

文章编号: 1001-0920(2007)05-0481-06

# 软件项目风险管理理论与方法研究综述

潘春光, 陈英武, 汪 浩

(国防科学技术大学 信息系统与管理学院, 长沙 410073)

**摘 要:** 软件项目风险管理是软件工程的重要分支,也是项目管理和决策研究中的热点问题.为此,简要介绍了软件项目风险管理的相关基本概念,阐述了软件项目风险管理的框架体系和研究方法,并讨论了其各自的优缺点.据此对该学科的研究发展趋势作了展望.

**关键词:** 软件项目; 风险管理; 风险分析; 风险控制

**中图分类号:** O157.5

**文献标识码:** A

## Overview of the study on theories and methods of software project risk management

PAN Chun-guang, CHEN Ying-wu, WANG Hao

(College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China. Correspondent: PAN Chun-guang, E-mail: chun-guangpan@163.com)

**Abstract:** As an important branch of software engineering, software project risk management (SPRM) is a hotspot in project management and decision-making. The conceptions of SPRM are introduced generally. An overview of the study on theories and methods in this field is made and the merits and defects are also discussed. The prospect of this subject is presented.

**Key words:** Software project; Risk management; Risk analysis; Risk control

### 1 引言

软件项目风险管理作为一门学科,出现于上世纪 80 年代末.经过近 30 年的发展,已从理论、方法乃至实践上都取得了一定的进展.目前,随着软件工程技术的进步和软件企业的不断成熟,其研究已成为软件工程和项目管理中的热点问题之一.

本文对近年来软件项目风险管理理论与方法的研究进展情况综述,分析了各种理论体系和方法的特点和不足,并对该学科的发展趋势作了展望.

### 2 软件项目风险管理的有关概念

风险的概念最早出现于 19 世纪末的西方经济领域,目前已广泛应用于社会学、经济学、工程学、环境学等领域.风险一词在不同领域有不同的界定,目前尚无统一的定义<sup>[1]</sup>.但一般认为风险概念应包含以下几方面内涵<sup>[1,2]</sup>:1) 风险是指事物发生发展过程中某种客观存在的不确定性;2) 这种不确定性对主体的决策和价值目标构成了潜在威胁或可能造成

损失;3) 不同主体对同样风险的承受能力与收益大小、投入多少、项目活动的主体地位和拥有的资源有关.

在软件工程领域,人们一直试图将软件开发活动工程化,并通过借鉴工程项目的管理办法来解决软件项目中出现的风险问题.对软件项目风险概念的理解源于其他工程项目风险管理,并经过一定的讨论和改进.如最早研究软件项目风险管理的美国国防部,把风险定义为<sup>[3]</sup>:在预定成本、工期和技术约束下,可能无法达到全面计划目标的度量指标,它包含两部分:1) 无法达到具体结果的概率(或可能性);2) 达不到那些结果的后果(或影响).Boehm 等将这两部分归结为“风险暴露”<sup>[3,4]</sup>,用公式表示为

$$R_E = P(U_o) * L(U_o), \quad (1)$$

其中: $R_E$  指风险或风险造成的影响, $P(U_o)$  表示令人不满意结果发生的概率, $L(U_o)$  表示不利结果可能产生的破坏程度.上述概念未指明其主体,即是什

收稿日期: 2006-01-07; 修回日期: 2006-04-09.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70272002).

作者简介: 潘春光(1974—),男,济南人,讲师,博士生,从事软件项目风险管理、决策分析技术的研究; 陈英武(1963—),男,湖南益阳人,教授,博士生导师,从事公共管理、项目管理等研究.

么造成的不利影响,所以有些文献又将风险主体表示为“场景”.如 Charette 将风险定义为一个三元组<sup>[5]</sup>

$$\text{Risk} = \{ (s_i, l_i, v_i) \mid i = 1, 2, \dots, n \}, \quad (2)$$
分别表示风险所处的环境描述、可能概率和风险发生时的后果.然而该定义仍存在缺陷,它将低概率高损失的情形与高概率低损失的情形等同起来.为此, Kumamoto 等又作了扩展,将风险定义为一个四元组<sup>[6]</sup>

$$\text{Risk} = \{ (s_i, o_i, l_i, v_i) \mid i = 1, 2, \dots, n \}, \quad (3)$$
其中  $o_i$  表示对第  $i$  个场景造成后果严重性的度量.经过一系列补充,人们对软件风险的概念逐渐加深,为理论研究奠定了基础.

