

复杂工程系统研发中的技术状态管理

Configuration Management During the Development of Complex Engineering System

北京航空航天大学工程系统设计优化研究中心 舒 彪 韩晓建 邓家祺

[摘要] 围绕复杂工程系统的本质特征和研发过程的难控性提出进行技术状态管理的必要性;结合实际飞机系统的工作分解结构,分析了技术状态管理过程中技术状态标识过程、技术状态基线控制、技术状态纪实和技术状态审核等关键技术活动;提出了比较完备的技术状态管理体系结构,并指出流程管理在该体系结构中的重要性。

关键词: 复杂工程系统 技术状态管理 工作分解结构

[ABSTRACT] The necessity of the configuration management is proposed according to the essential features of complex engineering system and the untamed quality of development process. Key technical activities including configuration identification process, configuration baseline control, configuration status accounting and configuration audit during configuration management progress are analyzed based on the work breakdown structure of aircraft system. A better architecture of configuration management and the importance of flow process management in the architecture are presented.

Keywords: Complex engineering system Configuration management Work breakdown structure

技术状态管理是美国军方在复杂武器系统研制过程中发展起来的一种管理方法^[1],其相关的军用标准已经在世界各国得到了广泛认识和采用^[2],并且已经从原来的技术状态管理 CM (Configuration Management) 发展上升到 CM (Configuration Management) 的层次^[3-4]。我国从 80 年代中期开始在国防工业中引入技术状态管理^[3],发布了相关的标准并得到实施^[4-6],并在航空、航天等领域内的复杂工程系统研发过程中大力推广技术状态管理的使用。但如何在复杂工程系统研发中有效地进行技术状态管理尚没有一个明确而深刻的认识。本文针对复杂工程系统的研发,以飞机系统的工作分解结构 (Work Breakdown Struc-

ture, WBS) 为基础,围绕技术状态管理的关键活动,对为什么要进行和如何进行技术状态管理进行了分析,最后提出技术状态管理的体系结构,并对其作了相应的分析。

1 复杂工程系统研发特点

随着社会的发展,人类对工程系统的需求呈现几何增长的趋势,主要表现在:增加系统功能的要求,增强系统能力的要求,综合利用资源的要求,提高劳动效益的要求,适应环境变化的要求,多种选择的要求,自动化的要求,快速反应的要求和智能化的要求等。正是由于这些需求的不断推进,使得工程系统日趋复杂,主要体现在如下几个方面:(1) 系统设计指标种类多样;(2) 系统的组成成分数量巨大;(3) 系统的接口繁多;(4) 系统难以集成和测试。

复杂工程系统本身的特征导致其在研发中的复杂性主要体现在:系统产品的零部件数以万计,各种技术文件不计其数;另一方面,研发阶段和技术状态形成的动态性等影响着系统产品的变化,图 1 为复杂工程系统研发中的技术状态动态形成过程。

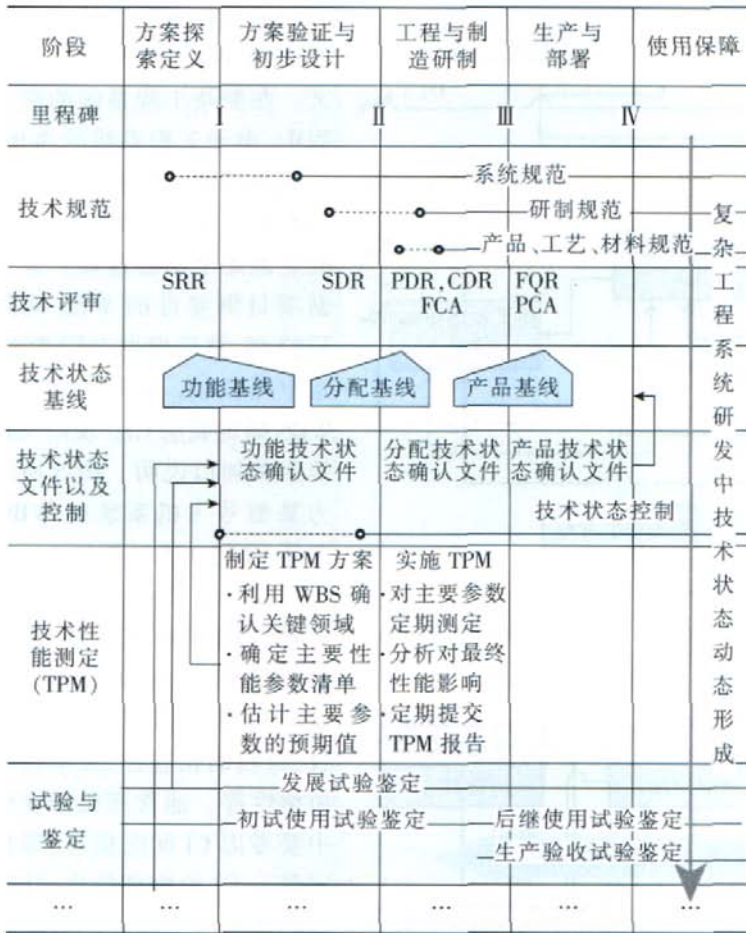
系统工程是应用于复杂工程系统研发的科学方法,特别是其中的系统工程过程的应用,其主要功能是以一套规范化的方法和程序从任务需求中完整地导出量化的技术要求,并确定能满足这些技术要求的系统最优配置,图 2 为系统工程过程。

