

利用精益六西格玛工具提升制造成熟度

刘亚威*

中国航空工业发展研究中心 航空技术研究所, 北京, 100029

摘要: 制造成熟度管理与精益六西格玛管理相辅相成。在提升项目制造成熟度的研究中, 美国国防部充分利用精益六西格玛工具, 做到了制造成熟度与精益六西格玛的结合。以F-22制造技术的持续过程改进为例, 仅在制造过程的控制方面, 洛克希德·马丁公司就运用了若干属于精益六西格玛范畴的工具, 提高了项目和过程质量以及制造成熟度。

关键词: 制造成熟度; 精益六西格玛; 过程控制; F-22自动化钻孔工艺

中图分类号: V19 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2014) 01-58-4

在F-22制造技术的持续过程改进过程中, 洛克希德·马丁公司在制造过程控制方面充分利用了精益六西格玛工具, 做到了制造成熟度与精益六西格玛的结合。本文以一个F-22前机身自动化钻孔工艺开发中的典型案例分析在制造成熟度管理中, 如何运用精益六西格玛工具, 提升项目和过程质量以及制造成熟度。

1 精益六西格玛工具在提升F-22制造成熟度的应用

在F-22前机身上部的钻孔由手工向自动化转变的研制过程中, 针对制造成熟度中的过程能力和控制等要素的要求, 运用了过程流程图、价值流程图、过程变量、实验设计、失效模式与影响分析等精益六西格玛工具, 验证了自动化钻孔的制造过程, 提升了项目和过程质量以及制造成熟度。图1所展现的是通过掌握更深层次的过程和资料以及定制/特定的工具, 项目逐步实现制造成熟度等级提升的过程

1) 绘图类精益六西格玛工具的运用

绘图类精益六西格玛工具涉及简单过程流程图、详细过程流程图、当前价值流程图、未来价值流程图这4个工具。如表1所示, 在达到每个制造成熟度等级(MRL)之前, 都需要运用相关工具对工

艺过程进行分析, 每个工具都有不同的关注重点。

a. 过程流程图

在MRL达到3级之前, 制造成熟度管理要求通过实验或模型确认制造技术的概念, 以及关键制造过程。过程流程图验证的是对制造技术概念的理解和制造过程的掌握, 通过简单的过程流程图可以确认主要制造步骤, 查找反复的步骤、特殊的步骤、不确定或未知的步骤、材料或设计问题、潜在的设备/供应问题, 以及沟通不佳和误解。

在MRL达到4级之前, 制造成熟度管理要求确认制造学和先进制造技术的需求, 调查关键制造过程的当前状态。通过详细的过程流程图, 可以确认过程步骤、培训需求、设备需求、技术需求, 查找反复的步骤、未定义的步骤、不必要的工作、材料或设计问题, 以及沟通不佳和误解。详细的过程流程图如图2所示。基本上, 基于详细的过程流程图可以进行制造成熟度评价细则中4级之前要求的众多工作。这些工作包含



图1 制造成熟度等级提升与精益六西格玛工具运用

Fig.1 Manufacturing maturity level increasing and the use of Lean Six-sigma tools

收稿日期: 2013-06-15; 录用日期: 2013-07-20

*通讯作者. Tel.: 010-57827742 E-mail: 13246920@qq.com

引用格式: LIU Yawei. Increasing manufacturing readiness by using lean six-sigma tools[J]. Aeronautical Science & Technology. 2014, 25(1): 58-61. 刘亚威. 利用精益六西格玛工具提升制造成熟度[J]. 航空科学技术, 2014, 25(1): 58-61.

