

# 军用电子装备三维工艺设计标准体系研究<sup>\*</sup>

田富君<sup>1,2,3</sup>, 张红旗<sup>1,2,3</sup>, 周红桥<sup>1,2,3</sup>, 陈帝江<sup>1,2,3</sup>

- (1. 中国电子科技集团公司第三十八研究所, 安徽 合肥 230088;  
2. 中国电子科技集团公司第三十八研究所国家级工业设计中心, 安徽 合肥 230088;  
3. 合肥市雷达机电装备先进设计工程技术研究中心, 安徽 合肥 230088)

**摘要:**文中针对军工电子行业实施三维数字化研发模式所面临的标准缺失问题,开展了军用电子装备三维工艺设计标准研究。在分析军工电子行业三维工艺设计标准化需求和标准制定现状的基础上,构建了军用电子装备三维工艺设计标准体系,包括工艺基础标准、专业工艺设计标准和工艺管理标准,并以此为基础开展了相关标准的编制工作。本系列标准的编制与实施对规范军用电子装备三维工艺设计,提升军用电子装备制造业数字化研发水平有着重要的意义。

**关键词:**三维工艺设计标准体系;军用电子装备;数字化设计与制造标准

**中图分类号:** TG91      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1008-5300(2017)01-0052-05

## Research on Standard Architecture of Three-dimension Process Planning for Military Electronic Equipment

TIAN Fu-jun<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Hong-qi<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Hong-qiao<sup>1,2,3</sup>, CHEN Di-jiang<sup>1,2,3</sup>

- (1. The 38th Research Institute of CETC, Hefei 230088, China; 2. National Industrial Design Center, the 38th Research Institute of CETC, Hefei 230088, China; 3. Hefei Engineering Technology Research Center of Radar Mechatronics Equipment Advanced Design, Hefei 230088, China)

**Abstract:** Aiming at the missing of three-dimension digital Research & Development standards in military electronics industry, the three-dimension process planning standard for military electronic equipment is studied. Based on analysis of standardization requirements of three-dimension process planning and the present situation for military electronics industry, a standard architecture of three-dimension process planning for military electronic equipment is established, including base process standards, special process planning standards and process management standard. And on this basis the standard is compiled. The serial of standards has great significance to specification of the three-dimension process planning for military electronic equipment and improvement of the digital Research & Development level for military electronic equipment manufacturing.

**Key words:** three-dimension process planning standard architecture; military electronic equipment; digital design and manufacture standard

## 引言

传统二维工艺设计标准在规范工艺设计过程、提升工艺管理水平和推进企业信息化建设中发挥了积极的作用。随着三维工艺设计技术的快速发展及在军用电子装备研发中的广泛应用,传统二维工艺设计标准不再适用于三维环境下的工艺设计,三维工艺标准化

问题日益突出。为了缓解企业面临的标准亟需问题,前期已开展了部分数字化工艺标准的制定工作,但核心专业工艺标准仍处于空白状态,标准的缺失制约了军用电子装备三维数字化工艺的研发与应用。为此,拟构建军用电子装备三维工艺设计标准体系,并以此为基础制定一批军用电子装备三维工艺设计急需的核心标准,从而规范军用电子装备三维数字化研发活动。

<sup>\*</sup> 收稿日期:2016-11-08

**基金项目:** 国防基础科研基金资助项目(A1120131044); 国防技术基础科研基金资助项目(JSBZ2014210B007, JSZL2014210B001, JSBZ2015210A005, JSBZ2016210B004)

# 1 标准需求分析

## 1.1 三维工艺标准化问题日益突出

工艺设计作为制造系统的重要环节,是连接产品设计与制造的桥梁,对产品的质量、成本和生产周期具有重要的影响。工艺设计与管理的数字化既是制造企业“甩图纸”的核心内容之一,也是“甩帐表”的重要组成部分。随着三维计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)软件在企业的推广应用以及基于模型定义技术(Model Based Definition, MBD)在企业内的实施,军用电子装备已基本采用三维模型来进行工艺设计。

