

海洋可再生能源开发利用技术成熟度研究

倪娜,王海峰

(国家海洋技术中心 天津 300112)

摘要:技术成熟度评价是用数值评价技术确定研发项目符合研发目标程度的一种方法,国外在航天领域、作战飞机和导弹系统研发、国防采办等项目中得到了广泛的应用。文章扼要介绍了技术成熟度概念的形成以及自 20 世纪 90 年代以来我国对于技术成熟度的研究和有关部门制定的评价技术成熟度的标准。海洋可再生能源开发利用是一个新兴的领域,面临着巨大的技术风险,而技术成熟度评价作为风险管理的一个重要手段,在海洋可再生能源开发利用项目管理应用中有着广阔的前景。

关键词:海洋可再生能源;开发利用;技术成熟度

中图分类号:P74

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2017)03-0049-05

TRLs on Marine Sustainable Energy

NI Na, WANG Haifeng

(National Ocean Technology Center, Tianjin 300112, China)

Abstract: Technology Readiness Assessments (TRA), a method certifying qualification aims of R&D, has been widely used in fields of aeronautical and space technologies, operational aircraft, systematical R&D on missiles to defend acquisition. This paper briefly introduced the origins of TRLs concept and researches for experts in our country since 1990s and standards of enactment TRA of administrations. Exploitation and utilization of marine sustainable energy (MSE) is a burgeoning field facing enormous risks while TRLs have a wide spread perspectives in special management of MSE exploitation and utilization.

Key words: Marine sustainable energy, Exploitation & Utilization, TRLs

1 何谓海洋可再生能源开发利用技术成熟度

“技术成熟度”(technology readiness level, TRL)亦称“技术完备等级”,或“技术准备度”,是适应现代管理工作需要而产生的新概念,是一种用数值评价技术确定符合研发项目目标的程度的方法,

是了解技术研发水平和状况的便捷途径,也是研发项目风险管理的一个重要而有效的工具。

技术成熟度评价是为确定一项技术研发的成熟程度而对与该技术有关的概念、技术状态、技术能力等方面进行的评估。技术成熟度评价最初仅用于单项技术的评估,而不是对整个技术系统的综

合评价,如对海上波能发电技术成熟度的评估,实际上也只是对波能转换装置技术成熟度的评估,并非对整个波能发电系统,包括波能俘获装置、能量转换装置、电能储存、输送装置、系泊系统及其他组件进行的综合性评估。但在层次分析法引入技术成熟度评估系统之后,就有可能在评估各子系统的基础上得出整个系统技术成熟度的综合评价。

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是在 20 世纪 70 年代后产生的一种建模方法。这种方法以系统分析理论为依据,把经验认识与理性分析有机地结合起来,利用层次分析数学方法把复杂的决策系统层次化,通过逐层比较各种相关因素的重要性而进行分析和决策,提供定量的依据。层次分析法广泛应用于评价学之中,是一种常用的比较客观、科学,而且可操作性比较强的指标层次分析方法,这种方法能够更加准确、客观地做出评估^[1]。

2 技术成熟度概念的形成及应用

技术成熟度评估方法最初是由美、英等西方国家军方用于国防采办项目管理之中。早在 1969 年,美国航天航空局就已经提出了开发技术成熟等级评估方法的设想,1975 年美国通用动力公司首次将技术成熟度评估方法应用于航天飞机的研究,此后这一方法又为美国国防部所借鉴并应用于重大国防采办项目。1995 年美国航天航空局率先提出了评价技术成熟度的九级标准,并将这类标准应用于航天领域。2001 年美国国防部采纳了这类标准,并颁发了军标指南,要求所有重要的采办计划都要应用这类标准。据报道,美国国防部在实施技术成熟度评价方法过程中,每年经技术成熟度评价的项目的研发经费达 3 亿美元,重大采办项目的采购费用达 18 亿美元。美国国防部通过应用技术成熟度评价方法节省了数十亿计美元的费用,并显著减少了项目拖延情况。仅 2007 年就评价了 62 个武器系统项目,涉及投资额超过 9 500 亿美元,占当年武器采办计划的 2/3^[2]。技术成熟度的概念在世界许多国家的防卫和军事部门、科研机构及企业,以及相关国际机构都得到了广泛的应用。