系统工程过程中的一些主观因素也会给复杂工程系统的研发造成一定的困难,主要包括:(1) 用户需求的不确定性与易变性;(2) 组织跨学科的工程队伍的困难;(3) 系统开发支持环境的缺乏或不足;(4) 研发过程的难控性等。

综上所述,复杂工程系统研发是一项具有很强的技术性、社会性以及风险性的工作,为了使研发工作能有效进行和保证最终系统的质量,在研发过程中进行有效的技术状态管理是必要的。

2 技术状态管理过程

技术状态管理主要是确定一个复杂工程系统在



注: SRR—系统需求评审; SDR—系统设计评审; PDR—初步设计评审; CDR—关键设计评审; FCA—功能技术状态审核; FQR—正式合格审查; PCA—物理状态审查。

图 1 复杂工程系统研发中的技术状态动态形成

Fig.1 Dynamic formation of configuration during the development of complex engineering system

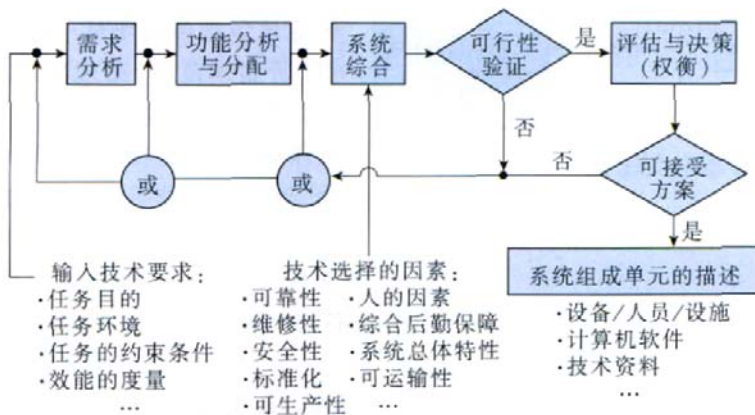


图 2 系统工程过程

Fig.2 System engineering process

其生命周期内的功能特性和物理特性, 控制这些特性的变化并对变化情况提供信息的方法。技术状态管理能确保该复杂工程系统在再生产时的重复性, 并对技术状态变化的理由保持完整的信息。技术状态管理最早能在概念搜索阶段根据系统工程过程的输入而开始进行, 并一直贯穿于其发展和更改的研制过程; 在使用阶段, 技术状态管理能应用到系统的可维护方面。

因此, 技术状态管理的实现主要通过以下 4 个互联的活动来实现: 技术状态标识、技术状态控制、技术状态纪实和技术状态审核。技术状态管理活动源于工程系统的 WBS, 如技术状态管理中关联活动的 IDEF0 结构, 见图 3。

图 3 中, 技术状态管理的输入 I1.1 即为复杂工程系统的 WBS, 而输出 O1.1、O1.2、O1.3、O1.4 分别为各个活动输出的结果, 其中 O1.3 的内容(技术状态纪实)应该包括 O1.1、O1.2、O1.4 的所有内容, 对应工程系统的 WBS 和各个活动的输出结果在后文中会作详细的分析。

2.1 复杂工程系统 WBS 的典型发展

技术状态管理的首要工作就是确定技术状态项 (Configuration Item, CI)。CI 是指能满足最终使用功能, 并被指定作为单个实体进行技术状态管理的硬件、软件或其集合体。选择 CI 应由承制方和订购方共同提出, 经充分协商后, 在合同中规定。对于一个确定的复杂工程系统的研发来说, 其选择依据就是在其 WBS 中选择 CI, 确保 CI 对 WBS 单元的可追溯性。工程系统 WBS 的形成过程是个动态过程, 图 4 为工程系统 WBS 的动态形成。

