**北京航空航天大学计算机学院**

**硕士学位论文开题报告**

**论文题目**：适航审定中软件配置管理关键技术研究

**专 业**：计算机科学与技术

**研究方向**：软件适航技术

**研 究 生**：王鑫冶

**学 号**：SY1506325

**指导教师**：曹庆华

**北京航空航天大学计算机学院**

2016年12月20日

目 录

[1 选题依据 2](#_Toc471745771)

[2 国内外研究现状分析 2](#_Toc471745772)

[2.1软件配置管理 2](#_Toc471745773)

[2.2软件配置管理的研究现状 3](#_Toc471745774)

[2.3适航中的软件配置管理 3](#_Toc471745775)

[2.3.1 DO178C标准 4](#_Toc471745776)

[2.3.2机载软件适航审查流程 5](#_Toc471745777)

[2.3.3适航软件开发中配置管理过程的特点 6](#_Toc471745778)

[2.4软件配置管理在适航软件开发中的现状 9](#_Toc471745779)

[3 研究内容与实施方案 10](#_Toc471745780)

[3.1研究目标 10](#_Toc471745781)

[3.2主要研究内容 10](#_Toc471745782)

[3.3拟采取实施方案 10](#_Toc471745783)

[4 关键技术与难点 12](#_Toc471745784)

[4.1.目标的验证 12](#_Toc471745785)

[4.2配置管理过程建模方法的选取 12](#_Toc471745786)

[4.3.软件生命周期数据的标准化。 14](#_Toc471745787)

[5 预期成果 15](#_Toc471745788)

[6 学位论文工作计划 16](#_Toc471745789)

[7 主要参考文献 16](#_Toc471745790)

# 1 选题依据

本课题来源于工信部的民用飞机专项科研“航空发动机电子控制系统适航审定关键技术”中的子课题“航空发动机电子控制器软件和硬件适航审定技术研究”。针对大型客机涡扇发动机电子控制系统软件的适航审定问题，开展相关的基础技术研究。

由于国外长期对航空发动机实施技术封锁，国内航空发动机研制相对国外具有较大差距，与之配套的适航审定经验不足，给航空发动机适航审定带来很大困难。在传统的适航审定过程中，审定人员对研制单位提交的审定材料进行人工审查，审查标准主要靠评审人员对标准文件的理解和评审人员的日常经验和阅历，不同评审人员在进行相同的评审活动时可能得出的结论有差异，甚至得出相反的结论，这将导致评审结果的不确定性，有争议性。而且这种审查方式需要耗费大量的时间、人力，工作效率低、周期长、成本高、质量控制难以把握。

为了辅助评审人员对部分目标进行审定，本文深入研究适航软件研发与审定中生命周期数据与过程、目标之间的关系，通过对符合Do-178c标准的适航软件开发过程的配置管理过程进行建模，将软件生命周期数据相互间关系及变动规则用模型表达，并利用生成的模型开发适航审定辅助工具，半自动的对研制材料进行初步审定。

我国航空发动机制造技术还处于较为艰难的发展阶段，发动机相应的适航研究也不是特别的深入。研究Do178c标准及其审定辅助工具对于我国的航空工业来说有重要意义，可以推进我国航空发动机控制软件审查过程的规范化。

# 2 国内外研究现状分析

## 2.1软件配置管理

软件配置管理（SCM——Software Configuration Mangement）是ISO9001和CMM Level2中的重要组成元素,它在软件产品开发的生命周期中,提供了结构化、有序化、产品化的管理软件工程方法,是软件开发和维护的基础。

## 2.2软件配置管理的研究现状

纵观国内外对软件配置管理的研究成果，大致集中在如下几个方面：

配置管理包含的内容：指软件配置管理包含哪些方面、由哪几个部分组成等。目前比较广为接受的看法是配置管理由三个主要部分组成：版本控制、变更和过程支持。其中版本控制着眼于版本的标识、版本的检索、基线的设置等。变更管理则在基线的基础上实施变更请求、变更审批、变更实施和变更控制等。过程支持则指配置管理对软件开发流程的支持。