风险管理是指辨识、分析和控制风险的活动,这组活动不是孤立的,而是一组系统化、持续化的过程<sup>[7]</sup>.软件项目风险管理是指贯穿于软件项目生命周期,保证项目按计划进行的策略、方法、技术和工具的集合,它含有风险辨识、评估、排序、计划、监督和控制活动,并成为软件项目管理的主要部分<sup>[8]</sup>.

3 软件项目风险管理的框架体系

从软件项目风险管理的发展历史看,Boehm 于 1989 年出版的专著《软件风险管理》<sup>[3]</sup>,奠定了该领域的理论基础.在随后近 30 年中,又陆续出现了几种框架体系.现总结和比较如下.

3.1 Boehm 和 Charette 的风险管理框架

Boehm 在《软件风险管理》中,将软件项目风险管理分为风险评估和风险控制两大部分,其中风险评估又分为风险识别、风险分析和风险的优先级排序,风险控制又分为风险管理计划、风险解决和风险监控.软件项目风险管理的另一位创始人 Charette 构建的风险管理框架<sup>[5]</sup>,则直接将其分为风险分析和风险管理两部分,其中风险分析包括识别、估算和评价,风险管理包括计划、控制和监控.二者的理论框架如表 1 所示.

表 1 Boehm 和 Charette 的风险管理框架

Boehm 的风险管理框架		Charette 的风险管理框架	
风险评估	风险识别	风险	风险识别
	风险分析	分析	风险估算
	风险优先级排序		风险评价
风险控制	风险管理计划	风险	风险计划
	风险解决	管理	风险控制
	风险监控		风险监控

从本质上讲,二者风险管理框架基本相同.从内容上看,与其他工程项目风险管理也没有实质性差别.

3.2 Higuera 和 Haimes 的持续风险管理框架模型

Higuera 和 Haimes 提出的软件项目风险管理框架,是美国卡内基·梅隆大学软件工程研究所 (SEI) 风险管理体系中的一部分.该体系将风险管理划分为风险识别、分析、计划、跟踪、控制 5 个步骤,风险管理的方式是连续循环的,其核心是风险沟通.它要求在项目生命期的所有阶段都关注风险管理,即所谓持续风险管理 (CRM) 框架模型<sup>[9,10]</sup> (见图 1).

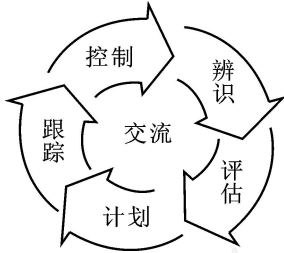


图 1 SEI 的持续风险管理框架模型

SEI 的模型在 Boehm 和 Charette 的模型基础上有所改进,注重了软件项目的过程特点.但这一模型只是在理论上对风险管理的过程有了初步认识,而如何把风险管理演绎成一个动态、持续的风险管理过程,未作详细阐述.

3.3 Hall 的六学科模型

Hall 的六学科风险管理模型<sup>[11]</sup> (见图 2),将风险管理分解为 6 个学科.其中:  $E$  代表预想,是把思想转化为目标的学科,用于研究软件产品的远期规划;  $P$  代表计划,是为软件目标分配资源的学科;  $W$  代表工作,是指产品计划的执行;  $M$  代表度量,是比较期望值和实际值的学科,两个值的差异用于调整项目计划;  $I$  代表改进,是从过去经验中学习的学科,它通过分析基准和项目度量结果,找出改进的方向;  $D$  代表发现,是预知未来的学科,它通过对不确定性的评价和对困惑的思考,考虑机会和风险的均衡,预先指导计划和规划的改变.

