

汤铭端 编著

航天型号软件研制过程

AEROSPACE PROGRAM SOFTWARE DEVELOPING PROCESS



宇航出版社

00011508

航天型号软件工程系列丛书

航天型号软件研制过程

汤铭端 编著

宇航出版社

内 容 简 介

本书是航天型号软件工程系列丛书之一。全书共18章。书中对软件工程基本理论、概念和结构化方法进行了介绍,给出了航天型号软件研制过程模型,对该过程中的各软件研制基本阶段逐个详细地介绍了其任务、步骤、产品、要求及推荐采用的方法与工具,并对贯穿软件研制全过程的评审、配置管理等管理工作进行了全面的介绍。

读者通过本书可以了解软件工程的基本概念和主要内容,基本掌握软件工程化研制的过程和技术,并能够在航天型号工程和其它工程研制中参照本书方便地实施。

本书的主要读者为航天型号软件研制项目组中的所有技术人员、相关的主任设计师和行政指挥管理人员,同时供各级领导和其他技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

航天型号软件研制过程/汤铭端编著.-北京:宇航出版社,
1999.4

(航天型号软件工程系列丛书)

ISBN 7-80144-247-4

I. 航... II. 汤... III. ①计算机应用-航天-技术②航天器-
应用软件-软件设计 IV. V4-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 06162 号

宇航出版社出版发行

北京市和平里滨河路1号(100013)

发行部地址:北京阜成路8号(100830)

北京市梨园彩印厂印刷

新华书店经销

1999年4月第1版 1999年4月第1次印刷

开本:850×1168 1/32 印张:11.25 字数:290千字

印数:1~3000册

定价:20.00元

序(一)

航天型号既是当代高新科技集中应用的领域,又是创造和推动高新科技发展的重大工程。作为时代技术标志的计算机及其软件已广泛应用于制导、导航、控制、测试、通讯、数据处理等航天关键领域。在航天型号中,计算机软件已越来越显示其重要作用,关系着系统功能的强弱和成败。重视学习和研究软件科学与管理,不断改进软件开发过程,提高软件产品质量是航天型号研制中面临的必须解决的重要课题。负责航天型号研制和管理的设计师、工程师们,特别是高层管理和技术决策者们对硬件的研制和管理比较熟悉,而对软件的研制规律和管理方法还正在学习和摸索,因此,加强系统地培训就显得格外必要。

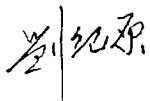
航天型号研制与管理的实践告诉我们,计算机软件像电子元器件、机械零部件一样是构成系统最基本的组成部分,必须研制好,管理好。近几年来,航天总公司在推进软件工程化工作中,下发了管理规定,成立了软件评测机构,开展了型号软件的独立评测,取得了一定成绩和进步,同时,在实践中也使人们进一步看清了差距,有不少认识问题和习惯势力阻碍着软件工程化的推进。推进软件工程化是航天事业发展的需要,也是同国际市场接轨的需要。只有加强培训,在提高的基础上统一认识,才能加快推进软件工程化的步伐。

为了适应航天型号的发展,从改进航天型号软件研制与管理现状出发,航天总公司科研局组织有关专家编写了《航天型号软件研制管理》、《航天型号软件研制过程》、《航天型号软件测试》三本书,作为培训教材,以便推动各方面的培训工作。

这三本书从软件管理、开发、测试三个角度比较全面、系统地

介绍了国际上的先进作法,也总结了我们自己的实践经验,比较实际、实用,是作者们潜心研究的成果,应当珍视。相信各方面会充分利用这三本书来帮助管理人员、软件开发人员和测试人员提高素质。

我恳切希望航天总公司广大技术人员和管理人员为迎接新世纪的到来,迎接以知识创新为特征的知识经济时代的到来,更加勤奋地学习,学习,再学习! 攀登,攀登,再攀登!

A handwritten signature in black ink, appearing to read '李杰' (Li Jie), with a vertical line drawn through the middle of the characters.