工程系统的 WBS 由项目纲要性的 WBS、合同 WBS 以及扩延的 WBS 组成, WBS 中单元应按所处的层次划分级别, 从顶层开始, 依次为 1 级、2 级、3 级, 直至 6 级、7 级等。

2.2 技术状态的动态标识

技术状态标识主要就是选择 CI, 确

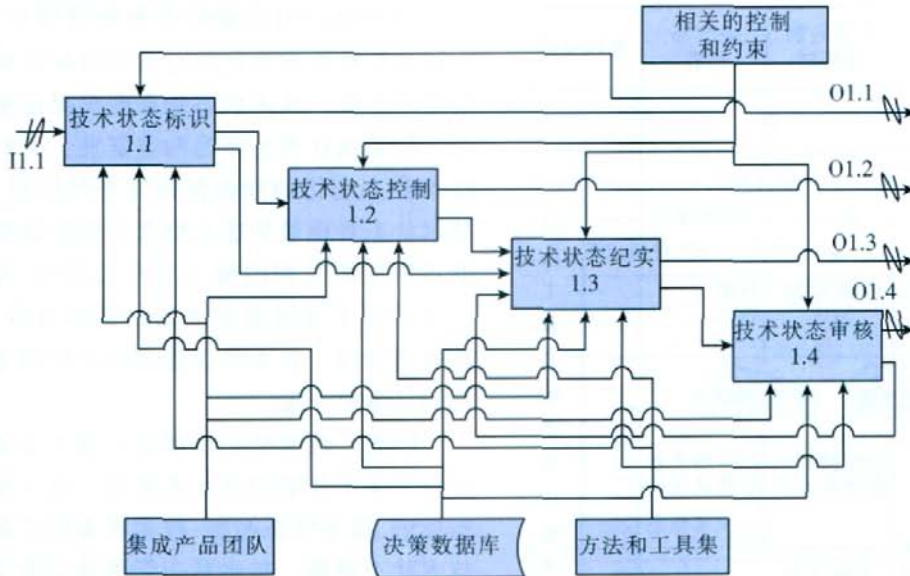


图3 技术状态管理中关联活动的 IEDFO 结构

Fig.3 IEDFO structure of correlative activity in configuration management

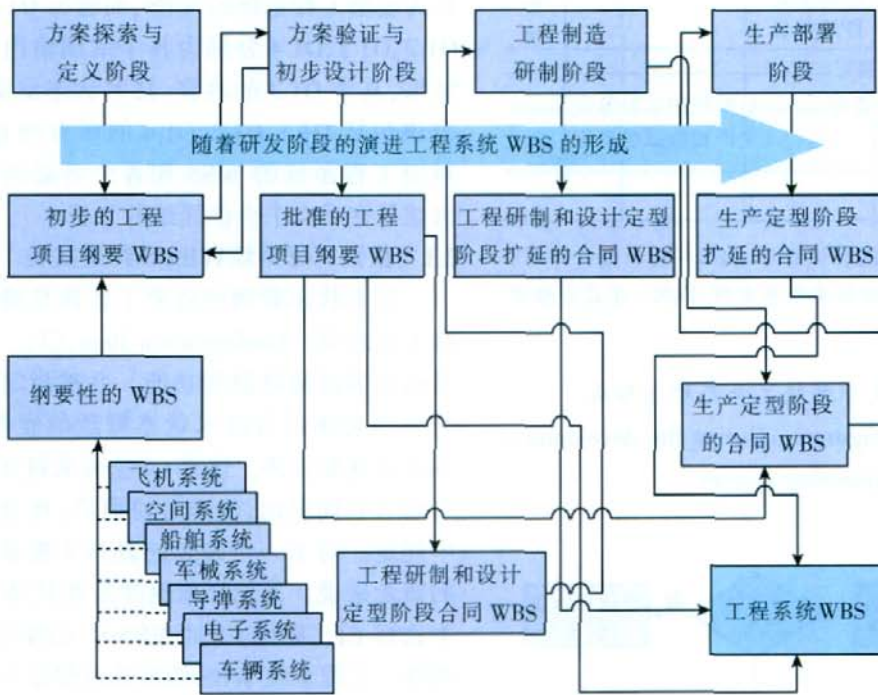


图4 工程系统 WBS 的动态形成过程

Fig.4 Dynamic formation process of WBS about engineering system

定系统技术状态基线,选择相应的标识符号,并用文件的形式表示出 CI 的功能和物理特性等。其标识过程包括:

(1) 确定系统产品结构和选定 CI。工程系统的 WBS 中应包括所有 CI,但并不是所有的 WBS 单元都

必须进行技术状态管理,因此 CI 的选择必须严格符合其定义。在复杂工程系统的研发过程中,由于工程系统的 WBS 的形成是随着工程系统研发阶段的推进逐步建立的,因此,CI 的确定也是个动态过程。首先根据项目纲要性的 WBS 确定顶层的 CI,然后根据合同 WBS 确定中间层 CI,最后根据扩延的 WBS 确定底层 CI。现以飞机系统为例加以说明,图 5 所示即为某型号飞机系统的 WBS 确定其 CI 的动态过程。

(2) 定义 CI 之间的接口。对接口的理解应该是 CI 之间的衔接和配合。如 2 个硬件的接口可以是其尺寸的相互配合、材料的相容性、技术性能的协调性等。通常所说的在设计中要考虑 CI 间的接口,即指确定某一 CI 的物理特性、功能特性必须考虑与其衔接的另一 CI 的物理特性、功能特性,使两个 CI 组合在一起时能保持最佳的性能,如图 5 所示,对 CI 间接口要求规范化。

(3) 形成各类技术文件。将 CI 的物理特性、功能特性及接口要求,和随后的更改形成各类技术文件。通常典型技术文件应该包括各类规范(系统规范、研制规范、产品规范、工艺规范和材料规范)、工程图纸、技术说明、几何模型、文件清单、使用与维护手册、接口要求等,为了有效地组织各类技术文件,建立以 CI 为中心的技术

