

团 体 标 准

T/GITIF 009—2022

元器件制造业制造成熟度评价指南

**Guidelines of manufacturing readiness assessment for components
manufacturing industry**

2022-3-4 发布

2022-3-7 实施

广东省电子信息联合会 发布

目 次

前言	IV
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	3
5 评价原则	3
6 制造成熟度分级	3
7 制造成熟度风险要素	5
8 制造成熟度分级、技术要求和基本条件	7
9 制造成熟度评价流程和要点	24
10 制造成熟度等级判定方法	25
11 企业制造成熟度水平综合评价	25
12 应用示例	28
附录 A（资料性）元器件产品 5 级制造成熟度评价示例	29
附录 B（资料性）制造成熟度报告框架	39
参考文献	42
表 1	3
表 2	6
表 3	7
表 4	9
表 5	10
表 6	11
表 7	13
表 8	15
表 9	17
表 10	19
表 11	22
表 12	25
表 13	25

T/GITIF 009—2022

表 14·····	26
表 15·····	27
表 16·····	27
表 17·····	27
表附录 A.1·····	29
表附录 B.1·····	40

全国团体标准信息平台

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的其他内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由工业和信息化部电子第五研究所提出并归口。

本文件主要起草单位：工业和信息化部电子第五研究所、广东省电子信息联合会、宁波凯普电子有限公司、广东南方宏明电子科技股份有限公司。

本文件主要起草人：王索、胡金波、郑煜酋、郑红、郑媛、王朝阳、周雅萍、赵俊斌、罗世勇。

本文件为首次发布。

引 言

制造业是一个国家经济的根基。我国制造业规模大、门类齐全、层次多样、高度集聚，然而与世界先进水平相比，我国制造业仍然大而不强，在自主创新能力、资源利用效率、产业结构水平、信息化程度、质量效益等方面差距明显，转型升级和跨越发展的任务紧迫而艰巨。

在产品的整个生命周期中，制造环节的主要功能是生产出合格的工业产品，创造产品的使用价值和附加价值，并最终作为商品出售满足社会需求。产品技术的不成熟、制造过程的不稳定、供应链的不可控等因素，使产品在研制过程、生产过程中存在各类风险。为此，美国一直投入大量的人力物力针对研制项目中的制造风险，研究制定了制造成熟度等级（MRL, Manufacturing Readiness Levels）标准，并不断予以修订和完善。

标准编写组通过对制造成熟度管理方法的不断跟踪和深入研究，结合国内外元器件行业典型企业的调研和实践经验总结，编写了本文件。

本文件通过建立制造成熟度模型，根据元器件的特征和管控要求，逐层分解、细化，明确了在每一等级下工艺过程设计的工作内容、使用的工具和控制方法、规范化的工作流程和相应的阶段输出等，提供了不同成熟度状况下产品设计、生产的管控要求及渐进式成长路径。

本文件可帮助企业针对元器件全生命周期制造能力以及相应制造风险进行步进式、精细化的衡量，及时发现和处理产品研发和产品制造中存在的风险，验证并促进新技术的成功应用，并以此保证质量、生产效率和成本控制达到最佳效果。

本文件能帮助企业找出差距，不断改进，提升元器件产品制造成熟度能力。

元器件制造业制造成熟度评价指南

1 范围

本文件规定了元器件产品制造成熟度的评价原则、制造成熟度分级、制造成熟度风险要素、制造成熟度技术要求和基本条件、制造成熟度评价流程和要点、制造成熟度等级判定方法、企业制造成熟度水平综合评价。

本文件适用于元器件产品制造成熟度能力的第三方评价及企业自我评价参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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级
- GJB 8346 装备制造成熟度评价程序
- DB61/T 1222-2018 制造成熟度等级及评价准则

3 术语和定义

GJB 3363-1998、GJB 7688-2012、GJB 8345-2015、GJB 8346 和 DB61/T 1222-2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

元器件制造成熟度 manufacturing readiness assessment for components manufacturing industry

元器件产品制造(生产)能力满足预期生产目标的程度。

[来源：GJB 8345—2015，3.1，有修改]

3.2

制造成熟度等级 manufacturing readiness levels (MRL)

用于衡量制造成熟度的尺度。

[来源：GJB 8345—2015，3.2，有修改]

3.3

制造成熟度评价 manufacturing readiness evaluation (MRA)

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。

[来源：DB61/T 1222-2018，3.5，有修改]

3.4

技术成熟度 technology readiness

技术满足预期的产品应用目标的程度。

[来源：GJB 7688—2012，3.1]

3.5

技术成熟度等级 technology readiness levels (TRL)

用于衡量技术成熟程度的尺度。

[来源：GJB 7688—2012，3.2]

3.6

制造性 manufacturability

在设计周期中考虑的一个特性，集中表现在过程能力、机床柔性或设施柔性，以及在所要求的成本和质量水平条件下一致性地生产的整体能力。

3.7

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。

[来源：GJB 3363—98，3.1]

3.8

关键制造要素 critical manufacturing element (CME)

指在结构、工艺、性能、成本、效率、可靠性方面对元器件研制、生产、应用有重大风险的材料，以及加工、装配、测试等元器件制造的关键过程。

3.9

实验室环境 laboratory environment

用于演示验证技术功能和性能的基本原理时的试验环境，该环境不能代表该技术在实际使用中遇到的真实环境。

[来源：GJB 7688—2012，3.5，有修改]

3.10

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品数量、制造进度、质量和费用要求。

[来源：GJB 8345—2015，3.3]

3.11

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品。

[来源：GJB 8345—2015，3.4]

3.12

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。

[来源：GJB 8345—2015，3.5，有修改]

3.13

原理样品 breadboard

用于在低逼真度的实验室环境下验证技术原理、主要功能和性能是否满足技术开发要求而研制的试验样品。

[来源：GJB 7688—2012，3.6，有修改]

3.14

演示样品 brassboard

用于在中逼真度的模拟使用环境下验证技术的功能和性能是否满足技术开发要求而研制的试验样品。

[来源：GJB 7688—2012，3.7，有修改]

3.15

工程样品 engineering prototype

在工程研制阶段，用于在高逼真度的典型使用环境下验证技术的功能、性能、质量等是否满足要求

而研制的试验样品。

[来源：GJB 7688—2012，3.8，有修改]

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

SPC, 即统计过程控制 (Statistical Process Control)。

TPM, 即全员生产维护 (Total Productive Maintenance)。

EHS, 即环境、健康、安全 (Environment Health Safety)。

WBS, 即工作分解结构 (Work Breakdown Structure)。

TBS, 即技术分解结构 (Techonology Breakdown Structure)。

BOM, 即物料清单 (Bill of Material)。

MRA, 即制造成熟度评价 (Manufacturing maturity evaluation)；

FRACAS, 即故障报告、分析和纠正措施系统 (Failure Report Analysis and Corrective Action System)。

FAIs, 即首件检验 (First Article Inspection)。

QMS, 即质量管理体系 (Quality Management System)。

5 评价原则

5.1 科学性

元器件产品制造成熟度评价方法从产品构思、样品制作到产品稳定量产的整个过程，将这些过程转化为制造成熟度 MRL1 级~10 级（依次逐级增强，具体见表 1），每个等级对 10 个大类，23 个小类风险要素（具体见表 2）进行分别的分析评价，结合风险要素和制造成熟度的等级评价，形成最终结论。评价方法注重数据详实，收集的证据具有代表性和广泛性。

5.2 规范性

评价流程覆盖所界定的产品形成的全生命周期，评价系统采用适宜的评价方法，遵循规范的流程，指标具有准确性和有效性。

5.3 适用性

元器件制造成熟度评价，以充分的调研和行业研究为基础，与产品的特点、企业管理实际和改进需求相适应。

6 制造成熟度分级

6.1 元器件产品制造成熟度共分为九个级别，MRL1 级~9 级，依次逐级增强。

6.2 各级别对应于相应的技术要求、工作内容和基本条件见表 1。

表 1 制造成熟度等级划分、定义及基本条件

等级	成熟度要求	评价内容	基本条件
1	明确制造需求	制造成熟度的初始级别，开展基础性研究。	(1) 根据需求，开展各项技术调研工作，完成制造需求说明。
2	明确制造概念	制造基本需求原理被用于定义制造概念，并开始进行广泛应用性研究。	(1) 按照需求说明，开展技术性研究工作，确定制造概念方案； (2) 识别其中的新材料、新技术、新工艺并明确其实现途径。

表 1 (续)

等级	成熟度要求	评价内容	基本条件
3	论证制造概念方案可行性	开展先期制造技术研究和开发,并通过分析建模、仿真或实验进行基本制造概念验证。	<ol style="list-style-type: none"> (1) 确定顶层工艺策划; (2) 初步论证影响生产性的关键技术、关键工艺和关键物料; (3) 通过分析或实验基本确认了制造概念方案。
4	在实验室环境下完成原理样品制造	初步制造方案、制造工艺在实验室中得到验证、评价和确认。	<ol style="list-style-type: none"> (1) 完成对设计方案的生产性初步评价; (2) 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; (3) 确定初步制造方案; (4) 完成关键工艺调研和评估,细化工艺流程,识别流程变量; (5) 初步确立成本目标并明确影响因素; (6) 初步评估制造风险并制定风险应对初步计划; (7) 技术成熟度:技术原理样品通过试验环境验证; (8) 提出制造技术开发需求计划。
5	在生产相关环境下完成演示样品制造,并通过典型使用环境的验证	完成初始制造工艺方法开发,生产制造方案在演示样品生产相关环境得到了应用,并通过典型使用环境的验证。	<ol style="list-style-type: none"> (1) 完成转工程研制所需的工业基础能力评价; (2) 完成关键件和关键技术的生产性评价; (3) 评估生产相关环境下的合格率和生产率,符合设计要求,完善工序能力要求论证; (4) 通过系统样品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、人员技能等生产要素并提出进一步开发需求; (5) 建立成本模型框架和分析制造成本因素; (6) 识别生产周期长的物料; (7) 完善制造风险评估和风险缓解计划; (8) 技术成熟度:演示样品通过典型使用环境验证。
6	在生产典型环境下完成工程样品制造,通过定型试验,满足设计状态	制造工艺方案和方法在生产典型环境下的工程样品制造中得到验证,通过了设计定型鉴定试验,达到最终的设计状态。	<ol style="list-style-type: none"> (1) 完成生产性评估工作,基本完成详细设计; (2) 评估生产典型环境下的合格率和生产率,持续完善工序能力要求论证; (3) 通过系统在生产典型环境下的工程样品制造,验证工艺; (4) 已批准试生产所用的物料技术条件(产品规范); (5) 启动生产工装和专用试验检测设备的研制; (6) 完善成本模型到系统级,初步开展成本降低工作; (7) 完成关键配套厂家的供应能力和质量管理体系评价; (8) 针对生产周期长的物料,制定合理的采购计划; (9) 确定初步的生产计划和质量目标; (10) 细化制造风险评估和风险环节计划; (11) 技术成熟度:工程样品通过定型试验验证。

