



航天电子产品研制单位推行可制造性设计工作的思考

何 伟 田军霞

(航天长征火箭技术有限公司, 北京 100076)



摘要: 结合实施 DFM 工作的实践活动, 论述了在航天电子产品研制单位实施 DFM 工作的重大意义及对 DFM 工作的正确认识, 从编写规范、建立运行体系和培训员工三个方面提出了推行和完善 DFM 工作的策略。

关键词: 可制造性设计 (DFM); 表面贴装技术 (SMT); 设计规范

Thinking on Executing DFM in Spaceflight Electric Production Manufactory

He Wei Tian Junxia

(Aerospace Long March Launch Vehicle Technology Co., Ltd., Beijing 100076)

Abstract: Based on the practice to fulfill DFM, this paper demonstrates the significance and correct understanding of executing DFM in the spaceflight electric production manufactory. Strategies to effect and perfect DFM are proposed from three aspects of compiling criterion, building a circulating system, and training professional employees.

Key words: Design for Manufacture (DFM); Surface Mounting Technology (SMT); design criterion

1 引言

可制造性设计 (以下简称: DFM) 工作强调设计与工艺紧密结合, 发挥各自的专业优势, 在方案论证和产品设计阶段就充分考虑可制造性因素, 选择最便于生产的设计方案, 同时做好产品制造方案的策划和设计。近二十年以来, DFM 作为一种工作方法和理念在工业发达国家极受重视, 并且产生了巨大的效益。业已证明, 将 DFM 原则成功应用于印制电路板组装行业, 能减少三分之二的制造费用和组装时间, 同时能使首次生产的合格率由 89% 提高到 99%^[2]。推行 DFM 工作已成为企业走向成功的必然选择, 而航天电子产品研制单位推行 DFM 具有更为重大的意义。

2 航天电子产品研制单位推行 DFM 工作的重大意义

设计是产品研制过程的源头, 产品制造过程中遇到的问题, 无论是和工艺、设备、工具或材料有关的, 其中 80% 以上是可以设计来预防和纠正的^[1]。由此可见, 产品设计可制造性的好坏, 对于生产成本、研制周期、产品质量的影响可谓至关重要。而通过不断推行和完善 DFM 工作是提高产品设计可制造性最直接、最有效的方法。

2.1 推行 DFM 是实现航天电子产品产业化的需要

近年我国航天事业快速发展, “十一五” 开局之年, 面对新的形势和任务, 如何实现产业化已成为航天企业必须解决好的课题。但目前航天电子产品研制单位却普遍存在一些影响企业履约能力, 制约企业产业化发展的问题, 产品设计的可制造性不好就是其中之一。

在航天电子产品研制单位里, 常常出现产品设计方案非常先进, 功能样机的指标也十分优秀, 可一旦

作者简介: 何伟 (1973-), 高级工程师, 制造工程专业; 研究方向: 电子装联。

收稿日期: 2011-08-04

投入批生产,制造周期、生产成本和产品质量就很难保证的问题。主要原因在于,长期以来我们以完成小批量型号研制任务为主要目标,产品设计很少考虑可制造性,工艺也只是被动的接受设计方案,为达到设计要求,多采用以数量保质量、保进度的办法,造成浪费也在所不惜。这种工作模式在计划经济时期完成小批量型号研制任务尚有可为,但在当今市场经济条件下,效益和效率已成为一个企业的运作核心,这种不计成本的工作模式必须改变,否则企业就不可能实现产业化目标,而改变的最根本途径是从设计源头上就开始考虑可制造性问题,即推行 DFM 工作。

2.2 推行 DFM 是航天电子产品技术进步的需要

电子产品 DFM 技术的研究领域非常广泛,其中研究与电子装联技术,尤其是表面安装技术(SMT, Surface Mounting Technology)相关的可制造性设计技术,对航天电子产品的技术进步有着至关重要的影响。

首先,电子装联是电子产品制造过程中的核心技术,很大程度上决定了电子产品的技术水平。随着技术的不断进步,未来航天电子产品将向多功能、小型化、高可靠性、高集成度的方向发展。这就对电子装联技术提出了更高的要求,只有微电子封装的 I/O 引脚数更多;电性能和热性能更高;封装更轻、薄、小、巧;更便于安装、使用和返修;可靠性更高另外成本更低,才能满足航天电子产品不断提高的制造要求。而满足这一需求的根本途径,就是全面实施表面安装技术(以下简称: SMT)。随着国内外电子技术的突飞猛进, SMT 技术已成为电子装联技术的主流。

