

分类号 \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_

UDC <sup>注1</sup> \_\_\_\_\_

# 学 位 论 文

基于 FISM-ANP-灰色聚类的软件项目开发

风险评价研究

(题名和副题名)

兰 芳

(作者姓名)

指导教师

黎 亮

副教授

电子科技大学

成 都

(姓名、职称、单位名称)

申请学位级别 硕士 专业学位类别 工程管理硕士

提交论文日期 2018.05.04 论文答辩日期 2018.05.29

学位授予单位和日期 电子科技大学 2018年06月

答辩委员会主席 \_\_\_\_\_

评阅人 \_\_\_\_\_

注 1：注明《国际十进分类法 UDC》的类号。

# **Risk Evaluation of Software Project Development Based on FISM-ANP-Grey Clustering**

A Master Thesis Submitted to  
University of Electronic Science and Technology of China

Dicipline: Master of Engineering Management

Author: Fang Lan

Supervisor: A. Prof. Liang Li

School: School of Management and Economics

of UESTC

## 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得电子科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

作者签名： 吕芳

日期： 2018年6月1日

## 论文使用授权

本学位论文作者完全了解电子科技大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权电子科技大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后应遵守此规定)

作者签名： 吕芳

导师签名： 林心

日期： 2018年6月3日

## 摘要

信息技术已成为推动国民经济发展的强大动力,也是促进全社会生产效率提高的有效方法之一,国民经济各个领域对应用软件的需求将越来越强劲,高效的软件项目管理才能推动软件业的健康快速发展。由于软件产品的特殊性大大增加了软件项目的风险,使得软件项目开发倍受各种不确定性因素阻碍,项目管理绩效低下,成功率堪忧,由此带来的经济损失巨大,严重阻碍了软件业的发展,据相关分析表明,软件项目失败的主要原因之一在于缺乏有效的风险管理方法。因此深入探讨和研究有效的软件项目风险管理方法具有十分重要意义。

本文以软件项目风险评估为研究切入点,结合已有相关研究成果,进行了以下的研究:

(1)通过国内外文献梳理,找出了73种软件项目开发中可能发生的内部风险因子,结合实际情况,对73种风险因子进行了筛选、语义合并,因子降维,最后识别出H公司软件项目开发阶段常见的8大类风险共计27个风险因素。

(2)分析了FISM、ANP及灰色聚类在研究应用中优缺点,阐释了三种方法相结合应用的优点,通过三种方法联用可弥补这三种方法单独应用存在的不足,从而构建了FISM-ANP-灰色聚类三法结合的软件项目开发风险评价方法,并详述了建模过程原理。

(3)将上述方法运用到H公司B县电子政务系统工程项目的风险评估中,进行建模分析,通过模型解释结构模型确定风险因素之间的存在的直接与间接的关联关系,绘制了B项目开发阶段系统风险因素的网络层次结构关系,结果直观的显示出B项目风险产生的深层次根本原因及系统风险产生的强烈驱动因素与依赖性因素,为风险分析提供了一种直观明了的可视化分析方法。

(4)将FISM-ANP-灰色聚类评估方法应用于B项目,得出B项目风险处于中等水平,并对各类风险进行了等级排序,找出了项目的关键风险。将结果与实际相比,结果表明FISM-ANP-灰色聚类的结果符合客观实际情况,验证了FISM-ANP-灰色聚类分析三种方法联用是一种比较优化的方法,也说明FISM-ANP-灰色聚类法是解决软件项目开发风险评价问题的有效方法。

**关键词:** 软件项目, 风险评估, 模糊解释结构模型, 网络层次分析, 灰色聚类

## ABSTRACT

Information technology has become a powerful driving force to promote national economy development, and also, it is one of the most effective way to promote the improvement of the production efficiency of the whole society. The demand for the application software industry is becoming more and more powerful in various fields of the national economy, and efficient software project management can promote software industry to develop rapidly. However, due to the special nature of software products, the risks of software projects have been greatly increased, which has caused the software project development to be hindered by various uncertainties, low project management performance, worried success rate, and the economic losses caused by this are huge, which seriously hampers the development of the software industry. Lack of effective risk management method is one of the important reasons for the failure of software projects. Therefore, it is of great significance to conduct in-depth research on software project risk management.

This paper takes the software project risk assessment as the starting point, and combines the relevant research results to do the following researches:

(1) 73 risk factors that may occur in the development of software projects were collated from domestic and foreign documents. Based on the actual situation, 73 risk factors were screened, merged, and eliminated. Finally, the common risk factors in development process of H company software projects were identified. Risks are divided into 8 categories and a total of 27 risk factors.

(2) We analyze the advantages and disadvantages of the methods of FISM, ANP and Grey clustering in the past research and application. Then we illustrate the advantages of the application of the three methods combining, it can make up for the shortages of these three methods when they are used alone. Finally, we constructe a risk assessment method of software project development with FISM-ANP- Grey clustering integrated. And the modeling process is described in detail.

(3) The above integration method is applied to the risk assessment of B county E-government system project development phase to conduct modeling analysis in H company, draw the hierarchical structure relationship of system risk factors in the development phase of B project and the result visually shows the underlying root cause

of risk for B project. It also shows strongest driving and dependence factors that drive project risks, So this is a straightforward method of visualization for risk analysis of project.

(4) Through the FISM-ANP-grey clustering assessment method, this paper evaluated the overall risk level of the B project and ranked the risks in various categories and identified the key risks of the project. Comparing the calculation results with the actual situation. The result shows that the results of FISM-ANP-grey clustering integrated are in line with the objective situation, thus verifying the FISM-ANP-grey clustering integrated is effective. So it shows that the ISM-ANP-Grey clustering integrated method is an effective method to solve the risk assessment problems in software development.

**Key words:** Software project, Risk assessment, Fuzzy Interpretive Structural Model (FISM), Analytic network process (ANP), Grey cluster

## 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
1.1 研究背景目的与意义 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 研究目的与意义 .....	2
1.2 国内外研究综述 .....	3
1.2.1 软件项目风险管理体系相关研究 .....	3
1.2.2 软件项目风险评估相关研究 .....	4
1.2.3 ISM、ANP、灰色聚类应用与评述 .....	5
1.3 研究对象、方法、内容框架及创新点 .....	7
1.3.1 研究对象范围及方法 .....	7
1.3.2 研究的创新点 .....	8
1.3.3 研究内容与框架 .....	8
<b>第二章 相关研究理论与方法</b> .....	10
2.1 软件项目风险管理理论 .....	10
2.1.1 软件项目风险管理 .....	10
2.1.2 软件项目风险识别 .....	11
2.1.3 软件项目的风险评估 .....	13
2.2 模糊解释结构模型 .....	13
2.2.1 解释结构模型基础理论 .....	14
2.2.2 模糊解释结构模型相关理论 .....	16
2.3 网络层次分析法 .....	17
2.4 灰色聚类分析法 .....	19
2.5 本章小结 .....	21
<b>第三章 软件项目开发阶段内部风险评估指标体系构建</b> .....	22
3.1 风险因素的识别与筛选 .....	22
3.2 风险分类 .....	25
3.3 确定风险评价指标体系 .....	26
3.4 本章小结 .....	27
<b>第四章 结合 FISM-ANP-灰色聚类的项目风险分析与量化评估</b> .....	28
4.1 FISM-ANP-灰色聚类分析方法结合的机理 .....	28

4.2 FISM-ANP-灰色聚类的项目风险分析与评估框架 .....	29
4.3 基于 FISM 的软件项目开发风险因素关系分析 .....	30
4.3.1 软件项目开发阶段风险 FISM 模型构建 .....	30
4.3.2 FISM 的风险因素关系结果分析 .....	31
4.4 软件项目开发阶段风险量化评价 .....	31
4.4.1 FISM-ANP 权重确定 .....	31
4.4.2 建立灰色评价矩阵 .....	34
4.3.3 风险综合评价 .....	37
4.5 本章小结 .....	37
<b>第五章 基于 FISM 模型风险因素相关性分析的案例应用 .....</b>	<b>38</b>
5.1 案例背景与数据来源 .....	38
5.2 基于 FISM 的 B 项目开发风险递阶结构构建 .....	40
5.2.1 B 项目风险因素模糊邻接关系矩阵构建 .....	40
5.2.2 计算模糊可达矩阵及确定 $\lambda$ 水平划分值域 .....	40
5.2.3 计算 $\lambda$ 水平截矩阵、布尔可达矩阵、骨架矩阵 .....	40
5.2.4 截矩阵层次结构 .....	40
5.3 结果分析 .....	48
5.3.1 多级递阶解释结构图 .....	48
5.3.2 风险因素层次关系结果分析 .....	48
5.3.3 风险因素驱动与依赖结果关系 .....	50
5.4 本章小结 .....	52
<b>第六章 基于 FISM-ANP-灰色聚类法的风险量化评估案例应用 .....</b>	<b>53</b>
6.1 基于 FISM-ANP 的风险因素权重计算 .....	53
6.1.1 建立 B 项目的 FISM-ANP 风险网络结构 .....	53
6.1.2 构造两两比较判断矩阵，计算权重 .....	53
6.2 构建灰色聚类评价权矩阵 .....	58
6.2.1 确定评价样本 .....	58
6.2.2 计算灰色评估系数 .....	59
6.2.3 计算灰色评估权向量与灰色权矩阵 .....	60
6.3 风险综合评价与结果分析 .....	62
6.3.1 计算风险综合评价价值 .....	62
6.3.2 结果分析 .....	63
6.4 本章小结 .....	65

第七章 结束语 .....	66
7.1 研究总结 .....	66
7.2 研究展望 .....	67
致谢 .....	68
参考文献 .....	69
附录 .....	74

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景目的与意义

#### 1.1.1 研究背景

21 世纪, 信息技术已成为推动国民经济发展的强大动力, 是提高全社会生产效率的有效方法之一。据工信部数据显示<sup>[1]</sup>, 截止 2017 年底, 我国软件和信息技术服务业实现软件业务收入 55037 亿元, 同比增长 13.9%, 实现利润总额 7020 亿元, 比上年增长 15.8%。软件产业呈现出网络化、服务化、平台化、融合化新趋势。智能制造、智慧城市、智慧教育、智能物流配送、智慧商业、智能服务等兴起, 以及互联网+、大数据、云存储等信息技术的推波助澜, 中国的软件行业进入高速发展成长期, 国民经济各个领域对应用软件产业的需求将越来越强劲, 根据 Gartner Group (美国著名咨询公司) 最新预测<sup>[2]</sup>, 中国 2018 年底企业应用软件支出预计将达到 51 亿美元, 较 2017 年增长 18.9%。

然而由于软件没有实体的可见性<sup>[3]</sup>, 它的复杂性, 抽象性、灵活性<sup>[4]</sup>, 大幅增加了项目开发的不确定性, 不确定性意味着更多的风险。据 Standish Group 调查 13522 个软件项目的结果显示, 成功的项目占比只有 1/3; 82% 的项目存在延期问题, 43% 的超预算。

软件产品的特殊性, 使得软件项目开发倍受各种风险因素阻碍, 成功率堪忧, 由此带来的经济损失巨大, 严重阻碍了软件业的发展。分析众多导致软件项目失败的原因发现, 缺乏有效的风险管理方法是导致软件项目失败的重要原因之一。Mishra 指出增加 5% 项目费用作为项目风险管理的预算, 项目成功率将提升 50%-70%。为有效防范软件项目失败, 必须加强软件项目风险管理的意识和能力, 以便更提前做好风险应对与控制计划, 防患于未然。

软件项目风险管理鼻祖 Boehm 将软件项目风险管理划分为风险评估与控制两大部分, 而软件项目风险评估作为软件项目风险管理中重要的组成部分, 按照 Boehm 风险管理体系, 风险评估包括风险识别, 分析、优先级排序三个步骤<sup>[4]</sup>, 是整个软件项目风险管理的基础。如何科学、简洁明了、客观、准确地评估软件开发过程中的风险, 为项目风险应对提供依据指导, 减少风险损失, 提高软件项目开发成功率, 推动软件产业健康发展是软件项目风险管理过程中的关键部分也是难点。而理清风险因素相互作用关系则是风险评估的最基本的前提条件, 只有在理清风险因素关系的基础上, 才能使风险评估更准确切合实际, 但目前关于软件项目风险

评估的研究主要集中在评估方法应用上，而关于风险因素相关性分析研究的文献相对较少，因此研究理清风险因素相互关系的方法，在此基础上进行风险评估量化是十分必要的。

而国内软件项目管理的研究起步较晚，项目风险管理与国外还有较大差距，虽已有大量相关的研究，但目前没有形成一套系统完善易操作风险管理方法，风险管理主要依靠管理人员的个人经验和历史数据，以主观定性分析为主，管理上非常随意。本文基于这样的背景，以软件项目风险关系分析与评估量化为研究点，结合 H 公司 B 县电子政务系统工程项目数据，对软件项目开发阶段的内部风险关系分析与量化评估研究，试图构建一种更客观切合实际的、且相对完善、具有量化特性的软件项目风险评估方法和流程，为软件项目风险管理提供方法依据和参考。

### 1.1.2 研究目的与意义

本文以软件项目风险评估研究为切入点，其研究目的与意义如下：

#### 研究目的：

(1) 用可视化的多级递阶层次结构图直观明了的理清软件项目风险因素之间复杂交织的网络层次结构关系，揭示风险形成的本质，找出系统风险产生的根源和驱动力因素，为风险应对提供有针对性依据，进而提升风险管理效率。

(2) 将 FISM 分析风险因素关系结果作为 ANP 网络结构关系的输入，是对传统 ANP 方法的优化，一定程度上弥补了 ANP 方法容易出现专家决策主观随意，导致判断矩阵的数据基数不一致和缺失的情况及专家难以实现间接影响因素关系比较判断，使得风险因素权重分配结果更符合现实情况，风险评价结果更准确。

(3) 构建了 FISM-ANP-灰色聚类的项目风险评估方法，对 H 公司 B 县电子政务系统工程项目实证分析，风险评估结果与现实情况相比，较为吻合，从而验证了 FISM-ANP-灰色聚类分析三法联用的有效性，说明 FISM-ANP-灰色聚类分析法是解决软件项目开发风险评价问题的有效方法。

#### 研究意义：

(1) 为软件项目风险分析提供直观可视化的方法。

通过多级递阶层次结构图，可直观明了揭示系统风险形成的本质，找出系统风险发生的根本原因（即根源风险）及促使系统风险产生的驱动力因素，从而为软件项目决策者风险应对提供针对性的参考依据。

(2) 构建一种软件项目风险评价的有效方法

运用 ISM-ANP-灰色聚类分析的风险评价，将主观难量化的风险刻画为客观的数值，确定风险大小，完成风险优先级顺序，对关键风险因素重点关注与控制，有

助于软件项目开发的顺利实施与完成。

同时,研究有效的软件项目评估方法,可为软件企业项目风险管理提供参考意见,切实挽回软件企业的经济损失,促进软件产业健康、快速发展,从而提高软件产业的产值与利润,为国民经济的发展做出贡献,也可以丰富和完善软件项目风险管理研究成果,促进软件项目管理学科的发展建设。

## 1.2 国内外研究综述

### 1.2.1 软件项目风险管理体系相关研究

软件开发风险管理始于1989年,软件项目风险管理的鼻祖Boehm<sup>[5]</sup>将软件项目风险管理划分成两部分:风险评估和风险控制。风险评估包括:风险识别、分析与排序。风险控制包括:风险管理计划制定、风险问题解决与监督,从此为软件项目风险管理研究提供了理论基础。

而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。随后美国软件工程研究院(SEI)提出了持续风险管理模型(CRM continuous Risk Management),分别由软件风险评估方法、团队风险管理、持续风险管理三个元素组成。

微软则把风险管理分为五个步骤:风险识别、分析、风险活动计划以及风险跟踪和控制<sup>[7]</sup>。1998年Hall提出六学科风险管理模型<sup>[8]</sup>,该模型强调风险量化与风险控制,是将理论与实际相结合的新尝试。2002年,SEI发布了能力成熟度模型集成(Capability Maturity Model Integration,即CMMI 1.1),至此CMMI被定为国际上软件企业生产过程成熟度等级的认证标准。

自1999年起国内才有关于软件项目风险管理的研究,随后陆续有翻译的专著面市,自2004年起国内才有大量的相关研究,其中比较全面跟系统的研究有:

方德英(2003)<sup>[9]</sup>通过对IT项目风险管理的理论与方法研究,提出了全面风险管理框架和风险管理保障体系,潘春光(2006)<sup>[10]</sup>以CMMI的管理框架为基础,提出了面向风险计划和风险过程控制的风险管理框架,并给出了一种定量分析方法。王梅源(2006)<sup>[11]</sup>以软件外包项目为研究对象,提出了软件外包项目过程的风险管理集成框架;

上述,软件项目风险管理早期是以国外理论体系研究为主,国内由于起步晚,所以关于体系研究较少,早期体系的形成为软件项目风险识别、评估、应对等各环节的方法研究奠定了理论基础。

## 1.2.2 软件项目风险评估相关研究

### (1) 国外研究现状

Suri (2009)<sup>[12]</sup>等利用马尔可夫过程,设计分析软件风险评估性能测量的仿真器。为每个阶段提供了增量风险,并可增加总累积风险。Q Pang(2009)<sup>[13]</sup>运用AHP-灰色关联分析相结合的方法对软件项目风险进行了评估,并验证了有效性。Choetkiertikul & Sunetnanta (2010)<sup>[14]</sup>基于SEI分类法对识别的软件项目风险进行了分类,并对定量CMMI评估模型进行扩展,从而减少风险评估成本; Manalif (2013)<sup>[15]</sup>等将模糊理论与成本估算模型相结合,提出了FUZZY-EXCOM风险评估模型; Kuma (2015)等<sup>[16]</sup>基于软件项目全生命周期,利用贝叶斯网络来估算风险概率值,提出了一种软件风险概率评估方法; Franch等 (2015)<sup>[17]</sup>基于开源软件研究了风险因素选取的方法和并指出了持续风险评估的重要性。Askerzade (2016)<sup>[18]</sup>等为了更有效的对风险进行管理,运用统计学原理提出了风险因子降维的方法,并结合风险矩阵对软件项目风险进行等级评估。Vahidnia (2017)<sup>[19]</sup>等则针对小型软件项目运用故障模式分析进行项目总体风险等级评估,非常适用于资源有限的小型软件公司; Bohan (2017)<sup>[20]</sup>提出了基于常见风险影响程度的风险管理策略的选择方法,并以三家公司的具体运营数据进行测试。

### (2) 国内研究现状

催杰<sup>[21]</sup> (2006) 基于灰色理论,提出了一种的软件项目内在风险评价方法和灰色评价计算思路,为软件项目开发风险应对决策提供了有力的分析工具;冯楠 (2007)<sup>[22]</sup>则以项目开发和投资过程为研究范围,研究了一种动态软件项目开发风险管理方法,并构建了基于人工神经网络的投资风险评估模型;于本海 (2009)<sup>[23]</sup>利用AHP构建了软件项目的风险投资方案优选模型,为项目决策者风险投资决策提供参考依据,理论上减少了决策失误;丁剑洁等 (2010)<sup>[24]</sup>基于粗糙集理论给出了两个风险因子的相关性系数以及不可分辨矩阵的计算方法,为风险控制提供有效的应对策略;幸莉仙等 (2012)<sup>[25]</sup>结合AHP与模糊综合评价两种方法集成构建了软件项目风险评价方法;李伟涛等 (2013)<sup>[26]</sup>将AHP和灰色定权聚类分析相集合,提出了一种AHP-灰色聚类的软件项目风险评价方法,并实例证明其有效性;刘明友&帅建锋 (2013)<sup>[27]</sup>基于CMMI模型的风险管理流程,对风险准备、风险评估和风险控制进行了详细的分析研究;张婧文,刘新慧(2015)<sup>[28]</sup>关注到了软件项目需求的复杂性和多变性,并将风险管理理论运用到了软件研发项目管理中,提出了促进软件开发项目需求阶段高效运作的作用机理模型,并给出了相应的管理建议。吴登生、李建平(2015)<sup>[29]</sup>等人研究了软件风险控制的理论方法,以一种多目标优化控制模型来进行风险管理成本控制,得出了成本和风险暴露值之间的非线性置换关系;杨国有 (2016)<sup>[30]</sup>

运用G1法对AHP进行了改进,提出了一种基于G1-AHP的风险指标权重计算的新方法,弥补AHP的不足;唐爱国和胡春华(2017)<sup>[31]</sup>提出了一种基于模糊理论的软件风险评估模型,以多种风险因素及风险后果的组合影响和单个风险对于整体的影响为度量对象,提高专家评估的准确性。

上述可知,国外关于已形成较为完善的软件项目风险管理理论体系,而国内则是沿用国外已成熟的体系,在风险管理方法上,尤其是风险评估方法国内外的学者们广泛的将系统工程理论,数学建模等各个领域思维应用到软件项目风险管理里面来,但还没有形成统一完善统一的分析评价方法和流程。

### 1.2.3 ISM、ANP、灰色聚类应用与评述

随着项目风险管理的研究不断深入,解释结构模型(ISM)、层次分析法(AHP)、网络层次分析法(ANP)、灰色聚类分析已被广泛的应用到各类项目的风险评估中来,使得项目风险评估方法越来越丰富多样化。

#### (1) 应用现状

邵强<sup>[32]</sup>采用了ANP方法建立了风险网络结构,得出了国际石油项目面临的主要风险;杜红兵<sup>[33]</sup>等建立了FUZZY-ANP的空管安全风险评估方法,通ANP权重确认找到影响空管安全风险的关键指标,并发现Fuzzy-ANP分析法有助于确定安全风险评估的重点;张莉<sup>[34]</sup>针对IT项目中风险因素相互影响的关系,将ANP方法应用于IT项目风险评估中;葛方振等<sup>[35]</sup>将灰色聚类法应用于软件项目风险评价中,得出符合实际的结果;王延明<sup>[36]</sup>则将灰色聚类分析应用到软件需求风险分析中;文献<sup>[37-39]</sup>也将灰色聚类分析法应用到工程项目,施工安全,桥梁施工,项目工期,房地产项目开发等领域的风险评估研究中。为解决水电工程项目群风险评估方法在处理指标相关性方面存在的不足,江新等<sup>[42]</sup>提出基于网络分析法(ANP)-灰色模糊理论的水电工程项目群风险预警方法,实例验证其有效性;廖奇云<sup>[43]</sup>基于ANP和灰色聚类法对国际铁路EPC项目进行了风险评价研究;项勇<sup>[44]</sup>等也基于灰色聚类-网络分析法应用到工程项目风险评价中。

从上述文献研究中我们发现ANP在确定因素权重时,考虑了元素间以及元素组间的相互依存影响关系,更符合现实复杂的系统而被应用到各决策与评价领域。但ANP在成对比较,构造判矩阵时也存在一些问题,它只通过元素间的直接影响关系计算指标权重,而未考虑复杂系统中经过中间指标形成的间接影响,权重结果准确度受影响,为了弥补这种不足,郑红莲<sup>[45]</sup>将DEMATEL决策实验室法与ANP相结合的方法,构建了DANP-灰色聚类IT项目风险评价模型,并得到了更切实际的结果;刘宏,孙浩<sup>[46]</sup>基于DEMATEL-ANP的PPP项目融资风险分析;王婷<sup>[47]</sup>也将ISM的因素

关系,作为ANP结构的输入,建立了ISM-ANP的企业环境战略决策模型,并实证研究得出结果贴近现实;刘贵文等<sup>[48]</sup>将ISM模型应用到的城市更新项目风险因素关系研究中,通过多级递阶图找出了风险发生的最根本原因;乌云娜等<sup>[49]</sup>等将ISM-HHM方法运用到PPP项目风险识别中,揭示了风险因素之间内在影响,更利于风险分担框架的制定。王源梅<sup>[50]</sup>运用ISM对软件外包全过程风险结构进行了实证分析。

## (2) 方法评述:

由上述,①ANP是一种很好的系统决策方法,已广泛应用到风险评价指标权重计算中。ANP考虑到指标之间相关性,可以很好弥补AHP等其它主观赋权方法未考虑因素相互作用的缺陷,但ANP方法中容易出现专家决策主观随意,导致判断矩阵的数据基数不一致和缺失的情况,且ANP只反应因素之间直接影响关系判断比较,专家难以实现间接影响因素关系比较判断,而在软件项目开发过程中,风险因素往往会将影响通中间因素传递给第三个因素,这种间接关系的理清需要更新的方法结合使用,ISM分析法可同时反馈这种直接与间接关系,很好的为ANP网络结构提供风险因素关系基础。

②ISM模型通过有向图来描述各元素间的关系,以表示系统元素集合体的模型,把现实中较为复杂的系统拆分成若干个不同的子系统或者不同的元素。最终构建因素之间的层级递阶结构图,使元素之间的关联关系层次分明,直观可视化,被广泛应用到各种交织复杂的系统元素关系分析中。它最大的特点是把复杂混乱无序,模糊不清的思想,看法转化为直观具有良好结构关系的模型。通过元素之间的二元关系,构造的矩阵,通过逻辑运算,得到元素在系统内部元素中经过一定长度的通路后的可达程度,这与系统风险因素之间相互影响作用的传递性不谋而合,这种传递性即形成了风险因素之间的间接作用关系。但ISM模型存在固有的不足,只考虑系统元素间是否存在关系,而未涉及关系的强弱<sup>[51]</sup>,无法表示现实中系统元素相互作用的强弱关系,而实际中风险因素之间相互用影响关系强弱是不同的,将关系作模糊关系处理,可以在一定程度上解决此类问题<sup>[51]</sup>,因此本文结合模糊理论与ISM方法,利用模糊解释结构模型(FISM)既能确定风险因素之间的直接与间接作用关系,还可反应这些关系的强弱,弥补ISM的不足,同时,通过FISM模型的层级递阶结构图,可以清楚的识别出系统风险产生的根源因素与主要的驱动力因素。

③灰色可能度(白化权)函数聚类方法通过划分灰类,白化模糊信息的过程,将模糊难以量化的观测指标或观测对象聚类成若干个可以定义类别。而软件项目系统风险太多的不确定,主观难以量化的特点正符合了灰色聚类指标对象的特点,且灰色聚类分析法对样本量要求不高,样本无需服从特殊分布规律,样本量也可多可少,运算量不大,Excel函数即可算出结果,因此,在样本量很少的情况下此

方法是一种有效的评价方法。灰色聚类将灰色模糊的信息透明化,使得评价模型和评价过程更符合客观规律与现实情况,因此本文采用灰色聚类进行风险等级划分。

由上所述,FISM既可以反应出风险因素之间的直接与间接影响关系,同时也可以识别系统风险产生的根源因素及驱动力因素,为ANP网络层次结构关系提供风险因素关系基础,某种程度上解决了ANP方法中专家判断矩阵的数据基数不一致和缺失的情况及专家难以确定风险因素之间间接影响关系,是对ANP方法数据输入的一种优化;而每种风险因素在系统风险的主导权重不一致,因而在进行风险量化风析时,除了要考虑风险因素对项目目标影响度及风险发生概率的大小以外,还应考虑风险因素在系统风险中所占的权重比例,采用灰色定权聚类分析法,可实现无规律的小样本范围内,既考虑风险对项目目标的影响程度与发生概率又兼顾风险因素的权重的目标,从多个维度对风险进行量化评估,可更大程度降低由于主观评价带来偏差。因此本文提出了将模糊解释结构模型(FISM)、网络层次分析(ANP)、灰色聚类相结合的方式构建软件项目风险评价的集成方法,旨在为软件项目风险评价提供更科学全面符合实际的方法,实现理论与实际相结合。

