

**Q/C**

# 中国商用飞机有限责任公司标准

Q/C MS 0267-2014

---

## 技术成熟度等级划分及评价

Technology readiness levels and assessment

2014-01-13 发布

2014-02-10 实施

---

中国商用飞机有限责任公司 发布

# 目 次

1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 技术成熟度的等级划分及定义 .....	2
5 技术成熟度评价 .....	2
5.1 评价原则 .....	2
5.2 评价组织 .....	2
5.3 评价支撑信息 .....	2
5.4 评价工作内容 .....	3
5.5 评价流程 .....	3
附 录 A （资料性附录） 技术成熟度等级条件 .....	6
A.1 概述 .....	6
A.2 技术成熟度等级 1 .....	6
A.3 技术成熟度等级 2 .....	6
A.4 技术成熟度等级 3 .....	7
A.5 技术成熟度等级 4 .....	7
A.6 技术成熟度等级 5 .....	8
A.7 技术成熟度等级 6 .....	9
A.8 技术成熟度等级 7 .....	10
A.9 技术成熟度等级 8 .....	10
A.10 技术成熟度等级 9 .....	11
附 录 B （资料性附录） 评价文件样式和内容 .....	12
B.1 评价文件封面样式 .....	12
B.2 评价计划 .....	13
B.3 评价工作计划 .....	13
B.4 关键技术清单报告 .....	13
B.5 评价准则 .....	14
B.6 技术成熟度评价（自评）报告 .....	14
附 录 C （资料性附录） 技术分解结构构建方法及示例 .....	16
C.1 技术分解结构构建方法 .....	16
C.2 技术分解结构示例 .....	16

## 前 言

本标准由中国商用飞机有限责任公司提出。

本标准由中国商用飞机有限责任公司基础能力中心归口。

本标准起草单位：中国商用飞机有限责任公司科技质量部、中国商用飞机有限责任公司北京民用飞机技术研究中心，中国商用飞机有限责任公司基础能力中心。

本标准主要起草人：张征、沈平、陆孜子、韩洋、葛建兵、孙香云。

# 技术成熟度等级划分及评价

## 1 范围

本标准规定了中国商用飞机有限责任公司技术成熟度等级划分与定义和技术准备项目技术成熟度评价流程与要求。

本标准适用于中国商用飞机有限责任公司民用飞机产品（包括整机、系统、零部件等）所涉及的技术的成熟度等级划分与定义和技术准备项目的技术成熟度评价。

## 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。凡是注日期或（和）版次的引用文件，仅注日期或（和）版次的版本适用于本文件。凡是不注日期或（和）版次的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

Q/C MS 0266 民用飞机项目工作分解结构（WBS）及代码

## 3 术语和定义

下列术语与定义适用于本标准。

### 3.1

**技术成熟度 Technology Readiness (TR)**

技术应用于某个具体产品所处的发展状态，它可以反映应用该技术对于实现产品预期目标的满足程度。

### 3.2

**技术成熟度等级 Technology Readiness Levels (TRL)**

对技术成熟度进行度量的一种标识。它是基于事物的发展规律，将技术从起始到成功地应用于产品的整个过程划分为若干阶段，可判断应用该技术实现产品目标的满足程度。

### 3.3

**使用环境 Operational Environment**

产品使用的环境，包括外部接口条件、环境条件和使用条件。

### 3.4

**相关环境 Relevant Environment**

模拟使用环境关键因素的试验环境，用于验证产品的关键性能或其主要组成部分的关键性能。

### 3.5

**实验室环境 Laboratory Environment**

仅演示技术原理和功能的试验环境，通常不考虑使用环境因素。

### 3.6

**逼真度 Fidelity**

当前状态相对于最终要求状态的相似程度，通常分为低、中、高逼真度。

### 3.7

**原理样机 Breadboard**

低逼真度模型样机，仅演示技术原理和功能，不考虑获取性能数据的试验品。其内部组成通常包括替代件、特殊件、新研件，不一定与产品的最终形式一致。

### 3.8

**演示样机 Brassboard**

中逼真度模型样机，对应用该技术实现的关键性能和功能进行测试的试验品。其内部组成尽可能是真正的配套件，并初步考虑了产品的最终形式，具备部分工程特征。

### 3.9

**原型样机 Prototype**

高逼真度模型样机，可演示最终产品功能和物理特性的模型。其配合、外形和功能特性接近产品的最终构型，用于在一定程度上验证研制和试验的过程。

3.10

工程样机 Engineering Prototype

高逼真度模型样机，指产品研制过程中，以满足具体工程型号需求（例如，性能和使用特性）为目标，为进行验证试验而制造的样机。

3.11

技术准备项目 Technology Readiness Project

为解决在型号应用方面，技术尚未完全成熟或存在一定风险的问题而开展的与型号研制相关的科研项目，包括预先研究和关键技术攻关项目。

3.12

技术成熟度评价 Technology Readiness Assessment (TRA)

