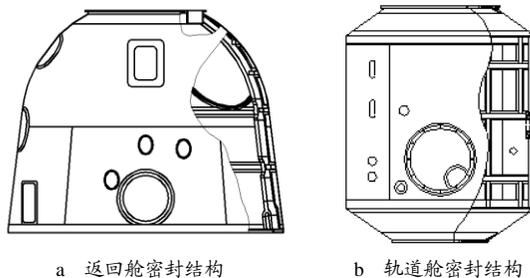


图 1 神舟号飞船密封舱主结构示意图

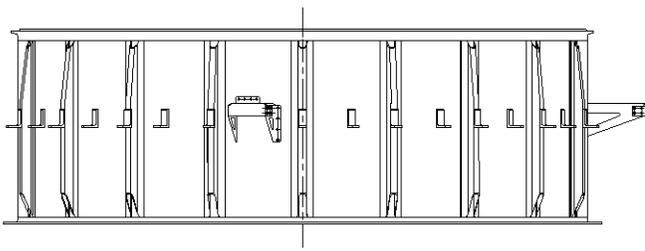


图2 非密封舱体结构

铝合金薄壁壳体组成零部件数量较多，大部分零件均属于半封闭结构，且零件上分布有减重孔、盲孔等特征。图3为几类典型零件示意图（端框、法兰、隔框、桁条及盒型件）。这类零件与蒙皮连接后形成的半封闭结构，是研制过程中产生的多余物残留的主要部位，尤其是在隔框与桁条交汇处（如图4所示），此处为目视检查的死角部位，极易残留多余物且不易被发现。

