

# 太阳翼基板单元制造模式实践研究

周平来 刘胤 尉世厚 黎昱 杨海涛 孙京  
(北京卫星制造厂, 北京 100094)



**摘要:** 为消除生产瓶颈,提升制造能力,通过要素构建的方法建立了专门用于基板生产的制造单元;在此基础上,运用系统建模仿真技术,对基板单元的配置进行优化,实现基板单元的持续改进,为单元制造模式的推广应用提供参考。

**关键词:** 制造模式; 制造单元; 太阳翼基板

## Research on the Practice of Unit Manufacturing Mode for Solar Array Substrates

Zhou Pinglai Liu Yin Wei Shihou Li Yu Yang Haitao Sun Jing  
(Beijing Spacecrafts, Beijing, 100094)

**Abstract:** In order to removing the production bottleneck and promoting manufacturing ability, an appropriate manufacturing unit of solar array substrates was built up by the method of element construction. Along this way, the configuration of the manufacturing unit was optimized by the system modeling and simulation technique, realized the continuing improvement, which provides a reference for the popularization of unit manufacturing mode.

**Key words:** manufacturing mode; manufacturing unit; solar array substrate

### 1 引言

北京卫星制造厂是我国卫星、飞船等航天器主结构的骨干制造厂,“十五”中期以前,平均每年出厂整星不超过1颗,甚至几年出厂1颗,主要工作在于可行性研究、技术探索、工艺攻关、试验测试等,属于单纯的研制型生产,重点是打通技术路线、确定工艺技术状态,解决技术路线是否可行、生产条件是否具备等问题,对生产进度和质量的要求和紧迫性不突出。“十五”中期以后,型号生产任务量急剧增加,几乎以指数规律增长,如图1a,同时研制进度不断缩短,如图1b,需要在满足小子样一次成功要求的同时完成持续增长的生产任务,对企业的生产能力、生产组织形式等提出了严峻的挑战<sup>[1]</sup>。

为了应对不断增长的生产任务,在集团公司有关课题的支持下,结合与上海交大、清华大学等院校的合作,从航天产品的特点分析出发,通过对自动化流水线、丰田生产方式、单元生产方式、波音并行生产方式等国内外典型生产系统的分析和对比,提出“灵活运用单元生产方式改进航天器生产系统,提高其能力、柔性、可靠性和质量”作为改进生产系统的基本方针<sup>[2]</sup>,完成了主要生产单元的逻辑划分,实施了单元化的建设,基本实现了单元制造模式的全面应用。

复合材料结构产品是卫星主结构的重要组成部分,包括承力筒、太阳翼基板、蜂窝夹层结构板等,在生产任务总量中占有很大比重。本文从复材结构件整体生产形势分析出发,以太阳翼基板制造模式转变为对象,具体介绍单元制造模式的实践过程,为单元

作者简介:周平来(1974-),高级工程师,机械工程及自动化专业;研究方向:卫星结构件柔性制造系统、卫星结构件快速响应制造集成技术、数字化制造技术、先进制造模式研究与实践等。