同时, SMT 技术又是一门复杂程度较高的综合性技术,必须通过材料、设备、工艺和设计的良好配合才能制造出优质、稳定的产品。如果这些因素配合的条件不佳,或是处在其能力的临界面上,就会导致不稳定的情况发生,这时只要某些参数特性稍微发生变化,便会导致不良品的出现。良好的 DFM 应用,可以帮助我们避开这些不稳定的临界面,达到稳定生产的状态。由此可见,推行 DFM 工作对成功实施 SMT 技术,进而提升航天电子产品技术水平至关重要。

综上所述,在新的形势下,推行 DFM 工作已成为航天电子产品研制单位实现产业化和推动技术进步的必然选择。

3 正确认识 DFM 工作是迈向成功的前提

3.1 认识 DFM 工作的价值

对于一个具体的企业而言,推行 DFM 工作需要付出专项技术研究投入和管理变革冲突的代价,所以企业只有充分的认识到 DFM 工作所具有的价值,才会有足够的决心并投入相应的资源来推行 DFM 工作。

笔者所在单位长期从事航天电子产品的研制,近年随着技术的进步和产品批量的加大,传统的手工焊装方式无论从效率上还是质量上都已无法满足电子产品的生产需求。为此,单位投资建设了先进的 SMT 自动生产线,但问题并没有伴随着设备的到位而解决,相反却出现了大量产品无法进行自动焊装的问题,有的产品即便勉强上线,效率和质量也极为低下。通过分析发现,问题的产生主要是由于设计方案不符合自动焊装设备的要求,如印制电路板未设置装夹边和“Mark”点及通孔设置在焊盘上等,简而言之就是设计工艺性较差,导致工艺无法实现。

鉴于上述问题的存在已严重的影响了企业的发展,我们尝试性地引入了 DFM 理念,当时主要考虑的因素是:

- a. 良好的 DFM 工作可提高设计、制造一次成功的概率,避免重复试制,缩短产品研制周期;
- b. 在设计阶段解决问题可最大程度地避免人力、物力的浪费,降低产品研制成本;
- c. 设备昂贵不易更换,且引进后能力范围就已确定,极端情况下,再好的设备和工艺也无法解决不良设计带来的问题,所以由设计来配合工艺种类和能力具有最大的合理性。

正是基于上述原因,DFM 工作很快引起了高层管理者的重视并得以推行,目前已产生了良好的效果。因此,充分认识 DFM 工作的价值,尤其是单位高层管理者的重视是成功推行 DFM 工作的前提条件。

3.2 认识 DFM 工作的难度

DFM 工作是一个系统工程,它的推行具有相当的难度,不可能一蹴而就。如果事前对困难没有深刻的认识和准备,很有可能因为一些局部的问题而导致整个推行工作的失败。DFM 工作的难度主要有两个方面:

3.2.1 技术难度

相当多已认识到 DFM 工作重要性的电子产品研制单位对 DFM 工作的技术难度缺乏正确的认识。他们认为通过购买市场的一些规范(如 IPC 标准)就可以实现 DFM。实际上,许多著名的国际电子产品制

造商都有被视为企业秘密的内部 DFM 标准,是这些企业将资源投入到了已有现成标准的重复研究上了吗?当然不是,这些恰恰是对 DFM 有着深刻认识而且拥有足够研究能力的企业。由于产品的使用环境、性能指标、质量要求以及各厂家的工艺水平、设备能力等特性千差万别,没有一套标准能够覆盖到所有特性。而且现有的规范一般只包括对常用器件的焊盘尺寸和一些板上布局的考虑,然而 DFM 考虑的范围要远远超出这些,如印制板板材和元器件的选择、所有焊装工序的工艺要求、布线密度、热防护、可维修性等方面都必须得到系统考虑。DFM 的技术相当复杂,要成功推行 DFM 工作,各单位必须根据自身工艺水平和设备能力,结合电子产业的技术进步,认真做好适合本单位情况的 DFM 技术研究。笔者所在单位的 DFM 标准就是通过历时近 2 年的反复研究才基本形成的。

