

航天型号研制人员培训教材

航天型号软件工程

主 编 杨海成

副主编 乔永强 许 胜 石柱



中国宇航出版社

航天型号研制人员培训教材

航天型号软件工程

主 编 杨海成

副主编 乔永强 许 胜 石 柱



中国宇航出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

随着型号产品数字化和智能化程度的不断提高,软件在型号产品中的应用越来越广泛,规模和复杂性剧增,其质量与可靠性对整个型号任务的影响也越来越大。航天型号软件的研制不实现工程化,航天系统工程就无法顺利运行。

为了进一步提高集团公司的软件工程化水平,人力资源部组织相关专家编写了这本教材。全书共分 11 章,介绍了航天型号软件的种类与特点、软件工程的原则以及航天型号软件研制的阶段划分,根据软件工程的核心思想,系统地阐述了软件研制各阶段的基本概念和主要内容。这本教材既体现了技术的先进性,又结合了航天的实际情况,其突出的特点是强调工程实践,提出了许多凝结了专家的心血与智慧的工程实践经验,对于从事航天型号软件研制的工程师和管理人员具有重要的价值。

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

航天型号软件工程/杨海成主编. —北京:中国宇航出版社, 2009.3

ISBN 978-7-80218-417-6

I. 航… II. 杨… III. 航天—应用软件—软件工程 IV. V4-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 019018 号

责任编辑 舒承东 封面设计 03 工舍 责任校对 祝延萍

出版 中国宇航出版社

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830
(010)68768548

网址 www.caphbook.com / www.caphbook.com.cn

经销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
(010)68371105 (010)62529336

承印 北京智力达印刷有限公司

版次 2011 年 1 月第 1 版
2011 年 1 月第 1 次印刷

规格 787×1092

开本 1/16

印张 15.75

字数 390 千字

书号 ISBN 978-7-80218-417-6

定价 68.00 元

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

《航天型号软件工程》

编审委员会

主 任 袁家军
副主任 杨海成 郭宝柱 陈学钊 李 锋
委 员 白燕强 王 岩 张履谦 倪行震 刘文科
董碧丹 邓宁丰 乔永强 许 胜

编审委员会办公室

主 任 白燕强
成 员 王京京 马志伟 张铁钧 王 瑞 胡 哲

编写委员会

主 编 杨海成
副主编 乔永强 许 胜 石 柱
委 员 (按章节编写顺序排名)
马卫华 范如鹰 姚 飞 徐春林 张 刚
段永颢 胡渝彪 顾 斌 龚德荣 汪 玲
吴清才

序

中国航天科技集团公司作为中国航天科技工业的主导力量，承担着以载人航天、月球探测、高新工程等为代表的一批国家重大工程任务。随着型号产品数字化和智能化程度的不断提高，软件在型号产品中的应用越来越广泛，规模和复杂性越来越大，其质量与可靠性对整个型号任务的影响也越来越大。目前，型号软件已经成为集团公司的一种重要产品类型。提高软件研制效率、保障软件质量，就必须按照软件工程化要求开展研制和管理工作，实施全过程的质量控制。因此，提高软件工程化水平，成为集团公司能力建设的重要内容。

集团公司历来重视软件工程化工作。在 20 世纪 90 年代，通过载人航天工程开始推行软件工程化工作；2001 年，发布了 QJ 3128-2001《航天型号软件开发规范》；2005 年，发布了 Q/QJA 30-2005《航天型号软件工程化管理要求》。各单位根据集团公司的要求和自身工作需求，积极开展了有关工作。但是，与型号任务不断发展的需求相比、与国外的先进技术水平相比，我们的软件工程化水平还存在不小的差距。软件研制的工作量越来越大，质量要求越来越高，而目前各单位技术水平参差不齐，并且有大量的新员工加入到航天软件的队伍中来，缺乏工程经验。在这种形势下，我们应努力学习国内外的先进技术，不断总结已有的成功经验，提高软件工程化技术水平和实施能力。

