

第 3 章 NASA 工程/项目寿命周期

NASA 在大型系统管理中的一个最基本概念是工程/项目的寿命周期,把工程或项目中需要实施完成的所有事项划分为若干个明显的阶段,并由关键决策点进行区分。关键决策点是指决策机构确定工程/项目为转入寿命周期下一阶段(或下一个关键决策点)是否准备就绪的时刻点。定义寿命周期阶段之间的边界,可以为系统提供确定该边界是“通过”还是“暂缓通过”的自然决策点。做出相关决策的处置权应当在约定时间内移交到下一阶段。一项工程或项目若未能通过关键决策点评审,可能有两种处理方式:一是“归零”去处理阻碍通过关键决策点的缺陷和问题,然后重新进行评审;二是可能被终止。

所有系统起源于对其必要性的认识或对其机遇的发现,并通过多个不同的开发阶段达成最终的项目成果。在与系统工程相关的分析和优化活动中,最有决定性的影响产生于系统的早期阶段;这些可能影响成本的决策活动将在系统开发过程中持续进行,直到系统寿命周期的终结。

将工程/项目寿命周期划分为阶段,意味着将整个过程分解成更易管理的若干部分来进行组织。随着工程/项目寿命周期的推进,管理者能够逐渐清晰地了解在管理和预算约束环境下相应时间点上系统的进展。

对于 NASA 的工程/项目,在下列管理文件中分别给出了寿命周期的定义:

- 对于空间飞行项目,由 NPR 7120.5《NASA 空间飞行工程和项目管理要求》定义;
- 对于信息技术项目,由 NPR 7120.7《NASA 信息技术和机构内基础架构工程和项目管理要求》定义;
- 对于 NASA 科研与技术开发项目,由 NPR 7120.8《NASA 科学研究与技术开发工程和项目管理要求》定义;
- 对于软件项目,由 NPR 7150.2《NASA 软件工程要求》定义。

例如,NPR 7120.5 将 NASA 寿命周期阶段定义为“规划和论证”与“实现和运用”两个宏观阶段。对于空间飞行系统项目,NASA 寿命周期的上述两个宏观阶段又划分为以下 7 个递进阶段。项目的寿命周期阶段具体划分为:

1) 宏观阶段 0: 工程规划和论证准备

(1) A 前阶段: 概念探索。

2) 宏观阶段 1: 工程规划和论证

(2) 阶段 A: 概念研究和技术开发。

(3) 阶段 B: 初步设计和技术完善。

3) 宏观阶段 2: 工程实现和运用

(4) 阶段 C: 详细设计和制造。

(5) 阶段 D: 系统组装、集成、试验和发射。

(6) 阶段 E: 运行与维护。

(7) 阶段 F: 退役/废弃处置。

信息技术类项目有类似的阶段划分,在 NASA 首席信息官办公室制定的《信息技术系统工

程手册》中进行讨论。NASA 对高度专业化信息技术和非高度专业化信息技术进行了区分。高度专业化信息技术的定义在附录 B “专用术语表” 中定义；根据工程或项目的内容，应当遵从 NPR 7120.5 《NASA 空间飞行工程和项目管理要求》或遵从 NPR 7120.8 《NASA 科学研究与技术开发工程和项目管理要求》。

图 3.0-1、图 3.0-2 和图 3.0-3 分别描述了三种类型 NASA 空间飞行工程的寿命周期，图 3.0-4 描述了 NASA 非工程项目的寿命周期。在这些图中明确了可用于划分阶段的关键决策点和评审点。

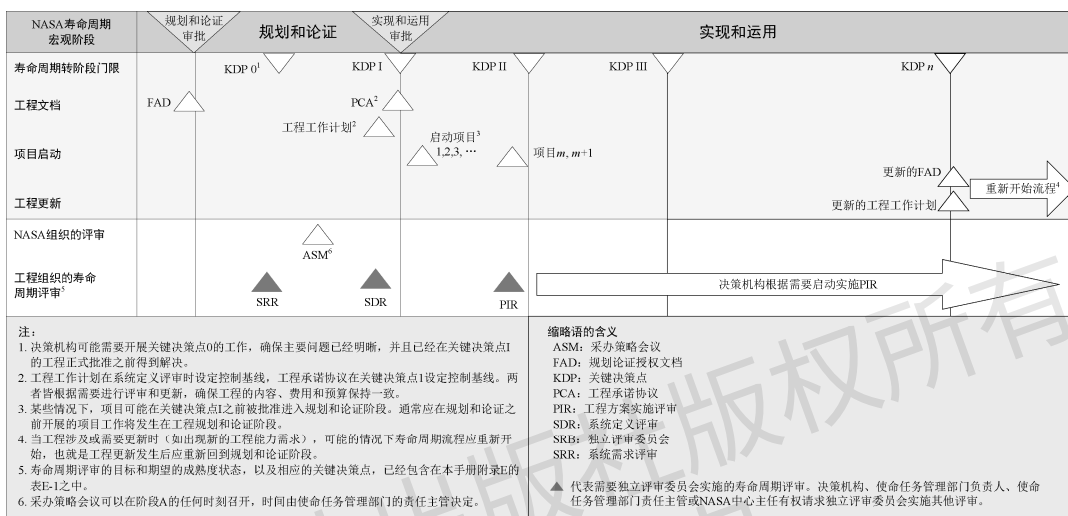


图 3.0-1 NASA 非耦合和松耦合工程的寿命周期

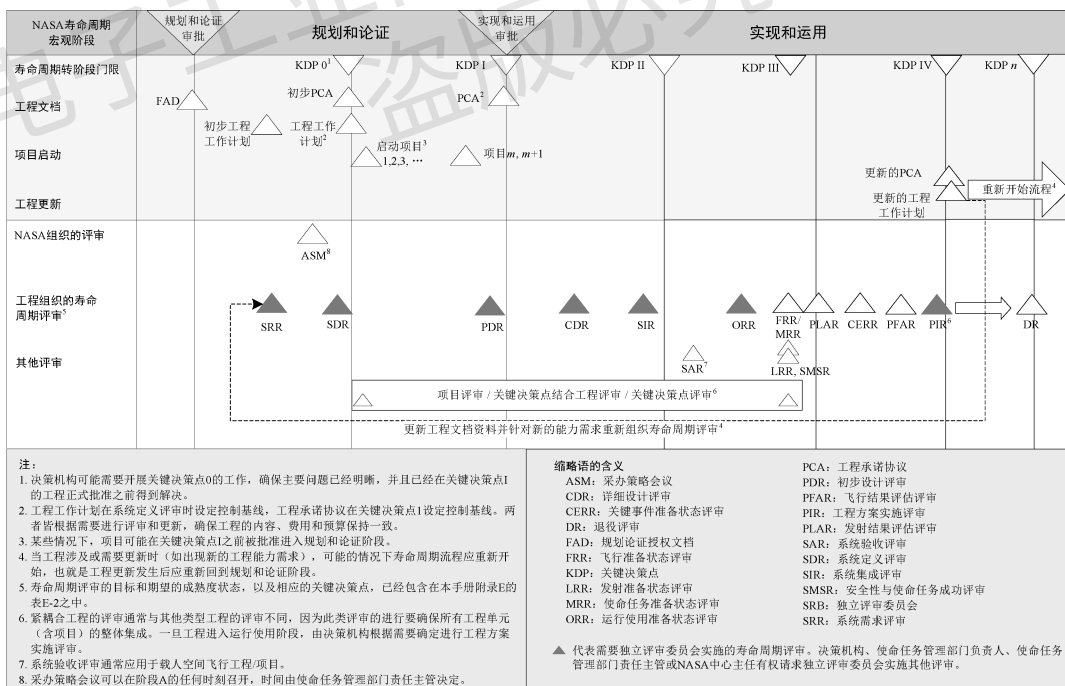


图 3.0-2 NASA 紧耦合工程的寿命周期

目管理手册》。表 3.0-1 取自 NPR7123.1, 该表给出了在产品寿命周期中正在持续开发和不断成熟的主要系统工程产品的产品成熟度表示方式。

表 3.0-1 系统工程产品成熟度 (来自 NPR 7123.1)