表 1 (续)

等级	成熟度要求	评价内容	基本条件
7	完成试生产，生产能力得到验证	制造工艺可控，具备产品小批量生产能力。	(1) 完成转小批量生产所需的工业基础能力评价； (2) 完成全部详细设计且设计更改相对稳定，对小批量生产影响小； (3) 制造过程受控，工序能力指数达标； (4) 通过试生产，验证工艺、物料、制造设备、生产设施、人员技能，满足小批量生产要求； (5) 完成生产用工装和专用试验检测设备的研制； (6) 评审生产准备符合小批量生产需求； (7) 根据试生产结果，完善合格率与生产率要求、成本模型； (8) 完成配套产品的首件鉴定和质量检验； (9) 建立满足小批量生产的供应链； (10) 确认对小批量生产无重大风险； (11) 技术成熟度：产品通过试生产测试和试验，满足使用要求。
8	完成小批量生产，具备批量生产或稳定生产的能力	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) 设计稳定已固化，并通过使用考核； (2) 制造工艺稳定、受控并固化，合格率与生产率达标； (3) 物料、制造设备、生产设施、制造人员达到预定目标并满足大批量生产或稳定生产需求； (4) 根据小批量生产数据积累，完善成本模型，持续开展成本降低工作； (5) 确认对大批量生产或稳定生产无重大风险，具备大批量生产能力； (6) 技术成熟度：产品通过小批量测试和试验，满足使用要求。
9	实施精益生产，完成大批量生产验证	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) 产品满足性能要求及改进升级等需求； (2) 制造工艺稳定、受控，能力达到要求的质量水平，合格率与生产率达标； (3) 物料、制造设备、生产设施、制造人员符合大批量生产或稳定生产要求； (4) 成本满足目标要求； (5) 开展持续改进工作，建立精益生产体系并实施； (6) 技术成熟度：产品通过生产测试和试验，满足使用要求。

7 制造成熟度风险要素

7.1 按照元器件产品制造全生命周期风险发生的相关环节，制造成熟度风险要素分成 10 个大类（A、B、C、D、E、F、G、H、I、J），23 个小类，相应说明见表 2。

表2 制造成熟度风险要素

大类	小类	小类说明
A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础	整个产业的制造资源配置、总体水平及其对元器件产品制造的支撑。分析支撑产品全生命周期所需的国家工业基础能力，确保减少供应风险
	A.2—制造技术体系	整个产业的制造技术体系、总体水平及其对元器件产品制造的支撑。分析支撑产品全生命周期所需的国家制造技术能力，确保减少制造技术开发风险
B—设计	B.1—生产性	在符合性能要求和质量前提下，低成本高效生产的设计与生产规划的综合特征
	B.2—设计成熟度	设计工作进展和完成的程度，涉及设计的详细程度、稳定性以及产品数据的完备性
C—技术	C.1—技术成熟度	技术满足产品预期应用目标的程度
D—工艺	D.1—工艺建模仿真	指工艺流程，产品加工、装配的建模仿真，工艺包括制造过程、检验检测过程
	D.2—工艺成熟度	指工艺验证充分性和工序能力
	D.3—合格率与生产率	指合格率与生产率的目标、达标情况和提升工作
E—物料	E.1—物料成熟度	指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
	E.2—物料可获取性	物料获取（外购、或外包、自制）满足产品制造和产量的用量及采购准备要求的程度
	E.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、建立配套清单、签订协议、供货监控等
	E.4—特殊物料的处理	指特殊物料的识别、处理程序验证、问题解决、加工、保存和管理。特殊物料指危险物料、保密物料，以及对保存期、仓储环境等有特殊要求的物料
F—设备设施	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、售后维护）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、使用验证、维护
G—人员	G.1—制造人员	指制造人员（包括工程技术人员和生产工人）的数量满足情况和技能发展
H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	对制造计划与制造进度的控制
	H.2—物料准备计划	对物料的计划、跟踪、收发、存储、使用等各方面的监督与管理 and 呆滞料的预防处理工作

表 2 (续)

大类	小类	小类说明
I—质量管理	I.1—过程质量管理	对物料入仓后到成品入库前各阶段的生产活动的品质控制
	I.2—产品质量管理	为生产合格产品和提供顾客满意的服务和减少无效劳动而进行的控制
	I.3—供应商产品质量/质量管理	解决供应链上最主要的综合风险因素
J—成本与资金	J.1—成本模型	通过对成本项目的细化分析及成本影响动因的确定,结合实际设定细化的成本基准模型
	J.2—成本分析	指制造成本分析和成本缩减工作的实施对成本水平与构成的变动情况,系统研究影响成本升降的各因素及其变动的的原因,寻找降低成本的途径的分析
	J.3—制造投资预算	对企业的固定资产的购置、扩建、改造、更新等编制的预算

8 制造成熟度技术要求和基本条件

8.1 通则

制造成熟度进行评价时,应将制造成熟度分级(见表1)和制造成熟度风险要素(见表2)进行结合。

8.2 1级~9级成熟度条件

根据制造成熟度的不同等级,设置其风险要素对应的条件内容作为判定等级的依据,1级至9级成熟度条件分别见表3~表11。

表 3 1级制造成熟度条件

序号	1级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
1	A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础	识别当前工业基础能力的国际趋势
2		A.2—制造技术体系	识别制造科学技术的国际趋势(即概念、能力)
3	B—设计	B.1—设计生产性	提出技术变量和可生产性之间的因果关系假设
4		B.2—设计成熟度	识别当前的能力不足和差距
5	C—技术	C.1—技术成熟度	识别或发现元器件产品制造的基本原理
6	D—工艺	D.1—工艺建模仿真	识别支持制造和质量活动的建模和仿真方法/工具
7		D.2—工艺成熟度	提出关于工艺过程变量与过程稳定性和可重复性之间的因果关系假设
8		D.3—合格率与生产率	提出关于未来制造合格率和生产率的假设

表3 (续)

序号	1 级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
9	E—物料	E.1—物料成熟度	对新材料的性能和特性进行调查, 识别出需要进一步研究物料(可包括可制造性、质量等)
10		E.2—物料可获取性	已经在广泛的范围内(甚至全球范围)调查并确定了物料的可用性, 并对物料可能会出现过时、造源萎缩和材料短缺的趋势进行了研究
11		E.3—供应链管理	已经在广泛的范围内(甚至全球范围)调查并确定了关键、新物料供应链的能力和产能的趋势
12		E.4—特殊物料的处理	特殊物料已被识别, 了解其安全处理程序
13	F—设备设施	F.1—制造设备	开展先进的、适用的制造设备、工具、测试和检验设备调查
14		F.2—生产设施	已对现有设施的能力和潜在能力进行了调查
15	G—人员	G.1—制造人员	对支持制造和技术的制造技能开展调查
16	H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	生产管理需要综合考虑各有关因素(从原辅料、零配件进厂, 到各车间、各过程加工点的加工组装、装配、包装)进行调查, 将相关结果要在初期的生产计划制定中体现出来
17		H.2—物料准备计划	需要调查材料规划的先进性
18	I—质量管理	I.1—过程质量管理	质量管理需要考虑的各种因素(产品的耐用性、可靠性、安全性、维修性和经济性及 5M1E 的因素等)进行调查, 将相关结果要在初期的生产计划制定中体现出来
19		I.2—产品质量管理	调查计量的现状水平; 提出了关于技术参数和质量之间因果关系的假设
20		I.3—供应商产品质量/质量管理	调查供应商产品质量和质量管理体系的现状
21	J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模	评估技术应用对企业制造成本的影响(涉及到加价或降价)
22		J.2—成本分析	确定初始制造成本和质量成本
23		J.3—制造投资预算	制定潜在的制造投资策略

表 4 2 级制造成熟度条件

序号	2 级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
1	A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础	识别潜在的工业基础能力差距
2		A.2—制造技术体系	识别潜在的制造科学和技术差距
3	B—设计	B.1—设计生产性	开展技术变量和可生产性之间因果关系假设的研究，识别对可生产性有潜在影响的要素（即材料、工艺、能力、限制）
4		B.2—设计成熟度	分析评估解决制造能力差距的潜在解决方案的可行性
5	C—技术	C.1—技术成熟度	提出将基本原理应用于产品中的思想
6	D—工艺	D.1—工艺建模仿真	如果适用，开发初步的仿真和模型
7		D.2—工艺成熟度	研究并验证过程变量与过程稳定性和重复性之间的因果关系，并识别初始工艺方法
8		D.3—合格率与生产率	研究检验有关合格率与生产率的假设
9	E—物料	E.1—物料成熟度	根据研究，已预测了新材料性能对设计、应用、可制造性和质量的潜在影响
10		E.2—物料可获取性	评估物料可通过外购、或外包、自制等方式，满足产品制造和产量的用量及采购准备要求的程度，即评估物料的可获取性
11		E.3—供应链管理	已确定供应链的能力和潜在能力与要求之间的差距
12		E.4—特殊物料的处理	初步评价物料的潜在强制性要求和特殊处理重点关注事项；识别经过特殊处理的原材料和部件，并对其潜在的法律法规要求进行评估
13	F—设备设施	F.1—制造设备	确定了潜在的生产设备、工具、技术培训和工业工程等需求
14		F.2—生产设施	确定了对设施的能力和潜在能力要求
15	G—人员	G.1—制造人员	评估支持制造和技术的制造技能
16	H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	对生产管理的需求进行评估、分析和验证
17		H.2—物料准备计划	评估潜在材料和部件的初始可用性、交货期、处理和存储要求
18	I—质量管理	I.1—过程质量管理	对质量管理的需求进行评估、分析和验证
19		I.2—产品质量管理	研究及检验技术参数与质量之间因果关系的假设；确定对质量有潜在影响的要素(如材料、过程、能力、限制等)
20		I.3—供应商产品质量/质量管理	评估初步的供应商产品质量和质量管理体系

表 4 (续)

