

# 技术成熟度评价在广东基础研究项目管理中的应用探讨

张娟

(广东省技术经济研究发展中心, 广东广州 510070)

**摘要:** 技术成熟度评价在重大科技项目管理中的应用越来越多, 但相对于基础研究项目应用方面目前还很有限。结合广东省自然科学基金实际管理工作, 将技术成熟度评价方法应用于基础研究项目的管理中, 建立基于基础研究项目的技术成熟度评价标准。该方法可以分别对项目关键技术的当前状态、较立项状态提升的程度以及与目标预期状态的距离进行评价, 有助于及时掌握项目关键技术的实施进展情况, 发现潜在的技术风险。在此基础上, 就如何在基础研究项目管理中开展技术成熟度评价提出建议。

**关键词:** 基础研究; 技术成熟度; 项目管理; 定量评价; 广东省基金项目

中图分类号: G311

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2018.03.003

## Application of Technology Readiness Level Evaluation in the Management of Basic Research Project for Consideration on the Practice of Guangdong Province

ZHANG Juan

(Guangdong Techno-economy Research and Development Center, Guangzhou 510070)

**Abstract:** The evaluation of technology readiness level is more and more applied in major science and technology project management, but lacks of the evaluation compared to the basic research project. According to the practical work of Natural Science Foundation of Guangdong Province, technology readiness level evaluation method is applied to the basic research of the project management, establish TRL method by technology readiness level evaluation based on the basic research projects standard. The state of a technological project is classified into nine TRL Levels from initial to final state during a life-cycle prospectively, in which the efficiency of project implementation management could be promoted by TRL level quantification indexes. Appraise initial, middle and final phase status will be conducive to managing the project progress and technical risks in time, and also propound some suggestions on how to carry out the technology readiness level evaluation based on the basic research project management.

**Keywords:** basic research, technology readiness level, project management, quantitative evaluation, Guangdong funds program management

技术成熟度<sup>[1]</sup> (Technology Readiness Levels, (NASA) 提出, 到 20 世纪 90 年代才逐渐成熟。TRL) 在 20 世纪 70 年代由美国国家宇航局 对于具体项目的发展状态而言, 技术成熟度可以

**作者简介:** 张娟 (1982—), 女, 广东省技术经济研究发展中心助理研究员, 主要研究方向: 科技管理研究、科技评估以及绩效评价。

**基金项目:** 广东省自然科学基金项目“基于技术就绪度理论的自然自然科学基金项目评估体系及方法研究”(2017A030313636)。

**收稿时间:** 2018年1月23日。

反映其技术发展状态是否达到了预期目标，是国际上广泛应用于对重大科技项目和工程项目进行技术成熟度量化评价的规范化方法。2009年，国家标准化管理委员会发布的《科学技术项目评价通则》为基础研究、应用研究、开发研究等三类项目的投入产出效率评价提供了量化评价方法。目前，技术成熟度评价方法大多应用在我国重大科技项目管理中。本文则对广东省自然科学基金在重点基础研究项目管理中引入技术成熟度评价。

广东省自然科学基金是广东省为促进基础研究而设立的科学基金，主要用于资助省内经济社会发展重要需求及科技前沿而开展的基础研究。广东省自然科学基金与其他科技项目相比具有探索性、成果不确定性、发现和开拓新的知识领域等特点，加之在研究过程中受到众多因素的影响，导致很多创新活动出现预算超支、研究周期延迟及目标任务偏离等情况。为进一步提高基金项目的管理水平，在基础研究项目中引入了技术成熟度评价方法，可以有效地对立项、实施过程及验收进行监管<sup>[2-5]</sup>。笔者认为，在省基金项目管理中很有必要引入技术成熟度评估来加强管理，掌握项目进展情况等。因此，本文将从广东省基金项目管理的角度出发，探讨技术成熟度评价在广东省自然科学基金项目管理中的应用。

## 1 技术成熟度及其评价指标

技术成熟度是指一项技术对于某个具体系统或者项目所处的发展状态，反映了技术对于项目预期目标的满足程度，对了解科技计划项目状态、控制项目实施风险具有十分重要的意义<sup>[6-10]</sup>。技术成熟度评价在世界各国的国防军工项目管理和评估中得到广泛的应用，已形成一种以技术成熟度为基础的国际性通用沟通方法和工具。技术成熟度按照技术发展成熟的客观规律，将一项技术或其产品、系统按“原理概念→试验验证→仿真运行→现实环境运行”的研发流程划分为9个级别来定义技术的成熟状态，从而反映整个研发过程中的技术进展情况。每个等级制定量化的评