### 1.3 研究对象、方法、内容框架及创新点

#### 1.3.1 研究对象范围及方法

##### (1) 研究对象与范围

由于软件项目的风险大部分集中在开发阶段,且内部的风险远远大于外部风险,因此本文将研究范围设定为项目开发阶段的内部风险,包括需求、设计和实施阶段的风险,以H公司B县电子政务工程系统项目开发阶段内部风险为研究对象。而项目立项阶段、可行性分析阶段、投标阶段以及后期维护阶段的风险由于本人水平与时间限制,暂不作研究。

##### (2) 研究方法

本文通过理论与实证分析相结合的思路,对软件项目风险评估研究。

##### ① 文献研究法

通过文献与书籍研读理解研究相关的理论基础,找出软件项目中可能发生的风险因子,为风险评估奠定基础。

##### ② 问卷法

为确定实际项目中风险因素之间相互影响关系及关系强弱,计算风险指标权重,确定风险值大小,通过问卷调研搜集专家意见,真实反应实际情况,为分析根源风险和风险量化评估奠定基础。

##### ③ 定性与定量相结合的方法

在软件项目开发阶段，太多不确定性导致主观风险因素较多且影响较大，考虑主观风险因素难以量化及人类思维模糊性的特点，采用定性定量相结合分析方法。

定性分析是将主观无法量化的风险，运用模糊的语言进行初级评定。

定量分析是在定性分析基础上，进行风险指标影响程度及风险发生概率通过模糊语言转换，再通过一定的数学模型与方法合成，得到风险的量化值。

### 1.3.2 研究的创新点

提出 FISM-ANP-灰色聚类集成的风险分析与评价方法。这种集成方法相比在以往方法有如下改进：

(1) 提出了一种可视化风险识别分析方法。通过模糊解释结构风险分析模型，可理清风险因素间复杂混乱的直接与间接影响关系，由 FISM 结果绘制出风险因素的递阶结构层次结构图，使风险识别与分析变得直观明了，通过这种结构图可快速的分析出系统风险发生的深层根本原因和驱动力关系，为风险识别分析提供了一种新思路。

(2) 将 FISM 理清的风险直接与间接影响关系作为 ANP 网络结构关系的输入，是对传统网络层分析的优化，某种程度上解决了 ANP 方法中专家判断矩阵的数据基数不一致和缺失的情况，弥补了专家主观难以确定风险因素之间间接影响关系。使得风险指标权重计算更合理，风险量化结果更符合实际情况。

### 1.3.3 研究内容与框架

第一章 绪论。阐述研究背景、目的与意义、国内外研究现状，分析 ISM、ANP 灰色聚类方法的优缺点，并重点阐述了本文将三种方法结合使用的原因及三种方法结合可解决的问题，为本文量化风险方法的选取提供依据，最后确定本文研究范围对象、方法、内容及框架。

第二章 阐述研究相关的理论和方法。介绍了软件项目风险管理相关理论，尔后介绍解释结构模型，模糊解释结构模型，ANP 网络分析法，灰色聚类分析法的相关理论基础。

第三章 对软件项目开发阶段的内部风险进行识别，找出 8 大类风险 27 种风险因素，构建了软件项目开发阶段内部风险评估指标体系，为第五、六章案例分析提供风险指标基础。

第四章 阐述了 FISM-ANP-灰色聚类的软件项目开发风险评估的过程原理。

主要分两个步骤：(1) 构建软件项目开发风险关系分析的 FISM 模型；(2) 将 FISM 模型的风险因素关系作为 ANP 网络结构的输入，构建 FISM-ANP-灰色聚类

的风险评估模型。

第五章 基于 FISM 模型的 B 项目开发风险因素相关性分析。

以 H 公司 B 县的电子政务系统工程项目为实证案例，以下都简称 B 项目，构建 B 项目风险的 FISM 模型，运用 PHP 程序计算分析得到 B 项目风险因素的多阶解释结构图，由结果分析得出 B 项目开发阶段的根源风险因素，表面风险因素、中间层风险因素与系统风险产生的驱动力因素。

第六章 基于 ANP-灰色聚类分析法的 B 项目开发风险量化评估，得出 B 项目的各类风险及系统水平，并与实际情况进行对比，与现实情况比较吻合，从而说明该方法的有效性。

第七章 研究总结与展望。

由上述得出本文的研究思路框架结构如下图 1-1。

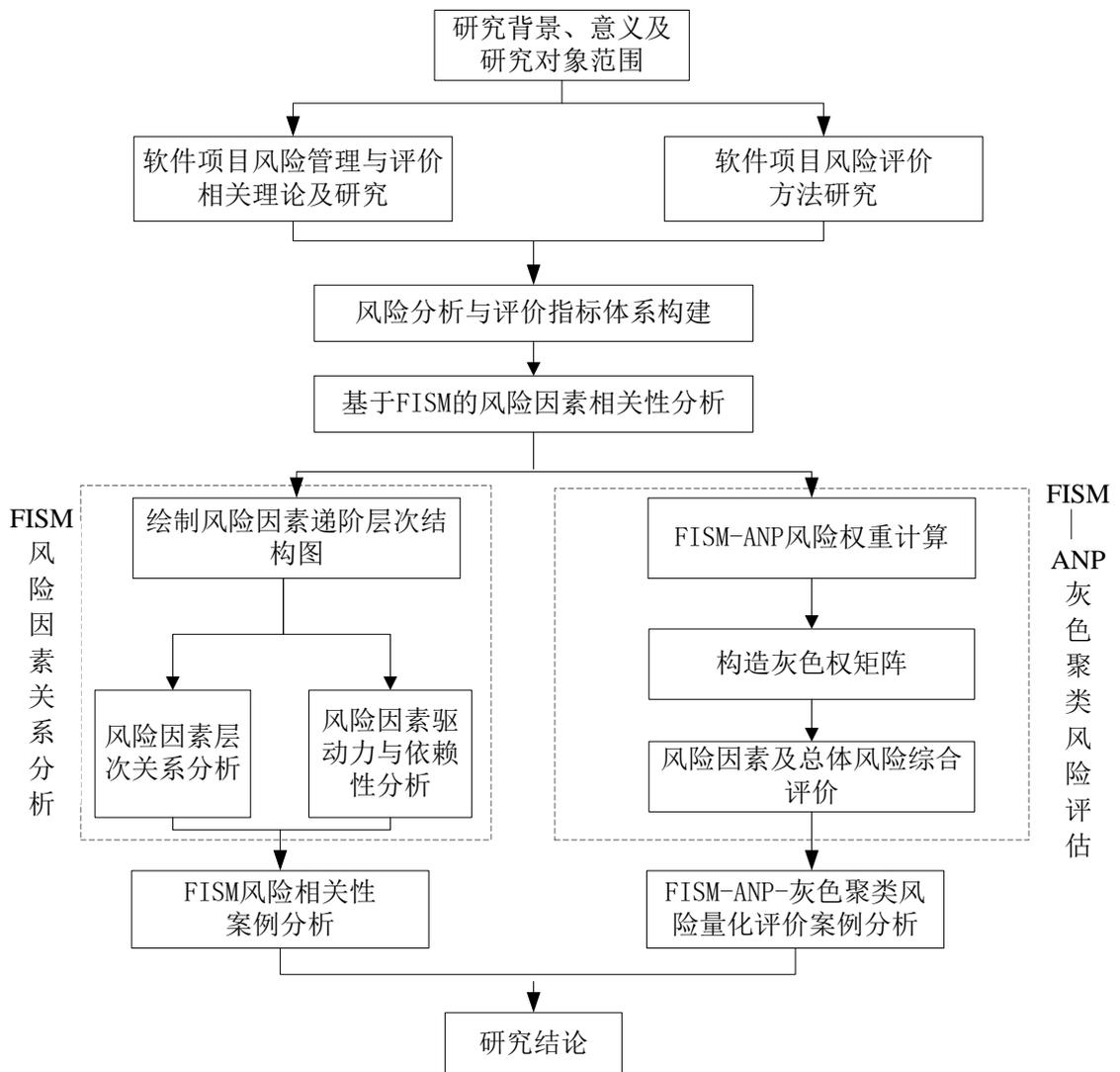


图 1-1 研究框架

## 第二章 相关研究理论与方法

### 2.1 软件项目风险管理理论

一般地，风险是一组或一件不确定性的事件，当这些事件发生时，对项目目标达成产生的影响。它是由机会或威胁所发生概率及对目标的影响程度两部份构成。

**威胁：**指可能对目标带来负面影响的不确定性事件。一般我们研究和讨论的风险指的是威胁，正因为有威胁，甲方才会把项目交给项目建设方去做。

**机会：**指可能对目标带来正面影响的不确定性事件。正因为有机会，项目建设方才愿意承担项目。

目前在国内外学术研究中，还未对风险进行统一的定义，不同的领域和不同学者提出了不同诠释和定义。**Richard** 认为，风险是“承担损失或者承受消极影响的可能性”<sup>[52]</sup>，美国软件工程研究院（SEI）认为风险是承受损失的可能性等。项目风险主要是指项目实施过程中，由于不确定性因素导致的项目目标偏离，造成项目损失（可能在项目进度、项目成本、项目质量等方面）的所有风险事件。

本文探讨指的风险主要指不确定性事件构成的威胁：从两个方面对风险定义：  
1、风险发生的可能性，即风险发生的概率 2、风险事件的出现给目标所造成的损失影响程度。

#### 2.1.1 软件项目风险管理

##### （1）项目风险管理

项目风险管理是指在整个项目生命周期内，对可能会出现的风险进行识别、评估量化，并提出风险应对与控制方案，采取相应措施，对风险管理过程监督，使项目顺利完成并达标的科学管理方法。项目风险管理就是不停地研究项目风险的各种特征和规律，并通过识别对风险发生的可能性与造成的损失进行评估，然后提出针对性的应对措施与方案并实施。最后是风险监控，以规避、减缓或遏制风险带来的不良影响。各种不同的风险因素构成了项目的系统风险，因此可以按照系统工程理论的思想实施项目风险管理。将项目看成一个系统，对项目进行分解，确定可能的风险环节（即：风险识别），然后是风险节分析（即风险分析与评价），并根据结果提出风险应对措施（即制定风险应对计划），最后实施与监控（即：风险监控）<sup>[53]</sup>。这是一个持续不断的循环过程，如图 2-1 所示：

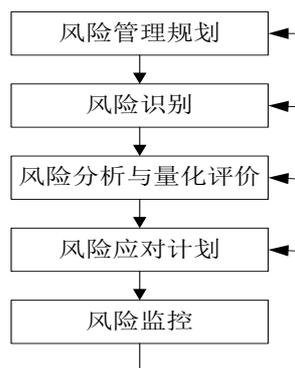


图 2-1 整个项目风险管理的全过程

## (2) 软件项目风险管理

由于软件产品抽象灵活不具可见性，这些特性导致软件项目在开发过程存在的不确定性因素众多，不确定性即构成风险，使得软件项目一直以来都被定义为高风险类的项目，相比传统实体工程项目其风险高出了许多。

软件项目风险管理是指在项目实施过程中对各种不同风险全方位的识别、评估、应对和监控，达到减少风险发生的可能性，降低风险带来的损失，减少项目成本，从而实现项目目标的管理过程。

软件项目风险评估作为软件项目风险管理中重要的组成部分，按照 Boehm 风险管理体系，风险评估包括风险识别，分析、优先级排序三个步骤<sup>[4]</sup>，是整个软件项目风险管理的基础。本文即是基于 Boehm 体系开展的风险评估研究。

### 2.1.2 软件项目风险识别

#### (1) 风险识别过程

风险识别是风险管理人员采取严格有效的步骤，运用有关的知识、工具和方法对将来可能会导致风险事件的发生而对企业造成一定损失的风险因素的辨识。一般而言，项目开发每一个阶段所输出的结果都是项目风险识别的依据。软件风险识别的流程如图 2-2 所示。

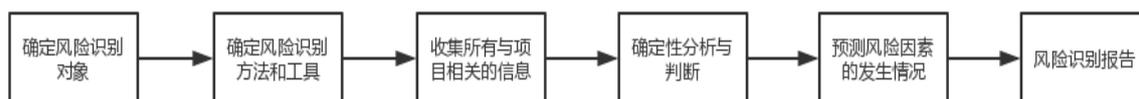


图 2-2 软件项目风险识别流程图

#### (2) 建立风险指标体系原则

风险识别是一个复杂困难的过程，进行风险识别时应遵循以下原则：

- ① 完整性。将可能会影响客体的各种效能风险指标全部集中起来。
- ② 低耦合性。指各风险因素相关性较小，能独立的代表一类风险。
- ③ 简单。风险指标并非越多越好，而应该在满足完整性的前提下，降维聚类处理，尽可能减少各类指标的数量。
- ④ 客观。指标选择应契合相应软件项目的特征。
- ⑤ 灵敏。当指标参数发生变化时，系统应根据变化而对指标作相应的调整。
- ⑥ 一致。指标间目标一致，分析的风险指标互不矛盾。

### (3) 风险识别的方法

在国内外项目风险识别的方法众多，具体到软件行业，其整个项目风险管理过程中的风险识别，主要由以下几种方法如表 2-1。

表 2-1 软件风险识别方法

识别方法	适用情况
风险核对清单	适用于类似的项目
专家访谈法 (Delphi)	适用于有丰富项目经验专家的项目
历史记录统计法	适用于有大量历史数据的类似项目
现场调查法	适用于动态风险的识别与预测
风险数据库	适用于企业基础数据全面的项目
故障树分析法	适用于所有项目
流程图法	适用于分阶段进行的项目
头脑风暴	适用于所有项目
模糊识别法	适用于风险的性态或属性不确定的项目

### (4) 软件项目风险因素

软件项目风险识别的研究较多，如 Ahmed<sup>[53]</sup>指出软件项目可能面临缺乏高层领导支持导致资源分配、授权等程序受阻的风险，Rakos<sup>[55]</sup>以一般风险、财务风险和技术风险三大类概括了软件项目风险。一般风险针对常见的一些风险：如技术人员的不合理调配、技术人员缺乏开发经验、团队合作经验少、沟通障碍、开会次数过多等风险；财务风险是指与资金相关的风险，如预算超支等；技术风险包含开发技术要求过高，缺乏关键技术，开发技术不匹配、使用新技术等等。Jones<sup>[56]</sup>以经济、法律、财务和管理四大类概括软件项目风险，他考虑了软件项目的竞争风险，并将其加入软件项目风险的管理体系中。Boehm<sup>[4]</sup>根据他的理论，软件项目开发过程中共有六大不同的风险因子，它们分别是为人的风险、项目预算的风险、软件开发过程中出现错误的风险、开发过程中存在开发不当的风险、软件最终使用者不满意而导致的风险、项目需求变动引起的风险和项目过程中资源短缺而造成的风险。Cerpa 等人以 70 个失败软件项目的历史数据，总结出了 18 条主要的失败因素，其

中, 风险因素包含未重新评估风险, 和风险控制不当等。近年来, 许多学者都对软件风险进行了重新的定义, 如 Demir<sup>[57]</sup>将项目风险划分为由人产生的风险、过程风险和产品风险。总的来说, 软件项目风险可以按照多种标准进行划分。

由于每一个公司所筛选的风险因素指标会因为自身的公司性质、承接业务的性质、所处的竞争环境等而不同。因此, 针对具体的软件公司的风险因素选择, 需要结合文献整理与调查走访等, 筛选出适宜描述的项目风险指标。

### 2.1.3 软件项目的风险评估

软件项目风险评价是对软件项目实施过程中可能出现的风险发生概率和损失影响程度进行量化排序, 从而得到系统风险总体水平。

软件项目风险管理鼻祖 Boehm 将风险的影响水平即风险当量定义为风险发生的可能性及风险发生的影响程度<sup>[4]</sup>。

风险当量  $RE = P \times C$ , 其中  $P$  表示出现不如意结果的可能性,  $C$  表示不如意结果带来的影响后果。

目前常用的风险评估方法主要分两类: 一种是风险的定性分析方法, 另一种是风险的定量分析方法。

风险的定性分析是为了确定风险源, 用模糊化的语言初步判别风险发生概率与影响严重程度, 从而初步确定整体风险的综合印象。风险的定性分析方法主要有: 直接风险评估法 SCRAM(Short-cut Risk Assessment Method)、总风险暴露指数法 TREc(Total Risk Exposure code)、风险评估指数法 RAC(Risk Assessment Code)等。定性分析对风险的与影响严重程度不做精确的量化, 而是大致将其划分为一些等级, 然后把这两者用不同的方式综合起来衡量风险的大小及重要程度, 并按大小和重要程度对风险进行分类排序。

风险定量分析是在定性分析基础上, 进行风险指标影响程度及风险发生概率进行量化, 再通过一定的方法合成, 得到风险因素及系统风险的量化值。

风险定量分析的方法有很多种, 基于系统工程理论的方法主要有 AHP 层次分析法、熵值法、TOPSIS 法、模糊综合评价方法、灰色关联综合评价、贝叶斯网络评估。

## 2.2 模糊解释结构模型

为分析复杂关联系统问题美国教授 J.Warfiel 提出了解释结构模型(Interpretative Structural Modeling /Method, ISM), 它是一种关于系统的分析方法, 其原理是应用有向图来描述各元素间的关系, 以表示系统元素集合体的模型, ISM 把分析过程中

较为复杂的系统拆分成若干个不同的子系统或者不同的元素。最终将系统构造成一个多层的骨架矩阵，构建因素之间的层级递阶结构图，使元素之间的关联关系层次分明，直观可视化。

ISM 的不足在于，它只划分元素间是否存在关系，无法确定关系的强弱，不适应规范真实世界中模糊不确定的关系，这时应将元素关系进行模糊关系处理，由此得到的 ISM 即为模糊解释结构模型(Fuzzy Interpretive Structural Model)<sup>[51]</sup>。

### 2.2.1 解释结构模型基础理论

(1) ISM 的建模步骤如下：

- ① 组织实施 ISM 专家群，确定系统的元素集  $N = \{S_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ ;
- ② 根据元素之间的相互可达关系，建立邻接布尔矩阵  $A$ ，设  $A$  的元素  $a_{ij}$  定义为  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ ，则根据因素之间的关联性有：

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{元素 } S_i \text{ 与元素 } S_j \text{ 存在直接二元关系} \\ 0, & \text{元素 } S_i \text{ 与元素 } S_j \text{ 不存在直接二元关系} \end{cases}$$

- ③ 由邻接布尔矩阵计算出可达矩阵  $M$ ;
- ④ 对可达矩阵层级划分，删除有重复路径的跨层级关系，得到缩减矩阵;
- ⑤ 建立元素递阶结构有向图。

(2) 可达矩阵求解过程：

假设原始系统对应的原始布尔矩阵  $A$ ，加上单位矩阵  $I$  后，即对角线都加上 1 得到相乘矩阵。对相乘矩阵连乘直到矩阵不发生变化时候，如公式 2-1，即得到可达矩阵  $M$ ：

$$(A + I)^{k-1} \neq (A + I)^k = (A + I)^{k+1} = M \quad (2-1)$$

也可以通过幂乘方法即逐次平方法和 Warshall 算法得到可达矩阵。

(3) 元素层级划分：

在可达矩阵中， $e_i$  所在行的数值为 1 的集合称为可达集合或结果集合，记着  $R(e_i)$ ，代表元素  $e_i$  能到达的所有元素。

在可达矩阵中， $e_i$  所在列的数值为 1 的集合称为先行集合或前因集合，记着  $Q(e_i)$ ，代表可到达元素  $e_i$  的所有元素。

接着可以依据  $R(e_i) \cap Q(e_i) = R(e_i)$  或者  $R(e_i) \cap Q(e_i) = Q(e_i)$  来进行层级划分，这两种方法进行划分结果不相同。

在 ISM 建模中用的是  $R(e_i) \cap Q(e_i) = R(e_i)$  方法来进行层级分解。该方法是结果优先的方法，对可达矩阵  $M$  进行层级划分的步骤如下：

$$M = \begin{matrix} & e_1 & e_2 & e_3 & e_4 & e_5 & e_6 & e_7 & e_8 & e_9 \\ \begin{matrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \\ e_6 \\ e_7 \\ e_8 \\ e_9 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

①构建 $R(e_i) \cap Q(e_i) = R(e_i)$ 交集表 2-2:

表 2-2 可达集与先行集交集表

$i$	$R(e_i)$	$Q(e_i)$	两者交集
1	1,3,6,7,9	1,3	1,3
2	2,4,5,6,7,8,9	2	2
3	1,3,6,7,9	1, 3	1,3
4	4,5,7,8,9	2, 4	4
5	5,9	2, 4, 5	5
6	6,7,9	1,2,3,6	6
7	7,9	1,2,3,4,6,7	7
8	8,9	2,4,8	8
9	9	1,2,3,4,5,6,7,8,9	9

②从表 2-2 中找出 $i = 9$ 满足条件, 即可以抽出 $e_9$ 元素, 并放置在第一层。

③按此方法迭代抽取, 直到所有元素分层完成, 可得 $e_5, e_7, e_8$ 放置到第二;  $e_4, e_6$ , 放置到第三层;  $e_1, e_2, e_3$ 放置到第四层, 如图 2-3。

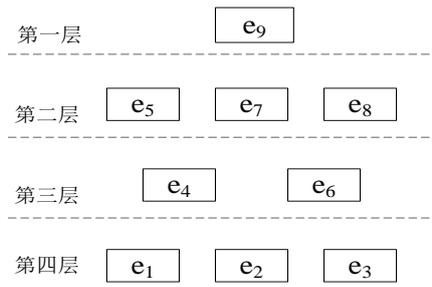


图 2-3 ISM 层次结构分解图

上图 2-3 即是各个元素所处的层级。然后把原始矩阵  $A$  中的关系值代入, 得到如下的层级图 2-4, 其中 $e_1$ 与 $e_3$ 就是一个回路关系, 表示两元素是等价关系, 而 $e_3$ 到 $e_7$ 之间可以通过 $e_6$ 进行传递, 因此他们之间的连线可以删除, 即缩边处理。

根据实际需要, 上图还可进行进一步的简化, 即进行缩点(合并强连通图子集、回路), 在解释结构模型里, 回路里的元素一定存在同一层级。经过缩点与缩边的

矩阵称之为骨架矩阵，与之对应的系统叫骨架系统。

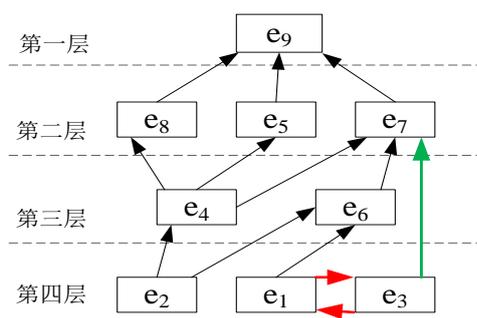


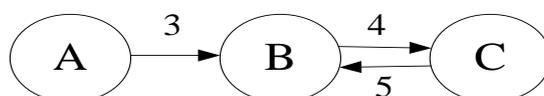
图 2-4 ISM 可达矩阵的递阶结构图

### 2.2.2 模糊解释结构模型相关理论

FISM 模型与 ISM 的基本原理和核心思想是一致的，其最大不同是布尔矩阵与模糊矩阵运算规则上的差别，模糊矩阵通模糊算子最终转化为布尔矩阵运算，涉及以下术语、概念及计算过程的不同。

#### (1) 模糊邻接矩阵

相对于 ISM 中的邻接矩阵，在 FSIM 中系统而元素之间的关系是在统一度量上的模糊关系，通常用归一化的方法将其值域定义在 $[0,1]$ 的区间内。比如下例：



上述系统中以 5 为单位进行归一化即可得到如下模糊邻接矩阵 B：

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

其中 A 元素到 B 元素之间的模糊度为 0.6，B 到 C 的模糊度为 0.8。

#### (2) 模糊算子对选择

在布尔运算中，有两个基础运算即普通代数形式的加法运算与乘法运算，布尔代数中只能取 0 或者 1。其运算规则如下：

$$\text{乘法运算: } 1 \times 1 = 1 \quad 1 \times 0 = 0 \quad 0 \times 1 = 0 \quad 0 \times 0 = 0$$

$$\text{加法运算: } 1 + 1 = 1 \quad 1 + 0 = 1 \quad 0 + 1 = 1 \quad 0 + 0 = 0$$

跟布尔运算相对应，在模糊数域的运算法则叫模糊算子。广义的模糊算子有无穷尽种。常见的模糊算子有 4 种<sup>[60]</sup>

① 最大最小模糊算子<sup>[59]</sup>又叫扎德 (Zadeh) 算子，是运用最广泛的算子，运算法则如下：

$$a \vee b = \max(a, b) \text{ (模糊并运算取最大值)}$$

$$a \wedge b = \min(a, b) \text{ (模糊交运算取最小值)}$$

② 概率模糊算子 概率算子是模糊数学中一个最基本算子。其运算法则为:

$$a \cdot b = ab \quad \text{(模糊交集)}$$

$$a > b = a + b - ab \text{ (模糊并集)}$$

③ 有界算子—运算法则为:

$$a \odot b = \max(0, a + b - 1) \text{ (模糊交集)}$$

$$a \oplus b = \min(1, a + b) \quad \text{(模糊并集)}$$

④ 爱因斯坦算子—运算法则如下:

$$a \overset{\cdot}{\varepsilon} b = \frac{ab}{1 + (1-a)(1-b)} \quad \text{(模糊交集)}$$

$$a \overset{+}{\varepsilon} b = \frac{a + b}{1 + ab} \quad \text{(模糊并集)}$$

上面四种模糊算子是最常见的模糊算子,基于广义模糊算子的定义,上述四个基本模糊算子可以组合出 16 个不同的模糊算子。

关于不同模糊算子求解模糊可达矩阵的结果,黄炜<sup>[60]</sup>在他的论文中用程序反复验证,得出只有选取了最大最小模糊算子的组合,其值域才会不收敛于 0 或 1 的可达矩阵,因此本文在计算模糊可达矩阵时,选择最大最小模糊算子。

### (3) 模糊可达矩阵求解及 $\lambda$ 水平划分值域集

用最大最小模糊算子及公式 2-1 对模糊可达矩阵进行求解,即可求出模糊可达矩阵。

若模糊矩阵  $\tilde{R} = (r_{ij})_{n \times n}$  记  $R_\lambda = (r_{ij}(\lambda))$ , 其中

$$r_{ij}(\lambda) = \begin{cases} 1, & (r_{ij} \geq \lambda) \\ 0 & (r_{ij} < \lambda) \end{cases}$$

则称  $R_\lambda$  为  $\tilde{R}$  的  $\lambda$  截矩阵,  $\lambda$  为  $\tilde{R}$  的水平划分截距<sup>[51]</sup>。