表1 绘图类精益六西格玛工具
Table 1 Lean Six-sigma tools of drawing class

MRL	工具	关注重点
3	简单过程流程图	基本的制造概念
4	详细过程流程图	关键的制造概念
5	当前价值流程图	反映当前的状态,确认浪费
6~10	未来价值流程图	反映未来的状态,消除浪费

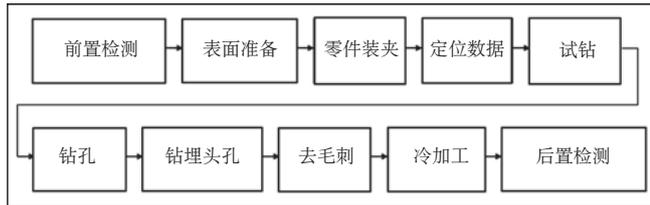


图2 F-22前机身自动化钻孔工艺的详细过程流程图
Fig.2 Detailed procedure flowchart of automated drilling process for F-22 forward fuselage

在工业基础、制造技术开发、可生产性、生产成本建模、建模与仿真、制造过程、成品率和生产速度、制造人员、工装等子要素中。

b. 价值流程图与价值流分析

价值流程图是更详细的制造过程示意图,为衡量过程改进确立了基线,并且量化地描述了技术、周期和成本驱

动因素。价值流程图为评估未来增产提供了基线,通过它可以确定达到预期生产速度所需的产能,并且量化地描述产能和资源约束。此外,价值流程图通常包括供应链上的过程,通过价值流程图还可以定义所需的设施和设备。总之,价值流程图为评估制造方案创造了空间,使得重新设计改进的过程成为可能,一般基于其进行价值流分析(VSA)。

在MRL达到5级之前,制造成熟度管理要求建立初始模型/仿真方法,用于确定约束条件,并针对制造过程约束条件进行折中研究。通过不断地实施价值流分析,可以在以下方面显示出改进的机会:手动加工、废料/缺陷多或低成品率、重复工作、安装时间长、增产约束(设施、培训/学习曲线、设备、工装)、产品设计约束、材料成本与可获取性(成熟度)、库存增长等。

在MRL达到6级之前及以后,制造过程改进和质量改进都会提上日程。如图3所示,这时开发未来状态的过程流程图,需要考虑增产的要求,描绘理想的过程(包括步骤、设备、人员配备),确认实现理想状态的约束,量化约束以及消除它们的预期影响(如时间、成本等),确定达到预期生产速度所需的产能,定义所需的设施和设备,此外还要包括关键供应商。基本上,在未来状态的过程流程图开发过程中,基于VSA可以进行制造成熟度评价细则中6级~10级之前要求的众多

工作。这些工作包含在制造技术开发、可生产性、生产成本建模、材料成熟度、可获取性、供应商管理、建模与仿真、制造过程、成品率和生产速度、产品质量、制造人员、工装、设施、物料计划等子要素中。

2) 过程控制类精益六西格玛工具的运用

过程控制类精益六西格玛工具涉及关键特性、过程变量、过程能力、实验设计、失效模式与影响分析这5个工具,如表2所示。基于这些工具的运用以及其他相关工作,完善对于制造过程的过程控制,不断提升制造成熟度等级,是制造成熟度管理