在大量的研究基础上又产生了评价领域的技术成熟度的方法:如评价企业软件开发能力成熟度

模型、人员能力成熟度模型、集成产品开发能力成熟度模型、系统工程能力成熟度模型、划分技术成熟度等级的 4 个发展阶段和九级标准,以及帮助企业改进软件质量的软件技术成熟度模型(CMM)、美国陆军开发的技术项目管理模型(TPMM)、美国生物医学预研和发展管理局开发的适用于医疗领域的技术成熟度体系等。1993 年 美国卡内基—梅隆大学软件工程研究所发布了 1·1 版的“软件能力成熟度模型”。该版模型把软件开发能力的成熟度分为 5 个等级:初始级、可重复级、已定义级、定量管理级和优化级。该模型已经成为美国国防部对软件承包商现有软件能力进行评估的一种重要手段,利用该模型可以确定软件承包商现有的软件开发能力,查找出软件质量及过程改进的问题。到 1999 年全球已经有近万家软件企业通过了 CMM 各级认证^[3]。2001 年为美国国防部采纳了评价技术成熟度的九级标准,并将项目研发过程划分为 4 个阶段:概念研究阶段、技术开发阶段、工程研制阶段和生产部署阶段。目前,美、英等西方国家在国防采办中主要推行九级技术成熟度评价标准,将这类标准应用于采办项目风险评估和管理,包括合同管理、资源分配、经费预算、绩效管理、成果评价等方面。

然而 TRL 评价方法只能度量技术的一个维度,还不能得出技术水平评估的全貌,而且还只是一些粗线条的等级评估标准,要全面精确地评估还需要从多个维度进行度量,还需要辅以更详尽的具体的指标。于是有的将 TRL 评价等级细化,如美国国防部虽然也采用 TRL 九级评估体系,但又划分了 18 种技术进展状态,每一种状态都对应着一个 TRL 等级。而美国生物医学预研和发展管理局开发的适用于医疗领域的 TRL 体系,将其技术成熟度划分为 13 个等级,作为应对化学威胁的医疗措施。这种更加细化的技术状态的描述有利于更加准确划分技术成熟度等级。有的则扩展其内涵,如美国国防预研项目署将“技术”的含义扩展得甚广,不仅包括应用性、风险和设计,还包括了装配、制造、材料,甚至还有知识产权,而成为一种结合了结构成熟度、材料成熟度、制造成熟度、成本收益成熟度等多个维度的成熟度指标^[4]。

此外,TRL 评估标准还缺少具体的使用指导,在准确评估项目的技术成熟度级别时,往往需要聘用有关领域的高水平的专家,而且还需要对这类专家进行评估方法的专门培训,这样就会大大增加评估的成本。于是一些研究机构又开发了一些与TRL 相关的度量指标,如美国史蒂文斯理工学院设计了集成成熟度指标(IRL),用以同TRL 一起确定系统成熟度。美国空军研究实验室设计了制造成熟度指标(MRL),用以弥补TRL 在体现可生产性方面的不足。该实验室还开发了专门的TRL 计算器,从技术、制造或可生产性、文档的完备性3个方面进行度量,能够快速获得项目技术成熟度水平^[5]。