三维工艺设计与传统的二维工艺设计有较大的区别:首先,工艺设计的输入不再是三维模型+二维工程图,而是包含设计信息和工艺信息的三维设计模型;其次,工艺设计是在一个可视化的三维环境中进行的,工艺设计人员不仅需要编制工艺规程,更要进行工艺/工序模型的构建;再次,工艺文件的审签不再是以纸质文件流转的方式,而是在产品数据管理(Product Data Management, PDM)系统当中进行审签;最后,生产现场的工人不再基于二维工艺过程卡进行生产,而是在车间终端查看可交互的三维工艺文件。

三维工艺设计技术涌现出了许多新的概念,如基于模型的定义、基于模型的工艺<sup>[1]</sup>、工艺模型、工序模型<sup>[2]</sup>等。这些新的概念没有一个统一的定义,导致对概念的理解存在偏差,如有些学者经常将工艺模型与工艺信息模型以及工序模型与工序几何模型混为一谈。三维工艺设计带动了新技术的研究,如三维工艺设计模式<sup>[3-4]</sup>,三维机加工工艺模型构建、工序模型构建<sup>[5-7]</sup>,三维钣金工艺模型构建、工序模型的构建,装配路径规划,干涉检查,三维工艺文件生成等。三维工艺设计中出现的新概念和新技术迫切需要制定相应的标准去规范三维工艺设计技术的应用。

目前,三维工艺在军用电子行业的应用存在一定的困难和障碍,应用不规范,难以实现深化应用。例如在机加工序模型建模方面,有正向建模和逆向建模<sup>[6]</sup>,建模过程既有增材料方式又有减材料方式,而实际加工过程是通过在毛坯模型上一步步切除材料形成最后的零部件。此外,在三维工艺软件开发方面,由于缺少相应的标准支撑,各企业研制出的软件在工艺工作流程、操作规范、信息模型结构等方面呈现出很大的差异性,直接导致企业间工艺信息的交换和共享困难。

## 1.2 二维工艺设计标准不再适用于三维环境下的工艺设计

目前,电子行业二维工艺设计标准已实施 20 余年,其内容涵盖工艺文件术语、工艺工作程序、工艺性审查、工艺方案设计、工艺规程设计、工艺装备设计与管理、工艺定额编制、工艺评审、生产现场管理等,见表 1。这些标准无论是在数量上还是在规模上,都基本满足电子行业二维工艺设计的需求,在规范工艺设计过程、提升工艺管理水平和推进企业信息化建设中发挥了积极的作用。

表 1 电子行业已发布的二维工艺设计标准

| 序号 | 标准编号                 | 标准名称           |
|----|----------------------|----------------|
| 1  | SJ/T 10320—1992      | 工艺文件格式         |
| 2  | SJ/T 10324—1992      | 工艺文件的成套性       |
| 3  | SJ/T 10375—1993      | 工艺文件格式的填写      |
| 4  | SJ/T 10376—1993      | 工艺文件用基本术语      |
| 5  | SJ/T 10377—1993      | 工艺文件的标准化审查     |
| 6  | SJ/T 10462—1993      | 工艺管理常用图形符号     |
| 7  | SJ/T 10466.17—1994   | 工艺设计评审指南       |
| 8  | SJ/T 10531—1994      | 工艺文件的更改        |
| 9  | SJ/T 10532.1~14—1994 | 工艺管理           |
| 10 | SJ/T 10631—1995      | 工艺文件的编号        |
| 11 | SJ/T 10670—1995      | 表面组装工艺通用技术要求   |
| 12 | SJ/T 10672—1995      | 电子工业用工艺装备分类编号  |
| 13 | SJ/T 10695—1996      | 专用工艺装备设计文件编制方法 |
| 14 | SJ/T 11123—1997      | 专业工艺规程的编号      |
| 15 | SJ/T 11214—1999      | 计算机辅助工艺文件编制    |

随着基于 MBD 的数字化设计与制造技术的发展及其在军工电子行业中的应用,产品的研制模式发生了重大变革,三维数模已经取代二维图纸,成为产品研制的唯一依据。三维工艺设计解决了从传统二维工艺卡片到三维工艺规程的转变,取消了二维工程图,工艺规程要借助三维模型向操作工人和检验人员传达设计意图,同时提出工艺要求,这无论是在技术上、管理上还是在思想观念上,都是一个巨大的变革。研制模式和研制流程的变革使得二维军用电子装备工艺设计标准已不再适用于三维工艺设计,迫切需要制定军用电子装备三维工艺设计标准规范,以支撑军用电子装备三维工艺研发活动。