		规划和论证阶段				实现和运用阶段					
产 品	非耦合/松耦合	KDP 0		KDP I	定期 KDP						
	紧耦合工程	KDP 0			KDP I	KDP II		KDP III		定期 KDP	
	非工程项目及 单项目工程	A 前阶段	阶段 A		阶段 B	阶段 C		阶段 D		阶段 E	阶段 F
		KDP A	KDP B		KDP C	KDP D		KDP E		KDP F	
		MCR	SRR	MDR/SDR	PDR	CDR	SIR	ORR	FRR	DR	DRR
利益相关者辨识		**基线	更新	更新	更新						
系统概念定义		**基线	更新	更新	更新	更新					
效能指标定义		**批准									
费用和进度		预设	更新	更新		更新	更新	更新	更新	更新	更新
系统工程管理计划 ^①		初步	**基线	**基线	更新	更新	更新				
需求		初步	**基线	更新	更新	更新					
技术性能指标定义				**批准							
架构定义				**基线							
需求向下层分配				**基线							
标志性技术指标趋势				**预设	更新	更新	更新				
设计方案定义				初步	**初步	**基线	更新	更新			
接口定义				初步	基线	更新	更新				
方案实施计划				初步	基线	更新					
集成计划				初步	基线	更新	**更新				
验证和确认计划				初步	基线	更新	更新				
验证和确认结果							**预设	**初步	**基线		
运输准则和指令						预设	最终	更新			
运行使用计划					基线	更新	更新	**更新			
运行使用技术规程						初步	基线	**更新	更新		
（飞行/应用）认证								初步	**最终		
退役计划					初步	初步	初步	**基线	更新	**更新	
退役/废弃处置计划					初步	初步	初步	**基线	更新	更新	**更新

注: ** 该项为评审时必须提供的产品。

^① 对于 NASA 的非工程项目、紧耦合工程和单项目工程, 系统工程管理计划在系统需求评审时便确定控制基线; 而对于非耦合及松耦合工程, 相应的控制基线在使命任务定义评审或系统定义评审时确定。

3.1 工程规划和论证阶段

在工程规划和论证阶段, 需要展现并证明该项工程经济有效且能够满足 NASA 机构和使命任务管理部门的目标, 从而确定工程的立项。NASA 下达工程规划论证授权文件, 批准工程负

责人启动新立项工程的规划工作，并进行必要的分析工作，从而形成合理的工程规划文件。责任系统工程师负责进行工程寿命周期本阶段的技术规划和概念开发。规划工作包括确定需要进行的主要技术评审及相应的评审启动条件和成功完成评审的判定准则。这些主要技术评审包括系统需求评审、系统定义评审和工程定义评审，以及强制性的工程管理专家委员会的评审（详见图 3.0-1～图 3.0-4 中完整列出的评审），它们决定了在关键决策点 I 对工程的审批。关于工程规划和论证阶段所需要门户产品的概要说明，可参阅 NASA 强制性指令文件（如针对空间飞行工程的 NPR 7120.5、针对信息技术类项目的 NPR 7120.7，以及针对科学研究和技术开发项目的 NPR 7120.8）。所有类型的工程规划和论证阶段是相同的，涉及一个或多个在关键决策点 I 需要进行的工程评审，由此最终做出批准工程开始进入实现和运用阶段的决策。

空间飞行工程类型

非耦合工程

非耦合工程是指在一个宽泛的主题下和/或在通用工程实施构想下组成的工程，这样的主题和构想，如针对通过商机公告或 NASA 研究项目公告方式遴选的成本封顶的项目，提供多次空间飞行试验的机会。在非耦合工程中，每个项目相对于其他项目都是独立的。

松耦合工程

松耦合工程是指通过属于不同范围内的多个空间飞行项目组成特定目标的工程。其中，每个单独的项目都有一系列使命任务目标；同时，还需要在规划和论证阶段开发工程整体在架构上和技术上的协同策略，能够使工程在整体上获益。例如，将火星轨道飞行器的设计目标定为在轨运行 1 火星年以上，并需要携带通信系统为当前和未来的火星着陆器提供保障。

紧耦合工程

紧耦合工程是指含有多个项目的工程。每个项目执行使命任务的一部分，没有一个项目能够单独实现完整的使命任务。通常，NASA 的多个中心将参与到工程中。每个项目都可能不同的中心进行管理。此类工程还可能包括来自其他机构或国际合作伙伴的参与。

单项目工程

单项目工程是指 NASA 花费大量资源投入，同时还有多个其他组织/机构参与的，往往具有较长开发和运行使用寿命的工程。此类工程经常将工程管理方法和项目管理方法结合在一起，并进行剪裁而形成归档文件资料。

空间飞行工程规划和论证

目的

确定所有建设的工程经济有效，使之确实能够满足 NASA 和使命任务管理部门的目标。

空间飞行工程典型活动及产品

- 明确工程的利益相关者和用户；
- 基于用户的期望开发工程需求并将需求分配到初始项目；
- 明确 NASA 的风险分类；
- 确定并批准工程采办策略；
- 开发与其他工程的接口；
- 启动工程中多个项目的交互关联技术的开发工作；
- 得出初始成本估算，并基于项目的寿命周期费用批准工程预算；

- 开展 NPR 7120.5 中规定的工程规划和论证必要的技术活动;
- 满足 NPR 7123.1 中详细规定的工程规划和论证评审启动条件/顺利通过评审的判定准则;
- 展望工程在产品运行使用阶段能带来的益处和用途的清晰前景,并将其写入运行使构想文档。

需进行的评审

- 使命任务构想评审;
- 系统需求评审;
- 系统定义评审。

3.2 工程实现和运用阶段

在工程实现和运用阶段,在使命任务管理部门责任主管的参与下,工程负责人与工程中各个项目的负责人共同工作,推进实施以高成本效益为目标的工程工作计划。在经费的约束下,工程评审确保该项工程持续有助于达成 NASA 机构和主管部门的目标。关于工程实现和运用阶段所需要门户产品的概要说明可参阅 NASA 强制性指令文件,如针对空间飞行工程的 NPR 7120.5。根据工程的类型,工程寿命周期有两种不同的实现和运用途径。每种实现和运用途径都有不同的主要评审类型。对于系统工程师来说,了解自己的项目归类于哪种工程类型是十分重要的,如此才能确定技术工作的范围和技术资料需求,从而可组织相关的评审。

对于非耦合工程和松耦合工程(见图 3.0-1),实现和运用阶段仅要求大约两年进行一次相应工程进展状况评审和工程实施情况评审,以此评估工程绩效,并提出进行关键决策点评审的正式建议。单项目工程和紧耦合工程的情况比较复杂。对于单项目工程,图 3.0-3 所示的在实现和运用阶段进行的工程评审,与非工程项目寿命周期内直到阶段 D 的项目评审(见图 3.0-4)具有相同的含义(但不是完全翻版)。一旦系统开始运行使用,单项目工程同样进行两年一次的伴随性工程进展状况评审/工程实施情况评审,作为关键决策点评审的依据。在紧耦合工程(见图 3.0-2)的实现和运用阶段,工程评审与项目评审紧密联系,确保项目能够恰当地集成到更大的系统中。一旦系统开始运行使用,紧耦合工程同样进行两年一次的工程进展状况评审/工程实施情况评审/关键决策点评审,用于评估工程绩效和批准工程继续推进。

空间飞行工程的实现和运用

目的

推进工程和工程所属项目的实施,确保工程在经费约束下持续有助于达成 NASA 的目标和目的。

典型活动及产品

- 通过直接分派或竞争流程(如发布投标指南、商机公告)启动项目。
- 监控工程的论证、审批、实施、集成、运行及最终退役处理。
- 根据资源和需求的变更对工程进行调整。
- 根据 NPR 7120.5 开展工程实现和运用阶段必要的技术活动。
- 满足 NPR 7123.1 中规定的工程实现和运用阶段各类评审启动条件/顺利通过评审的判定准则。

需进行的评审

- 工程进展情况评审/工程实施情况评审（仅针对非耦合工程或松耦合工程进行）。
- 与项目寿命周期内直到阶段 D 的评审（见图 3.0-4）含义相同（但不重复）（仅针对单项目工程和紧耦合工程进行）。

3.3 项目 A 前阶段：概念探索

A 前阶段的目的是创造出关于使命任务的广泛构想和备选方案，从中可以选择确定新的工程/项目。在 A 前阶段，一个研究与提案团队负责大范围地分析使命任务构想，使其在满足技术、费用和进度方面约束的同时，能够有助于达成工程及使命任务主管部门的目标。A 前阶段的工作可能包括在高风险和高技术开发领域的专项检查。这些先期的研究，通常伴随与客户和其他潜在利益相关者的交互，这种交互能帮助团队确定有前景的使命任务构想。关键利益相关者（包括客户）由此确定，而对项目的期望正是来自他们。如果能发现可行的构想，可以选择其中一个或多个进入阶段 A 做进一步开发。通常系统工程师会深入地参与各个构想选项的开发与评估。

空间飞行工程的 A 前阶段：概念探索

目的

为完成使命任务提出广泛的构想和方案，从而可以选定新的工程/项目。确定所需系统的可行性，开发使命任务构想，草拟系统级的需求，评估性能、费用和进度方面的可行性，确定可能需要开发的技术和范围。