3 技术成熟度级别的划分

要确定某一项技术的成熟度,就需要建立划分技术成熟度的级别以及确定这种级别的标准。1995年美国航天航空局发布了《TRL 白皮书》,率先提出了划分技术成熟度的9级标准,并将其应用于航天领域。2000年美国国防部采纳了九级标准,发布了指导文档,2001年又将采办程序划分为4个发展阶段:概念研究阶段、技术开发阶段、工程研制阶段、生产部署阶段。TRL 作为度量技术成熟程度的一种工具,已经得到了外国政府、机构和企业的广泛接受,美国国防部和导弹防御局(MDA)、欧洲航天局(ESA)、加拿大国防部、法国宇航中心、日本宇航局等机关都结合技术项目管理的实际需要,以美国航天航空局的技术成熟度等级划分为基础,先后制定了自己的技术成熟度评估体系,但一般仅只经过少量修改,也有的进行了一些扩展和延伸^[5]。然而由于九级标准在实际应用中仍存在不少问题,特别是没有考虑到新技术研发中未解决的难题,以及在有多个子系统时难以得到合适的成熟度等级,国际标准化组织(ISO)于是设立了技术成熟度标准编制组,并于2013年11月1日发布了《航天系统:技术成熟度等级及评价准则定义》标准(ISO 16290),对国际航天领域的技术成熟度评估工作进行了规范,这是世界范围内第一个关于技术成熟度的国际标准,是在研究管理体系中推广运用技术成熟度体系的一个具有里程碑意义的重大事件。

技术成熟度研究工作在我国起步相对较晚,且

所做的工作也十分有限,仅在一些高精尖领域做了一定的探索性的工作。如在导弹系统的研制方面,由于这项工作通常都面临着巨大的技术风险,我国有关部门也将技术成熟度的理念引入导弹系统的预先研究和型号研制以及项目管理之中,并参考美国航空航天局和美国国防部的技术成熟度等级划分标准,结合导弹系统自身的特点,制定了划分导弹系统研制技术成熟度的9级标准,并且运用层次分析法分别求得其子系统,包括导弹制导系统、动力装置、战斗部、弹体和弹上电源等子系统技术成熟度。

2008年我国航天科技五院结合我国空间企业的预研和技术开发实际情况,参考国外采用的标准,编制了我国空间领域的九级技术成熟度划分标准——《航天器单机产品定级规定》。

我国海洋工作者结合我国海洋可再生能源研发的实际情况,参考国际标准化组织制定的ISO 16290标准,分析确定了国内外海洋能开发利用技术的成熟度,认为在世界范围内潮汐能和海上风能发电技术成熟度等级最高,可达到9级,也就是说,达到了产业化发展阶段,如法国的朗斯、韩国的始华湖潮汐能电站;波能发电技术成熟度次之,可达7~8级,特别是英国的Pelamis波能电力公司不仅完成了全尺寸样机实海况试验,而且还建成了世界上第一个商业化波能电站,甚至计划建设由66台机组组成的大型波能发电场。国外潮流能发电装置的技术成熟度可达7~8级,如英国MCT公司研发的潮流能发电装置已完成了全尺寸的实海况测试,技术成熟度达到了8级,有关的目标是到2020年建成398 MW的潮流能电场;国外温差能、盐差能和海流能发电技术成熟度较低仅为4~6级。

我国海洋能发电的技术成熟度与国际相比较,整体水平偏低,仅潮汐能和海上风能发电技术成熟度达到9级。而其他种类海洋能开发利用的技术成熟度均低于国际先进水平,如按技术成熟度排序,依然是潮汐能和海上风能排位最高,技术成熟度可达9级,也就是说,已经达到了产业化发展阶段。潮流能(5~6级)和波能(6级)次之,即在我国开发利用这两类能源的全尺度样机已经过了模拟环境的