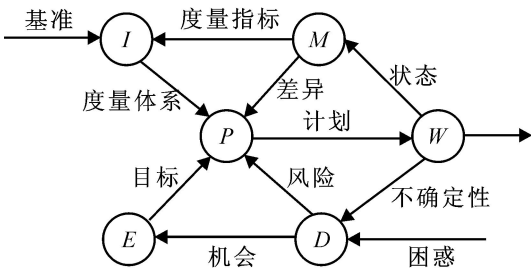


图 2 Hall 的六学科风险管理模型

Hall 的六学科模型考虑了风险管理与项目管理的结合,注重风险的度量和控制,是理论与实践相结合的有益尝试.不足之处是对如何取得预想方案中风险和机会的均衡重视不够.其基本思路是改进

项目管理,带动风险管理,管理范围仍以核心风险管理为主。

### 3.4 基于 CMM/ CMMI 的软件项目风险管理框架

文献[12,13]提出了基于 CMMI 的软件项目风险管理框架,对软件项目风险管理理论作了进一步研究和扩展。

能力成熟度模型(CMM)是 SEI 主持研发的一套评估软件能力和成熟度的标准。该标准基于众多专家的经验,侧重于开发过程的管理,是目前国际上流行的软件生产过程标准和软件企业成熟度等级认证标准。CMM 主要用 5 个不断进化的层次来表达,即初始级、可重复级、已定义级、已管理级和优化级,项目风险管理被集成在第 3 级水平。SEI 将 CMM 扩展为能力成熟度模型集成(CMMI),从内容和特征上对 CMM 进行完善。

在 CMMI 中,风险管理作为第 3 级中的一个独立的关键过程域,是软件工程管理的一个重要方面,体现了风险管理的过程特点,从而使在过程中进行风险管理的原则得以真正体现<sup>[14]</sup>。基于 CMM/ CMMI 的软件项目风险管理的研究,推动了风险管理理论与以软件过程改进为主导的软件工程实践的融合,使软件项目风险管理朝着可预测、有规律、可量化的管理方向发展。

## 4 软件项目风险管理的研究方法、技术和工具

软件项目风险管理发展近 30 年中,出现了不少方法、技术和工具。这些成果大多以系统整体的形式出现,并贯穿于风险识别、评估、分析和控制的全过程,各方法和技术之间也有交叉,并因阐述的角度不同而有所侧重。下面就其主要研究成果进行简要评述。

### 4.1 软件项目风险识别方法

风险识别是任何风险管理活动的起点。从已有成果看,软件项目风险识别的研究方法大致有以下几种:

1) 风险清单法。Boehm 给出了 top 10 风险序列<sup>[3]</sup>,并提出了顶级十大风险源清单<sup>[6]</sup>。随后,他指出在软件项目开发生命期的每个重要阶段,都可进行 top 10 风险清单的调查和修改,并将风险管理加入软件项目开发生命期模型。Boehm 还提出了软件项目开发期的螺旋式模型,使项目管理人员可对软件项目进行动态风险追踪。Barki 等通过总结列出了 35 项风险变量<sup>[15]</sup>;Jones 描述了 60 项最常见的风险因素<sup>[16]</sup>。这些成果对于开展风险识别、提供风险源素材具有很大的帮助。

2) 风险识别法(TBI)。Marvin 等提出的基于分

类的风险识别法<sup>[17]</sup>,主要是从项目分类学的角度考虑风险,对项目的风险项进行分类,从单纯的清单列表走向由分类树与问卷识别过程的统一,从而使软件项目风险项具有结构性的特点。另外,它也秉承了动态管理的特点,使风险识别及后续处理有计划、分步骤、周期性地项目生命期内进行。

3) 基于分类的问卷调查表法(TBQ)<sup>[17]</sup>。该方法是由专家根据项目特点设计风险管理问卷调查表,对企业有关人员进行问卷调查,并根据调查结果对数据进行统计分析。文献[18]在问卷调查的基础上提出一种簇分析方法,对 507 个软件项目管理人员进行问卷调查。文献[19]在此基础上进一步扩展,提出一种软件风险和性能的层次模型,并对调查结果作了统计分析。

### 4.2 网络分析模型

网络分析技术在项目风险管理中经常使用,软件项目风险管理中很多方法和工具都借鉴了传统的网络技术。其研究方法主要有以下几种:

1) PERT/CPM, GERT 和 VERT。PERT(计划评审技术)主要是针对项目进度风险进行评估,通常要求各随机事件都服从三点分布。在实践中,这一假定往往无法满足,这时一般可与蒙特卡洛仿真联合使用。GERT(图形评审技术)可处理活动间的前后逻辑关系受活动结果支配的情况,其活动及活动的先后次序均为随机变量。它既能评估进度风险,又能评估成本和质量等风险。VERT(风险评审技术)是以管理系统为对象、以随机网络仿真为手段的定量风险分析技术。它可根据每项活动的性质,在网络节点上设置多种输入和输出逻辑功能,使网络模型能充分反映实际过程的逻辑关系和随机约束。这类技术最为常用,在软件项目风险管理中多有引入,如文献[20-22]等。

2) 关键技术。Goldratt 将其提出的制约理论引入项目管理,提出了以关键链取代关键路径的思想。他出版了企业管理专著《关键链》<sup>[23]</sup>,提出了关键链项目管理(CCPM)。文献[24]论述了 CCPM 在软件工程中应用的可行性,文献[25]将关键链技术与系统动力学模型相结合,对多个软件项目进行仿真,并给出了仿真结果。

3) 贝叶斯置信网络(BBN)模型。BBN 是人工智能领域的一种概率推理方法,可描述不确定因素之间的表示和推理。文献[26]应用 BBN 对软件项目进行风险识别、预测和动态监控,并对项目资源进行动态调整,给出了仿真实例和结果,具有一定的参考价值。

4) Petri 网技术。Petri 网是研究离散事件动态

系统的理论工具之一,它具有并行、并发、同步等特性,适合于描述软件开发过程,在软件工程领域中应用较广<sup>[27]</sup>。

5) 其他网络模型. 这类模型一般是研究人员自行设计的特殊网络模型,如文献[28]提出的设计网模型,文献[29-31]提出的软件项目管理网络模型等,对软件项目的并发和迭代现象进行建模和仿真研究。

需要说明的是,网络分析模型往往与系统仿真技术结合在一起使用。仿真技术能使网络模型中的不确定性得以量化,是风险管理中的基本技术之一。

#### 4.3 系统动力学仿真技术

以上总结的各种网络分析模型,大都是从微观的角度考虑软件项目中存在的风险问题,它们在进行风险管理时往往表现出静态和局部的特点,而忽略了项目各部分之间的相互作用对项目整体的影响。软件开发项目是一个动态的复杂系统<sup>[32]</sup>,传统的项目管理方法不能有效地应对软件项目的动态复杂性,也不能从整体上把握软件项目风险管理。一些学者注意到这些方法的缺陷,将系统动力学引入软件项目管理。

系统动力学是以反馈控制理论为基础、以计算机仿真为手段的定量分析技术。它通常以分析系统各部分之间的因果关系来建立非线性定量模型,并通过仿真的方法来考察系统的整体结构。Abdel 和 Madnick<sup>[33]</sup>对软件开发过程进行系统动力学的建模和仿真,在此基础上开展项目管理。一些学者<sup>[34-36]</sup>先后对这一问题作了深入详细的探讨。

以上学者的研究主要是对软件过程进行建模。Houston<sup>[37,38]</sup>专门为风险管理建立了软件项目系统动力学模型。他基于先前的系统动力学模型,提出一种所谓的基本模型,并对基本模型仿真得到一个基线值。在基本模型的基础上,给出了最为常见的 6 个软件项目的主要风险项,建立了一个扩展的系统动力学模型,并通过仿真得出各风险因素对系统的影响结果。Houston 的模型是专为评估、缓和、调节风险管理活动而设计的,它通过调整输入参数,对成本、进度和产品质量进行风险分析和决策。

#### 4.4 基于成本估算模型的风险评估方法

成本估算模型主要有 SPLM 模型和结构化成本模型(COCOMO),其中以 COCOMO 较为流行。下面简要介绍基于 COCOMO 的软件项目风险评估<sup>[4]</sup>。

Behem 在其专著《软件工程经济学》<sup>[39]</sup>中发表了 COCOMO 模型(COCOMO 81),它包括基本 COCOMO、中级 COCOMO 和详细 COCOMO 3 个