配置管理模型：配置管理模型指配置管理系统通过何种方式来提供对变更控制的支持。例如，检入检出模型强调对单个文件的变更控制，而变更集模型强调的则是逻辑变更，逻辑变更是指一次变更过程中做出的所有对不同构件修改的集合。目前主要有四种常见的配置管理模型，而这四种模型有统一为一种通用模型的趋势。

配置管理工具的研究：从七十年代初期出现商品化的配置管理工具以来，出现了众多配置管理工具，这些配置管理工具有的只基于某一种模型，有的则基于其中一种模型，而以另一种模型为辅。一般来说，一种配置管理工具支持一种特定的软件开发流程。研究和开发新的配置管理工具以支持更复杂的生命周期也是配置管理的一个研究方向。

目前，国内外关于软件配置管理工具的研究相当活跃。具有代表性的软件配置管理产品主要有元老级的CCC(Configuration&Change Control),入门级的Microsoft visual source safe ,Merants公司的PVCS，开源软件CVS,Rational公司的ClearCase等。

## 2.3适航中的软件配置管理

对于航空机载软件的研制和适航审定，FAA确定了Do-178c、Order 8110.49chg1标准，其中，从适航符合性角度，Do-178c是基础标准，它定义了开发过程需要满足的与相应安全等级相适应的目标；Order8110.49 chg1则属于操作标准，定义了如何实际操作来审查一个项目的研制过程是否满足Do-178c的相应目标要求。Do-178c标准从软件安全性角度，按照机载软件的安全级别对开发过程和活动提出了一系列目标要求；后者则从符合性审查角度规定了具体的审查阶段、活动、涉及的数据和相应的审查规则等。

### 2.3.1 DO178C标准

2.3.1.1基本理念

Do178c是面向过程和目标指导机载软件符合性验证和审查活动的一套标准，它和ARP4754、ARP4761、DO-254一起构成了现代机载系统（特别是高度综合和复杂系统）安全性设计与评估的一组指导材料．根据Ｄo178c标准，软件适航的基本要求包括３个方面：软件生命周期过程、软件生命周期数据和软件生命周期目标，这称为软件生命周期的三要素。换言之，一旦选择Do178c标准作为符合性方法以后，必须满足该标准所定义的所有目标，而满足这些适航目标的途径是执行该标准所建议的过程和活动，为证明这些适航目标被满足，应按照该标准所定义的软件生命周期数据来组织相关证据，这充分体现了过程、数据、目标这3方面适航要求辩证统一（如图 1）。

图 1目标、过程数据间三要素间关系



2.3.3.2主要结构及内容

Do178c标准把过程定义为“为制造特定的输出或产品而在软件生命周期中执行的一系列活动的集合”,软件生命周期将软件研发分为3大类12个过程．其中，软件开发过程和软件综合过程又被分为４个子过程，过程的整体结构和内容也围绕这一系列过程展开．（如图 2）标准定义了软件研制过程中涉及的一系列活动，如沟通、策划、建模、构建、部署等，还有一系列普适性的如项目跟踪控制、风险管理、质量保证、配置管理、技术评审等活动，标准还定义了过程或活动的先后顺序和执行关系，并通过“迁移准则”来描述过程和活动的进入和退出．这些活动贯穿整个软件生命周期．通过这些活动的开展、软件产生一系列输出数据，以证明软件能够达到相应安全等级的目标要求，从而达到规范、约束软件的目的。

图 2 生命周期过程及其关系

### 2.3.2机载软件适航审查流程

按照FAA Order8110.49要求，结合我国机载软件研制现状，机载软件开展适航审查可分为4个阶段：软件计划阶段审查、软件开发阶段审查、软件验证阶段审查和软件最终审查。各阶段审查的流程及关系如图 3。