序号	2 级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
21	J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模	初步定义了成本建模的方法
22		J.2—成本分析	确定潜在的制造成本和质量成本驱动因素和企业可承受能力的差距
23		J.3—制造投资预算	计划/项目有合理的预算，通过实验可达到 MRL3 级别水平；估算确定制造投资预算，以支持缩小工业基础和制造能力差距的策略

表 5 3 级制造成熟度条件

序号	3 级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
1	A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础	识别产品制造系统潜在在配套厂商的工业基础能力
2		A.2—制造技术体系	识别制造技术需求，以解决制造概念的潜在制造能力差距
3	B—设计	B.1—生产性	通过实验、建模和仿真对设计方案涉及相关材料、工艺的可制造性和可生产性进行了评价
4		B.2—设计成熟度	定义和评价产品的顶层性能、生命周期和可靠性指标技术要求；开展基于实验和初始有效性度量的设计方案权衡
5	C—技术	C.1—技术成熟度	用解析分析方法和试验手段验证了关键的功能，或证明了技术方案的正确性
6	D—工艺	D.1—工艺建模仿真	利用建模和仿真识别产品概念的制造和质量差距
7		D.2—工艺成熟度	通过实验验证过程控制变量与过程稳定性和重复性之间的因果关系；确定关键过程控制变量，识别关键工艺
8		D.3—合格率与生产率	通过实验及当前工艺水平，初步预测产品的合格率与生产率
9	E—物料	E.1—物料成熟度	对物料的概念、可制造性和质量进行验证和评估，确认新材料对设计目的满足程度，从而判断制造可行性
10		E.2—物料可获取性	识别物料供应需求扩大所带来的问题
11		E.3—供应链管理	制定了供应链能力和产能缺口填补战略
12		E.4—特殊物料的处理	已确定 ESH 合规风险；提出特殊物料清单。有害物质若有替代品，对其替代品进行评估；初步的特殊处理程序在实验室中得到应用；评价特殊处理的关注事项

表 5 (续)

序号	3 级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
13	F—设备设施	F.1—制造设备	系统化制造过程的制造设备、工具、技术培训和工业工程要求等已经确定
14		F.2—生产设施	识别生产设施的特殊要求或需求，确定了设备能力和潜在能力与方案设计要求的差距
15	G—人员	G.1—制造人员	识别产品制造所需的制造技能，并评估制造人员制造技能差距
16	H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	系统识别了制造管理的要求
17		H.2—物料准备计划	系统地确定材料清单和部件清单；确定初始物料计划的要求(即可用性，交货时间，处理和存储)
18	I—质量管理	I.1—过程质量管理	体系中识别了质量管理要求
19		I.2—产品质量管理	通过实验、建模和仿真等手段系统评估质量要求(用户的要求、社会的环境保护等要求以及企业的内控指标)；确认初期产品的质量要求，评估质量风险和识别可能的质量问题；确认了检测的技术要求
20		I.3—供应商产品质量/质量管理	体系中识别了供应商产品质量和质量管理体系的要求
21	J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模	估算概念设计阶段的制造成本；建立了综合考虑了流程步骤和材料的影响因素的成本模型
22		J.2—成本分析	分析改进制造和质量成本动因、风险和发展策略(如从实验室到工厂的试验)；确定了减少潜在的成本和企业可承受能力的差距的填补策略
23		J.3—制造投资预算	合理制定计划和预算，以确保能实现 MRL 4 的目标；已经制定了初步的固定资产(厂房、设备等)的投资预算

表 6 4 级制造成熟度条件

序号	4级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
1	A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础	针对优选的设计方案、关键技术、关键工艺等方面需求，完成工业基础能力调查；在多方案分析中考虑工业基础能力的风险和问题
2		A.2—制造技术体系	定义制造技术开发计划，设计方案分析中考虑制造技术开发要求
3	B—设计	B.1—生产性	通过原理样品的研制完成设计方案的可生产性和可制造性初步评价，评价结果作为择优选择设计方案的依据之一；在产品设计方案的关键技术研发计划中，考虑可生产性和可制造性初步评价的结果
4		B.2—设计成熟度	在初步研制计划中提出了制造能力建立和产品寿命周期制造风险管理的需求；完成原理样品的设计方案，提出优选设计方案的初步关键性能参数；提出满足使用能力需求的产品特性、可靠性指标和度量方法
5	C—技术	C.1—技术成熟度	原理样品通过试验环境验证
6	D—工艺	D.1—工艺建模仿真	利用生产建模和仿真工具定义优选设计方案的制造和质量要求，并在多方案分析中考虑建模和仿真结果
7		D.2—工艺成熟度	完成关键工艺的现状调研
8		D.3—合格率与生产率	对拟采用的或类似工艺，评估其产品合格率与生产率，且评估结果用于多方案分析
9	E—物料	E.1—物料成熟度	在实验室环境中完成拟采用物料的研制
10		E.2—物料可获得性	识别所有难获取、难加工、危险的物料的生产提前期；估计所需物料的数量和生产提前期；估计了物料数量和交货时间；在设计方案的优选分析中考虑了首选材料解决方案的材料可用性风险和问题；针对识别出的可用性风险和问题已有缓解计划
11		E.3—供应链管理	完成对潜在供应链上各供应商的调查研究；在供应链的战略上已考虑了供应链能力和潜在能力分析的结果
12		E.4—特殊物料的处理	在实验室环境中，执行了特殊物料的处理程序，降低环境、安全和健康(ESH)合规风险；在实验室环境下，通过样品的制造，关注设计开发的变更，确认需要进一步明确或变更的特殊物料，完善特殊物料清单；更新后的危害材料清单，已对替代材料进行了评估；特殊处理程序或方法在实验室中得到应用；验证并评估特殊处理程序，完善特殊处理的要求

表6（续）

序号	4级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
13	F—设备设施	F.1—制造设备	在多方案分析中考虑了工具、特殊工艺装备、专用试验设备、特殊监视和测量设备的要求
14		F.2—生产设施	对产品开发 and 首选材料解决方案的生产设施的能力和可用性已进行了评估；在产品开发 and 首选材料解决方案中考虑了生产设施的能力和可用性，并确定了生产设施获得的首选方案；在采购战略和系统工程计划中含有具备能进行原型产品开发和首选材料解决方案所需的生产设施；确定了生产中的人因、工效学和安全要求(人员、工艺和设备)
15	G—人员	G.1—制造人员	确定优选设计方案所需的制造技能和人员需求（技术和生产作业），并通过原理样品的研制评价员工要求，在方案分析中考虑制造人员技能和数量需求要素；明确技能培训和开发要求，确保满足技术开发的人员技能需求
16	H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	制定了最佳材料解决方案的制造策略；在优选方案中考虑了制造策略在采购策略中体现了制造策略；工程计划中系统地体现了部件原型风险应对的工作
17		H.2—物料准备计划	在优选方案中制定并考虑了材料清单和部件清单，包括可用性、交货期、处理和存储要求
18	I—质量管理	I.1—过程质量管理	在优选方案中考虑并制定了最佳材料解决方案的质量策略；在系统工程计划和采购策略中体现质量策略
19		I.2—产品质量管理	检验和验收测试策略体现在产品质量要求和优选材料解决方案中；在优选方案中检验和验收测试策略考虑并体现在采购策略中；系统工程计划包含产品质量风险和问题应对计划
20		I.3—供应商产品质量/质量管理	根据潜在供应商（包括次级供应商）的产品质量能力，质量风险和可能的质量问题来确定首选的原料提供解决方案；定义了供应商产品质量管理体系的要求，并体现在采购策略中
21	J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模	根据预期的产量和优选的材料解决方案来细化成本预算；根据确定的成本动因(即过程参数、制造、材料和特殊要求)来更新成本模型；对成本影响因素的不确定性进行量化；成本模型能够支持优选方案和优选系统的审查
22		J.2—成本分析	为优选的材料解决方案，对生产能力和生命周期的成本风险和问题进行评估；初始成本分析对优选方案进行支撑；初始成本分析对优选系统的审查进行支撑
23		J.3—制造投资预算	为降低成本对制造技术预算进行整合；合理地预算计划，确保达到MRL5等级水平，其中包括生产相关设备的投资；了解所有未解决的MRL4风险和问题，并制定已批准的应对计划

表 7 5 级制造成熟度条件

序号	5 级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
1	A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础	针对配套厂家，完成转工程研制所需的工业基础能力评价，工业基础能力能支持新研产品的制造；确定选择唯一、单一和国外配套厂家的合理性；识别可能的备选配套厂家；制定风险应对计划，尽可能减少唯一、单一和国外配套厂家，以及技术过时的配套厂家的数量
2		A.2—制造技术体系	持续开发适用的、所需的制造技术，并在生产相关环境中验证制造技术的解决方案
3	B—设计	B.1—生产性	完成关键、重要件(技术)的生产性评价和生产性的初步权衡分析(性能与生产性)，相应评价与分析结果为产品研制计划、关键技术攻关计划等提供输入；根据制造工艺和工业基础能力的约束开展设计方案评价
4		B.2—设计成熟度	完成演示样品的设计方案改善，完善各类数据文件；各项性能参数通过验证，完成设计定型的准备工作
5	C—技术	C.1—技术成熟度	演示样品通过典型使用环境验证
6	D—工艺	D.1—工艺建模仿真	开发出演示样品的工艺或建模与仿真方法
7		D.2—工艺成熟度	在生产相关环境中验证关键工艺；开始收集或估算演示样品制造过程中的工序能力指数并优化工序能力要求
8		D.3—合格率与生产率	对照目标评估生产相关环境下的合格率与生产率，并根据评估结果完善合格率与生产率提升计划
9	E—物料	E.1—物料成熟度	通过关键技术的样品制造，验证物料的成熟程度。（评估物料成熟度时，可考虑物料在类似项目中已应用的情况）；编制物料的技术条件初稿，确定物料的主要属性；物料特性已充分验证，确保可以在与生产相关的环境中生产出产品
10		E.2—物料可获取性	考虑工程研制所需物料的可获取性；识别生产提前期长的物料；确定在产品生命周期中有可能被淘汰的物料等；对物料开展未来货源减少与物料短缺的风险评估
11		E.3—供应链管理	更新产品生命周期里的物料供应要求；关键供应商（含配套厂家）目录已更新；提出合适的物料供应合作计划，作为工程研制外协合同签订的依据之一
12		E.4—特殊物料的处理	对特殊物料的要求（含 EHS 要求）进行了说明并形成文件；特殊处理程序在生产相关环境中得到进一步应用；制定完善特殊处理要求的计划；对生产过程进行了物料储存和废料处理风险评估