本教材是集团公司软件工程领域技术和管理研究的最新成果，与航天型号工作的实际紧密结合，具有较强的工程指导性，将为进一步提高集团公司的软件工程化水平发挥重大的推动作用。

袁家军

2011 年 1 月

编写说明

本教材是为了进一步提高集团公司的软件工程化水平，提升型号软件的开发效率，确保型号软件的质量；为型号软件研制队伍管理人员和开发人员提供一套针对性强、简明实用的培训教材。教材的适用对象为型号软件研制队伍中的各级管理人员和型号软件研制队伍中的设计、生产、测试和管理人员。在编写时，尽量兼顾不同岗位人员培训的需要，扩大教材的适用范围，增强教材的针对性、实用性；结合航天型号研制的特点，重点突出经验的总结及在实际中的应用。

本教材共分为 11 章，内容如下：

第 1 章 航天型号软件与软件工程概述，介绍了软件的定义及航天型号软件的种类与特点、软件工程的原则与航天型号软件工程化的有关情况，重点介绍了航天型号软件研制的阶段划分、组织与管理，各阶段的技术工作和管理工作的内容。使读者对航天型号软件工程化有个初步概念。

从第 2 章到第 6 章，教材按照软件生存周期的过程，顺序介绍了航天型号软件研制的几个重要阶段的工作内容、方法和质量要求等内容，供软件开发人员进行不同研制阶段工作时参考。其中：

第 2 章 软件需求分析，介绍了需求分析的目的和任务、工作过程、需求规格说明的主要内容和质量要求等内容，在这一章还介绍了软件任务书的编写方法。

第 3 章 软件概要设计，介绍了概要设计的工作过程、设计原则及文档编写方法等，并重点介绍了实时嵌入式系统软件的设计。

第 4 章 软件详细设计与实现，介绍了详细设计的基本概念、工作过程、详细设计方法和技术以及文档的编写等，同时介绍了软件实现的过程、技术和有关要求。

第 5 章 软件测试，介绍了软件测试的基本概念、软件研制过程的测试内容及要求、软件测试技术及工具等，并介绍了测试的质量控制。

第 6 章 软件验收、交付和维护，介绍了软件验收、软件定型、软件维护以及软件在轨维护等有关内容。

对于软件研制过程各阶段的共性工作内容，如体现航天软件特色的可靠性、安全性设计的内容，贯穿于研发全过程的基线划分、变更控制等基本管理要求，我们把相关内容集中在第 7 章和第 8 章进行讲述。这两章的内容对型号软件全生存周期的技术和管理工作的都有一定的指导作用。其中：

第 7 章 软件可靠性与安全性，介绍了软件可靠性与安全性的概念、软件研制各阶段的工作内容，并介绍了典型的软件可靠性与安全性方法。

第8章 软件配置管理,介绍了软件配置管理的有关概念、基本要求,配置管理的主要工作内容和配置管理计划等有关内容。

软件工程有三大支柱:技术方法、管理要求和工作支持。在第9章和第10章中,我们分别介绍了可以提高软件工程水平和效率的软件工程环境及为软件工程的实施提供管理保障的软件产品保证方面的相关内容。这两章的内容可为各单位在技改技措、环境建设、管理体系建设等方面提供参考。其中:

第9章 软件工程环境,介绍了软件工程环境的基本概念、软件工程环境的构成以及软件工程环境的集成和应用。

第10章 软件产品保证,介绍了软件产品保证的组织管理、软件产品过程保证和软件产品质量保证,评审的有关内容也在此介绍。

第11章 航天型号软件工程发展展望,介绍了国际上航天软件工程的现状和发展趋势,并提出了我们的发展措施。

对于直接从事软件研发工作的技术人员,应对本书11章的内容有个全面理解;型号队伍中的各级管理人员,需重点了解第1,6,8,10和11章的内容。

本教材编写的分工为:第1章 杨海成、乔永强;第2章 许胜、马卫华;第3章 范如鹰、姚飞;第4章 徐春林;第5章 张刚、胡渝彪、段永颢;第6章 顾斌、马卫华;第7章 石柱;第8章 龚德荣、汪玲;第9章 乔永强、张刚;第10章 吴清才;第11章 杨海成、张刚。