评价某项技术应用于某个产品实现的成熟程度（等级）的一套方法、流程和程序。

3.13

关键技术 Critical Technology

在规定的时间和成本范围之内为实现产品设定的性能和使用特性或完成技术准备项目所必需的新颖技术，或在详细设计或演示验证期间存在重大风险的技术。

3.14

评价准则 Criteria of Assessment

一套用于判定关键技术成熟度的具体化等级定义和条件。

4 技术成熟度的等级划分及定义

4.1 技术成熟度等级共分为 9 个等级。各等级定义及描述如表 1 所示：

表 1 技术成熟度等级划分及定义

等级	定义	详细说明
1	提出基本原理	提出应用该技术的基本原理，或沿用已有的原理，作为提出应用设想的基础。
2	提出应用设想	基于基本原理，提出实际应用的设想，但有待进行试验或者详细的分析。
3	完成应用设想的可行性验证	进行试验或者详细的分析，验证应用设想的可行性。
4	以原理样机或部件为载体完成实验室环境验证	完成产品关键部件，并将部件集成于原理样机，进行实验室实验验证，初步判断技术可行性。
5	以演示样机或部件为载体完成相关环境验证	通过部件或分系统级演示样机在中逼真度模拟相关环境中的测试验证，功能和性能指标满足要求。
6	以分系统或原型样机为载体完成相关环境验证	完成了分系统或系统级原型样机的集成，通过典型模拟使用环境下演示试验，功能和性能指标满足要求，工程应用可行性和实用性得到验证。
7	以工程样机为载体完成典型使用环境验证	样机尽可能接近实际产品的要求，并且在典型使用环境中进行测试和演示验证。
8	以实际产品为载体完成使用环境验证	技术完工并且经过测试验证，产品达到最终的构型，在预期使用环境中的演示验证没有出现明显的设计问题。
9	实际产品成功完成使用任务	产品通过了实际使用验证，技术指标全部满足要求，具备稳定的生产能力和客户服务能力。

4.2 可在技术成熟度等级定义的基础上，设置等级条件作为判定等级的依据。附录 A 给出了等级条件的参考内容。

5 技术成熟度评价

5.1 评价原则

技术成熟度评价应遵循客观公正、流程规范、适度公开的原则。

5.2 评价组织

技术成熟度评价组织包括评价方、专家组和被评方。

- a) 评价方是指组织评价的主管部门或其授权的评价机构；
- b) 专家组是评价方成立的由技术、管理方面的专家组成，为技术成熟度评价提供支撑的技术组织；
- c) 被评方是承担研究或研制任务的单位（或部门）。