价细则，对科研项目关键技术的成熟程度进行评价，定量评价项目关键技术的当前状态、较立项状态提升的程度以及与项目目标预期状态的距离。

目前，技术成熟度评价方法在西方发达国家广泛使用，如美国国防部、航空航天局等机构都制定了相应的技术成熟度评价准则，包括重大武器装备的研制、采办项目的管理和控制并逐步推广至核电子、医药及信息等行业。我国也对装备研制过程中的关键技术成熟程度进行量化评价，制定了国家军用标准《装备技术成熟度等级划分及定义》和《装备技术成熟度评价程序》<sup>[11-14]</sup>。2009年，中国标准化研究院先后制定了基础研究、应用研究和开发研究项目的技术成熟度评价标准，并发布了《科学技术研究项目评价通则》，这将对技术成熟度评价在科技项目管理中的应用起到了重要的推动作用。在民口科技计划领域，国家重大科学仪器设备开发专项2015年中期评估中首次引入了技术成熟度指标和评价方法，用于了解项目关键技术的研发状态及项目进展情况。在“十三五”国家重点研发计划中也明确提出了技术成熟度指标。作为一种采用标准化等级进行量化评价的科学方法，技术成熟度评价在科研项目管理方面发挥着越来越重要的作用<sup>[15-16]</sup>。

现参考国家标准《科学技术研究项目评价通则》(GB/T22900-2009)、国家军用标准《装备技术成熟度等级划分及定义》(GJB7688-2012)和《装备技术成熟度评价程序》(GJB7689-2012)，根据科研项目的研发规律，结合广东省基础研究项目的实际情况，将发现基本原理到实现产业化应用的研发过程划分为9个标准化等级，如表1所示，每个等级制定量化的评价细则，对科研项目关键技术的成熟程度进行评价。

根据技术成熟度的定义，基础研究项目的技术成熟起点是提出技术基本原理，终点是该技术方法的研究成果得到实际应用，技术成熟的过程基本围绕技术本身的原理完善技术方案，在实际条件下完成方法的系统验证，最后完成成果研究并得到应用。TRL1—TRL3级对该技术在科学意

义上的可行性演示,TRL4—TRL6级对该技术在工程意义上的可行性演示,TRL7—TRL8级对该技术在验证该技术使用的意义上的可行性演示,TRL9级对该技术符合任务的可行性演示。

## 2 技术成熟度评价细则

根据技术成熟度评价方法的要求,结合广东省自然科学基金项目主要类型和特点,以2014年广东省自然科学基金重点项目为例,说明技术成熟度在各阶段应完成的工作,以加强科研项目的管理。广东省基金重点项目主要是为了解决全省科技、经济和社会发展中的瓶颈问题,瞄准国际科技前沿,以全省目标为导向,结合全省经济社会发展战略需求,聚焦目标、突出重点,集中突破事关发展全局的基础研究和共性关键技术。技术成熟度评价管理主要涉及项目申报、立项评审、项目实施及项目验收等环节,包括确定关键技术元素、确定评价细则、评价技术成熟度等步骤和阶段。

在填报考核指标时,项目承担单位应对立项、中期及完成时的状态以及每个状态提出关键技术元素,为科技项目关键核心技术的证据获取及技术成熟度评价提供丰富的基础数据。在待立项评审环节中,为有效评价立项项目的可行性,技术成熟度的评价增强了技术评价指标体系的定量性,使评估更加标准化,相应的立项佐证材料使技术专家在评审中做出较为客观的判断,较好

地解决了同行评议中专家凭主观能动性进行判断的难题。立项后的项目在管理中引入技术成熟度评价,不仅可以掌握项目的实施进度,而且可以对项目中遇到的成本核算及控制提供较好的参考工具。在项目实施进入结题验收阶段,引入技术成熟度评价,通过与立项目标比对,管理机构可以更好地把握项目的阶段性成果,对成果推广应该起到更好的支撑作用。