## 1.3 三维工艺设计核心标准缺失,难以实现三维工艺深化应用

为了适应三维环境下的三维工艺设计,国内一些研究所前期已编制了部分三维工艺设计标准,其内容涵盖数字化工艺术语,数字化工工艺通用规范,数据集要求以及电子装备机加工、装配、钣金工艺表示法等数字化工工艺标准,见表 2。上述标准在规范三维

工艺信息的表达和管理方面起到了重要的作用,但缺乏核心标准。

表 2 电子行业已列入计划的三维工艺设计标准

| 序号 | 标准名称                     | 状态  |
|----|--------------------------|-----|
| 1  | 军用电子装备数字化工艺术语            | 编制中 |
| 2  | 基于三维数字样机的军用电子装备数字化工艺通用规范 | 已报批 |
| 3  | 军用电子装备 PBOM 及 MBOM 通用要求  | 编制中 |
| 4  | 电子装备基于模型定义数据集要求          | 已报批 |
| 5  | 电子装备基于模型定义数据组织要求         | 已报批 |
| 6  | 电子装备三维机加工工艺数据集要求         | 已报批 |
| 7  | 电子装备基于模型定义的工艺信息三维标注规范    | 已报批 |
| 8  | 电子装备基于模型定义的机加工工艺方法表示法    | 已报批 |
| 9  | 电子装备基于模型定义的机加工工艺参数表示法    | 已报批 |
| 10 | 电子装备基于模型定义的机加工刀具符号表示法    | 已报批 |
| 11 | 电子装备基于模型定义的装配工艺表示法       | 编制中 |
| 12 | 电子装备装配工艺方法图形符号           | 编制中 |
| 13 | 电子装备基于模型定义的钣金工艺表示法       | 编制中 |
| 14 | 电子装备钣金工艺方法图形符号           | 编制中 |
| 15 | 军用电子装备数控加工仿真标准           | 已报批 |
| 16 | 军用电子装备印制板组件数字化可制造性要求     | 编制中 |

三维工艺设计涌现出的新概念和新技术迫切需要标准来规范三维工艺设计技术的应用,且由于研制模式和研制流程的变革,传统的二维工艺设计标准不再适用于三维环境下的工艺设计。目前,有关三维工艺设计的国家标准、行业标准仍处于空白状态,使得企业在应用三维工艺信息系统时应用模式、应用流程不清晰,且工艺模型、工序模型的构建不规范,难以实现三维工艺的深化应用。此外,标准的缺失使得软件开发厂商在三维工艺信息系统的开发、实施方面缺乏指导,导致开发出来的软件难以用于军用电子装备制造。因此,有必要针对军用电子装备三维工艺设计技术应用的具体需求,开展三维工艺设计标准的编制工作。

2 标准制定现状

在国家标准层面,在“十一五”和“十二五”期间,国家制定了大量工艺方面的国家标准,其内容涵盖了工艺术语、工艺分类、工艺知识、工装设计管理、工艺管理、工艺流程图形符号等,见表 3。其中,在 2009 ~ 2012 年发布了 GB/T 24737《工艺管理导则》系列标准,包括产品工艺工作程序、产品结构工艺性审查、工艺方案设计、工艺规程设计、工艺优化与工艺评审、工

艺定额编制、工艺验证和生产现场管理。在数字化工艺设计方面,也发布了 GB/T 26102—2010《计算机辅助工艺设计 导则》和 GB/T 28282—2012《计算机辅助工艺设计 系统功能规范》,这 2 个标准对计算机辅助工艺设计应用及软件系统的开发、实施具有重要的指导意义。

