

# 技术成熟度评价准则分析

刘晓静

(北京航空航天大学, 北京 100191)

**摘要** 技术成熟度是国际上广泛用于量化评价重大科技攻关项目和工程项目技术成熟性的规范化方法, 它识别项目中的关键技术并评价其成熟程度。研究中的关键技术如果没有达到一定的成熟程度就转入型号工程项目, 将导致项目出现严重的拖进度、降指标、涨费用问题。技术成熟度评价方法能在有效评估技术成熟度等级的同时, 结合对项目进度、资源和质量等问题的分析与把握, 科学地识别和控制科研型号项目中的技术风险。本文主要分析了技术成熟度评价细则及其主要构成要素: 等级定义、技术载体和验证环境, 为促进我国型号工程项目实验室技术成熟度评价的发展提供参考。

**关键词** 技术成熟度; 等级; 评价; 技术载体; 验证环境

中图分类号: G307

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)02-0091-03

## 1 等级定义

技术成熟度等级 (Technology Readiness Level, TRL) 评价通过对关键技术载体的型式 (试验板、模型、样机、产品)、尺度 (元件、部件、分系统、系统) 和所处环境 (实验室环境、相关环境和使用环境) 的综合性定性描述, 构成技术成熟度等级系列, 使技术成熟度定量化。随着关键技术载体所处的集成层次 (元件→部件→分系统→系统) 和环境 (实验室环境→相关环境→使用环境) 的提升而得到证实, 技术成熟度等级则提高, 即技术越成熟。

自从 1989 年 NASA 公布 TRL 等级划分及定义以来, 各机构陆续制定了相应的技术成熟度等级定义, 典型机构包括国际标准化组织 (ISO)、我国国家军用标准等。典型的技术成熟度等级定义如表 1 所示。

国际标准化组织 (ISO) 于 2013 年 11 月正式发布了 TRL 国际标准 ISO 16290《空间系统 - 技术成熟度等级定义及评价准则》。标准编制组组长由来自欧洲航天局担当, 编制组其他成员包括: 美国、法国、日本、英国、丹麦、巴西、乌克兰。国际标准 ISO 16290 具有一定的航天特色。从定义上看, 该标准的定义中只有 TRL8 和 TRL9 具有明显的航天特色, TRL8 定义为“完成实际系统并完成飞行验收 (‘飞行鉴定’)”, TRL9 定义为“实际系统通过成功任务运行获得‘飞行批准’”。另外, 在定义的描述中, TRL7 已经反映出较为明显的航天特色, 也就是在该等级用于验证的单元会不会上天会根据具体情况有所区别。

我国对技术成熟度评价方法的应用起步较晚。

2005 年, 技术成熟度的概念引入我国, 国内研究机构随后对此开展了大量的研究和跟踪工作。在我国民用领域, 制定了 GB/T 22900-2009《科学技术研究项目评价通则》<sup>[1]</sup>, 该标准规定了科学技术研究项目技术成熟度评价的等级定义、评价方法及流程等, 为民用领域科学技术研究项目评价提供了依据。在我国军工领域, 技术成熟度评价主要应用于技术研究项目。2012 年, 在总结试点经验的基础上颁布了两项国家军用标准, GJB 7688-2012《装备技术成熟度等级划分及定义》<sup>[2]</sup> 和 GJB 7689-2012《装备技术成熟度评价程序》<sup>[3]</sup>。随着标准的颁布实施, 我国军工领域的技术成熟度评价工作日趋规范。

## 2 技术载体

在技术研究或发明中, 通常采用系统设计方法, 即给出技术的整体方案之后, 先设计和验证组成部分, 然后再集成和验证整体 (整机)。另外, 常见的设计方法是模型方法, 即采用一定比例尺寸的模型开展技术研究。在 TRL 中, 根据技术研究成果的典型形式, 划分了几个等级。