现参照基础研究项目技术成熟度量表的9级评价标准,并根据省自然科学基金重点项目“有机/聚合物太阳能电池材料及器件”的特点,制定评价细则,如表2所示。其中第1级为最低级别,第9级为最高级别。本次评价具体关注第3级到第8级,从立项级别在实验室环境中仿真结论成立,到验收时论文发表、报告立卷及著作出版。

采用该方法首先需要对该项目单位相关人员进行评价前的培训,使其熟悉项目评价的要求和重点,统一标准和口径。在编制项目合同计划书时根据技术结构分解关键核心技术,明确3个需要重点攻克的主要内容,包括两个硬件产品和一个软件产品,立项启动时为TRL3级。在立项评审环节,专家组根据评价细则对关键技术成熟等级进行评价,核查关键核心技术是否真实,提供的技术成熟度等级是否正确,最终确定立项。在中期检查时,管理执行机构根据合同计划书内容比对关键技术级别,对项目的关键技术进展情

表1 基础研究项目技术成熟度评价标准

等级	基本定义	评价标准
TRL 1	发现基本原理	提出技术基本原理,形成报告
TRL 2	形成技术方案	形成技术路线及技术方案
TRL 3	方案通过验证	完善技术路线及技术方案,形成可行性研究报告
TRL 4	形成单元并验证	验证单元的关键技术
TRL 5	形成分系统并验证	初步形成方法的架构,并通过验证
TRL 6	形成原型并验证	在实际条件下完成方法的系统验证,形成初步技术结论
TRL 7	现实环境中的应用验证	基本完成方法研究,形成研究报告和论文、专利等研究成果
TRL 8	用户验证认可	全部完成方法研究,发布论文、专利等研究成果
TRL 9	得到推广应用	技术方法研究成果得到实际应用

表 2 广东省自然科学基金重点项目技术成熟度评价细则

评价等级		评价细则	检查内容	权重/%
TRL1	提出技术基本原理，形成报告	在学术刊物、会议论文、研究报告、专利申请等资料中公布了可作为项目研究基础的基本原理	报告、专利等	50
		明确了基本原理的假设条件、应用范围		50
TRL2	形成技术路线及技术方案	分析了方法的基本要素及构成	技术方案	30
		初步分析并明确方法的技术路线		50
		明确方法的作用和应用领域		20
TRL3	完善技术路线及技术方案，形成可行性研究报告	形成完善的技术方案，有明确的目标和指标要求	可行性分析报告	30
		验证了技术方案的可行性		40
		具有完善的技术研发计划		10
		明确技术风险		2
TRL4	验证单元的关键技术	完成单元关键技术的研究	试样模块	30
		通过单元关键技术的验证	验证报告	30
TRL5	初步形成方法的架构，并通过验证	各关键技术初步形成方法的技术系统	产品初样	35
		完成方法的验证	验证报告	35
		明确方法的适用范围	过程文档	10
TRL6	在实际条件下完成方法的系统验证，形成初步技术结论	完成方法的技术系统	产品正样	35
		在实际使用条件下通过方法的验证	验证报告	35
		初步形成方法的技术应用结论	应用方案	5
TRL7	基本完成方法研究，形成研究报告和论文、专利等研究成果	基本完成方法的研究内容，形成研究报告初稿	产品实物	30
		形成方法研究结论	验证报告	30
		提交论文、著作、专利等成果	测试报告	10
TRL8	全部完成方法研究，发布论文、专利等研究成果	研究内容全部完成，形成最终研究报告	产品实物	30
		论文、著作、专利等成果得到发表和批准	测试报告	30
		研究成果得到初步应用	说明书	10
TRL9	技术方法研究成果得到实际应用	论文、著作、专利等成果被引用和采纳	应用证明	30
		研究成果得到广泛或有影响的应用	归档文件	10

况进行定量测评和分析，对实施进展情况进行监督，中期评价级别为TRL6级。在结题验收时，最终评价结果显示：项目验收成果与考核指标完成情况良好，产品的技术成熟度达到TRL8级，项目已完成论文、著作的发表和出版，并申请了2项发明专利及1项软件著作权，相关研究成果为广东省太阳能电池材料产业发展提供技术支撑。