层次。随后,为支持 Ada 项目评估,又开发了 Ada COCOMO,对成本驱动因子作了适当调整。1990 年后,出现了快速应用开发模型、软件重利用、再工程、CASE、面向对象方法、软件过程成熟度模型等一系列软件工程方法和技术,而早期的 COCOMO 不能适应新的需要。为此,Boehm 重新调整了原有模型,根据未来软件市场的发展趋势,发表了 COCOMO 模型。COCOMO 的基本构成为 5 个规模度量因子和 17 个成本驱动因子,利用它们来调整成本模型计算公式,将 Delphi 专家法与 Bayes 统计分析法相结合,通过不同的成本因子来计算工作量并进行风险评估。

#### 4.5 其他方法体系

结合软件工程实践,还有一些有特点的软件项目风险管理方法,主要有:

1) Jyrki<sup>[40]</sup>提出的 Riskit 方法。该方法构造了风险因素、风险事件、风险反应和效用损失的影响图,透彻地说明了风险的起因、发展和最后结果。

2) Yacoub 等<sup>[41]</sup>提出的客观评估方法。认为评估应基于产品的属性,而不只是专家的经验,所以必须尽可能地采用项目度量体系得到量化数据,并掌握好风险评估的时机。

3) Greer 等提出的 SERUM 法<sup>[42]</sup>。它将以往的软件项目风险管理过程或模式称为“明确的方法”,主要选择一些风险管理策略来处理比较重要的风险,并通过风险减少技术达到对风险的控制。SERUM 提出了“含蓄风险管理”,该方法从一开始就从商业角度考虑风险,并一直贯串于软件项目的整个过程。

4) 层次全息模型(HHM)。HHM 是研究风险管理的一种方法体系,并已成功地引入大型数据库开发系统。它强调将复杂系统以互补、协作的方式分解为部件、子系统等层次,每个层次都是完整系统的某一特定视角结构。文献[43-46]采用层次全息模型对软件项目风险管理进行研究,给出了风险管理的一套方法和模型。文献[47]对项目风险管理中各个阶段使用的工具进行评述,并通过问卷调查和分析,给出了风险管理各个阶段可使用工具的排序,为管理人员的决策提供了可靠的依据。

#### 5 我国软件项目风险管理的研究现状

从我国软件项目风险管理研究现状看,由于国内软件行业发展较晚,软件企业不很成熟,很多公司主要以中小企业为主,很难谈得上系统、科学的软件项目风险管理。随着信息化浪潮的到来,我国软件业已在近几年取得了飞速发展,构建规范化、组织化的软件企业已成为业界人士的普遍共识。在这种情况下

下,软件项目的风险管理也开始受到重视。

目前,国内对软件项目风险管理的研究还停留在学习和吸收国外已有理论和方法的基础上,近年来逐渐有文章见诸期刊,如张珞玲、李师贤对 MIS 项目开展了一些风险管理的研究<sup>[48]</sup>;张李义提出一种信息系统开发的动态风险模糊估测方法<sup>[49]</sup>;鞠彦兵等提出一种基于证据理论的软件开发风险评估方法<sup>[50]</sup>;潘陈勇从生命周期的角度提出了软件开发动态风险管理的研究方法<sup>[51]</sup>。另外,方德英以 IT 项目风险管理为题,提出一种风险管理体系,在 SEI 风险管理框架中加入了组织保障体系<sup>[52]</sup>。焦鹏对软件项目全生命周期的风险评估方法与应用作了详细探讨<sup>[53]</sup>。

纵观这些研究可知,我国的软件项目风险管理研究大都还是秉承国外的模式,在理论、方法及实践上没有取得实质性的突破,因此我国软件项目的风险管理研究基本上还处于起步阶段。如何结合我国软件行业的实际进行相关技术的研究,是一个挑战性的课题,也必将经历一个较长的阶段。

## 6 未来研究展望

从目前软件项目风险管理的发展趋势看,其研究热点和需要进一步解决的问题主要有以下几方面:

1) 与软件过程改进相融合的风险管理理论和实践。软件项目管理朝着稳定化、有规律、可重复、可量化的方向发展已是大势所趋,风险管理应与当前软件工程的发展潮流相融合。软件过程改进的成功,使得软件项目风险管理受益匪浅。目前,人们已将风险管理的研究置于过程改进的框架之下,力图使风险管理在理论和实践上真正突破静态管理的模式,从而从根本上克服操作性不强、缺乏有效的技术和工具支持、定性分析多于量化管理等缺陷。这样,在过程改进的基础上发展起来的新的软件项目风险管理的研究,便成为该学科的一个发展方向。