收稿日期:2012-12-04

制造模式在航天制造企业中的应用提供借鉴。

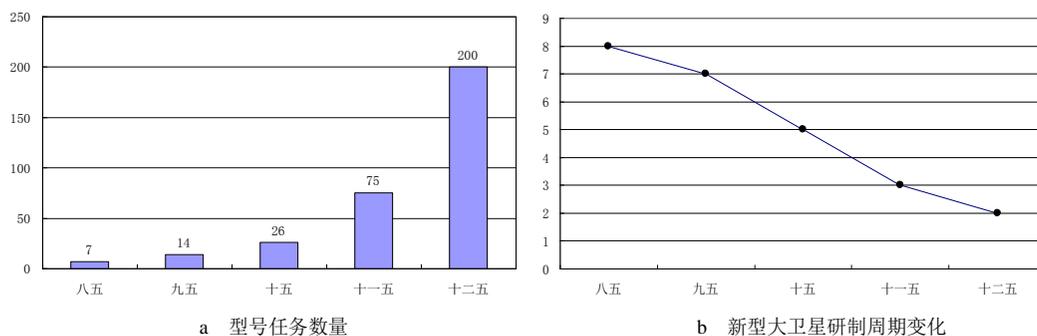


图 1 型号任务数量与研制周期变化情况

## 2 单元制造模式实施对象的确定

### 2.1 传统模式分析

卫星复合材料结构产品主要包括中心承力筒、蜂窝夹层结构板、太阳翼基板 and 太阳翼连接架。复合材料结构成型工艺方法决定了复合材料结构的生产特点，生产过程中手工作业比例大、标准化程度低、产品质量稳定性和可靠性控制难度较大，易出现低层次质量问题，生产效率低，生产成本低。“十五”中期以前，复合材料结构件基本处于探索性的应用研究和产品研制阶段，采用类似“小作坊”的生产形式，一件结构件从生产准备到产品交付都由同一组操作者完成。车间设置 3 个班组，即胶接一组、胶接二组、钳工组，混合进行太阳翼基板、结构板、承力筒、连接架等航天器复合材料结构产品的生产。

这种组织方式对产品种类的变化有很强的适应性，一个工位或者人员能够对多种不同的产品进行操作，在产品种类变化大、而任务量较小的时候能够满足生产的要求，并且综合成本较低。这种方式的突出问题为：

- a. 相同的人员需要对不同产品操作，在产品切换时需要重新进行生产准备；
- b. 工作延续性差，操作的熟练性和技巧性的潜能没有得到充分发挥；
- c. 生产设备和资源比较分散，增加了产品生产过程的流转次数；
- d. 共用设备不易协调，容易出现任务冲突而产生的资源紧张情况；
- e. 调度管理复杂，难以准确识别和定位生产瓶颈，生产能力提升手段的针对性不强。

上述问题的存在，极大地影响了生产效率和产品

质量的稳定性和可靠性，成为任务量增长后的生产瓶颈所在。因此需要从制造模式的分析着手，全面规划复材结构产品的制造模式，促进生产效率的全面提升，消除生产瓶颈。

### 2.2 典型产品介绍及单元对象的确定

针对不断增长的任务趋势，在全面分析和提炼各类复材产品任务需求、工艺特点、作业特性的基础上，根据复材厂房、场地、设备和设施的具体条件，提出复材结构生产系统调整的总思路：以单元化生产为主导，以共性工艺为主，形成对不同产品的柔性生产能力，在条件具备的情况下建立产品单元、满足特定产品的稳定高效生产要求，共同构成即具有较大柔性和快速响应能力，又满足一定生产任务量要求的航天复合材料结构产品生产系统。

根据厂房状况、产品使用的设备特点等，确定产品单元对象的过程如下：承力筒、结构板、太阳翼基板三类产品占复材生产总量的 90% 以上。承力筒是大型产品，需要较大的场地，难以将生产中的所需资源和设备都集中在一起；结构板产品生产中所使用的操作台尺寸较小，出于充分利用场地的原因，放置于较小的房间内。承力筒、结构板生产过程中都要使用热压罐，热压罐的安装需要较高的环境和安保条件，难以分散配置到不同的产品单元内，因此受厂房条件限制，这两类产品在布局上都没有形成物理上的产品单元，然而其运作可按照产品的生产流程来驱动，运行管理的实质体现出产品单元的理念。

基板产品分为大、中、小三种规格，生产过程中使用的操作台比结构板使用的尺寸大，不能放置在小房间中，需要占用一定的场地；使用的烘箱等设备对环境 and 安保等要求没有热压罐那样高，一般厂房就能够满足，因此集中部署基板的主要生产设备和资源所

需的改造成本较低。本着因地制宜的原则，根据基板任务趋势重新划分场地，因为大型基板占基板总数的比例不足 10%，而且制造资源不易集中，因此建立专门针对中、小基板的制造单元，用于满足中、小基板的生产要求。

### 3 太阳翼基板单元制造模式的实施应用

#### 3.1 产品和工艺简介

太阳翼基板属于蜂窝夹层结构产品中的一类，是机械太阳翼的主要组成部分，主要用于支承太阳电池片，保障太阳电池片在主动飞行段和轨道飞行段的飞行安全，并且在电池翼收拢夹紧时，不应与卫星共振频率耦合。基板的产品质量和生产进度对太阳翼的生产、甚至整星研制都有重要的影响。基板的平面度、接口精度、成型质量、基板重量以及贴膜面的绝缘情况将直接影响太阳翼装配状态及在轨使用寿命。基板主要由面板、埋件和蜂窝芯组成。