典型活动及产品

- 评审和确定客户所有最初需求及工作范围，可能包括：
 - 使命任务；
 - 科学技术；
 - 顶层系统。
- 辨识并确定用户和其他利益相关者：
 - 辨识出寿命周期每个阶段的关键利益相关者；
 - 获取诸如要求、目的和目标形式的期望并确定控制基线；
 - 定义效能指标。
- 开发运行使用构想并确定控制基线：
 - 确定并执行备选方案的权衡分析；
 - 对可能的使命任务做初步评估。
- 确定风险分类等级。
- 确定最初的技术风险。
- 确定（技术团队、航天机组、地面人员）在执行任务并达成目标过程中的职责及应接受的培训。
- 开发系统计划：
 - 撰写系统工程管理计划初稿；
 - 撰写技术研发计划并确定控制基线；
 - 初步明确系统验证和确认的途径。
- 准备工程/项目建议书，可能包括：
 - 使命任务判定和目标；
 - 运行使用构想，能够展示对工程成果如何经济有效地满足使命任务目标的清晰理解；
 - 高层级工作分解结构；

- 寿命周期费用、进度和风险方面的粗略估计;
- 技术评估和技术成熟度策略。
- 满足 NPR 7123.1 规定的使命任务概念评审启动条件/顺利通过评审的判定准则。

需要进行的评审

- 使命任务概念评审。
- 非正式的建议书评审。

对于受 NPR 7120.5 强制约束的项目,如果资源不足以满足整个使命任务完成,则通过需求降准选项能够定义系统可以实现什么。选项可能是携带更少仪器、不那么雄心壮志的使命任务规划,仅完成部分目标或使用能力较弱但更便宜的技术。需求降准选项还可能反映出在硬件故障导致部分飞船结构损失的情况下,使命任务能完成到的程度。例如,在着陆器损毁之后利用轨道器能够做什么。经过需求降准的使命任务,其成功的判断准则会相应缩减。

在开发与工程目的要求或利益相关者其他期望相关的文档时,应进行需求降准选项的开发。项目团队开发出一组初步的使命任务需求降准选项作为使命任务构想评审的门户产品,但这些需求降准选项不需确定控制基线也不用维护。它们只是存放在相关文档资料中以备在寿命周期的后期需要时使用。

在 A 前阶段精确地定义所有利益相关者和用户是重要的,这可以确保使命任务目标和运行使用构想满足最终用户的要求和期望。此外,预估技术团队的组成并确定那些独有的设施和人员需求也是重要的。

预先研究可能持续多年,并通常集中在建立使命任务目标、论证顶层的系统需求及开发运行使用构想上。概念设计可能已经开发完成,用于演示验证工程的可行性并支撑工程上的各项估算。概念探索强调立项的可行性和迫切性而非最优化。可选的分析和设计手段在深度和数量上是有限的,但应当对每一项选择在全寿命周期(直到运行使用和退役/废弃处置)的适用性进行评价。在 A 前阶段,需要开发出能够说明所论证的工程将用于处理什么问题、该项工程将如何处理这些问题、如何使得解决方案可行且经济有效等内容的工程开发前景,成熟地开发一个清晰的工程开发前景非常重要。

3.4 项目阶段 A: 概念研究和技术开发

阶段 A 的目的是针对所建议立项工程,开发可靠的使命任务架构/系统架构,该架构在满足项目资源等方面约束的情况下,能够与工程的期望和需求相适应。阶段 A 开展的活动是为了完整地开发使命任务构想及其控制基线,安排或确保所需的技术开发责任到位,并明确为实现系统整体功能特性或实现系统自主开发所需依赖的人员要求。这项工作,以及与利益相关者的良好交互,能够帮助建立和完善使命任务构想及工程对所属项目的需求。在阶段 A,系统工程师会深入地参与架构的开发与评估,以及参与将需求分配到架构中各个元素的活动。

在阶段 A,通常由工程管理办公室或非正式的项目管理办公室筹建项目开发团队,负责处理完善在 A 前阶段开发的使命任务构想,确保项目的合理性和实用性,使其能够在 NASA 的预算中得到充分保证。开发团队的工作集中于分析使命任务需求并建立使命任务架构。此时的活动是正式的,重点转向优化概念设计。工作面更加深入并考虑众多备选方案。使命任务目的和目标是不可变的,项目在系统需求、顶层系统架构,以及运行使用构想方面的定义更加明确。

系统（必要时包括工程样机和物理模型）的概念设计和分析已经开展，较之 A 前阶段展示出更多的工程技术细节。技术风险的识别更加详细，而技术开发需求则成为焦点。系统工程管理计划在阶段 A 确定控制基线，说明 NASA 系统工程需求和 NPR 7123.1 中的实践经验如何在工程寿命周期中得到处理和应用。

在阶段 A，工作重点在于将系统功能分配到特定的硬件、软件和人员。在与主题专家协同努力获取更经济有效的设计方案过程中，以及在系统与子系统之间进行反复迭代的权衡分析过程中，系统的功能需求和性能需求及系统架构和设计方案变得更加稳固。确定全寿命周期费用的方法（系统级效费模型）得到改进，可以用于对每个不同备选方案的费用及影响进行比较。权衡研究应在系统设计决策之前而非在此之后进行。阶段 A 的主要产品包括一个已获认可的系统及其主要末端产品的功能控制基线。项目开发团队需依据 NPR 2810.1 和联邦信息处理标准第 199 号出版物确定保密等级并采取保密措施。阶段 A 的工作还包括制定各种工程技术计划及管理计划，以准备对项目的后续流程（如验证流程和运行使用流程）实施管理。

空间飞行工程的阶段 A：概念研究和技术开发

目的

确定所提议新系统开发的可行性和迫切性，并建立与 NASA 战略规划相兼容的初始控制基线。开发最终的使命任务构想、系统级需求，确定需要开发的系统技术并制定工程/项目的技术管理计划。

典型活动及产品

- 根据需要，评审并更新在 A 前阶段已确定控制基线的文档。
- 根据计划监控工程进展。
- 开发顶层的系统需求和约束并确定控制基线，包括内部的和外部的接口需求、综合后勤与维修保障需求、系统软件整体功能特性需求。
- 将系统需求转化为功能并分配到较低层级。
- 对需求进行确认。
- 为各项计划设定控制基线：
 - 系统工程管理计划；
 - 人因系统集成计划；
 - 控制计划，如风险管理计划、技术状态管理计划、数据管理计划、安全性和使命任务质量保证计划、软件开发和管理计划；（参见 NPR 7150.2）
 - 其他相关的和特殊的计划，如履行环境法的文档资料、采办监控计划、污染物控制计划、电磁干扰/电磁兼容控制计划、可靠性计划、质量控制计划、部件管理计划、后勤保障计划。
- 初步开发产品验证与确认计划。
- 建立人员适航计划，并进行初步评价。
- 开发使命任务架构并确定控制基线：
 - 开发软试样、工程试样和模型，找出高风险构想并降低风险；
 - 演示并证明设计方案能达到的可信度和可行性；
 - 实施并完成权衡研究；
 - 启动人机交互方面的研究。
- 启动环境评估/国家环境政策法规流程。
- 初步开发轨道碎片评估方案。（NASA-STD-8719.14 要求）
- 实施技术管理：
 - 给出技术成本范围估算值，开发系统级的效费分析模型；

- 定义工作分解结构;
- 编制系统任务说明;
- 获取系统工程工具和模型;
- 建立技术资源估算机制。
- 辨识、分析风险并更新风险评估结论。
- 根据需要开展 NPR 7120.5 中要求的阶段 A 的技术活动。
- 满足 NPR 7123.1 中规定的阶段 A 的评审启动条件/顺利通过评审的判定准则。

需要进行的评审

- 系统需求评审。
- 使命任务定义评审/系统定义评审。

3.5 项目阶段 B：初步设计和技术完善

阶段 B 的目的是促使项目开发团队完成技术开发、完成工程原型开发、完成对现有硬件和软件的评估、完成在项目论证协议中及在初步设计方案中设定的其他风险缓解活动。项目需要证明：(1) 应在规划和论证阶段开发的计划、技术、费用和进度方面的控制基线已经设定且不再改变；(2) 初步设计方案与系统需求相符合；(3) 项目在进入阶段 C 之前已经足够成熟；(4) 费用和进度方面的安排是恰当的，能够在可接受的风险条件下保证使命任务成功。阶段 B 的结论就是项目承担方与 NASA 主管部门共同承诺，在给定的费用和进度约束下实现项目的目标。对于全寿命周期费用大于两亿五千万美元的项目，需要向美国国会及美国政府行政事务和预算管理办公室（简称预算管理办公室）做出承诺。这项承诺是 NASA 的底线承诺。系统工程师在阶段 B 的工作是确保初步设计方案能够使各不相同的系统共同工作、相互匹配，看上去能满足客户的期望和应用需求。