5.3 评价支撑信息

被评方根据评价工作需要，有针对性地收集、分析和整理有关设计、制造和验证情况等支撑技术成熟度评价的技术信息，并保证信息的完整、准确、真实。

#### 5.4 评价工作内容

技术成熟度评价过程包括：制定评价计划，确定关键技术，编写评价准则，判定成熟度等级，撰写评价报告。

#### 5.5 评价流程

技术成熟度评价流程如图 1 所示。

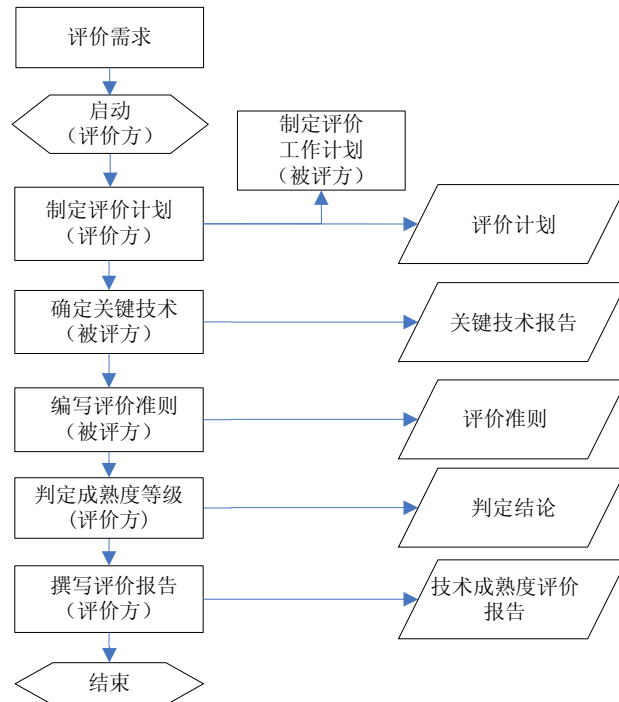


图1 技术成熟度评价流程图

##### 5.5.1 制定评价计划

根据评价工作要求，评价方制定评价计划（样式和内容见附录 B），并组建专家组。评价计划主要包括工作目标、工作内容、组织实施程序、进度安排、专家组组成方案等；专家组成员应当具有较高的专业技术水平，熟悉相关专业技术领域和技术成熟度标准，具有良好的职业道德。

被评方根据评价方要求和项目性质、关注程度、进度安排等制定评价工作计划（样式和内容见附录 B）。评价工作计划的内容包括：项目概述、评价工作组、评价工作进度安排等。其中项目概述部分需要描述项目目标、项目研究内容、国内外发展现状与差距、应用背景与范围等；评价工作组包含各相关参与人员的信息；评价工作计划表中包含技术成熟度评价流程中各步骤的研究内容、大概起始时间、完成形式及成果形式等。

##### 5.5.2 确定关键技术

被评方根据项目目标和技术方案构建技术分解结构（TBS，构建方法及示例参见附录 C）。

被评方结合关键技术的定义，对 TBS 中每个单元进行仔细遴选分析，筛选出初始的关键技术候选项，编写关键技术清单报告（样式和内容见附录 B），提交评价方。所选关键技术应覆盖项目的主要技术风险涉及对象，并同时满足下列条件：

- 对飞机性能、研制进度或费用有重大影响，或对公司科技创新和整体技术水平提高有重大作用；
- 属于新技术，或在原有基础上改进较大的技术，或应用条件和环境变化较大的技术。

评价方组织专家组评审关键技术清单报告，协调确定关键技术。

##### 5.5.3 编写评价准则

被评方依照本标准第 4 章及附录 A 要求，编写评价准则（样式和内容见附录 B），提交评价方认可。评价准则包括：

- 该项目的具体化技术成熟度等级定义。最高等级应以技术在产品的实际应用条件 and 环境下成功使用为目标；并根据最高等级，逐级确定其下各级的具体含义；
- 各项关键技术的具体化技术成熟度等级条件。对未选用等级条件的理由进行说明。

评价方组织专家组评审评价准则，确定判定等级依据。

#### 5.5.4 判定成熟度等级

被评方按下述要求组织开展关键技术成熟度自评价，并编写技术成熟度自评报告（样式和内容见附录B），提交评价方。

根据定义的关键技术评价准则以及各关键技术的基本数据，对关键技术清单逐项进行技术成熟度评价。对于每项关键技术，评价其技术成熟度等级的流程包括：初判、详判（具体化等级条件说明、满足情况等）、迭代判断、评价结果（等级判定流程如图2所示）。

- 初判：首先由专家组对该关键技术现状和已收集的资料进行全面了解（如，理论进展如何、技术载体是什么、试验环境如何、做了哪些试验等），依据具体的技术成熟度定义，对各项关键技术的成熟度等级进行初步判定。可用来初步判定的代表性成果包括：技术载体（软硬件模型）、试验环境、试验内容等。
- 详判：进一步收集数据，针对初判等级对应的具体化等级条件进行判定，对项目负责人提供的判断依据（包括各项技术报告、试验报告、文章、照片等数据、信息）进行核查，给出各条具体化等级条件是否满足要求的结论。
- 迭代：若关键技术初判等级（如第N级）对应的具体化等级条件都已满足，则应进入更高一级（如第N+1级）根据相应的具体化等级条件进行判定；若未能达到该等级（如第N级）要求，即已完成的工作和支撑数据无法证明关键技术处于该等级，则返回顶层评估重新进行初判（降低等级，进入更低一级（如第N-1级）根据相应的具体化等级条件进行判定）。按照此过程进行迭代判断，直至出现该关键技术能够满足某等级而不满足更高一级的条件为止。
- 结果：给出该关键技术判断的结果（如第N级），并按类似步骤进行其他关键技术的技术成熟度等级判定工作。

确定某项关键技术的技术成熟度等级为第N级的基本原则是：该关键技术在第N级技术成熟度对应的所有适用具体化等级条件都得到满足；该关键技术在第N+1级技术成熟度对应的适用具体化等级条件未能全部得到满足。