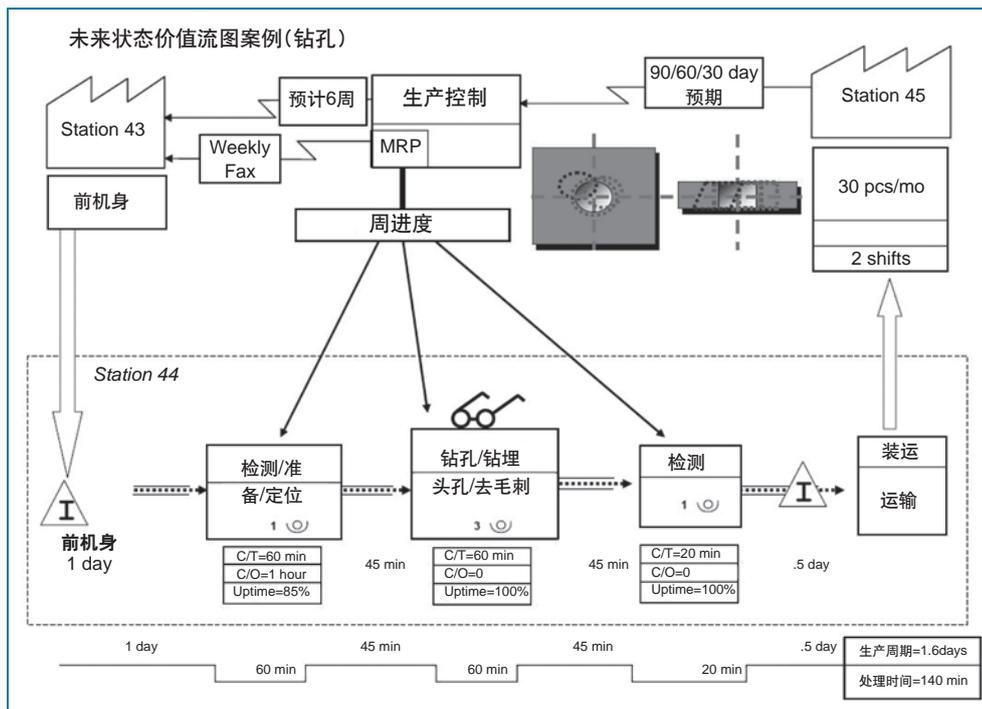


图3 未来状态的价值流程图
Fig.3 Value flowchart of future state

表2 过程控制类精益六西格玛工具
Table 2 Lean Six-sigma tools of process control class

MRL	工具	关注重点
4-6	关键特性	要求与容差
4	过程变量	要控制的变量
5-9	过程能力	过程绩效的可预测性
5-9	实验设计	独立变量的多重因素及其层级
6-9	失效模式与影响分析	失效相关风险

的一个特色。

a. 关键特性和过程变量

确认关键特性(KC)是确认关键过程变量、实施过程能力研究的前提,也是控制过程质量和产品质量围绕的一个核心因素。制造成熟度管理对于KC的管理过程变量的控制相

当重视,同样贯穿了设计、过程、质量等要素的全寿命周期。孔直径、孔角度、孔布置、材料强度、表面光洁度、壁面特性是该设计的7个KC,产生这7个KC的过程就是钻孔过程,而关键过程变量包括钻孔速度、钻孔进给、钻孔角度、温度、冷却液、钻头磨损6个变量。之后,根据这7个KC和这6个变量来研究过程能力,进行过程控制。

b. 过程能力

过程能力是假设无缺陷生产规范下的过程输出。优秀的过程能力首先要求过程是可控的。过程控制就是使用统计学方法监测、跟踪并且减少制造过程的波动。过程可控就可以比较实际的性能/质量和要求的性能/质量,采取必要的措施。

过程能力研究的目的是定义过程能力;确认能力受限的原因;向用户验证能力;提升过程能力(减少缺陷、浪费、成

本、用户退还),进行高度符合规范的工作;引入统计过程控制(SPC),过程能力由过程能力指数(C_{pk})来衡量。评估过程能力就是针对想要的公差范围,对比过程输出的波动;针对某特定值或目标值,对比过程输出的平均值。在进入批产的试生产过程中评估过程能力,能够显示出实际性能是否满足或超出要求的性能。过程能力的研究过程和结果如图4所示。一般来说,好的 C_{pk} 值至少是1.33,即4 σ 水平;很多企业目前寻求2.0的值,即6 σ ,这也是过程能力和控制与产品质量子要素的终极目标。