3.2.2 管理难度

由于惯性思维模式的客观存在,任何改变既有工作模式的管理变革都会很自然地受到或多或少的抵触。推行 DFM 也不例外,由于设计方案的制定过程中会受到来自工艺性方面的诸多限制,长期形成的以设计为核心的心理受到挑战,必将带来激烈的思想碰撞。另外,DFM 工作必然会增加新的控制环节,进而导致员工工作量的增加,这也会无疑会引发抵触心理。要避免或尽可能减少这种抵触,就需要事先设计好较为完备的推行策略和计划,并制定一套科学的 DFM 管理流程和办法。

因此,只有深刻了解此项工作的难度,克服急于求成的心理,在推行前扎扎实实地做好技术准备、思想准备和管理准备,才能保证不会由于局部的困难而导致推行 DFM 工作的失败。总之,要成功地推行 DFM 工作,必须具备科学的态度和科学的方法,而这种科学的态度和方法首先来自于对 DFM 工作的正确认识。

4 推行和完善 DFM 工作的策略

4.1 编写完整的 DFM 规范

DFM 作为一种工作理念应得到广泛应用,但一个具体的产品研制单位所拥有的资源是有限的,所以必须首先识别关键和瓶颈问题并加以解决,以期达到最好的费效比。在电子产品研制领域,对产品质量、成本和周期影响最大的就是印制电路板的设计,这主要

是因为印制电路板是电子元器件装焊的基本载体,其设计是表面组装技术的源头,设计方案可制造性的好坏最直接地影响后续的生产实现。所以,对于已广泛实施 SMT 技术的航天电子产品研制单位而言,推行 DFM 工作最基础的技术准备工作就是制定一套完整的 SMT 印制电路板的 DFM 规范。

作为设计工作中的依据和标准,SMT 印制电路板 DFM 规范应从电子装联可制造性角度出发,对在进行航天电子产品印制电路板设计时应遵循的可制造性设计要求进行规定。一个较完备的规范应包括以下主要内容:

- a. SMT 印制电路板的组装形式及加工工艺流程;
- b. 印制电路板材料选择要求;
- c. 元器件选择标准;
- d. 电子文档的规范性要求;
- e. 印制电路板材外形尺寸和厚度设计要求;
- f. 焊盘设计标准;
- g. 导通点、测试点的设置标准;
- h. 阻焊膜的设计;
- i. 丝网图形设置要求;
- j. 元器件整体布局设计;
- k. 夹持边的设计要求;
- l. 定位孔及光学定位基准标志设计要求;
- m. 拼板设计标准;
- n. 元器件间距设计标准;
- o. 散热设计要求;
- p. 可维修性要求。

DFM 规范应主要由工艺部门来编写,因为他们更深刻地了解本单位现有工艺技术水平 and 设备能力状况,制定的规范更具指导性和可操作性。但为了使规范的要求更加合理、可行,在规范的制定和审查过程中必须广泛征求设计部门的意见。笔者所在的单位在制定 DFM 规范过程中,设计和工艺之间就进行了广泛、深入的讨论和互动,使得规范的完善过程同时也成为一个学习和宣贯的过程。这个过程还使设计人员清楚地了解 DFM 工作对单位整体利益的重要性,从而有效减少了抵触心理,使得后期的推行工作较为顺利。本单位的 DFM 规范在应用过程中已取得了明显的成效,目前,该规范在进行了进一步完善后,已上升为航天时代电子公司的标准。

4.2 建立科学的 DFM 管理和运行体系

仅仅拥有一套 DFM 规范是远远不够的,如果规范下发到相关部门后只是被摆在书架上或是锁在抽

屋里,那么前期的艰苦努力将变得毫无价值。要取得DFM工作的成功,我们必须建立一套科学、可行的管理和运行体系,采用一些行之有效的方法来保证DFM工作得到有效的推进和持续的改善。