1998 年 12 月 30 日

序(二)

当今,各种空间探测器、飞行器及运载工具,正在向新的空间区域和应用领域拓展,各种战略和战术导弹武器系统的攻击与反击能力在交替上升,系列化、智能化和精确化的发展道路已成为趋势。各种航天型号产品中更广泛地采用计算机技术,特别是航天型号软件的规模越来越大,其结构变得更为复杂,工作量随之相应增加,需要更多的技术人员共同研制航天型号软件,对其质量提出了更高的要求。

同时计算机软件已成为航天型号产品的重要组成部分,其质量状况与型号产品试验的成败密切相关,在世界范围内由于软件质量直接或间接导致飞行失利的事件接连发生,迫切要求采用一系列措施来提高航天型号软件的质量,为此必须引入和应用软件工程这一新兴的工程技术学科。软件工程的实践也说明了这确实是开辟了使计算机软件通向成功的道路。

将软件工程的一般理论和航天型号研制实践相结合,既不迁就现实,也非高不可攀,而是经过努力能够达到,这是航天型号软件工程实施的基础。

航天型号要出产品,这是为满足各方面需求所必须的。同时还要出过程,只有好的过程才能保证不断地研制出满足需要的产品。而软件工程也正是研制航天型号软件的过程基础。

过程能否严格地实施,最关键的因素在于管理,从这个意义上说,产品的质量不仅是设计出来的,还是管理出来的。

软件测试是软件工程中的重要环节,也是提高软件质量的有效手段之一,抓好软件测试能进一步推动和促进软件工程的实施。

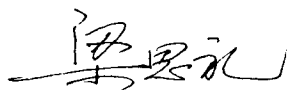
航天型号软件工程系列丛书不仅反映了国内外成功的经验,还总结了多年航天型号软件研制的实践,对今后的工作有重要的

价值。

希望大家都能来关注、研究、讨论和实践软件工程,并不断总结经验,完善过程、丰富内容,使航天型号软件的研制能更好满足事业的需要。

我深信,本丛书的出版必将引起航天领域内外各方面人士的重视,并将在各自的工作中发挥应有的作用。

中国科学院院士
中国航天工业总公司高级顾问、教授

A handwritten signature in black ink, appearing to read '梁景礼' (Liang Jingli), with a stylized, flowing script.

1998 年 12 月于北京

前 言

中国航天工业总公司规定,各类航天型号的软件研制工作必须实施软件工程,这是一项重要的决定。

近些年来,随着科学技术的发展,电子计算机在航天飞行器中的使用已非常普遍,计算机及其软件在航天飞行器中的地位越来越重要,起着十分关键的作用。与此同时,航天软件的规模和复杂度也越来越大、越来越高,对航天软件的质量和可靠性的要求也随着航天事业的发展,特别是由于载人航天飞行的需要而越来越高。在这种情况下,继续采用传统的、作坊式的软件研制方式来研制现代航天软件已不适用,所谓“软件危机”的症状在航天型号研制(航天飞行器研制)中不同程度地存在。这些问题的发生在一定程度上直接影响了航天型号研制工作的顺利进行。

针对航天型号软件研制中存在的问题及其影响,参考国内、特别是国外软件开发的成功经验,中国航天工业总公司认识到采用软件工程方法进行航天型号软件研制的重要性,决定先在载人航天工程等几个重点航天型号工程中进行软件工程化试点。已历经几年的航天型号软件工程化试点工作取得了许多宝贵的经验和教训,进一步明确了航天型号软件工程化的必要性和可行性。在此基础上中国航天工业总公司已经决定在所有航天型号研制中全面实施软件工程,并且还进一步确定对所有航天型号软件研制人员进行软件工程技术培训,逐步达到对航天型号软件研制人员培训上岗。

为了更好地贯彻总公司的有关规定,科研生产局组织首先编写《航天型号软件研制管理》、《航天型号软件研制过程》与《航天型号软件测试》三本书。希望对航天型号软件研制通过抓科学的软件工程“过程”来推动软件工程的实施;对软件工程的实施重点抓住