表 7（续）

序号	5 级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
13	F—设备设施	F.1—制造设备	在生产相关环境中验证试制所需的工艺装备、专用试验与检测设备方案；进一步明确工艺装备、专用试验与检测设备的要求
14		F.2—生产设施	已确定满足试验生产线要求的生产设施；识别试生产所需的生产设施并制定相应的准备计划；在与生产相关的环境中，对制造人员、工艺和设备的人因和人机工程学要求进行了验证
15	G—人员	G.1—制造人员	制造技能开发计划满足员工在生产相关环境中工作的技能需要；识别试生产所需员工的要求(含人数和如特殊技能认证等的制造技能和培训要求)，并初步制定相应的开发计划
16	H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	在主计划中涵盖了所有与设计相关的制造环节；启动了降低风险的工作（例如：测试和交付排程）；识别了试验线导入技术的制造风险和问题，并且制定了应对方法
17	H—制造管理	H.2—物料准备计划	明确对试产、小批量生产和大批量生产的需求；已完成大多数物料的决策/购买；对试产、小批量生产和大批量生产的需求进行评估；已识别了物料风险和质量问题；识别了质量、交期、价格、售后服务、财务等方面的采购风险；已制定物料风险和质量问题的应对计划；创建了 BOM
18	I—质量管理	I.1—过程质量管理	识别关键特性，及时更新质量策略；初步建立了质量管理体系；已经识别了质量风险、问题；已经建立了度量标准；启动了改进计划
19		I.2—产品质量管理	确定验收流程的角色和责任；初步确定工程和生产所需设备的验收的要求；制定了关键特性管理方法；确定过程检查和最终检查的角色和责任；初步确定了过程检查及最终检查的要求；确定原型单元的统计过程控制的角色和责任；确定了原型设备的检查和验收测试程序
20		I.3—供应商产品质量/质量管理	识别了供应商基础质量能力和风险；识别了供应商产品质量管理体系的不足；确定了供应商基础质量改进措施；识别了下级供应商产品质量管理能力和风险；识别了次级供应商产品质量管理的不足；确定了次级供应商产品质量管理改进措施
21	J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模	完善基于生产环境中原型组件或模拟端到端的成本模型；实时更新了成本模型；成本模型涵盖了相关要素：例：原料，人工，设备，工装/专用实验设备/特殊检验设备，安装过程，良率/报废/返工，在制品，和能力/产能限制等。根据设计要求、原料规格、总体计划、仿真结果和生产相关数据等情况更新了成本模型

表 7（续）

序号	5级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
22	J—成本与资金	J.2—成本分析	在成本分析中包含了样品的实际成本，能够验证目标成本的可实现性；使用原料的数据进行成本分析，确保目标成本的可实现；决策的输入（例：设计、自制/购买选择、性能要求、过程能力要求、质量要求、关键特性、产量/速率要求和可变性控制要求等）体现在最新的成本模型中；成本目标分配到原料级别；制定了降低成本和风险规避的策略；识别了“应计成本”模式的制造成本影响因素
23		J.3—制造投资预算	项目已经更新了达到 MRL 6 等级水平的预算；有合理的预算计划，确保达到 MRL 5 等级水平；所有未解决的 MRL5 风险和问题都已了解，并已批准应对计划到位；预算涵盖了关键设计审查、对生产设备的资本投资

表 8 6级制造成熟度条件

序号	6级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
1	A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础	分析支持生产的工业基础能力；评估和监控唯一、单一和国外配套厂家的稳定性以及配套厂家的技术过时问题；开发必要的备选配套厂家
2		A.2—制造技术体系	持续开发所需的制造技术，并在生产典型环境中验证制造技术的解决方案
3	B—设计	B.1—生产性	根据关键的设计特性和相关工序能力，完成生产性的详细权衡分析
4		B.2—设计成熟度	工程样品通过产品设计定型试验，技术和性能指标达到要求；对定型试验中出现的问题进行分析，完成设计变更，技术状态固化；识别关键、重要制造工艺的潜在风险，并制定风险应对计划
5	C—技术	C.1—技术成熟度	工程样品通过设计定型试验
6	D—工艺	D.1—工艺建模仿真	依据定型试验结果，完成具体工艺或装配流程的建模与仿真方法的修正
7		D.2—工艺成熟度	在生产典型环境中验证工艺，完成工艺总方案的修订；持续收集或估算工序能力指数并优化工序能力要求
8		D.3—合格率与生产率	对照试生产目标，评估生产典型环境下的合格率与生产率，并根据评估结果完善合格率与生产率提升计划

表 8（续）

序号	6 级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
9	E—物料	E.1—物料成熟度	物料的成熟程度满足产品试生产要求；批准作为试生产技术依据的物料技术条件
10		E.2—物料可获取性	考虑小批量生产所需物料的可获取性；识别需提前较长时间采购的物料并实施相应的采购计划；制定出针对在产品生命周期中有被淘汰的风险的材料，物品，组件等计划；确定在产品生命周期中受到制造来源减少和材料短缺的威胁的材料，物品，组件等；制定部件货源减少与物料短缺的应对原则
11		E.3—供应链管理	确定并制度化供应链管理流程；制定需求预测指标的建立计划；完成对一级供应商的全面评估
12		E.4—特殊物料的处理	在特殊物料存储、使用等有代表性环境中证明其符合 ESH 要求；特殊处理程序在生产典型环境中得到应用；确定特殊处理程序，必要时转化为试生产作业指导书或作业规范中明确作业要求；有危险品的储存和处置计划
13	F—设备设施	F.1—制造设备	开展工艺装备、专用试验与检测设备的研制，确保设备按计划提供或安装、调试到位，保证试生产活动的开展；完成特殊测试设备和/或特殊检验设备验证计划；制定制造设备的维护修理原则
14		F.2—生产设施	识别小批量生产所需的生产设施；制定小批量生产所需的生产设施相应的准备计划；对制造人员、工艺和设备的人因和人体工程学的要求在和生产典型环境中得到验证
15	G—人员	G.1—制造人员	识别试生产所需员工的要求(含人数和制造技能)，并完善相应的开发计划，不仅满足试生产的需求同时也考虑满足小批量生产的需求；在生产典型环境中培训试生产所需员工
16	H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	初步制定了生产计划；在主计划/主日程中体现了生产计划的相关内容；制定了对制造风险和问题的应对计划；初步制定了工作指令单；建立有效的生产控制系统，确保生产线的运行
17		H.2—物料准备计划	确定了自制或外协的决策；完成编制试产线的 BOM；实现了物料计划系统，确保试点线的运行
18	I—质量管理	I.1—过程质量管理	建立了质量目标；QMS 的要素(即不合格品的控制、纠正措施等)满足元器件制造行业标准的要求；制定了特定程序的质量计划
19		I.2—产品质量管理	收集和分析生产环境中的质量数据；分析结果体现在改进计划；制定了关键特性管理的控制计划；制定了工程和生产单元的测试计划和检查计划
20		I.3—供应商产品质量/质量管理	主要供应商的质量管理体系符合制造行业标准；收集和分析供应商的产品质量数据；制定了对关键供应商流程进行审查的策略

表 8 (续)

序号	6级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
21	J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模	成本模型进行了更新
			根据生产环境的系统/子系统、生产工厂布局和设计以及过时解决方案等的结果对成本模型进行更新
22		J.2—成本分析	制造成本细化到系统/子系统级别，并与目标进行对比；所有可实际制造成本都与目标进行对比；成本预算能够涵盖详细的市场研究和工程变更需要的成本；制定了降低成本和风险规避的策略；更新“应计成本”模型的制造成本影响因素
23	J.3—制造投资预算	更新了成本预算，确保达到 MRL 7 的等级水平；识别了所有未解决的 MRL6 风险，并批准了应对计划	

表 9 7 级制造成熟度条件

序号	7级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
1	A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础	完成转小批量生产所需的工业基础能力评价，工业基础能力能支持开展小批量生产；具备必需的配套厂家(考虑成本或需要降低风险问题，包含必要的多重配套厂家)
2		A.2—制造技术体系	完成制造技术的主要开发工作(部分仍在持续开展)，并在试生产环境中验证制造技术的解决方案
3	B—设计	B.1—生产性	实施生产性的提升措施，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
4		B.2—设计成熟度	完成产品设计，且设计更改的频次明显降低，对小批量生产的影响很小；在试生产环境中验证了关键、重要特性的可实现性
5	C—技术	C.1—技术成熟度	小批产品通过系统级使用环境验证
6	D—工艺	D.1—工艺建模仿真	在试生产中验证工艺或装配流程仿真模型与方法，确定小批量生产要求的可实现性
7		D.2—工艺成熟度	在试生产环境中验证小批量生产所需的工艺；试生产的工序能力指数达标；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
8		D.3—合格率与生产率	试生产的合格率与生产率均达标；根据试生产结果优化小批量生产启动所需的合格率与生产率；持续落实并完善合格率与生产率提升计划

表 9 (续)

序号	7级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
9	E—物料	E.1—物料成熟度	在工程和制造开发（EMD）期间，对物料进行验证、鉴定，证明其可满足产品小批量生产需求；保持物料技术条件的内容稳定，变更少
10		E.2—物料可获取性	可获取性风险和问题在试生产过程基本解决或有缓解计划，对小批量生产无重大风险；启动小批量生产中生产提前期长、重要的物料的采购；关注大批量生产所需物料的可获取问题
11		E.3—供应链管理	完成对关键的二级和更低级别配套厂家的全面评估；适当细化供应链管理流程并检查落实，形成需求稳健的流程；需求相关流程已得到验证；对配套厂家满足项目要求（含更改要求）进行符合性确认；更新需求预测指标。需求预测指标可用于将来的小批量生产、大批量生产供应链管理；当前供应链管理系统足以支持小批量生产
12		E.4—特殊物料的处理	在试生产过程中符合 ESH 要求；特殊处理程序在试生产环境中得到应用；在工程研制或技术攻关项目中提出的新的特殊物料，其特殊处理程序在试生产中已被执行，并得到验证；特殊处理的问题对小批量生产无重大风险；涉及特殊处理的作业指导书均包含特殊处理的规定；对小批量生产的特殊物料储存和处置计划进行了评估；有小批量生产危化品的储存和处置计划
13	F—设备设施	F.1—制造设备	在试生产环境验证所有的工艺装备、专用试验设备和检测设备；识别出小批量生产额外的工装、检测设备需求；作为试生产的一部分，有特殊要求的检测设备已按验证计划被验证；在试生产环境中验证制造设备的维护修理原则；所有特殊的测试设备和/或特殊的检验设备已按验证计划被验证
14		F.2—生产设施	对生产人员、工艺和设备的安全要求在有代表性的生产环境中得到验证；试生产线设施已成功使用；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；制定适宜的过渡到大批量生产的生产设施准备计划；确认了工作场所安全符合要求；制造人员、工艺和设备的人为因素和人体工程学已得到了满足；对生产人员、工艺和设备的安全要求在试生产线上进行了演示或执行
15	G—人员	G.1—制造人员	识别小批量生产所需员工的要求（含人数和制造技能），并完善相应的开发计划，不仅满足小批量生产的需求同时也考虑满足大批量生产的需求
			如果可行，在试生产环境中培训小批量生产所需员工
16	H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	更新了小批量生产的生产计划；识别及评估了所有制造风险；制定了应对计划，并获得批准；完成编制工作指令单；完善了生产控制系统，有效支撑了小批量生产