1. 软件计划阶段审查应在初始软件计划过程完成时（也就是在完成并评审了大部分的计划和标准时）发起。这一审查一般被称为介入阶段（SOI#1）.
2. 软件开发阶段审查通常应在至少50%以上软件开发数据完成并评审后发起。这一审查一般称为SOI#2。
3. 软件验证阶段审查通常应在至少50%以上的软件验证和测试数据完成并评审后发起。这一审查一般称为SOI#3。
4. 软件最终审查阶段审查应该在确定了软件最终版本、完成了软件验证、进行了软件符合性审查、并且软件应在准备好后，正式提出系统审查申请后发起。这一审查一般称为SOI#4。



图 3 阶段审查的流程及其关系

### 2.3.3适航软件开发中配置管理过程的特点

2.3.3.1适航软件开发中关于配置管理的目标

在Do178c标准的71个目标中，以下6个是与配置管理相对应的目标。

1. 标识构型项（A-8.1）
2. 建立基线和可追溯性（A-8.2）
3. 建立问题报告，变更控制，变更评审和构型状态纪实机制（A-8.3）
4. 建立归档、检索和发布机制（A-8.4）
5. 建立软件加载控制机制（A-8.5）
6. 建立软件生命周期环境控制（A-8.6）

必须注意的是，这些目标都是比较笼统的，无法直接应用于开发与审查的实践，在对目标进行验证时，对于每个目标在研发实践中如何保证需要更加细致的了解，同时必须考虑到隐形目标的存在。

2.3.3.2配置管理过程中的基线要求：

适航中的基线管理可以将基线分为核查基线、评审基线、审查基线、阶段基线、工作产品基线。

依照文献[5]，每当处理人角色发生变化，就应该建立一条基线，以明确角色转换以后的工作基准。分别是核查基线、评审基线、审查基线，如图 4。



图 4 基线的概念

阶段基线：在阶段关闭时建立，作为后续阶段的工作基准。通常每个阶段关闭前都将进行评审，此时建立评审基线，评审发现问题并按照流程进行更改并验证通过后，需要创建阶段基线。

工作产品基线：核查基线、评审基线、审查基线、阶段基线是流程的一部分，是被动创建的，工作产品基线是指工作团队工具具体需要，在适当的时点主动创建基线。

2.3.3.3标识项

在Do178C标准中，列举了22种生命周期数据（表 1），按照标准要求，所有标准要求的软件生命周期数据都应该被标识。也就是说开发过程中至少应该将这22种生命周期作为配置管理的标识项。同时Do178C标准也提出了其它需要作为配置项进行管理的要求，因此22种配置项并不是配置项的全集。

|  |  |
| --- | --- |
| **数据项名称** | **数据项名称** |
| 软件方面的验证计划 | 可执行目标代码 |
| 软件开发计划 | 软件验证例子和程序 |
| 软件验证计划 | 软件验证结果 |
| 软件配置管理计划 | 软件生命周期环境配置索引 |
| 软件质量保证计划 | 软件配置索引 |
| 软件需求标准 | 问题报告 |
| 软件设计标准 | 软件配置管理记录 |
| 软件代码标准 | 软件质量保证（SQA）记录 |
| 软件需求数据 | 软件完成综述 |
| 设计说明 | 数据追踪 |
| 源代码 | 参数数据项文件 |

表 1 Do178c列举的22种数据项

2.3.3.4数据控制类别

软件生命周期的数据可以被分配到两个配置管理控制类别之一：控制类别1（CC1）和控制类别2（CC2）。不同的软件级别中，相同的软件生命周期的数据所规定的控制类别是不同的。（见）下表为CC1和CC2与配置管理进程有关活动的对应关系。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| SCM进程活动 | CC1 | CC2 |
| 配置鉴定 | ● | ● |
| 基线 | ● |  |
| 可追溯性 | ● | ● |
| 问题报告 | ● |  |
| 变更控制-完整性和鉴定 | ● | ● |
| 变更控制-跟踪 | ● |  |
| 变更审查 | ● |  |
| 配置状态统计 | ● |  |
| 恢复 | ● | ● |
| 已批准变更的保护 | ● | ● |
| 媒体选择，刷新，复制 | ● |  |
| 释放 | ● |  |
| 数据保留 | ● | ● |