为了保证质量,本教材编写委员会专门安排专家对每章内容进行审校,审校工作分工如下:第1章 许胜,第2章 乔永强,第3章 石柱,第4章 顾斌,第5章 乔永强,第6章 张刚,第7章 范如鹰,第8章 马卫华,第9章 段永颢,第10章 石柱,第11章 乔永强;同时,邀请了罗军、刘华、田京岗、王九龙、陈霄、许湘君、宋勇、衡岗、贾耀兴、袁成军、王锬、甘志强、姜展霞、马殿富、胡昌振等专家对全部书稿进行了审阅。全书由杨海成、乔永强、许胜和石柱统稿。

在本教材的编写过程中,编审委员会对教材编写出版实施方案、教材编写大纲、编写要求、总体框架以及教材编写委员会及组成等进行了审查把关,并完成了教材的终审定稿。编审委员会办公室负责拟定教材编写出版实施方案、总体要求等,负责教材编写过程的组织协调、督促检查工作,多次组织召开教材评审会并广泛征求意见。编审委员会和办公室为保障教材的编写工作,开展了许多工作。

集团公司软件评测中心的郑新华、杜轩,软件专家组办公室的王鑫泉、郭华,为本书的组稿、协调、出版等开展了许多工作。

由于时间仓促,书中难免有谬误之处,恳请各位读者批评指正!

编写委员会
2009年3月

目 录

第 1 章 航天型号软件与软件工程概述	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 软件概述	(1)
1.1.2 航天软件及航天型号软件的组成及特点	(2)
1.1.3 航天型号软件的关键性划分原则	(4)
1.2 软件工程的基本原则及工作内容	(5)
1.2.1 软件工程与系统工程	(5)
1.2.2 软件工程的工作内容	(6)
1.2.3 软件能力成熟度模型	(8)
1.3 航天型号软件工程化	(12)
1.3.1 软件设计与系统设计的关系	(12)
1.3.2 航天型号软件研制的分阶段过程	(12)
1.3.3 型号软件研制各阶段的技术工作	(14)
1.4 型号软件研制的组织与管理	(18)
1.4.1 型号软件研制的组织与职责	(18)
1.4.2 型号软件研制的策划	(19)
1.4.3 型号软件研制各阶段的管理任务	(19)
1.5 本章小结	(23)
第 2 章 软件需求分析	(24)
2.1 概述	(24)
2.1.1 软件需求分析阶段的目的和任务	(24)
2.1.2 软件需求分析的重要性	(24)
2.2 软件任务书的一般要求	(25)
2.2.1 系统需求分析与设计阶段与软件任务书有关的任务	(25)
2.2.2 软件任务书的基本要求	(26)
2.2.3 软件任务书的格式及内容要求	(27)
2.3 软件需求分析的工作过程	(28)
2.3.1 需求信息的获取和记录	(29)
2.3.2 需求规格说明的编写	(30)
2.3.3 需求规格说明的检查与确认	(31)

2.3.4	需求评审	(31)
2.3.5	需求分析管理	(31)
2.4	编写“软件需求规格说明”的要求	(31)
2.4.1	需求规格说明的主要内容	(31)
2.4.2	“软件需求规格说明”的格式	(32)
2.4.3	需求规格说明的质量要求	(42)
2.5	软件需求的编写要点	(42)
2.5.1	功能需求的编写	(42)
2.5.2	性能需求的编写	(46)
2.5.3	可靠性需求和安全性需求的编写	(47)
2.6	软件需求文档中经常出现的问题	(47)
2.6.1	一般问题	(47)
2.6.2	软件功能方面的问题	(47)
2.6.3	需求中实体方面的问题	(47)
2.6.4	性能需求方面的问题	(47)
2.6.5	安全性、可靠性方面的问题	(48)
2.7	“软件需求规格说明”的检查和验证方法	(48)
2.7.1	人工检查	(48)
2.7.2	采用结构化方法检查	(50)
2.7.3	采用仿真模型检查	(51)
2.7.4	采用形式化方法检查	(51)
2.8	本章小结	(52)
第3章	软件概要设计	(53)
3.1	概述	(53)
3.2	结构化设计的概念和原则	(54)
3.2.1	抽象与细化求精	(54)
3.2.2	模块化与信息隐蔽	(54)
3.2.3	有效的模块设计——模块独立性	(54)
3.2.4	软件的体系结构	(57)
3.2.5	程序结构	(57)
3.3	概要设计阶段的工作过程	(57)
3.3.1	复核并理解软件需求文档	(58)
3.3.2	建立物理模型	(58)
3.3.3	编写概要设计说明	(59)
3.3.4	编写组装测试初步计划	(59)
3.3.5	概要设计阶段评审	(59)
3.4	软件的结构化设计的图形工具	(60)