表 3 已发布的二维工艺设计国家标准 (不完全统计)

| 序号 | 标准编号              | 标准名称                                     |
|----|-------------------|------------------------------------------|
| 1  | GB/T 1008—2008    | 机械加工工艺装备基本术语                             |
| 2  | GB/T 4863—2008    | 机械制造工艺基本术语                               |
| 3  | GB/T 5185—2005    | 焊接及相关工艺方法代号                              |
| 4  | GB/T 7232—2012    | 金属热处理工艺术语                                |
| 5  | GB/T 12603—2005   | 金属热处理工艺分类及代号                             |
| 6  | GB/T 15312—2008   | 制造业自动化术语                                 |
| 7  | GB/T 18725—2008   | 制造业信息化技术术语                               |
| 8  | GB/T 22124.1—2008 | 面向装备制造业 产品全生命周期工艺知识 第 1 部分:通用制造工艺分类      |
| 9  | GB/T 22124.2—2010 | 面向装备制造业 产品全生命周期工艺知识 第 2 部分:通用制造工艺分类编码规范  |
| 10 | GB/T 22124.3—2010 | 面向装备制造业 产品全生命周期工艺知识 第 3 部分:通用制造工艺描述与表达规范 |
| 11 | GB/T 24735—2009   | 机械制造工艺文件编号方法                             |
| 12 | GB/T 24736.1—2009 | 工艺装备设计管理导则 第 1 部分:术语                     |
| 13 | GB/T 24736.2—2009 | 工艺装备设计管理导则 第 2 部分:工艺装备设计选择规则             |
| 14 | GB/T 24736.3—2009 | 工艺装备设计管理导则 第 3 部分:工艺装备设计程序               |
| 15 | GB/T 24736.4—2009 | 工艺装备设计管理导则 第 4 部分:工艺装备验证规则               |
| 16 | GB/T 24737.1—2012 | 工艺管理导则 第 1 部分:总则                         |
| 17 | GB/T 24737.2—2012 | 工艺管理导则 第 2 部分:产品工艺工作程序                   |
| 18 | GB/T 24737.3—2009 | 工艺管理导则 第 3 部分:产品结构工艺性审查                  |
| 19 | GB/T 24737.4—2012 | 工艺管理导则 第 4 部分:工艺方案设计                     |
| 20 | GB/T 24737.5—2009 | 工艺管理导则 第 5 部分:工艺规程设计                     |
| 21 | GB/T 24737.6—2012 | 工艺管理导则 第 6 部分:工艺优化与工艺评审                  |
| 22 | GB/T 24737.7—2009 | 工艺管理导则 第 7 部分:工艺定额编制                     |
| 23 | GB/T 24737.8—2009 | 工艺管理导则 第 8 部分:工艺验证                       |
| 24 | GB/T 24737.9—2012 | 工艺管理导则 第 9 部分:生产现场工艺管理                   |
| 25 | GB/T 24738—2009   | 机械制造工艺文件完整性                              |
| 26 | GB/T 24742—2009   | 技术产品文件 工艺流程图表用图形符号的表示法                   |
| 27 | GB/T 26102—2010   | 计算机辅助工艺设计 导则                             |
| 28 | GB/T 28282—2012   | 计算机辅助工艺设计 系统功能规范                         |
| 29 | GB/T 28612—2012   | 机械产品绿色制造 术语                              |
| 30 | GB/T 28613—2012   | 机械产品绿色制造工艺规划 导则                          |

在行业标准的制定方面,航空、航天、电子行业也针对本行业的特点制定了一系列的二维工艺设计标准。航空行业根据产品特点,分别制定了面向飞机、航空发动机、机载设备的工艺设计标准,如 HB/Z 223.1 ~ 21—2003《飞机装配工艺》、HB/Z 132.1 ~ 8—1988《航空发动机制造工艺工作导则》、HB/Z 227.1 ~ 12—1992《机载设备制造工艺工作导则 总则》。在数字化工艺设计标准方面,也已发布了 HB 7777—2005《航空产品数字化工艺设计通用要求》、HB 7796—2005《航空产品数据管理通用要求》、HB 20036—2011《工艺装备数字化设计通用要求》和 HB 20075—2011《航空工艺数据库通用要求》。