自评报告除了汇总各项关键技术的自评结果之外，还应对项目进行综合评价：根据各关键技术成熟度评价的等级，综合分析项目的技术状态、存在的主要技术问题，形成评价结论，并提出后续工作建议。

评价方专家组根据关键技术清单、评价准则、评价支撑信息和自评结果，通过必要的实地实物调查、抽查或审查，进行技术质询和集中评议（等级判定流程同上），形成等级判定结论。

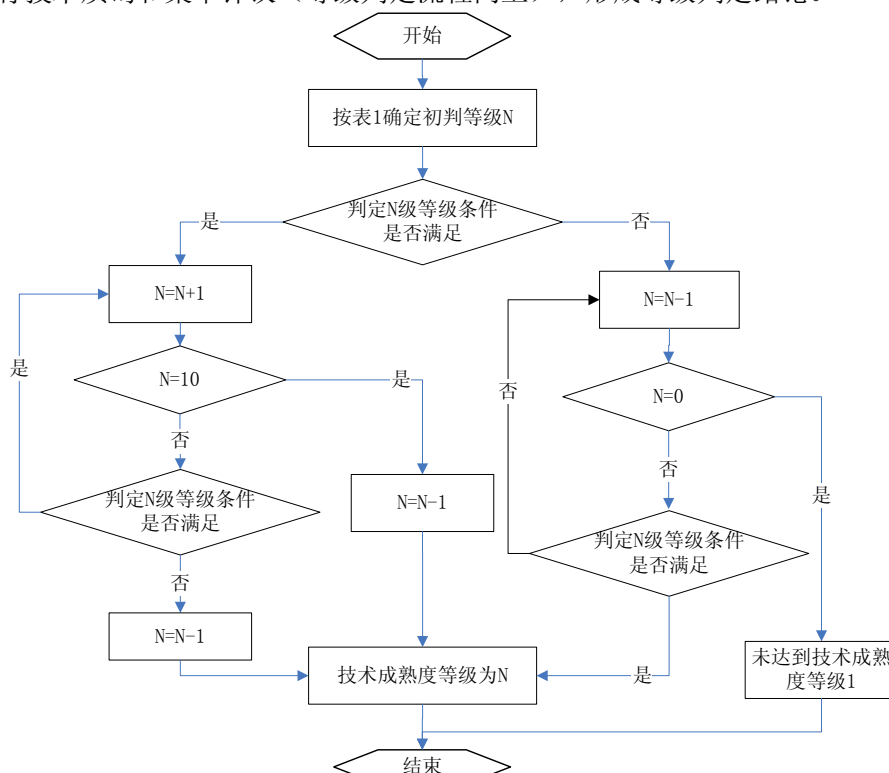


图2 等级判定流程图

#### 5.5.5 撰写技术成熟度评价报告

评价方汇总所有与关键技术成熟度评价相关的评价依据、方法、过程、清单和结果，形成技术成熟度评价报告（样式和内容见附录 B）。技术成熟度评价报告是整个评价工作过程和结果的体现，需能够系统、全面、详实地展示项目整个评价过程中各个阶段的实施情况和评价结果。

评价报告应涵盖评价对象的情况、评价工作组的构成、识别出的关键技术清单、每个关键技术的技术成熟度等级、后续工作建议等内容。



## 附录 A (资料性附录) 技术成熟度等级条件

### A.1 概述

在判定技术成熟度时，通常按照适用技术类型的不同，将技术划分为硬件技术(H)、软件技术(S)两类。软件技术是指技术的载体不是实物形式，一般为数学模型、算法、数据等；硬件技术是指技术的载体是实物，或技术的成果形式有物化载体。

在衡量技术成熟度时，为了更加全面并客观地评估，除了考虑技术的设计和验证情况，可能也需要包含制造及管理方面的情况。因此，根据技术成熟度等级定义，可从技术、制造和管理三方面进一步细化等级判定依据，并设置若干项条件作为判定技术成熟度等级的依据。

技术成熟度等级判定条件按类型分为技术类、制造类和管理类3类（分别以T、M、P表示）。技术类条件主要指设计方面（技术研究开发时应完成的研究设计内容）和验证方面（对技术研究开发成果进行验证的内容）的内容；制造类条件主要指试制（生产）所涉及的工艺性设计、制造工艺、工艺设备等内容；管理类条件主要指用户关系管理、风险管理、费用管理等内容。