2) 基于客观度量的风险评估技术。尽管目前应用于软件项目领域的风险评估技术不少,但大多是借鉴其他工程项目风险管理技术,而且多是以经验和主观分析为主。这些方法虽在一定程度上解决了某些风险问题,但在实践中往往不能取得较好的效果。因此应研究以软件度量为基础的客观风险评估方法。

3) 与新的项目管理方法的结合。项目管理领域中新的突破,往往能给软件项目的风险管理提供有益的参考,如前面总结的关键链等技术。但如何应用于软件项目风险管理并发挥作用,也是目前研究的热点问题之一。

4) 新的软件工程实践给风险管理带来的变化。软件工程的不断实践会出现一些新的问题,随之而来也会有许多风险问题出现。如何对这些变化开展有针对性的研究,也是未来软件项目风险管理需要解决的课题之一。

总之,软件项目风险管理是一门实践性很强的学科,必须不断探求软件开发项目的规律和特点,紧密与软件工程的最新实践相结合,才会使其具有更强的生命力。

## 参考文献(References)

- [1] 丁义明, 方福康. 风险概念分析[J]. 系统工程学报, 2001, 16(5): 402-406.  
(Ding Y M, Fang F K. Analysis of concept of risk[J]. J of Systems Engineering, 2001, 16(5): 402-406.)
- [2] 张哲. 风险哲学初探[J]. 武警工程学院学报, 2000, 16(5): 30-32.  
(Zhang Z. A study of risk philosophy [J]. J of Engineering College of Armed Police Force, 2000, 16(5): 30-32.)
- [3] Boehm B W. Software risk management [M]. Piscataway: IEEE Computer Society Press, 1989.
- [4] Madachy R. Heuristic risk assessment using cost factors [J]. IEEE Software, 1996, 14(5/6): 51-59.
- [5] Charette R. Software engineering risk analysis and management[M]. New York: McGraw-Hill, 1989.
- [6] Kumamoto H, Henley E J. Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists [M]. New York: IEEE Press, 1996.
- [7] Software Engineering Institute. The SEI approach to managing software technical risks[R]. Bridge: Software Engineering Institute, 1992:19-21.
- [8] Boehm B W. Software risk management: Principles and practices [J]. IEEE Software, 1991, 8(1): 32-41.
- [9] Higuera Ronald P, Haimes Y Y. Software risk management [R]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 1996.
- [10] Dorofee A J, Walker J A. Continuous risk management [R]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 1996.
- [11] Elaine M Hall. Managing risk: Methods for software systems development[M]. Addison-Wesley Publishing Company, 1998.
- [12] Prikladnicki R, Yamaguti M H, Antunes D C. Risk management in distributed software development: A process integration proposal [C]. 5th IFIP Working Conf on Virtual Enterprises. Toulouse, 2004.
- [13] Dipak Surie. Evaluation and integration of risk management in CMMI and ISO/IEC[J]. <http://www.cs.umu.se/~dipak/paper-cmmi.pdf>.
- [14] Alfred B. Process-based software risk assessment[C].