3.4.1 HIPO 图	(60)
3.4.2 结构图	(60)
3.4.3 状态转移表	(60)
3.5 面向数据流的设计方法	(61)
3.5.1 变换型结构映射	(61)
3.5.2 事务型结构映射	(63)
3.5.3 优化程序结构设计	(64)
3.6 实时嵌入式系统软件的设计	(66)
3.6.1 实时系统概述	(66)
3.6.2 任务调度策略	(68)
3.6.3 实时系统的软件任务结构化设计	(71)
3.7 概要设计的质量要求	(73)
3.8 概要设计文档的基本内容	(74)
3.8.1 GB/T 8567-2006 格式的“软件概要设计说明”模板	(74)
3.8.2 QJ 1912.7-2003 格式的“软件概要设计说明”的内容安排	(78)
3.9 本章小结	(80)

第 4 章 软件详细设计与实现	(81)
4.1 概述	(81)
4.1.1 详细设计的基本概念	(81)
4.1.2 详细设计的任务和内容	(81)
4.1.3 详细设计文档的用途	(82)
4.1.4 详细设计的质量要求	(82)
4.2 详细设计工作过程	(83)
4.2.1 理解概要设计	(83)
4.2.2 细化软件部件, 形成软件单元	(83)
4.2.3 规定软件单元间接口	(84)
4.2.4 设计算法和细节	(84)
4.2.5 进行过程描述	(84)
4.2.6 进行可靠性、安全性设计	(84)
4.2.7 编写详细设计说明	(84)
4.2.8 编写初步单元测试计划	(84)
4.2.9 建立并填写单元开发卷宗	(85)
4.2.10 详细设计评审	(85)
4.3 详细设计方法和技术	(85)
4.3.1 结构化程序设计 (简称 SP 方法)	(85)
4.3.2 软件可靠性、安全性设计	(86)
4.3.3 详细设计工具	(86)

4.4	详细设计文档格式	(91)
4.5	软件实现的任务与过程	(91)
4.5.1	理解“详细设计”	(92)
4.5.2	编程和编译 / 汇编	(92)
4.5.3	代码调试	(93)
4.5.4	静态分析与单元测试	(93)
4.5.5	安全性关键单元检查和评审	(93)
4.6	软件实现的技术和方法	(93)
4.6.1	结构化编程方法	(93)
4.6.2	一般软件的编程规则	(94)
4.6.3	安全性关键软件的编程规则	(98)
4.6.4	“航天器软件编程约定”简介	(98)
4.7	编程的质量要求	(99)
4.8	本章小结	(99)
第5章	软件测试	(100)
5.1	概述	(100)
5.1.1	软件测试的基本概念	(100)
5.1.2	软件测试的基本原则	(100)
5.1.3	软件测试的重要性和局限性	(101)
5.2	各软件研制阶段的测试活动及要求	(102)
5.2.1	软件测试的基本活动	(102)
5.2.2	单元测试	(105)
5.2.3	组装测试	(107)
5.2.4	确认测试	(108)
5.2.5	第三方独立确认测试	(109)
5.2.6	系统联试	(110)
5.2.7	回归测试	(111)
5.2.8	其他阶段的测试	(113)
5.3	主要测试内容	(113)
5.3.1	功能测试	(114)
5.3.2	性能测试	(115)
5.3.3	边界测试和余量测试	(116)
5.3.4	强度测试	(116)
5.3.5	可靠性测试和安全性测试	(117)
5.3.6	其他常见测试类型	(117)
5.4	软件测试技术及工具	(117)
5.4.1	静态测试技术	(118)