表A.1~表A.9是以民用飞机领域技术为背景所总结的技术成熟度1~9级各级的判定条件，原则上应全部满足，但具体判定时，可针对技术的类型和项目的需求，根据其适用性进行剪裁后确定必须满足的适用等级条件。

### A.2 技术成熟度等级 1

具体等级条件如表A.1所示。

表 A.1 1 级判定条件

序号	适用技术	条件内容	条件类型
1	H、S	处于发散性的、无明确目标的环境	T
2	H、S	明确了用到的基本物理定律和假定	T
3	H、S	通过理论分析，证明了基本原理	T
4	H、S	通过实验，观察到了基本原理	T
5	H、S	在相关学术刊物、会议文集或技术报告上公布了初步的研究发现	T
6	H、S	设定了研究的假设条件	T
7	S	具有一些或许可用于软件来实现的想法	T
8	S	利用通用术语表达了软件的功能需求	T
9	S	构建了能够通过软件实现的概念的数学模型	T
10	S	具有了软件算法原理的基本设想	T
11	H、S	明确对技术感兴趣的潜在用户，如投资方、资金来源	P
12	H、S	明确研究人员和地点	P

### A.3 技术成熟度等级 2

具体等级条件如表A.2所示。

表 A.2 2 级判定条件

序号	适用技术	条件内容	条件类型
1	H、S	提出了将应用此技术的在研或潜在民机产品或配套产品	T
2	H、S	通过理论分析，证明了此技术应用的可行性	T
3	H、S	从理论上或经验上提出了解决方案	T
4	H	提出了技术的基本元素	T
5	H、S	处于理论分析和计算机仿真的环境	T
6	H	给出了技术的大体实物构成及部分特性	T
7	H	预测了每个技术元素的性能	T
8	H、S	初步分析了技术所需实现的主要功能	T
9	H	通过建模仿真证明了基本原理	T
10	H、S	定义了预期系统的主要功能体系结构	T
11	H、S	通过深入分析，证明了基本原理	T
12	H、S	技术涉及的独立零部件能够工作（无需集成证明，一般是指现成的沿用件）	T
13	S	编写了用来证明算法原理的代码	T

序号	适用技术	条件内容	条件类型
14	S	利用人工合成数据进行了实验（试验）	T
15	S	了解将加载软件的硬件产品	T
16	H、S	了解可用于演示技术的实验装置	T
17	H、S	了解所需开展的试验或了解研究方法	T
18	H、S	在学术刊物、会议文集或技术报告上公布了分析结论	T
19	H、S	明确了技术的用户，知道该技术可支持哪个（些）产品	P
20	H、S	客户表达了对潜在应用的兴趣	P
21	H、S	定义了用来管理用户需求波动的需求可追溯系统	P
22	H、S	编制了投资概算	P
23	H、S	了解研究人员和研究设施的能力和条件限制	P
24	H、S	定性分析了项目的风险区域（含费用、进度和性能）	P
25	H、S	具有如何将该技术市场化的粗略想法	P

#### A.4 技术成熟度等级 3

具体等级条件如表 A.3 所示。

表 A.3 3 级判定条件

序号	适用技术	条件内容	条件类型
1	H、S	具备同行探讨的研究环境	T
2	H	通过分析研究，验证了技术元素的性能预测	T
3	H	根据已知科学，明确了技术功能的数学仿真及(或)计算机仿真的可行性	T
4	H	识别出并评估了预期产品的初步性能特性和指标	T
5	H	通过建模仿真，验证了技术元素的性能预测	T
6	H、S	通过实验，证明了技术应用的可行性	T
7	H	通过实验，验证了技术元素的性能预测	T
8	H、S	针对存在交叉重叠的其他在研技术，初步识别了对本技术的影响	T
9	H、S	通过理论分析，证明了预期系统的部件能够共同工作	T
10	H、S	提出了技术的主要参数	T
11	H、S	全面演示了技术概念的可行性	T
12	S	通过分析研究，验证了算法和软件性能预测	T
13	S	列出算法的基本内容，并以少量典型数据包进行了实验	T
14	S	初步编写了程序代码，证明了软件能满足使用需求	T
15	S	实验室条件下，在替代的处理器上运行了算法	T
16	S	了解现有可用的能够承担类似任务的软件	T
17	S	完成了现有软件的局限性分析	T
18	H	仅通过基本的实验装置（尚未用真实的部件），证明了基本原理	M
19	H	提出了预期产品的工艺性设计准则	M
20	H	评估了现有的制造能力水平	M
21	H	针对关键试验部件，提出了生产性要求	M
22	H、S	在定义技术要求时，采纳了用户意见	P
23	H、S	启动了缩比模型的研究	P
24	H、S	利用通用术语定义了该技术的风险区域，提出了该技术风险的规避策略	P
25	H、S	初步开展了使用中的最优价值分析	P