在阶段 B，主要活动是（根据 NPR 7120.5 和 NPR 7123.1）建立项目的初始控制基线，包括“飞行单元和地面单元的项目顶层性能需求正式转化为完整的系统和子系统设计规范集”及“相应的初步设计方案”。技术需求应该充分详细，据此能建立项目进度和费用的可靠估算。还应注意，阶段 B 的作用就是在技术状态控制条件下，最终确定和处理顶层需求及顶层需求向下层的分解；对于商机公告类型的项目尤为如此。尽管在阶段 A 就应当确定需求控制基线，在阶段 A 后期和阶段 B 早期进行的权衡研究和分析仍然可能导致系统需求的变更和完善。

在阶段 B，根据初始目的/目标和运行使用构想对所确定的设计思路进行确认是重要的。寿命周期的所有方面都应考虑到，包括设计方案决策对培训的影响、运行使用资源管理、人类因素、安全性、宜居性与环境、可维护性和可保障性。

阶段 B 的控制基线由覆盖项目技术和商务方面的不断修订的控制基线汇总组成，包括系统（含子系统）需求和技术规格、设计方案、验证与运行使用计划等控制基线的技术部分，以及进度和费用计划、业务管理计划等。控制基线的确定意味着技术状态管理规程的实施（参见 6.5 节）。

阶段 B 在一系列的初步设计评审后结束，评审包括系统顶层初步设计评审和需要时针对底层级末端产品的初步设计评审。初步设计评审将需求的不断细化反映到设计方案中（参见 4.4.1.2 节和图 4.4-2 中关于持续细化的内容）。初步设计评审中揭示的设计问题需要解决，从而使详细设计能在明确的设计规范下启动。从这一点看，几乎所有控制基线变更都期望反映设计

方案的持续细化，而不是做出根本上的变更。如图 2.5-1 中所表明的，在阶段 B 及其之后发生的设计方案显著变更会产生极其昂贵的代价。

空间飞行工程的阶段 B：初步设计和技术完善

目的

足够详细地给出项目定义，建立能够满足使命任务需求的初始控制基线。开发系统结构底层产品及配套产品需求，针对每个系统结构底层产品生成初步设计方案。

典型活动及产品

- 评审并更新在之前阶段已确定控制基线的文档。
- 根据计划监控工程进展。
- 开发初步设计方案：
 - 寻求并确定一个或多个可行的初步设计方案，包括内部接口和外部接口的设计；
 - 对备选的初步设计方案进行分析并报告结果；
 - 对开发的工程技术进行必要的试验并报告结果；
 - 进行人因系统集成的评估；
 - 选定一个初步设计方案。
- 基于成熟的运行使用构想开发运行使用计划：
 - 确定系统的运行使用环境和内容，确定主审人员负责外包合同申请的管理、评审和查验，确定应急计划。
- 报告技术开发的结果。
- 更新估算的费用和进度范围（注意：在初步设计评审之后再行变更是不适宜且昂贵的；在关键决策点 C 确定的更新估算值将成为 NASA 主管部门的底线承诺）。
- 提升用于评价的模型和原型的逼真度。
- 辨识风险并更新风险评估结论。
- 开发相应层级的安全性数据资料和保密计划。
- 初步开发下列计划：
 - 轨道碎片评估计划；
 - 退役计划；
 - 废弃处置计划。
- 根据需要开展 NPR 7120.5 中规定的阶段 B 的必要技术活动。
- 满足 NPR 7123.1 中规定的阶段 B 评审启动条件/顺利通过评审的判定准则。

需要进行的评审

- 初步设计评审。
- 安全性评审。

3.6 项目阶段 C：详细设计和生产制造

阶段 C 的目的有两个：一是完成系统的详细设计并归档，所设计系统能满足经过细化完善的系统需求；二是通过生产制造和软件编码，或者通过其他途径实现产品。在阶段 C，主要活动是建立完整的设计方案（产品的控制基线），进行硬件产品制造或生产，以及进行软件编码，为产品集成做准备。权衡研究继续进行，分析结果用于根据项目的目标、目的和运行使用构想完成设计方案的确认。制造出更接近真实硬件的工程试样并进行试验，确定所设计系统在预期运行使用环境中功能正常。系统用户的代表应参与运行使用试验，对系统的设计、使用、维护、培训、接口等进行评价。工程技术专业分析及其他相关分析的结果应集成到设计方案中，且产

品制造的流程和控制需得到有效说明和确认。系统工程师在阶段 C 的作用是确保最终的设计方案能够使各不相同的系统共同工作、相互匹配,看上去能满足客户的期望和应用需求。在制造过程中,系统工程师负责解答相关疑问并处理可能出现的各种接口问题。

所有在阶段 A 制定的计划已经启动和实施,包括针对试验装备和运行使用设备的计划、针对流程和分析的计划、针对相关专业分析与工程技术专业分析集成的计划、针对产品制造流程与生产控制的计划。在完成接口的详细定义后,设计方案的变更接受技术状态管理的持续跟踪和控制。在详细设计方案逐步细化的每一步中,相应的集成和验证活动的计划都将更加详细。在这一阶段,技术参数、进度和预算被密切跟踪,以确保能够及早发现不良趋势(如空间飞行器质量的意外增加或其成本显著增长)并采取纠正行动。这些活动的重点是准备关键设计评审、生产准备状态评审(根据需要)和系统集成评审。

空间飞行工程的阶段 C: 详细设计和生产制造

目的

完成系统及相关子系统(包括其配套保障系统)的详细设计,生产制造硬件产品并进行软件编码,为系统结构中每个层级的目标产品生成详细设计方案。

典型活动及产品

- 评审并更新在之前阶段已确定控制基线的文档。
- 根据计划监控工程进展。
- 开发硬件和软件详细设计方案并归档:
 - 选定的初步设计方案完全定案;
 - 完善系统架构中前期未完成的低层级设计规格要求;
 - 开展并完成权衡研究;
 - 在组件和子系统层级进行开发试验;
 - 最终完成详细设计文档并提供数据资料。
- 开发/完善相应计划并确立控制基线:
 - 接口定义计划;
 - 设计方案实施计划;
 - 集成计划;
 - 验证与确认计划;
 - 运行使用计划。
- 初步开发/改善相应计划:
 - 退役/废弃处置计划,包括人力资本的转移;
 - 备件计划;
 - 通信(包括指令和遥测清单)计划。
- 开发/完善以下技术规程:
 - 改进集成技术规程;
 - 制造和组装规程;
 - 验证与确认规程。
- 产品制造(或软件编码)。
- 辨识风险并更新风险评估结论。
- 根据项目计划监控项目进展。
- 准备发射站点检查和发射后系统的激活与检查。
- 确定安全性数据资料的相应等级,更新保密计划。
- 对预先计划升级的产品把握升级的时机。
- 完善轨道碎片评估控制基线。

- 根据需要开展 NPR 7120.5 中规定的阶段 C 必需的技术活动。
- 满足 NPR 7123.1 中规定的阶段 C 评审启动条件/顺利通过评审的判定准则。

需要进行的评审

- 关键设计评审。
- 生产准备状态评审。
- 系统集成评审。
- 安全性评审。

阶段 C 由一系列关键设计评审组成，包括系统层的关键设计评审和对应系统结构中不同层级的关键设计评审。每个目标产品的关键设计评审应该在相关硬件产品开始制造/生产之前和开始对可交付软件产品编码之前进行。通常，关键设计评审的顺序反映将在下一个阶段发生的集成流程，即从底层关键设计评审到系统层关键设计评审的集成。当然，具体项目需对评审的顺序进行剪裁以满足项目需要。如果产品需要投入生产，将实施生产准备状态评审以确保生产计划、设备和人员做好开始生产的准备。阶段 C 在实施系统集成评审后结束。此时人员培训需求和初步运行使用规程已经完成并确立控制基线。阶段 C 的最终产品是准备提交进行集成的产品。

3.7 项目阶段 D：系统组装、集成、试验和发射

阶段 D 的目的是组装、集成、验证、确认和发射系统。这些活动关注进行飞行准备状态评审/使命任务准备状态评审的前期准备。相关活动包括系统组装、集成、验证及确认，包括在留有余量的预设环境中进行飞行系统试验。其他活动包括更新运行使用规程，对系统运行使用人员和承担空间飞行任务的宇航员进行培训和安排演练，包括后勤保障和备件计划的实施。对于空间飞行项目，活动的重点随后转移为发射前的产品集成及正式发射。在这个阶段，系统工程师参加所有方面的工作，包括解答疑问、提供咨询、处理难题、评估系统验证和确认相应试验的结果，确保验证和确认结果满足客户的期望和应用需求，还包括为决策者做出项目是否继续进行的决策提供辅助信息。