文件的管理结构,将各类技术文件和相应的 CI 进行关联,见图 5。

(4) 确定相关的属性。首先要定义出工程系统研发过程中进行技术状态管理的一些对象属性规则,包括版本的变更规则,各个对象的标识规则等,以便对

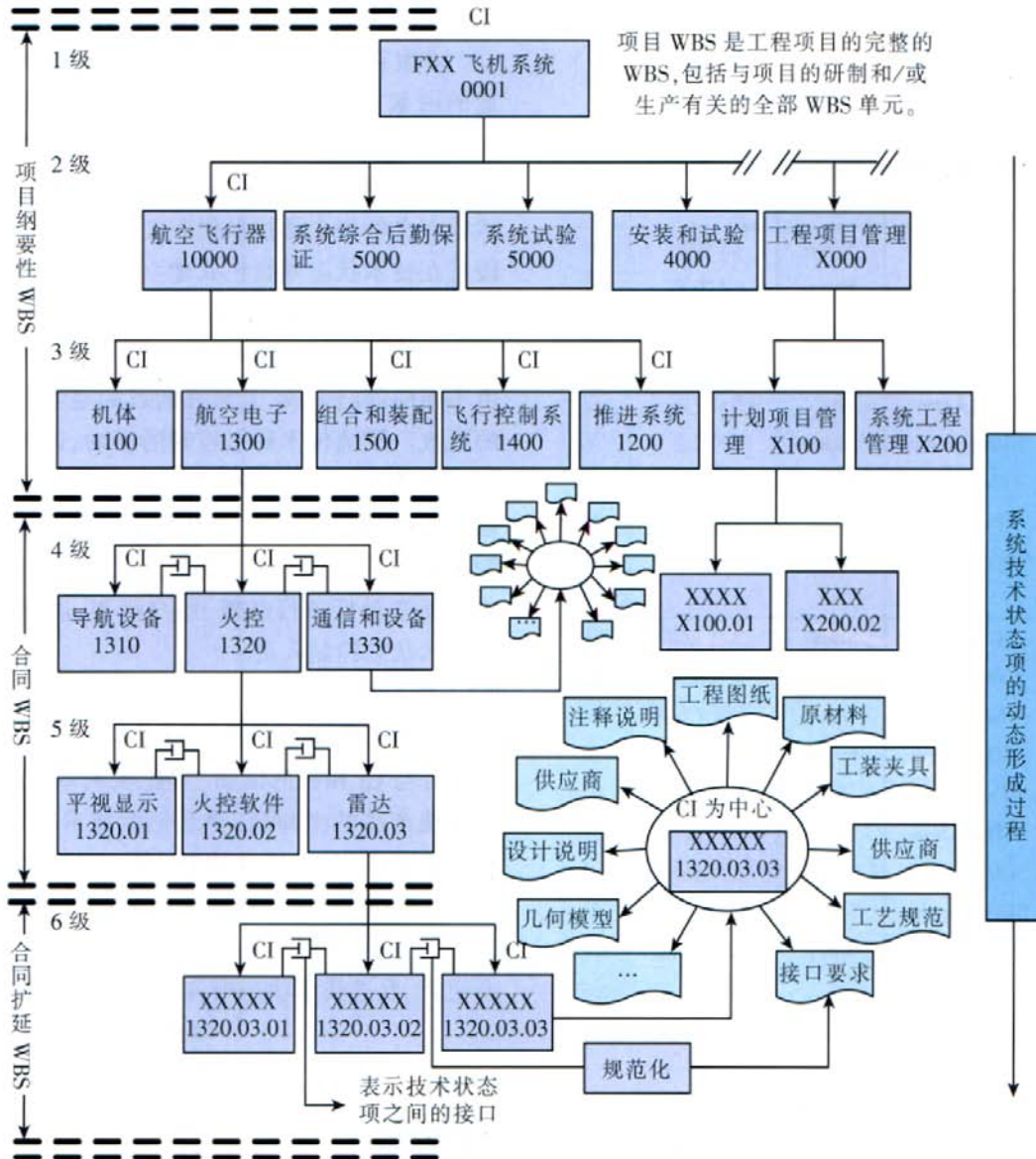


图5 技术状态项 CI 确定的动态过程

Fig.5 Determination dynamic process of configuration item (CI)

管理中的所有对象的属性进行规范描述，如每个 CI 和相应的技术文件对象必须要有唯一的标识号等。表 1 中给出了 CI 及其相关的技术文件对象的一些属性，在技术状态标识过程中，属性规则的严格定义是至关重要的。

(5) 建立基线。批准技术状态标识所形成的文件，即系统产品技术状态基线。基线是在一个技术开发层次完成以后对系统状态的描述，后一个开发层次的重要研制活动，应当在上一级基线建立、稳定和受控之后才能开始进行。实际上，基线就是一组经批准的技术文件(设计图纸、规范、试验、检验程序)对某一特定阶段的功能特性和物理特性进行全面的描述，

作为一个批准的基准点，用以控制系统产品的性能、结构设计及未来的更改。

在工程系统的研发过程中，随着研发阶段的演进，技术状态的基线主要包括功能基线、分配基线和产品基线 3 种。但是在 CI 的详细设计和试验定型阶段，一般为了更好地控制技术状态的形成过程，往往会在这两个基线节点之间根据实际的工程系统研发需要再划分一个基线，这个基线可称为内部研发基线。

技术状态基线的形成过程是相互联系的，前者是后者的基础，其形成过程和相互关系如图 6 所示。建立技术状态基线的目的是为了分阶段设置控制点，实

施动态的管理,以了解、控制系统产品技术状态的形成过程。

表 1 技术状态项及其相应的技术文件属性

对象	名称	类型	说明	唯一
技术状态项	CItem_Id	String	CI 标识	是
	CItem_Name	String	CI 名称	是
	Project_Id	String	所属项目号	是
	PItem_Id	String	父 CI 编号	是
	Item_Layer	Int	WBS中层号	是
	CItem_Status	Int	CI 状态	否
	CItem_Desc	String	CI 描述	是
	CItem_Note	String	CI 备注	否
	CItem_Version	String	CI 版本	否
...
各类技术文件	CDoc_Id	String	文件标识	是
	CDoc_Name	String	文件名称	是
	CItem_Id	String	所属 CI 项	否
	CDoc_Type	String	文件类型	否
	CDoc_Status	Int	文件状态	否
	CDoc_Desc	String	文件描述	是
	CDoc_Note	String	文件备注	否
	CDoc_Version	String	文件版本	否
	CDoc_Dir	String	文件路径	否
...

2.3 技术状态基线变更控制

在复杂工程系统研发过程中,由于多方面的不确定的因素,导致其研发过程往往不能一次完成,多次变更是不可避免的,因此必须对其进行严格控制。技术状态控制主要针对的是功能技术状态文件、分配技术状态文件和产品技术状态文件。控制的真正开始阶段是在技术状态基线正式建立后,对其技术状态的改变进行系统的分析、评价、协调、批准或不批准,以及更改的执行和验证等所有活动,当然这些活动应分别由不同的部门完成,其最终的目的是防止进行不必要的更改。围绕技术状态控制的活动,进行技术状态基线更改的详细过程见图 7, 在图 7 中,CCB 是技术状态项变更的监管组织。其任务是对建议的技术状态项变更做出评价、审批,以及监督已批准变更的实施。其成员通常包括项目经理、用户代表、质量控制人员以及技术状态控制人员。