### 3 案例分析

现将技术成熟度评价方法用于广东省自然科学基金基础研究项目的管理，进行案例分析。

广东省自然科学基金基础研究项目围绕计算与通信集成芯片、移动互联关键技术与器件、云计算与大数据管理技术等广东战略性新兴产业开展基础与应用基础研究。2014年广东省自然科学基金重点项目共有52项，包含生物医学、新材料、新能源、电子信息技术4个领域。重点项目细分为4个领域涉及142项关键技术。技术成熟度评价管理主要涉及项目申报、立项评审、项目实施及项目验收等环节，包括确定关键技术元素、确定评价细则、评价技术成熟度等步骤和阶段。各领域关键技术元素技术成熟度分布如表3

所示。

在立项时，大多数项目关键技术元素处于TRL3（34项）、TRL4（31项）和TRL5（25项），分别占23.9%、21.8%和17.6%；领域内各项目关键技术元素主要集中在TRL4-TRL5级，平均技术成熟度为4.4级。按照技术成熟度9个等级的标准定义（表1），立项时各关键技术元素基本达到了验证可行性单元的阶段。在中期时，各项目关键技术元素主要集中在TRL5-TRL8级，大多数项目关键技术元素技术成熟度水平已提升为TRL5（25项）、TRL6（24项）、TRL7（35项）和TRL8（37项），分别占17.6%、16.9%、24.6%和26.1%，平均技术成熟度为6.7级。这表明各项目关键技术在中期时总体进入验证阶段，部分关键技术已经达到TRL8-TRL9级，处在验证认可

阶段。在验收时，按照各领域项目合同计划书要求，大部分关键技术元素应达到TRL8级或TRL9级，评价结果是预期项目大多数关键技术元素处于TRL8（44项）和TRL9（82项），分别占31%、57.7%，平均技术成熟度为8.4级，这表明验收时绝大部分项目已开展推广应用。

从各领域平均技术成熟度提升情况来看（图1），2014年广东省自然科学基金重点项目立项时平均关键技术成熟度为TRL 4.0，中期时为TRL 6.4，验收时平均技术成熟度能达到TRL 8.6，即全部达到完成方法研究、发布论文和专利等研究成果阶段。

本次评价表明各领域技术成熟度提升程度良好，与合同计划书要求的技术成熟度等级差距较小，整体来说项目进展情况良好。为保证项目验

表3 广东省自然科学基金各重点项目关键技术元素技术成熟度分布

技术成熟度	立项时		中期时		验收时	
	关键技术数量/项	占比/%	关键技术数量/项	占比/%	关键技术数量/项	占比/%
TRL1	0	0	0	0	0	0
TRL2	18	12.7	1	0.7	0	0
TRL3	34	23.9	2	1.4	0	0
TRL4	31	21.8	9	6.3	0	0
TRL5	25	17.6	25	17.6	0	0
TRL6	16	11.3	24	16.9	3	2.1
TRL7	17	12.0	35	24.6	13	9.2
TRL8	1	0.7	37	26.1	44	31.0
TRL9	0	0	9	6.3	82	57.7

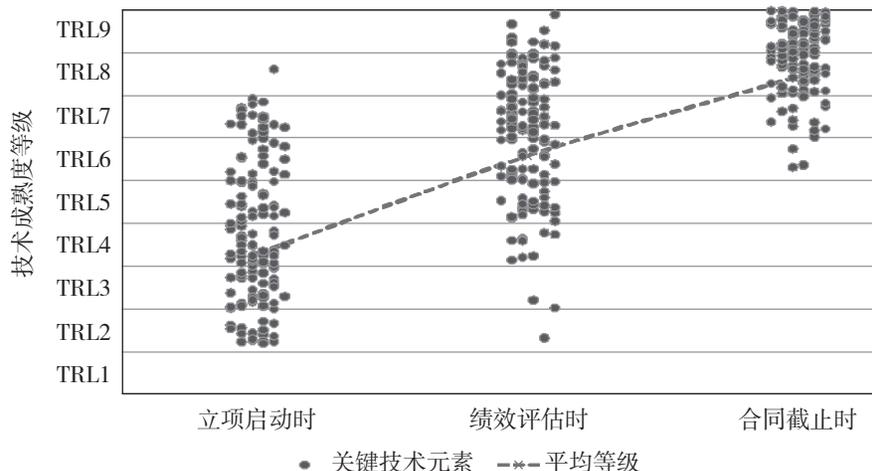


图1 广东省自然科学基金重点项目关键技术的技术成熟度提升情况

收时达到目标水平，在项目后续实施过程中，需要项目承担单位按合同计划书要求稳步推进项目进程。

对 2014 年广东省自然科学基金重点项目中的“有机/聚合物太阳能电池材料及器件”项目开展了立项评估、中期评估、验收评估。总体来看，被评项目进展良好，基本完成了合同计划书规定的考核指标要求。该项目涉及了 3 项关键技术，在立项时、中期时、验收时的技术成熟度分别为 TRL3、TRL6、TRL8。