关键性的“管理”；针对航天型号软件的高质量、高可靠性要求，突出推广具有一定技术深度的软件“测试”技术。

《航天型号软件研制过程》的预期主要读者是航天型号软件研制项目组中的所有人员，包括项目组长、系统分析员、软件设计人员、程序员、测试人员、辅助和管理人员等，也包括相关的主任设计师和行政系统(机关)管理人员，同时供各级领导和其他人员参考。本书的目的是给出一个现阶段在中国航天工业总公司的型号研制工作中切实可行的、符合软件工程基本要求的航天型号软件研制过程，并对该过程所包含的项目管理工作以及相关的一些技术方法进行描述和介绍，从而使航天型号软件研制项目组技术人员和其他相关人员通过本书可以了解软件工程的基本概念和主要内容，基本掌握软件工程化研制的过程和技术，并能够在型号工程研制中参照本书方便地实施。

全书共分 18 章。

第 1 章简要介绍软件工程的基本概念和基本理论，介绍了软件工程化开发的若干基本过程模型，包括瀑布模型、增量模型、渐进模型、原型开发模型、螺旋模型等。

第 2 章较全面、系统地介绍软件开发的结构化方法，包括结构化理论、结构化分析方法、结构化设计方法、结构化编程方法等内容。结构化方法是根据工程实践经验、结合航天现状、经过综合的分析与论证在现阶段向中国航天型号研制推荐的、贯穿软件研制全过程的综合方法。这一章的最后还对当前国际上受到广泛关注并还在不断发展的面向对象方法进行了简要的介绍。

第 3 章结合对航天型号软件研制特点的分析，参考航天软件工程实施的经验，针对航天型号经历的模样、初样、正样研制周期，给出了航天型号软件研制过程模型，划分了航天软件研制的基本阶段。

第 4 章至第 11 章逐个对航天型号软件研制的所有基本阶段，包括系统需求、软件需求分析、概要设计、详细设计、软件实现、组

装测试、确认测试和系统联试,依序全面、详细地介绍了各阶段的工作内容、步骤、产品和要求,对所有要求完成的软件文档列出了建议性的文档纲目,给出了各阶段的进入状态和结束标志,特别还结合结构化方法,系统地推荐并详细介绍了在各阶段采用的方法和工具。在第12章中较全面地介绍了软件验收交付的工作内容、过程和组织方式。

在第13章和第14章中,根据航天型号研制的实际,参考软件维护等工作的内容,给出了在航天型号软件研制时进行软件更新与更改、软件重用的工作过程。

在第15章和第16章,对贯穿软件研制各阶段的评审与审查工作、软件配置管理工作进行了全面详细的介绍,描述了软件评审、软件配置管理工作的目的、任务、过程和要求。在第17章中还对软件项目管理工作及其经常出现的问题进行了讨论。

最后,在第18章中概要介绍了目前国际上普遍关注的软件过程成熟度模型(CMM)。

附录给出了一个推荐的在软件研制各个阶段进行软件工程数据采集的数据采集单。

本书在结构安排上特别注意了读者使用上的方便,按软件研制各阶段的先后顺序依次论述,对各阶段工作也结合实际研制过程特别介绍了各阶段的进入条件、工作步骤、阶段产品、结束标志,给出了所有主要文档的参考纲目,用推荐的结构化方法贯穿软件研制全过程,并较详细地介绍和推荐了一套相互匹配的方法和工具,包括数据流图、控制流图、状态转换图、数据字典、结构图、程序流程图等,这样读者就不仅能够通过阅读和培训全面了解和接受软件工程全过程的知识和技术,还能够在软件研制的过程中不断参考和查阅,从而起到预期的“手册”性的作用。

在编写过程中,编委会全体同志对编著者给予了许多指导,认真详细地审阅了三本书的提纲、征求意见稿和送审稿,提出了许多极其宝贵的意见和建议,促成了三本书的诞生。特别是王纬研究