根据模糊可达矩阵中  $\lambda$  的值域集合  $\lambda_i (i \in (0, 1))$ , 运用最大最小算子计算  $\lambda_i$  截矩阵, 得到  $i$  个布尔矩阵, 即将 FISM 转为 ISM 的计算。

## 2.3 网络层次分析法

为解决 AHP<sup>[61]</sup>假设元素间相互独立的限定(不符合系统元素间相互作用的客观现实) 1996 年 Thomas. L. Saaty 教授提出了网络分析法(ANP)<sup>[62]</sup>。ANP 适用于

分析元素间相互交织的复杂网络结构系统，ANP 可以说是 AHP 的一个拓展。

ANP 分析方法突出的优点在于：考虑了元素之间可能存在的相关性，用非线性结构代替 AHP 的线性层次结构，加入元素间的反馈机制，低层元素对高层元素的有支配作用。这种方法很好的解决了现实中，系统内部元素间的相互影响作用的关系，更能反应实际问题，是一种更完备更符合科学的系统决策方法。

ANP 将系统分为两部分：上层为控制层，下层为网络层。控制层包括目标和准则，必须存在目标，准则根据实际情况可无；网络层包括元素组及元素，控制层支配着元素组，元素组间以及内部元素之间相互依存、相互影响，形成系统网络结构<sup>[63]</sup>。由于 ANP 计算过程设计到超矩阵运算，计算过程非常复杂，因此运用 ANP 分析法一般会选择使用与之配套的 Super Decisions 软件或是计算程序来协助计算。典型的 ANP 模型如图 2-5 所示。网络分析法基本步骤<sup>[63]</sup>：

### (1) 元素的相关性分析

经过对需要决策的问题进行系统性分析，将需要决策的问题分解为若干个不同的元素和不同的元素集，判断分解出来的各种不同元素层次的独立性、可能存在的相互依存性及元素之间存在的反馈性。这里的方法可以是让专家打分或根据经验进行头脑风暴。

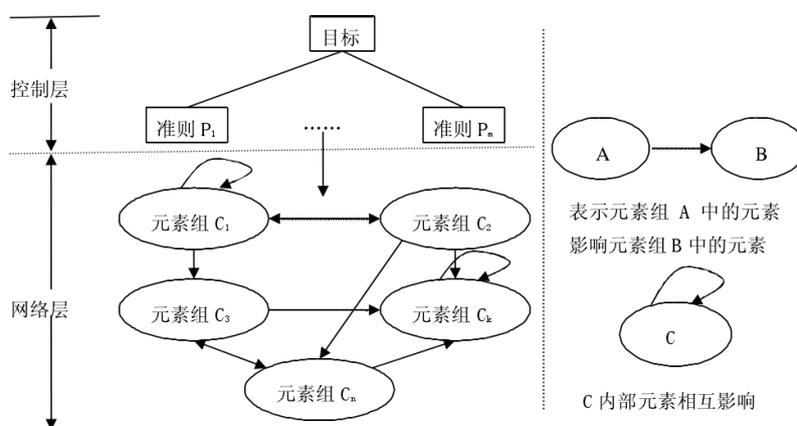


图 2-5 研究中典型的 ANP 方法网络结构图

### (2) 构建 ANP 网络结构

由元素间的相互作用关系即可在 Super Decisions 软件中构建网络层次结构，先是控制层，然后再是网络层。控制层中主要确定目标和相应准则，并用 AHP 的方法获取每个准则对最终目标的权重。然后对网络层元素进行分类，形成不同的元素组，在 Super Decisions 软件中表现为簇（cluster），然后根据（1）分析得到的元素关系将元素组间及无元素间关系进行关联即构成了 ANP 网络结构。

### (3) 构造未加权超矩阵

通过对元素相关分析,对相对比较准则有关系的元素,进行两两元素间的相对重要性比较,构造元素判断矩阵和全部判断矩阵。完成矩阵构造之后,再经过相应的比较,从而获得不同元素组间的相应的权重和判断矩阵的相对权重,构建初始未加权超矩阵。

#### (4) 计算加权超矩阵及极限超矩阵

由未权超矩阵即可计算出加权超矩阵和极限超矩阵,确定元素的优先度结果,即是元素在系统中的权重。

## 2.4 灰色聚类分析法

灰色聚类分析法是邓聚龙教授提出的灰色系统理论<sup>[65]</sup>中一类重要的评价与决策方法,目前已被广泛应用到多个领域的评价系统中,成为各领域决策、预测、分析与控制的重要方法和工具。灰色聚类评估模型包括:灰色关联聚类和灰色变权聚类,灰色定权聚类,混合可能度函数的灰色聚类四种<sup>[66]</sup>,灰色聚类相关概念原理如下:

#### (1) 灰色聚类

假设需要聚类指标有  $m$  个,需要聚类对象有  $n$  个,根据实际情况分为  $s$  个灰类,由第  $i(i=1,2,\Lambda,n)$  个对象关于  $j(j=1,2,\Lambda,m)$  指标的观测值  $x_{ij}(i=1,2,\Lambda,n;j=1,2,\Lambda,m)$  将第  $i$  个对象归入第  $k$  个灰类,称为灰色聚类。

(2) 子类及可能度函数(也叫白化权函数,刘思峰教授在其最新著作《灰色系统理论及其应用.第8版》已改为更名为可能度函数)。

将  $n$  个对象关于指标  $j$  可取值范围分成  $s$  个灰类,则称为  $j$  指标的子类,那么  $j$  的  $k$  子类可能度函数为  $f_j^k(\bullet)$ 。

如图 2-6 所示为典型的可能度函数  $f_j^k(\bullet)$ ,  $x_j^k(1)$ 、 $x_j^k(2)$ 、 $x_j^k(3)$ 、 $x_j^k(4)$  为  $f_j^k(\bullet)$  的转折点,典型可能度函数记为  $f_j^k(x_j^k(1), x_j^k(2), x_j^k(3), x_j^k(4))$ 。

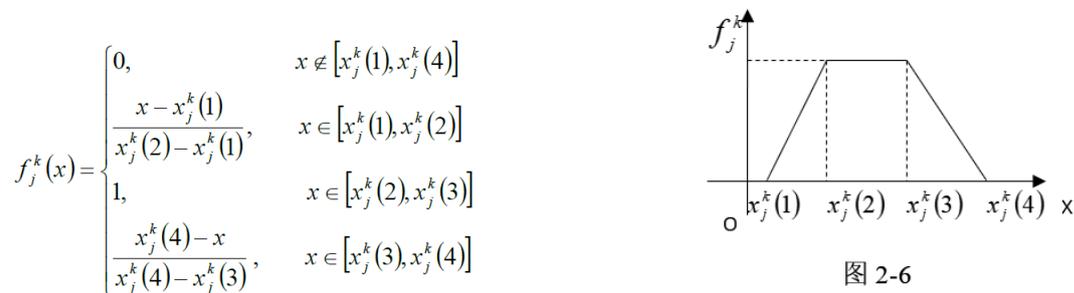


图 2-6

如图 2-7 所示,如果  $f_j^k(\bullet)$  没有转折点  $x_j^k(1)$  和  $x_j^k(2)$ , 则  $f_j^k(\bullet)$  称作下限测度可能度函数:  $f_j^k(-, -, x_j^k(3), x_j^k(4))$ 。

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [0, x_j^k(4)] \\ 1, & x \in [0, x_j^k(3)] \\ \frac{x_j^k(4) - x}{x_j^k(4) - x_j^k(3)}, & x \in [x_j^k(3), x_j^k(4)] \end{cases}$$

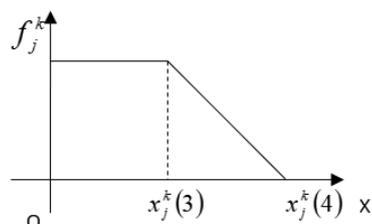


图 2-7

若可能度函数  $f_j^k(\bullet)$  无第 2 个或第 3 个转折点,  $x_j^k(2)$  与  $x_j^k(3)$  重合, 即如图 2-8 所示, 则称  $f_j^k(\bullet)$  为适中测度可能度函数, 记为  $f_j^k(x_j^k(1), x_j^k(2), -, x_j^k(4))$ 。

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [x_j^k(1), x_j^k(4)] \\ \frac{x - x_j^k(1)}{x_j^k(2) - x_j^k(1)}, & x \in [x_j^k(1), x_j^k(2)] \\ \frac{x_j^k(4) - x}{x_j^k(4) - x_j^k(2)}, & x \in [x_j^k(2), x_j^k(4)] \end{cases}$$

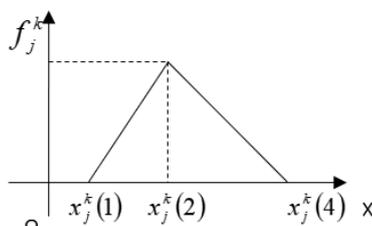


图 2-8

如图 2-9 所示, 若可能度函数  $f_j^k(\bullet)$  没有转折点  $x_j^k(3)$  和  $x_j^k(4)$ , 则  $f_j^k(\bullet)$  称作上限测度可能度函数  $f_j^k(x_j^k(1), x_j^k(2), -, -)$ 。

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0, & x < x_j^k(1) \\ \frac{x - x_j^k(1)}{x_j^k(2) - x_j^k(1)}, & x \in [x_j^k(1), x_j^k(2)] \\ 1, & x \geq x_j^k(2) \end{cases}$$

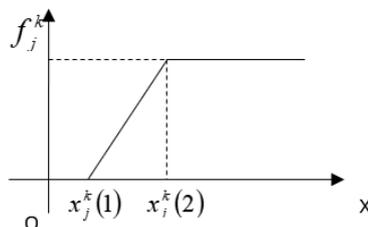


图 2-9

对于图 2-6 所示的  $j$  指标  $k$  子类可能度函数, 令  $\lambda_j^k = \frac{1}{2}(x_j^k(2) + x_j^k(3))$

对于图 2-7 所示的  $j$  指标  $k$  子类可能度函数, 令  $\lambda_j^k = x_j^k(3)$ ;

对于图 2-8 和图 2-9 所示的  $j$  指标  $k$  子类可能度函数, 令  $\lambda_j^k = x_j^k(2)$ , 则称  $\lambda_j^k$  为  $j$  指标  $k$  子类的临界值。

### (3) 子类权及聚类系数矩阵

设  $\lambda_j^k$  为  $j$  指标  $k$  子类的临界值, 则称  $\eta_j^k = \frac{\lambda_j^k}{\sum_{j=1}^m \lambda_j^k}$  为  $j$  指标  $k$  子类的权。

若  $x_{ij}$  是对象  $i$  关于指标  $j$  的观测值,  $f_j^k(\bullet)$  为  $j$  指标  $k$  子类可能度函数。 $\eta_j^k$  为  $j$  指标  $k$  子类的权, 则称  $\sigma_i^k = \sum f_j^k(x_{ij}) \cdot \eta_j^k$  为对象  $i$  关于  $k$  灰类的灰色变权聚类系数。则称:

$$\sigma_i = [\sigma_i^1, \sigma_i^2, \Lambda, \sigma_i^s] = \left[ \sum_{j=1}^m f_j^1(x_{ij}) \cdot \eta_j^1, \sum_{j=1}^m f_j^2(x_{ij}) \cdot \eta_j^2, \Lambda, \sum_{j=i}^m f_j^s(x_{ij}) \cdot \eta_j^s \right]$$

为对象*i*的聚类系数向量。

$$\text{称 } \Sigma = [\sigma_i^k] = \begin{bmatrix} \sigma_1^1 & \sigma_1^2 & \Lambda & \sigma_1^s \\ \sigma_2^1 & \sigma_2^2 & \Lambda & \sigma_2^s \\ \text{M} & \text{M} & & \text{M} \\ \sigma_n^1 & \sigma_n^2 & \Lambda & \sigma_n^s \end{bmatrix} \quad \text{为聚类系数矩阵。}$$

设  $\max_{1 \leq k \leq s} \{\sigma_i^k\} = \sigma_i^{k^*}$ ，则称对象*i*属于灰类*k\**。

灰色变权聚类的主要适用情形是：指标的量纲、意义都相同的情况，如果聚类指标的量纲、意义不同，并且这些不同指标的样本值在数量上也有较大差距时，此时采用灰色变权聚类方法并不合适。可以通过两种方式来解决：一种方式是首先采用均值划算子或初值化算子来将各个指标样本值转化为无量纲数据，经过此步后再进行聚类。所有聚类指标在这种分析方式都被同等看待，从而无法反映研究中的不同指标在聚类的整个过程中的差异和不同。还有一种方式是对研究中的各聚类指标进行先赋权。本文利用第二种方法，先用 ANP 方法把不同聚类的元素赋予不同权重，将这种事先赋予不同权重的方法称为灰色定权聚类法<sup>[65]</sup>。

## 2.5 本章小结

首先介绍软件风险管理的相关理论，项目风险识别与评估的概念与方法介绍；然后详细阐述解释结构模型（ISM）理论，模糊解释结构模型(FISM)相关的计算原理，主要有：如何选取模糊算子，求解模糊可达矩阵，计算 $\lambda$ 截距矩阵以及 $\lambda$ 水平划分截距， $\lambda$ 截矩阵等相关术语概念介绍；最后简述了网络层次分析（ANP）以及灰色聚类法基本概念与原理。

### 第三章 软件项目开发阶段内部风险评估指标体系构建

本章对软件项目开发阶段的内部风险进行识别,通过文献查阅与梳理确定初始风险清单共 73 种风险因子,专家意见及问卷调查,对初始风险清单语义合并,降维,最终确定了 H 公司软件项目开发常见的 27 种风险因素,将其分为 8 大类,最后构建软件项目开发阶段内部风险评估指标体系,为第五章和第六章的软件项目风险分析与量化评估提供指标依据。

#### 3.1 风险因素的识别与筛选

本文风险指标选取过程如图 3-1 所示:

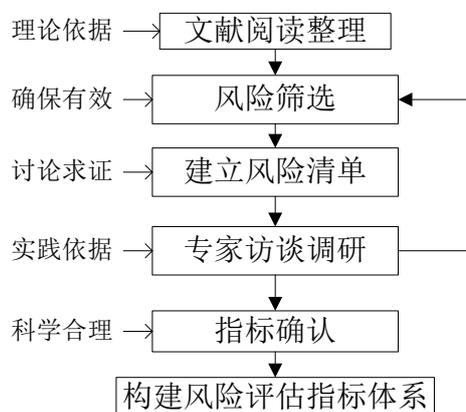


图 3-1 风险识别过程

##### (1) 文献数据整理, 确定初始风险清单

为更全面找出软件开发阶段中的内部风险因素,需尽可能多的找出软件项目开发阶段中的所有风险,基于本研究的案例公司(H公司)没风险数据库,可查阅的关于项目风险历史记录数据也极少,为实现这一研究目标,本文主要参考了国内外关于软件项目风险管理的研究成果,汇总了研究范围内的风险因子。

本文研究范围是开发阶段的内部风险,因此在进文献梳理时,只提取了文献中关于开发阶段的内部风险,通过对文献<sup>[67]-[75]</sup>整理,识别出软件项目开发阶段中可能遇到的风险共 73 种,见表 3-1。

##### (2) 合并语义相同或类似的风险指标

将以上 73 种风险因子与 , 合并或概括一些语意相似或相同的风险因素: “1 软件的实际需求夸大”、“2 需求不正确”、“6 需求不完整,不清晰”、“7 缺少

表 3-1 软件项目开发阶段的 73 种风险因素

序号	风险因素	参考文献	序号	风险因素	参考文献
1	需求延缓	79	38	团队缺乏多样化	72
2	软件的实际需求夸大	80	39	人员流动性大	72、73、74
3	需求不正确	79、72	40	过于依赖少数核心人员	72
4	缺乏冻结需求	72	41	人员缺少必要的培训,项目不能按时完成	75
5	需求不稳定	75	42	缺乏团队训练	72
6	用户需求冲突	76、72	43	组织结构不稳定	75
7	需求不完整,不清晰	76、72	44	资源不足	72、73
8	缺少有充分定义的需求分析过程	81	45	组织缺乏角色和责任	75、72
9	缺少关键技术	75	46	组织内外部用户数量太少	72
10	技术变更	76、79	47	组织结构不成熟	72
11	采用未曾使用过的新技术	75	48	项目资源冲突	75、73
12	缺乏技术反馈	79	49	项目领导者缺乏经验	72
13	团队技术融合糟糕或缺乏	75	50	缺乏高层管理的支持	72
14	开发技术与项目不匹配	75	51	管理模式改变工作形式	79
15	技术感知过于乐观	79	52	缺乏管理参与和支持	73、75
16	项目组缺乏开发技术经验	75	53	项目管理方案糟糕	75
17	开发技术不精湛成熟	75	54	缺乏项目管理经验	75
18	系统依赖性太高	75	55	糟糕的项目管理态度	75
19	缺乏先进的编程经验	77	56	项目管理的权威不够	75
20	镀金	76、78、81	57	缺乏领导力	75
21	缺乏质量保证的途径	75	58	项目规模太大	75、79、72
22	交货进度,质量到不保证	75	59	项目规模评估不准	79
23	缺陷问题追踪不到位	75	60	缺乏成本控制	75、72
24	实时性能不足	78、81	61	产品变更控制能力缺乏	75
25	硬件需求改变	79	62	资源预计不足	78、81
26	太过依赖单独的开发环境	72	63	错误预估软件的成效	80
27	与其它部门连接太广	72	64	(项目)计划过于紧迫	72
28	客户对项目交付不满意	81	65	成本预算不足	72
29	客户冲突	75、74	66	缺乏项目计划	72
30	用户对需求和目标不清楚	72、73	67	缺乏沟通	72、73
31	缺乏用户参与需求分析	75	68	角色和责任定义不恰当	75、72
32	缺乏用户参与验收	75	69	缺乏独立的设计和开发工具	79
33	软件开发人员能力缺乏	77	70	设计错误	76
34	错误估计了员工的技能	79	71	设计要求太复杂太困难	75、76
35	员工士气低效率低	72、73	72	设计质量低下,导致重复设计	76
36	项目组的配置员工不稳定	72	73	设计文件太大不清晰不完整	76
37	项目团队成员太多	72			

有充分定义的需求分析过程”这几种因素结果都是需求不准确，因此统一合并为“需求不准确”；

“3 缺乏冻结需求”与“4 需求不稳定”及“25 硬件需求变更”合并为“需求变更”；

“11 采用前未曾使用过的新技术”简化为“使用新技术”；

“15 技术感知过于乐观”、“16 项目组缺乏开发技术经验”、“17 开发技术不精湛成熟”、“19 缺乏先进的编程经验”都是经验不足的表现，因此合并为“开发经验不足”；

“22 交货进度，质量到不保证”会导致质量不合格，及进度延期，另外“23 缺陷问题追踪不到位”及“24 实时性能不足”也是质量问题，合并为“质量不合格”；

“31 缺乏用户参与需求分析”与“32 缺乏用户参与验收”合并为“缺乏用户参与”；

“33 软件开发人员能力缺乏”、“34 软件开发人员能力缺乏”与“35 员工士气低”合并为“员工士气低效率低”；

“36 项目组的配置员工不稳定”与“39 人员流动性大”合并为“人员流动频繁”；

“41 人员缺少必要的培训，项目不能按时完成”与“42 缺乏团队训练”合并为“团队缺乏培训”；

“44 资源不足”与“48 项目资源冲突”合并为“公司资源冲突或不足”；

“50 缺乏管理参与和支持”与“52 缺乏高层管理的支持”合并为“缺乏高层管理参与和支持”；

“项目领导者缺乏经验”、“53 项目管理方案糟糕”、“54 缺乏项目管理经验”、

“55 项目管理的权威不够”、“55 缺乏领导力”合并为“缺乏管理能力与经验”；

“58 项目规模太大”与“59 项目规模评估不准”都是因规模过大的风险，合并为“项目规模过大”；

“60 缺乏成本控制”与“65 成本控制不足”，合并为“成本超支”风险；

“64（项目）计划过于紧迫”与“66 缺乏项目计划”合并为“项目计划不准确”。

根据专家意见增加了“资源预计不足”的风险和“项目范围蔓延”的风险，由于“13 镀金”的也是项目范围蔓延的一种情况，因此统一合并到“项目范围蔓延”，以上共合并删除了 24 项，增加 1 项目，最后还剩下 50 项，清单如下表 3-2。

### （3）风险指标筛选

以上 50 项风险建立初始风险清单表，为了进一步筛选出主要的风险因素，对 H 公司软件开发相关的专业人员再次访问调研（问卷见附录 1），参与调研的人员主要有：项目经理、技术主管、需求分析师、系统设计师、系统架构师、程序员及

测试工程师、技术支持人员和数据库管理员等，通过现场问卷发放及电子邮件形式，共发放问题 50 份，收回 42 份问题，去掉 6 分无效问题，最后的有效问卷为 36 份。对所有问卷结果进行取平均值的整数，根据问卷统计结果，去掉以下两类风险因素共 23 项目，最后只剩下 27 项。

表 3-2 语义相似的风险因子合并降维后的风险因素清单

序号	风险因素	序号	风险因素
1	需求延缓	26	过于依赖少数核心人员
2	需求不准确	27	团队缺乏培训
3	需求变更	28	组织结构不稳定
4	用户需求冲突	29	公司资源不足或冲突
5	缺少关键技术	30	组织缺乏角色和责任
6	技术变更	31	组织内外部的用户数量太少
7	需求技术过高	32	组织结构不成熟
8	缺乏技术反馈	33	缺乏高层管理的参与和支持
9	团队技术融合糟糕或缺乏	34	管理模式改变工作形式
10	开发技术与项目不匹配	35	缺乏管理能力与经验
11	开发经验不足	36	糟糕的项目管理态度
12	系统依赖性太高	37	项目规模太大
13	项目范围蔓延	38	成本超支
14	质量不合格	39	产品变更控制能力缺乏或不足
15	进度延期	40	资源预计不足
16	太过依赖单独的开发环境	41	错误预估软件的成效
17	与其它部门连接太广	42	项目计划不准确
18	客户对项目交付不满意	43	缺乏沟通
19	客户冲突	44	角色和责任定义不恰当
20	用户对需求和目标不清楚	45	缺乏独立的设计和开发工具
21	缺乏用户参与	46	设计错误
22	员工士气低效率低	47	设计要求复杂
23	人员流动风险	48	设计质量低下，导致重复设计
24	项目团队成员太多	49	设计文件太大，不清晰，不完整
25	团队缺乏多样化	50	资源预计不足

①表 3-2 中基本不会出现且对项目影响可忽略(即无评价的项)的风险共 9 项，风险序号为：3、24、25、30、31、32、36、40、44。

②表 3-2 中风险影响均值小于 3 且风险概率均值小于 0.3 的风险因素共 14 项，序号为：9、8、12、16-19、28、34、39、41、45、48、49。

### 3.2. 风险分类

为了实现更高效的项目风险管理，有必要对风险进行分类管理。风险分类的方

法有很多种，比如按风险源分，按项目目标的影响来分，以组织角度来分，等等。

Mathiassen & Lyytinen<sup>[76]</sup>将软件项目开发风险分为：需求管理风险，系统功能风险，团队管理风险，计划与进度风险，市场风险，资源与性风险；

Wallace & Kell<sup>[77]</sup>将其分为：需求风险，计划与控制风险，团队风险，组织风险，用户风险，复杂性风险，市场风险；

Song H, Wu D, Li M, 等<sup>[74]</sup>将其划分为：需求风险，用户风险，开发者风险，开发过程风险，项目管理风险和環境风险。

胥琳<sup>[67]</sup>将其划分为：需求风险、用户风险、计划和控制风险、技术风险、团队风险、组织风险，合作风险和外部风险；

赵金元<sup>[68]</sup>将其划分为：需求风险、技术风险、人员风险、用户风险、组织环境风险、计划与控制风险、市场与竞争风险；

参照以上分类方式并结合本研究的范围对象（软件开发阶段的内部风险），本研究将软件项目开发风险分为：需求风险、技术风险、设计风险、用户风险、项目管理风险、团队风险、组织风险、计划与控制风险等共 8 类风险。

### 3.3 确定风险评价指标体系

对 27 种风险因素进行分类，得到 H 公司软件项目开发阶段的风险评估指标体系如下表 3-3:

表 3-3 H 公司风险评价指标体系

一级指标	风险标号	二级指标	一级指标	风险标号	二级指标
需求风险 $R_1$	$R_{11}$	需求不准确	项目管理风险 $R_6$	$R_{61}$	缺乏管理能力与经验
	$R_{12}$	需求变更		$R_{62}$	团队缺乏培训
	$R_{13}$	需求技术过高		$R_{63}$	项目规模过大
技术风险 $R_2$	$R_{21}$	缺少关键技术		$R_{64}$	缺乏沟通
	$R_{22}$	技术变更	设计风险 $R_7$	$R_{71}$	设计错误
	$R_{23}$	开发技术不匹配		$R_{72}$	设计要求复杂
	$R_{24}$	开发经验不足	计划与控制风险 $R_8$	$R_{81}$	资源预计不足
	$R_{25}$	使用新技术		$R_{82}$	项目计划不准确
用户风险 $R_3$	$R_{31}$	缺乏用户参与		$R_{83}$	项目范围蔓延
	$R_{32}$	用户对需求和目标不清楚		$R_{84}$	成本超支
团队风险 $R_4$	$R_{41}$	员工士气低效率低	$R_{85}$	质量不合格	
	$R_{42}$	人员流动风险	$R_{86}$	进度延期	
	$R_{43}$	过于依赖少数核心人员			
组织风险 $R_5$	$R_{51}$	公司资源冲突或不足			
	$R_{52}$	缺乏公司高层管理的支持			

### 3.4 本章小结

本章首先结合本研究的对象范围进行文献查阅整理,识别出了软件开发阶段 73 种风险因子,通过语义合并与问卷调研,进行风险因素降维,最后得到 27 种 8 大类主要风险,构建软件开发阶段的内部风险评估指标体系,为后文案例分析提供指标依据。

## 第四章 结合 FISM-ANP-灰色聚类的项目风险分析与量化评估

本章主要采用模糊解释结构模型、网络层次分析及灰色聚类评估方法对软件开发阶段的内部风险关系分析与量化评估，详细阐述三种方法结合的机制和过程原理。首先是 FISM 分析理清风险因素相互影响与相互作用直接与间接关系，并将这种关系植入 ANP 网络结构关系，在此基础上利用 ANP 确定风险因素的权重，最后采用灰色定权聚类分析，进行风险量化评估。

### 4.1 FISM-ANP-灰色聚类分析方法结合的机理

软件项目开发风险因素之间相互联系和影响的关系形成了软件项目开发的系统风险，而各种风险因素在系统风险中的重要性和层次结构不尽相同，因此要准确的对软件项目开发内部风险因素识别、分析与量化，理清风险因素之间的网络层次结构关系，找出风险产生的根源因素及驱动力因素是前提。因此本文将风险评价分为三个步骤：