#### 4 结论

(1) 技术成熟度是基于技术增加值的科技评价通则的重要内涵，是科研项目立项论证、合同签订、风险评估、计划管理、成本管理、技术状态管理、预算管理所有科研工作的基础，是科技管理者或科研项目负责人对该科研项目的总体情况进行掌控的重要工具。技术成熟度评价通过建立统一的评价标准，作为整个项目管理的重要性指标应用于基础研究项目，具有合理性及可操作性。

(2) 对广东省自然科学基金重点项目细分的 4 个领域进行技术成熟度的评价分析，一方面可以使各领域的管理人员了解该项目的进行情况，哪些技术执行情况好，哪些技术执行情况存在困难和瓶颈；另一方面可以使科技管理人员掌握整个专项的技术执行情况，为任务部署提供决策帮助。

(3) 按“技术九级”概念构建个性化的技术成熟度体系框架，对项目从立项、中期到最后验收进行技术成熟度等级的评价，可准确把握技术状态，有效降低项目的技术风险。

(4) 评价项目的案例也仅仅是广东省自然科学基金的一小部分，对于其他有关重大项目、团队项目、博士启动项目和面上项目等技术成熟度的评价，还有待进一步探讨。

#### 参考文献

- [1] MANKINS J C. Technology readiness levels[J]. White Paper, 1995, 6(6): 1995.
- [2] 徐溪红. 安徽省自然科学基金项目资助现状、问题及对策[J]. 合肥师范学院学报, 2009, 27(5): 64-68.
- [3] 刘玲, 徐霖, 刘琼. 发达国家自然科学基金比较对广东省自然科学基金的启示[J]. 广东科技, 2016, 25(6):23-25..
- [4] 刘玲. 浅析广东省自然科学基金管理存在的问题与对策[J]. 社会工作与管理, 2015, 15(4):84-87.
- [5] 李雄谄, 李新杰. 我国省级自然科学基金管理体制研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2011, 32(3):16-20.
- [6] 陈华雄, 欧阳进良, 毛建军. 技术成熟度评价在国家科技计划项目管理中的应用探讨[J]. 科技管理研究, 2012, 32(16):191-195.
- [7] 周涛, 于兰萍, 张勇. 技术成熟度评价方法应用现状及发展[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(5):1609-1612.
- [8] 刘玲, 崔洁, 彭向阳. 国家自然科学基金委员会-广东省人民政府自然科学基金联合基金资助成效及创新模式分析[J]. 中国科学基金, 2014, 28(5):366-371.
- [9] 王亚光, 王松俊. 技术就绪水平及其应用[J]. 军事医学, 2012(3): 220-224.
- [10] 李达, 王崑声, 马宽. 技术成熟度评价方法综述[J]. 科学决策, 2012(11):85-92.
- [11] 段磊. 技术成熟度评价在空空导弹科研管理中的作用[J]. 航空兵器, 2012(4):54-57.
- [12] 武思宏, 周小林, 杨云, 等. 国家科技计划后端资助政策及项目评估: 以国家重大科学仪器设备开发专项为例[J]. 中国科技论坛, 2017(1): 5-11.
- [13] 郭道劝. 基于TRL 的技术成熟度模型及评价研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.
- [14] 中国标准化研究所, 中国电子科技集团公司, 北京加集巨龙管理咨询有限公司. GB/T 22900-2009 科学技术研究项目评价通则[A]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 1-10.
- [15] 赵慧斌, 黄敏. 技术成熟度在电子对抗装备研发上的应用[J]. 电子信息对抗技术, 2008, 23(6):55-59.
- [16] 李达, 王崑声, 马宽. 技术成熟度在国家科技重大专项评估中的应用[J]. 科技管理研究, 2016, 36(1): 153-157.