5.4.2	测试用例设计技术	(119)
5.4.3	测试覆盖率分析技术	(121)
5.4.4	嵌入式测试环境搭建技术	(123)
5.4.5	软件测试工具与环境	(123)
5.5	测试质量的控制	(125)
5.5.1	测试过程的控制要素	(125)
5.5.2	测试机构的组织管理	(126)
5.5.3	测试组织的测试能力成熟度模型	(126)
5.6	本章小结	(128)
第 6 章	软件验收、交付与维护	(129)
6.1	概述	(129)
6.2	软件产品的验收和交付	(129)
6.2.1	验收的级别和条件	(129)
6.2.2	验收和交付过程	(129)
6.2.3	软件研制报告	(132)
6.3	软件定型	(133)
6.3.1	软件定型的级别	(133)
6.3.2	软件定型程序	(133)
6.4	软件维护	(136)
6.4.1	软件维护的相关知识	(136)
6.4.2	航天型号软件维护的一般要求	(138)
6.4.3	软件可维护性	(139)
6.4.4	提高软件可维护性的方法	(140)
6.4.5	软件维护的过程	(142)
6.5	星载软件的在轨维护问题	(144)
6.6	软件维护的其他问题	(145)
6.6.1	维护工具	(145)
6.6.2	软件维护与软件重新设计	(145)
6.7	程序维护手册文档	(145)
6.8	本章小结	(145)
第 7 章	软件可靠性与安全性	(146)
7.1	概述	(146)
7.1.1	软件可靠性	(146)
7.1.2	软件安全性	(147)
7.1.3	软件可靠性与软件安全性	(147)
7.1.4	软件的可靠性和安全性与其他产品的可靠性和安全性	(148)

7.2 软件失效机理与软件可靠性和安全性措施·····	(150)
7.2.1 软件失效机理·····	(150)
7.2.2 软件可靠性和安全性措施·····	(152)
7.3 软件研制各阶段的软件可靠性和安全性要求·····	(154)
7.3.1 系统需求分析和设计阶段·····	(154)
7.3.2 软件需求分析阶段·····	(155)
7.3.3 软件概要设计阶段·····	(156)
7.3.4 软件详细设计阶段·····	(157)
7.3.5 软件实现阶段·····	(158)
7.3.6 软件集成和验收测试阶段·····	(158)
7.3.7 软件运行和维护阶段·····	(159)
7.4 软件可靠性和安全性方法·····	(159)
7.4.1 故障树分析 (SFTA) ·····	(159)
7.4.2 软件故障模式及影响分析 (SFMEA) ·····	(162)
7.4.3 恢复块·····	(166)
7.4.4 数据冗余·····	(167)
7.4.5 软件可靠性和安全性设计检查单·····	(168)
7.4.6 软件可靠性度量·····	(171)
7.4.7 软件可靠性评价·····	(178)
7.5 本章小结·····	(180)
第 8 章 软件配置管理 ·····	(181)
8.1 概述·····	(181)
8.1.1 配置和配置管理·····	(181)
8.1.2 配置管理的基本要求·····	(182)
8.1.3 基线·····	(182)
8.1.4 配置管理库·····	(183)
8.1.5 配置管理的组织结构和职责·····	(183)
8.1.6 配置管理工具·····	(184)
8.2 配置管理活动·····	(184)
8.2.1 配置标识·····	(184)
8.2.2 配置控制·····	(186)
8.2.3 配置记录和状态报告·····	(188)
8.2.4 配置审核 (审计) ·····	(188)
8.2.5 产品发放及其他·····	(189)
8.3 配置管理计划·····	(189)
8.3.1 配置管理计划的必要性·····	(189)
8.3.2 配置管理计划格式·····	(189)