阶段 D 的活动在阶段 A 就已经规划制定。对于信息技术类项目，可参见 NASA 的《信息技术系统工程手册》。这些规划的活动应当尽可能早地实行，因为在这个阶段中任何变更都可能代价昂贵。阶段 D 最终形成能够实现其设计目标的系统。

空间飞行阶段 D：系统组装、集成、试验和发射

目的

组装和集成产品（硬件、软件和人员）并建立系统，同时建立本阶段成果能够满足系统需求的信念。实现系统发射并准备投入运行使用。进行系统最终产品的组装、集成和试验，然后交付使用。

典型活动及其产品

- 评审并更新在之前阶段已确定控制基线的文档。
- 根据计划监控项目进展。
- 辨识风险并进行更新风险评估结论。
- 根据集成计划将部件集成/组装为系统。
- 在组装的同时，根据验证和确认计划与规程实施验证和确认活动：

- 进行系统合格验证, 包括环境验证;
- 进行系统验收验证与确认 (如涵盖所有单元的系统端到端试验, 这些单元包括空间单元、地面系统、数据处理系统);
- 评估并审批验证和确认结果;
- 处理解决验证和确认中暴露的与需求不符问题;
- 将所进行的验证和确认结果归档保存;
- 确定验证和确认报告控制基线。
- 准备下列文档并确立控制基线:
 - 运行使用人员的操作手册;
 - 维修人员的操作手册;
 - 运行使用手册。
- 为发射和运行使用做准备, 准备地面保障站点, 包括必要时准备培训地点:
 - 培训最初的系统运行使用人员和维修人员;
 - 根据应急计划进行相关培训;
 - 对遥感数据进行确认并对地面数据处理进行证实;
 - 证实系统和保障单元已做好飞行准备;
 - 为系统的发射和系统交付使用提供保障;
 - 实施计划中的在轨运行使用验证和确认。
- 将经验教训总结归档。执行 NPR 7120.5 中规定的阶段 D 必需的技术活动。
- 满足 NPR 7123.1 中规定的阶段 D 评审启动条件/顺利通过评审的判定准则。

需要进行的评审

- 系统试验准备状态评审。
- 系统验收评审或出厂起运前评审。
- 运行使用准备状态评审。
- 飞行准备状态评审。
- 系统功能技术状态审核和物理技术状态审核。
- 安全性评审。

3.8 项目阶段 E: 运行使用和维护

阶段 E 的目的是执行核心使命任务, 满足前期确定的使命任务需求, 按需求在使命任务中进行维护和保障。该阶段的产品是使命任务执行结果和系统性能发挥效果。

在本阶段, 系统工程人员继续起重要作用, 因为对于复杂系统而言, 系统集成与运行使用经常是有重叠的。某些工程需要重复运行使用/重复飞行, 每次重复都可能出现技术状态变更和新的使命任务目标。对于具有复杂运行维护需要和有人员参与的系统, 所需要的评价和调整可能超出运行使用人员的能力范围。某些专业技术工程学科, 如可维护性和后勤保障服务, 也将在此阶段发挥作用。这些相关工作可能需要系统工程公共流程的再次迭代和回归。

系统工程人员还可能遇到需要解决空间飞行任务中出现的异常问题。此外, 即使已经进入阶段 E, 软件开发仍可能持续。例如, 用于行星探测的软件仍可以在飞行任务执行过程中开发和上传。另一个例子是为空间站扩容开发新的硬件。

这一阶段需要考虑系统的演变, 但目前仅考虑不涉及系统架构重大变更的演变。系统架构范畴的变更将构成新的“需求”, 导致项目寿命周期活动重新开始。对于大型空间飞行项目,

系统演变有可能是飞行时间的延长、进入正常轨道、在轨组装，以及最初的试运行操作。在核心使命任务即将结束时，项目可以申请延长使命任务，继续使命任务活动或努力完成额外的使命任务目标。

关于阶段 E 中系统工程的详细信息，参见附录 T。

空间飞行工程的阶段 E：运行使用与维护

目的

执行使命任务，满足最初确定的需求并根据需求实施使命任务维护保障。执行使命任务运行保障计划。

典型活动及其产品

- 进行运载火箭性能评估。安排和启用科学试验仪器。
- 执行预定的核心使命任务。
- 按照计划提供可持续的保障：
 - 实施备件计划；
 - 搜集工程技术和科学数据；
 - 培训设备更换操作人员和设备维修人员；
 - 培训宇航员团队，准备后续阶段执行使命任务（如行星表面着陆操作）；
 - 维护并审批系统的运行使用日志；
 - 维护和升级系统；
 - 辨识风险并更新风险评估结论；
 - 发布问题/故障报告；
 - 处理和分析使命任务数据；
 - 申请使命任务延长，若获许可则执行。
- 按照计划准备系统解效、拆解、退役（或根据使命任务是否延长确定）。
- 总结经验教训。
- 完成飞行后评估报告。
- 完成最终的使命任务报告。
- 执行 NPR 7120.5 中规定的阶段 E 必需的技术活动。
- 满足 NPR 7123.1 中规定的阶段 E 评审启动条件/顺利通过评审的判定准则。

需要进行的评审

- 发射后评估评审。
- 关键事件准备状态评审。
- 飞行后评估评审（仅用于载人空间飞行）。
- 退役/废弃处置评审。
- 系统升级评审。
- 安全性评审。

3.9 项目阶段 F：项目终止（退役/废弃处置）

阶段 F 的目的是实施执行系统的退役/废弃处置计划，分析所有反馈的数据和样本。该阶段的产品是实施退役/废弃处置的结果。系统工程师在此阶段的作用是确保所有技术信息已经正确地获取和存档，解答有关疑问，以及解决出现的问题。

阶段 F 在系统完成使命任务后处理项目终止时系统的退役/废弃处置问题，该阶段的启动取决于多种因素。对于执行短期使命任务后返回地球的空间飞行系统，其退役/废弃处置工作可

能比拆除硬件并返还给所有者要稍微多一些。对于长期空间飞行项目，其终止（退役/废弃处置）活动可按照既定计划启动，也可能因为意外事件（如使命任务失败）而启动。使命任务的终止运行参照 NASA 政策指令文件 NPD 8010.3《预定退役并终止运行中空间系统及终止使命任务的注意事项》进行。另一种情况是，因技术进步，系统不论是在当前技术状态下，还是在改进的技术状态下继续运行都可能造成浪费。

为了限制空间碎片，应参照 NPR 8715.6《NASA 限制轨道碎片技术规程要求》，提供在绕地球轨道上人造卫星寿命终止时如何将其从运行轨道移除的说明。对于低地球轨道使命任务，卫星通常脱离轨道；对于小卫星，可以通过轨道缓慢降低直到卫星最终坠入地球大气层烧毁来实现；对于大型卫星和观测站，必须设计成在受控制方式下缓降或脱轨，这样使它们能够安全地降落在深海区域。远在 35790 千米高空的地球同步卫星事实上几乎不脱离轨道，因此，它们可被推送到更高的轨道，以避免拥挤的地球同步轨道。

除关于本阶段何时启动的不确定性之外，系统安全退役处置的有关活动还可能是长期而复杂的，可能影响到系统设计。因此，应在工程的早期阶段，将不同的选项和策略与相应的成本及风险进行综合考虑。

空间飞行工程的阶段 F：项目终止（退役/废弃处置）

目的

实施阶段 E 中开发完成的系统退役/废弃处置计划，并对所有反馈的数据和样本进行分析。

典型活动及其产品

- 系统退役/废弃处置和为退役/废弃处置过程提供保障。
- 总结经验教训并归档。
- 确定使命任务最终报告的控制基线。
- 数据存档。
- 执行 NPR 7120.5 中规定的阶段 F 必需的技术活动。
- 满足 NPR 7123.1 中规定的阶段 F 评审启动条件/顺利通过评审的判定准则。

需要进行的评审

- 退役/废弃处置准备状态评审。

3.10 经费：预算周期

NASA 每年从美国国会获得运营经费。当然，这笔资金来源于持续滚动的预算论证、预算编制到最终预算执行的流程。NASA 的《财务管理要求》第 4 卷中对 NASA 资源组合的预算系统做出了说明，给出了规划、计划、预算和执行（PPBE）的概念、目标及总览，并制定了 PPBE 流程中规划和预算编制阶段的指南，这对 NASA 的预算论证至关重要。《财务管理要求》第 4 卷中包含了战略性的预算规划和资源管理指南，以及工程评审、预算编制、预算上报，还包括向政府预算管理办公室和国会申辩估算理由的程序。该文件还对流程中每个步骤主要参与者的角色和职责做出详细说明。它强化了适用于 NASA 的现行法律、法规、行政政策和技术规程。图 3.10-1 给出了高度简化的典型 NASA 预算周期流程示例。