表 9（续）

序号	7级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
17	H—制造管理	H.2—物料准备计划	确定了自制或外协的决策；完善了BOM，并能够支撑小批量生产；在小批量生产试点线上验证了物料计划系统
18	I—质量管理	I.1—过程质量管理	制定了特定程序的质量计划；指定了项目质量经理；达到了先前设定的试产线质量指标；质量目标与试验指标相对照，为质量的持续改进指明方向
19		I.2—产品质量管理	制定了关键质量特性的管理方法；确定了测量程序和控制（如SPC，FRACAS，审核，客户满意度等）；试制数据能够满足所有关键特性的能力要求；制定了生产单元的测试计划和检验计划；验证了生产单元的测试计划和检验计划
20		I.3—供应商产品质量/质量管理	制定了供应商特定程序的质量管理体系要求；测试了供应商的所有产品，并且都合格；完成了所有供应商产品的首件检验（FAIs）；供应商产品的验收测试（即工艺和生产能力）足以满足小批量生产的要求；有计划对供应商工艺流程进行质量审核；对供应商生产过程进行了质量审核
21	J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模	基于试生产的结果，更新了成本模型
22		J.2—成本分析	使用试验线实际数据进行成本分析，确保目标成本是可实现的；制造成本分析涵盖了需求或设备的变更带来的成本影响；制定了成本降低计划；更新了“应计成本”模型的制造成本影响因素
23		J.3—制造投资预算	制定了合理的预算计划，确保大批量生产达到MRL8等级水平；制定了预算，包括小批量生产和大批量生产的投资；识别了所有未解决的MRL7风险和问题，并制定了的应对计划，并获得批准

表 10 8级制造成熟度条件

序号	8级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
1	A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础	完成转大批量生产所需的工业基础能力评价，工业基础能力能支持开展大批量生产
2		A.2—制造技术体系	针对大批量生产，开展制造技术的流程改进工作
3	B—设计	B.1—生产性	分析生产性提升措施在小批量生产中的实施效能；解决了小批量生产期间发现的生产性问题，对大批量生产无重大风险
4		B.2—设计成熟度	产品的技术状态已固化，且设计更改的频次较低；利用小批量生产件开展使用测试，验证了产品设计；完成物理技术状态审核（或生产鉴定）；在小批量生产中，所有的关键、重要特性控制在合适的水平

表 10（续）

序号	8级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
5	C—技术	C.1—技术成熟度	批量生产通过系统级使用环境验证
6	D—工艺	D.1—工艺建模仿真	在小批量生产中验证实际生产工艺或装配流程仿真模型及方法，除用于支持小批量生产管理，并确定大批量生产要求的可实现性
7		D.2—工艺成熟度	工艺稳定、受控，满足小批量生产的要求；开展敏感性分析试验，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潜力
8		D.3—合格率与生产率	小批量生产的合格率与生产率均达标；根据小批量生产结果优化大批量生产启动所需的合格率与生产率；持续开展合格率与生产率提升工作
9	E—物料	E.1—物料成熟度	在小批量生产中，按物料技术条件的要求对物料进行控制，评估所有材料符合规格要求的程度；对物料进行验证、鉴定，证明其可满足产品大批量生产需求
10		E.2—物料可获取性	现有可获取性问题对大批量生产无重大风险；小批量生产阶段所确定的可获得性风险和问题的缓解计划已被执行
11		E.3—供应链管理	与可靠的配套厂家签订长期的供应协议；建立适宜的主要配套厂家供货监控指标(含目标和门限值)，并用于控制风险；根据适宜的需求预测指标开展供应链管理；利用预测指标来识别供应链中的风险当前供应链足以支持大批量生产
12		E.4—特殊物料的处理	在小批量生产中证明了 ESH 的符合性；特殊处理程序在小批量生产环境中得到应用；在小批量生产中验证特殊处理程序；特殊处理和危害物料储存和处置的问题已被解决，不会对大批量生产无重大风险
13	F—设备设施	F.1—制造设备	在小批量生产环境中验证所有工艺装备、专用试验与检测设备；识别大批量生产对制造设备的额外需求；在小批量生产环境中验证制造设备的计划维护修理；在小批量生产期间，对特殊测试设备和/或特殊检验设备进行了验证
14		F.2—生产设施	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；在小批量生产过程中对生产人员、工艺和设备进行了人为因素和人体工程学的作业研究；在小批量生产过程中对生产人员、工艺和设备有明确的安全要求
15	G—人员	G.1—制造人员	小批量生产所需员工达到规定要求，同时实施相应的开发计划，从而满足大批量生产的需求
16	H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	更新了大批量生产制造计划；对所有生产风险和问题进行管理；完善了生产控制系统，确保大批量生产

表 10 (续)

序号	8级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
17		H.2—物料准备计划	完善了自制或外协决策，确保大批量生产；完善了BOM，以支持大批量生产；在小批量生产中验证了物料计划系统；物料计划系统能够满足大批量生产
18	I—质量管理	I.1—过程质量管理	在小批量生产中验证了质量目标；持续开展质量改进；对定期实施的质量措施和采取的适当措施进行管理评审。
19		I.2—产品质量管理	来自小批量生产的数据表明，所有关键特性和其他对质量至关重要的制造过程的生产工艺在大批量生产中都能够得到控制
20		I.3—供应商产品质量/质量管理	供应商产品质量管理的关键特性和其他关键的制造过程在大批量生产中能够得到控制；供应商产品的验收测试结果证明产品质量在大批量生产中能够得到控制；对供应商进行必要的质量审核，以确保供应商规范的符合性
21	J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模	根据小批量生产的结果，更新了大批量生产成本模型
22		J.2—成本分析	用实际数据分析比对，保证小批量生产成本能够达到目标；制定并实施了成本降低计划；分析了劳动效率，识别了能够满足生产效率和影响效率的因素，并制定了计划，逐步减少相关影响
23		J.3—制造投资预算	制定了大批量生产的合理预算；识别了所有未解决的MRL 8风险和问题，并制定了应对计划，且获得批准

表 11 9级制造成熟度条件

序号	9级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
1	A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础	完成工业基础能力评价，工业基础能力能维持大批量生产，并能应对产品更改、升级、产量剧增等制造需求
2		A.2—制造技术体系	持续开展制造技术的流程改进工作
3	B—设计	B.1—生产性	在大批量生产中验证设计方面的生产性提升措施；持续进行工艺方面的生产性提升工作；针对产品更改、升级、货源减少与物料短缺等情况，均进行了生产性方面的评价
4		B.2—设计成熟度	产品设计稳定，且设计更改极少；在大批量生产中，所有的关键、重要特性控制在合适的质量水平
5	C—技术	C.1—技术成熟度	产品通过执行任务得到验证
6	D—工艺	D.1—工艺建模仿真	在大批量生产中验证产品级仿真模型，并用于支持大批量生产管理

表 11 (续)

序号	9级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
7	D—工艺	D.2—工艺成熟度	工艺稳定、受控，满足大批量生产的要求
8		D.3—合格率与生产率	大批量生产的合格率与生产率均达标；持续开展合格率提升工作
9	E—物料	E.1—物料成熟度	在大批量生产中，按物料技术条件的要求对物料进行控制，确保所有物料均符合规格要求
10		E.2—物料可获取性	在大批量生产中无重大的物料可获取性问题。所有材料的可用性风险和问题都得到控制
11		E.3—供应链管理	供应链安全已得到验证，满足大批量生产要求
12		E.4—特殊物料的处理	在大批量生产中证明了 ESH 的符合性；在大批量生产中有效实施特殊处理程序；危险物料的储存和处置程序已在大批量中得到有效实施
13	F—设备设施	F.1—制造设备	经验证的工艺装备、专用试验与检测设备能支持大批量生产；按计划定期开展制造设备的维护修理；特殊检测设备已进行了必要的验证，满足大批量生产要求
14		F.2—生产设施	生产设施能满足大批量生产的要求；规划容量可满足大批量生产的最大产能要求；在大批量生产过程中对生产人员、工艺和设备进行了人为因素和人体工程学的作业研究；在大批量生产过程中对生产人员、工艺和设备有明确的安全要求
15	G—人员	G.1—制造人员	大批量生产所需员工达到规定要求；考虑人员自然流失情况，采取必要措施维持所需的制造技能
16	H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	管理了所有生产的风险和问题
17		H.2—物料准备计划	在大批量生产中验证了物料计划系统
18	I—质量管理	I.1—过程质量管理	对大批量生产中验证了质量指标；持续开展质量改进；在适当的情况下进行了统计控制分析
19		I.2—产品质量管理	关键特性均受控了；结果表明所有关键特性均达到目标；结果体现了持续改进的成效
20		I.3—供应商产品质量/质量管理	供应商产品质量数据证明了关键特性的充分管理和关键制造过程的控制，包括下级供应商的质量管理；结果说明在所有关键领域达到较高水平(例如，六西格玛)；对供应商进行必要的质量审核，以确保供应商规范的符合性

表 11 (续)

序号	9级制造成熟度		
	大类	小类	基本条件
21	J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模	根据实际的大批量生产成本数据，验证了成本模型
22		J.2—成本分析	大批量生产达到了成本目标；制定并实施了成本降低计划
23		J.3—制造投资预算	生产预算能够满足生产所需的速度和进度，确保项目有效实施