4.2.1 建立并行工作体制

在航天电子产品研制单位,传统的做法是在印制电路板已完成布局设计并输出图纸后,工艺才介入进行工艺性审查。实际上,此时已错过了考虑工艺性的最佳时机,大量的工艺性改进要求将意味着设计方案的重新制定,这样不但会造成研制周期的延长和设计成本的增加,而且会引发设计人员强烈的抵触情绪,所以工艺性设计必须和电气性设计同时进行。并行工作体制可以采用许多具体的模式,“派驻”式就是一种比较有效的方式,所谓“派驻”就是在推行DFM工作的初期,工艺人员以常驻或半常驻设计部门的方式融入研发团队,工艺在产品方案设计阶段提前介入,依据DFM规范提供可制造性服务,在设计部门与工艺部门之间搭建起有效的沟通桥梁。这样不仅可以提高设计、制造一次成功的概率,而且由于工艺部门主动提供可制造性方面的服务,还可以最大限度地避免设计人员产生抵触心理,保证DFM工作的顺利推行。只要假以时日,就会在设计人员中逐渐培养起为制造而设计的工作理念,使在设计过程中考虑产品可制造性成为一种自觉、自愿的行为。

4.2.2 创建DFM规范的变更控制流程

创建DFM规范的变更控制流程,以保证规范的持续有效性。不断变化是一切事物发展的本质规律,DFM工作也不例外,电子元器件技术的进步、自动焊装设备的升级换代、在生产线上发现的新问题等都可能对DFM规范的修改。这些修改应及时进行并尽快发布,同时为了保证这些修改的正确性,必须创建一套快速反应的DFM规范的变更控制流程。这套流程应包括对相关信息的收集和分析、对修改意见的评估和审查以及规范版本的及时更新与维护等内容。如果研制单位有内部局域网,那么利用信息化手段进行信息的采集与发布将是一种非常高效的手段。

4.2.3 灵活的辅助手段

各单位还可以采用一些灵活的辅助手段来推动DFM工作,例如,可以设计一个对设计方案的可制造性进行评价的打分表,表中较全面地列出对生产有影响的可制造特性,对每个特性分配相应的权重,由DFM人员对设计方案的可制造性进行打分。将可制造性分数作为对设计进行考评的一个项目,并对取得

高分的进行奖励。有效推行DFM工作的方式可能还有许多,需要结合实际工作不断地摸索和研究。

4.3 称职员工的培养

优秀的技术规范和完备的管理制度都最终都需要人来执行,是否拥有称职的员工对成功推行DFM工作至关重要。比较理想的状态是拥有一支核心DFM团队,团队成员应非常熟悉设计工作,能够理解研发、设计的各方面需求;同时他们还应具备深厚的制造专业背景,全面掌握本单位的工艺过程和设备能力。但在航天电子产品研制单位内,这样的人才是十分稀缺的,需要我们选拔具备潜能的人才,并以在设计部门和制造部门之间轮训的方式逐步培养。现阶段比较可行的人才培养方法是通过设计与工艺之间的互动、沟通,有效发挥各自的专业优势,促进相互的学习和融合,具体做法是:

a. 将工艺人员派驻到设计部门,一方面可以直接为设计提供可制造性服务,另一方面可以使工艺人员更快地熟悉设计流程、理解设计意图和需求;

b. 通过培训和组织设计人员参观生产现场等方式,使设计人员掌握基本的产品制造过程,逐步培养其为制造而设计的工作理念。

5 结束语

除了部分低成本和对质量要求较低的产品,DFM工作绝对能给企业带来巨大的利益,对航天电子产品研制单位更是如此,在DFM技术和管理上的成功投入可以带来数十倍乃至数百倍的回报。成功推行DFM工作始于对它的价值和难度的正确认识,推行过程中必须兼顾技术和管理并注重人员的培养,只有做到这些方面的平衡发展,DFM工作才能发挥应有的作用。

DFM工作不可能一蹴而就,但只要树立坚定的决心,付出艰苦的努力,并且在实施过程中不断进行自我完善,航天电子产品研制单位一定能够成功地推行DFM工作,并为航天电子产业的技术进步和产业化发展做出更大的贡献。

参考文献

- 1 薛竞成. 推行和完善DFM工作应注意的若干问题. 世界产品技术, 2003(4): 21~27
- 2 夏建亭, 张寿开. 浅谈实施可制造性设计. 电子信息: 印制电路与贴装, 2000(3): 39~44

