

DB61

陕西省地方标准

DB 61/T 1222—2018

制造成熟度等级及评价准则

Manufacturing readiness levels and evaluation criteria

2018 – 12 – 26 发布

2019 – 01 – 26 实施

陕西省市场监督管理局

发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 等级划分 2

5 风险因素和子因素 5

6 评价准则 7

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由陕西航空工业管理局提出并归口。

本标准起草单位：中国航发西安动力控制科技有限公司。

本标准主要起草人：李莹、杜改梅、张鹏、姜雪涛、李光辉、韩晓光。

本标准由中国航发西安动力控制科技有限公司负责解释。

本标准首次发布。

联系信息如下：

单位：中国航发西安动力控制科技有限公司

电话：029—84675601

地址：陕西省西安市莲湖区大庆路750号

邮编：710077

制造成熟度等级及评价准则

1 范围

本标准规定了制造成熟度等级评价的术语和定义、等级划分、风险因素及评价准则。
本标准适用于产品、组件或零部件制造成熟度的评价。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GJB 3363—1998 生产性分析
- GJB 7688—2012 装备技术成熟度等级划分及定义
- GJB 8345—2015 装备制造成熟度等级划分及定义

3 术语和定义

GJB 3363—1998、GJB 7688—2012、GJB 8345—2015界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了GJB 3363—1998、GJB 8345—2015中的某些术语和定义。

3.1

技术成熟度 **technology readiness**
技术满足预期的产品应用目标的程度。

3.2

技术成熟度等级 **technology readiness levels, TRL**
用于衡量技术成熟程度的尺度。

3.3

制造成熟度 **manufacturing readiness**
产品制造（生产）能力满足预期生产目标的程度。

3.4

制造成熟度等级 **manufacturing readiness levels, MRL**
用于衡量制造成熟度的尺度。

3.5

制造成熟度评价 **manufacturing readiness evaluation**
是对产品或零部件、组件、制造工艺运用制造成熟度等级定义进行的结构性评估。

3.6

生产性 producibility

设计和生产规划若干特征或要素的综合，它能使设计的产品在符合质量和性能要求的前提下，按规定的产量，经过一系列权衡，以尽可能少的费用和最短的时间制造出来。

[GJB 3363—1998，定义3.1]

3.7

生产性分析 producibility analysis

在满足性能和生产要求的前提下，对备选的设计、材料、工艺和制造技术方案进行比较，以确定最经济地生产该产品用的制造工艺和材料。

[GJB 3363—1998，定义3.2]

3.8

生产相关环境 production relevant environment

模拟部分实际生产要素（如工艺、工装、设备、设施和人员等）的环境，用于验证工程研制所需试验样件数量、制造进度、质量和费用要求。

[GJB 8345—2015，定义3.3]

3.9

生产典型环境 production representative environment

采用主要实际生产要素（如工艺、工装、设备、设施和人员等）的环境，用于生产工程研制所需试验样件。

[GJB 8345—2015，定义3.4]

3.10

试生产环境 pilot line environment

采用全部实际生产要素（如工艺、工装、设备、设施和人员等）的环境，用于生产少量产品而验证小批量生产产品数量、制造进度、质量和费用要求。

[GJB 8345—2015，定义3.5]

4 等级划分

制造成熟度分为10个等级，等级定义、基本描述及基本条件见表1。

表1 等级定义、基本描述及基本条件

等级	定义	基本描述	基本条件
1	确认制造基本原理	制造成熟度的最低等级，开展基础性研究。	1) 重点进行基础性研究； 2) 提出研究方向并探索可能的实现途径。
2	明确制造概念	制造基本原理被用于定义制造概念，并开始进行应用性研究。	1) 明确制造概念； 2) 开展应用性研究，提出新的制造概念及其应用的广泛性； 3) 识别其中的新材料、新工艺，并开展理论性研究； 4) 完成制造可行性分析和制造风险识别； 5) 通过研究提出满足用户初步需求的制造途径。
3	论证制造概念的可行性	开展先期制造技术研究和开发，并通过实验进行基本制造概念验证。	1) 提出顶层工艺策划； 2) 通过分析或实验确认制造概念； 3) 初步论证影响生产性的关键工艺和关键物料。
4	具备在实验室环境下制造技术物化载体的能力	初步制造方案、制造工艺在实验室中得到验证、评价和确认。	1) 产品技术至少应达到技术成熟度4级； 2) 完成对设计方案的可生产性评价； 3) 确定初步制造方案； 4) 初步论证关键、重要特性以及与之相关的工艺、制造设备、生产设施、人员技能等要求； 5) 完成关键工艺调研和评估，细化工艺流程，识别流程变量，具备支持制造技术验证的工艺能力； 6) 提出攻关立项需求； 7) 确定成本目标，确认制造成本影响因素； 8) 确认制造技术开发的必要投资和产品研制的制造风险，制定风险降低计划。
5	具备在生产相关环境制造部件原型的能力	进行制造工艺开发，确认关键技术和关键部件且关键部件制造方案在生产相关环境得到了初步验证。	1) 产品技术至少应达到技术成熟度5级； 2) 初步评价工业基础能力，识别可能的配套厂家； 3) 完善关键、重要特性论证，并开展相应的生产性初步评价； 4) 关键制造技术被突破、关键特性/主要性能符合设计要求； 5) 初步论证工序能力要求； 6) 通过部件原型在生产相关环境下的制造，验证关键工艺、物料、制造设备、生产设施、人员技能，并提出开发需求； 7) 工艺攻关已实施； 8) 建立成本模型框架； 9) 评估制造风险并完善风险应对计划。
6	具备在生产相关环境下制造分系统或系统原型的能力	开发初始制造方法，关键制造工艺用于分系统或系统，生产制造方案在原型机生产相关环境得到了应用。	1) 产品技术至少应达到技术成熟度6级； 2) 完成转工程研制所需的工业基础能力评价； 3) 完成关键件、重要件（技术）的生产性评价； 4) 评估生产相关环境下生产产品的能力和质量（合格率），各项指标符合设计要求，完善工序能力要求论证； 5) 验证该阶段的关键制造工艺、物料、制造设备、生产设施、人员技能等并提出进一步的开发需求； 6) 分析制造成本因素；