测试或海试。温差能、盐差能和海流能开发利用的技术成熟度仍属最低。

4 技术成熟度评估在海洋能源开发利用项目管理中的应用

在我国,海洋可再生能源的开发利用是一个新兴的产业,研发工作技术起点低,研发能力薄弱,技术发展有限,与先进国家相比较还有一定差距,也就是说,在海洋能研发方面我们面临着更大的技术风险,管理中更加需要实施技术成熟度评估制度。而且要科学地制定海洋能开发利用政策和发展战略,确定技术发展路线,合理地安排和管理研发项目,也需要全面、客观而又及时地了解研发技术的水平和技术的成熟程度,掌握研究发展状况,明确现有技术与发展目标之间的差距,认清技术发展所面临的困难和风险,在此基础上才能做出正确的决策。然而长期以来我们对技术成熟度的评估都是采用专家评估的方式,这种评估方式具有快捷、方便、成本低等优点,并且能够集中本领域顶级专家的聪明才智,但同时也难免存在一些弊端,例如因为缺乏规范而客观的评价标准,其评价就有可能或是过于含糊,或者有失客观,而且往往还会受到部门利益和个人偏见的影响,难以对决策和管理工作提供有力的技术支撑,甚至还会导致误判或其他不利的影响。

在海洋可再生能源开发利用项目管理中引入技术成熟度评估方法,既能够直观地表示出技术发展状态,又能够有效地预判及规避技术风险,既可以提供项目承担单位研发能力的信息,又能得出有关项目的技术组成、技术储备以及技术风险的信息,因而无论是在研发项目的管理和决策方面,还是在制定技术发展规划和路线,确定技术发展战略和政策,甚至在研发项目的立项和立项论证、项目承担单位的筛选、研发阶段转移的评审和决策、项目的中期评估、检查、验收等管理环节中,引入技术成熟度评价系统都会有所裨益。

5 引入技术成熟度评估系统的思考

在海洋能研发项目管理中引入技术成熟度评估系统需要注意以下 4 点。

5.1 建立技术成熟度评估制度

在海洋能研发项目的立项、招标及立项论证中,在决定一个项目是否予以立项时,需要对该项目的技术成熟度进行评估,以便决定一个项目是否应当立项。同时还需要了解项目承担单位的技术能力,认清该项目可能存在的技术风险,知道哪些技术是成熟的,或基本上是成熟的,哪些技术的成熟度等级比较低,更不能忽视那些没有基础,而需要从零开始研发的技术。这类技术成熟度比较低的项目的技术风险就特别大,往往会导致项目进度的延期和经费的增加,因而需要采取特别的措施予以应对。此外项目管理人员还应当清楚,哪些单位具备研发该项目的能力,这些单位的优势在哪里,短板又在何处,这些信息都可以通过技术成熟度评估而获得。在这方面国外是有不少教训的,美国审计总署就一再告诫,美国国防部在采办项目中,低技术成熟度的项目组件或子系统是导致项目进展被拖延和成本超支的重要原因^[4]。我们的项目也有延拖的情况,这或许就与项目中某些部分的技术成熟度较低不无关系。在管理这类项目时,就不能让整个项目同时上马,一哄而上,而应当先安排技术成熟度较低的部分,或予以重点研究。在该部分的技术成熟度达到总体水平后,再全面开展整个项目。这就有可能避免整个项目进度的延期,也不会造成研究经费的超支。

5.2 建立研发项目阶段性管理制度

美国国防部曾将技术发展过程划分为 4 个阶段管理,并称之为“里程碑决策”。我们亦可将海洋能项目技术发展过程划分为 4 个阶段,即:概念研究阶段、技术开发阶段、工程研制阶段和产业化发展阶段,按照阶段的目标节点分阶段进行管理。只有当关键技术元素的技术成熟度达标之后方可转入下一个研发阶段,这时项目风险就比较低。

一般认为,第一阶段为概念研究阶段,主要工作是立项论证、基础概念研究、实验室分析等。在管理上需要在项目技术成熟度评估的基础上,规范项目立项,细化项目立项论证,确定项目目标和目标节点,进行项目招标筛选,优中选优,选择能承担该项目的最佳单位。在这一阶段相应的技术成熟