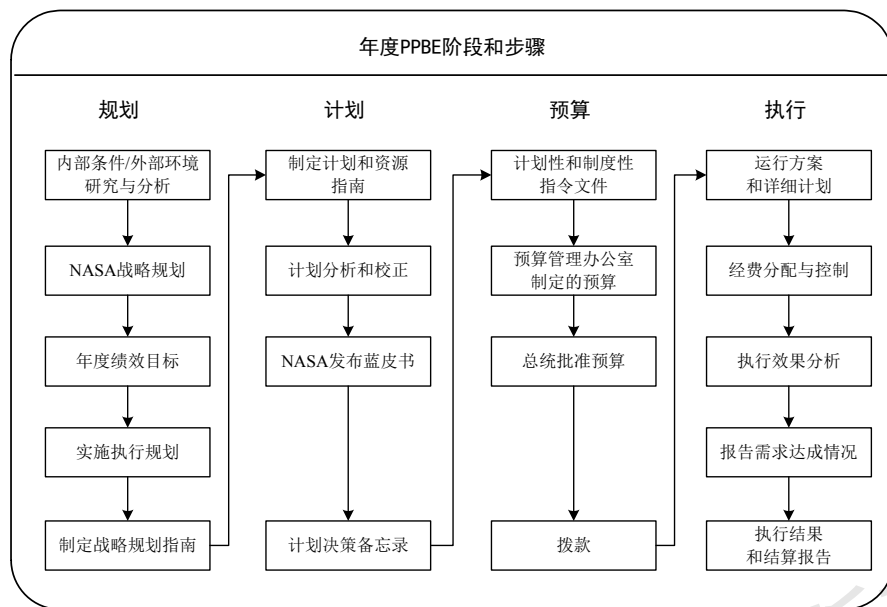


图 3.10-1 高度简化的典型 NASA 预算周期流程示例

NASA 通常会结合最新年度政府预算中做出的经济预测和总体指导方针，在每年 2 月编制自身的预算。NASA 在每年 8 月底完成 PPBE 流程中的规划、计划和预算阶段，随后准备编制向政府预算管理办公室提交的 NASA 初步预算方案，并最终在 9 月将 NASA 预算方案提交到预算管理办公室，并被纳入政府整体预算中，正常情况下在次年的 1 月提交给美国国会。所提出的预算方案在经历国会的评审和审批之后，带有约束条款的国会指定专项款议案获得通过，授权 NASA 根据此法案取得拨付款项并使用这些款项。国会审批程序通常要持续到夏天。然而近些年，最终的议案往往被推迟到 10 月 1 日新财年开始之后。在这样的年份里，NASA 需要依靠国会的追加拨款维持运行。

如果按照年度拨款，则在每个财年的开始都有一个隐含的资金控制时间节点。虽然这些控制节点针对的是项目的规划需求，并能够在必要时做出重新规划的重大要求，但这并不是常规系统工程流程的一部分。尤其是这些控制节点还构成了影响项目风险的不确定性的来源之一，在项目规划时必须加以考虑。NASA 系统工程师需要保持对寿命周期成本的警惕。如果对寿命周期成本不保持警惕，又没有工具帮助对成本进行跟踪，产品开发过程中的预算限制就会导致大量成本转移到运行使用阶段，远超出设计方案的预估。例如，某个在开发阶段以为将会经济有效的产品，可能会出现因为产品的设计和生对运行使用阶段的需要和要求不敏感而造成高额运行使用费用、维护费用和后勤费用。

3.11 NPR 7123.1 中相关需求的剪裁和客户定制

在本节讨论中，术语“需求”专指 NASA 强制规定的“需要……”形式的陈述。本节集中讨论对包含在 NPR 7123.1 中的相关需求（NASA 系统工程需求规范）的剪裁。

3.11.1 引言

NASA 承认其需求描述规范应当适合每一项工程和项目的独有特点,从而保证使命任务能够以经济有效的方式取得成功。为达到这一目标需要用到剪裁流程。

NPR 7123.1 将“剪裁”定义为“在 NASA 系统工程需求规范设定的需求中,通过对需求做出缩减,找出与相应工程和项目目标匹配并适合于所容许风险和约束的需求描述”。剪裁可能导致产生针对系统工程需求的免责说明或允偏说明(见 NPR 7120.5 第 3.5 节),并在下一版本的系统工程管理计划(如以合规矩阵的形式)中记录和归档。

既然 NPR 7123.1 是为了适应工程和项目,而且是在不考虑规模和复杂性的情况下编写的,NPR 的需求描述中便留下了可观的解读空间。为此,引入术语“客户定制”并将其定义为“对所推荐系统工程的成功经验进行修订,以便用于完成自身的系统工程需求描述。”客户定制并不需要免责说明或允偏说明,但进行客户定制时的显著变化应当记录在系统工程管理计划中。

剪裁和客户定制是重要的系统工程工具,利用这些工具依据 NASA 系统工程需求规范建立适合于工程和需求,是可接受和可预期的。尽管剪裁被期望适用于各种规模的工程和项目,但小型项目面对的机遇和挑战并不等同于诸如航天飞机、国际空间站、哈勃深空望远镜、火星科学实验室等传统大型项目所面对的机遇和挑战。

即使小型项目的技术内容普遍更精细、更集中,当这类项目在用于演示验证先进技术或用于提供“某种类型”的能力时,它们也同样需要面对挑战。与此同时,它们具有竞争性的低成本预算和严格的进度安排,这决定了精致的和新颖的项目管理与系统工程实施途径。剪裁和客户定制使得工程和项目能够在费用和进度的约束条件下成功实现其技术目标。其关键是做到有效剪裁,从而使以往总结的经验教训和成功经验能够得到反映。针对项目的特定需要,系统工程需求的剪裁和系统工程成功经验的客户定制有助于消除不必要的开支,同时获得所需要的收益。为做到这一点,项目管理团队、客户/利益相关者、NASA 中心管理机构和独立评审单位必须了解可接受的风险水平并达成共识。然而,即使有了这些基础,对于特定的项目来说,适当剪裁系统工程需求和定制 NPR 7123.1 中成功经验的实际过程仍然是复杂的、艰辛的。对于任何项目来说,有效的途径和有经验的指导都可以使剪裁过程更系统、更有效。

《NASA 软件工程手册》的第 6 章给出了针对软件项目的系统工程需求如何进行剪裁的指南。

3.11.2 剪裁的判定准则

NPR 8705.4《NASA 载荷的风险分类》试图针对工程和项目确定风险分类。该文献为判定准则建立了控制基线,使得用户能够为 NASA 载人和无人发射系统及运输工具的载荷确定风险分类水平。该文献同时也是了解和定义剪裁判定准则的起点。

可接受剪裁的范围取决于工程/项目的若干特征,如下是部分示例:

(1) 使命任务类型。例如,载人空间飞行使命任务的需求要远比小型无人使命任务的需求严格。

(2) 使命任务关键性。指在实现 NASA 总局战略规划中使命任务的关键性。可能不允许对那些必须绝对成功的关键使命任务 NPR 需求描述进行剪裁。

(3) 可接受的风险水平。如果 NASA 总局和客户有意愿接受更高等级的失败风险,则某些

NPR 需求可以放弃。

(4) 国家意义。对于国家有重大意义的项目，可能不允许对 NPR 需求描述进行剪裁。

(5) 复杂性。高度复杂的使命任务可能需要更多的 NPR 需求相互重叠, 以便保证系统兼容程度, 而对于相对简单的使命任务可能不需要如此高的严格程度。

(6) 使命任务期限。具有较长运行期限的使命任务比仅有较短期限的工程/项目需要更严格地遵从 NPR 需求。

(7) 使命任务的成本。较高成本的使命任务可能需要更严格地遵从 NPR 需求，以确保对工程/项目的适当控制。

(8) 发射约束。如果存在某些发射方面的约束，则项目可能需要更多地遵从 NASA 总局的需求。

3.11.3 使用合规矩阵剪裁 NASA 系统工程需求规范中的需求

NPR 7123.1 中引入了合规矩阵（参见 NPR 7123.1 附录 H 的 H.2 节），用于帮助工程和项目验证它们是否满足特定的 NPR 需求。合规矩阵用于确定工程/项目是否符合或有意图遵从 NPR 的需求，或用于判断对 NPR 需求的剪裁。合规矩阵在使用中可以帮助辨别在进行客户定制时，能够达到满足 NPR 需求描述要求的主要方式（包括正式的和严格的），还可以用于与利益相关者就客户定制问题进行交流。随着请求剪裁的时间不同，剪裁流程（该流程可能在工程和项目寿命周期的任何时刻发生）有可能导致出现对 NPR 需求的允偏说明和免责说明。需求的允偏说明和免责说明可以分别提交给授权管控机构，也可以通过合规矩阵的形式提交。合规矩阵附属于系统工程管理计划共同提交审批。如果做不到这一点，如没有系统工程管理计划，该计划的内容与其他文档共同形成相关的项目工作计划，则合规矩阵也应当写入这份项目工作计划中。