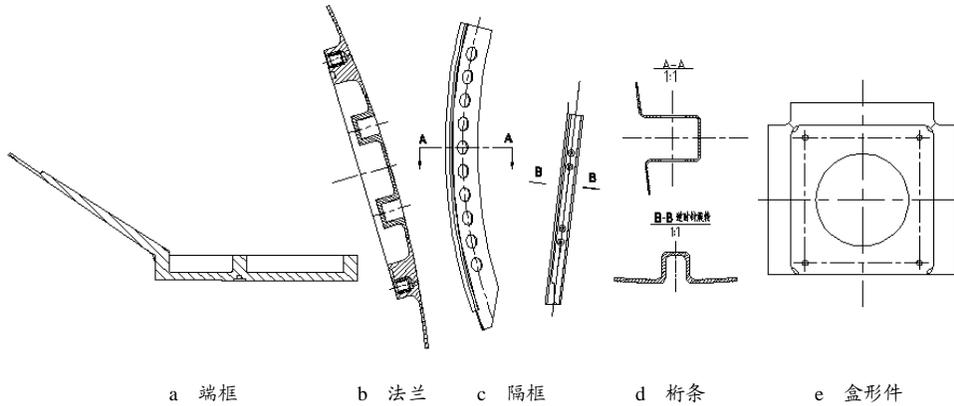


图3 铝合金薄壁壳体典型零件

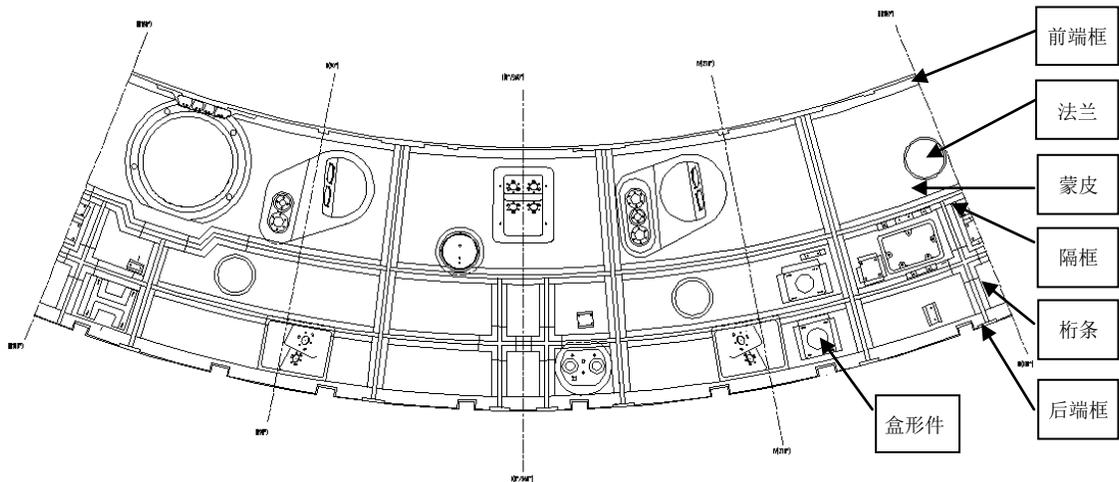


图4 典型的铝合金薄壁壳体内部展开图（圆圈部位为检查死角）

铝合金薄壁壳体的研制过程主要包括零件生产、组件装配、部件部装等环节，技术流程如图5所示。



图5 铝合金薄壁壳体的研制流程

### 2.2 多余物来源途径梳理

通过梳理铝合金薄壁壳体的研制过程，得到如图

6所示的故障树。

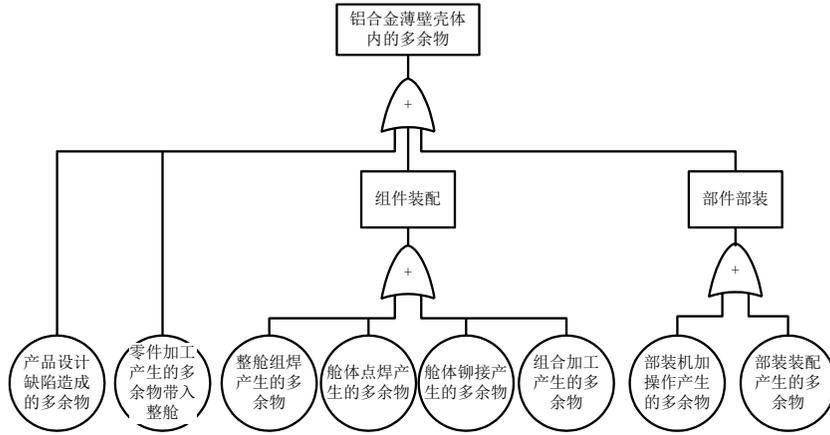


图 6 铝合金薄壁壳体多余物来源途径

从图 6 可以看出，在铝合金薄壁壳体研制过程中可能引入多余物的环节有以下几项：

a. 设计缺陷

由于舱体结构设计的半封闭性，是导致多余物易残留和不易被发现并清除的部分原因。

b. 零件加工

零件在机械加工过程中产生的多余物可能残留于盲孔中，带入组件装配甚至部件部装阶段。

c. 组件装配

铝合金薄壁壳体结构组件装配的主要形式包括整舱组焊（对接焊缝）、舱体点焊、舱体铆接及组合加工等。组焊过程中对焊口部位的机械刮削处理，点焊过程中对点焊部位的局部打磨以及铆接过程中的配打铆钉孔或者扩孔操作，均可能引入金属多余物（如图 7 所示）。

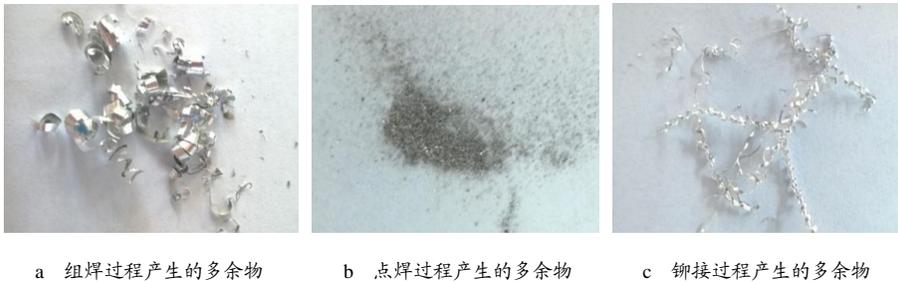


图 7 组件装配过程中产生的多余物

d. 整舱组合加工

为保证铝合金薄壁壳体的高精度要求，在整舱装配后对壳体进行机械加工，加工壳体与外部连接的接口特征以及精度要求较高的支架安装面特征，即组合

加工，包括车削、铣削以及钻孔等工种。在这一环节加工特征极多，产生的切屑如落入壳体内半封闭区域内未被及时发现和清除，即形成多余物，此过程中可能引入的金属多余物如图 8 所示。



图 8 组合加工过程中车削、铣削、钻孔产生的多余物

e. 部件部装

舱段级部件在进行部装装配的过程中, 由于存在误差积累, 必须进行试配和修锉, 因此, 部装装配阶段的机械加工操作将成为引入金属多余物的主要环节。此外, 装配过程中的反复拆卸操作可导致胶体脱落, 形成胶粉末多余物。