- Proc of the 4th European Workshop on Software Process Technology. Nordwijkerhout, 1995: 1-21.
- [15] Barki H, Riverd S, Talbot J. Toward an assessment of software development risk [J]. J of Management Information Systems, 1993, 10(2): 203-225.
- [16] Capers Jones. Assessment and control of software risks [M]. Englewood Cliffs: Yourdon Press, 1994.
- [17] Carr M, Konda S L, Monarch F. Taxonomy-based risk identification [R]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 1993.
- [18] Linda Wallace, Mark Keil, Arun Rai. Understanding software project risk: A cluster analysis [J]. Information and Management, 2004, 42 (1): 115-125.
- [19] Linda Wallace, Mark Keil, Arun Rai. How software project risk affects project performance: An investigation of the dimensions risk and an exploratory model [J]. Decision Sciences, 2004, 35(2): 289-321.
- [20] Dawson R J, Dawson C W. Practical proposals for managing uncertainty and risk in project planning[J]. Int J of Project Management, 1998, 16(5): 299-310.
- [21] Alquier A M, Tignol M H. Project management technique to estimate and manage risk of innovative projects[C]. IPMA Int Symp and NORDNET '2001. Stockholm, 2001.
- [22] Moeller G L, Digman L A. Operations planning weih VERT[J]. Operations Research, 1981, 29 (4): 676-697.
- [23] Goldratt E M. Critical chain[M]. New York :North Rivef Press Inc, 1997.
- [24] Lawrence M Hayhurst. The critical chain in software engineering [J]. [http://www.engr.pitt.edu/hunsaker/Critical\\_Chain\\_Software\\_Eng.pdf](http://www.engr.pitt.edu/hunsaker/Critical_Chain_Software_Eng.pdf).
- [25] Bengee Lee, James Miller. Multi-project management in software engineering using simulation modeling[J]. J of Software Quality, 2004, 12 (1): 59-82.
- [26] Fan C F, Yu Y C. BBN-based software project risk management[J]. J of Systems and Software, 2004, 73 (1): 193-203.
- [27] Ammar H, Nikzadeh T, Dugan J B. An example of risk assessment of software systems specifications[C]. Proc of 8th Int Symp on Software Reliability Engineering. Albuquerque, 1997:156-167.
- [28] Liu L C, Horowitz E. A formal model for software project management [J]. IEEE Trans on Software Engineering, 1989, 15(10):1280-1293.
- [29] Chang C K, Christensen M. A net practice for software project management [J]. IEEE Software, 1999, 16(6): 80-88.
- [30] Chang C K, Christensen M, Zhang T. Genetic algorithms for project management [J]. Annals of Software Engineering, 2001, 11:107-139.
- [31] Chang C K. SPMNET: A new methodology for software management[D]. Chicago: The University of Illinois, 1995.
- [32] Lai L S Linda. A synergistic approach to project management in information systems development [J]. Int J of Project Management, 1997, 15(3): 173-179.
- [33] Abdel Hamid T K, Madnick S. Software project dynamics: An integrated approach[M]. Prentice Hall, 1991.
- [34] Madachy Raymond J. A software project dynamics model for process cost, schedule and risk assessment [D]. University of Southern California, 1994.
- [35] John Douglas Tvedt. An extensible model for evaluating the impact of process improvements on software development cycle time[D]. Phoenix: Arizona State University, 1996.
- [36] Sycamore Douglas M. Improving software project management through system dynamics modeling [D]. Phoenix: Arizona State University, 1996.
- [37] Dan X Houston, Gerakd T Mackulak, James S Collofello. Stochastic simulation of risk factor potential effects for software development risk management[J]. J of Systems and Software, 2001, 59(3): 247-257.
- [38] Dan X Houston. A software project simulation model for risk management [D]. Phoenix: Arizona State University, 2000.
- [39] Barry Boehm. Software engineering economics [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1981.
- [40] Jyrki Kontio. Software engineering risk management: A method, improvement framework and empirical evaluation [D]. Helsinki: Helsinki University of Technology, 2001.
- [41] Yacoub S M, Ammar H H, Robinson. A methodology for architectural-level risk assessment using dynamic metrics [C]. 11th Int Symp on Software Reliability Engineering. San Jose, 2000: 210-221.
- [42] Greer D, Bustard D W. SERUM — Software engineering risk: Understanding and management[J]. Project and Business Risk Management, 1997: 1(4): 373-388.
- [43] Michael J Pennock, Yacov Y Haimes. Principles and guidelines for project risk management [J]. Systems Engineering, 2002, 5(2): 89-107.
- [44] Clyde G Chittister, Yacov Y Haimes. System integration via software risk management [J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics: Part A, 1996, 26(5): 521-532.