针对技术的研究成果形式是整机时, 可以从外形、配合、功能和比例尺寸等四个方面, 确定其技术状态。在 TRL 等级定义中, 正是根据这些线索对技术成果进行了分级。

### 2.1 原理样品

原理样品是仅演示技术的原理和功能, 不考虑性能数据获取的试验品。其内部组成通常采用了替代件、特殊件, 且不考虑产品的最终形式, 如硬件产品不考

表1 技术成熟度等级定义表

TRL	ISO	GJB 7688
1	发现并报告基本原理	提出基本原理并正式报告
2	提出技术概念和 / 或应用	提出概念和应用设想
3	通过分析和 / 或实验, 完成关键功能和特性概念验证	完成概念和应用设想的可行性验证
4	在实验室环境中完成部件和 / 或实验用试验板功能验证	以原理样品或部件为载体完成实验室环境验证
5	在相关环境中完成部件和 / 或实验用试验板关键功能验证	以模型样品或部件为载体完成相关环境验证
6	在相关环境中使用模型演示验证单元的关键功能	以系统或分系统原型为载体完成相关环境验证
7	模型演示验证对运行环境的单元性能	以系统原型为载体完成典型使用环境验证
8	完成实际系统	以实际系统为载体完成使用环境验证
9	实际系统通过成功的任务运行获得许可	实际系统成功完成使用任务

虑外形、配合; 软件产品不考虑软件平台。

对于原理样品, 国外 TRL 标准中的定义要点是: 不考虑集成程度、外形、配合等方面的内容; 利用现有商品或特别件搭建而成; 不是实际配置; 不适用于外场测试; 只考虑功能; 只演示功能和概念可行性等。

在我国, “原理样机 / 原理样件” 主要是用于开展原理性试验。根据产品的层级, 称呼上稍微有区别。例如, 对于装备或整机, 则常称“原理样机”; 对于机载产品或整机配套产品, 则常称“原理样件”。

## 2.2 模型样品

模型样品是可在模拟环境下, 对技术的关键性能进行测试的试验品。其内部组成尽可能采用真正的配套件, 并初步考虑了产品的最终形式, 但一般还不具备全部工程特征。

模型样品是 TRL5 在技术成果形式方面的实际表现, 是 TRL4 和 TRL6 之间的过渡状态。国外 TRL 标准中的定义要点是: 考虑了功能和主要配置; 尽可能装上最终要用到的件; 开始考虑比例尺寸问题; 可以在模拟环境下进行主要性能测试。

在我国复杂装备研制中, 存在“原理样机 - 初样机 - 正样机 (或试样机)” 的产品状态称呼体系。我国“初样机” 的技术状态要高于国外“模型样品”, “初样机” 已经基本达到了研制任务书规定的技术指标, 而“模型样品” 的技术状态还没有达到这个要求, 但可对应于模型样品 / 模型样件 / 模型样机。

## 2.3 原型

原型是可演示最终产品的功能特性和物理特性的实体模型或虚拟模型。其外形、配合和功能近似产品的最终形式。需具备足够的尺寸比例, 从而能够考虑

全尺寸时的关键问题。

原型是试验品的高级形态, 集成程度、外形、配合、功能等方面接近最终产品的形态, 用于展示技术设计的全部内容, 可预估最终产品的功能性能。如果可能, 是全尺寸状态。

## 3 验证环境

验证环境是对技术载体进行考核的环境条件, 基本上是由考核目的、目标决定的。从技术成熟过程的角度看, 验证环境从假定的逐步向实际运行的环境逼近。这其中包含了对实际运行环境认识逐步清晰的过程, 也包含了对技术载体考核逐渐严苛的过程。

环境多种多样, 包括物理环境 (例如力学、热力学、电子和电磁、威胁 (例如干扰)、气候和网络基础设施等环境)、逻辑环境 (例如软件接口、安全接口、操作系统、面向服务的体系结构、通信协议、抽象概念层、虚拟化、联合、联邦化和逆向兼容等环境)、数据环境 (例如数据格式、数据结构、数据模型、数据简图和数据库; 预计的数据速率、等待时间、抖动、传输损失、同步和吞吐量; 数据的分包和分帖等环境)、安全环境 (例如防火墙连接, 安全协议与附加器, 敌方计算机的性质、攻击方法和可信的建立以及安全域等环境)、用户与使用环境 (例如可测量性、更新能力、用户的培训与行为调整、用户接口、组织随系统的影响而改变和重组等环境), 依系统要求说明提出的系统工作所预期 / 所要求的环境以及每个设计项目 (产品、分系统、部件、技术工作分解结构要素) 所需性能的内部环境而定。