#### A.5 技术成熟度等级 4

具体等级条件如表 A.4 所示。

表 A.4 4 级判定条件

序号	适用技术	条件内容	条件类型
1	H、S	全面识别了交叉重叠的其他技术对本技术的影响	T
2	H	在实验室里完成了独立部件的试验，或由供应厂家完成验收试验	T
3	H	利用建模仿真模拟了一些部件以及部件间的接口	T
4	H、S	了解终端用户对预期产品的总体需求	T
5	H、S	确定了预期产品的性能参数	T
6	H、S	根据预期产品的总体要求，确定了其在实验室的技术要求	T
7	H	通过实验室试验，证明了可用部件能够协同工作（简化的试验回路）	T
8	H、S	在简化环境中演示了技术的基本功能	T

序号	适用技术	条件内容	条件类型
9	H、S	编制了预期产品的设计方案初稿	T
10	H、S	具备可控的实验室试验条件，保证试验的可实现性、稳定性和可重复性	T
11	H、S	完成了一定比例的图样和其他技术文档	T
12	H、S	完成了预期产品的初步集成	T
13	H、S	说明了试验环境与使用环境的差异，并分析了差异对实际使用效果的影响	T
14	S	启动了产品体系结构的正式开发	T
15	S	完成了对软件功能的详细分析	T
16	S	明确了每个功能模块的要求	T
17	S	完成了用伪代码描述算法	T
18	S	完成了数据需求和格式的分析	T
19	S	依据系统的初步体系结构，基本完成了独立功能模块	T
20	S	利用典型数据包和“全尺寸”要求进行了软件实验	T
21	S	在实验室的简化环境中，演示了独立功能模块	T
22	S	通过特别的集成，演示了功能模块可协同运行	T
23	H	用特殊件、可用的试验部件代替预期产品的实际部件	M
24	H	完成了新研关键零部件的试制	M
25	H	可用部件已集成到原理样机中	M
26	H	完成了缩比模型的制作	M
27	H	明确了关键制造工艺	M
28	H	评估了实验室环境中的关键制造工艺	M
29	H	针对制造性/生产性的不足，提出了风险规避策略	M
30	H、S	用户发布了需求文件	P
31	H、S	确定了技术研究项目的结束条件	P
32	H、S	在费用作为设计目标的模式下，设定了费用的目标	P
33	H、S	编制了系统工程管理计划初稿	P
34	H、S	与用户达成协议，确定了技术转移的途径（例如通过先进技术演示项目）	P
35	H、S	正式开展了采用该技术的风险管理	P
36	H、S	进行了初步的故障模式及影响分析（FMEA）或对风险展开分析	P
37	H、S	明确了技术的可用时间	P

## A.6 技术成熟度等级 5

具体等级条件如表 A.5 所示。

表 A.5 5 级判定条件

序号	适用技术	条件内容	条件类型
1	H、S	通过分析识别和明确了交叉重叠的其他技术对本技术的影响	T
2	H、S	了解预期产品的内外部接口要求	T
3	H、S	在预期产品的初步集成中，部件间或分系统间的接口是真实接口	T
4	H、S	完成预期产品的基本集成，具备在真实环境或典型模拟环境下试验的条件	T
5	H、S	实验室环境经过调整，近似于使用环境	T
6	H、S	提出了预期产品的初步总体指标	T
7	H、S	说明了试验环境与使用环境的差异，并分析了差异对实际使用效果的影响	T
8	H、S	演示样机状态的产品在实验室里进行了试验验证	T
9	H、S	在实验室里完成了独立部件的试验验证	T
10	H	接近完成设计草图	T
11	S	确定了软件的体系结构	T
12	S	完成了内、外部接口的分析和说明	T
13	S	功能单元已集成至模块中	T
14	S	进行独立功能测试，证明它们是可运行的	T
15	S	对独立模块和功能单元进行了查错测试	T
16	S	在实验室条件下，演示了集成后的功能模块	T
17	S	在考虑目标环境典型特性的条件下，在处理器上运行了算法	T
18	H	完成了主要部件的试制或采购	M
19	H	确定了产量提升的目标	M
20	H	通过比较研究和试验，明确了关键制造工艺	M
21	H	初步制造出预期产品的原型	M
22	H	在实验室里演示了工艺设备	M