表 1 （续）

等级	定义	基本描述	基本条件
			7) 识别制造周期较长的物料准备情况； 8) 完成制造风险评估和风险对应计划。
7	具备在生产典型环境下制造系统、分系统或部件的能力	制造工艺方案和方法在产品中得到验证和全面应用。	1) 产品技术至少应达到技术成熟度 7 级； 2) 基本完成详细设计，并完成可生产性评估； 3) 评估生产典型环境下生产产品的能力和质量（合格率），各项指标符合设计要求，持续完善工序能力要求论证； 4) 通过系统、分系统或部件在生产典型环境下的制造，验证制造工艺和方法（物料、工艺、设计方面的问题得到充分暴露并得到改进，物料、工艺路线、制造设备、生产设施、人员等固化，形成试生产制造方案并已进行完善）； 5) 已批准试生产所用的物料技术条件（产品规范）； 6) 确定初步的制造计划和质量目标； 7) 启动生产工装和专用试验检测设备的研制； 8) 完善成本模型到系统级，初步开展降低成本工作； 9) 完成供应商的供应能力和质量管理体系的评价； 10) 针对制造周期较长的物料，制定采购计划； 11) 细化制造风险评估和风险应对计划。
8	完成试生产，具备小批量生产的能力	工艺可控，具备产品小批量生产能力。	1) 产品技术至少应达到技术成熟度 7 级； 2) 完成转小批量生产所需的工业基础能力评价； 3) 完成全部的详细设计且设计更改相对稳定，对小批量生产影响较小； 4) 制造过程、质量、生产风险可控，工序能力指数达标； 5) 形成小批生产制造方案并进行完善，通过试生产线验证了所有工艺、物料、制造设备、生产设施、人员技能，能够满足小批量生产的进度要求； 6) 完成了生产工装和专用试验检测设备的研制； 7) 生产准备符合小批量生产需求，应进行生产能力评审； 8) 根据试生产结果，完善合格率与生产率的要求、成本模型； 9) 完成配套产品的首件鉴定和质量检验； 10) 建立满足小批量生产的供应链； 11) 完成外购件入厂检验和使用验证； 12) 确认对小批量生产无重大风险，具备小批量生产能力。
9	完成小批量生产，具备开始大批量生产的能力	设计稳定，小批量生产质量可控，制造工艺得到实际验证，通过生产定型。	1) 产品技术至少应达到技术成熟度 8 级； 2) 设计稳定固化，满足性能指标并通过使用考核； 3) 制造工艺稳定、受控并固化、细化和优化，制造工艺得到实际验证，合格率和生产率达标； 4) 物料、制造设备、生产设施、人员等的准备均满足大批量生产的要求； 5) 根据小批量生产数据的积累，完善成本模型，持续开展降低成本工作； 6) 小批量生产能力得到验证，通过生产定型； 7) 确认大批量生产无重大风险，具备大批量生产能力。

表 1（续）

等级	定义	基本描述	基本条件
10	完成大批量生产或稳定生产能力得到验证，贯彻实施精益生产	制造成熟度的最高等级，大批量生产质量稳定可靠，精益生产正在实施。	1) 产品技术应达到技术成熟度 9 级； 2) 产品满足性能要求以及改进升级、延寿等需求； 3) 制造工艺稳定、受控，能力达到要求的质量水平，合格率和生产率达标； 4) 物料、制造设备、生产设施、人员等的准备均满足大批量生产的要求； 5) 大批量生产质量可靠，生产能力得到验证； 6) 批生产成本满足要求； 7) 开展持续改进，精益生产方法已可实行。