通过以上分析, 铝合金薄壁壳体研制过程中各环节均可能产生多余物, 在研制各环节中均会采取防多余物措施, 但如果防护措施部分失效或失效未被察觉, 多余物就会进入壳体内封闭或半封闭区域, 在后续检查环节若未被发现, 则导致多余物进入总装环节, 将对型号产品质量造成影响。

3 多余物控制措施

多余物的控制措施重在做好预防和控制, 因此需

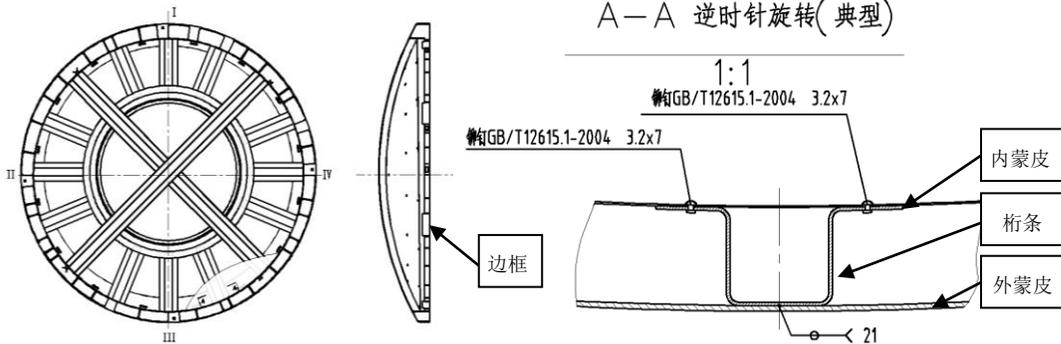


图9 典型铝合金薄壁焊接+铆接舱体

分析多余物产生的各环节, 采取控制措施。

3.1 工艺会签环节

工艺人员应在图纸会签阶段提出尽量减少半封闭空间的零部件结构, 若无法避免, 则建议设计部门在产品结构布局时应便于检查和清除多余物。在工艺性审查时, 应对文件中预防及清除多余物的措施进行全面审查, 对影响产品研制过程中的预防多余物措施以及不利于清除多余物的措施提出修改建议<sup>[4]</sup>。

图9为典型铝合金薄壁壳体中的薄壁焊接+铆接舱体, 由边框、内蒙皮、外蒙皮、隔框与桁条等零件组成。其中边框与外蒙皮通过熔焊连接, 外蒙皮与隔框、桁条通过点焊连接, 内蒙皮与隔框、桁条通过铆钉连接。此结构为典型的设计缺陷, 在铆接过程中会导致内、外蒙皮之间残留的多余物不易被发现和清理。

3.2 工艺设计环节

工艺方案设计时应满足设计文件提出的多余物控制要求。工艺文件中应明确合理的工艺方法, 制定合理的工艺流程, 尽量减少部装阶段的机械加工操作。装配工艺应在工序执行前期明确制定预防和控制多余物的操作方法, 尤其对关键工序和关键部位, 要在工序完成后设置必要的多余物检查点, 并填写检查记录要求, 必要时应采用多媒体对多余物控制情况进行记录<sup>[4]</sup>。

3.3 生产过程控制

a. 零件加工多余物不带入整舱

绝大部分零部件均为开敞结构, 在工艺文件中明确规定入库前对零件表面及孔使用酒精进行擦拭清理, 确保无多余物引入至下一环节。

b. 加工装配过程多余物的及时清理

在铝合金薄壁壳体加工装配过程中, 主要针对组

焊、点焊、铆接以及组合加工环节做好多余物的预防与控制清除工作。尤其在点焊、铆接过程中, 对已点焊或铆接的半封闭零件结构进行防多余物保护, 并及时清除点焊或铆接过程中的多余物, 确保多余物不会残留在铆接件之间或半封闭空间内。在组合加工过程中, 对未加工的开敞部位或半封闭零件结构进行防多余物保护, 并及时清理加工过程中产生的多余物。

c. 部件部装

针对部件部装过程中产生的胶粉末状多余物应进行及时清理, 防止产生的非金属多余物残留于舱内。

3.4 产品防护措施

针对铝合金薄壁壳体的产品研制过程, 分析产生多余物的环节, 在多余物产生环节前做好多余物的防护工作, 并在装配前、后重点检查多余物的防护状态, 必要时进行多媒体记录。