9 制造成熟度评价流程和要点

9.1 概述

制造成熟度等级判定流程一般分为申报、启动工作、识别关键制造要素、实施评价、编制报告五个阶段。见图1。

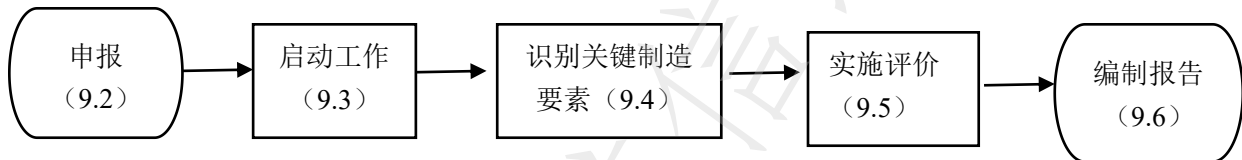


图1 制造成熟度等级判定流程

9.2 申报

9.2.1 文审

申报单位需根据本文件填写自评表（参照附录 B.1），由组织单位审核通过后提交申报材料。

9.3 启动工作

9.3.1 启动现场评价

文审通过后，启动现场评价工作。

9.3.2 组建评价团队

根据评价目的，制定评价方案，组建评价团队。

9.3.3 制定评价计划

就评价目标、评价要求、阶段培训、进度安排、评价组成员和项目实际进展情况等方面开展工作，制定评价工作计划，指导评价工作。

9.4 识别关键制造要素

9.4.1 确定产品

确定产品分解其结构（WBS 工作分解结构或 TBS 技术分解结构）。

9.4.2 筛选要素

筛选关键制造要素（CME）和风险要素。

9.4.3 确定要素

协调、确定关键制造要素（CME）和风险要素。

9.5 实施评价

9.5.1 通用制造成熟度级别（MRL）定义具体化

将制造成熟度等级（MRL）中的环境极其条件下的产品载体等内容具体化到待评价项目中，形成具体化制造成熟度级别（MRL）定义。

9.5.2 关键制造要素（CME）评价

a) 初步判定：依据制造成熟度级别定义及其基本条件、参评产品的研制生产状态，初步判断参评产品的制造成熟度级别；

b) 详细判定：依据评价准则，按初步判断的级别，选择相应的级别条件，逐条评判满足情况。如果满足初判级别的要求，则向更高一个级别进行评价，直至满足为止；如果不满足初判级别的要求，则向下低一个级别进行评价，直至满足为止。根据等级条件的排列方式，可选择以下任意一种具体操作方式：

- 1) 集中评价：按级别集中评价，每一级别的条件覆盖必需的相应级别条件大类。
- 2) 分类评价：按级别条件大类分别评价，然后将其中的最低级别作为产品的级别。

9.6 编制报告

编写和审定制造成熟度评价（MRA）报告（具体框架见附录 B），并应符合下列要求：

- a) （MRA）报告要涵盖项目概况、评价工作的额计划与关键实施过程、明确的评价结果和工作总

编写和审定制造成熟度评价（MRA）报告（具体框架见附录 B），并应符合下列要求：

- a) （MRA）报告要涵盖项目概况、评价工作的额计划与关键实施过程、明确的评价结果和工作总结；
- b) 根据评价结果和对项目制造问题的掌握，识别项目潜在的制造风险，以及在性能、成本和进度等方面可能造成的重大影响，给出制造成熟度提升计划的编制建议。

10 制造成熟度等级判定方法

制造成熟度等级判定方法一般为：

- a) 评价支撑信息证明，对某一项等级条件所规定的工作内容及要求均满足时，才能满足该条件等级；
- b) 某一等级的全部具体化等级条件均满足时，才能判断某一级评价项目达到该等级。

11 企业制造成熟度水平综合评价

参照制造成熟度风险要素的评价要点，并根据管理要求评分依据（见表 12），以 0 级、5 级、7 级、10 级四个级别分数对关键过程要素（CME）风险检查项进行定量评分（见表 13），汇总得出平均分：

表 12 评分依据

符合程度	级别	得分	描述
满足要求	完全满足	10	存在准确良好的直接证据 有其他间接证据和观察、访谈的验证支持 有效实施了标准的要求
改进项	大部分满足	7	存在准确的直接证据 有其他的间接证据和观察、访谈的验证支持 实施情况存在个别轻微不足
部分满足 (一般不符合)	一般满足	5	缺少直接证据或证据不够充分 仅仅实施了标准要求的某些部分 管理文件和实施结果存在明显的不足
严重不符合	不满足	0	对标准的要求缺少必要的管理文件 没有直接和间接的证据表明实施了标准的要求（包括不能提供的观察和访谈验证） 对标准要求没有可替代的实践

表 13 企业制造成熟度等级判定

得分	制造成熟度级别	
$1 \geq \text{分值} > 0$	1 级	无意识级
$2 \geq \text{分值} > 1$	2 级	觉醒级
$3 \geq \text{分值} > 2$	3 级	初步规范级

表 13 （续）

得分	制成熟度级别	
4 \geq 分值>3	4级	标准确立级
5 \geq 分值>4	5级	流程优化级
6 \geq 分值>5	6级	风险可控级
7 \geq 分值>6	7级	量化管理级
8 \geq 分值>7	8级	卓越管理级
9 \geq 分值>8	9级	高质量发展级
10 \geq 分值>9	10级	完美标杆级

(1) 根据每个等级（L1 到 L9 共 9 个级别），每个级别的大类和小类的要素按照表 12 的符合程度进行打分（见得分标准）；见表 14。

表 14 企业制成熟度打分表

要素	子要素	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础									
	A.2—制造技术体系									
.....									
J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模									
	J.2—成本分析									
	J.3—制造投资预算									

(2) 然后进行计算各个小类要素在 10 个等级实际得分的平均值，得到各个小类要素（子要素）的平均分；见表 15。

表 15 企业制成熟度打分表小类要素计算

要素	子要素	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	小类要素平均值
A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础										
	A.2—制造技术体系										
.....										
J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模										
	J.2—成本分析										
	J.3—制造投资预算										

(3) 再对大类要素包含的各个小类要素的平均分取平均，得到各个大类要素的平均分；见表

16。

表 16 企业制造成熟度打分表大类要素计算

要素	子要素	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	小类要素平均值	大类要素得分
A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础											
	A.2—制造技术体系											
.....											
J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模											
	J.2—成本分析											
	J.3—制造投资预算											

(4) 最后对大类要素的平均分取平均, 得到企业制造成熟度水平的综合评价(见表 12), 确定企业制造成熟度水平等级。见表 17。

表 17 企业制造成熟度打分表评级

要素	子要素	小类要素平均值	大类要素得分	评级
A—工业基础与制造技术体系	A.1—工业基础			
	A.2—制造技术体系			
B—设计	B.1—设计生产性			
	B.2—设计成熟度			
C—技术	C.1—技术成熟度			
D—工艺	D.1—工艺建模仿真			
	D.2—工艺成熟度			
	D.3—合格率与生产率			
E—物料	E.1—物料成熟度			
	E.2—物料可获取性			
	E.3—供应链管理			
	E.4—特殊物料的处理			
F—设备设施	F.1—制造设备			
	F.2—生产设施			
G—人员	G.1—制造人员			
H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排			
	H.2—物料准备计划			

表 17 (续)

要素	子要素	小类要素平均值	大类要素得分	评级
I—质量管理	I.1—过程质量管理			
	I.2—产品质量管理			
	I.3—供应商产品质量/质量管理			
J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模			
	J.2—成本分析			
	J.3—制造投资预算			

12 应用示例

- 12.1 附录 A 给出了制造成熟度的评价指南示例，为组织实施制造成熟度评价提供了框架和指引。
- 12.2 附录 B 给出了制造成熟度评价流程示例
- 12.3 可参照附录 A 和附录 B 开展制造成熟度等级的评价工作。

附录 A

(资料性)

元器件产品制造成熟度评价示例

本附录根据相应级别的风险要素条件给出了元器件产品制造成熟度评价的示例，旨在为组织开展制造成熟度评价提供框架指导。（以 5 级为例展开说明）

表 A.1 元器件制造成熟度评价指南示例

序号	大类	小类	条件内容	评价指南
1	A - 工业基础与制造技术体系	A.1-工业基础	针对配套厂家，完成转工程研制所需的工业基础能力评价，工业基础能力能支持新研产品的制造	针对逐渐完善的设计方案和技术开发需求，在转移工程研制阶段前，识别需要工业基础支撑的制造能力，调查工程研制阶段所需的工业基础能力并进行评价，确定工业基础能力能支持新研发产品的制造。
			确定选择唯一、单一和国外配套厂家的合理性	在该等级制造成熟度评估时，需要识别出具有唯一、单一和国外配套厂家的物料、部件、系统等，并初步制定风险应对计划，在经过调研后，如果仍然需要选择唯一、单一和国外配套厂家，这时需要分析选择的合理性，结合产品性能、进度、成本要求，给出综合性的合理性分析报告。
			识别可能的备选配套厂家	随着技术的开发深入和设计方案的调整完善，结合工业基础能力调查结果，识别物料、部件、系统等可能的配套厂家，并对配套厂家展开调研，确认配套厂家的供应能力以及限制条件等，形成暂时备选配套厂家清单。
			制定风险应对计划，尽可能减少唯一、单一和国外配套厂家，以及技术过时的配套厂家的数量	完成转工程研制所需的工业基础能力评价后，对唯一、单一和国外配套厂家、以及技术过时的配套厂家的选择方案进行研讨，制定风险应对计划，尽量选择其他方案，尽可能减少唯一、单一和国外配套厂家，以及技术过时的配套厂家的数量，防止这些配套厂家对产品制造的进度、质量造成影响。

表 A.1 (续)