5 风险因素和子因素

制造成熟度评价方法将所有的制造风险领域划分为10大制造风险因素，每个制造风险因素包括若干子因素，见表2。

表2 风险因素和子因素

风险因素	子因素	说 明
A-技术和工业基础	A.1-工业基础	整个产业的制造资源配置、总体水平及其对特定产品制造的支撑。即分析支持产品设计、研制、生产、使用、系统持续维护保障和最终报废（环境影响因素）的技术和工业基础能力。
	A.2-制造技术体系	整个产业的制造技术体系、总体水平及其对特定产品制造的支撑。
B-设计	B.1-可生产性	在符合性能要求和质量的前提下，低成本高效生产的设计与生产综合特性。
	B.2-设计成熟度	设计的详细程度、稳定性以及产品数据的完备性。
C-技术成熟度	C.1-技术成熟度	技术满足预期产品应用目标的程度。
D-物料	D.1-物料成熟度	物料特性满足产品生产要求的程度。即物料的产品定义完备性及使用验证充分性。物料可以是原材料、半成品、零部件、零组件、装置、分系统。
	D.2-可用(可获取)性	物料获取(自制或外购)满足产品制造和产量的用量以及采购准备要求的程度。
	D.3-供应链管理	物料供应链的完整性和各级供方供货的稳定性。即指需求预测、建立配套目录、签订协议、供货监控等。
	D.4-特殊物料处理	指特殊物料的识别、处理程序验证、问题的解决、加工、保存和管理。特殊物料指危险物料、保密物料、对保存期和储存环境有特殊要求的其它物料。
E-工艺	E.1-工艺建模仿真	指工艺流程、产品加工、装配建模仿真，即工艺和检测仿真模型的开发、验证和优化。
	E.2-工艺成熟度	指工艺验证充分性和工序能力。
	E.3-生产率和合格率	产品研制各阶段生产率和合格率的目标和达标情况。
F-制造设备与生产设施	F.1-制造设备	指工艺装备、专用试验与检测设备的研制及维护修理，分析关键制造设备（制造、供应商、销售和维修）的能力与潜在能力。
	F.2-生产设施	产品生产所需的生产设施的准备和使用验证。
G-制造人员	G.1-制造人员	评估支持制造计划所需人员的准备和人员的必备技能。

表 2 （续）

风险因素	子因素	说 明
H-制造管理	H.1-制造计划和进度安排	制造和生产过程中的制造计划、排产、风险控制和生产控制系统建设。
	H.2-物料准备计划	物料清单编制和物料计划系统建设，即物料准备计划的编制、实施等。
I-成本管理	I.1--成本模型	制造成本模型的构建和完善。
	I.2-成本分析	制造成本分析和降低制造成本工作实施。
	I.3-制造投资预算	制造成本的预算和目标成本相关风险的控制。
J-质量管理	J.1-生产过程质量管理	质量策划、质量保证和质量审核。
	J.2-产品质量管理	产品质量控制。
	J.3-供应商质量管理	供应商质量管理体系审核、现用产品的验收和质量监控。