图 3.11-1 给出了一个空间飞行项目在概念上的剪裁流程。相关管理人员（如项目负责人/项目主审人/任务主管等）组成一个项目管理团队，将对 NPR 需求的剪裁结果编入合规矩阵。为适当地进行项目分类，团队（包括首席工程师、责任系统工程师、安全性和使命任务质量保证师）需要了解项目需求的组成要件，如项目的需要、目的、目标，以及相应的风险水平。

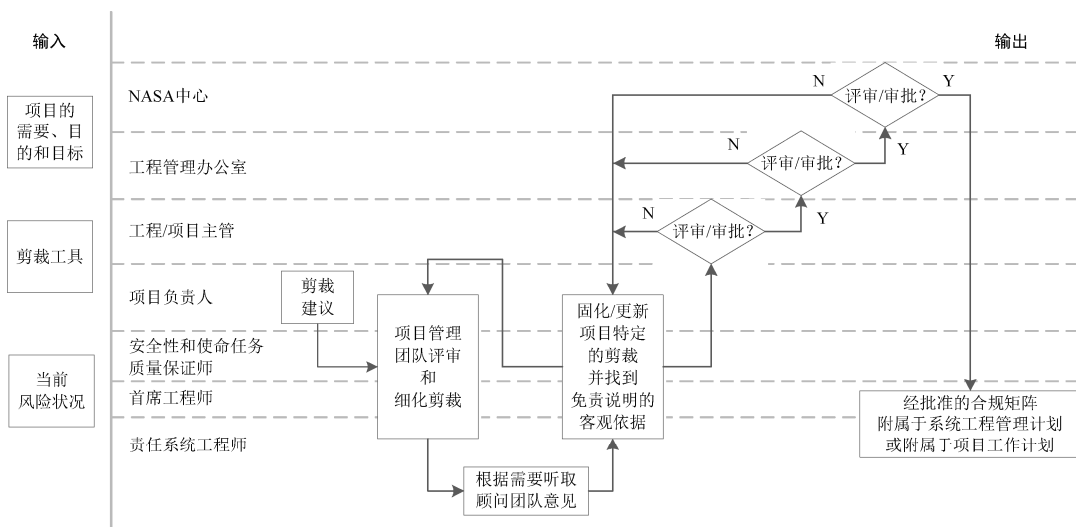


图 3.11-1 概念化的空间飞行产品需求剪裁流程

通过一个迭代的流程,项目管理团队使用合规模阵,根据整个 NPR 需求剪裁出适合项目的需求。如果能够提供带有操作指南的剪裁工具,则可以使剪裁流程更加容易。NASA 的某些中心(包括兰利研究中心和马歇尔航天飞行中心)开发的用于各中心内部的剪裁工具也能够适用于其他中心。来自行业主题专家的指导应当能够帮助寻求确定特定项目的合适剪裁量。合规模阵中提供每项 NPR 需求的客观依据,以帮助对剪裁的理解。一旦剪裁完成,且剪裁的需求及其客观依据被记录到合规模阵中,所得到的剪裁结果便被提交到相应的主管部门审批。

3.11.4 实施系统工程需求剪裁的途径

剪裁经常出现在下述三个方面:

- (1) 删除对特定工程/项目不适用的需求项。
- (2) 删除负担过重的需求项(实现该项需求的代价可能是,在项目中利用不同的资源所引起的风险增长远高于不满足该项需求的风险)。
- (3) 采取某种方式改变需求的范围,使项目能够在实现需求的代价与不满足需求的风险之间取得平衡。

客户定制方面的系统工程成功经验包括以下内容:

- (1) 调整 17 个系统工程流程中每一个流程的实施途径。
- (2) 针对规定进行的评审,调整评审的审议程序和时间安排。

3.11.4.1 不适用的 NPR 需求

针对每个项目或工程,NPR 7123.1 中的每一项需求都要评估其可用性。例如,如果项目完全是在 NASA 内部开发的,NPR 7123.1 第 4 章^①中约定的需求便不再适用;如果所开发的系统不包含软件,则 NPR 需求中用于开发和维护软件的部分便全部不再适用。

3.11.4.2 调整需求范围

根据项目和工程的不同,某些需求范围的缩减可能是恰当的。例如,尽管官方发布的项目管理指令性文件(如 NPR 7120.5、7150.2、7120.7、7120.8)要求在用于工程/项目时可能需要形成若干个独立文档,但 NASA 系统工程需求规范并不要求额外的独立文档。对于小型项目,许多计划可以仅用若干页文本或若干幅图描述。在这种类型的项目中,任何要求各项计划独立成文档的 NPR 需求都显得过于累赘。在这种情况下,相关信息可以简单地作为一部分写入项目工作计划或系统工程管理计划中。如果适用的项目管理指令性文件(如 NPR 7120.5 或 NPR 7120.8)要求文档独立,则需要编制工程/项目的免责说明/允偏说明。当然,如果 NPR 需求和 NASA 中心的期望皆未要求独立文档,则项目可以自行决定如何记录信息且不需要免责说明和允偏说明。在系统工程管理和项目管理的合规模阵中能够获取信息存档的方式,有助于项目管理的清晰性。

3.11.4.3 评审的正规性与时机

针对特定类型的工程/项目(见表 3.11-1),官方的项目管理指令性文件确定了所需的或推

^① NPR 7123.1《NASA 系统工程流程和要求》第 4 章的名称是“NASA 外包项目的系统工程活动(NASA Systems Engineering Activities on Contracted Projects)”。

荐的寿命周期。寿命周期定义了各种评审的程序和时机。然而，涉及评审的正规性及如何实施，大多数情况是自行决定。NPR 7123.1 中附录 G 给出了相关扩展指南，包括评审启动条件和顺利通过评审的判定准则。一般情况下，工程/项目会以某种方式将这些准则按客户要求定制化，使之对工程/项目更有意义。当然，NASA 系统工程需求规范不需要这种客户定制模式提供免责声明和允偏说明。但是，如果与 NASA 技术规程需求所要求的评审要素有所不同，则需要对需求文档做剪裁处理。

表 3.11-1 工程/项目的类型示例

判 据	类 型 A	类 型 B	类 型 C
使命任务类型的描述	载人空间飞行或超大型的无人/科学使命任务	非人类的空间飞行或无人/科学使命任务	小型科学试验或无人使命任务
优先级 ^① 和可接受的风险水平	高优先级，非常低（最小）风险	高优先级，低风险	中等优先级，中等风险
国家意义	非常高	高	中等
复杂性	复杂度非常高到高复杂度	高复杂度到中等复杂度	中等复杂度到低复杂度
使命任务年限 ^②	长时年限，大于 5 年	中等年限，2~5 年	短时年限，小于 2 年
全寿命周期费用估算	高（大于 10 亿美元）	高到中等（5 亿~10 亿美元）	中等到低（1 亿~5 亿美元）
发射约束影响	关键	中等	很小
重新研发和重新飞行的可能	没有重新研发和重新飞行的可能	很少或没有重新研发和重新飞行的可能	有或很少有重新研发和重新飞行的可能
达到使命任务成功判据	所有现实采用的度量指标皆保证使命任务成功面对最小风险。采用的是最高质量保证标准	在用于保证低风险使命任务成功时，采用严格的质量保证标准，仅有很少的妥协	导致使命任务未能成功的中等风险可接受。允许降低质量保证标准
示例	哈勃深空望远镜； 卡西尼空间探测器； 木星冰月轨道器； 詹姆斯·韦伯太空望远镜； 猎户座多用途宇宙飞船； 太空发射系统； 国际空间站	火星探测漫游者； 火星勘探轨道飞行器； 发现号航天飞机载荷； 国际空间站设施级载荷； 国际空间站附加载荷	地球系统科学探路者； 探索者号载荷； 小型双向地球敏感器； 国际空间站复杂框架载荷； 发射台任务终止系统； 战神 1-X 运载火箭； 火星科学实验室进场与着陆仪器； 气候绝对辐射与折射观测计划； 平流层气溶胶和气体试验； 云-气溶胶激光雷达与红外探路者卫星观测飞船
判 据	类 型 D	类 型 E	类 型 F
使命任务类型的描述	较小的科学或技术试验使命任务（国际空间站载荷）	亚轨道或空中或大型地面使命任务	空中或地面保障技术演示验证
优先级 ^① 和可接受的风险水平	低优先级，高风险	低优先级，高风险	低优先级和非常低优先级，高风险
国家意义	中等偏低	低	非常低
复杂性	中等复杂度到低复杂度	低复杂度	低复杂度到非常低复杂度