航天行业在 2011 年发布了 QJ 903.1B ~ 25B—2011《航天产品工艺文件管理制度》系列标准。该系列标准面向二维工艺文件的编制,其内容包括工艺文件编号、工艺文件格式、工艺文件签署、工艺文件更改,涵盖了机加工、钣金、热处理、铸造、锻造、焊接、装配等 19 种工艺的工艺文件编制规范。该系列标准的发布,对规范航天产品工艺文件的编制与管理有着重要的意义。

在电子行业标准制定方面,也发布了一系列的二维工艺设计标准,比较有代表性的是 1994 年发布的 SJ/T 10532.1 ~ 14—1994《工艺管理》系列标准。该系列标准涵盖设计工艺性审查、工艺方案设计、工艺规程设计、工装设计与管理、工艺定额编制、工艺评审、生产现场管理等内容。相对于航空、航天来说,电子行业近年来的标准制定、修订已逐渐落后。

### 3 标准体系构建

目前,电子行业前期已开展多项数字化工艺标准的研究与编制工作,内容涵盖术语、基于模型的工艺信息表达、PBOM 及 MBOM 构建、数据集等,初步形成了电子装备三维工艺设计标准体系,填补了电子行业领域空白,缓解了军用电子装备制造企业面临的标准急需问题,但三维工艺设计核心标准缺失。本文通过对军用电子装备三维工艺设计进行分析,构建了如图 1 所示的军用电子装备三维工艺设计标准体系,包括工艺基础标准、专业工艺标准和工艺管理标准。

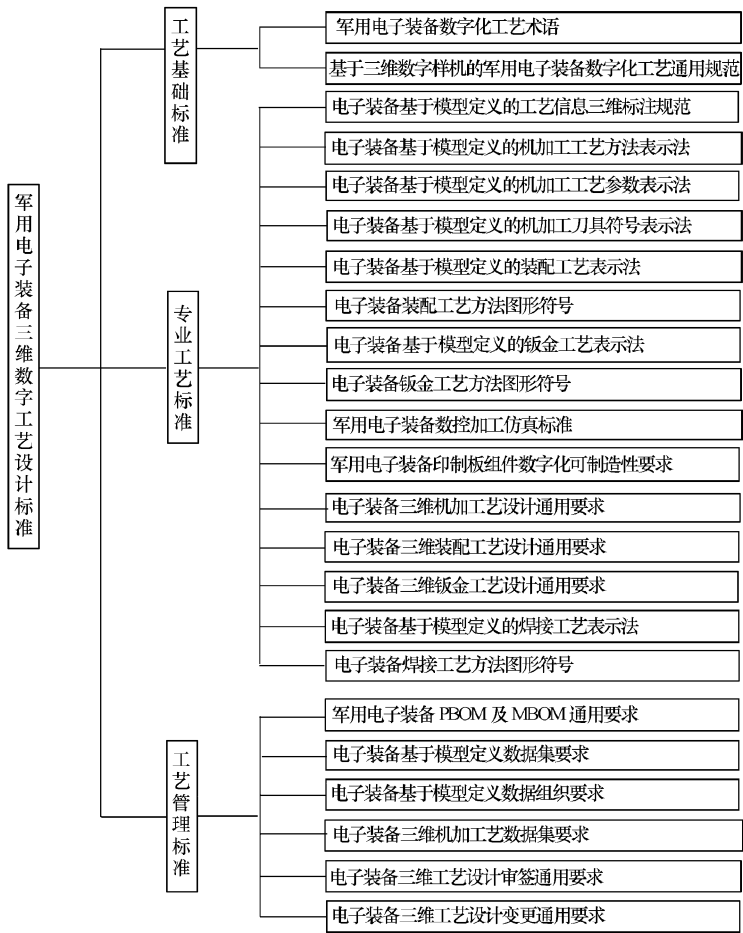


图 1 军用电子装备三维工艺设计标准体系

### 3.1 工艺基础标准

工艺基础标准是军用电子行业企业三维工艺设计最基本的具有广泛指导意义的标准,是三维工艺设计其他标准的基础共性标准。工艺基础标准主要包括术语、符号、通用要求等。术语类标准主要对三维工艺设计技术涌现出的新概念进行统一定义,如基于模型的定义、基于模型的工艺、工艺模型、工序模型等;符号类标准主要对工艺设计过程中常用的图形、符号、工艺流程图等进行规定;通用要求类标准是在三维工艺设计领域内可直接应用或者可作为其他标准的依据和基础、具有普遍指导意义的标准。