#### (1) FISM理清系统内部风险因素之间相互影响与作用关系

FISM应用有向图来描述系统内部各因素间的关系，把较为复杂的系统拆分成若干个不同的子系统或者不同的元素。构建因素之间的层级递阶结构图，使原本混乱、离散无序的系统风险因素关系层次清晰，简单明了的理清与识别出风险因素之间的关系及关系的强弱，并通过因素层级递阶结构图对风险关系做出相应的解释，因此将FISM应用到软件开发过程中的相互影响的交织复杂风险因素关系识别与分析，不仅可以理清风险因素之间的直接关系，还能通过直接关系理清风险因素之间的间接关系，为风险量化评估奠定基础。

#### (2) 利用FISM对ANP网络结构关系修正，确定风险因素权重

ANP方法考虑了元素之间可能存在的相关性，用非线性结构代替AHP的线性层次结构，加入元素间的反馈机制，低层元素对高层元素的支配作用。通过ANP分析法可计算出风险因素相互关系不对等，风险因素主导地位不同的相对重要性权重，不同的风险因素对应不同的风险层次和不同的影响作用关系。但是由于专家判断存在主观随意性，两两比较判断矩阵的数据基数可能不一致或缺失，且专家难以确定风险因素之间间接影响关系，因此本文将FISM得到的风险因素关系作为ANP网络结构关系输入，修正原本专家难以确定的因素之间的间接关系，也在一定程度上减小了专家主观判断带来的误差，是对ANP方法的优化，通过FISM-ANP计算风险因素的权重，更切合实际情况。

(3) 风险量化评估

灰色聚类分析对样本要求低，不需样本数据有特殊分布规律，样本少，几个或十几样本的小样本范围也能很好反映实际情况，且计算相对不复杂，结合2.4节中灰色定权聚类分析法的原理，本文采用灰色定权聚类分析法首先确定灰类构造可能度函数，计算灰色评价系数，确定灰色评价矩阵，再结合FISM-ANP的方法计算出风险因素的权重，作为风险因素各灰类的定权系数，评价矩阵与定权系数复合运算，即可实现风险因素从主观语言评价到客观数字化的转换，从而将主观无法量化的风险，通过模糊的语言量化成可对比的客观数值，实现系统风险的评价量化。

FISM-ANP-灰色聚类评估法，即可可实现无规律的小样本范围内，既考虑风险对项目目标的影响程度与发生概率又兼顾风险因素在系统风险中的主导地位权重不同的目标，从多个维度对风险进行量化评估，可更大程度降低由于主观评价带来偏差。这种方法可计算出项目的风险值，得出风险的整体水平，具体步骤原理如下4.2节~4.4节。

4.2 FISM-ANP-灰色聚类的项目风险分析与评估框架

FISM-ANP-灰色聚类方法集成具体过程原理如图4-1所示。

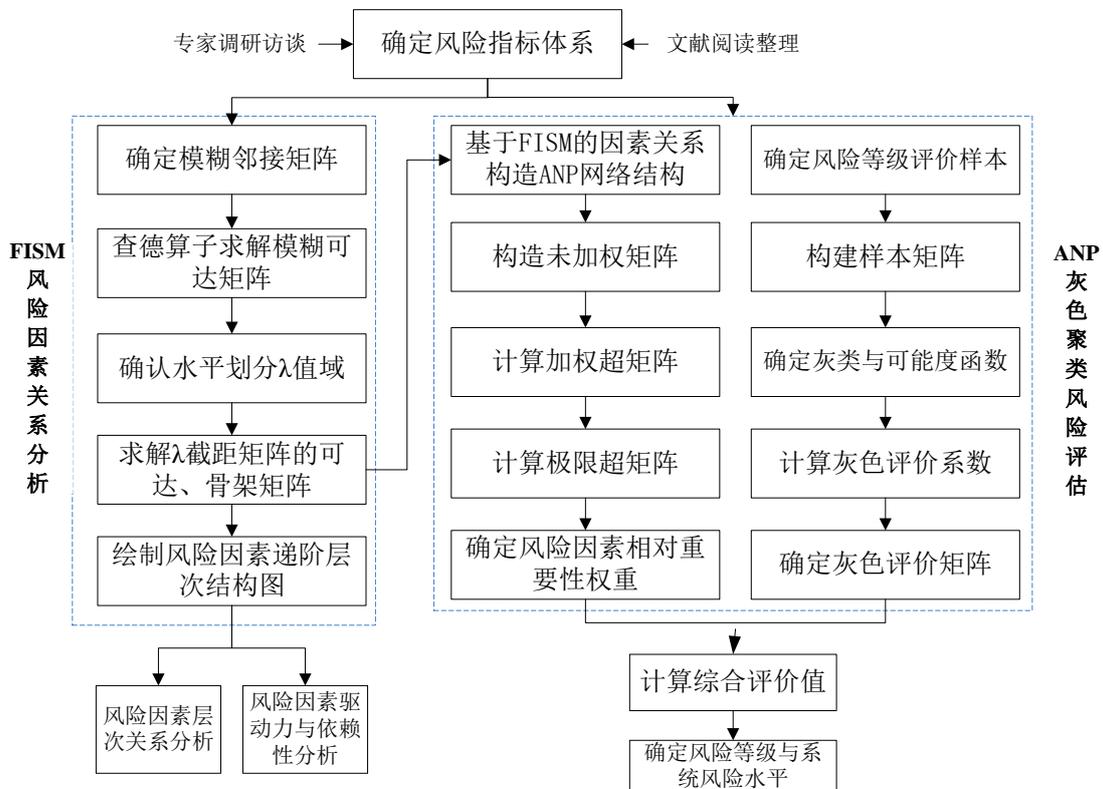


图 4-1 FISM-ANP 灰色聚类风险分析与评估模型

### 4.3 基于 FISM 的软件项目开发风险因素关系分析

软件项目开发风险系统是由各种风险因素组成的，因此在进行系统风险评价之前，首先需要弄清楚风险因素之间相互影响与层次结构关系，才能更准确的评估和量化系统风险。首先利用FISM进行风险因素关系分析，其主要作用有：

(1) 利用现实可知的风险因素之间直接相互作用关系及关系强弱的判断，通过模型运算，找出风险因素的内在关系（间接作用关系）；

(2) 通过 FISM 的递阶结构层次结构图，简单明了理清复杂混乱无序的风险因素相互作用关系，并对这种整理后的风险因素关系进行解释，揭示系统风险发生的根本原因和驱动力关系。

#### 4.3.1 软件项目开发阶段风险 FISM 模型构建

根据2.2.2节模糊解释结构模型的相关知识，软件项目开发阶段风险的FISM模型构建过程如下图4-2：

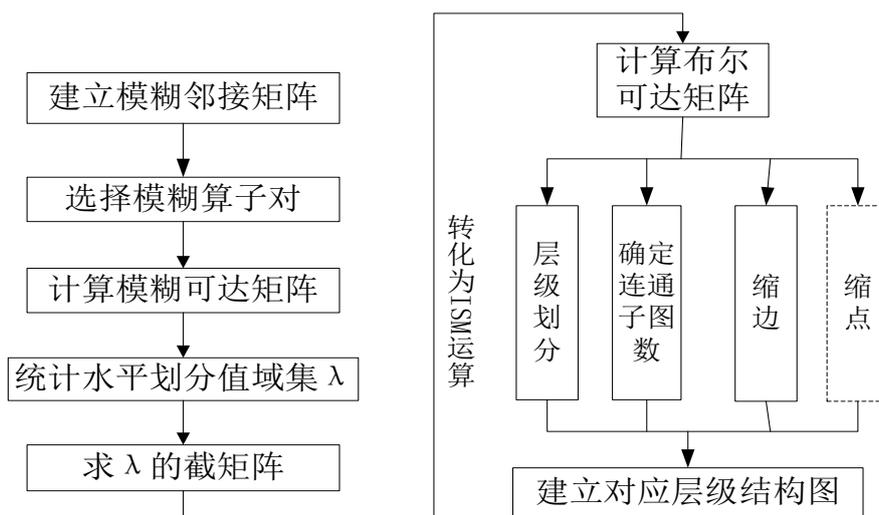


图 4-2 FISM 模型构建过程

步骤一：对识别出的风险因素通过专家判断，确立风险因素两两之间的直接关系程度。根据统计结果，得到风险因素之间初始模糊关系邻接矩阵 $A_0$ 。

步骤二：选用最大最小模糊算子，由矩阵幂乘求出模糊可达矩阵 $A$ 。

步骤三：统计出模糊可达矩阵中的值域集合 $\lambda$ ，即所有非0或1的数值。

步骤四：分别求出值域集合 $\lambda$ 截矩阵 $A_{\lambda_i}$ ，即转化为ISM的运算。

步骤五：计算出所有 $\lambda_i$ 的可达矩阵、骨架矩阵，缩边，并进行层级划分，绘制层次结构图。

步骤六：由专业人士对所有截距阵的层次结构图进行对比分析，确认最佳层次结构图，最后绘制所有 $\lambda_i$ 水平划分骨架矩阵的多级递阶结构图。

### 4.3.2 FISM 的风险因素关系结果分析

由步骤六的结果，即可直观分析软件开发阶段系统风险产生的根本原因，中间层原因及表层原因，由可达矩阵分析出风险因素之间驱动与依赖关系。

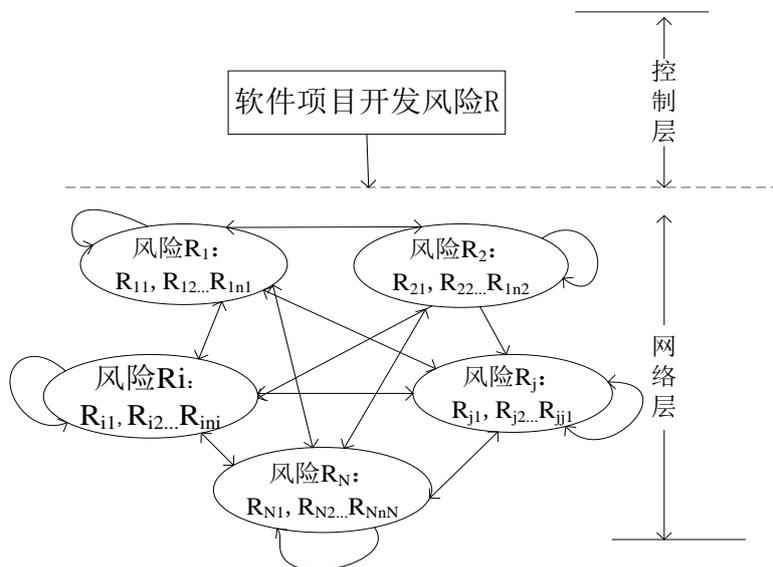
需要注意的是模糊可达矩阵运算量非常大，且较为复杂，当因素太多时，需要借助程序来运算，本文主要通过PHP编制程序运算，得出的结果。

## 4.4 软件开发阶段风险量化评价

### 4.4.1 FISM-ANP 权重确定

(1) 将 FISM 的风险因素层级关系作为 ANP 网络结构关系输入，过程如下：

以软件开发项目总风险  $R$  为目标层；第二层为网络层，将风险因素按风险大类分成不同的风险因素组即一级风险指标，将 FISM 中可达矩阵所体现的风险间相互影响的可达关系（包括直接与间接的关系）作为风险因素网络层次相互作用的关系关系输入。如下图 4-3 所示：



风险因素组  $R_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) 中的内部风险因素  $R_{i1}, R_{i2} \dots R_{ini}$  ( $i = 1, 2 \dots N$ ,  $ni$  表示风险因素  $R_i$  包含风险因素个数) 之间（簇内）、 $R_i$  风险因素组内因素与风险因素组  $R_j$  中的风险因素  $R_{j1}, R_{j2} \dots R_{jn_j}$  ( $j = 1, 2 \dots N$ ,  $n_j$  表示风险因素组  $R_j$  包含风险因素

个数)存在着相互依存影响的网络关系。

(2) 构建未加权初始超矩阵

网络结构形成后,接下来是比较风险因素的两两优势度,得到初始判断矩阵。在 ANP 中有直接优势度和间接优势度两种比较方法<sup>[63]</sup>。本文选用间接优势度比较法构造初始判断矩阵。依据间接优势度比较,借助专家小组讨论判断,以风险 $R_j$ 中的风险因素 $R_{jl}(l = 1,2 \dots nj)$ 为次准则,对 $R_i$ 中的风险因素进行两两比较,采用 1-9 标度法<sup>[78]</sup>如表 4-1 建立风险因素两两比较判断矩阵。

表 4-1 标度判断准则

标度	意义	标度	意义
1	表示因素 $R_{im}$ 与 $R_{in}$ 同样重要	7	表示因素 $R_{im}$ 与 $R_{in}$ 同烈重要
3	表示因素 $R_{im}$ 与 $R_{in}$ 稍微重要	9	表示因素 $R_{im}$ 与 $R_{in}$ 极端重要
5	表示因素 $R_{im}$ 与 $R_{in}$ 明显重要	2、4、6、8	表示上述相邻判断的中值

计算最大特征根,归一化特征向量:

$R_{jl}$	$R_{i1}$ $R_{i2}$ ... $R_{ini}$	归一化特征量
$R_{i1}$		$\omega_{i1}^{jl}$
$R_{i2}$		$\omega_{i2}^{jl}$
...		...
$R_{ini}$		$\omega_{ini}^{jl}$

混乱的判断矩阵不能作风险量化的依据,因此需要进行一致性检验。在 AHP 中引入判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{max}$ 和 $n$ ( $n$ 为判断矩阵阶数)的差与 $(n-1)$ 的比值作为度量判断矩阵偏离一致性的指标<sup>[78]</sup>,即:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1}$$

一致性指标 CI 与该阶数的平均随机一致性指标 RI (平均随机一致性指标表如表 4-2) 的比值记为 CR:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1$$

即通过一致性检验。

表 4-2 平均随机一致性指标 RI 表

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

由特征根法计算得到排序向量 $(\omega_{i1}^{jl}, \omega_{i2}^{jl}, \dots, \omega_{ini}^{jl})$ ,记 $W_{ij}$ 为公式 4-1:

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} \omega_{i1}^{j1} & \omega_{i1}^{j2} & \dots & \omega_{i1}^{jnj} \\ \omega_{i2}^{j1} & \omega_{i2}^{j2} & \dots & \omega_{i2}^{jnj} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \omega_{ini}^{j1} & \omega_{ini}^{j2} & \dots & \omega_{ini}^{jnj} \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

$W_{ij}$ 的列向量就是风险 $R_i$ 中的风险因素 $R_{ini}$ 对风险 $R_j$ 中的风险因素 $R_{jnj}$ 的影响度排序向量,若 $R_i$ 中的风险因素对 $R_j$ 中的风险因素无影响,则 $w_{ij} = 0$  ( $i=1,2,\dots,N$ ;  $j=1,2,\dots,N$ <sup>[63]</sup>)。则风险因素相互影响的未加权超矩阵见公式4-2。

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} R_1 & R_2 & \dots & R_j & \dots & R_N \end{matrix} \\ \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_i \\ \vdots \\ R_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} \begin{matrix} r_{11}r_{12} \dots r_{1n1} & r_{21}r_{22} \dots r_{2n2} & \dots & r_{j1}r_{j2} \dots r_{jnj} & \dots & r_{N1}r_{N2} \dots r_{NnN} \end{matrix} \\ \begin{matrix} r_{11} \\ r_{12} \\ \vdots \\ r_{1n} \end{matrix} & \begin{matrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1j} & \dots & w_{1N} \end{matrix} \\ \begin{matrix} r_{21} \\ r_{22} \\ \vdots \\ r_{2n} \end{matrix} & \begin{matrix} w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2j} & \dots & w_{2N} \end{matrix} \\ \begin{matrix} r_{i1} \\ r_{i2} \\ \vdots \\ r_{ini} \end{matrix} & \begin{matrix} w_{i1} & w_{i2} & \dots & w_{ij} & \dots & w_{iN} \end{matrix} \\ \begin{matrix} r_{N1} \\ r_{N2} \\ \vdots \\ r_{NnN} \end{matrix} & \begin{matrix} w_{N1} & w_{N2} & \dots & w_{Nj} & \dots & w_{NN} \end{matrix} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4-2)$$

(3) 计算加权超矩阵

以上超矩阵中 $W_{ij}$ 是以 $R_{jnj}$ 为次准则,通过 $R_i$ 中风险因素两两比较得到的排序向量,因此 $W_{ij}$ 中每一列都是列归一化的,但是 $W$ 却不是列归一化的,因此需要对控制层(即是系统风险)下的风险因素组 $R_i$ ( $i = 1,2, \dots, N$ )对次准则风险因素组 $R_j$ ( $j = 1,2, \dots, N$ )的重要性进行比较,构造判断矩阵,计算特征向量,验证通过一致性检验,与 $R_j$ 无关的风险因素组排序向量的分为0,得到加权矩阵A如下公式4-3。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{iN} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{Nj} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix} \quad (4-3)$$

对超矩阵 $W$ 中的风险因素进行加权,得到 $\bar{W} = (\bar{w}_{ij})$ , $\bar{W}$ 就是加权超矩阵,其中列和为1。加权超矩阵如下公式4-4:

$$\bar{W} = \begin{bmatrix} a_{11}w_{11} & a_{12}w_{12} & \dots & a_{1j}w_{1j} & \dots & a_{1N}w_{1N} \\ a_{21}w_{21} & a_{22}w_{22} & \dots & a_{2j}w_{2j} & \dots & a_{2N}w_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1}w_{i1} & a_{i2}w_{i2} & \dots & a_{ij}w_{ij} & \dots & a_{iN}w_{iN} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{N1}w_{N1} & a_{N2}w_{N2} & \dots & a_{Nj}w_{Nj} & \dots & a_{NN}w_{NN} \end{bmatrix} \quad (4-4)$$

(4) 计算极限超矩阵确定风险因素权重

进行充分加权风险因素指标运算，使得加权超级矩阵不再有变化，归一化的结果就是极限超矩阵  $W_{\infty}$ ，其列向量即为软件项目风险因素指标  $R_{ini}$  权重向量  $W'$  如公式 4-5:

$$W' = (W_{11}, W_{12}, \dots, W_{ini}, \dots, W_{NnN})^T \quad (4-5)$$

则各风险因素  $R_{ij}$  在各自所属的风险类别  $R_i$  中规范化权重向量如公式 4-6:

$$W'_i = (W'_{i1}, W'_{i2}, \dots, W'_{ini})^T \quad (4-6)$$

#### 4.4.2 建立灰色评价矩阵

(1) 确定评语集

依据评价目标的特点，从定性和定量来描述系统风险和单因素的风险等级水平，将软件项目风险划分成 5 个等级，其评语集分别：很低，低，中等，高，很高，用 0 到 1 之间的数表示风险值的大小，定性与定量的风险值关系对应定义如下表 4-3:

表 4-3 风险值定义<sup>[79]</sup>

风险级别	风险范围	解释说明	应对策略
很低	(0.0-0.2]	风险产生对项目目标产生负面影响可忽略，且发生概率极小	接受，但要注意保持现有风险状态
低	(0.2-0.4]	风险产生对项目目标产生负面影响较小，不会造成较大损失，不影响项目目标达成	在一定条件下可接受，但要进行必要的监控，避免风险恶化
中等	(0.4-0.6]	风险产生对项目目标有中度的负面影响，但不会造成很大的损失	不希望发生，应采取必要的控制措施
高	(0.6-0.8]	风险生产会导致严重的后果，造成较大的损失和影响，影响项目目标达成	不可接受，积极采取应对和控制措施
很高	(0.8-1]	风险产生对项目目标的影响是灾难性的，直接导致项目失败	完全不接受，应立即排除

(2) 确定样本矩阵

假设有 $p$ 位专家对风险因素指标 $R_{ij}$  ( $i = 1, 2 \dots N, j = 1, 2 \dots n_i, n_i$ 表示第 $i$ 类风险所包含的风险因素个数), 第 $m$ 位专家 ( $m=1, 2 \dots p$ ) 对第 $R_{ij}$ 风险因素等级评价观察值分别为 $d_{ijm}$ 。则 $P$ 位专家所构成的样本矩阵 $D$ 如下:

$$D = \begin{matrix} & d_{111} & d_{112} & \dots & d_{11m} & \dots & d_{11p} \\ & d_{122} & d_{122} & \dots & d_{12m} & \dots & d_{12p} \\ & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ & d_{ij1} & d_{ij2} & \dots & d_{ijm} & \dots & d_{ijp} \\ & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ & d_{Nn_N1} & d_{Nn_N2} & \dots & d_{Nn_Nm} & \dots & d_{Nn_Np} \end{matrix}$$

(3) 确定灰类构造可能度函数

将风险指标 $R_{ij}$ 分为 5 个灰子类( $k=1, 2, 3, 4, 5$ ): 很低, 低, 中等, 高, 很高, 将指标 $R_{ij}$ 按 (0, 1) 范围分为 5 个小区间:

$$[0, 0.2], [0.2, 0.4], [0.4, 0.6], [0.6, 0.8], [0.8, 1]$$

$$\text{则: } x_{ij}^1 = 0, x_{ij}^2 = 0.2, x_{ij}^3 = 0.4, x_{ij}^4 = 0.6, x_{ij}^5 = 0.8, \dots x_{ij}^{5+1} = 1$$

取灰类的阈值 (也称临界值)  $\lambda_{ij}^k$  为  $x_{ij}^k$  与  $x_{ij}^{k+1}$  的均值, 则:

$$\lambda_{ij}^1 = 0.1, \lambda_{ij}^2 = 0.3, \lambda_{ij}^3 = 0.5, \lambda_{ij}^4 = 0.7, \lambda_{ij}^5 = 0.9$$

确定灰色评价等级值为:  $C = (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)$

由上述即可构造 $R_{ij}$ 的可能度函数<sup>[66][81]</sup>如下:

第1灰类 $k = 1$ , 风险等级为很低, 灰数为 $\otimes [0, 0.1, 0.2]$ , 对应的可能度函数为公式 (4-7):

$$f_{ij}^1(d_{ijm}) = \begin{cases} 1 & d_{ijm} \in [0, 0.1] \\ \frac{0.1-d_{ijm}}{0.1-0.2} & d_{ijm} \in (0.1, 0.2] \\ 0 & d_{ijm} \notin (0, 0.2) \end{cases} \quad (4-7)$$

第2灰类 $k = 2$ , 风险等级为低, 灰数为 $\otimes [0, 0.3, 0.6]$ , 对应的可能度函数为如下公式 (4-8):

$$f_{ij}^2(d_{ijm}) = \begin{cases} \frac{d_{ijm}}{0.3} & d_{ijm} \in [0, 0.3] \\ \frac{0.6-d_{ijm}}{0.6-0.3} & d_{ijm} \in [0.3, 0.6] \\ 0 & d_{ijm} \notin [0, 0.6] \end{cases} \quad (4-8)$$

第3灰类 $k = 3$ , 风险等级为中等, 灰数为 $\otimes [0, 0.5, 1]$ , 对应的可能度函数为如下公式 (4-9):

$$f_{ij}^3(d_{ijm}) = \begin{cases} \frac{d_{ijm}}{0.5} & d_{ijm} \in [0,0.5] \\ \frac{1-d_{ijm}}{1-0.5} & d_{ijm} \in [0.5,1] \\ 0 & d_{ijm} \notin [0,1] \end{cases} \quad (4-9)$$

第4灰类 $k = 4$ , 风险等级为高, 灰数为 $\otimes [0,0.7,1.4]$ , 对应的可能度函数为如下公式 (4-10) :

$$f_{ij}^4(d_{ijm}) = \begin{cases} \frac{d_{ijm}}{0.7} & d_{ijm} \in [0,0.7] \\ \frac{1.4-d_{ijm}}{1.4-0.7} & d_{ijm} \in [0.7,1.4] \\ 0 & d_{ijm} \notin [0,1.4] \end{cases} \quad (4-10)$$

第5灰类 $k = 5$  风险等级为很高, 灰数为 $\otimes [0.9, \infty)$ , 对应的可能度函数为如下公式 (4-11) :

$$f_{ij}^5(d_{ijm}) = \begin{cases} \frac{d_{ijm}}{0.9} & d_{ijm} \in [0,0.9] \\ 1 & d_{ijm} \in [0.9, \infty) \\ 0 & d_{ijm} \in (-\infty, 0) \end{cases} \quad (4-11)$$

### (3)计算灰色评价系数及灰色评价矩阵

由上述可能度函数及样本矩阵, 求出风险因素 $R_{ij}$  ( $i = 1,2 \dots N, j = 1,2, \dots n_i$ )属于第 $k$ 子类的( $k=1,2,3,4,5$ )的灰类可能度函数值 $f_{ij}^k(d_{ijm})$ , 计算第 $k$ 子类灰色评估系数 $g_{ij}^k$ 及总灰色评估系统数 $G_{ij}$

第 $k$ 子类灰色评估系数如公式4-12:

$$g_{ij}^k = \sum_{m=1}^p f_{ij}^k(d_{ijm}) \quad (4-12)$$

第 $k$ 子类总灰色评估系数 $G_{ij}$ 如公式4-13:

$$G_{ij} = \sum_{k=1}^5 g_{ij}^k \quad (4-13)$$

则 $P$ 位专家对风险因素 $R_{ij}$ 第 $k$ 子类的归一化灰色评价权值为公式4-14:

$$R_{ij}^k = \frac{g_{ij}^k}{G_{ij}} \quad (4-14)$$

由 $R_{ij}$ 构成 $R_i$ 的灰类评价矩阵公式4-15:

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i15} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{in_1} & r_{in_2} & \dots & r_{in_5} \end{bmatrix} \quad (4-15)$$

### 4.3.3 风险综合评价

由前面ANP法计算出的各风险因素的权重与单因互灰色权矩阵复合运算得风险因素 $R_i$ 灰色综合评判矩阵 $B_i$ （公式4-16）及系统风险 $R$ 灰色综合评判矩阵 $B$ （公式4-17）：

$$B_i = W'_i \cdot R_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in_i}) \cdot \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i15} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{in_i1} & r_{in_i2} & \dots & r_{in_i5} \end{bmatrix} \quad (4-16)$$

$$B = W' \cdot R = (W_{11}, W_{12}, \dots, W_{NnN}) \cdot \begin{bmatrix} r_{111} & r_{112} & \dots & r_{115} \\ r_{121} & r_{122} & \dots & r_{125} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{NnN1} & r_{NnN2} & \dots & r_{NnN5} \end{bmatrix} \quad (4-17)$$

将各风险及系统风险灰类评价权值按灰色水平赋值，由灰色评价等级向量 $C^T = (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)^T$ ，得出综合评价结果 $Z_i$ 与 $Z_{总}$

$$Z_i = (W'_i \cdot R_i) C^T \quad (4-18)$$

$$Z_{总} = (W' \cdot R) C^T \quad (4-19)$$

## 4.5 本章小结

本章首先阐述了FISM-ANP-灰色聚类三法联用的机理，然后详述了这三种方法相结合的软件项目风险评价过程建模过程原理。包括四大部分：（1）、建立FISM模型，进行风险因素相关性的识别分析，确定风险因素相互用的内在关系，同时阐述低级多层次结构图构建的过程，找出系统风险产生的根本原因和风险发生驱动力因素；（2）、将FISM模型的风险因素关系作为ANP网络结构的基础输入，对现有的ANP网络结构关系修正后计算风险因素权重；（3）、利用灰色定权聚类法的理论原理，先构建评价软件项目风险的可能度函数，进而确定灰色评价矩阵；（4）、结合（2）与（3）的结果，计算各风险的综合风险值，得出系统风险整体水平。