6 评价准则

对于制造成熟度等级中的每一级，针对风险因素和子因素，给定每级的详细评价准则，贯穿产品全寿命周期。评价准则见表3。

表3 评价准则

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
A- 工业基础和制造技术体系	A.1- 工业基础	—	—	确认技术需求的潜在供应商。了解制造技术发展水平。	针对优选的设计方案、关键技术、部件或关键工艺等方面的需求，明确当前工业基础在关键技术、组件及关键工艺等方面的能力和差距（风险）。	通过对工业基础能力评估，明确能实现制造能力的可用制造资源。确认唯一供应商，开始制订风险降低计划。	完成转工程研制所需的工业基础能力评估，工业基础能力能支持新研产品的制造。确定选择唯一供应商合理性和必要性。确认潜在的备选制造资源。确定选择唯一供应商的风险应对计划。	分析支持生产的工业基础能力。评估（监控）唯一供应商货源的稳定性。开发潜在的备选供应商。工业能力足以支持小批量生产物料、设备设施、人员等固化，形成试生产制造方案并已进行完善。	完成转小批量生产所需的生产能力评估；工业基础能力足以支持小批量生产。具备必须的供应商。确认必要的多重供应商以减少成本和风险。	完成转大批量生产所需的生产能力评估；当前工业能力足以支持大批量生产的开始。物料、工装、设备设施、人员等的准备均满足大批量生产的要求。	完成工业基础能力评价，工业基础能力支持大批量生产。能满足产品更改、升级、产量波动和其它潜在制造的需求。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
A- 工业基础和制造技术体系	A.2- 制造技术体系	—	确认新的制造概念，明确了基本制造方案。	通过实验、建模仿真，确认制造技术概念。	确认制造方法和先进制造技术需求。初样/试样研制的制造风险已经确认，风险降低计划已制定。	启动所需的制造技术开发计划。	制造技术开发计划继续执行。并在生产相关环境下验证所需的制造技术的解决方案。	制造技术开发计划继续执行，并在生产典型环境下验证制造技术的解决方案。	主要的制造技术开发结束，改进计划继续执行。并在试生产环境中验证所需的制造技术的解决方案。	用于大批量生产的制造技术流程改进计划启动。	持续开展制造技术的流程改进工作。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分 析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生 产	大批量生产
B- 设 计	B. 1- 可 生产性	—	完成了 制造可 行性分 析和制 造风险 识别。	通过对 物料、工 艺的试 验、建模 仿真，对 设计方 案的制 造可行 性进行 了评价。	完成设计方 案的生产性 和制造性初 始评估，结果 要在设计方 案优选中考 虑并要在技 术开发策略 的关键、重要 件（技术）中 反映。	启动关键、重要 件（技术）与零 部件的可生产 性和可制造性 评估。 在优化设计过 程中要考虑制 造工艺和工业 基础能力约束 条件。 通过测试和检 验，评估制造工 艺在生产过程 中的测试和验 证能力及其对 产品使用与保 障的影响。	完成关键、重要件 （技术）的可生产 性评估以及可生产 性与性能指标等权 衡分析，作为各类 研制计划、关键技 术攻关计划的完善 及产品试生产准备 的依据。针对制造 工艺和工业基础能 力约束条件进行初 步设计方案评估， 为方案冻结准备进 入详细设计而提供 意见。 启动生产性提升工 作，如：面向制造 的设计。	根据关键设计特征 和相关制造工艺能 力，完成详细的可生 产性与性能指标等 权衡分析。 在系统优化集成过 程中，持续开展可生 产性提升工作。 需要时，再次评估制 造工艺的测试和验 证能力，以及验证其 对产品使用与保障 的可能影响。	实施可生产性的提 升措施。并解决了 当前存在的有关生 产性问题，对小批 量生产无重大风 险。	分析生产性提 升措施在小批 量生产过程中的 实施效能。 解决了小批量 生产中发现的 可生产性问题 （风险），对 大批量生产无 重大风险。	在大批量生 产中验证设 计的可生产 性提升措 施。 持续进行工 艺方面的可 生产性提升 工作。 针对产品更 改、升级、 供应商减少 与物料缺乏 和其它改变 均进行了可 生产性方面 评估。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
B- 设计	B. 2- 设计成熟度	确认制造研究的方向和可能实现的途径。	确认新制造概念应用范围。提出了广泛性的技术要求,用于指导制造概念的选择。	确认产品的顶层性能要求。基于实验结果对多个设计方案进行权衡。评估产品全寿命周期和技术需求。	在初步研制计划中提出了制造能力建设和产品在全寿命周期制造风险管理的需求。提出了优选设计方案的关键技术指标和性能参数,进行初始技术评审、制造风险分析。提出满足使用能力需求的产品特征和度量方法。识别优选设计方案才产品尺寸、配合、功能的约束条件以及制造能力。	向下分解分配产品的顶层性能指标,分解分配结果的开展(明确了较低水平的性能指标要求)。考虑产品全寿命周期的因素,确认所有关键、重要(件)技术。初步开展关键、重要特性评价。发布部件原型制造所需的产品数据。产品在工厂试验条件下进行了试验验证。	确定产品技术要求的正式详细分解分配,其定义的详细程度能支持冻结设计方案的技术评审。发放系统或分系统原型制造所需的所有产品数据,完成关键件、重要件原型的制造。初步定义关键、重要特性,并制定风险应对计划。	充分定义产品物理和功能特性,即使设计变更工作量很大,也足以支持开展详细设计评审。应进行关键设计评审和完成产品设计定型准备工作,发布部件制造所需的所有产品数据。潜在的关键特征风险问题已经确认并且风险降低计划已经就绪。	完成产品设计,设计变更量降低且对小批量生产的影响很小。发放产品制造所需的所有产品数据;在试生产环境中验证了关键、重要特性的可实现性。	产品主要设计特征和技术状态固化,设计变更量很少。通过小批量生产产品的使用测试,验证了产品设计。完成物理特性评审或生产鉴定;完成技术文件与状态的一致性检查,所有关键、重要特性在小批量生产中都控制在合适的质量水平。	产品设计稳定,设计更改极少,只限于持续改进或改进落后设计时产生的改变。所有关键、重要特征在大批量生产中都控制在合适的质量水平。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
D- 物料	D.1- 物料成熟度	识别需要开展研究的物料属性，大致确定材料的应用范围。	预测物料属性和特性。提出材料的基本元素组成；描述材料的基本结构、应具备的基本性能；通过严密分析确认基本原理可行。	通过实验，对物料的属性进行验证和评估，并判断制造性可行性（材料加工的工艺性）。	在实验室环境中完成预使用物料的研发。	在生产相关环境中完成所有物料的研发或物料在类似的项目中已有应用。初步形成材料标准和工艺规范，阐述了材料的常见缺陷及其对材料性能的影响。开展物料的成熟化工作，明确技术验证过程可能存在的新材料研制风险。	通过关键技术的演示样件，验证物料的成熟度。编制物料的技术标准（初稿），确定物料的主要属性。	物料的成熟度达到试生产要求。完成材料工艺稳定性研究和批次稳定性研究，生产中可能出现的问题已识别且主要的问题已得到解决，完成了材料工艺优化研究。批准了材料的技术标准，材料典型制件的技术规范、工艺说明书、工艺规程通过评审。	在研制阶段提供了物料，对物料进行验证、鉴定，确证足以支持小批量生产的需求。物料标准和制备工艺规范很少更改。	在小批量生产中，物料标准和制备工艺规范不再更改并按照物料标准的要求控制所需物料的生产物料/制件。对物料进行验证、鉴定，证明物料制件生产工艺达到批生产要求，设备具备批生产能力，可满足产品大批量生产需求。	物料和制备工艺技术在实际使用中得到验证，物料标准和制备工艺规范满足大批量生产要求并按照物料规范的要求控制所需物料的生产。物料具备批量稳定生产能力。建立物料/制件性能和工艺数据库。