(下转第 493 页)

- excitation of AC and DC machine [C]. Electrical Machines and Drives: 4th Int Conf. London, 1989: 48-52.
- [2] Naoe Nobuyuki, Fukami Tadashi. Trial production of a hybrid excitation type synchronous machine[C]. Electric Machines and Drives Int Conf. Cambridge, 2001: 545-547.
- [3] Aydin M, Huang S R, Lipo T A. A new axial flux surface mounted permanent magnet machine capable of field control [C]. IEEE IAS Annual Meeting. Pittsburgh, 2002: 1250-1257.
- [4] Amara Y, Oujehani K, Hoang E, et al. Flux weakening of hybrid synchronous machines[C]. Electric Machines and Drives Int Conf. Cambridge, 2001: 367-373.
- [5] Hori H, Ashikaga T. Current controller for hybrid excitation type permanent magnet motor [P]. Japan Patent: 8242600, 1996.
- [6] Zhao C H, Yan Y G. A review of development of hybrid excitation synchronous machine [C]. IEEE ISIE. Dubrovnik, 2005: 857-862.
- [7] 徐衍亮,唐任远. 混合励磁同步电机的结构、原理及参数计算[J]. 微特电机, 2000, 28(1): 16-18.  
(Xu Y L, Tang R Y. A kind of structure, principle and parameter calculation for hybrid excitation synchronous machine [J]. Small and Special Electrical Machines, 2000, 28(1): 16-18.)
- [8] 杨儒珊. 混合磁路电机系统的结构性质分析[D]. 上海: 上海大学, 2005.  
(Yang R S. Analysis of structure of hybrid excitation permanent magnet synchronous machine system [D]. Shanghai: Shanghai University, 2005.)
- [9] 谢七月, 康惠骏. 混合磁路电动机的非线性解耦控制[J]. 上海大学学报, 2006, 12(2): 158-161.  
(Xie Q Y, Kang H J. Nonlinear decoupling control of hybrid excitation permanent magnet synchronous motor [J]. J of Shanghai University, 2006, 12(2): 158-161.)
- [10] 康惠骏, 谢七月, 杨儒珊. 混合励磁电动机的可逆性 [C]. 2006 中国控制与决策学术年会论文集. 天津, 2006: 1313-1316.  
(Kang H J, Xie Q Y, Yang R S. Invertibility of hybrid excitation synchronous machine [C]. CDC '2006. Tianjin, 2006: 1313-1316.)
- [11] Isidori A. Nonlinear control systems [M]. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1989.
- [12] 康惠骏. 异步电动机非线性系统分析与控制[D]. 上海: 上海大学, 1996.  
(Kang H J. Analysis and control for nonlinear systems of induction motors [D]. Shanghai: Shanghai University, 1996.)

#### (上接第 486 页)

- [45] Leung M F, Santos J R, Haimes Y Y. Risk modeling, assessment and management of lahar flow threat [J]. Risk Analysis, 2003, 23(6): 1323-1335.
- [46] Yacov Y Haimes, Kaplan S, Lambert J H. Risk filtering, ranking and management framework using hierarchical holographic modeling [J]. Risk Analysis, 2002, 22(2): 381-395.
- [47] Raz T, Michael E. Use and benefits of tools for project risk management [J]. Int J of Project Management, 2001, 19(1): 9-17.
- [48] 张珞玲, 李师贤. 软件项目风险管理方法比较和研究 [J]. 计算机工程, 2003, 29(3): 91-94.  
(Zhang L L, Li S X. Comparison and research on models of software project risk management [J]. Computer Engineering, 2003, 29(3): 91-94.)
- [49] 张李义. 信息系统开发的动态风险模糊估测方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(10): 88-92.  
(Zhang L Y. Approach to dynamic risk estimation for information system development [J]. System Engineering Theory and Practice, 2001, 21(10): 88-92.)
- [50] 鞠彦兵, 冯允成, 姚李刚. 基于证据理论的软件开发风险评估方法 [J]. 系统工程理论方法应用, 2003, 12(3): 218-223.  
(Ju Y B, Feng Y C, Yao L G. Research on the measure of risk in the course of software development [J]. Systems Engineering — Theory Methodology Applications, 2003, 12(3): 218-223.)
- [51] 潘陈勇. 基于生命周期的软件开发动态风险管理 [D]. 杭州: 浙江大学, 2002.  
(Pan C Y. Dynamic risk management based on the software development life cycle [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2002.)
- [52] 方德英. IT 项目风险管理理论与方法研究 [D]. 天津: 天津大学, 2003.  
(Fang D Y. The study on theories and methods of IT project risk management [D]. Tianjin: Tianjin University, 2003.)
- [53] 焦鹏. 软件项目风险评估方法的研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2003.  
(Jiao P. The study on software project risk assessment [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2003.)