2.4 技术状态纪实

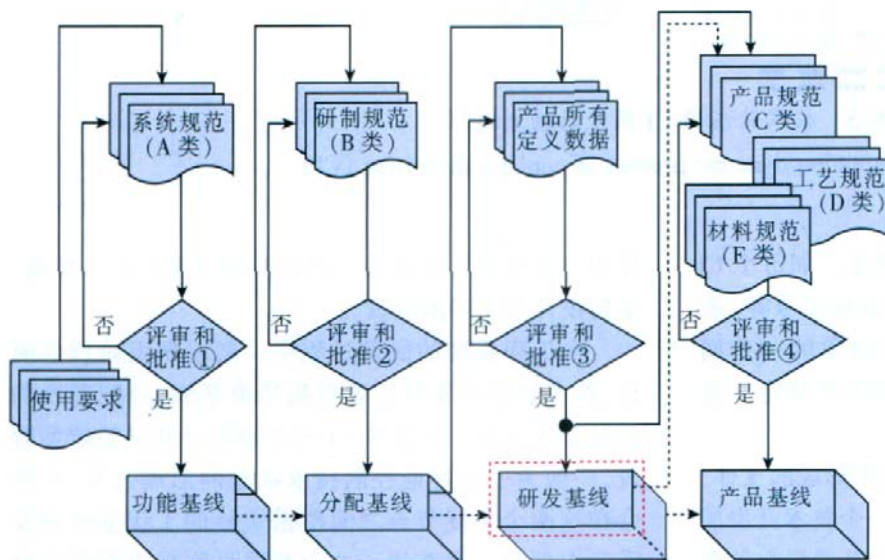
复杂工程系统研发中技术状态纪实主要是记录和报告与 CI 相关的活动。其纪实的基本原则是:贯穿于系统产品的生命期;重点记录技术状态标识、控制和审核的内容,如图 3 中技术状态纪实的输入;根据需要定期发布报告;确定文件的格式及记录、报告的程序。根据这些原则,技术状态纪实主要包括技术状态记录、发送技术状态报告、技术状态分析 3 个方面:

(1) 技术状态记录。主要记录

技术状态标识和技术状态控制过程中的有关事项和数据,为技术状态进展过程中实施有效管理提供可追溯性,应记录 CI、技术状态基线、工程更改、偏离和超差、工程更改的实施情况,以及相应的零组件号、文件号、序列号、版本、标题、日期、发放状态和实施状况等内容。

(2) 发送技术状态报告。承制方可对 CI 或工程系统定期地向订购方、相关承制方和分承制方发送下述不同类型的报告:CI 及其技术状态基线的文件清单;当前的技术状态状况;工程更改、偏离和超差状况报告;工程更改实施和检验的状况报告。