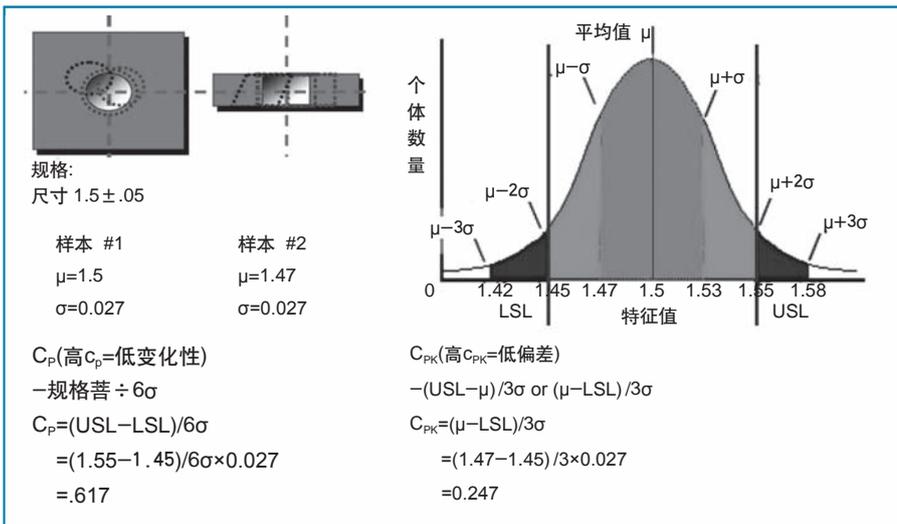


图4 过程能力研究

Fig.4 Process capability studies

失效模式	A. 严重性	B. 发生概率	C. 发现概率	风险优先指数
	10 最严重	10 概率最大	10 概率最小	A*B*C
钻头选择错误	8	2	8	128
孔定位不准确	10	5	7	350
未完全去毛刺	7	3	4	84

波卡纠偏法 防错法

最高的RPN要求采取最紧迫的行动

图5 失效模式与影响分析

Fig.5 Failure modes and effects analysis

c. 实验设计

在分析一项过程时,经常使用实验来评估过程输入对过程输出的重要影响,以及评估实现想要的输出应该有什么目标水平的输入。为此,提倡进行实验设计(DOE)。DOE解决以下问题:应该被测试的要素;这些要素的层级;实验运行或实验条件的结构和布局。好的实验设计应该尽可能简单,用经济、可重复的方式得到要求的信息。在F-22钻孔工艺开发中,设计了研究速度、进给、磨损、温度之间影响的实验。合理运用DOE对于可

生产性和制造过程子要素的工作具有极大的促进作用。

d. 失效模式与影响分析

失效模式与影响分析(FMEA)是制造成熟度管理中推荐使用的重要工具。首先,识别所有可能的失效模式;对严重性、发生概率、发现概率这三个方面为每个模式指定一个数值;在指定数值之后,三个数值相乘得到每个模式的风险优先级指数(RPN);RPN作为失效模式的排名数值,最高的RPN要求采取最紧迫的改进行动;防错法、波卡纠偏法等方法经常用于具备最高RPN失效模式的改进行动中。图5为F-22前机身自动化钻孔中进行的一个FMEA案例。在实际使用中,FMEA对于过程的改进和设计的改进都有很大的积极作用。因此,FMEA是提升过程质量和产品质量经常会用到的工具。

2 结束语

制造成熟度管理要求实践精益六西格玛的思想和手段,而实施精益六西格玛管理是提升制造成熟度的重要基础。从洛克希德·马丁公司对企业自身的精益六西格玛管理规定可以看出,F-22的前机身自动化钻孔工艺的改进不仅是美国国防部的要求,也是企业自身的意愿。实际上,提升

过程能力、加强过程控制、持续过程改进应该成为制度,自发地贯彻在每个企业和每个项目中,而引入并实施制造成熟度管理对于实现现有质量管理体系与精益六西格玛管理的结合将是一个重要的契机。

AST

参考文献

- [1] Department of Defense.Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook[R].2012.
- [2] US Air Force. Manufacturing Development Guide[R]. 2010.
- [3] US Air Force.An Orientation to MRL & MRA[R]. 2006.
- [4] Department of Defense.DOD Continuous Process Improvement Transformation Guidebook[R]. 2006.5
- [5] Lockheed Martin.Lean Scorecard and Self-Assessment Tool[R]. 2007

作者简介

刘亚威(1982-) 男,硕士,助理研究员。从事精益六西格玛和技术成熟度研究。

Tel: 010-57827744

E-mail: 13246920@qq.com

Increasing Manufacturing Readiness by Using Lean Six-sigma Tools

LIU Yawei*

Institute of Aviation Technology, Development Research Center of China Aviation Industry, Beijing 100029, China..

Abstract: Manufacturing Readiness Management and Lean Six-sigma Management could supplement each other. US DOD are using lean six-sigma tools and combining it with the manufacturing readiness in the research on increasing program's manufacturing readiness. For instance, during the continuous process improvement, Lockheed Martin has used several six-sigma tools and increased the quality of the program and process, as well as manufacturing readiness in the aspect of manufacturing process control.

Key Words: manufacturing readiness; lean six-sigma; process control; F-22 automatic drilling process

Received: 2013-06-15; Accepted: 2013-07-20

* Corresponding author. Tel: 010-57827742 E-mail: 13246920@qq.com