序号	大类	小类	条件内容	评价指南
2	A—工业基础与制造技术体系	A.2—制造技术体系	持续开发适用的、所需的制造技术，并在生产相关环境中验证制造技术的解决方案	<p>建立一套规范化的制造技术跟踪、学习、研究和引入、评价、改进机制（形成 PDCA 闭环），以确保企业能够不断提升自身的制造水平。在实验环境下进行了某一特定制造技术引进方案的验证（应制定完整的验证方案及计划，针对引进目标对应用结果进行了评价）。验证方案应明确验证目标、验证方法、验证结果的评价准则及应对措施）</p> <p>技术开发阶段的核心工作是在相关环境中使技术成熟，研制样品，验证技术。该阶段的目的是降低技术风险，确定研制生产一个完整系统所必需的适宜的产品技术和制造能力。在制造成熟度 5 级时，制造技术体系方面需要持续完成所需的制造技术开发，并在相关环境中验证制造技术，识别制造技术风险。</p>
3	B—设计	B.1—生产性	完成关键、重要件(技术)的生产性评价和生产性的初步权衡分析(性能与生产性)，相应评价与分析结果为产品研制计划、关键技术攻关计划等提供输入	在研发设计阶段，根据评价准则对关键组建/技术的制造性和生产性进行评价，以确保公司的制造工艺能够满足关键、重要件生产要求；若工艺条件不能满足产品性能要求，则应作出权衡（根据评价结果调整产品性能参数），以上评价、分析和权衡（选择）结果应作为产品研制计划、关键技术攻关计划等的输入。
根据制造工艺和工业基础能力的约束开展设计方案评价			通过对工业基础能力调查、评价（摸清外部配套能力状况）以及进行制造工艺评价（摸清内部配套能力状况），对备选设计方案进行评价，以便选择出相对最佳的方案。	
4		B.2—设计成熟度	完成演示样品的设计方案改善，完善各类数据文件	以演示样品为载体，完成演示样品的设计方案修订，配套图纸等数据文件完整、可用、有效。
			各项性能参数通过验证，完成设计定型的准备工作	在演示样品的研制过程中，对设计方案中设定的各项性能参数进行验证，完成设定定型的准备工作。
5	C—技术	C.1—技术成熟度	演示样品通过典型使用环境验证	通过演示样品在典型使用环境的状态表现，确定现阶段的产品满足典型使用环境要求。

表 A.1 (续)

序号	大类	小类	条件内容	评价指南
6	D—工艺	D.1—工艺建模仿真	开发出演示样品的工艺或建模与仿真方法	在演示样品工艺仿真建模基础上,根据装配设计要求和所采用制造技术,参照系统级设计文件、工艺流程文件等相关文件,开发工程样品的工艺或建模与仿真方法。
7		D.2—工艺成熟度	在生产相关环境中验证关键工艺	在生产相关环境中,用样品来进行工艺技术鉴定,验证评价关键工艺的成熟度,并分析关键工艺技术的薄弱之处,制定应对措施,使得产品符合设计要求。
			开始收集或估算演示样品制造过程中的工序能力指数并优化工序能力要求	根据识别的工序能力要求和产品设计方案,估算产品原型制造过程中的工序能力指数,当工序能力指数求出后,就可以对工序能力是否充分作出分析和判定。即判断 Cp 值在多少,才能满足设计要求。 当工序能力指数不理想时,制定相应计划,优化工序能力要求。
8	D.3—合格率与生产率	对照目标评估生产相关环境下的合格率与生产率,并根据评估结果完善合格率与生产率提升计划	对照对试生产、小批量生产和大批量生产阶段设定的合格率与生产率目标,用样品在生产相关环境下记录合格率与生产率,评估其影响合格率与生产率的风险点,根据风险评估结果完善合格率与生产率提升计划。	
9	E—物料	E.1—物料成熟度	通过关键技术的样品制造,验证物料的成熟程度。(评估物料成熟度时,可考虑物料在类似项目中已应用的情况)	生产相关环境系统级样品制造,通过验证样品的关键技术达成情况,确认物料的成熟程度,确认哪些物料技术已成熟(不需要变更),哪些物料还需要大的变更。对于需要大的变更物料的技术要求已与供应商沟通、协商达成一致,已有相应改善对策。并且评估相应的风险。确保物料足以满足小批量生产的要求。
			编制物料的技术条件初稿,确定物料的主要属性	通过样品的验证,样品的相关参数确定,物料成熟度情况基本稳定,编制各物料的技术条件初稿,确定了物料的主要属性要求(包含材质、功能、性能、外观、尺寸等),建立了物料的验收准则。
			物料特性已充分验证,确保可以在与生产相关的环境中生产出产品	物料到此阶段应该已经成熟,物料的特性已被充分验证。供方的物料也是在生产相关环境中生产出来的产品,并获得批准。识别所有制造风险,风险的缓解计划已制定,能确保可以在与生产相关的环境中生产出产品。

表 A.1 (续)

序号	大类	小类	条件内容	评价指南
10	E—物料	E.2—物料可获取性	考虑工程研制所需物料的可获取性	考虑工程研制所需物料的可获取性（购买）问题，若购买有问题，已采取措施确保物料可买到。
			识别生产提前期长的物料	识别出生产提前期长的物料，确认准备周期长的物料和需要控制的环节。 如：一些专用零部件加工周期长；特殊的原材料货源紧张，采购周期长；需要制作专用的模具；国外供应商供货周期长等，在采购时要考虑一定的生产前置期，或建立必要的库存减少供货的风险。
			确定在产品生命周期中有可能被淘汰的物料等	关注科技、法律法规要求的变化，对未来可能出现潜在的物料有被淘汰、被迭代等的风险进行评估，并建立应对措施。
			对物料开展未来货源减少与物料短缺的风险评估	关注市场、国际国内环境的变化，在产品生命周期中对未来可能出现潜在的物料货源减少与物料短缺的风险进行评估，并建立应对措施。
11	E—物料	E.3—供应链管理	更新产品生命周期里的物料供应要求	供应链是一条连接供应商到企业客户的物料链、信息链和资金链。供应链上各供应环节的购备时间，都是由下一个节点企业负责管控的。任意一个节点企业出现交期延迟，都会影响整个供应链的交期与进度。 通过生产相关环境系统级样品制造的验证，识别并更新产品寿命周期里的物料供应要求，必要时涉及二级及以上供应商的供应控制。
			关键供应商（含配套厂家）目录已更新	通过生产相关环境系统级样品制造的验证，与研发技术人员协商进一步明确原设定的关键配套物料及其供应商是否需要变更，若有需要，更新关键配套供应商目录。以便在后续供应链管理时引起特别关注和制定配套的控制措施，确保物料的按时交付。 确定供应商时还要关注关键的二级甚至更初级的供应商的供给能力。 建立了严格的供应商引入、评估机制。

表 A.1 (续)

序号	大类	小类	条件内容	评价指南
11		E.3—供应链管理	提出合适的物料供应合作计划，作为工程研制外协合同签订的依据之一	明确生产相关环境系统级样品制造过程中需要外协加工的物料供应商，与供应商协商出合适的物料供应合作计划和合作要求，这些将作为外协合同签订的依据
12	E—物料	E.4—特殊物料的处理	对特殊物料的要求（含 EHS 要求）进行了说明并形成文件	将特殊物料的要求（含 EHS 要求）转化为各作业岗位的作业指引或作业规范，并形成相关文件和记录，满足特殊物料处理要求和 ESH 相关法律法规的要求。
			特殊处理程序在生产相关环境中得到进一步应用	在生产相关环境系统样品制造的过程中，确认特殊处理程序执行情况，所有要求得到很好的实施。能提供出相关的检查记录等证据来证实其按要求进行了实施
			制定完善特殊处理要求的计划	在生产相关环境系统样品制造的过程中，确认特殊处理程序执行情况，针对需要完善的特殊处理要求，制定完善计划、按计划已进行实施。
			对生产过程进行了物料储存和废料处理风险评估	对生产过程进行了物料储存和废料处理风险评估，根据特殊物料的特性及法律法规的要求，形成相匹配的风险应对措施。
13	F—设备设施	F.1—制造设备	在生产相关环境中验证试制所需的工艺装备、专用试验与检测设备方案	在生产相关环境样品制造过程，验证工艺装备、生产设备、专用试验设备、检测设备的方案的有效性，并给出验证结果。
			进一步明确工艺装备、专用试验与检测设备的要求	根据在生产相关环境下工艺装备、生产设备、专用试验设备、检测设备方案的验证结果，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。同时要识别出需要变更或细化的要求，并将批准后的变更技术要求通知供应商。
14		F.2—生产设施	已确定满足试验生产线要求的生产设施	试验生产线所需的生产设施及技术要求已确认，并传递给了相关设施的供应商。供应商已按计划的时间提供了相关设施，经过初步确认，试验生产线能满足生产单机和样品的要求

表 A.1 (续)

序号	大类	小类	条件内容	评价指南
14	F—设备设施	F.2—生产设施	识别试生产所需的生产设施并制定相应的准备计划	<p>试验生产线生产单机样品过程，确认试生产所需的生产设施识别是否完整清晰，并制定相应的准备计划。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 再识别和确认试生产所需的生产设施，更新试生产所需生产设施清单。 2. 确保时间进度和质量能满足试生产的要求。 编制试生产所需生产设施施工、安装进度安排跟踪表，与相关责任部门或责任人分析进度安排中的风险，针对这些风险点并制定相应的控制措施，在试生产前确保所有的生产设施全部到位并且符合要求。 3. 通过生产相关环境系统级样品制造，需总结、分析存在的问题，并制定相应的应对措施及完成时间。其纠正措施要考虑对后续阶段生产设备的制造影响，确保不会存在类似的问题。
			在与生产相关的环境中，对制造人员、工艺和设备的人因和人机工程学要求进行了验证	通过在生产相关的环境中单机样品的生产，进一步收集生产人员、工艺和设备的人因和人体工程学等方面的信息，评估设施是否满足要求，不合理之处，已有相应的改善措施和改善计划。
15	G—人员	G.1—制造人员	制造技能开发计划满足员工在生产相关环境中工作的技能需要	在确定员工具备之前等级确定的制造技能后，在生产相关环境下验证员工是否具备相应工作的技能，通过员工参与系统级样品或分系统级样品的制造，进行考评，如果不合格，需要执行继续培训或调岗等措施来保证员工具备在生产相关环境中的工作技能，从而保证实现该级别的制造任务。
			识别试生产所需员工的要求(含人数和如特殊技能认证等的制造技能和培训要求)，并初步制定相应的开发计划	为充分做好生产准备，现阶段初步识别试生产所需员工的要求（含人数和如特殊技能认证等的制造技能和培训要求），并制定相应的开发计划。
16	H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	在主计划中涵盖了所有与设计相关的制造环节。	制造方法：刚性制造模式；柔性自动化制造模式；计算机集成制造模式；敏捷制造模式；JIT；精良生产模式；快速重组制造模式；逐步完善。
			启动了降低风险的工作（例如：测试和交付排程）；	所有与设计相关的制造环节进行盘点，全部都体现在主计划/主日程中。

表 A.1 (续)