根据不同的型号产品平台，按照基板的尺寸可分为三种规格：大型、中型和小型。太阳翼基板生产的基本流程分为基板复合前准备、基板复合、基板固化、基板加工、基板后续工作、基板测试 6 个阶段。

#### 3.2 单元要素分析及实施方案设计

##### 3.2.1 单元要素分析

根据单元制造模式的要求，结合太阳翼基板的具体生产特点，将太阳翼基板制造单元的构成要素分为实物要素和规则要素两部分。实物要素包括：产品分类和工艺流程、生产所用的设备和设施、基板的物流形式与存储条件、单元生产所用的文件和数据、生产人员和班组组织情况、单元的生产环境与安全保障情况、单元的信息化条件配备；规则要素包括：生产管理和质量管理。如图 2。

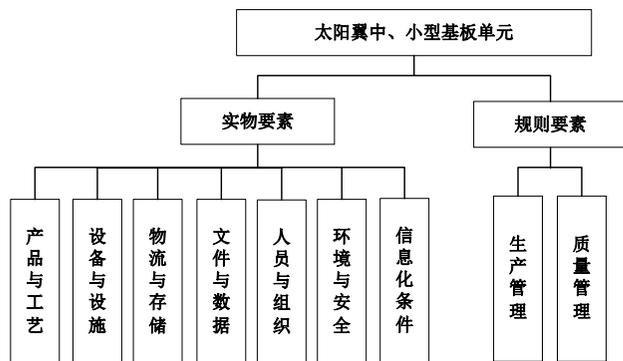


图 2 太阳翼基板单元要素构成图

##### 3.2.2 概要实施方案

基板单元具体实施的主要步骤包括：首先进行基板制造单元要素的构成分析，在此基础上搜集、整理相应的数据和信息；然后对实物要素进行配置，形成制造单元的实物基础；最后，设计和推行规则要素，实现制造单元的稳定运行。概要实施方案如图 3。

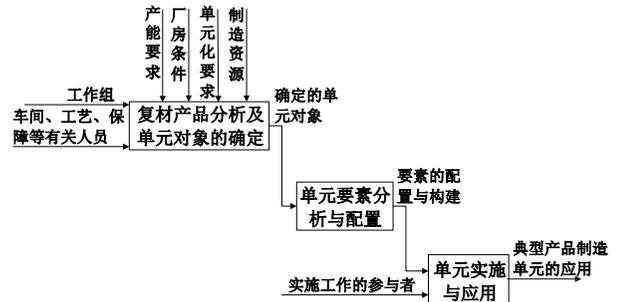


图 3 太阳翼基板单元实施方案图

#### 3.3 各项要素的具体实施

按照单元构成要素，依次进行单元的建设和实施，包括：规划产品系列，将产品对象分为中型和小型太阳翼基板；划分工艺模块，将原来整本工艺划分为分册工艺，以便按不同工位执行；调整单元设备与设施配置，包括仪器设备、工具工装、设施器具等，保证单元专用；重新划分生产场地，建立 U 型布局，形成顺畅的物流通道；全面梳理单元所需的设计图纸、工艺文件、检验依据、岗位规范等，构成单元的信息载体；转变人员组织方式，组建单元团队，包括：班组由按工种划分改为按单元划分；由操作、检验等不同岗位人员组成；倡导合作和配合，培育团队氛围；改变绩效评价方式等；建立生产运作环境和安全保障条件，包括：现场环境保持策略、技术安全保证措施、安全责任制的分解落实、产品与人员防护方法、应急处置预案等；制定单元的生产运作管理制度，包括：投产计划，单件与组批管理，原材料、工装、设备的管理与调度等；确定单元的质量保证措施，包括：产品保证大纲、检验规程、多余物控制要求、质量问题处理办法、过程记录要求、实测数据内容等；配备单元的信息化条件，包括制造执行系统（MES）、质量管理体系等，从而规范生产流程，提高运行效率。

#### 3.4 应用效果

中、小型基板制造单元的实施应用，显著提升了基板的制造能力，有效缓解了生产瓶颈。

a. 生产能力显著提升，圆满完成生产任务

建立中、小基板制造单元前，由于按照单件研制

模式进行技术文件准备、人员组织等,采取一组人从头干到尾的方式,生产串行部分多,生产准备时间长,经常出现设备冲突、人员短缺等现象。建立了中、小基板的制造单元后,年均生产能力提高6倍,满足了任务量大幅度上升带来的产能压力,为顺利完成生产任务打下了良好的基础。