度应为1~3级,而在达到3级之后,研究开发工作方可转入下一个阶段,即技术开发阶段。第二阶段的主要工作是开展研究性的实验室研发、系统及其组件的验证等。在项目管理上应当按照项目目标节点的要求,对照技术成熟度相应的级别,对项目实施情况进行监督检查。在这一阶段还应当明确项目的关键技术元素,通过技术攻关使关键技术达到指标要求。在全比例尺的系统通过了模拟环境的验证,符合技术成熟度的要求,即达到6级之后才能转入第三阶段,即工程研制阶段。在第三阶段应当明确系统的需求和关键技术指标,进行系统集成和验证,并在关键技术元素的技术成熟度达到8级后,才可以转入第四阶段,即产业化发展阶段。由工程研制阶段转入产业化发展阶段是一个重要的转折点,其主要工作是完成系统或定型产品的海上测试、运行和评估,此后可以转入产业化发展阶段。在这一阶段,技术成熟度应当达到9级,这样才能将项目的风险维持在比较低的水平,确保项目按时完成。而如果技术成熟度并未达到要求而强行转入下一个阶段,就可能导致期限的延误和费用的增加。

类似教训,在国外俯拾皆是,如美国国防部的联合作战飞机项目(JSF),于1996年启动并开始关键技术的开发,原计划2001年转入工程研制阶段。2000年美国审计总署通过技术成熟度评估分析指出,JSF项目办公室的采办策略不能确保在进入工程研制阶段完成关键技术的研发,不能达到可接受的技术成熟度评估的7级标准,因而建议调整采办计划,推迟转入下一阶段的时间。但美国国防部在关键技术未实现突破的情况下仍坚持于2001年10月转入工程研制阶段,结果导致费用增加,项目滞后了16~22个月。类似的情况在我们的研发项目中也并非罕见,项目延期的情况时有发生,在海试时丢失设备的事故也非偶然,这显然是与不明海况,或系泊系统的技术成熟度尚未达到标准就勉强进行海试不无关系。

5.3 制定海洋能研发项目技术成熟度标准

技术成熟度评估是海洋能研发项目管理的有效手段,无论是对研发项目的立项和立项论证、承

担研发项目的单位的筛选、项目经费和进展情况的监督检查、中期评估等环节,还是在项目完成后的检查验收时,技术成熟度评估方法都是一个行之有效的工具,用以对照项目目标和目标节点的要求,对项目及其进展情况做出科学的评价,实施有效的管理。

为此,我们可以在国际标准化组织制定的ISO 16290标准的基础上结合我国海洋能研发的实践和项目管理的经验,制定适合我国海洋能研发的技术成熟度标准。令人欣慰的是,我国有关管理部门已经认识到技术成熟度评估方法的重要性,并开始组织制定海洋能电站技术成熟度评价的国家标准,希望能够早日发布实施。

5.4 加强技术成熟度评估的应用研究

技术成熟度相关问题的研究在我国还刚刚开始,无论在理论上还是在应用实践上都还有许多工作要做,特别是海洋能项目评价指标体系的建设等方面还有许多难题需要解决。但技术成熟度评估本身就是一个应用问题,我们的研究也应当以实用方法的研制为主,诸如海洋能开发利用系统的综合评估方法、技术成熟度评价指标体系的建设、层次分析法在海洋能研发技术成熟度评价中的运用、技术成熟度计算器之类的简便而快速方法的研发等。

参考文献

- [1] 彭少雄,薄延珍,李学园,等.技术成熟度评价方法在导弹武器系统中的应用[J].船舶电子工程,2011,31(8):157-159.
- [2] 程文渊,龚旭东.技术成熟度评价方法在美国国防采办中的应用效果分析[EB/OL].(2010-09-20)[2017-01-07].<http://wenku.baidu.com/view/9a15b768011ca300a6c3902d.html>.
- [3] 安茂春,王志健.国外技术成熟度评价方法及其应用[J].评价与管理,2008,6(2):1-3.
- [4] 王立学,冷伏海,王海霞.技术成熟度及其识别方法研究[R].科技创新演化循证分析理论与方法研究,国家自然科学基金项目研究报告(项目编号:70873123)1-9.北京:中国科学院文献情报中心.
- [5] MANKINS C J. Technology readiness assessments: A retrospective[J]. Acta Astronautica, 2009, 65: 1216-1223.