续表

判 据	类 型 D	类 型 E	类 型 F
使命任务年限 ^①	短时年限, 小于 2 年	不存在	不存在
全寿命周期费用估算	低 (5 千万~1 亿美元)	1 千万~5 千万美元	少于 1 千万美元
发射约束影响	很少或没有	很少或没有	没有
重新研发和重新飞行的可能	明显有重新研发和重新飞行的可能	明显有重新研发和重新飞行的可能	明显有重新研发和重新飞行的可能
达到使命任务成功判据	允许出现导致使命任务未能成功的中等或显著风险。允许最小化质量保证标准	允许出现导致使命任务未能成功的显著风险。允许最小化质量保证标准	允许出现导致使命任务未能成功的显著风险。允许最小化质量保证标准
示例	斯巴达太阳观测飞船; 逃生专用舱; 技术演示装置; 简单的国际空间站; 直连的舱内和框架载荷; 小型探索计划; 国际空间站材料试验; 地球探险仪器第 2 号	第 2 次可充气再入飞行器试验; 第 3 次可充气再入飞行器试验; 高超音速国际研究计划; 高超声速边界层转捩试验; 自动着陆风险规避技术; 猎户座相对导航传感器测试风险缓解技术; 地球探险仪器第 1 号	空气-多普勒气溶胶测风激光雷达; 地球大气中的原位净通量测量技术; 研究成果与技术展示

注: ① 依据对 NASA 战略规划的重要程度。

② 核心使命任务控制基线。

如果确定工程/项目不需要进行某项评审, 则需要有免责说明或允偏说明。当然, NASA 系统工程需求规范并未指定实施这些评审的最低限量。例如, 某小型项目可能会决定将系统需求评审和系统定义评审 (或使命任务定义评审) 结合起来。只要两项评审的相应工作全部完成, NASA 系统工程需求规范便不要求免责说明或允偏说明。(注意: 即使 NASA 系统工程需求规范不要求, 免责说明或允偏说明仍可能在官方的项目管理需求中有要求。) 这里客户定制和剪裁应当保存在合规矩阵中, 或写入评审计划/系统工程管理计划中。

除非官方项目管理指令性文件中有要求, 否则可以通过客户定制使评审活动适应工程/项目的类型, 而评审的正规性不会受到影响。对于大型项目, 合适的做法应该是进行历时数周的非常正式的评审, 使用正式的评审对象必纠偏差报告流程/需纠偏差报告流程, 产生评审概要和详细的汇报演示, 汇报的对象包括评审委员会和预评审委员会。对于小型项目, 相同的评审可能在数小时内完成, 只是一个有若干利益相关者参加的室内评审会, 其中的问题和活动简单记录在 Word 文档或 PowerPoint 文件中。

NASA 系统工程流程所需作为里程碑评审使用的汇报演示文稿模板, 可以在 NASA 系统工程网络实践内部社区网站上获取。

3.11.5 剪裁和客户定制示例

表 3.11-1 给出了基于相关系统相应各类使命任务的示例, 使命任务可分解为若干类型各不相同的项目, 从非常复杂的类型 A 到极其简单的类型 F。示例中在进行项目剪裁时, 将特定项目安排在某个特殊类型中应被视为某种指导意见, 而不是固定不变的特征化。许多项目符合多

个类型的特征，因此在剪裁过程中，允许对那些更简单且对风险更开放的项目做较多的剪裁，而对那些复杂性和缓解风险起主导作用的项目做较少的剪裁。各个项目类型的剪裁准则和定义可能随使命任务所在的 NASA 中心及主管部门的不同而发生变化，这取决于哪种类型更适合他们对使命任务的认知。表 3.11-2 给出另一个示例，说明工程/项目所要求的文档资料应如何实现剪裁和客户定制。一般规律是越简单的项目，需要的文档资料越少，实施越少的正式评审。项目的产品数量也应当作为考虑因素。

表 3.11-2 NPR 7120.5 中要求的项目产品的剪裁示例

	类型 A	类型 B	类型 C	类型 D	类型 E	类型 F
项目技术产品示例						
系统构思文档	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁
使命任务、宇宙飞船、地面设备和有效载荷的架构	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁
项目级、系统级和子系统级的需求	完全合规	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁
设计文档资料	完全合规	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁
运行使用构想	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁
技术可用状态评估文档	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁
人因系统集成计划	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁
现有（传统）产品评估文档	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁
安全性数据包	完全合规	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁
一次性运载火箭有效载荷安全性流程产品	完全合规	完全合规	完全合规	完全合规	完全合规	不可用
验证和确认报告	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁
运行使用手册	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	不可用
使命任务终止计划	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁
使命任务报告	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁	剪裁
项目管理控制计划示例						
风险管理计划	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	不可用
技术开发计划	完全合规	完全合规	完全合规	完全合规	不可用	不可用
系统工程管理计划	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁
软件管理计划	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁	剪裁
验证和确认计划	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁	剪裁
评审计划	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	剪裁
综合后勤保障计划	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	不可用
科学数据管理计划	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁	不可用

续表

	类型 A	类型 B	类型 C	类型 D	类型 E	类型 F
系统集成计划	完全合规	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁
技术状态管理计划	完全合规	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁
技术转移（含出口）计划	完全合规	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁
经验教训总结计划	完全合规	完全合规	完全合规	完全合规	剪裁	剪裁
人员适航认证计划	完全合规	不可用	不可用	不可用	不可用	不可用

3.11.6 剪裁的审批

NASA 系统工程需求规范中的允偏说明和免责说明可以分别提交给需求负责单位，或汇入根据 NPR 7123.1 附录 H 所建立的相应合规矩阵。如果某个 NASA 中心要求对系统工程需求规范进行剪裁并作为该中心的标准，则可参照 NPR7123.1 附录 H 的 H.1 节制定，并且提交首席工程师办公室审批该中心提出的流程请求或流程变更。如果由某个 NASA 中心负责的工程/项目需要对系统工程需求规范进行剪裁，则可以使用 NPR7123.1 附录 H 中 H.2 节的合规矩阵。针对这些情况，免责说明/允偏说明需要得到 NASA 中心主任或其指定代理人的批准。

不论是 NASA 中心的要求还是工程/项目的要求，剪裁的结果及其客观依据应当反映在系统工程管理计划的最新版本中，并且应得到需求负责单位的正式批准。经过批准的免责说明/允偏说明可以在整个项目团队内部和各层级管理人员之间交流。如果需要在工程/项目内部进行独立评审，则可以对期望和评估准则进行适当修改。表 3.11-3 给出了依据 NRP7123.1 的附录 H 中 H.2 节合规矩阵进行剪裁的示例。

表 3.11-3 使用合规矩阵的示例

需求编号	需求规范对应章节	需求陈述	客观依据	需求责任方	是否合规	证明
SE-05	2.1.5.2	对于那些由 NASA 中心主任负责的需求，技术团队应当按照 NPR 7123.1 附录 H 中 H.2 节完成合规矩阵，并将其写入系统工程管理计划	不论是工程还是项目，按照 NPR 7123.1 的附录 H 中 H.2 节完成合规矩阵表明，工程/项目需求与系统工程需求规范（或中心对 NPR 7123.1 的特别剪裁，不管是否合适）相符合，任何经过 NASA 中心主任或其指定代理人确认和批准的剪裁都可以作为工程/项目系统工程管理计划的一部分	NASA 中心主任	完全符合	
SE-06	2.1.6.1	授权的管控机构应当对系统工程管理计划、免责说明授权文档及其他关键技术文档进行审批，确保技术内容的独立评估	授权的管控机构通常是技术机构，负责系统工程管理计划、技术需求免责说明和其他关键技术文档的审批，为产品的可用性和技术品质提供保证	NASA 中心主任	完全符合	

续表

需求编号	需求规范对应章节	需求陈述	客观依据	需求责任方	是否合规	证明
SE-24	4.2.1	NASA 技术团队应当在系统工程管理计划中定义自合同拨款之前，到合同实施执行，再到合同完成期间的工程活动	对于政府和承包商同等重要的是，技术团队应当了解，在产品的全寿命周期内，什么活动应当被哪个组织控制。承包商通常会开发系统工程管理计划或与之相当的文档，描述他们所承担的项目任务部分相应的技术活动，但不管承包商怎么做，项目顶层的系统工程管理计划都需要描述覆盖整个寿命周期的全部技术活动	NASA 中心主任	不可用	项目开发完全在NASA 内部展开，因此不存在承包商

电子工业出版社版权所有
盗版必究