表3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
D- 物料	D.2- 可用（可获取）性	—	评估物料的可用（获取）性。	初步确认物料需求扩充带来的问题。	确认所有难获取（购买）、难加工或危险物料的准备周期。评估物料的数量和准备周期。	在部件原型制造中，解决物料可获取（购买）问题。确认所有物料的重大风险。启动解决材料需求扩充问题的计划。	考虑工程研制阶段物料可获取（购买）问题。确认准备周期长的物料和需要控制的环节。确认潜在的物料货源减少与物料短缺的风险评估。	解决工程研制阶段物料可用性问题。考虑小批量生产物料可获取（购买）问题。确认/计划小批量生产中准备周期长的采购项目并制定采购计划。确定物料货源减少与物料短缺的应对原则。	物料可用性问题不会对小批量生产造成重大风险。启动小批量生产中准备周期长的采购项目。关注大批量生产中所需物料的可获取（购买）性问题。	可获取（购买）性问题不会对大批量生产造成重大风险。启动大批量生产中准备周期长的采购项目。	项目处于大批量生产阶段，不存在材料可获取（购买）问题。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
D- 物料	D.3- 供应链管理			初步评估潜在的物料供应能力。	完成潜在供应链上各供应商的调研。	识别并评价可以支撑部件原型制造的供应商。	更新产品寿命期内的物料供应要求。 更新关键配套供应商目录。 提出工程研制阶段的物料供应计划，作为工程研制阶段的外协合同签订的依据之一。	确定有效的供应链管理流程。 完成一级供应商的全面评估。 制定需求预测指标的建立计划。	完成关键的二级供应商的全面评估。 细化供应链管理流程并检查落实。 对供应商满足项目要求含更改要求进行符合性确认。 更新需求预测指标的建立计划，需求预测指标可用于小批量生产、大批量生产供应链管理。 供应链稳定且足以支持小批量生产。	与可靠的供应商签订长期供应协议。 建立适宜的主要供应商供货监控指标，并用于风险控制。 根据适宜的需求预测指标开展供应链管理。 供应链稳定且足以支持大批量生产。	供应链能够支持大批量生产的要求。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
D- 物 料	D. 4- 特 殊 物 料 处 理	—	初步评价物 料的潜在强 制性要求和 特殊处理注 意事项。	确 认 特 殊 物 料 清 单。 初 步 的 特 殊 处 理 方 法 在 实 验 室 中 得 到 应 用。 评 价 特 殊 处 理 注 意 事 项。	更新完善特殊 物料清单。 特殊处理方法 在实验室中得 到应用。 提出特殊处理 要求。	特殊处理方法 在生产相关环 境下得到应 用。 全面识别特殊 处理要求的不足。 在实验室环境 验证新型特殊 处理工艺。	特殊处理方法 在生产相关环 境下得到应用。 制定完善特殊 处理要求的计 划。	特殊处理方法 在生产典型环 境下得到应用。 制定特殊处理 方法，并在试生 产作业指导书 中标明。	特殊处理方法在 试生产环境下得 到应用。 特殊处理方法在 工程研制或技术 攻关项目中得到 验证。 特殊处理问题对 小批量生产不会 造成重大风险。 所有特殊处理的 作业指导书均包 含特殊处理规定。	特殊处理方法在 小批量生产环境 下得到应用。 在小批量生产中 验证特殊处理方 法。 特殊处理问题对 大批量生产不会 造成重大风险。	在大批量生产 中有效实施特 殊处理方法。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
E- 工 艺	E.1- 工 艺建模 仿真	—	如果适用， 开发初步的 仿真模型。	基 于 顶 层 的 工 艺 流 程 图，识别 可 行 的 制 造 概 念 或 生 产 性 要 求。 可 能 具 备 有 限 功 能 的 实 验 模 型 已 经 在 实 验 室 环 境 下 开 发 出 来。	识别工艺流程 或产品加工装 配的建模与仿 真方法。	开发部件级的 初步仿真模型 （产品或工 艺）并用于确 定部件的约束 条件（瓶颈）。	开发系统或分 系统的初步仿 真模型并用于 确定产品的约 束条件（瓶颈）。	通过产品级的 仿真模型确定 产品制造的约 束条件（瓶颈）， 并明确优化改 进途径（内容）。	在试生产中验证 产品级仿真模型。 根据仿真结果改 进优化工艺，并确 定可满足的小批 量生产要求。	在小批量生产中 验证产品级仿真 模型，仿真结果 除用于支持小批 量生产管理，以 及确定可满足的 大批量生产要 求。	在大批量生产 中验证产品级 仿真模型，仿 真结果用于支 持大批量生产 管理。