### 3.2 专业工艺标准

专业工艺标准是根据不同专业类型(机加工、装配、钣金等)制定的本专业工艺设计应遵循的标准。专业工艺标准包括专业工艺设计标准和基于模型定义的工艺标准。目前,军工电子行业实施三维工艺的专业主要有机加工、装配和钣金,因此,专业工艺设计标准包括三维机加工工艺设计、三维装配工艺设计和三维钣金工艺设计。基于模型定义的工艺标准主要是针对MBD环境下的三维工艺信息表达而制定的标准,内容涵盖机加工、装配、钣金、焊接等工艺信息的表达。

### 3.3 工艺管理标准

工艺管理标准是针对三维工艺文件、工艺模型的管理、存储、审签制定的标准,主要包括工艺文件/模型的管理标准、工艺信息的管理类标准和三维工艺的审签、更改类标准。

## 4 标准编制与实施原则

基于电子装备三维工艺设计标准的现状与面临的挑战,结合三维工艺设计技术的最新发展,提出了技术优先、分批制定、开发配套软件等标准编制与实施原则,以提升军用电子装备三维工艺设计标准的编写质量与实施效果。

### 4.1 技术优先

三维工艺设计技术本身与软件操作密切相关,不同软件开发商所采用的技术体系和操作过程不尽相同,何况从标准编写的出发点来说,也不适合以介绍软件操作为标准的主要内容。因此,本系列标准主要从技术要点出发来编写,以提高标准的通用性和广泛适用性。

### 4.2 分批制定

三维工艺设计技术是比较先进的技术,且本身处于不断发展之中。目前军工电子行业实施三维工艺设计的专业类型主要有机加工、装配和钣金,不过,随着

技术的不断发展,三维工艺设计还将逐步应用到线缆敷设、电装等工艺类型。因此,三维工艺设计标准应根据技术成熟度,分批制定并实施相应的标准。

### 4.3 加强配套软件开发

三维数字化设计制造的最后模式是走向多企业、多系统间的协同和集成,因此,军工电子行业企业三维数字化建设要按照总体目标协调一致地开展,以避免各行其是、自成体系、相互隔离、低水平重复的现象发生。目前,由于缺少宏观指导,三维数字化设计制造仍处于分散、局部的应用状态,各单位相互独立、各自为阵的现象仍然普遍,因此各自制定的数字化标准存在重复且不统一的现象,难以传递和共享。因此,有必要针对军工电子行业企业,开发配套的三维工艺设计软件,以规范军工电子行业三维数字化设计与制造研发活动。

## 5 结束语

标准引领创新,标准是国家实施技术和产业政策的重要手段,面对三维工艺设计发展带来的挑战,本文在梳理现有相关标准、明确军工电子行业三维工艺设计标准化需求和重点核心标准的基础上,建立了军用电子装备三维工艺设计标准体系,明确了标准编制和实施的原则,并以此为基础开展了三维工艺设计标准的编制工作。

### 参考文献

- [1] 田富君,田锡天,耿俊浩,等. 基于模型定义的工艺信息建模及应用[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(5): 913-919.
- [2] 田富君,田锡天,耿俊浩,等. 工序模型驱动的工艺设计方法[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(6): 1128-1134.
- [3] 万能,常智勇,莫蓉. 机加工工艺设计的三维新模式研究[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(9): 1873-1879.
- [4] 周红桥,张红旗. 支持MBD研发模式的产品数据集成研究[J]. 电子机械工程, 2015, 36(6): 50-53.
- [5] 田富君,张红旗,张祥祥,等. 雷达结构三维工艺设计系统研究[J]. 雷达科学与技术, 2013, 11(4): 437-442.
- [6] 赵鸣,王细洋. 基于体分解的MBD工序模型快速生成方法[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(8): 1843-1850.
- [7] 张辉,刘华昌,张胜文,等. 复杂零件三维中间工序模型逆向生成技术[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(5): 1216-1221.

田富君(1985-),男,博士,高级工程师,主要从事三维工艺设计、数字化设计与制造标准研究工作。