#### b. 生产效率明显提高

通过建立制造单元,在复合装配等以手工作业为主的工序中,使工人更加专注于产品作业,不再担负领料、产品搬运等工作;同时由于相似的作业集中进行,增加了操作的熟练程度,因此缩短了部分工序的作业时间,单件工时平均缩短15%以上。通过细化作业,使部分串行作业改为并行作业;生产作业与生产准备分离,例如定位工装由原来由操作者自行分散管理改为集中专人管理,所需的面板、蜂窝等材料由专人供应,节省了相应的准备时间;由此提高了各自的专业性,优化了整体生产流程。

#### c. 产品满足各项质量要求,质量水平稳定提升

太阳翼基板制造单元从实施应用以来,运行流畅,工艺路线合理可行,工艺技术状态固定,所交付的太阳翼基板产品均满足设计和用户要求,产品研制过程受控、质量状态良好。产品研制生产过程及交付后,未发生质量归零等重大质量问题,满足各项质量目标和质量要求。

#### d. 操作者水平提高,人员培训速度加快,形成团队氛围

建立单元后,使得操作者的工作更为专一,相应的培训针对性更强,有利于快速熟悉操作内容,并不断提高操作技巧。另外,以精细化管理改变了传统生产模式,使繁杂的生产流程变得一目了然,工作内容也更加科学细化,在职工当中建立了有效的沟通和管理机制,形成团队氛围,提升了职工的主人翁意识,为生产力的进一步提升提供了动力。

## 4 基板制造单元的持续改进

随着航天的整体发展,基板“十二五”的任务量比“十一五”又有大幅度的提升,现有能力又出现较大的差距,需要进一步提升制造能力。为此,依托新厂区复材厂房的规划和建设,以厂房搬迁为契机,在中、小基板单元建设和应用实践基础上,建立新的基板单元,将大型基板复合工作也纳入单元范围,形成大、中、小型基板的复合装配单元,以此来满足后续

生产任务需求。

为了精确定位完成预期基板单元任务量的生产瓶颈,准确地识别资源冲突,科学地进行制造单元的资源配置,引进生产系统仿真工具,应用系统建模仿真和分析优化的方法,通过对中、小基板生产能力的分析,发现现有基板生产的问题,并给出解决途径,在此基础上,结合基板任务趋势,对基板生产资源的配置提出具体建议,指导制造单元建设。

具体途径为:

a. 首先建立中、小基板生产模型,包括复合模块、后处理模块和辅助生产模块,以及大型基板生产流程,并包括缠绕、铺层等与基板生产有关的工序;

b. 应用中、小基板模型,以原有基板任务为对象,分析完成任务的各项资源占用情况,识别和定位生产瓶颈位置,提出改进措施;

c. 根据中、小基板模型反映的问题,改进相应的配置,运行相同的任务,考查能否满足生产要求,如能够满足,则作为新基板单元的初始配置;

d. 面对预期的目标产能,以新厂区初始配置为基础,通过仿真计算和数据分析,查找问题,探究解决方案,给出能够满足“十二五”末目标产能的基板生产配置,作为未来单元改善的依据。

采用生产系统建模仿真软件 Witness,分别建立原制造单元(中、小基板)和新制造单元(大、中、小型基板)的仿真模型,模型运行过程如图4所示。

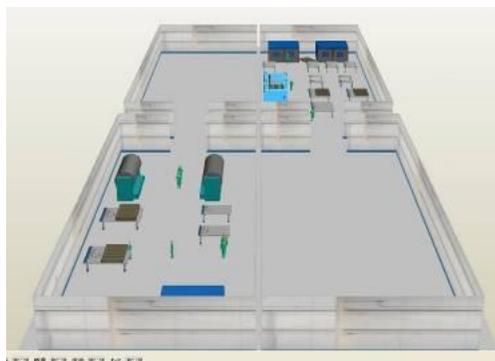


图4 基于Witness的基板单元仿真模型

根据对仿真模型运行结果的分析,给出了基板单元在不同预期任务量下的不同资源配置和生产运行方案,目前已逐步实施到位,为完成后续的太阳翼基板生产任务做好了准备。

## 5 结束语

(下转第3页)