表3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
E- 工 艺	E. 2- 工 艺成熟 度	—	识 别 原 材 料、工艺方 法	编 制 顶 层 的 工 艺 流 程 或 工 艺 文件。 通 过 实 验 确 认 关 键 制 造工艺。	完成确定当前 关键工艺水平 现状的调研。	在类似的生产 过程中评价工 艺的成熟度。 识别试生产、 小批量生产和 大批量生产的 工序能力要 求。	在生产相关环 境验证关键工 艺。 开始收集或估 算产品原型机 制造过程中的 工序能力指数 并优化工序能 力要求。	在生产典型环 境验证工艺。 持续收集或估 算工序能力指 数并优化工序 能力要求。	在产品试生产环 境中验证小批量 生产所需工艺。 试生产工序能力 指数达标。 根据试生产工序 能力指数，优化小 批量生产、大批量 生产的工序能力 要求。	制造工艺稳定、 可控，并且满足 小批量生产要 求。 开展敏感性分析 实验，从而反映 制造工艺变化对 大批量生产的影 响，以及其持续 改进的影响和潜 力。	制 造 工 艺 稳 定、可控，并 且满足大批量 生产要求。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
E- 工 艺	E. 3- 生 产率和 合格率	—	—	基 于 实 验 和 当 前 工 艺 水 平 初 步 预 测 产 品 的 生 产 率 和 合 格 率。	对初步确定采 用的工艺, 评估 产品是生产率 和合格率, 且评 估结果应用在 备选方案分析 中	制定试生产、 批生产(小、 大)的目标生 产率和合格 率。 确认产品可能 存在的生产率 和合格率的问题。 制定、启动生 产率和合格率 改进计划。	在生产相关环 境下针对目标 评估生产率和 合格率, 结果在 改进计划中反 馈。	在生产典型环 境下针对试生 产目标评估生 产率和合格率, 结果在改进计 划中反馈。	实现试生产的生 产率和合格率目 标。 根据试生产结果, 优化小批量生产 开始所需的生产 率和合格率。 生产率和合格率 改进计划正在进 行更新。	实现小批量生产 率和合格率目 标。 根据小批量生产 结果, 优化大批 量生产开始所需 的生产率。 持续开展合格率 提成工作。	实现大批量生 产的生产率和 合格率目标。 持续开展合格 率提成工作。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
F- 制造设备与生产设施	F.1- 制造设备	—	—	—	在备选方案分析中考虑工艺装备、生产设备、专用试验设备、检测设备的要求。	确认工艺装备、生产设备、专用试验设备、检测设备的要求，制定了相应的准备计划。	在生产相关环境中验证工艺装备、生产设备、专用试验设备、检测设备的方案。进一步明确工艺装备、生产设备、专用试验设备、检测设备技术要求。	开展工艺装备、生产设备、专用试验设备、检测设备的研制。制定生产设备维修原则。	在试生产环境中验证所有工艺装备、生产设备、专用试验设备、检测设备，并确认小批量生产的要求。在试生产环境中验证生产设备的维修。	在小批量生产环境中验证所有工艺装备、生产设备、专用试验设备、检测设备，并确认大批量生产的要求。在小批量生产环境中验证生产设备的维修。	已验证工艺装备、生产设备、专用试验设备、检测设备就绪，能够保障大批量生产。按计划进定期进行生产设备的维修。
	F.2- 生产设施	—	开始设备选型研究。	确认生产设施需求/要求。	在备选方案分析中评估现用生产设施可用性。	确认产品试制所需的生产设施并制定相应的准备计划。	确认试生产所需的生产设施并制定相应的准备计划。	确认小批量生产的生产设施并制定相应的准备计划。	在试生产中验证生产设施，规划容量满足小批量生产的启动要求。制定向大批量生产转换的生产设施准备计划。	在小批量生产中验证生产设施，规划容量满足大批量生产的启动要求。	在大批量生产中验证生产设施，规划容量满足最大批量生产要求的产能。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
G- 制 造 人 员	G. 1- 制 造人员	—	—	确认新 的制造 技能。	确认所需的制 造技能，并在多 方案分析中评 价制造人员的 要求（技术和技 能）。 确定研究工艺 的可用人员，作 为备选方案分 析的一部分。	确认试制所需 的技能并制定 相应的开发计 划。 确定特殊技能 认证和培训要 求。	确认试生产所 需员工的要求 （数量和具备 的技能），并初 步制定相应的 开发计划。 制造人员具备 在生产相关环 境中工作的技 能。	确认试生产所 需人员的需求 （数量和具备 的技能），并完 善相应的开发 计划。不仅满足 试生产需求同 时考虑满足小 批量生产的需 求。 在生产典型环 境中对试生产 所需人员进行 培训。	确认小批量生 产所需人员的 需求（数量和 具备的技能）， 并完善相应的 开发计划。不 仅满足小批量 生产需求同时 考虑满足大批 量生产的需求。 在试生产环境 中对小批量生 产所需人员进 行培训。	小批量生产人 员满足需求， 同时 实施相应的开 发计划，从而 满足大批量生 产的要求。	大批量生产人 员满足需求。 考虑人员流失 缩减，采取必 要措施维持足 够的制造技 能。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
H- 制造管理	H. 1- 制造 / 生产计划和进度安排	—	—	—	初步制定制造 / 生产活动的总图安排原则。确定试制进度风险的对于措施并纳入产品的初步方案。有效的生产控制系统已经就绪，以保障初样 / 试样研制生产。	根据首选方案更新完善制造活动的总体按原则。启动试制进度风险的对应工作。	初步确定生产组织模式。与制造有关的所有系统设计都包含在产品网络计划中。确定试生产或技术攻关项目制造风险的对用措施。明确了供应链中生产周期较长的部件和需要控制的环节。	提出初步的制造计划，并纳入产品网络计划中。制造风险被纳入到风险降低计划中。编制生产计划初稿。有效的生产控制系统已就绪，以保障试生产。	根据小批量生产需求，更新生产计划。根据批准的风险降低计划，识别和评估所有关键制造风险。编制生产计划。有效的生产控制系统已经就绪，以保障小批量生产。	根据大批量生产需求，更新生产计划。跟踪对应的所有制造风险。具有效的生产控制系统，以保障大批量生产。	降低所有制造风险。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
H- 制 造 管 理	H. 2- 物 料 准 备 计 划	—	—	—	根据相关生产准备周期提出产品所需物料清单并估算各零部件的制造周期。	产品所需物料清单准确，并结合考虑试生产、小批量生产和大批量生产的生产考虑因素，开展产品制造或外购工作评估。确认生产准备周期和其它风险。	确认主要物料的获取方式（自制或外购），并确认物料供应风险，制定风险降低计划。启动物料 BOM（产品所需物料清单）编制工作。	完成试生产的物料获取方式（自制或外购）及物料 BOM 清单（产品所需物料清单）的编制。制定试生产的物料计划。	其次小批量生产的物料获取方式（自制或外购）及物料 BOM 清单（产品所需物料清单）的编制。制定小批量生产的物料计划。	完成大批量生产的物料获取方式（自制或外购）及完成物料 BOM 清单（产品所需物料清单）的编制。制定大批量生产的物料计划。	在批量生产时验证物料计划系统。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