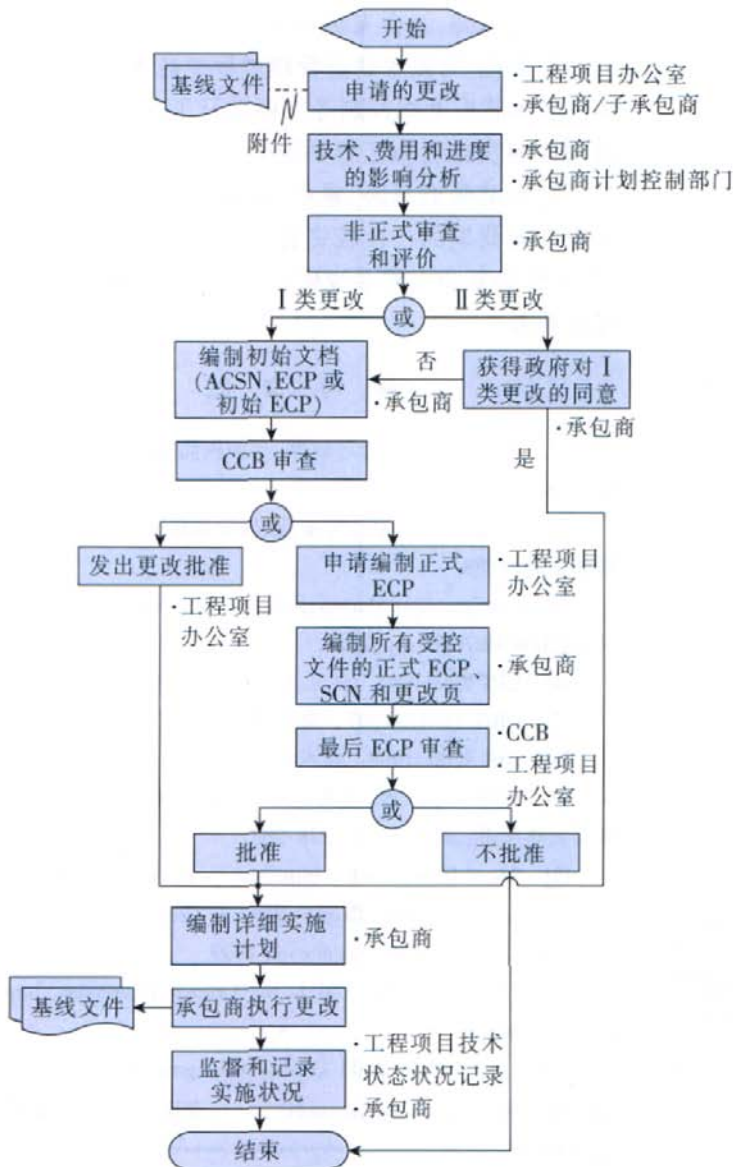
(3) 技术状态分析。承制方应



注:评审和批准①:系统要求评审;评审和批准②:系统设计评审,初步设计评审;评审和批准③:关键设计评审;评审和批准④:功能技术状态审核,物理技术状态审核,正式合格评审。

图 6 技术状态基线的形成

Fig.6 Forming process of configuration baseline



注：ECP—工程更改建议；SCN—规范更改通知；CCB—技术状态控制委员会；ACSN—先期的更改和研究报告。

图7 技术状态基线的更改过程

Fig.7 Change process of configuration baseline

进行以下分析：对所报告的问题进行分析，以查明问题的动向；评定纠正措施，验证它是否已解决了相应的问题，或是否又产生了新的问题。

其最终目的是为了保持对所有系统产品数据的可追溯性；保证所有产品数据处于可控状态；监视从工程系统研发开始到结束的生命期内工程系统的设计制造过程及其相关的更改过程；跟踪技术状态基线的组成和更改情况；确定更改影响范围等。

2.5 技术状态审核

复杂工程系统研发中技术状态审核包括功能技

术状态审核和物理技术状态审核，主要侧重于技术活动，它既不同于管理体系审核，也不同于产品审核。功能技术状态审核应在整个CI的研制过程中不断深入，在完成了CI的鉴定试验并通过了最终系统功能技术状态评审时，功能技术状态审核才算完成；物理技术状态审核应包括对硬件和软件CI有关文件和记录的审核，从而判定在制的CI是否符合这些文件的要求，物理技术状态审核应从生产的第一个CI上开始。

其最终目的是保证工程系统产品符合合同要求或规范规定，保证技术状态数据能准确地描述工程系统产品的功能和物理要求。技术状态审核发生在工程系统研发的后期，它的完成标志着复杂工程系统研发的结束。

3 技术状态管理体系结构

复杂工程系统研发过程中，要有效实施技术状态管理非常复杂。紧密地围绕复杂工程系统研发阶段的特征和对技术状态管理过程中关键活动的分析，支持技术状态管理的体系结构见图8。

如图8所示，支撑层是系统实施的基础，主要包括操作系统、数据库系统、网络系统、计算机硬件等，这些为技术状态管理系统的实施提供了物质和技术上的支持；核心功能层是系统实施的核心部分，主要包括项目管理、研发阶段管理、产品结构管理、文档管理、版本管理、流程管理、系统管理、集成工具和接口管理、质量管理、用户管理等，其中流程管理在核心层中的作用举足轻重；界面表示层是指不同权限用户登录认证及其登录后的界面显示，如通过JSP、HTML、XML显示。

从某种角度来说，流程管理可理解为技术状态管理的某种深层含义。实际上，在复杂工程系统的研发中，各类流程时刻体现在技术状态管理过程中，如基线更改控制(图7)、技术文件状态的改变、技术状态纪实和审核过程等。当然，流程的实现与流程中任务的执行者、相关的应用程序、流程中所需要的和产生的数据等是密切相关的，必须要有一个有效的流程管理机制来实现。图9显示了基于 workflow 管理的技术文件的状态变化，在执行流程的过程中，技术文件将由原来的工作状态变成最终的发布状态。