员、何新贵研究员对三本书的征求意见稿逐字逐句进行了修改,令编著者十分感激。此外,还得到了科研生产局领导及有关机关同志的大力支持,得到了编著者所在的中国航天工业总公司二〇四所领导及有关机关同志们的大力支持和帮助。编著者还在与有关人员的讨论中得到了不少的收获和帮助,特别是本书的编著者曾就本书的结构和内容与编写组的徐祖渊研究员、周涛高级工程师进行过多次深入、实质性的讨论,从中吸取了许多建设性的意见和建议。几年来,本书的一些基本想法在总装备部和中国航天工业总公司有关机关和研究所作过多次的介绍和讨论,从中编著者也得益匪浅。书稿形成过程及出版工作中宇航出版社的帮助也是极大的。在此向上述所有单位及个人以及一切帮助过编著者的人们一并表示最衷心的感谢。

由于编著者的水平有限,本书难免存在缺点,欢迎批评指正。

编著者

航天型号软件工程系列丛书编委会

主 任	梁思礼			
副 主 任	张宏显	朱明让	郑松辉	
委 员	(按姓氏笔画为序)			
	王 伟	何新贵	张庆伟	张福安
	李成君	郑 非	郑人杰	郭宝柱
	郭瑞霞	常伯浚	廖泰安	
秘 书	吴建军			
编 写 组	徐祖渊	汤铭端	周 涛	
秘 书	刘忠信			
责任编辑	刘 杭			

目 录

第1章 概论	(1)
1.1 计算机系统工程	(1)
1.2 计算机软件	(3)
1.3 软件危机	(4)
1.4 解决办法	(5)
1.5 软件工程	(5)
1.6 软件工程的基本原理	(6)
1.6.1 计划管理	(7)
1.6.2 评审	(7)
1.6.3 配置管理	(8)
1.6.4 软件开发方法和工具	(10)
1.6.5 文档	(10)
1.6.6 开发小组	(11)
1.6.7 不断改进	(11)
1.7 软件研制过程模型	(12)
1.7.1 基本阶段、活动和里程碑	(12)
1.7.2 瀑布模型	(14)
1.7.3 增量模型	(16)
1.7.4 渐进模型	(18)
1.7.5 原型开发模型	(19)
1.7.6 螺旋模型	(21)
1.7.7 软件研制过程模型的选择	(24)
第2章 结构化方法	(25)
2.1 结构化程序设计理论	(25)
2.1.1 清晰第一,效率第二	(26)
2.1.2 设计先于编码	(27)
2.1.3 逐步细化的设计方法	(28)
2.2 结构化分析方法	(28)

2.3	结构化设计方法	(31)
2.3.1	建立初始结构图	(33)
2.3.2	改进初始结构图	(35)
2.4	结构化编程方法	(36)
2.5	面向对象方法简介	(38)
2.5.1	面向对象方法的历史、现状和发展	(38)
2.5.2	基本概念	(39)
2.5.3	面向对象程序设计方法概述	(41)
2.5.4	面向对象方法与结构化方法的比较	(43)
第3章	航天型号软件工程	(45)
3.1	航天型号软件研制特点和现状	(47)
3.2	航天软件研制基本阶段	(50)
3.2.1	系统需求	(51)
3.2.2	软件需求分析	(52)
3.2.3	概要设计	(52)
3.2.4	详细设计	(52)
3.2.5	软件实现	(52)
3.2.6	软件组装测试	(52)
3.2.7	软件确认测试	(53)
3.2.8	系统联试	(53)
3.2.9	软件更新与更改	(53)
3.2.10	软件重用	(53)
3.2.11	软件验收交付	(53)
3.3	航天型号软件研制过程模型	(53)
3.3.1	原型、基本型、更新型	(54)
3.3.2	模样、初样、试样(正样)	(56)
3.3.3	过程的剪裁	(57)
3.4	软件的运行维护	(58)
3.4.1	软件运行	(58)
3.4.2	软件更改(维护)	(59)
3.5	软件独立测试	(59)
3.6	各阶段共同的任务	(60)