I- 成本 管理	I.1- 成本模型		定义生产成本模型的构建方法。	确 认 初 始 成 本 目 标 和 风 险。 开 发 基 于 顶 层 工 艺 流 程 图 的 成 本 模 型。 基 于 实 验 建 立 新 流 程 环 节 和 物 料 的 成 本 模 型。	确认关键制造、物料和特殊要求的成本影响因素。 量化成本影响因素中的不确定性。 提出基于详细工艺流程、具有流程变量的成本模型。	根据生产相关环境中的部件原型制造或仿真结果，建立端对端的成本模型。（成本模型包括必须的各种生产约束条） 建立包括物料、人力、设备、工艺装备、测量、试验设备等真实的成本模型。	成本模型随设计要求、物料技术要求、研制计划，系统/分系统仿真和生产相关的原型制造验证结果进行更新。	成本模型随生产典型环境下系统/分系统的制造结果、以及工厂生产布局与设计及解决技术淘汰方案进行更新。	成本模型随试生产的结果进行更新。	成本模型根据小批量生产结果进行更新。	按照实际的大批量生产成本设计验证成本模型。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
I- 成本管理	I. 2- 成本分析	确 认 潜 在 的 制 造 成 本。	确认成本的 基本构成。	开展敏 感性分 析以定 义成本 因素和 生产制 造原则。	评估生产性成 本风险。 备选方案选择 时，考虑初始成 本模型。	利用原型部件 实际数据进行 成本分析，以 确保目标成本 可实现。 将成本模型应 用于设计、工 艺、质量等各 方面的决策。	利用系统/分系 统原型实际数 据进行成本分 析，以确保目标 成本可实现。 将成本目标分 配到各分系统。 制定成本降低 和规避原则。 提出“应计成 本”模型中的制 造成本因素。	汇总统计系统/ 分系统级的制 造成本数据，并 与目标成本进 行对比分析。 成本估算的结 果可支撑设计 更改申请和详 细的制造的权 衡分析。 初步开展成本 降低工作。 完善“应计成 本”模型中的制 造成本因素。	利用试生产的实 际数据进行成本 分析，以确保目标 成本可实现。 制造成本分析机 构可支撑技术要 求更改或技术状 态的变更。 持续开展成本降 低工作。 完善“应计成本” 模型中的制造成 本因素。	达到小批量生产 成本目标，利用 实际数据分析产 品批量和工艺改 进对生产的影 响； 持续开展成本降 低工作。 分析对生产率有 直接影响的劳动 效率，并识别无 效内容，并制定 适宜的应对计 划。	满足大批量生 产目标，持续 开展成本降低 工作。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
I- 成本管理	I.3- 制造投资预算	确 认 潜 在 的 投 资 渠 道。	合 理 制 定 达 到 MRL3 的 成本预算。	合 理 制 定 达 到 MRL4 的 成本预算。	合 理 制 定 达 到 MRL5 的 成 本 预 算，其中包含生 产相关环境的 设备投资费用。 确 认 降 低 成 本 的 制 造 技 术 计 划。 掌 握 该 等 级 的 所 有 典 型 制 造 风 险，制 定 并 批 准 风 险 对 应 计 划。	合 理 制 定 达 到 MRL6 的 成 本 预 算。 掌 握 该 等 级 的 所 有 典 型 制 造 风 险，制 定 并 批 准 风 险 对 应 计 划。	合 理 制 定 达 到 MRL7 的 成 本 预 算，其中包含生 产典型环境和 试生产环境的 设备投资费用。 掌 握 该 等 级 的 所 有 典 型 制 造 风 险，制 定 并 批 准 风 险 对 应 计 划。	合 理 制 定 达 到 MRL8 的 成 本 预 算。 掌 握 该 等 级 的 所 有 典 型 制 造 风 险，制 定 并 批 准 风 险 对 应 计 划。	合 理 制 定 达 到 MRL9 的 成 本 预 算，其中包含小 批量生产和大批 量生产的投资费 用。 掌 握 该 等 级 的 所 有 典 型 制 造 风 险，制 定 并 批 准 风 险 对 应 计 划。	合 理 制 定 大 批 量 生 产 的 成 本 预 算。 掌 握 该 等 级 的 所 有 典 型 制 造 风 险，制 定 并 批 准 风 险 对 应 计 划。	生 产 预 算 足 以 支 持 项 目 按 所 需 生 产 率 和 进 度 进 行 生 产。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
J- 质 量 管 理	J.1- 生 产过程 质量管 理	—	—	—	制定质量原则， 并纳入产品初 步方案、产品研 制计划。	制定质量策划 方案，方案反 映产品关键、 重要特性的识 别活动。	制定了质量保 证大纲和建立 质量管理体系。 质量水平满足 研制需要。 确认质量风险 及有关衡量标 准，初步制定了 应对计划。	确认质量目标。 质量管理体系 的要求符合国 家标准或国家 军用标准（适用 军用产品）的要 求。 完善质量保证 大纲。	完善质量保证大 纲，明确监控保 证大纲实施的质 量控制人员。 根据试生产结果 评估质量目标，评 估结果用于持续 改进。	质量目标在小批 量生产中得以验 证。 持续进行质量改 进。 开展常规的质量 审核。	质量目标在大 批量生产中得 以验证。 持续进行质量 改进。 开展适宜的质 量统计工作。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
J- 质 量 管 理	J. 2- 产 品 质 量 管 理	—	—	—	制定产品检验 验收原则，并纳 入产品初步方 案、产品研制计 划。	识别部件原型 的质量统计控 制、过程检验、 出厂检验、检 验验收等程序 中的 职 责 分 工。	明确关键、重要 特性质量管理 方法。 明确工程样件 过程检验、出厂 检验、检验验收 的初步要求。 识别产品原型 检测、检验验收 的合适程序。	收集和分析生 产典型环境中 的质量数据，用 于完善质量改 进计划。 制定关键、重要 特性的控制计 划。 开展工程样件 检验检测计划 的制定。 产品质量基本 稳定但有提高 的需求。	关键、重要特性 质量受控。 测试和符合性 检测流程受控。 控制适宜的建 设和测量活动。 试生产数据符 合产品所有关 键、重要特性 的要求。 完成检验检测 计划的制定并 在试生产样件 中得以落实。	小批量生产数 据验证了所有 关键、重要特 性的制造工 艺流程。 用于大批量生 产的、对产品 起关键、重要 作用的制造工 艺流程受控。	所有关键、重 要特性的质量 达标且受控， 且持续开展质 量持续改进工 作。