8.4 本章小结·····	(194)
第9章 软件工程环境 ·····	(198)
9.1 概述·····	(198)
9.2 软件工程环境的构成·····	(198)
9.2.1 软件工程环境的主要组成及其关系·····	(198)
9.2.2 软件工程环境主要构成工具介绍·····	(199)
9.3 软件工程环境的集成和应用·····	(203)
9.3.1 软件工程环境的集成·····	(203)
9.3.2 软件工程环境的应用·····	(204)
9.4 本章小结·····	(205)
第10章 软件产品保证 ·····	(206)
10.1 概述·····	(206)
10.2 软件产品保证管理·····	(206)
10.2.1 工作体系·····	(206)
10.2.2 组织和职责·····	(207)
10.2.3 软件产品保证程序·····	(207)
10.2.4 软件问题报告系统·····	(209)
10.2.5 风险管理和关键项控制·····	(210)
10.2.6 外协单位的控制·····	(210)
10.2.7 评估和改进过程·····	(210)
10.3 软件产品过程保证·····	(211)
10.3.1 软件生存周期·····	(211)
10.3.2 适用于所有软件工程过程的产品保证·····	(211)
10.3.3 适用于单个软件工程过程的产品保证·····	(214)
10.3.4 培训·····	(217)
10.4 软件产品质量保证·····	(218)
10.4.1 产品质量需求·····	(218)
10.4.2 产品度量·····	(219)
10.4.3 验证和确认·····	(219)
10.4.4 评审·····	(220)
10.4.5 软件质量与可靠性数据包·····	(223)
10.4.6 质量数据收集分析·····	(223)
10.5 本章小结·····	(223)

第 11 章 航天型号软件工程发展展望 (224)

11.1 概述 (224)

11.2 航天型号软件工程发展动态 (224)

11.2.1 推进软件产品化 (224)

11.2.2 全面保证软件可信性与安全性 (225)

11.2.3 广泛采用工具环境 (225)

11.2.4 实施基于 CMMI 的过程改进 (225)

11.3 用系统工程方法提升航天软件工程化水平 (226)

11.3.1 开展型号信息系统总体分析与设计 (226)

11.3.2 加强软件工程的系统管理 (226)

11.3.3 系统提高软件工程技术水平 (227)

11.4 本章小结 (227)

附录 缩略语列表 (228)

参考文献 (230)

第 1 章 航天型号软件与软件工程概述

1.1 概述

1.1.1 软件概述

产品划分为服务、软件、硬件和流程性材料四大类。在本书中，软件是“与计算机系统的操作有关的计算机程序、规程、规则，以及可能有的文件及数据”。

软件的概念是逐渐发展起来的，在早期，软件即计算机程序，此后将文档也包括在软件之中，再进一步发展为了包含了程序、规程、规则和文档的定义，并强调文档是软件的重要组成部分。

程序是“按具体要求产生的、适合计算机处理的指令序列”。程序是软件的重要组成部分，但绝不是软件的全部。

规程是“为解决某一问题而采取的动作的经过的描述”或“每次完成某一任务时要遵循的一组手工的步骤”，主要描述在软件生存周期中应如何实施有关政策、规则和标准。例如，测试规程，用于描述进行软件测试时应遵循的测试步骤。

规则指软件开发人员在开发软件时应共同遵守的法规和准则。例如：软件工程术语，各种开发标准规范等。

文档指一种数据媒体及其记录的数据。它具有永久性并可以由人或机器阅读，通常仅用于描述人工可读的内容^[1]。例如，技术文件和设计文件等。而“可能有的文件及数据”、“任何与之有关的文件”则把有关部门的法规、规定、纪要、协议、约定、数据及记录等都包括进去了。

从软件的组织结构来看，软件是一个由计算机软件配置项（CSCI）、计算机软件部件（CSC）和计算机软件单元（CSU）构成的层次结构。

软件通常分为以下几种类型。

1) 支持软件——所有用于帮助和支持开发的软件：编辑程序、编译程序、汇编程序、连接和装配程序、库管理程序；调试软件；模拟仿真软件；数据析取和归约软件；软件配置管理软件、文件生成管理软件等；测试软件；设计工具软件等。