## 第五章 基于 FISM 模型风险因素相关性分析的案例应用

根据第三章识别出的8类风险共27种风险因素，构建FISM模型确定风险之间直接影响和间接影响关系，为第六章风险量化评估提供ANP风险网络结构关系数据输入。同时构造H公司B项目开发阶段风险的递阶结构模型，直观明了的找出B项目系统风险发生的深层次根本原因及风险因素之间的驱动力与依赖性关系，为风险应对提供依据。

### 5.1 案例背景与数据来源

#### (1) 案例背景

H 软件公司是四川某国企旗下的咨询服务产业群的旗舰企业，自 2008 年成立以来，一直专注于智慧企业研究，致力于 IT 全面融入企业业务，支撑企业发展，打造企业核心竞争力并成为智慧企业解决方案的顶级供应商，业务体系覆盖全国 20 多个省、自治区、直辖市，并承担国家 863 计划项目的研发工作。公司发展迅速，去年销售额达到 2 亿元，团队也从最初的 50 人壮大到 500 多人。

##### ①项目名称：B 县电子政务系统工程系统项目

B 县电子政务系统工程是 H 公司承接的智慧城市类的软件项目，B 县位于四川盆地西北部，数字 B 县项目是在新县城换址重建的基础上，为加强城市管理、政府服务、公共安全水平而统一规划和建设的综合信息化项目。新 B 县基础设施水平较高，但原有信息化系统除部省市垂直系统外，基本处于空白阶段。数字 B 县电子政务系统工程项目（以下简称 B 项目）。

②项目目标：数字 B 县电子政务系统工程项目（以下简称 B 项目）主要包含：外网数据中心网络与网络安全建设、数据容灾与备份服务系统建设、支撑软件项目建设、公众服务专项工程建设、电子政务专项工程建设及系统集成建设。

③项目特点：该电子政务系统开发项目由于业务需求的多样性和涉及范围广，项目干系人众多，导致项目在管理、技术、设计等多方面的不确定性大大增加，项目面临的风险增多，且难得评估量化。

④风险管理现状及问题：目前 H 公司虽发展迅猛，但在项目管理尤其是风险管理方面还存在很大的问题，主要表现在：项目缺乏科学有效的风险评价和分析方法，风险评估完全以经验为依据，风险管理靠召开会议，主观的分析项目中存在的问题和不足，缺乏对具体风险因素分析，无法从深层的风险原因和系统风险产生的驱动力因素去消除风险。这种以主观为主风险管理方法不能很好的适用于 B 项目，因

此本文以对 B 项目开发阶段的风险进行分析与量化评价研究。

依据表 3-3 识别出的主要风险，建立 B 项目的风险评估指标如下：

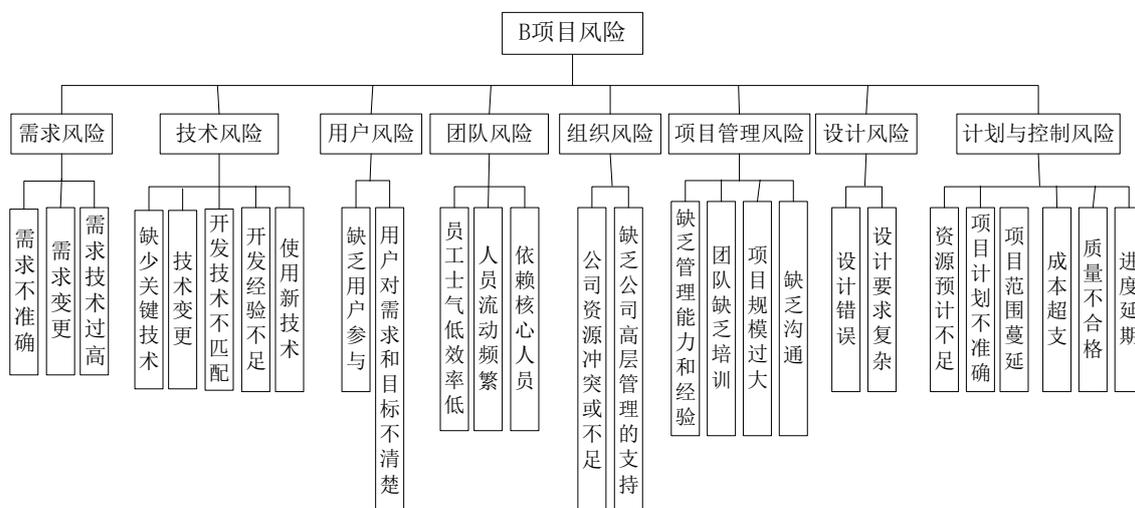


图 5-1 B 项目风险评估指标体系

## (2) 数据来源

本研究针对软件项目开发阶段的内部风险进行分析与量化评估，旨在理清风险因素之间复杂的影响关系，找出内部风险发生产生的根源及系统风险发生的驱动力因素，通过对风险因素的量化评价，确定系统风险的总体水平，并对风险进行等级排序，找出关键风险因素，从而提出为风险应对提供依据。

案例为 H 公司的 B 县电子政务系统工程项目，数据来源于 H 公司及 B 项目开发相关的专业人员的调研，本文研究设计有 3 种问卷：

①《主要风险因素识别问卷》(见附录 1)用于第三章筛选识别主要的风险因素，构建风险分析与评估指标体系。

②《风险等级大小评分表》(见附录 2)用于第五章灰色聚类分析数据的输入，数据来源于 B 项目的 10 位专家打分。

③《B 项目风险指标关系问卷》(见附录 3)用于本章构建 FISM 风险因素关系基础数据输入。数据来源于 20 位专家，采取的是风险因素影响关系强弱的模糊关系评分。

参与调研的人员主要有：项目经理 3 人、研发经理 3 人、需求分析师 3 人、系统架构师 2 人、系统设计师 2 人、高级程序员 5 人、项目部高管 2 人以及 H 公司的其它与软件开发有关系的人员若干。ANP 网络分析的风险因素的两两比较构造初始判断矩阵，是由上述专家通过德尔菲法得来的。

## (2) 数据处理

数据处理主要用了 PHP 编程软件、Super Decisions 3.0 软件及 Excel 2016。PHP 用于 FISM 模型的矩阵迭代运算，Super Decisions 3.0 用于 ANP 数据处理，Excel 2016 用于灰色聚类函数运算。

## 5.2 基于 FISM 的 B 项目开发风险递阶结构构建

### 5.2.1 B 项目风险因素模糊邻接关系矩阵构建

首先组成了 ISM 工作小组，通过 H 公司的软件开发相关的专业人员问卷调查（见附录 3），计算有效问卷数据结果的均值，根据结果整理构建模糊邻接关系矩阵  $A_0$  如下表 5-1（第 41 页）。

### 5.2.2 计算模糊可达矩阵及确定 $\lambda$ 水平划分值域

由最大最小算子算法计算模糊可达矩阵，通过程序运算得  $k = 10$  时：

$$(A_0 + I)^9 \neq (A_0 + I)^{10} = (A_0 + I)^{11}$$

即 B 项目开发风险因素的模糊可达矩阵  $M_0$  如表 5-2：

$$M_0 = (A_0 + I)^{10}$$

由表 5-2（第 42 页）的结果得：水平划分  $\lambda$  的值域集合  $\lambda_i = (0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9)$ 。

### 5.2.3 计算 $\lambda$ 水平截矩阵、布尔可达矩阵、骨架矩阵

由于篇幅原因，接下来我们将以  $\lambda = 0.9$  作为示例，呈现其所有计算结果矩阵，所有截矩阵运算规则都一样，因此  $\lambda = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$  的截矩阵及可达矩阵、骨架矩阵不再赘述，只显示程序运算的最终结果所对应的递阶结构图。主要步骤如下：

**第一步**，计算水平截矩阵  $A_{0.9}$ 。取  $\lambda = 0.9$  时， $A_{0.9} = \lambda_{r_{ij}} = \begin{cases} 1 & (a_{ij} > 0.9) \\ 0 & (a_{ij} \leq 0.9) \end{cases}$  得到  $\lambda = 0.9$  水平截矩阵  $A_{0.9}$  即是邻接矩阵，如表 5-3（第 43 页）；

**第二步**，计算可达矩阵  $M_{\lambda=0.9}$ 。由公式 2-1 计算邻接矩阵  $A_{0.9}$  的可达矩阵  $M_{\lambda=0.9}$  如表 5-4（第 44 页），其中驱动力指风险  $R_i$  直接影响的因素个数（即行中为 1 的数量）；依赖性指风险  $R_j$  被影响的因素个数（列中为 1 的个数）。

**第三步**，求解骨架矩阵  $M'_{\lambda=0.9}$ ，如表 5-5 所示（第 45 页）。

### 5.2.4 截矩阵层次结构

首先是层级划分，由结果优先的方法进行层级划分。过程原理依据 2.2.1 节解释结构模层结构划分步骤，即可计算各截距  $\lambda = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$  的可达矩阵、骨架矩阵，根据最终的骨架矩阵，最终分别绘制出截距  $\lambda = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$  时分别应对的风险因素多阶层次结构图如图 5-2、5-3、5-4、5-5、5-6（第 46-48 页）。

表 5-1 模糊邻接矩阵 $A_0$

	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{24}$	$R_{25}$	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{41}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{51}$	$R_{52}$	$R_{61}$	$R_{62}$	$R_{63}$	$R_{64}$	$R_{71}$	$R_{72}$	$R_{81}$	$R_{82}$	$R_{83}$	$R_{84}$	$R_{85}$	$R_{86}$
$R_{11}$		1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5	0.1	0.3			0.2						1	0.4	1	1	0.2	1	0.1	0.4
$R_{12}$	0.6		0.3	0.2	1	0.2	0.2	0.3		0.4	0.1		0.3	0.6	0.3	0.4	0.4	0.5		0.7	0.6	1	1	0.5	0.7	0.4	0.8
$R_{13}$	1	0.1		1	0.8	0.5	0.6	1		0.2	0.5	0.3	1	0.6	0.6	0.5	0.6	0.4		0.6	0.5	0.5	1	0.5	0.4	0.6	0.5
$R_{21}$	0.4	0.5	0.4		0.6	1	0.3	0.8			0.4	0.5	0.7	0.5		0.5	0.6	0.2		0.7	0.8	0.5	0.6	0.5	0.4	1	0.5
$R_{22}$	0.2	0.5	0.1	1		0.8	0.7	0.4	0.2	0.1	0.2	0.2	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.3		1	0.8	1	1	0.6	1	0.5	1
$R_{23}$		0.2		0.2	0.5		0.7	0.4			0.3	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.7	0.5		0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	1	1	1
$R_{24}$	0.2			0.1	0.3	0.1				0.3	0.4	0.5	0.6	0.2	0.3	0.6	0.8	0.5		1	0.9	1	0.5	0.6	1	0.5	1
$R_{25}$	0.3		1	0.5	1	0.6	1				0.2	0.4	1	0.9	0.5	0.8	1	0.6		1	1	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.7
$R_{31}$	1	1	0.3							0.8				0.6					0.5	0.5	0.6	0.4	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3
$R_{32}$	1	0.5	0.5		0.4	0.3	0.2	0.1												1	0.6	0.5	1	1	0.5	0.6	0.5
$R_{41}$												1								0.6	0.5	0.7	0.5	0.5	0.6	0.7	0.6
$R_{42}$				0.8	0.2	0.6	0.6				0.6		0.6	1		1	0.6	0.5	0.3	0.8	0.6	1	0.5	0.4	0.6	1	1
$R_{43}$				0.6	0.4						0.4	0.6		1	0.3	0.4	0.6	0.1		0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3
$R_{51}$																						1	0.3		0.2	0.7	1
$R_{52}$						0.2	0.2		0.5	0.2	1	1				0.2	0.7		0.6			0.3	0.3	0.1		0.4	0.3
$R_{61}$							0.6				1	0.6	0.5	0.6	0.2		1	0.2		0.6	0.5	1	1	0.7	0.6	0.5	0.6
$R_{62}$				0.6		0.6	0.7				0.8	0.6	1	0.7		0.6				1	0.7	0.5	0.6	0.4	0.6	0.5	0.5
$R_{63}$	0.6		0.6	0.7		0.6	0.5	0.4						0.8	0.6	1	0.4			0.3	1	1	1	0.8	1	0.6	1
$R_{64}$	1	1			0.3	0.2	0.1				0.7	0.6	0.1	0.5	0.6	0.1	0.2	0.3		0.2	0.3	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.3
$R_{71}$		0.3		0.2	0.2	1								0.2	0.1	0.3	0.2				0.6	1	1	1	1	1	1
$R_{72}$	0.4	0.2	0.7	0.5	0.4	1	0.6	0.4						1		0.2	0.4	1		0.7		0.6	0.6	0.4	0.7	0.6	0.8
$R_{81}$														1		0.2	0.1						0.6	1	1		0.7
$R_{82}$														1						0.2	0.3	1		0.4		0.5	1
$R_{83}$				0.7							0.1	0.2	0.2	1	0.1			0.4				0.7	1		1	0.5	0.5
$R_{84}$																											
$R_{85}$																											
$R_{86}$																							0.8		0.5		

表 5-2 模糊可达矩阵 $M_0$

	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{24}$	$R_{25}$	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{41}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{51}$	$R_{52}$	$R_{61}$	$R_{62}$	$R_{63}$	$R_{64}$	$R_{71}$	$R_{72}$	$R_{81}$	$R_{82}$	$R_{83}$	$R_{84}$	$R_{85}$	$R_{86}$
$R_{11}$	1	1	0.8	1	1	1	0.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	1	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	1	0.8	1	1	1	1	1	1
$R_{12}$	0.8	1	0.8	1	1	1	0.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	1	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	1	0.8	1	1	1	1	1	1
$R_{13}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	0.6	1	1	1	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_{21}$	0.8	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.8
$R_{22}$	0.8	0.8	0.8	1	1	1	0.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	1	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	1	0.8	1	1	1	1	1	1
$R_{23}$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	1	1	1
$R_{24}$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	1	0.8	0.5	0.5	0.9	0.9	0.9	1	0.6	0.9	0.9	0.9	0.6	1	0.9	1	1	1	1	1	1
$R_{25}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	0.6	1	1	1	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_{31}$	1	1	0.8	1	1	1	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	1	0.8	1	1	1	1	1	1
$R_{32}$	1	1	0.8	1	1	1	0.8	0.8	0.5	1	0.8	0.8	0.8	1	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	1	0.8	1	1	1	1	1	1
$R_{41}$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.5	0.5	1	1	1	1	0.6	1	1	0.8	0.6	1	0.8	1	1	1	1	1	1
$R_{42}$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.5	0.5	1	1	1	1	0.6	1	1	0.8	0.6	1	0.8	1	1	1	1	1	1
$R_{43}$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	0.7	1	1	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	1	1	1	1	0.7	1
$R_{51}$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	1	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	1	1	1	1	0.7	1
$R_{52}$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	0.8	0.6	1	0.8	1	1	1	1	1	1
$R_{61}$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.5	0.5	1	1	1	1	0.6	1	1	0.8	0.6	1	0.8	1	1	1	1	1	1
$R_{62}$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	1	1	0.6	0.8	1	0.8	0.6	1	0.8	1	1	1	1	1	1
$R_{63}$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.5	0.5	1	1	1	1	0.6	1	1	1	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_{64}$	1	1	0.8	1	1	1	0.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	1	0.6	0.8	0.8	0.8	1	1	0.8	1	1	1	1	1	1
$R_{71}$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	1	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	1	0.7	1	1	1	1	1	1
$R_{72}$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.5	0.5	1	1	1	1	0.6	1	1	1	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1
$R_{81}$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	1	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	1	1	1	1	0.7	1
$R_{82}$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	1	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	1	1	1	1	0.7	1
$R_{83}$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	1	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	1	1	1	1	0.7	1
$R_{84}$																										1	
$R_{85}$																											1
$R_{86}$																											1

表 5-3  $\lambda = 0.9$ 截距阵 $A_{0.9}$

	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{24}$	$R_{25}$	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{41}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{51}$	$R_{52}$	$R_{61}$	$R_{62}$	$R_{63}$	$R_{64}$	$R_{71}$	$R_{72}$	$R_{81}$	$R_{82}$	$R_{83}$	$R_{84}$	$R_{85}$	$R_{86}$	
$R_{11}$	1																		1		1		1				1	
$R_{12}$		1			1																	1	1					1
$R_{13}$	1		1	1				1				1											1					1
$R_{21}$				1		1																					1	1
$R_{22}$				1	1																1		1	1		1		1
$R_{23}$						1																			1	1		1
$R_{24}$							1													1		1			1			1
$R_{25}$			1		1		1	1					1			1				1	1							1
$R_{31}$	1	1							1																			1
$R_{32}$	1									1											1			1	1			1
$R_{41}$											1	1																1
$R_{42}$												1		1		1						1				1		1
$R_{43}$													1	1														1
$R_{51}$														1									1					1
$R_{52}$											1	1			1													1
$R_{61}$											1					1	1					1	1					1
$R_{62}$													1				1				1							1
$R_{63}$																1		1				1	1		1			1
$R_{64}$	1	1																	1									1
$R_{71}$						1															1		1	1	1	1	1	1
$R_{72}$					1									1								1						1
$R_{81}$															1								1		1	1		1
$R_{82}$															1								1	1				1
$R_{83}$														1										1	1	1		1
$R_{84}$																									1			
$R_{85}$																											1	
$R_{86}$																												1

表 5-4  $M'_{\lambda=0.9}$ 可达矩阵

	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{24}$	$R_{25}$	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{41}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{51}$	$R_{52}$	$R_{61}$	$R_{62}$	$R_{63}$	$R_{64}$	$R_{71}$	$R_{72}$	$R_{81}$	$R_{82}$	$R_{83}$	$R_{84}$	$R_{85}$	$R_{86}$	驱动力
$R_{11}$	1	1		1	1	1								1						1	1	1	1	1	1	1	1	14
$R_{12}$		1		1	1	1								1						1	1	1	1	1	1	1	1	12
$R_{13}$	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1		1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	23
$R_{21}$				1		1																			1	1	1	5
$R_{22}$				1	1	1								1						1		1	1	1	1	1	1	11
$R_{23}$						1																			1	1	1	4
$R_{24}$						1	1							1						1		1	1	1	1	1	1	10
$R_{25}$	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1		1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	23
$R_{31}$	1	1		1	1	1			1					1						1		1	1	1	1	1	1	14
$R_{32}$	1	1		1	1	1				1				1						1		1	1	1	1	1	1	14
$R_{41}$						1					1	1	1	1		1	1			1		1	1	1	1		1	13
$R_{42}$						1					1	1	1	1		1	1			1		1	1	1	1		1	13
$R_{43}$													1	1								1	1	1	1		1	7
$R_{51}$														1								1	1	1	1		1	6
$R_{52}$						1					1	1	1	1	1	1	1			1		1	1	1	1	1	1	15
$R_{61}$						1					1	1	1	1		1	1			1		1	1		1	1	1	13
$R_{62}$						1							1	1			1			1		1	1	1	1	1	1	11
$R_{63}$						1					1	1	1	1		1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	16
$R_{64}$	1	1		1	1	1								1				1		1		1	1	1	1	1	1	14
$R_{71}$						1								1						1		1	1	1	1	1	1	9
$R_{72}$						1					1	1	1	1		1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	16
$R_{81}$														1								1	1	1	1		1	6
$R_{82}$														1								1	1	1	1		1	6
$R_{83}$														1								1	1	1	1		1	6
$R_{84}$																									1			1
$R_{85}$																										1		1
$R_{86}$																										1		1
相关性	6	7	2	9	8	19	3	2	1	1	8	8	10	22	1	8	9	4	1	17	5	22	22	21	25	18	25	

表 5-5  $M_{\lambda=0.9}$  骨架矩阵

	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{24}$	$R_{25}$	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{41}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{51}$	$R_{52}$	$R_{61}$	$R_{62}$	$R_{63}$	$R_{64}$	$R_{71}$	$R_{72}$	$R_{81}$	$R_{82}$	$R_{83}$	$R_{84}$	$R_{85}$	$R_{86}$	
$R_{11}$	1																											
$R_{12}$					1																							
$R_{13}$	1							1																				
$R_{21}$						1																						
$R_{22}$				1																	1							
$R_{23}$																									1	1	1	
$R_{24}$																					1							
$R_{25}$			1					1														1						
$R_{31}$	1																											
$R_{32}$	1																											
$R_{41}$											1																	
$R_{42}$												1				1												
$R_{43}$													1															
$R_{51}$														1								1						1
$R_{52}$										1																		
$R_{61}$										1							1											
$R_{62}$													1								1							
$R_{63}$																1						1						
$R_{64}$	1																											
$R_{71}$						1																	1					
$R_{72}$																		1										
$R_{81}$														1										1	1			
$R_{82}$														1								1						
$R_{83}$													1										1					
$R_{84}$																												
$R_{85}$																												
$R_{86}$																												