表 3 （续）

因素	子因素	MRL1	MRL2	MRL3	MRL4	MRL5	MRL6	MRL7	MRL8	MRL9	MRL10
技术成熟度		—	—	—	至少 TRL4	至少 TRL5	至少 TRL6	至少 TRL7	至少 TRL7	至少 TRL8	至少 TRL9
产品研制阶段		产品方案分析前			产品方案分析	技术开发		工程与制造研制		小批量初始生产	大批量生产
J- 质 量 管 理	J. 3- 供 应商质 量管理	—	—	—	识别所有潜在 供应商的质量 保证能力和质 量风险。	识别所有潜在 供应商的质量 保证能力和质 量风险。	针对供应商质 量管理体系不 足，提出改进措 施。	提出重要供应 商质量管理体系 的审核原则。 重要供应商质 量管理体系应 符合相应的国 家标准或国家 军用标准（适用 军用产品）。 通过代表性生 产样件，收集和 分析供应商的 质量数据。	供应商具体项目 质量管理体系完 备。 供应商配套产品 已完成了首件鉴 定和质量检验。 通过检验验收，供 应商配套产品的 质量满足小批量 生产启动的需求。 编制二级或更低 级供应商的质量 审核计划并由一 级供应商实施。	供应商对产品关 键、专业特性质 量管理和关键工 艺的管理达到了 大批量生产的需求。 通过检验验收， 供应商配套产品 的质量受控且满 足大批量生产启 动的需求。 对二级或更低级 供应商实施必要 的质量审核。确 保产品与规范性 文件的一致性。	质量数据表明 各级供应商对 关键、专业特 性和关键工艺 管 理 符 合 要 求。 配套产品在所 有关键领域均 达到规定的质 量水平。 对二级或更低 级供应商实施 必要的质量审 核。确保产品 与规范性文件 的一致性。