序号	适用技术	条件内容	条件类型
23	H	针对重大的工艺性问题，确定了设计准则	M
24	H、S	考虑了质量与可靠性	M
25	H	进行了所需装配（线）的初步评估	M
26	H	在费用作为设计目标的模式下，确定了满足费用目标的质量目标	M
27	H	会同制造部门、工艺部门对制造工艺进行了审查	M
28	H	与最终用户的技术代表商议技术物化后的配合、外形和功能特性	P
29	H、S	在系统工程管理计划初稿中考虑了集成方面的内容	P
30	H、S	在系统工程管理计划初稿中考虑了试验与评定方面的内容	P
31	H、S	在系统工程管理计划初稿中考虑了机械和电气接口的内容	P
32	H、S	在系统工程管理计划初稿中考虑了初步性能指标，以及最终性能指标	P
33	H、S	编制了风险管理计划	P
34	H、S	编制了构型管理计划	P
35	H、S	进行了故障模式及影响分析	P
36	H、S	得到了用户关于技术转移的认可	P
37	H、S	完成了含具体应用内容的技术转移计划初稿	P
38	H、S	价值分析中包括了多种备选技术及非材料代用的分析	P
39	H、S	价值分析中包括了寿命周期费用分析	P

### A.7 技术成熟度等级 6

具体等级条件如表 A.6 所示。

表 A.6 6 级判定条件

序号	适用技术	条件内容	条件类型
1	H、S	完成了对交叉技术的衡量及性能特性的确认	T
2	H、S	了解预期产品的最终使用环境	T
3	H、S	利用建模仿真模拟了与其产品在使用环境中的性能	T
4	H	接近完成全部设计草图	T
5	H、S	在具备典型模拟环境条件的实验室里对产品原型样机进行了试验	T
6	H、S	提出缩比模型研究的遗留问题，并完成了支持性分析	T
7	H、S	原型样机的集成程度接近预定使用的产品，外形、功能等方面基本一致	T
8	H、S	全面演示了技术的工程可行性	T
9	H、S	说明了试验环境和使用环境的差异，并分析了差异对实际使用效果的影响	T
10	H、S	编制了预期产品的专用规范	T
11	H、S	编制了技术研究报告终稿	T
12	S	完成了外部接口的详细目录编写	T
13	S	完成了时序限制分析	T
14	S	完成了数据库结构和界面接口分析	T
15	S	进行了处理大规模实际问题的功能演示	T
16	S	将算法部分与现有的硬件/软件进行了部分集成	T
17	S	通过测试独立模块，证明部件（功能）模块可以协同工作	T
18	S	在实验室环境中，演示了软件原型或代表性的软件系统	T
19	S	编制了软件规格书和部分其他软件文档	T
20	H	确定了质量和可靠性等级	M
21	H、S	启动了可靠性、维修性和保障性真实数据的收集	M
22	H	确定了制造工艺和工艺设备的投资需求	M
23	H	基本确定了关键生产工艺规范	M
24	H	完成了大部分部件的试制或外购	M
25	H	已全面开展了材料、工艺、工艺性设计准则和集成方法的应用	M
26	H	部件在功能上与最终使用的产品相容	M
27	H、S	已经完成了集成的演示验证	M
28	H	识别出生产问题并解决了其中的重大问题	M
29	H	具备成熟的制造工艺和工艺设备	M
30	H	完成了制造的演示验证	M
31	H、S	提出了定费用设计的目标	P
32	H、S	编制了试验与评定正式计划	P
33	H、S	编制了系统工程管理正式计划	P
34	H、S	明确了设计符合成本目标	P

序号	适用技术	条件内容	条件类型
35	H、S	更新了技术转化协议	P
36	H、S	初步建立了接口控制流程	P
37	H	最终用户和设计部门审查通过了生产计划初稿	P
38	H、S	与最终用户协商技术转移协议，并获得其批准	P
39	H、S	编制了含具体应用内容的技术转移计划终稿	P
40	H、S	确定了产品研制项目的里程碑	P
41	H、S	价值分析中包括了具体应用内容	P
42	H、S	技术备选方案包括了无具体应用选项	P
43	H、S	具备了正式需求文件	P
44	S	初步开始了软件的验证	P
45	S	发放了 $\alpha$ 版软件	P