序号	大类	小类	条件内容	评价指南
16	H—制造管理	H.1—制造计划与进度安排	识别了试验线导入技术的制造风险和问题，并且制定了应对方法	通过风险识别确定哪些风险可能影响项目，并把风险归档作为以后过程财富的很好的积累，得出风险的来源、征兆等结论；评价风险和它们之间的相互作用，从而评估项目可能结果的大概范围。有了比较量化的结果以后，就能清晰的意识到风险的严重性，从而做出更加贴切的应对措施。
17		H.2—物料准备计划	明确对试产、小批量生产和大批量生产的需求；已完成大多数物料的决策/购买	完成材料的采购。
			对试产、小批量生产和大批量生产的需求进行评估；已识别了物料风险和质量问题	首先是供应商的初步考察阶段:在选择供应商时，应对供应商的品牌、信誉、规模、销售业绩、研发等进行详细的调查，有可能派人到对方公司进行现场了解，以作出枯体评估。必要时需成立一个由采购、质管、技术部门组成的供应商评选小组，对供应商的质量水平、交货能力、价格水平、技术能力、服务等进行评选。在初步到断有必要进行开发后，建议将自己公司的情况告知供应商。其次是产品认证及商务阶段:对所需的产品质量、产量、用户的情况、价格、付款期、将后服务等进行逐一测试或交流。第三是小批量认证阶段:对供应商的产品进行小批量的生产、交期方面的论证。第四大批量采购阶段:根据合作情况.逐步加大采购的力度。第五对供应商进行年度评价，对合作很好的供应商，邀请他们到公司交流明年的工作打算。
			识别了质量、交期、价格、售后服务、财务等方面的采购风险；已制定物料风险和质量问题的应对计划；	在供应链管理中加强产品设计、供应链计划、预测、物流和营销等的协同，可以增加供应链信息的透明度，促进供应链的整合优化。供应链成员间知识学习与转移是提高供应链协同能力的重要因素。
			创建了 BOM	列好成品清单、再列好采购清单或委外清单、再把成品清单根据单一成品物料需求的采购件结合、确定用量、损耗等。

表 A.1 (续)

序号	大类	小类	条件内容	评价指南
18	I—质量管理	I.1—过程质量管理	识别关键特性，及时更新质量策略；	建立质量保证体系，确定相关的职责和权限，收集企业质量方针、总质量目标或上级质量目标的要求，相关方的需求和期望，与策划内容有关的业绩或成功经历，存在的问题点或难点，过去的经验教训等资料。
			初步建立了质量管理体系	根据质量方针和企业总体的质量目标，结合项目具体情况确定质量目标，并将确定的质量目标分解到各分部、分项过程中。针对某一具体项目，把进行质量控制的关键分项工程或关键工作设定质量控制点。
			已经识别了质量风险、问题	为使被策划的质量控制、质量保证和质量改进得到实施，应确定人、机、料、法、环等相关资源以及实现目标的方法、检查或考核的方法，评价其业绩成果的指标，完成后的奖励方法，所需的文件和记录等等。
			已经建立了度量标准	识别了关键特性（指安全性指标及不合格会丧失最基本的质量功能的质量特性）和重要特性（指不合格不会丧失最基本的功能，但会丧失一般的质量功能，并严重影响使用效果或引起顾客投诉的质量特性。）
			启动了改进计划	针对以上要求，制定了改进计划，并已开始实施。
19	I—质量管理	I.2—产品质量管理	确定验收流程的角色和责任；初步确定工程和生产所需设备的验收的要求；制定了关键特性管理方法；	根据产品以及过程的特性和数据类型选择适当的控制方法。（具体产品的关键控制点详见产品的控制计划）。控制点的数据采集。
			确定过程检查和最终检查的角色和责任；初步确定了过程检查及最终检查的要求；	顾客（需方）验收生产企业（供方）提供的产品所进行的检验。为了保证验收产品的质量，对验收的要求进行规定。
			确定原型单元的统计过程控制的角色和责任；	在生产过程中，对所生产产品（软件、硬件、服务、流程性材料等）以各种质量控制手段根据产品工艺要求对其规定的参数进行的检测检验，达到对产品质量进行控制的目的；对完工后的产品进行全面的检查与试验；内容包括：产品性能、精度、安全性和外观。目的是防止不合格品流到用户手中，避免对用户造成损失，也是为了保护企业的信誉；对过程及最终检查收的要求进行规定。

表 A.1 (续)

序号	大类	小类	条件内容	评价指南
19	I—质量管理	I.2—产品质量管理	确定了原型设备的检查和验收测试程序	对采购进来的原材料、部件或产品做品质确认和查核,即在供应商送原材料或部件时通过抽样的方式对品质进行检验,并最后做出判断该批产品是允收还是拒收;对原型设备检查和验收收的要求进行规定。
20		I.3—供应商产品质量/质量管理	识别了供应商基础质量能力和风险;识别了供应商产品质量管理体系的不足;确定了供应商基础质量改进措施	识别配套厂家的管理体系的不足点。
			识别了下级供应商产品质量管理能力和风险;识别了次级供应商产品质量管理体系的不足;确定了次级供应商产品质量管理改进措施	必须将现象的排除(应急措施)与原因的排除(防止再发生措施)严格区分开。准备好若干对策方案,调查各自利弊,选择参加者都能接受的方案。必须从多种角度对措施、对策进行彻底而广泛地评价。
21	J—成本与资金	J.1—产品成本知识/成本建模	完善基于生产环境中原型组件或模拟端到端的成本模型;实时更新了成本模型	使用来自生产环境的实际结果来验证生产成本的目标可以达到。项目必须通过使用生产环境的实际数据来验证成本模型的真实性,以确保对购买能力预测的信心。
			成本模型涵盖了相关要素:例:原料,人工,设备,工装/专用实验设备/特殊检验设备,安装过程,良率/报废/返工,在制品,和能力/产能限制等。根据设计要求、原料规格、总体计划、仿真结果和生产相关数据等情况更新了成本模型	使用试验环境的实际结果来验证可以实现生产成本的目标。
22		J.2—成本分析	在成本分析中包含了样品的实际成本,能够验证目标成本的可实现性;使用原料的数据进行成本分析,确保目标成本的可实现	通过使用在相关环境中构建和测试原型的数据来更新生产成本模型,以获得更准确的生产成本模型(即在系统/子系统级别)。
			决策的输入(例:设计、自制/购买选择、性能要求、过程能力要求、质量要求、关键特性、产量/速率要求和可变性控制要求等)体现在最新的成本模型中;成本目标分配到原料级别	成本目标准确的传递到子系统中。
			制定了降低成本和风险规避的策略	利用这些数据来确定成本目标和驱动因素,并开始制定降低成本策略。
			识别了“应计成本”模式的制造成本影响因素	为“应计成本”模型提供成本目标和驱动因素。

表 A.1 (续)

序号	大类	小类	条件内容	评价指南
23	J—成本与资金	J.3—制造投资预算	项目已经更新了达到 MRL 6 等级水平的预算；有合理的预算计划，确保达到 MRL 5 等级水平	使用试验环境中的实际数据，验证生产需求得到满足，以及所有降低生产风险的计划是否奏效。
			所有未解决的 MRL5 风险和问题都已了解，并已批准应对计划到位；预算涵盖了关键设计审查、对生产设备的资本投资	必须通过使用试验环境中的实际生产数据来确保对预算的信心。

附录 B

(资料性)

制造成熟度评价流程示例

B1 项目启动

B1.1 组建评价组织机构

确定项目负责人、评价核心成员等评价团队组成情况，各自责任。

B1.2 制定评价工作计划

制定评价工作计划，包括：

- 评价项目选择
- 评价目标
- 评价要求
- 阶段培训
- 进度安排
- 各环节评价组成员

B2 识别项目关键制造要素

B.2.1 总则

关键制造要素一般来自于项目的某种分解结构，是在性能、成本和进度上对产品研制与生产造成潜在重大风险的原料、组件，以及测试和组装等关键过程。

B.2.2 项目分解

根据产品特点，建立项目分解结构（工作分解结构 WBS 或产品分解结构 PBS），为筛选关键制造要素做准备

B.2.3 筛选关键制造要素和能力要素

按照关键制造要素的不同，筛选的关键组成要素包含两个部分：

- 第一个是性能、成本和进度上对产品项目研制与生产能够造成风险的原料、组件；
- 第二个是产品制造过程中的关键过程，如测试、装配等。筛选出关键制造要素后，需要确定这些关键制造要素的能力要素（本文件中的 10 个要素、23 个子要素），确定方法是根据评价目的、特定需求对每个关键制造要素的能力要素进行裁剪。输出筛选出的关键制造要素和与之相配的能力要素。

B.3 实施评价

B.3.1 通用制造成熟度等级定义具体化

将下表 B.1 中各制造成熟度等级定义中的技术载体、研制生产环境具体化为待评定产品项目的内容，作为关键制造要素评价过程的初步判定依据（见表 2）。

B.3.2 关键制造要素自评价

对每个关键制造要素进行初步判定和详细判定，得出关键制造要素的制造成熟度等级。

初步判定过程为按照待评定项目目前的状态按照“1、通用制造成熟度等级定义具体化”中的要求确定初步等级；

详细判定是对每个关键制造要素相匹配的能力要素判定准则进行具体化，然后对比关键制造要素目前状态的符合程度，确定详细判定后制造成熟度等级。

注：对每个关键制造要素进行初步判定和详细判定，得出关键制造要素的制造成熟度等级。

表 B.1 某企业制造成熟度阶段评估表

制造成熟度阶段评估表				
关键制造要素			时间	
制造成熟度指标		对应文件/数据系统	改善措施	状态
根据制造成熟度管理各阶段要求不同，对指标进行合理的评价/调整				
输入	1			
	2			
	3			
	。 。 。			
项目计划管理	1			
	2			
	3			
			
生产过程	1			
	2			
	3			
			
质量管理	1			
	2			
	3			
			
产能	1			
	2			
	3			
			
供应链管理	1			
	2			
	3			
			
物流	1			
	2			
	3			
			
输出	1			
	2			
	3			
			
制造成熟度的评估评定				
编制	项目管理员	签字		

会签	质量经理	签字			
会签	供应链经理	签字			
批准	项目经理	签字			

B.3.3 产品项目的综合制造成熟度等级

以每个关键制造要素的最低等级为产品项目的综合制造成熟度等级。

B.3.4 制造成熟计划

通过评价中获得的结果，形成对后续提升制造成熟度、降低制造风险的制造成熟计划。

B.3.5 制造成熟计划的落实

改善措施实施后，直至达到相应的目标等级。

B.3.6 企业长远改善计划

由制造成熟度评价过程获得的企业长远改善计划。

参 考 文 献

- [1] Manufacturing Readiness Level Deskbook[R]. DoD, 2020。
 - [2] 国防装备系统工程中的成熟度理论与应用。
 - [3] 武器装备研制项目制造风险与制造成熟度。
-