2) 应用软件——解决属于专用领域的非计算机本身问题的软件，如弹载控制软件等。

3) 系统软件——管理计算机系统资源的软件，如操作系统和数据库管理系统等。

4) 测试和维护软件——用于故障诊断、错误隔离、系统调试检验的软件工具。

5) 培训软件——在系统工作和维护期间，用于培训用户、操作员和维护人员的软件。

软件有以下特点：

1) 软件是一种逻辑实体, 具有抽象性, 可记录、可保存但又看不见其形态, 只能通过观察、分析、思考、判断等去了解其特性。

2) 无明显的制造过程, 是通过人的智力活动, 把知识与技术转化成信息的一种产品, 可大量复制同一内容的副本, 对其质量控制不是在制造(生产)过程中, 而必须在开发过程中控制, 另有知识产权保护等问题。

3) 在运行、使用中, 无老化、磨损等问题; 要求维护, 并在维护修改后又可能引入新的错误。

4) 其开发、运行受硬件甚至系统限制, 有明显的依赖性, 从而产生了可移植性的要求。

5) 软件相当复杂, 是人类能够创造的最复杂的产品之一。应用软件的开发常常要涉及到各种应用领域的知识, 是高强度的脑力劳动, 要求从事软件工作的人员知识面广、素质高。

6) 成本相当昂贵。软件产品的研制需要投入大量的、复杂的、高强度的脑力劳动, 其成本是非常高的。据有关统计, 美国普通民用软件的开发费用约为每行源代码 10 美元, 而航天飞机机载软件的开发费用约为每行源代码 1000 美元。

7) 难以度量: 目前对智力劳动尚无有效的度量方法, 而软件研制又是新开发的智力产业, 因此就更难于对它进行度量。

8) 很多软件工作涉及到社会因素, 如组织机构、体制、管理, 甚至个人观念、心态等人的因素, 经常由于管理层对其重视和支持不够, 造成各种困难, 直接影响到项目成败。

1.1.2 航天软件及航天型号软件的组成及特点

航天软件是指与航天型号产品、航天科研生产、航天系统应用密切相关的, 自主开发与集成的, 体现航天特征的软件。它主要包括航天型号软件、航天工程支撑软件和航天应用软件三类。航天软件的组成关系如图 1-1 所示。

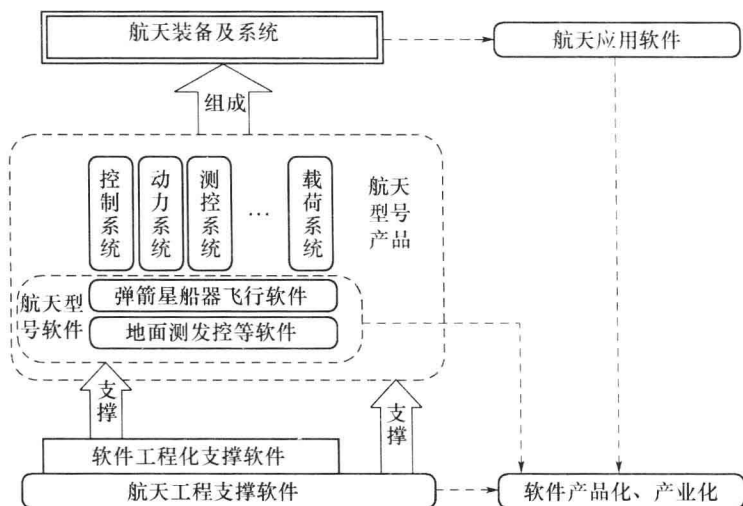


图 1-1 航天软件组成关系图

航天型号软件和控制系統、动力系统、测控系統、有效载荷系統等共同組成航天型号产品。航天工程支撑软件(包括软件工程化支撑软件)对航天型号产品的研制、生产和管理提