表 2 CC1和CC2与配置管理进程有关活动的对应关系

## 2.4软件配置管理在适航软件开发中的现状

目前国内几乎没有对于适航软件研发中配置管理过程的专门研究，在适航软件的开发实践中，对于配置管理过程的实施主要是应用CMMI（软件能力成熟度模型集成）中配置管理过程的研究成果（配置管理是CMMI二级的一个过程域），在实际的项目中按照配置管理人员对于Do178C标准的理解进行软件配置管理计划的制订以保证配置管理过程相关目标的完成，这也导致了对审定方进行审定时无法提供足够的证据，不能通过审定。

# 3 研究内容与实施方案

## 3.1研究目标

通过对Do178c标准以及适航审定中的配置管理进行研究，研制能够对适航审定配置管理过程的变更控制进行自动审定的辅助工具。

## 3.2主要研究内容

1. 对Do178c标准、机载软件系统研发与审定过程、软件生命周期数据间关系进行研究，弄清机载软件研发与审定中目标、过程和文档相互间关系。

2．在1的研究成果的基础上，运用软件工程建模方法对适航软件开发中的配置管理过程进行建模。

3．应用2的研究成果，开发帮助审定人员进行配置管理相关目标进行审定的辅助工具，达到能够半自动的对配置管理的变更控制进行审定的目的。

## 3.3拟采取实施方案

3.2.1对适航审定过程中目标、过程和数据的研究

DO-178C规定了A级软件在适航审定过程中必须满足的71个目标。主要通过规定航空机载软件生命周期中各个过程的目标，规定达到这些目标和工程实现考虑和规定这些目标已经实现的证据记录来指导机载软件工作者工作。

DO-178C虽然给了软件生命周期的过程、数据和目标要求，但是绝大部分并未具体到可以直接研制工作的水平。DO-178C没有明确定义和解释活动之间的各种关联关系，例如，先后关系、协作关系、数据的传递关系及资源的共享关系等。

以上研究是对配置管理过程进行建模的基础。由2.3.2.2，软件配置管理过程是综合管理过程的一部分，该过程与其他软件生命过程系统协同执行，软件配置管理过程所管理的配置项包括软件生命周期各个过程的生命周期数据，因此对该过程进行建模不能只研究该过程本身，而要对整个软件生命周期过程、目标及数据间的关系进行研究。特别是对各个生命周期数据之间的关系的研究是建立配置管理过程模型的基础。

3.2.2对适航审定中配置管理过程进行建模

采用一种生命周期数据进行配置管理检验的方法。即给出一种软件配置管理过程的动态模型，通过将生成的生命周期数据输入该模型，模型能够对整个软件生命周期进行一次模拟管理，并通过比较软件配置管理记录与各个标识项是否吻合、生命周期数据的改变是否符合相关目标要求的方法对配置管理目标进行验证，可以用于审定过程，也可以用于开发过程期间的检查等。

技术方案（如图 5）：

1. 研究配置管理记录。从庞大的生命数据周期数据中找到与配置管理中变更控制相关的管理记录数据。
2. 研究标识项的文档属性。问了能够对变更情况进行跟踪，必须对标识项数据的属性进行提取。关键要素是角色、创建时间、更改时间、更改的数据元或数据项。
3. 研究选定建模方法。具体建模方法见关键技术与难点。
4. 变更控制目标模型化。



图 5 技术方案

3.2.3审定辅助工具

基于完成的配置管理过程的模型实现审定辅助工具。审定辅助工具的作用是能够通过输入已生成生命周期数据，对软件在开发过程中是否实现了配置管理相关目标进行验证。

3.2.3.1审定工具的功能

审定辅助工具是一个配置管理环境的模拟，每次从生命周期数据中读取一条配置管理记录，通过这条管理记录对生命周期数据中相关配置项进行检查，判断是否相互矛盾，同时根据配置记录内容改变当前的虚拟配置管理环境的状态，再输入另一条配置管理记录，依次循环直至配置管理记录全部读取完毕（如图 6）。