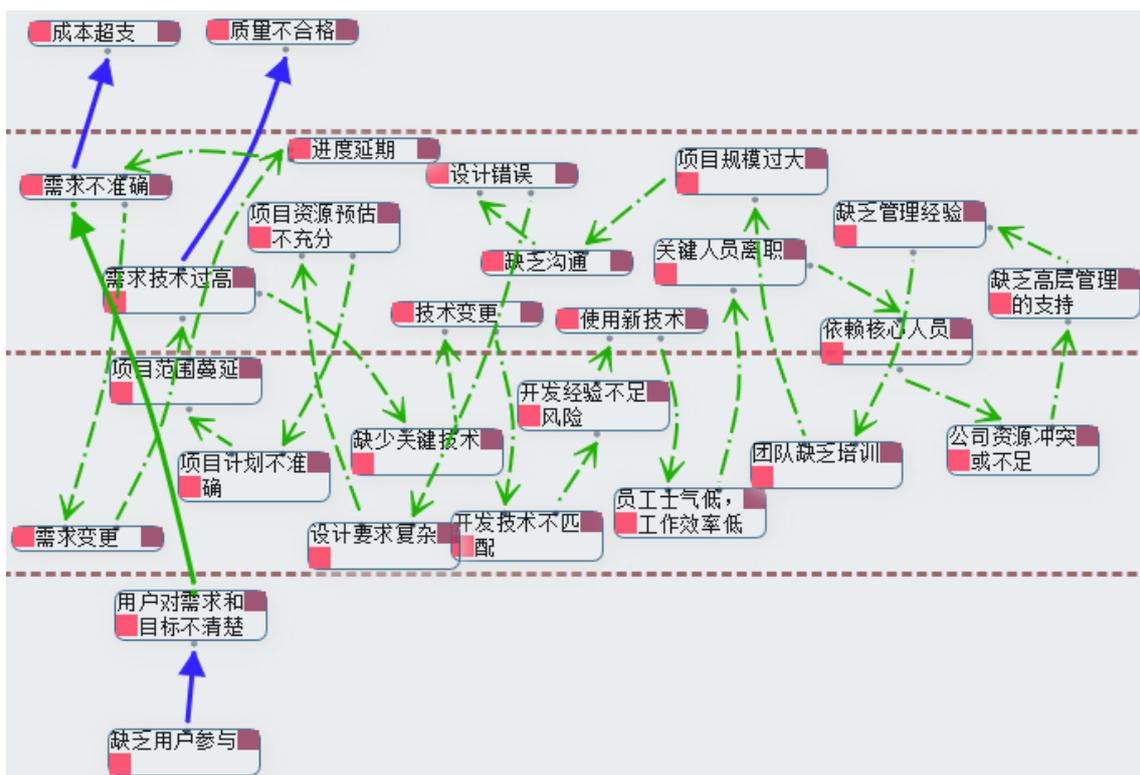


图 5-2  $\lambda = 0.5$ 解释结构图

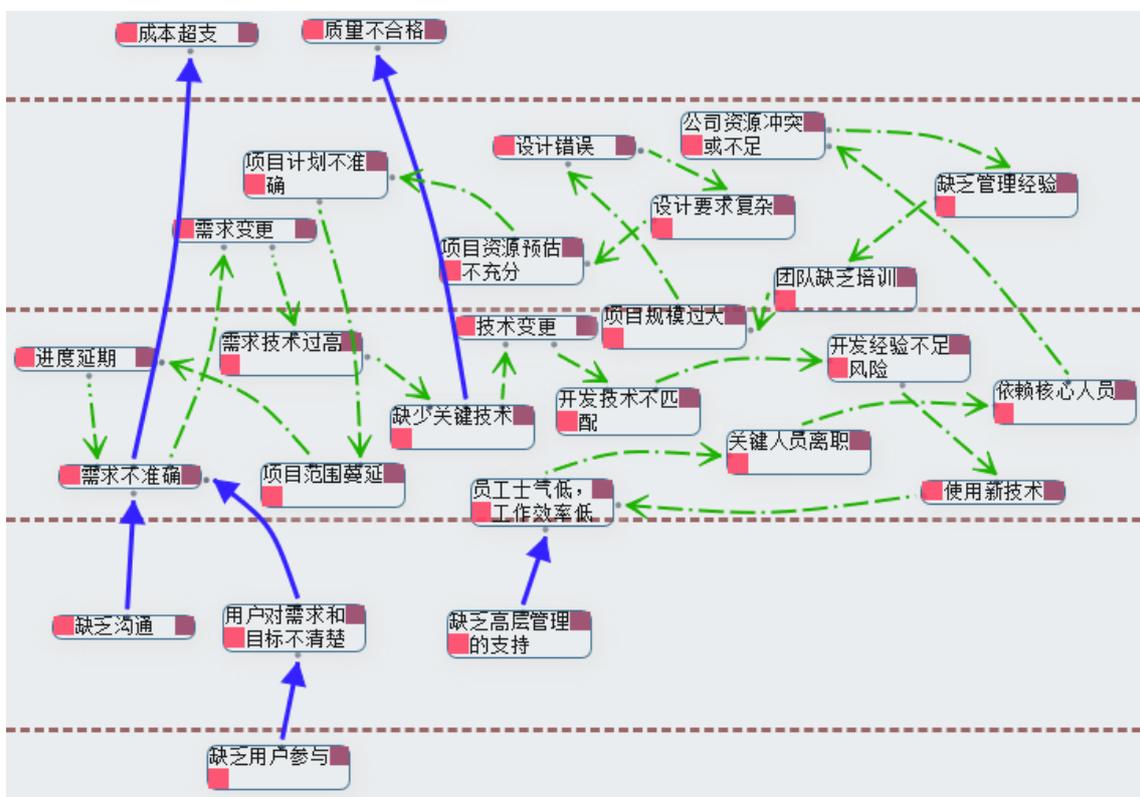


图 5-3  $\lambda = 0.6$ 解释结构图

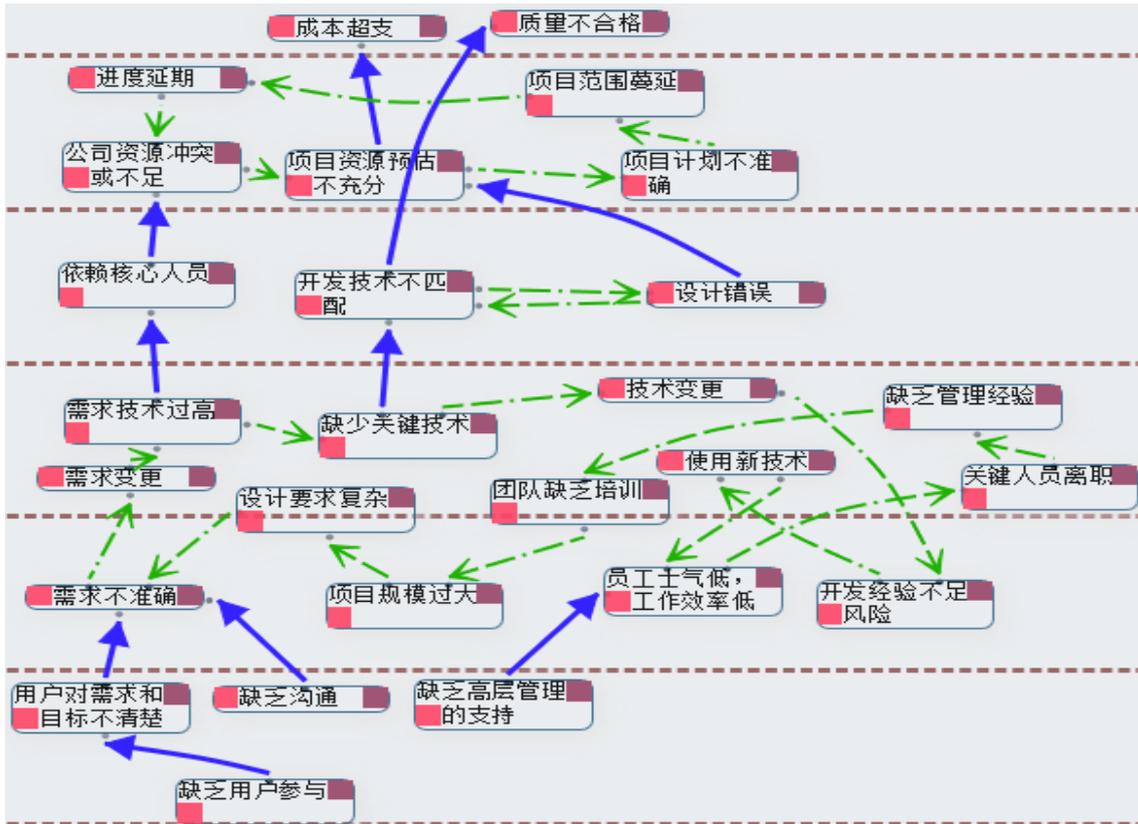


图 5-4  $\lambda = 0.7$ 解释结构图



图 5-5  $\lambda = 0.8$ 解释结构图

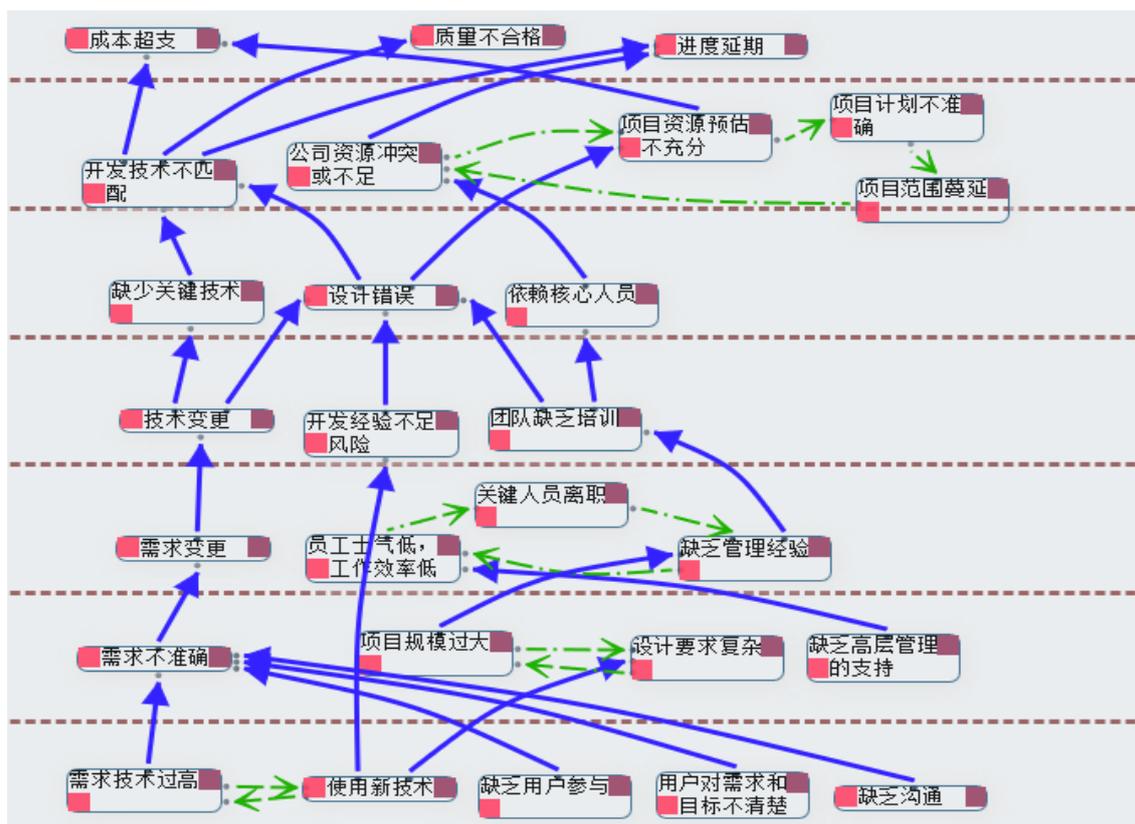


图 5-6  $\lambda = 0.9$ 解释结构图

将以结果与 H 公司专家分析讨论，意见结果汇总整理，认为当 $\lambda = 0.9$ 时的结构图最符合实际情况，本文取 $\lambda = 0.9$ 的结构图作为相对合理结果，进行分析。

### 5.3 结果分析

#### 5.3.1 多级递阶解释结构图

前面所述，可得到 B 项目风险因素的多级递阶解释结构模型( $\lambda = 0.9$ 相对最合理)，将系统风险划分为 7 个层级。从下至上分为第一层到第 7 层。风险因素通过不同途径方式对 B 项目的风险网络结构产生影响，具体如下图 5-7 所示：

#### 5.3.2 风险因素层次关系结果分析

由图 5-7 可直观明了的看出风险因素之间通过不同路径方式对 B 项目系统风险产生影响的过程，有下层因素逐级或跨级的引起上层风险因素发生的层级关系，也有同层因素之间相互影响的环路关系。具体分析如下：

(1) 表层直接原因。即引起 B 项目风险的表象原因，直接作用于系统风险，受支配于其它风险因素，不主动支配别的风险因素。主要包括成本超支 $R_{85}$ 、质量不合格 $R_{86}$ 、进度延期 $R_{87}$ ，这三大风险因素是影响 B 项目成功的直接原因，受到下层

风险因素驱动作用而产生，此类风险产生是由下层某些因素异动导致的，应深入分析找出这些风险的根据，从源头上规避风险。

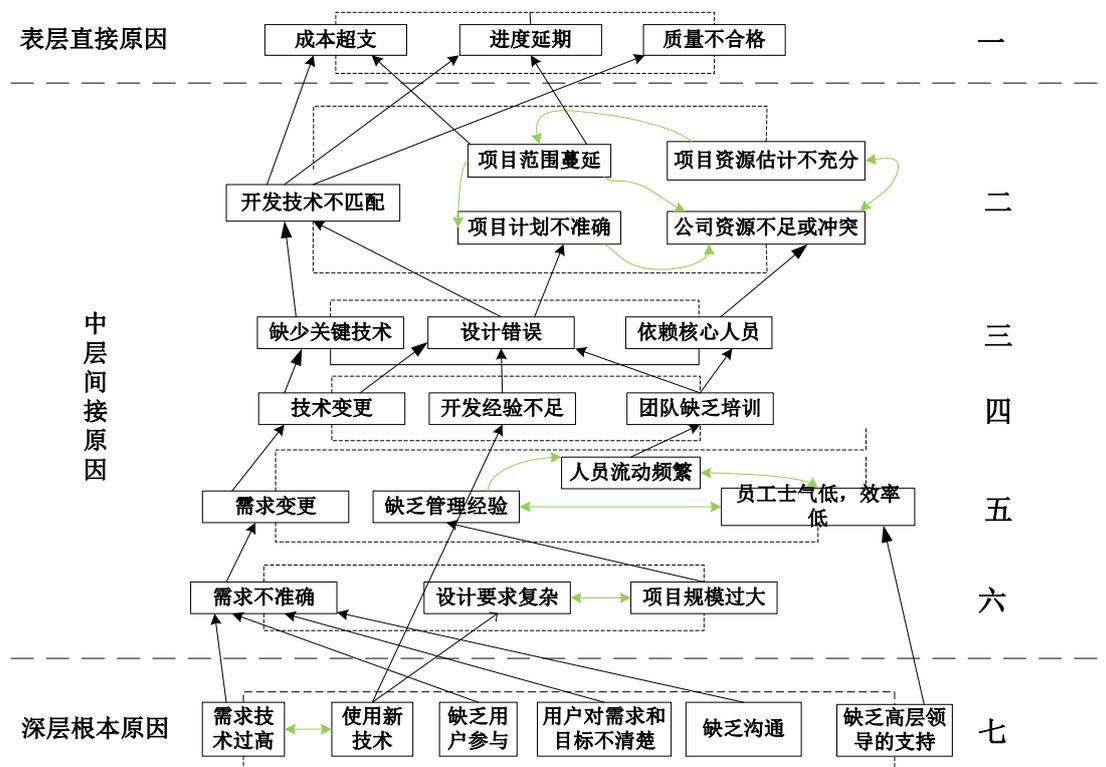


图 5-7 B 项目开发风险因素多级递阶 FISM 模型

(2) 中层间接原因。这层风险因素既受底层因素的影响，也是导致表层风险的直接原因，包括第 2、3、4、5、6 层风险因素。

环路关系分析：中层共有三个环路，环路代表强连结关系，环内任何风险因素都有相互可达的关系。比如：①设计要求复杂会影响引项目规模过大，反之亦然，它们共同受使用新术的影响，也会引起管理经验不足的问题；②缺乏管理能力与经验，员工士气低效率低，人员频繁流动，这三个因素之间是相互可达的关系，也就说，这三风险因素受支配与支配上下层风险因素的关系是一致；③项目范围蔓延，项目计算不准确，项目资源估计不充分，公司资源不足或冲突也是一样的环路关系。

层级影响关系分析：①下层的风险因素会根据箭头所指方向直接影响上层风险因素的发生。比如：需求不准确，在项目执行进行需求变更处理，需求变更会引起技术变更，而技术变引起之前的设计就错误，最后使得开发技术不匹配；②项目规模过大与设计要求复杂有环路，两者相互影响相互可达，也会引起使之前小规模的管理经验不合适，缺乏管理能力与经验，引起缺乏团队培训，导致设计方案错误的风险最后使得开发技术不匹配。其它因素也同样的分析方法，不再赘述。

(3) 深层根本原因。即第 7 层是驱动风险因素，这层风险因素的特点为是主动支配其它风险因素（输出），不受其它因素的支配（输入），它是 B 项目风险产生

的源动力。包括5个因素：需求技术要求过高，使用新技术，缺乏用户参与，用户对需求和目标不清楚，缺乏沟通，这些因素是项目系统风险产生的底层的根本原因，即是关键风险因素，风险管理过程中应重点关注与防范。

从风险因素的相互影响来看，H公司对B项目实施风险管理时，仅仅从单方面表层的风险因素去控制防范是远远不够的，而应该是通过质量，进度，成本出现问题，去分析产生这些原因的深层的原因，在项目开发过程中，将风险管理贯穿于整个项目生命周内。

### 5.3.3 风险因素驱动与依赖结果关系

由可达矩阵表 5-5 建立风险驱动力-依赖性象限矩阵，从而分析 B 项目开发阶段风险因素之间的驱动力与依赖性关系。横坐标代表依赖性，指该因素受其他因素的影响程度，即是该因素在可达矩阵表 5-5，所在列为 1 的总个数；纵坐标代表驱动力，指该因素对其它风险因素的影响程度，即是该因素在可达矩阵行中为 1 的总个数。风险因素的驱动力与依赖性的数据体见前表 5-5。如：需求不准确  $R_{11}$ ，依赖性个数为 6，驱动力个数为 14，坐标轴上的坐标点为 (6, 14)，同理可得其它风险因素的坐标点，得坐标关系如图 5-8 所示。

图 5-8 将可达矩阵划分为依赖性，驱动性，自治三个象限，得到风险因素之影响（驱动力）与被影响（依赖性）的关系，结果分析如下：

(1) 落在驱动象限的风险因素有9个：需求不准确 $R_{11}$ 、需求技术过高 $R_{13}$ 、使用新技术 $R_{25}$ 、项目规模过大 $R_{63}$ 、设计要求复杂 $R_{72}$ 、缺乏高层管理的支持 $R_{52}$ 、缺乏用户参与 $R_{31}$ 、用户对需求和目标不清楚 $R_{32}$ 、缺乏沟通 $R_{64}$ 这些风险因素驱动力很强，依赖性弱，说明这些风险因素在系统风险中被别的因素影响程度小，更多的是影响别因素，在整个B项目开发阶段对系统风险的驱动力最强，这些风险产生容易触发其它风险发生，应该列入关键风险因素列表，给予重点关注。

(2) 在自制象限偏中上的风险因素有9个：需求变更 $R_{12}$ 、缺少关键技术 $R_{21}$ 、技术变更 $R_{22}$ 、开发经验不足风险 $R_{24}$ 、员工士气低工作效率低 $R_{41}$ 、人员流动频繁 $R_{42}$ 、过于依赖少数核心人员 $R_{43}$ 、缺乏管理能力与经验 $R_{61}$ 、团队缺乏培训 $R_{62}$ 这些因素相对远离依赖象限，同时靠近驱动象限，说明其驱动力较强而依赖力相对较弱，属于中层间接原因；在依赖象限的靠上的风险因素有6个：设计错误 $R_{71}$ 、开发技术不匹配 $R_{23}$ 、公司资源冲突或不足 $R_{51}$ 、资源预计不足 $R_{81}$ 、项目计划不准确 $R_{82}$ 、项目范围蔓延 $R_{83}$ ，这些因素驱动力和依赖性都比较强，也属于中间层间接原因，既受下一层风险因素的影响也会促成上一层风险的发生。

(3) 在依赖象限下边缘的风险因素有3个：成本超支 $R_{84}$ 、质量不合格 $R_{85}$ 、进度延期 $R_{86}$ 驱动力最弱，处于表层，是引起软件项目失败的直接原因。

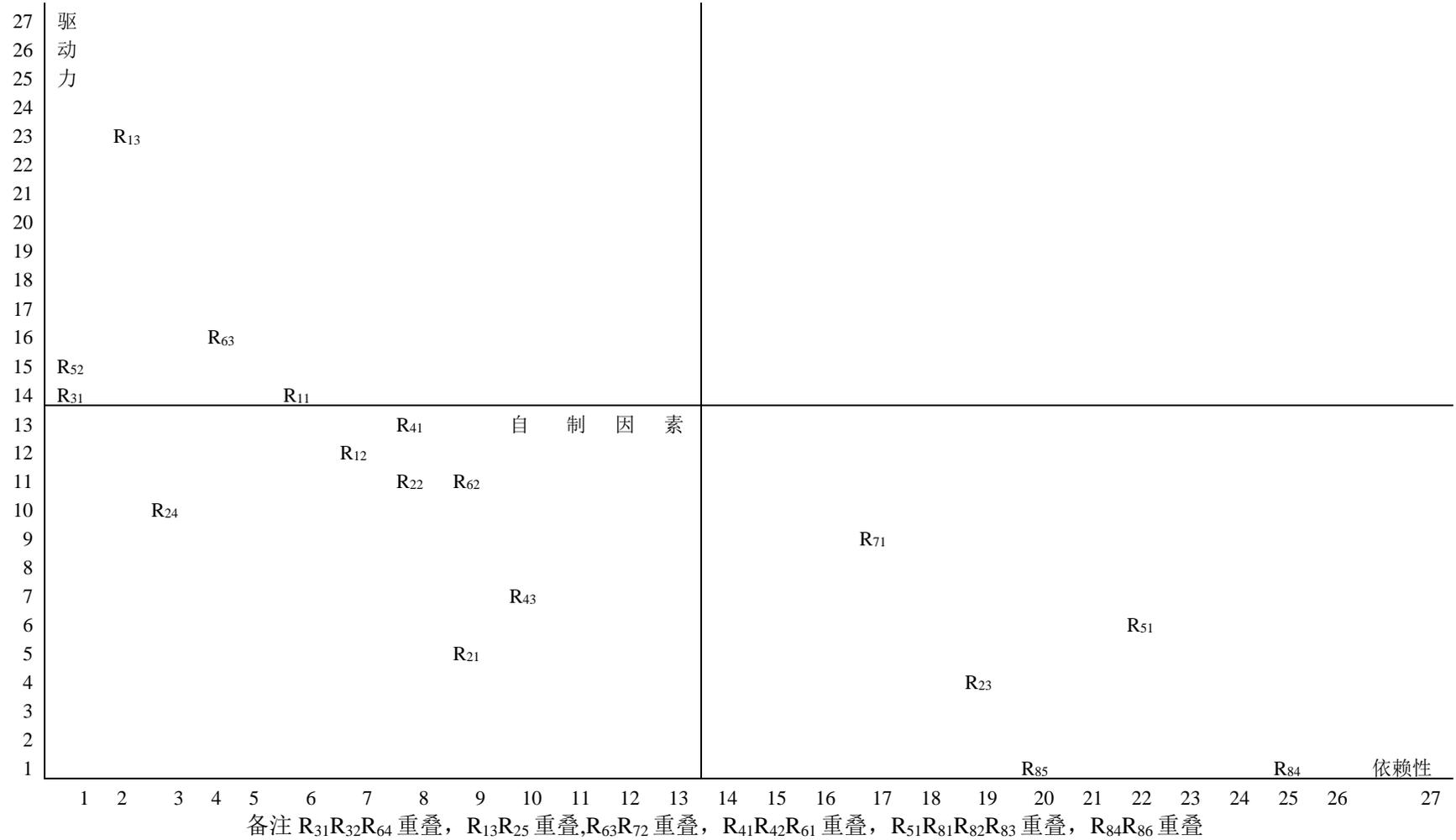


图 5-8 风险因素驱动力与依赖性分布图

## 5.4 本章小结

本章是对第四章模糊解释结构模型的应用，构建了 B 项目风险的 FISM，运用 PHP 程序对该模型求解，并对结果进行分析得出：

① 确定 B 项目风险因素之间直接与间接影响关系，绘制了 B 项目风险的多级递阶解释结构图，直观明了的找出了 B 项目系统风险发生的 5 个根源因素：需求技术要求过高，使用新技术，缺乏用户参与，用户对需求和目标不清楚，缺乏沟通；

②由风险的驱动力与依赖性关系矩阵，找到了促使系统风险产生的驱动力因素，共有 9 个：需求不准确 $R_{11}$ 、需求技术过高 $R_{13}$ 、使用新技术 $R_{25}$ 、项目规模过大 $R_{63}$ 、设计要求复杂 $R_{72}$ 、缺乏高层管理的支持 $R_{52}$ 、缺乏用户参与 $R_{31}$ 、用户对需求和目标不清楚 $R_{32}$ 、缺乏沟通 $R_{64}$ ，为项目风险应对提供直观可视化的分析方法和依据，使风险控制与应对更有聚焦性和针对性。

## 第六章 基于 FISM-ANP-灰色聚类法的风险量化评估案例应用

本章对第五章的案例 B 项目风险量化评估，案例背景及数据来源参见 5.1 节。运用第四章 FISM-ANP-灰色聚类相结合的方法对 B 项目进行风险量化评估。通过风险的量化结果，对 B 项目的风险等级排序，找出项目过程的对项目目标影响较大的关键风险，同时计算得到 B 项目的总体风险水平评估，将结果与实际情况对比，求证了该方法的有效性。

### 6.1 基于 FISM-ANP 的风险因素权重计算

#### 6.1.1 建立 B 项目的 FISM-ANP 风险网络结构

由第五章的风险因素关系（表 5-4），建立如图 6-1 所示的 ANP 网络结构图。

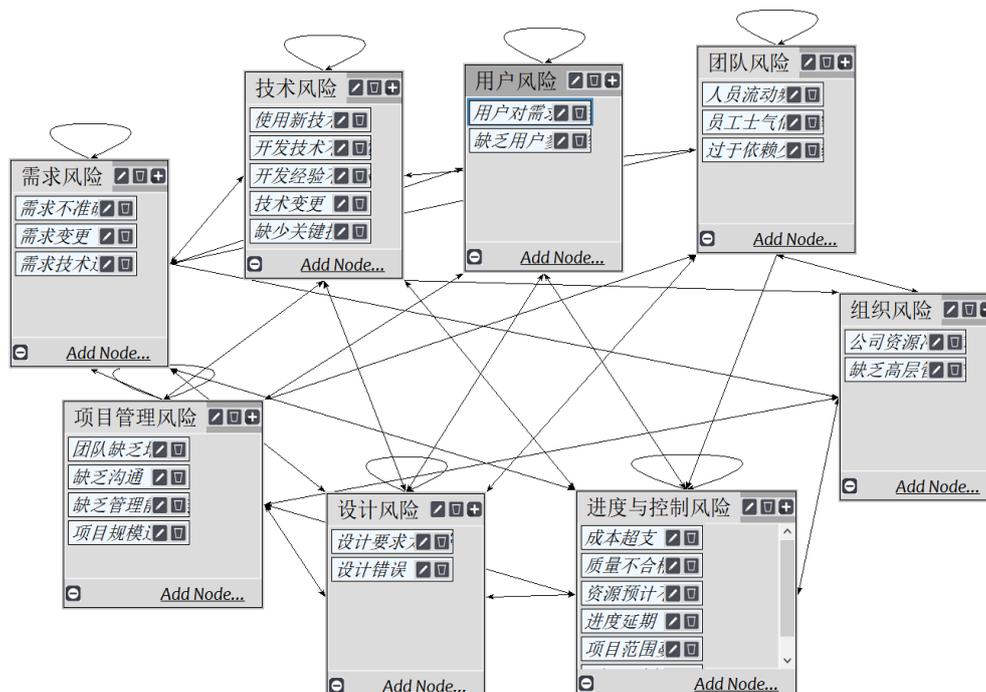


图 6-1 B 项目 FISM-ANP 网络结构图

#### 6.1.2 构造两两比较判断矩阵，计算权重

确定风险因素的 ANP 网络结构关系后，采用 1-9 标度法（见表 4-1）对风险因素两两相对重要性比较，构造判断矩阵，运用 Super decisions 3.0 软件计算权重。

（1）构造未加权超矩阵。在 Super Decisions 3.0 软件中，执行命令：“Computations=>Unweighted Super Matrix=>Graphical”得未加权矩阵如表 6-1。

表 6-1 B 项目开发风险因素加权超矩阵

	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{24}$	$R_{25}$	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{41}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{51}$	$R_{52}$	$R_{61}$	$R_{62}$	$R_{63}$	$R_{64}$	$R_{71}$	$R_{72}$	$R_{81}$	$R_{82}$	$R_{83}$	$R_{84}$	$R_{85}$	$R_{86}$
$R_{11}$	0.058	0.000	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.078	0.154	0.101	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.153	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{12}$	0.175	0.234	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.062	0.101	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.076	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{13}$	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.180	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{21}$	0.076	0.025	0.021	0.166	0.029	0.000	0.000	0.033	0.072	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{22}$	0.076	0.070	0.058	0.166	0.153	0.000	0.000	0.021	0.029	0.055	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{23}$	0.076	0.133	0.007	0.166	0.066	0.503	0.082	0.021	0.011	0.103	0.202	0.168	0.000	0.000	0.203	0.213	0.211	0.220	0.097	0.332	0.241	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{24}$	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.165	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{25}$	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{31}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{32}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.156	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{41}$	0.000	0.000	0.072	0.000	0.000	0.000	0.000	0.069	0.000	0.000	0.036	0.102	0.000	0.000	0.018	0.046	0.000	0.037	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{42}$	0.000	0.000	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000	0.014	0.019	0.000	0.000	0.109	0.105	0.000	0.060	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{43}$	0.000	0.000	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.090	0.054	0.435	0.000	0.044	0.020	0.196	0.095	0.000	0.000	0.114	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{51}$	0.148	0.169	0.157	0.000	0.251	0.000	0.249	0.074	0.178	0.136	0.172	0.186	0.311	0.536	0.113	0.162	0.152	0.166	0.162	0.256	0.168	0.532	0.518	0.524	0.000	0.000	0.000
$R_{52}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{61}$	0.000	0.000	0.068	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.042	0.116	0.000	0.000	0.044	0.115	0.000	0.065	0.000	0.000	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{62}$	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.074	0.000	0.000	0.126	0.023	0.000	0.000	0.088	0.038	0.179	0.032	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{63}$	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.097	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{64}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.172	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{71}$	0.084	0.148	0.068	0.000	0.248	0.000	0.250	0.061	0.136	0.145	0.121	0.184	0.000	0.000	0.172	0.161	0.132	0.060	0.153	0.223	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{72}$	0.084	0.000	0.136	0.000	0.000	0.000	0.000	0.061	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.121	0.000	0.000	0.137	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_{81}$	0.032	0.026	0.010	0.000	0.030	0.000	0.043	0.016	0.033	0.030	0.036	0.068	0.072	0.090	0.016	0.026	0.011	0.016	0.016	0.015	0.006	0.089	0.083	0.131	0.000	0.000	0.000
$R_{82}$	0.043	0.098	0.039	0.000	0.112	0.000	0.047	0.016	0.040	0.030	0.023	0.035	0.036	0.106	0.018	0.031	0.029	0.016	0.026	0.018	0.010	0.133	0.094	0.090	0.000	0.000	0.000
$R_{83}$	0.024	0.018	0.007	0.000	0.021	0.000	0.031	0.016	0.033	0.030	0.027	0.013	0.048	0.080	0.029	0.000	0.028	0.016	0.026	0.043	0.013	0.066	0.110	0.090	0.000	0.000	0.000
$R_{84}$	0.055	0.033	0.013	0.134	0.038	0.252	0.046	0.021	0.031	0.030	0.033	0.012	0.048	0.080	0.036	0.031	0.017	0.022	0.020	0.021	0.011	0.089	0.083	0.090	1.000	0.000	0.000
$R_{85}$	0.035	0.018	0.007	0.308	0.021	0.092	0.042	0.021	0.033	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.023	0.025	0.022	0.020	0.035	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000
$R_{86}$	0.026	0.022	0.009	0.058	0.026	0.152	0.039	0.010	0.029	0.030	0.072	0.013	0.048	0.106	0.033	0.023	0.015	0.011	0.017	0.052	0.005	0.089	0.110	0.071	0.000	0.000	1.000



Main Network: B项目风险指标权重计算.sdmod: ratings: Limit Matrix

Clusters	Nodes	人员流动...	员工士气...	过于依赖...	使用新技术	开发技术...
团队风险	人员流动频繁	0.039124	0.039124	0.039124	0.039124	0.039124
	员工士气低效率低	0.016512	0.016512	0.016512	0.016512	0.016512
	过于依赖少数核心人员	0.030200	0.030200	0.030200	0.030200	0.030200
技术风险	使用新技术	0.028213	0.028213	0.028213	0.028213	0.028213
	开发技术不匹配	0.017090	0.017090	0.017090	0.017090	0.017090
	开发经验不足风险	0.016724	0.016724	0.016724	0.016724	0.016724
用户风险	技术变更	0.045379	0.045379	0.045379	0.045379	0.045379
	缺少关键技术	0.027577	0.027577	0.027577	0.027577	0.027577
	用户对需求和目标不清楚	0.035011	0.035011	0.035011	0.035011	0.035011
组织风险	缺乏用户参与沟通	0.018057	0.018057	0.018057	0.018057	0.018057
	公司资源冲突或资源不足	0.056737	0.056737	0.056737	0.056737	0.056737
设计风险	缺乏高层管理的支持	0.030444	0.030444	0.030444	0.030444	0.030444
	设计要求太复杂太困难	0.035100	0.035100	0.035100	0.035100	0.035100
进度与控制风险	设计错误	0.074764	0.074764	0.074764	0.074764	0.074764
	成本超支	0.031190	0.031190	0.031190	0.031190	0.031190
	质量不合格	0.038315	0.038315	0.038315	0.038315	0.038315
	资源预计不足	0.037949	0.037949	0.037949	0.037949	0.037949
	进度延期	0.089092	0.089092	0.089092	0.089092	0.089092
需求风险	项目范围蔓延	0.025817	0.025817	0.025817	0.025817	0.025817
	项目计划不准确	0.027696	0.027696	0.027696	0.027696	0.027696
	需求不准确	0.068267	0.068267	0.068267	0.068267	0.068267
	需求变更	0.053816	0.053816	0.053816	0.053816	0.053816
项目管理风险	需求技术过高	0.025786	0.025786	0.025786	0.025786	0.025786
	团队缺乏培训	0.027687	0.027687	0.027687	0.027687	0.027687
	缺乏沟通	0.068144	0.068144	0.068144	0.068144	0.068144
	缺乏管理能力与经验	0.023421	0.023421	0.023421	0.023421	0.023421
	项目规模过大	0.011888	0.011888	0.011888	0.011888	0.011888

图6-2 B项目风险因素极限超矩阵

Here are the priorities.