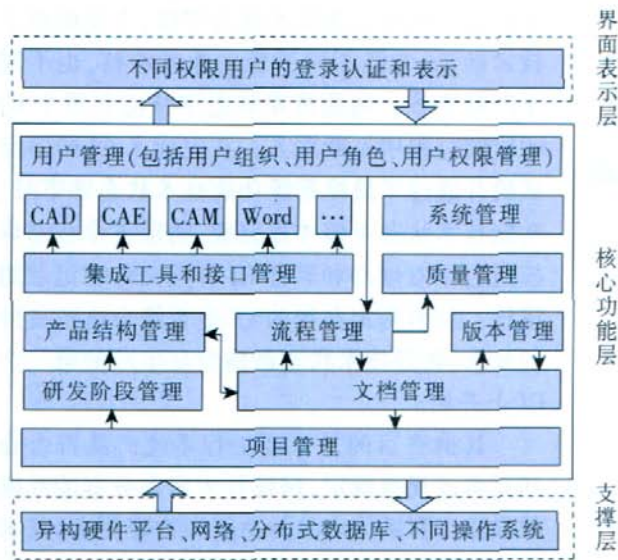


图8 技术状态管理系统体系结构

Fig.8 System architecture of configuration management

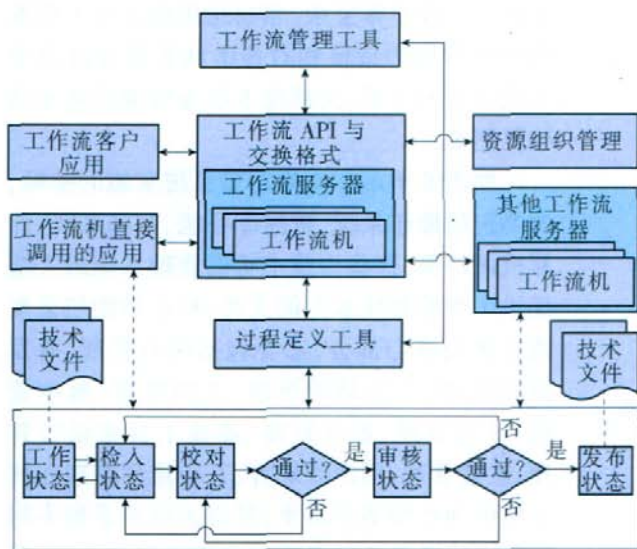


图9 基于 workflow 管理的 technical documents 的状态变化

Fig.9 State change of technical documents based on workflow management

4 结束语

复杂工程系统研发中技术状态管理是一项复杂的系统工程,本文主要从理论的角度对其进行了初步的研究。首先,结合复杂工程系统的特点,从主客观方面对其研发的复杂性进行了分析,指出在其研发过程中进行技术状态管理的必要性;其次,以技术状态管

理标准为基础,结合飞机系统的工作分解结构(WBS)的动态形成,对技术状态管理过程中技术状态动态标识、技术状态基线控制等方面进行了基本的分析,从而对如何实施复杂工程系统研发中技术状态管理提供了比较清晰的思路;最后,明确地提出了基于复杂工程系统研发的,比较完备的技术状态管理体系结构,可作为复杂工程系统研发过程中实现技术状态管理的参考。

参 考 文 献

- [1] 国防科工委综合计划部. 美国国防部质量保证资料汇编. 1988.
- [2] 军用标准化、航空标准化、质量编辑部. 美国军用管理标准选编. 1988.
- [3] Configuration Management [EB/OL]. <http://www.cccv.cn/detail/2004/10/7009.asp>, 2004.
- [4] EJT 829- 1994 核工业技术状态管理规范.
- [5] GB/T 19017- 1997 质量管理技术状态管理指南.
- [6] GJB 3206- 1998 技术状态管理.
- [7] 于勇, 范玉清. 飞机构型管理研究与应用. 北京航空航天大学学报, 2005, 31(3): 278-283.
- [8] About ICM[EB/OL]. <http://www.ecmhp.com>, 2000.
- [9] Industry White Paper—What is Configuration Management[EB/OL]. <http://www.cmstat.com>, 1999.
- [10] Effective PDM: CM Is the Critical Dimension, <http://www.cmstat.com>.
- [11] ISO 10007: 2003 Quality management system guidelines for configuration management. (责编 立十 金卯)

航天科技集团公司与中化集团 签署战略合作协议

为了在全球化竞争的市场环境下最大限度地获得竞争优势, 共同分享市场利益、规避市场风险, 2008年5月6日, 航天科技集团公司与中化集团公司签署了战略合作协议, 建立起长期稳定的战略合作伙伴关系。航天科技集团公司总经理马兴瑞、副总经理雷凡培、总经理助理赵晓晨, 中化集团公司总裁刘德树、副总裁王引平等出席签字仪式。

根据协议, 中化集团将充分利用其行业、资源和专业服务等方面的优势, 与航天科技集团公司开展深度合作, 共同开拓国际、国内市场, 不断提升经济实力和国际竞争能力。此次协议签署后, 双方将继续依据各自发展的规划和领域, 根据合作协议的原则和范围, 进一步深化双方的广泛合作。(本刊记者 凌川)