图 6 审定工具应用图

# 4 关键技术与难点

## 4.1.目标的验证

根据2.3.3.1，由于目标的模糊性和不全面性，对目标进行审定既要考虑实践工作中各种情况，还要考虑隐形目标的实现，怎样将目标的验证转化为模型是一个难点，为解决此问题，一是要做好Do178c标准的研究，搞清目标、过程和数据关系；二是通过参与适航软件研制项目进程了解实际工作中的情况；三是参考审查单审查活动。

## 4.2配置管理过程建模方法的选取

由于所建立模型的过程、数据与目标间的复杂关系，选择一种适用于此次建模的方法是一个难点。

由于过程建模是对软件过程活动的再工程,涉及到软件产品的开发与维护、软件项目管理、过程管理与过程改善等各个方面,涉及到过程活动、角色、产品、资源和约束等各种过程成分,还涉及到建模所用的形式化方法,加之软件过程本身具有的复杂性,使得构造过程模型的方法也是多种多样的。

* 以**过程所涉及的各种成分**(如活动、角色、产品、资源和约束等)为出发点来考虑过程建模。主要有四种不同方法：

1. 以活动为中心的建模方法
2. 以角色为中心的建模方法
3. 以产品为中心的建模方法
4. 基于过程模板的建模方法

* 以软件过程模型侧重于描述**功能目标**还是侧重于描述**活动行为**。主要考虑过程模型是否支持软件过程的动态性进行分类

1. 面向活动的过程建模方法
2. 面向目标的建模方法
3. 面向活动和面向目标的建模方法的结合。

* 按照过程建模所采用的不同形式化方法的分类。

1. 过程程序设计方法
2. 多功能分解方法
3. 基于计划的建模方法
4. 基于Petri网的建模方法
5. 基于规则的建模方法
6. 基于逻辑的建模方法
7. 基于知识的建模方法
8. 混合风格的建模方法

基于建模目的以及配置管理过程特点的考虑，本研究所准备采用基于过程模板、面向活动和面向目标结合、基于Petri网与UML集合的建模方法，并在研究过程中跟进实际情况加以考虑变更或改动。

## 4.3.软件生命周期数据的标准化。

根据最佳实践提出的数据项管理的要求，将管理的配置项分为了数据元与数据项，并且识别了以下数据项（表 3）：

|  |  |
| --- | --- |
| 数据项编号、名称 | 数据项编号名称 |
| D-01 项目进度计划 | D-29软件需求数据（条目化） |
| D-02 分配到软件的系统需求 | D-30高层需求与系统需求的追踪数据 |
| D-03软件等级 | D-31软件架构（非条目化） |
| D-04项目估算数据 | D-32底层需求层次结构 |
| D-05项目软件生命周期 | D-33底层需求（条目化） |
| D-06项目管理计划 | D-34软件设计说明（非条目化） |
| D-07软件合格审定计划 | D-35底层需求与高层需求的追踪数据 |
| D-08软件开发计划 | D-36源代码 |
| D-09软件验证计划 | D-37源代码与底层需求的追踪数据 |
| D-10软件配置管理计划 | D-38测试用例 |
| D-11软件质量保证计划 | D-39测试用例与高层需求的追踪数据 |
| D-12软件需求标准 | D-40测试用例与底层需求的追踪数据 |
| D-13软件设计标准 | D-41高层需求测试覆盖数据 |
| D-14软件编码标准 | D-42底层需求测试覆盖数据 |
| D-15核查检查单 | D-43测试规程 |
| D-16核查记录 | D-44测试规程与测试用例的追踪数据 |
| D-17问题报告 | D-45软件生命周期环境 |
| D-18评审检查单 | D-46目标代码 |
| D-19评审报告 | D-47可执行目标代码 |
| D-20软件配置索引 | D-48编译、链接、加载日志 |
| D-21基线 | D-49测试结果 |
| D-22变更请求 | D-50测试结果与测试规程的追踪数据 |
| D-23软件配置状态报告 | D-51测试结构覆盖数据 |
| D-24软件配置管理记录 | D-52目标代码与源代码的追踪分析数据 |
| D-25软件生命周期环境配置索引 | D-53加载控制记录 |
| D-26软件质量保证记录 | D-54软件完成综述 |
| D-27高层需求层次结构 | D-55软件符合性评审报告 |
| D-28高层需求（条目化） |  |