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	人员流动频繁	0.45580	0.039124
No Icon	员工士气低效率低	0.19237	0.016512
No Icon	过于依赖少数核心人员	0.35183	0.030200
No Icon	使用新技术	0.20901	0.028213
No Icon	开发技术不匹配	0.12661	0.017090
No Icon	开发经验不足风险	0.12390	0.016724
No Icon	技术变更	0.33618	0.045379
No Icon	缺少关键技术	0.20430	0.027577
No Icon	用户对需求和目标不清楚	0.65974	0.035011
No Icon	缺乏用户参与沟通	0.34026	0.018057
No Icon	公司资源冲突或资源不足	0.65080	0.056737
No Icon	缺乏高层管理的支持	0.34920	0.030444
No Icon	设计要求太复杂太困难	0.31949	0.035100
No Icon	设计错误	0.68051	0.074764
No Icon	成本超支	0.12473	0.031190
No Icon	质量不合格	0.15322	0.038315
No Icon	资源预计不足	0.15176	0.037949
No Icon	进度延期	0.35628	0.089092
No Icon	项目范围蔓延	0.10324	0.025817
No Icon	项目计划不准确	0.11076	0.027696
No Icon	需求不准确	0.46167	0.068267
No Icon	需求变更	0.36394	0.053816
No Icon	需求技术过高	0.17438	0.025786
No Icon	团队缺乏培训	0.21113	0.027687
No Icon	缺乏沟通	0.51963	0.068144
No Icon	缺乏管理能力与经验	0.17860	0.023421
No Icon	项目规模过大	0.09065	0.011888

图6-3 B项目风险权重优先级排序

(2) 计算加权超矩阵。执行命令“Computations=>Weighted Super Matrix=>Graphical”得到加权超矩阵如表6-2。

(3) 计算极限超矩阵确定权重。执行命令“Computations=>Limit Matrix=>Graphical”得到极限超矩阵图6-2所示

(4) 计算风险优先度排序，确定权重。运行“Computations=>Priorities”命令得到优先度排序风险因素的权重，如前一页图6-2所示。

由极限超矩阵及优先度排序结果整理得到一级风险 $R_i$ 总排序权重向量 $W_i$ ，二级风险因素 $R_{ij}$ 总排序权重向量 $W_{ini}$ ，风险因素 $R_{ij}$ 在各自所属的风险类别 $R_i$ 中所所占的权重向量 $W'_{ini}$ 为汇总见56页下表6-3所示。

表 6-3 风险指标权重结果

一级风险	二级指标权重	风险因素		风险类别权重 $W'_{ini}$	总排序 $W_{ini}$
需求风险 $R_1$	0.1479	$R_{11}$	需求不准确	0.4617	0.0683
		$R_{12}$	需求变更	0.3639	0.0538
		$R_{13}$	需求技术过高	0.1744	0.0258
技术风险 $R_2$	0.1350	$R_{21}$	缺少关键技术	0.2043	0.0276
		$R_{22}$	技术变更	0.3362	0.0454
		$R_{23}$	开发技术不匹配	0.1266	0.0171
		$R_{24}$	开发经验不足风险	0.1239	0.0167
		$R_{25}$	使用新技术	0.2090	0.0282
用户风险 $R_3$	0.0531	$R_{31}$	缺乏用户参与沟通	0.3403	0.0181
		$R_{32}$	用户对需求和目标不清楚	0.6597	0.0350
团队风险 $R_4$	0.0858	$R_{41}$	员工士气低工作效率低	0.1924	0.0165
		$R_{42}$	人员流动频繁	0.4558	0.0391
		$R_{43}$	过于依赖少数核心员	0.3518	0.0302
组织风险 $R_5$	0.0872	$R_{51}$	公司资源冲突或资源不足	0.6508	0.0567
		$R_{52}$	缺乏高层管理的支持	0.3492	0.0304
项目管理 风险 $R_6$	0.1311	$R_{61}$	缺乏管理能力与经验	0.1786	0.0234
		$R_{62}$	团队缺乏培训	0.2111	0.0277
		$R_{63}$	项目规模过大	0.0907	0.0119
		$R_{64}$	缺乏沟通	0.5196	0.0681
设计风险 $R_7$	0.1099	$R_{71}$	设计错误	0.6805	0.0748
		$R_{72}$	设计要求太复杂太困难	0.3195	0.0351
进度与控制 风险 $R_8$	0.2501	$R_{81}$	资源预计不足	0.1518	0.0379
		$R_{82}$	项目计划不准确	0.1108	0.0277
		$R_{83}$	项目范围蔓延	0.1032	0.0258
		$R_{84}$	成本超支	0.1247	0.0312
		$R_{85}$	质量不合格	0.1532	0.0383
		$R_{86}$	进度延期	0.3563	0.0891

以上完成各级风险因素的权重计算，得到B项目在软件项目开发阶段中风险网络中各风险因素的相对重要性权重向量，为下面风险综合评价提供基础。

在Super decisions 3.0中，给出了五种输入两两比较结果的方式，包括饼图、口述、矩阵、问卷、直接输入权重结果五种方法，前四种是关联的，直接输入权重是独行，本文采用最常见的问卷方式输入。

## 6.2 构建灰色聚类评价权矩阵

由 4.3.2 节将 B 项目的风险划分为：很低，低，中等，高，很高 5 个等级，用 [0,1] 的值进行打分，风险等级对应的分值如下：（风险等级介于两等级之间，用两等级间的数表示，可低于 0.1 或高于 0.9，最大值为 1）

$$V_d = \begin{matrix} \text{很高} & \text{高} & \text{中等} & \text{低} & \text{很低} \\ 0.9 & 0.7 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \end{matrix}$$

### 6.2.1 确定评价样本

设计专家评分调研表见附录 2,对于评分的专家有 10 人，整理专家评价结果，取其均保留一位小数。评分结果整理如下表表 6-3。

表 6-3 B 项目风险大小专家评分结果

专家因素	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	专家 7	专家 8	专家 9	专家 10
R <sub>11</sub>	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	0.5
R <sub>12</sub>	0.5	0.6	0.7	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
R <sub>13</sub>	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.6	0.5	0.7	0.5	0.6
R <sub>21</sub>	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4
R <sub>22</sub>	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.4	0.6
R <sub>23</sub>	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5
R <sub>24</sub>	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5
R <sub>25</sub>	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4
R <sub>31</sub>	0.5	0.5	0.4	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5
R <sub>32</sub>	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5
R <sub>41</sub>	0.5	0.6	0.5	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4
R <sub>42</sub>	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4
R <sub>43</sub>	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.3
R <sub>51</sub>	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4
R <sub>52</sub>	0.3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3
R <sub>61</sub>	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4
R <sub>62</sub>	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3
R <sub>63</sub>	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4
R <sub>64</sub>	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
R <sub>71</sub>	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5
R <sub>72</sub>	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5
R <sub>81</sub>	0.3	0.4	0.4	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5
R <sub>82</sub>	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5
R <sub>83</sub>	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
R <sub>84</sub>	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.4
R <sub>85</sub>	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5
R <sub>86</sub>	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5

### 6.2.2 计算灰色评估系数

由表6-3样本数据,结合公式(4-7)~(4-11)分别求出计算二级风险指标属于k子类的可能度函数值,再由公式(4-12)、(4-13)计算出二级指标的k子类灰色评估系数和总的灰色评估系数。

以二级指标需求不准确 $R_{11}$ 为例,演示计算过程,总共有10份有效样本数据,因此即专家数 $m=10$ ,第一位专家对 $R_{11}$ 打分为0.6,则根据公式(4-7)得 $R_{11}$ 属于第一灰类即 $k=1$ 的可能度函数值:

$$f_{11}^1(d_{111}) = f_{11}^1(0.6) = 0$$

同理可计算出 $f_{11}^1(d_{112})$ 、 $f_{11}^1(d_{113})$ ... $f_{11}^1(d_{1110})$ 等10份样本属于第一灰类的值,由公式(4-12),得 $R_{11}$ 属于第一灰类的灰色评估系数:

$$\begin{aligned} g_{11}^1 &= f_{11}^1(0.6) + f_{11}^1(0.7) + f_{11}^1(0.6) + f_{11}^1(0.6) + f_{11}^1(0.5) + f_{11}^1(0.6) \\ &\quad + f_{11}^1(0.5)f_{11}^1(0.7) + f_{11}^1(0.7) + f_{11}^1(0.5) = 0 \end{aligned}$$

则第二灰类的灰色评估系数:

$$\begin{aligned} g_{11}^2 &= f_{11}^2(0.6) + f_{11}^2(0.7) + f_{11}^2(0.6) + f_{11}^2(0.6) + f_{11}^2(0.5) + f_{11}^2(0.6) \\ &\quad + f_{11}^2(0.5)f_{11}^2(0.7) + f_{11}^2(0.7) + f_{11}^2(0.5) = 1 \end{aligned}$$

第三灰类的灰色评估系数:

$$\begin{aligned} g_{11}^3 &= f_{11}^3(0.6) + f_{11}^3(0.7) + f_{11}^3(0.6) + f_{11}^3(0.6) + f_{11}^3(0.5) + f_{11}^3(0.6) \\ &\quad + f_{11}^3(0.5)f_{11}^3(0.7) + f_{11}^3(0.7) + f_{11}^3(0.5) = 8 \end{aligned}$$

第四灰类的灰色评估系数:

$$\begin{aligned} g_{11}^4 &= f_{11}^4(0.6) + f_{11}^4(0.7) + f_{11}^4(0.6) + f_{11}^4(0.6) + f_{11}^4(0.5) + f_{11}^4(0.6) \\ &\quad + f_{11}^4(0.5)f_{11}^4(0.7) + f_{11}^4(0.7) + f_{11}^4(0.5) = 8.571 \end{aligned}$$

第五灰类的灰色评估系数:

$$\begin{aligned} g_{11}^5 &= f_{11}^5(0.6) + f_{11}^5(0.7) + f_{11}^5(0.6) + f_{11}^5(0.6) + f_{11}^5(0.5) + f_{11}^5(0.6) \\ &\quad + f_{11}^5(0.5)f_{11}^5(0.7) + f_{11}^5(0.7) + f_{11}^5(0.5) = 6.667 \end{aligned}$$

由公式(4-13)得需求风险 $R_{11}$ 评价总灰色评估系数为:

$$G_{11} = (6.6667 + 8.5714 + 8 + 1 + 0) = 24.238$$

由上述同样的步骤可计算同 B 项目其它 26 个二级风险因素指标 ( $R_{12}$ 、 $R_{13} \dots R_{86}$ ) 灰色评价数, 如下表 6-4 所示。

表 6-4 B 项目风险概率评价灰色评估系数

一级风险指标	二级风险指标	各 k 子类灰色评价系数 $g_{ij}^k$					总灰色统计数 $G_{ij}$
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	
需求风险 $R_1$	需求不准确	0.000	1.000	8.000	8.571	6.667	24.238
	需求变更	0.000	1.333	8.400	8.286	6.444	24.463
	需求技术过高	0.000	1.333	8.000	8.286	6.667	24.286
技术风险 $R_2$	缺少关键技术	0.000	4.333	9.000	6.714	5.222	25.270
	技术变更	0.000	3.667	9.000	7.000	5.444	25.111
	开发技术不匹配	0.000	4.000	9.200	6.857	5.333	25.390
	开发经验不足	0.000	5.667	8.600	6.143	4.778	25.187
	使用新技术	0.000	4.667	8.800	6.571	5.111	25.149
用户风险 $R_3$	缺乏用户参与	0.000	3.333	9.200	7.143	5.556	25.232
	用户对需求和目标不清楚	0.000	3.667	9.400	7.000	5.444	25.511
团队风险 $R_4$	员工士气低效率低	0.000	4.667	8.800	6.571	5.111	25.149
	人员流动频繁	0.000	3.333	9.200	7.143	5.556	25.232
	过于依赖少数核心人员	0.000	6.333	8.200	5.857	4.556	24.946
组织风险 $R_5$	公司资源冲突或不足	3.000	8.333	5.800	4.143	3.222	24.498
	缺乏高层管理的支持	4.000	7.667	5.000	3.571	2.778	23.016
项目管理风险 $R_6$	缺乏管理能力与经验	1.000	8.333	6.600	4.714	3.667	24.314
	团队缺乏培训	2.000	8.000	6.400	4.571	3.556	24.527
	项目规模过大	0.000	6.667	8.000	5.714	4.444	24.825
	缺乏沟通	0.000	3.333	9.200	7.143	5.556	25.232
设计风险 $R_7$	设计错误	0.000	6.000	8.400	6.000	4.667	25.067
	设计要求复杂	0.000	4.333	8.600	6.714	5.222	24.870
计划与控制风险 $R_8$	资源预计不足	0.000	7.333	7.600	5.429	4.222	24.584
	项目计划不准确	0.000	5.667	8.600	6.143	4.778	25.187
	项目范围蔓延	0.000	5.333	8.800	6.286	4.889	25.308
	成本超支	0.000	7.000	7.800	5.571	4.333	24.705
	质量不合格	0.000	5.667	8.600	6.143	4.778	25.187
	进度延期	0.000	7.000	7.800	5.571	4.333	24.705

### 6.2.3 计算灰色评估权向量与灰色权矩阵

同样以二级风险指标为例, 计算二级风险指标的灰色评估权向量, 由公式 (4-14)  $R_{11}$  的灰色评估权值为:

$$r_{11}^1 = \frac{g_{11}^1}{G_{11}} = \frac{0}{24.238} = 0$$

同理  $Rr_{11}^2 = 1/24.238 = 0.041$ ;  $r_{11}^3 = 8/24.238 = 0.330$ ;  $r_{11}^4 = 8.571/24.238 = 0.354$ ;  $r_{11}^5 = 6.667/24.238 = 0.275$ , 所以  $R_{11}$  的灰色评估权向量为:

$$R_{11} = (0, 0.041, 0.330, 0.354, 0.275)$$

同理求出  $R_{12}$  和  $R_{13}$  的灰色权向量, 则  $R_1$  的灰色评估权矩阵为:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0.041 & 0.330 & 0.354 & 0.275 \\ 0 & 0.055 & 0.343 & 0.339 & 0.263 \\ 0 & 0.055 & 0.329 & 0.341 & 0.275 \end{pmatrix}$$

上述同样的步骤即可算出  $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$ 、 $R_8$  的灰色评估权矩阵分别如下:

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0.171 & 0.356 & 0.266 & 0.207 \\ 0 & 0.146 & 0.358 & 0.279 & 0.217 \\ 0 & 0.158 & 0.362 & 0.270 & 0.210 \\ 0 & 0.225 & 0.341 & 0.244 & 0.190 \\ 0 & 0.186 & 0.350 & 0.261 & 0.203 \end{pmatrix}$$

$$R_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0.132 & 0.365 & 0.283 & 0.220 \\ 0 & 0.144 & 0.368 & 0.274 & 0.213 \end{pmatrix}$$

$$R_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0.186 & 0.350 & 0.261 & 0.203 \\ 0 & 0.132 & 0.365 & 0.283 & 0.220 \\ 0 & 0.254 & 0.329 & 0.235 & 0.183 \end{pmatrix}$$

$$R_5 = \begin{pmatrix} 0.122 & 0.340 & 0.237 & 0.169 & 0.132 \\ 0.174 & 0.333 & 0.217 & 0.155 & 0.121 \end{pmatrix}$$

$$R_6 = \begin{pmatrix} 0.041 & 0.343 & 0.217 & 0.194 & 0.151 \\ 0.082 & 0.326 & 0.261 & 0.186 & 0.145 \\ 0 & 0.269 & 0.322 & 0.230 & 0.179 \\ 0 & 0.132 & 0.365 & 0.283 & 0.220 \end{pmatrix}$$

$$R_7 = \begin{pmatrix} 0 & 0.239 & 0.335 & 0.239 & 0.186 \\ 0 & 0.174 & 0.346 & 0.270 & 0.210 \end{pmatrix}$$

$$R_8 = \begin{pmatrix} 0 & 0.298 & 0.309 & 0.221 & 0.172 \\ 0 & 0.225 & 0.341 & 0.244 & 0.190 \\ 0 & 0.211 & 0.348 & 0.248 & 0.193 \\ 0 & 0.283 & 0.316 & 0.226 & 0.175 \\ 0 & 0.225 & 0.341 & 0.244 & 0.190 \\ 0 & 0.283 & 0.316 & 0.226 & 0.175 \end{pmatrix}$$

### 6.3 风险综合评价与结果分析

本文采用的灰色定权聚类评估方法进行风险量化，由 6.1 节确定风险因素的权重，结合 6.2 节的灰色评价权矩阵，即可确定风险综合值。

#### 6.3.1 计算风险综合评价值

以需求风险 $R_1$ 为例，由表 6-3 的权重结果及 6.2 节计算的 $R_1$ 的灰色评估权矩阵及公式(4-16)即可算出需求风险 $R_1$ 综合评价值：

$$B_1 = W'_{11} \cdot R_1 = (0.4617, 0.3639, 0.174) \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.041 & 0.330 & 0.354 & 0.275 \\ 0 & 0.055 & 0.343 & 0.339 & 0.263 \\ 0 & 0.055 & 0.329 & 0.341 & 0.275 \end{bmatrix}$$

$$= (0, 0.0485, 0.3348, 0.3460, 0.2707)$$

同理可得：

$$B_2 = (0, 0.1707, 0.3546, 0.2670, 0.2077)$$

$$B_3 = (0, 0.1398, 0.3672, 0.2773, 0.2157)$$

$$B_4 = (0, 0.1852, 0.3492, 0.2619, 0.2037)$$

$$B_5 = (0.1404, 0.3377, 0.2299, 0.1642, 0.1277)$$

$$B_6 = (0.0246, 0.2231, 0.3223, 0.2419, 0.1881)$$

$$B_7 = (0, 0.2186, 0.3385, 0.2491, 0.1938)$$

$$B_8 = (0, 0.2627, 0.3248, 0.2320, 0.1805)$$

由灰色评价等级向量 $C^T = (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)^T$ 根据公式 (4-18) 对 $R_i$ 灰色水平赋值，得最终的风险值：

$$Z_1 = B_1 \cdot C^T = (0, 0.0485, 0.3348, 0.3460, 0.2707) \cdot \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.5 \\ 0.7 \\ 0.9 \end{pmatrix} = 0.6678$$

同理可得：

$$Z_2 = 0.6023, Z_3 = 0.6138, Z_4 = 0.5968, Z_5 = 0.4603, Z_6 = 0.5692, Z_7 = 0.5836, Z_8 = 0.5660。$$

根据风险等级对照表（表 4-3），可确定风险的等级如下表 6-5：

表 6-5 B 项目各类风险概率综合评价结果

风险名称	量化值	等级	风险名称	量化值	等级
需求风险	0.6678	高	组织风险	0.4603	中等
技术风险	0.6023	高	项目管理风险	0.5786	中等
用户风险	0.6138	高	设计风险	0.5836	中等
团队风险	0.5968	中等	计划与控制风险	0.5660	中等

再根据公式(4-19)可计算出项目总风险综合评价价值:

$$B = W' \cdot R = (0.068, 0.053, \dots, 0.038, 0.089) \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0.041 & 0.330 & 0.354 & 0.275 \\ 0 & 0.055 & 0.343 & 0.339 & 0.263 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0.225 & 0.341 & 0.244 & 0.190 \\ 0 & 0.283 & 0.316 & 0.226 & 0.175 \end{pmatrix}$$

$$= (0.1546, 0.2005, 0.3190, 0.2470, 0.1921)$$

灰色评价水平赋值项目总风险值:

$$Z_{\text{总}} = B \cdot C^T = (0.1546, 0.2005, 0.3190, 0.2470, 0.1921) \cdot \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.5 \\ 0.7 \\ 0.9 \end{pmatrix} = 0.5843$$

根据风险等级对照表, 确定 B 项目内部的总体风险处于中等水平。

### 6.3.2 结果分析

#### (1) 风险量化评估结果分析

由上述计算结果得出 H 公司 B 项目的总体风险值为 0.5843, 处于中等水平, 项目具有可行性, 与现实的状况对比, 结果比较一致。

各种风险大小排序结果为: 需求风险>用户风险>技术风险>团队风险>设计风险>项目管理风险>计划与控制风险>组织风险。显然需求风险的风险最大, 说明它对 B 项目开发阶段对项目影响最为关键的风险, 而组织风险则是项目开发阶段风险相对最小的风险。

组织风险的风险值为 0.4603 处于中等水平, 且靠近于低风险范畴。此项目因此此类风险采取一定的监控措施, 将风险控制在当前水平, 防止风险恶化即可。

项目管理风险值 0.5786、设计风险值 0.5836、计划与控制风险值 0.5660 属于中等风险范畴, 应采取必要的控制措施, 降低风险发生的概率。

需求风险值 0.6678、技术风险值 0.6023 和用户风险值 0.6138 属于高风险水平, 另外, 团队风险的风险值 0.5968 非常接近于高风险的范畴。因此这四类风险应加以重点关注和重视, 提前采取有效的应对和防范措施。

## (2) 评价结果与实际情况对比

B 项目开发阶段进行需求分析与收集的过程中，进行的十分不顺利，项目涉及到城市管理、政府服务、公共安全、三维电子地图，气象站监测系统，水务综合管理等的统一信息化规划和建设，子系统众多，各系统之间的系统衔接，涉及项目利益方干系人众多，各子系统需求多元化，不同的子系统导致信息孤岛现象严重，需求的不确定性增加，用户真实需求收集与项目计划内容差异较大，原计划 20 天完成需求分析计划，由于用户对产品缺少清晰的认识，客户本身也无法详述软件要达到详细目标，需求不准确，导致需求多次变更，需求信息整理整整花了 2 个月，延期了 40 天，且在项目进入开发之后，客户的需求还不断的变更，严重影响了整个项目的进度，增加了 10% 的人力成本，根据 H 公司项目总部对该项目的分析，影响该项目进度和成本的主要问题在于需求分析阶段用户参与度不够，缺乏沟通等问题导致一系列的需求风险，需求风险为该项目实施过程中主要的风险，风险发生的概率达到 60%，发生后对项目目标影响也是不可忽略的，说明需求风险在 B 项目中处一高风险水平，与前面的结果是一致的。

在项目访谈中也发现，用户不仅会与项目开发者在目标和项目需求定义上存有冲突，而且还因为项目开发人员作为技术提供商推进变革，导致用户与开发人员之间产生冲突。使得项目需求分析无法顺利开展，需求的准确性难以保证；智慧城市的发展，需求技术不断更新，没有适合匹配的技术，项目无法顺利进展。虽然电子政务类系统开发技术已比较成熟，但是由于 B 项目针对是新县城市智慧城市综合信息划建设系统网络工程，个性化的需求使得它和过去成熟的电子政务系统区别明显，主要体现各个子系统之间的衔接，并且涉及网络集成、物联网、大数据和云计算等技术，需要融合智慧技术满足客户智慧管理和智慧服务需求，对于 H 公司的技术团队来说，这方面的开发经验还处于发展阶段，核心关键的技术可复用性较差，技术壁垒较难突破，缺少关键技术，导致开发经验不足，加上需求不断的变更，，因此技术对于开发团队来说还是一个不小的挑战，项目开发过程中，由于技术问题，对项目造成了 4 次延期，平均延期时间 10 天，且由于多次返工与更新，导致成本加了 7%，技术风险也处于高风险水平状态，技术风险的发生会严重影响项目成本，进度和质量的达成。

而项目访谈中发现，由于用户对需求表达错误或是叙述不清楚，客户对需求和目标不清楚，又不积极参与项目沟通，导致项目延期总共 6 次，共延期 35 天，增加项目成本 5%，用户风险在项目开发阶段较高水平状态。

而由于负责 B 项目的项目管理决策者的已在软件行业工作 10 多年，有丰富的管理经验，且相对其它项目来说，B 项目是与政府合作的项目，预算相对宽裕，且交货周期也比一般项目长，加之 H 公司本身是国企体制，承接电子政务类的项目是他们的主体项目，因此在系统架构设计上面来说，已有成熟的一套方法，因此设计风险、项目管理风险、计划与控制风险，这三大类风险不是根源风险，相对风险水平没有那么高，这三类风险总共影响项目成本增加 1%，延期 10 天。属于中