铝合金薄壁壳体多采用粘贴胶带的多余物防护措施，目前常用的粘贴胶带为医用胶带、3M 纸基胶带、聚酰亚胺胶带及特氟隆。对比了几种胶带的防护效果，详见表 1 所示，确定聚酰亚胺胶带为铝合金薄壁壳体的多余物防护胶带。图 10 为对某型号铝合金薄壁壳体进行粘贴聚酰亚胺胶带防多余物保护。

表 1 几种胶带的防护效果对比

胶带种类	防护效果	缺点	价格
医用胶带	一般	在产品表面有残胶	廉价
3M 纸基胶带	一般	容易破损	中等
聚酰亚胺胶带	较好	/	中等
特氟隆	较好	/	昂贵

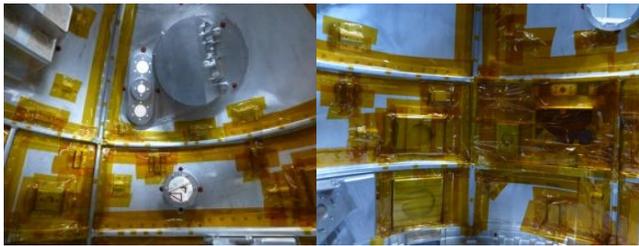


图 10 某型号铝合金薄壁壳体的多余物防护措施

#### 4 多余物的检查与排除

##### 4.1 多余物的检查

工艺文件应明确规定多余物检验工序，规定所有必要的检查点，并对工序交接前后进行多余物检查，明确检查方法。目前常用的多余物检查方法如下：

###### a. 目视

针对一般的开敞结构，可使用 5 倍放大镜进行目视检查。

###### b. 内窥镜

针对半封闭狭窄的空间结构，需使用内窥镜（视频镜）对死角进行检查。图 11 为对某型号铝合金薄壁壳体内半封闭空间使用内窥镜进行多余物检查。



图 11 使用内窥镜（视频镜）进行多余物检查

###### c. X 射线检查

采用 X 光射线的检测方法，通过评价底片中不同黑度的影像形态，可以完成对金属多余物的识别和评价<sup>[5]</sup>。

##### 4.2 多余物的排除

针对铝合金薄壁壳体结构，在研制过程中多余物排除方法依次按照以下内容执行：

a. 振动排除：将铝合金薄壁壳体开敞部位或者形面较为简单的部位置于最下方，使用橡皮榔头在产品上易于残留多余物的部位适当敲击、振动排除多余物；

b. 擦拭：对产品表面及可触及部位，尤其是隔框、桁条等减轻孔内部，使用酒精润湿的无尘布擦拭；

c. 吹除：使用经过净化的气体，对沉积在舱体内部的多余物及上述无法排除的死角部位吹除。针对半封闭结构零件重点吹除，吹除后对无多余物的半封闭空间粘贴胶带保护，再吹除其余部位；

d. 吸除：对铝合金薄壁壳体结构半封闭腔体内的多余物，可采用真空吸尘器或使用细长磁铁吸除；

e. 粘除：对于细长夹缝中的多余物，可采用细长金属丝头部包裹 3M 胶带将多余物粘除<sup>[4, 6]</sup>。

#### 5 结束语

通过梳理铝合金薄壁壳体的多余物的产生途径和原因，并提出了有针对性的多余物控制措施。通过多余物的过程控制及有效的多余物检查与排除方法，使铝合金薄壁壳体在研制过程中产生的多余物得到有效的控制与清除。

#### 参考文献

- 熊涛. 航天器总装多余物控制方法探讨. 航天器环境工程, 2006, 23(5): 277~281
- 钟亮, 冯琪, 王静涛, 等. 卫星推进系统检漏多余物控制分析. 航天器环境工程, 2012, 29(1): 114~118
- 李大南. 航天型号产品多余物及其预防和控制标准的实施检查. 航天标准化, 2006(1): 17~20
- 王辉, 李护林, 崔超. 发动机总装多余物控制方法. 航天制造技术, 2003(5): 39~42
- 袁牧, 罗刚, 屈美莹. 多余物的过程控制. 质量与可靠性, 2013(5): 37~52
- 钟亮, 冯琪, 王静涛, 等. 运载火箭多余物控制实践. 质量与可靠性, 2008 (增刊): 142~144