表 3 最佳实践识别的数据项

同时，最佳实践还建议同时管理数据源和文档两类数据项。

按照最佳实践进行要求，所生成的管理项数据和配置管理数据是非常全面并且标准的，可以简单代入模型使用。但是，当前我国机载软件的实践尚不能达到这种要求，对于标识项的管理都是基于文档的工作模式；所生成配置管理记录格式也不易于读取识别。为解决此问题，有以下考虑

1. 在软件计划过程时对研制方提出要求。按照Do178c标准要求，研制需提供易于评审的生命周期数据，本研究拟列出进行软件配置管理时需要用到的关键数据，对开发方在研制过程中对相关生命周期数据的管理给出规范化建议，减小对数据进行使用时的预处理工作量。
2. 不同标准化程度的数据区分对待。配置管理符合性目标的验证转化为实际审定流程是一个复杂的流程，对于提供生命周期数据标准化程度低的文档，只考虑将其进行部分审定过程检查。

# 5 预期成果

1.毕业设计项目技术文档书写及代码实现各一份

2.完成硕士学位论文

# 6 学位论文工作计划

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 工作计划 | 时间：2016年12月——2018年3月 | |
| 日 期 | 主要任务目标 |
| 2016.12-2017.2 | 阅读相关标准资料，深入研究Do178c标准和软件研制实践，对整体技术框架可行性进行评估 |
| 2017.3-2017.4 | 研究软件工程建模的方法 |
| 2017.4-2017.6 | 进行配置管理过程的建模 |
| 2017.7-2017.10 | 设计并实现目标验证辅助工具 |
| 2017.10-2017.3 | 修正存在的问题，完成论文的撰写 |