等水平的范围，应采取必要的控制措施，降低风险发生的概率。

H 公司发展迅速，内部管理流程制度也相对完善，组织结构相对来说比较稳定，且因为 B 项目是政府类项目，H 公司高层领导非常重视，并参与到项目进度控制计划中，积极调配人力资源，资金等全力支持该项目，因此组织风险相对较小，由于公司资源问题没对项目造成直接的经济成本和进度延期，因此只需采取监控措施，不让风险恶化即可。

由上述可知，用 FISM-ANP-灰色聚类方量化评估软件开发风险的结果与项目的实际情况对比是比较吻合的。从而说明 FISM-ANP-灰色聚类集成的评估方法是有效性的，可用于项目风险评估中。这种方法将软件开发中太多不确定性因素导致的主观难以量化的风险，结合模糊理论与数学模型，用模糊化的语言转换，实现了风险评价从主观到客观数值化过程，为风险应对提供更科学的理论依据。

## 6.4 本章小结

本章是 FISM-ANP-灰色聚类风险量化评估方法的案例应用，建立了 B 项目风险综合评价模型，得出了 B 项目的风险等级排序及风险的总体水平，将结果与实际情况对比分析，验证了 FISM-ANP-灰色聚类分析三种方法结合使用是可行的，也说明 FISM-ANP-灰色聚类法是解决软件开发风险评价问题的有效方法。

## 第七章 结束语

### 7.1 研究总结

软件产业是国家战略性新兴产业，是国民经济的支柱，由于软件产品的特殊性使得软件开发项目一直被视为高风险类的工程，成功率极低，由此带来的经济损失巨大，风险管理是软件项目管理中不可或缺的重要内容，备受关注。风险评估更是风险管理的核心，科学有效的软件项目风险分析与评价方法，是提升软件项目风险管理的科学性与有效性，降低风险影响，提升项目成功率的基础和前提。本文以H公司的数据为背景，以软件项目开发阶段内部风险为研究对象范围，主要进行了以下研究工作：

以H公司为研究背景：（1）结合文献数据及问卷调研，分析整理出了H公司软件项目开发阶段主要的内部风险，共分8大类及27个风险因素，构建H公司的软件项目开发阶段内部风险评估指标体系；

（2）以H公司承接的B县电子政务系统工程项目调研数据为基础，将模糊理论与ISM模型相结合的分析方法，找出27个风险因素的多级递阶层次结构关系，由FISM模型运算结果，理清并分析风险因素之间原本复杂混乱的关系，找出了导致B项目内部系统风险产生的5个根源风险因素，通过风险因素之间的驱动力与依赖性的关系分析，揭示了导致系统风险产生的9大强驱动力因素，给项目决策者后续风险应对与控制提供参考依据。

（3）以上述FISM分析的风险影响关系作为ANP网络结构的输入，提出了FISM-ANP-灰色聚类的项目风险量化评估模型，并将其应用于B项目中。结合ANP的原理确定风险因素权重，作为灰色定权聚类评估的定权系数，运用灰色定权聚类量化了项目风险，得出B项目处于中等水平，并与实际情况对比，验证了该方法的效性。

得出以下研究结论：

（1）提炼了软件项目开发阶段内部的八类风险：需求风险、技术风险、团队风险、用户风险、组织风险、项目管理风险、设计风险、计划与控制风险，找出了27种主要风险因素，便于软件项目风险更有效、更精细的管理控制。

（2）结合模糊解释结构模型、网络层次分析、灰色聚类等系统评价方法的优缺点，集成的FISM、ANP及灰色聚类的软件项目风险分析与量化评价方法是可行的。且这种集成评价方法相比于以往的方法而言，有以下优点：

①利用FISM模型，可简化风险因素间相互影响复杂混乱的网络关系，并快速准

确的找出系统风险发生的根源因素及系统风险产生的驱动力因素，便于项目决策时，更有针对性的进行风险管理，提高管理效率；

借助网络层次分析法在确定权重方面考虑了风险因素相关性的优势，同时将FISM理清的风险因素关系作为ANP网络结构关系的输入，一定程度上避免了主观赋权导致的判断矩阵的数据基数不一致和缺失的情况及专家难以确定风险因素间接影响关系，结合灰色聚类评价方法，可减少风险评价的误差。通过这种评价方法可将原本主观模糊的系统风险量化评估，确定风险等级，从而为项目管理提供决策依据和指导。

③这种方法将软件项目开发中太多不确定性因素导致的主观难以量化的风险，结合模糊理论与数学模型，用模糊化的语言转换，实现了风险评价从主观到客观数值化过程，为风险应对提供更科学的理论依据。

## 7.2 研究展望

本文主要是会对软件项目开发阶段的内部风险进行量化评估研究，论文撰写过程中，鉴于本人水平和时间有限，还存在一些不足，所述内容需进一步完善的地方如下：

(1) 研究范围和对象上，本文只对软件项目风险相对集中的开发阶段内部风险进行了研究，然而软件项目的风险是贯穿于整个生命周期中，风险无时不在，今后的研究中应将研究范围拓展到整个项目生命周期中，结合全面风险管理的思想，进行风险管理研究，为项目管理提供更全面决策依据。

(2) 本文划分风险评估指标时，只研究了一级风险源和二级风险指标因素，而实际情况中，风险因素层级关系是非常复杂的，以后的研究中应该进行更深级别更加细致的划分，此外，风险指标的选取会企业和项目背景的不同而存在一定的差异，因此本文的选取指标不一定适用于所有项目；在进行风险量化评估时，只单维度从风险等级的高低进行评价，这种方法相对较粗放，风险值的大小从风险发生的可能性和对项目造成的影响程度两个维度进行细化，通过风险矩阵确定风险等级，结果会更加精确，这是后续研究的方向。

## 致谢

工作多年后能够再次回到学校静心学习，感受学校才有的那份单纯与宁静，感谢电子科大给予我这样的机会。时光转瞬即逝，美好的学习生活即将结束，这一路走来，经历了很多，也成长很多。

首先，感谢我的导师黎亮副教授在论文选题、开题、中期到最终完稿过程中给予我精心的指导和生活上的帮助。黎老师渊博的学识、和善的为人、朴实的生活作风，无一不触动我，是我学习的榜样。在此向您致以我最诚挚的谢意，感谢您在此期间对我的帮助和指点！

其次，感谢曾经教过我的那些课任老师们，是你们让我感受到知识的魅力与学海的无涯，是你们告诉了我人生就是一个不断学习的过程。

再次，要感谢我的同学皆好朋友康康，龙儿，小潘博士，杨亚芳等及和蔼可亲、乐于助人的室友韩蕾同学以及经管学院2015级的有同学们，感谢你们在我人生最低落无助时给予我的陪伴，鼓励和支持，在我学习遇到困难时，给我的指点和帮助，因为你们，我的研究生生活才会更加丰富与快乐，充满了色彩与青春活力，让我有勇气成为那个更好的自己。真诚的谢谢你们！

最后，感谢论文撰写过程中，帮助过我，支持与鼓励过的我良师益友，感谢我的家人，在我求学期间，一直给予我的宽容、理解和支持。尤其感谢婆婆在我撰写论文期间对我生活上无微不至的照顾和支持！感谢儿子给予精神上最大的支持，你就是我最大的精神动力，愿你健康成长，快乐每一天！

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国工业和信息化部.2017 年软件业经济运行情况 [EB/OL].  
<http://www.miit.gov.cn/n1146312/n1146904/n1648374/c6040132/content.html>, 2018-1-26
- [2] Gartner Group.Gartner Worldwide IT Spending Forecast Gartner[EB/OL].  
<https://www.gartner.com/newsroom/id/3868263>, 2018-03-12
- [3] 郑人杰. 软件工程—实践者的研究方法[J]. 计算机教育, 2007,(2):80-80
- [4] 廖彬山,王慧. 软件项目管理:原书第四版[M]. 北京:机械工业出版社, 2007:1-16,129-150
- [5] B. W. Boehm,T. Demarco. Software Risk Management[M]. Washington D.C:IEEE Press, 1989:17-19
- [6] R. Charette. Software engineering risk analysis and management[M]. Newyork:Intext Publications, 1989:56-63
- [7] J. J. Jiang, G. Klein. Risks to different aspects of system success[J]. Information Management, 1999, 36(5):263-272
- [8] E. M. Hall. Managing risk: Methods for software systems development[M]. Massachusetts:Addison-Wesley Publishing Company,1998:45-56
- [9] 方德英. IT 项目风险管理理论与方法研究[D]. 天津:天津大学,2003:121
- [10] 潘春光.软件项目风险计划与过程控制模型研究[D].长沙:国防科学技术大学,2006:25-51
- [11] 王梅源.软件外包项目全过程风险管理研究[D].长沙:华中科技大学,2006
- [12] P. K. Suri,B. Bhushan,A. Jolly. Simulator for Risk Assessment of Software Project based on Performance Measurement[J]. International Journal of Computer Science and Network Security, 2009,9(6):65-79
- [13] Q. Pang. A model of risk assessment of software project based on grey theory[C] International Conference on Computer Science & Education. IEEE, 2009:538-541
- [14] M. Choetkiertikul,T. Sunetnanta. A Risk Assessment Model for Offshoring Using CMMI Quantitative Approach[C] Fifth International Conference on Software Engineering Advances. IEEE, 2010:331-336
- [15] E. Manalif,L. F. Capretz,A B Nassif. Fuzzy-ExCOM Software Project Risk Assessment[C] International Conference on Machine Learning and Applications. IEEE, 2013:320-325
- [16] C. Kumar,D. K. Yadav. A Probabilistic Software Risk Assessment and Estimation Model for Software Projects[J]. Procedia Computer Science, 2015, 54:353-361

- [17] X. Franch, R. Kenett, F. Mancinelli, The RISCOSS Platform for Risk Management in Open Source Software Adoption[C]. Italy:source Systems Adoption and Impact, 2015,(451):124-133
- [18] S. Vahidnia,O. O. Tanriöver. An Evaluation Study of General Software Project Risk Basedon Software Practitioners Experiences[J]. International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), 2016,8(6):01-13
- [19] I. N. Askerzade,S. Vahidnia,Ömer Özgür. An Early Phase Software Project Risk Assessment Support Method for Emergent Software Organizations[J]. International Journal of Advanced Computer Science & Applications, 2017, 8(5):15-21
- [20] M. Boban,Z. Pozgaj,H. Sertic. Strategies for successful software development risk management [J].Management, 2017, 32(6): 501–508
- [21] 崔杰. 软件系统项目开发内在风险灰色评价模型研究[J]. 情报杂志, 2006, 25(12):49-50
- [22] 冯楠. 软件项目风险管理理论与模型研究[D]. 天津: 天津大学,2007:55-58
- [23] 于本海. 基于 AHP 的软件项目风险投资决策模型研究[J]. 科技管理研究, 2009(6):394-396
- [24] 丁剑洁,郝克刚,侯红,等. 基于粗糙集的软件项目风险管理研究[J]. 计算机科学, 2010, 37(4):117-119
- [25] 幸莉仙,韩玢,黄慧莲. AHP 与 FUZZY 在软件开发项目风险管理中的综合应用[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(4):161-164
- [26] 李伟涛,张建,王宜晓. 基于灰色系统理论的软件项目风险评估研究[J]. 计算机技术与发展, 2013(5):124-126
- [27] 刘明友,帅建锋. 基于 CMMI 的软件项目风险管理研究[J]. 电脑知识与技术, 2013(1):63-66
- [28] 张婧文, 刘新慧. 软件研发项目需求复杂性及其与项目风险关系研究[J]. 科技管理研究, 2015, 35(24):182-185
- [29] 吴登生,李建平,孙晓蕾. 考虑风险相关性的软件风险多目标优化控制研究[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(3):578-586
- [30] 杨国有. 软件项目风险评估指标体系建立[J]. 信息技术, 2016(7):46-49.
- [31] 唐爱国,胡春华. 模糊理论在软件项目风险评估中的应用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2017, 48(2):411-417
- [32] 邵强,林向义. 基于 ANP 的国际石油工程项目风险评价研究[J]. 科技进步与对策, 2010, 27(11):127-130
- [33] 杜红兵,李晖,袁乐平. 基于 Fuzzy-ANP 的空管安全风险评估研究[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(12):79-85
- [34] 张莉. 网络层次分析法(ANP)在 IT 项目风险评估中的应用[J]. 贵州大学学报(社会科学版), 2007, 25(4):34-38

- [35] 葛方振,彭太乐,郭桂芳. 灰色聚类法在软件项目风险评价中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(20):78-80
- [36] 王延明,寒枫,王化鹏. 基于灰色聚类评估的软件需求风险模型及应用[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(18):3497-3500
- [37] 李娟芳,刘幸. 基于灰色聚类的工程项目主体行为风险评价[J]. 科技管理研究, 2012, 32(2):146-149
- [38] 李万庆,郭海燕,孟文清. 基于灰色聚类-SPA 的建筑施工项目安全风险评价[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(8):168-173
- [39] 庞伟英,樊燕燕,李红. 基于灰色聚类法的大跨径桥梁施工阶段风险评价[J]. 工程管理学报, 2015(2):101-105
- [40] 李康,徐海燕,陈浩. 基于灰色聚类方法的关键链项目工期风险评估[J]. 工业工程, 2017(4):57-64
- [41] 闫可,陈晓玉. 基于灰色聚类分析法对房地产项目施工单位风险管理的研究[J]. 项目管理技术, 2016, 14(6):17-20
- [42] 江新,李琦,沈力. 基于 ANP-灰色模糊的水电工程项目群风险预警研究[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(6):146-15
- [43] 廖奇云,邓集伟,蔡钊. 基于 ANP 和灰色聚类法的国际铁路 EPC 项目风险评价研究[J]. 工程管理学报, 2013(5):64-69
- [44] 项勇,张仕廉. 基于灰色聚类——网络分析法的工程项目风险评价[J]. 统计与决策, 2012(1):91-93
- [45] 郑红连. 基于 DANP-灰色系统的 IT 项目建设风险评价——以移动互联网教育产业协同创新平台为实证[D]. 北京交通大学, 2016
- [46] 刘宏,孙浩. 基于 DEMATEL-ANP 的 PPP 项目融资风险分析[J]. 系统科学学报, 2018, 26(01):131-135
- [47] 王婷. 基于 ISM-ANP 的企业环境战略决策模型研究[D]. 郑州大学, 2017
- [48] 刘贵文,杜惠姝,但依然. 基于 ISM 的城市更新项目风险因素关系研究[J]. 建筑经济, 2018(2)
- [49] 乌云娜,胡新亮,张思维. 基于 ISM-HHM 方法的 PPP 项目风险识别[J]. 土木工程与管理学报, 2013, 30(1):67-71
- [50] 王梅源,鲁耀斌,张金隆. 基于 ISM 的软件外包全过程风险结构实证分析[J]. 科技进步与对策, 2006, 23(4):139-142
- [51] 肖人彬,费奇,陈珽. 模糊解释结构建模研究[J]. 模糊系统与数学, 1994(2):23-30
- [52] R. Fairley. Risk management for software projects[J]. Software IEEE, 1994, 11(3):57-67
- [53] 郭波,龚时雨,谭云涛. 项目风险管理[M]. 电子工业出版社, 2008:56-61

- [54] R. Ahmed,N. A. B. Mohamad,M S Ahmad. Effect of multidimensional top management support on project success: an empirical investigation[J]. *Quality & Quantity*, 2016, 50(1):151-176.
- [55] J. J. RAKOS. Software project management for small to medium sized projects[J]. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, 1990,12(6):78-85
- [56] C. B. Jones,R C F Shaw. Case studies in systematic software development[C]. *Information Technology | Programming Languages, Their Environments & System Software Interfaces | Vienna Development Method*. Prentice-Hall, 1990:123-131
- [57] K. A. Demir. 3PR Framework for Software Project Management: People, Process, Product, and Risk[J]. 2017:143-170
- [58] 黄丽,蔡长林. 模糊解释结构模型[J]. *四川大学学报:自然科学版*, 1999(1):6-10
- [59] 熊天义. 模糊矩阵的 Fuzzy 算子[J]. *淮北师范大学学报(自然科学版)*, 1987(2):64-76
- [60] 黄炜. 黑客与反黑客思维研究的方法论启示—解释结构模型新探[D]. 华南师范大学, 2003
- [61] T. L. Saaty. How to make a decision: The analytic hierarchy process[J]. *European Journal of Operational Research*, 1994, 48(1):9-26
- [62] T. L. Saaty. Fundamentals of the analytic network process[J]. *Proceedings of International Symposium on Analytical Hierarchy Process*, 2004:1-26
- [63] 王莲芬. 网络分析法(ANP)的理论与算法[J]. *系统工程理论与实践*, 2001, 21(3):44-50
- [64] H. Song,D. Wu,M. Li. An entropy based approach for software risk assessment: A perspective of trustworthiness enhancement[C]. *International Conference on Software Engineering and Data Mining*. IEEE, 2010:575-578
- [65] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002:23-25
- [66] 刘思峰,谢乃明,党耀国. 灰色系统理论及其应用.第 8 版[M]. 科学出版社, 2017:156-170
- [67] 胥琳. 软件项目风险的识别与风险分析[J]. *项目管理技术*, 2007(11):49-54
- [68] 赵金元. 生产制造类软件项目风险的识别、评估和控制研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2015:43-55
- [69] X. Li,S. Liu,W. Cai. The Application of Risk Matrix to Software Project Risk Management[C]. *International Forum on Information Technology and Applications*. IEEE, 2009:480-483
- [70] T. J. Khdour. Risk Factors in Software Development Phases[J]. *European Scientific Journal*, 2014, 10(3):213-231
- [71] A. Appari,M. Benaroch. Monetary pricing of software development risks: A method and empirical illustration[J]. *Journal of Systems & Software*, 2010, 83(11):2098-2107
- [72] S. Zardari. Software Risk Management[C]. *International Conference on Information Management and Engineering*. IEEE, 2009:375-379

- [73] B. Shahzad,I. Ullah,N. Khan. Software Risk Identification and Mitigation in Incremental Model[C]. International Conference on Information and Multimedia Technology. IEEE Computer Society, 2009:366-370
- [74] D. Wu,H. Song,M. Li. Modeling risk factors dependence using Copula method for assessing software schedule risk[C]International Conference on Software Engineering and Data Mining. IEEE, 2010:571-574
- [75] A. A. Keshlaf,S. Riddle. Risk Management for Web and Distributed Software Development Projects[C]. Fifth International Conference on Internet Monitoring and Protection. IEEE, 2010:22-28.
- [76] K. Lyytinen,L. Mathiassen,J. Ropponen. A Framework for software risk management[J]. Journal of Information Technology, 1996, 11(4):275-285
- [77] L. Wallace,M. Keil,A. Rai. Understanding software project risk: A cluster analysis[J]. Information & Management, 2004, 42(1):115-125
- [78] 黎亮,肖庆钊,宋瑾. 项目管理:PRINCE2+PMBOK[M]. 清华大学出版社, 2015:293
- [79] 孙建华. 综合层次分析法评价模型在项目风险评估中的应用 [J]. 统计与决策, 2009(23):164-167
- [80] 李立新,刘琳,王强. 模糊灰色综合评价方法的构建及应用[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2008, 24(4):577-580
- [81] 付玮琼. 家具产业集群供应链风险管理研究[D]. 东北林业大学, 2015:77-87,93-95

## 附录

## 附录 1 主要风险因素识别问卷

您好！本问卷旨在了解软件项目开发阶段主要的内部风险因素，以研究一种软件项目开发阶段内部风险评价的方法。数据只用于学术研究，感谢您的合作与支持！请结合贵公司（H 公司）软件开发的实际情况对以下风险影响程度和发生概率打分，风险影响程度为五个等级：1 分表示很小（可忽略），分为微小，5 分为一般，7 为严重，9 分为关键；风险发生的概率为 5 个类别：0.1 表示极小，0.3 为较小，0.5 为一般，0.7 为较大，0.9 为极大，处于两等级之间，即填两等级之间的数。如有未例完的重要风险，请填写于备注栏，不常见且影响很小的因素可不打分。

序号	风险因素	影响	概率	序号	风险因素	影响	概率
1	需求不准确			26	过于依赖少数核心人员		
2	需求变更			27	团队缺乏培训		
3	用户需求冲突			28	组织结构不稳定		
4	缺少关键技术			29	公司资源不足或冲突		
5	技术变更			30	组织缺乏角色和责任		
6	需求技术过高			31	组织内外部的用户数量太少		
7	使用新技术			32	组织结构不成熟		
8	缺乏技术反馈			33	缺乏高层管理的参与和支持		
9	团队技术融合糟糕或缺乏			34	管理模式改变工作形式		
10	开发技术与项目不匹配			35	缺乏管理能力与经验		
11	开发经验不足			36	糟糕的项目管理态度		
12	系统依赖性太高			37	项目规模太大		
13	项目范围蔓延			38	成本超支		
14	质量不合格			39	产品变更控制能力缺乏或不		
15	进度延期			40	缺乏外部任务执行		
16	太过依赖单独的开发环境			41	错误预估软件的成效		
17	与其它部门连接太广			42	项目计划不准确		
18	客户对项目交付不满意			43	缺乏沟通		
19	客户冲突			44	角色和责任定义不恰当		
20	用户对需求和目标不清楚			45	缺乏独立的设计和开发工具		
21	缺乏用户参与			46	设计错误		
22	员工士气低效率低			47	设计要求复杂		
23	人员流动风险			48	设计质量低下，导致重复设		
24	项目团队成员太多			49	设计文件太大，不清晰，不完		
25	团队缺乏多样化			50	资源预计不足		
备注				备注			

## 附录 2 B 项目风险等级评分问卷

因为评价目标的特点，将风险划分为：很低，低，中等，高，很高 5 个等级，用[0,1]的任意值表示，各风险等级对应的分值如下：

$$V_d = \begin{matrix} \text{很高} & \text{高} & \text{中等} & \text{低} & \text{很低} \\ 0.9 & 0.7 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \end{matrix}$$

（风险等级介于两等级之间，用两等级间的数表示，最高为 1，最低为 0，请按此标准对 B 项目的二级风险指标进行评分，并将结果填入下表。

一级风险指标	标号	二级风险指标	等级评分
需求风险 $R_1$	$R_{11}$	需求不准确	
	$R_{12}$	需求变更	
	$R_{13}$	需求技术过高	
技术风险 $R_2$	$R_{21}$	缺少关键技术	
	$R_{22}$	技术变更	
	$R_{23}$	开发技术不匹配	
	$R_{24}$	开发经验不足	
	$R_{25}$	使用新技术	
用户风险 $R_3$	$R_{31}$	缺乏用户参与	
	$R_{32}$	用户对需求和目标不清楚	
团队风险 $R_4$	$R_{41}$	员工士气低效率低	
	$R_{42}$	人员流动频繁	
	$R_{43}$	过于依赖少数核心人员	
组织风险 $R_5$	$R_{51}$	公司资源冲突或不足	
	$R_{52}$	缺乏公司高层管理的支持	
项目管理风险 $R_6$	$R_{61}$	缺乏管理能力和经验	
	$R_{62}$	团队缺乏培训	
	$R_{63}$	项目规模过大	
	$R_{64}$	缺乏沟通	
设计风险 $R_7$	$R_{71}$	设计错误	
	$R_{72}$	设计要求复杂	
计划与控制风险 $R_8$	$R_{81}$	资源预计不足	
	$R_{82}$	项目计划不准确	
	$R_{83}$	项目范围蔓延	
	$R_{84}$	成本超支	
	$R_{85}$	质量不合格	
	$R_{86}$	进度延期	

## 附录 3 B 项目风险指标关系问卷

以下是常见8大类一级风险指标，共包括27个二级风险因素指标，构成了B项目开发阶段内部风险评估体系：

一级指标	标号	二级指标	一级指标	标号	二级指标
需求风险 $R_1$	$R_{11}$	需求不准确	项目管理 风险 $R_6$	$R_{61}$	缺乏管理能力与
	$R_{12}$	需求变更		$R_{62}$	团队缺乏培训
	$R_{13}$	需求技术过高		$R_{63}$	项目规模过大
技术风险 $R_2$	$R_{21}$	缺少关键技术		$R_{64}$	缺乏沟通
	$R_{22}$	技术变更	设计风险 $R_7$	$R_{71}$	设计错误
	$R_{23}$	开发技术不匹配	$R_{72}$	设计要求复杂	
	$R_{24}$	开发经验不足	计划与控制 风险 $R_8$	$R_{81}$	资源预计不足
$R_{25}$	使用新技术	$R_{82}$		项目计划不准确	
用户风险 $R_3$	$R_{31}$	缺乏用户参与		$R_{83}$	项目范围蔓延
	$R_{32}$	用户对需求和目标不清楚		$R_{84}$	成本超支
团队风险 $R_4$	$R_{41}$	员工士气低效率低		$R_{85}$	质量不合格
	$R_{42}$	人员流动风险		$R_{86}$	进度延期
	$R_{43}$	过于依赖少数核心人员			
组织风险 $R_5$	$R_{51}$	公司资源冲突或不足			
	$R_{52}$	缺乏公司高层管理的支持			

请根据风险之间相互影响关系强弱进行打分，表中的左边的风险为影响因素，右上方的风险为被影响因素，影响程度请用[0,1]内任意数字表示，分值越高，则表示影响关系越强烈，比如左边的需求不准确 $R_{11}$ 一定会影响右边的需求变更 $R_{12}$ 的发生，则记分为1，对 $R_{13}$ 影响程度非常弱，但也不是完全没有影响关系，记为0.1，以此标准请按你的经验在后表《B项目风险指标相互影响关系表》填写完成所有关系值。

B项目风险指标相互影响关系表

	R <sub>11</sub>	R <sub>12</sub>	R <sub>13</sub>	R <sub>21</sub>	R <sub>22</sub>	R <sub>23</sub>	R <sub>24</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>31</sub>	R <sub>32</sub>	R <sub>41</sub>	R <sub>42</sub>	R <sub>43</sub>	R <sub>51</sub>	R <sub>52</sub>	R <sub>61</sub>	R <sub>62</sub>	R <sub>63</sub>	R <sub>64</sub>	R <sub>71</sub>	R <sub>72</sub>	R <sub>81</sub>	R <sub>82</sub>	R <sub>83</sub>	R <sub>84</sub>	R <sub>85</sub>	R <sub>86</sub>		
R <sub>11</sub>																													
R <sub>12</sub>																													
R <sub>13</sub>																													
R <sub>21</sub>																													
R <sub>22</sub>																													
R <sub>23</sub>																													
R <sub>24</sub>																													
R <sub>25</sub>																													
R <sub>31</sub>																													
R <sub>32</sub>																													
R <sub>41</sub>																													
R <sub>42</sub>																													
R <sub>43</sub>																													
R <sub>51</sub>																													
R <sub>52</sub>																													
R <sub>61</sub>																													
R <sub>62</sub>																													
R <sub>63</sub>																													
R <sub>64</sub>																													
R <sub>71</sub>																													
R <sub>72</sub>																													
R <sub>81</sub>																													
R <sub>82</sub>																													
R <sub>83</sub>																													
R <sub>84</sub>																													
R <sub>85</sub>																													
R <sub>86</sub>																													