可见, 环境的确定既重要, 又是技术成熟度评价的难点之一。

### 3.1 使用环境

使用环境是产品实际使用时的环境,包括外部接口条件、环境条件和使用条件。“使用环境”是TRL中最为关键的词语之一。

在技术成熟度等级定义中,“使用环境”是指广义的环境,包括诸如温度、振动、湿度和气压等环境条件(狭义的环境),也包括产品的外部接口条件和使用条件。

外部接口条件是与上一级产品的接口,或者与功能实现相关的其他产品的接口,接口包括物理、电子、电气、液压或气压、软件、信息、网络等因素。

使用条件主要是指产品用户方面的影响因素,包括任务剖面、使用模式、用户习惯等因素。

使用环境是考虑了最终产品的所有技术特性要求和使用要求。下面列举了一些环境类别:

1. 实体环境(或物理环境),如对机械零部件、处理器来说,是指温度、湿度、振动和冲击等。
2. (软件)逻辑环境,如对软件接口、操作系统、面向服务的体系结构来说,是指通讯协议等。
3. 数据(格式)环境,如对数据格式、结构、模型、表、数据库来说,是抖动、传输丢失、同步、数据打包等。
4. (网络)安全环境,如对防火墙、安全协议来说,是攻击模式、信任制建立等。
5. 用户及使用环境,如可伸缩性、升级能力、用户培训和行为习惯、用户界面、受系统影响所产生的组织变革或重组、执行计划等。

我国的国家军用标准对环境因素有所定义,可认为是“狭义的环境”,如GJB 6117-2007《装备环境工程术语》认为,“环境”是:装备在任何时间或地点所存在的或遇到的自然和诱发的环境因素的综合。其中,“环境因素”是:构成环境整体的各个要素,如温度、振动、湿度和气压等。

在装备环境工程里,环境又分为自然环境和诱发环境。GJB 4239-2001《装备环境工程通用要求》认为,“自然环境”是:在自然界中由非人为因素构成的那部分环境。“诱发环境”是:任何人为活动、平台、其他设备或设备自身产生的局部环境。

无论是自然环境还是诱发环境,均是指气候、地理、动力学、电磁、生物、化学、核等方面的环境条件。如果不特别说明,“环境”容易理解为“环境条件”。例如,GJB 421A-1997《卫星术语》定义了“空间环境”为“卫星在空间运行时所经受的环境条件,如真空、高低温、太阳电磁辐射、带电粒子辐射、失重(微重力)

等。”这里的空间环境应当指空间环境条件,而TRL等级定义中的环境并不是这种狭义的内涵。

综上所述,TRL里的“使用环境”具有广义的内涵,即环境是产品的外围要素,除了环境条件,还有外部接口条件、使用条件。

### 3.2 相关环境

在国外TRL中,“相关环境”是从属于“使用环境”的术语。模拟环境是对使用环境的关键部分进行了模拟的试验环境,一般用于验证产品的关键性能或其主要组成部分的关键性能。

该术语的内涵与国外是一致的。国外TRL标准认为“相关环境”是:使用环境的子集;模拟了使用环境中关键的、需着重强调的内容;特别关注在技术设计中有质疑的地方;用于演示最终产品使用时具有风险的内容。从中可看出,这种环境其实就是通常说的模拟环境,是对使用环境的模拟。

### 3.3 实验室环境

实验室环境是一种技术条件可变的环境。例如,在同一份资料里对“高逼真度”的定义中,就有“高逼真的实验室环境,包含能够在一定条件下,模拟和证实系统所有技术要求的测试设备”。

在国外标准中,该词语仅出现在TRL4的等级定义里。在国内对技术成熟度等级定义的理解中,指明TRL4的验证方式的内涵,即在TRL4暂不考虑环境适应性要求,或采用了模拟逼真度较低的试验模拟器。实验室环境,证实基础原理和功能性能需要的受控环境。实验室环境不一定陈述运行环境。

## 4 结论

本文主要分析了技术成熟度评价细则及其主要构成要素:等级定义、技术载体和验证环境,技术成熟度评价通过制定被评价对象的技术成熟度评价细则,并得到研用各方和管理各层的先期公认,从而提供了行业准入门槛。评价方通过对评价细则进行确认,对相关支撑信息和判据进行审核,最终对评价对象给出技术成熟度定量结论。

### 参考文献:

- [1] GB/T 22900-2009 科学技术研究项目评价通则[S].2009.
- [2] GJB 7688-2012 装备技术成熟度等级划分及定义[S].2012.
- [3] GJB 7689-2012 装备技术成熟度评价程序[S].2012.