表 4 学位论文工作计划

# 7 主要参考文献

1. 民航局令第207号, 关于修订《航空发动机适航规定》的说明
2. 民航局令第207号, 航空发动机适航规定 尉询楷，杨立，刘芳，战立光，冯悦.
3. AC 20-115C. AirBorne Software Assurance,dated July 19,2013.
4. AB 20-115B. RTCA,Inc,Document RTCA/DO-178B, dated January 11, 1993.
5. 沈小明等. 机载软件研制流程最佳实践. 上海交通大学出版社，2013
6. SAE ARP4754A, Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems, 2010.12.
7. SAE ARP4761, Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment, 1996.12.
8. RTCA DO-178C, Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification, dated December 13, 2011.
9. RTCA DO-330, Software Tool Qualification Considerations, dated December 13,2011.
10. RTCA DO-331, Model-Based Development and Verification Supplement to DO-178C and DO-278A, dated December 13, 2011.
11. RTCA DO-332, Object-Oriented Technology and Related Techniques Supplement to DO-178C and DO-278A, dated December 13, 2011.
12. RTCA DO-333, Formal Methods Supplement to DO-178C and DO-278A, dated December 13, 2011. Tong M,Thurman D R,Guynn M D. Conceptual design study of an advanced technology open-rotor propulsion system[R]. ISABE-2011-1311,2011.
13. SEI. CMMI for Development, Version 1.2-Improving Processes for Better Products. SEI, CMU, 2006.
14. Kitchenham BA, Mendes E, Travassos GH. Cross versus within-company cost estimation studies: A systematic review. IEEE Trans. on Software Engineering, 2007,33(5):316−329.
15. Jorgensen M, Shepperd M. A systematic review of software development cost estimation studies. IEEE Trans. on Software Engineering, 2007,33(1):33−53.
16. 王长元，赵莉，王淑蓉.软件工程与建模[M].西安交通大学出版署，2010.
17. 李明树，杨秋松，翟健.软件过程建模方法研究[J].软件学报，2009
18. 范玉顺.面向对象的Petri网方法及其在软件工程中的应用[J].计算机应用，1998
19. 乐晓波，汪琳.面向对象的Petri网建模技术的研究[J].计算机工程，2002
20. Lee S, Shim J, Wu C. A meta model approach using UML for task assignment policy in software process. In: Proc. of the 9th Asia-Pacific Software Engineering Conf. on APSEC 2002. IEEE Computer Society, 2002. 376−382.、
21. Bendraou R, Combemale B, Cregut X, Gervais MP. Definition of an Executable SPEM 2.0. In: Proc. of the 14th Asia-Pacific Software Engineering Conf. on APSEC 2007. IEEE Computer Society, 2007. 390−397.
22. Park S, Choi K, Yoon K, Bae DH. Deriving software process simulation model from SPEM-based software process model. In: Choi K, ed. Proc. of the Asia-Pacific Software Engineering Conf. on APSEC 2007. 2007. 382−389.
23. 陈迎欣.小组软件过程的仿真建模方法的研究[D],哈尔滨工程大学博士论文，2006
24. J.Peterson.Petri net theory and the modeling of systems[M].中国矿业大学出版社
25. 张绍阳.基于性能分析的一种OOPN关联矩阵建立方法[J].西北大学学报.
26. Atkinson DC, Weeks DC, Noll J. The design of evolutionary process modeling languages. In: Weeks DC, ed. Proc. of the Software Engineering Conf. on 2004 11th Asia-Pacific. Washington: IEEE Computer Society, 2004. 73−82.
27. Franch X, Ribó JM. A structured approach to software process modelling. In: Proc. of the 24th Conf. on EUROMICRO. IEEE Computer Society, 1998. 753−762.
28. Bhuta J, Boehm BW, Meyers S. Process elements: Components of software process architectures. In: Proc. of the Int’l Software Process Workshop (SPW 2005). LNCS 3840, Springer-Verlag, 2005. 332−346.
29. Min SY, Lee HD, Bae DH. Soft PM: A software process management system reconciling formalism with easiness. Information and Software Technology, 2000,42(1):1−16.
30. Henderson-Sellers B, Gonzalez-Perez C. A comparison of four process metamodels and the creation of a new generic standard. Information and Software Technology, 2005,47(1):49−65.
31. 李思广，林子禹，胡 峰，潘小劲.基于UML的软件过程建模方法研究，计算机工程与应用，2003
32. [张璇](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFD&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e5%bc%a0%e7%92%87&scode=21832615%3b09324537%3b09337460%3b17304744%3b24411866%3b27362069%3b); [李彤](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFD&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e6%9d%8e%e5%bd%a4&scode=21832615%3b09324537%3b09337460%3b17304744%3b24411866%3b27362069%3b); [王旭](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFD&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e7%8e%8b%e6%97%ad&scode=21832615%3b09324537%3b09337460%3b17304744%3b24411866%3b27362069%3b); [代飞](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFD&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e4%bb%a3%e9%a3%9e&scode=21832615%3b09324537%3b09337460%3b17304744%3b24411866%3b27362069%3b); [谢仲文](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFD&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e8%b0%a2%e4%bb%b2%e6%96%87&scode=21832615%3b09324537%3b09337460%3b17304744%3b24411866%3b27362069%3b); [于倩](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFD&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e4%ba%8e%e5%80%a9&scode=21832615%3b09324537%3b09337460%3b17304744%3b24411866%3b27362069%3b)，[面向软件非功能需求的软件过程建模方法](http://epub.cnki.net/kns/detail/detail.aspx?QueryID=4&CurRec=12&FileName=JFYZ201607018&DbName=CJFDLAST2016&DbCode=CJFQ&pr=)[M] 计算机研究与发展