#### A.8 技术成熟度等级 7

具体等级条件如表 A.7 所示。

表 A.7 7 级判定条件

序号	适用技术	条件内容	条件类型
1	H	采用仿真模拟了产品的某些故障，但这些故障在实际中很少出现	T
2	H、S	在特殊条件下，对每一个系统/软件的接口进行了独立测试	T
3	H	设计更改显著减少	T
4	H、S	创建了运行使用环境，但不是最终运行平台，例如飞机试验台	T
5	H	工程样机部件达到了实际产品要求的性能水平	T
6	H	完成了设计草图	T
7	H、S	完成了缩比模型研究	T
8	H、S	在典型的使用环境中进行了大部分功能性演示验证	T
9	H、S	在典型的使用环境中完成了系统的操作/飞行测试	T
10	H、S	在典型的使用环境中，演示验证了全状态的原型样机	T
11	S	在使用环境中的处理器上运行了算法	T
12	H	明确了批量生产所用的材料、工艺、工艺性设计准则和集成方法	M
13	H	初步演示验证了材料和制造工艺及生产流程	M
14	H	在简易工装上制造了系统原型	M
15	H	原型样机系统提高了预生产质量	M
16	H	在制造环境中，演示验证了工艺加工和检查/测试装备	M
17	H	工艺设备获得验证	M
18	H、S	收集的维修性、可靠性和保障性数据超过了所需数据总量的 60%	M
19	H	材料、工艺、工艺设计准则和集成方法得到一定发展和验证	M
20	H	具有可用的生产样件，数量可能有限	M
21	H	初步确定了西格玛质量等级	M
22	H	基本掌握了制造工艺	M
23	H	完成了生产计划的编制	M
24	H	成功完成系统原型的外场试验	M
25	H	具备进行小批量试生产条件	M
26	S	解决了大多数以及重大的软件缺陷	M
27	H	验证了按费用设计的目标	P
28	S	完成了软件的验证，软件满足规范的要求	P
29	S	发放了 $\beta$ 版软件	P

#### A.9 技术成熟度等级 8

具体等级条件如表 A.8 所示。

表 A.8 8 级判定条件

序号	适用技术	条件内容	条件类型
1	H、S	部件的配合、外形和功能特性满足规定的要求，与系统相容	T
2	H、S	系统在配合、外形和功能特性方面与投入实际使用的状态一致	T
3	H、S	在最终实际平台上，演示了系统的配合、外形和功能特性	T
4	H、S	完成了大部分培训文档并使其处于受控状态	T
5	H、S	完成了大部分维修文档并使其处于受控状态	T

序号	适用技术	条件内容	条件类型
6	H、S	提交了系统架构图终稿	T
7	S	完成了软件的全面测试	T
8	H、S	在模拟使用环境下，演示了产品的所有功能	T
9	H、S	在真实平台上，完成了产品的鉴定试验并通过审查，最终获得鉴定	T
10	H、S	完成了研发、测试与鉴定，产品满足专用规范所规定的技术指标	T
11	H	在生产环境下演示了设备和工装	M
12	H	通过试生产线、小批生产或相似件生产，全面演示了制造工艺	M
13	H	制造工艺达到了可接受的产量和制造水平等级	M
14	H	质量等级达到可接受的等级（4 西格玛或类似等级）	M
15	H	材料已在生产，且易于采购	M
16	H、S	完成了维修性、可靠性和保障性数据的收集	M
17	H	具备了大批量生产条件	M
18	H	费用估算小于费用目标的 125%	P
19	H、S	完成了接口控制流程	P
20	S	完成了大部分用户文档，并使其处于受控状态	P
21	S	完成了软件的确认，软件在实际使用环境中成功运行	P
22	S	完成了软件的认可，经审定软件可用在预期产品中	P

#### A.10 技术成熟度等级 9

具体等级条件如表 A.9 所示。

表 A.9 9 级判定条件

序号	适用技术	条件内容	条件类型
1	H、S	产品应用设想得到成功的实施	T
2	H、S	产品已安装在预定平台上	T
3	H、S	全面演示了产品功能	T
4	H、S	在预定的实际任务和使用条件下，达到了既定目标要求	T
5	H、S	完成了所有文档的编制	T
6	H	设计稳定，很少或没有设计更改	T
7	H	所有制造过程受控且达到 6 西格玛或相似等级	M
8	H	生产稳定	M
9	H	费用估算小于费用目标的 110%	P
10	H	在批量生产及在渐进研制模式的里程碑里考虑了经济可承受性问题	P
11	H、S	明确并规避了安全性/危害性后果	P
12	H、S	实施了培训计划	P
13	H、S	实施了保障计划	P