3.6.1	文档编制	(60)
3.6.2	评审和审查	(63)
3.6.3	配置管理	(64)
3.6.4	数据采集和积累	(64)
3.7	航天型号软件研制队伍	(65)
第4章	系统需求	(67)
4.1	概论	(67)
4.2	进入状态	(69)
4.3	主要工作	(69)
4.3.1	系统分析	(69)
4.3.2	系统设计	(70)
4.3.3	定义各软件研制项目	(70)
4.3.4	确定软件的关键性级别	(70)
4.3.5	编制软件研制任务书	(71)
4.3.6	评审	(73)
4.3.7	签署软件研制任务书	(73)
4.4	方法和工具	(73)
4.5	技术要求与验证	(74)
4.6	阶段产品	(75)
4.7	结束标志	(75)
4.8	航天计算机软件产品代号	(75)
第5章	软件需求分析	(77)
5.1	概论	(77)
5.2	进入状态	(77)
5.3	主要工作	(78)
5.3.1	组建软件研制项目组	(78)
5.3.2	需求分析	(78)
5.3.3	项目计划	(82)
5.3.4	编制软件需求规格说明	(83)
5.3.5	编制软件研制计划	(84)
5.3.6	编制软件确认测试计划	(85)
5.3.7	编制软件确认测试说明初稿	(86)

5.3.8	编制软件使用说明初稿	(86)
5.3.9	评审	(87)
5.4	方法和工具	(88)
5.4.1	分析员的职责和素质	(88)
5.4.2	数据流图(Data Flow Diagram,简称 DFD)	(90)
5.4.3	控制流图(Control Flow Diagram,简称 CFD)	(98)
5.4.4	控制说明与状态转换图(STD)	(102)
5.4.5	数据字典(Data Dictionary,简称 DD)	(106)
5.4.6	处理说明	(108)
5.5	技术要求与验证	(111)
5.5.1	研制工作计划	(111)
5.5.2	质量工作计划	(111)
5.5.3	环境约束	(112)
5.5.4	一致性	(112)
5.5.5	质量和可靠性要求	(112)
5.5.6	系统安全性	(112)
5.5.7	安全性分析	(112)
5.5.8	软件需求规格说明的编制要求	(112)
5.5.9	软件需求规格说明的质量要求	(112)
5.5.10	软件确认测试计划	(116)
5.5.11	评审	(116)
5.5.12	评价需求	(116)
5.6	阶段产品	(117)
5.7	结束标志	(118)
5.8	其它	(118)
5.8.1	软件需求规格说明的编制	(118)
5.8.2	软件需求规格说明的改进	(118)
5.8.3	软件需求规格说明的编制工具	(119)
第 6 章	概要设计	(122)
6.1	概论	(122)
6.2	进入状态	(122)
6.3	主要工作	(122)

6.3.1	建立物理模型	(122)
6.3.2	编制软件概要设计说明	(125)
6.3.3	编程语言选择	(128)
6.3.4	可靠性设计	(128)
6.3.5	安全性分析和设计	(128)
6.3.6	编制软件组装测试说明	(129)
6.3.7	评审	(129)
6.4	方法和工具	(130)
6.4.1	结构化设计方法	(130)
6.4.2	结构图(SC)	(130)
6.4.3	杰克逊(Jackson)方法	(134)
6.4.4	Parnas 方法	(139)
6.5	技术要求与验证	(141)
6.5.1	设计完整	(141)
6.5.2	接口清晰	(141)
6.5.3	详细一致	(141)
6.5.4	弱耦合	(141)
6.5.5	高内聚	(143)
6.5.6	作用范围在控制范围之内	(144)
6.5.7	规模和扇入扇出数	(145)
6.5.8	追踪性	(146)
6.5.9	资源和余量设计	(146)
6.5.10	组装测试说明	(146)
6.6	阶段产品	(146)
6.7	结束标志	(147)
第7章	详细设计	(148)
7.1	概论	(148)
7.2	进入状态	(149)
7.3	主要工作	(149)
7.3.1	逐级细化软件部件	(149)
7.3.2	软件单元过程描述	(149)
7.3.3	确定接口信息	(149)