大连理工大学

博士学位论文

DOCTORAL DISSERTATION

商业银行贷款组合优化模型研究

许 文

学科、专业：管理科学与工程

指导教师：郑德仕 教授

迟国泰 教授

论文完成时间：2006年11月2日

摘 要

银行贷款决策是商业银行经营管理的核心问题。大多数商业银行的不良资产本质上都是由于资产配置失误而产生。关于商业银行的贷款组合优化模型研究对银行的稳定和发展都具有重大意义。

论文基于商业银行的内部风险控制，分别在流动性风险控制、利率风险控制、违约损失控制三方面探讨了商业银行贷款风险决策中的组合优化问题。

论文共分六章：第一章绪论部分分析了论文的选题依据、相关研究进展、研究方法、研究的技术路线和研究内容。第二章是基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型研究。第三章是基于copula函数的贷款组合期限结构优化模型研究。第四章是基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型研究。第五章是兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型研究。第六章为结论。论文的主要工作如下：

(1)建立了基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型

把新增单项贷款与已有贷款的存量组合视为一个新的组合，利用信用风险的扰动项来定量地表示出信贷资产的信用风险，控制在这个组合中的整体风险，建立新、旧贷款统筹考虑的组合贷款优化模型。反映了贷款存量组合累计风险对新增贷款决策的直接影响，改变了现有研究仅仅立足于控制增量贷款组合风险的现状。

(2)建立了基于copula函数的贷款组合期限结构优化模型

用copula函数拟合短期贷款与中长期贷款的联合分布情况，通过联合分布概率来计算贷款组合的风险价值，选择风险最小时的短期贷款与中长期贷款的比例，由此确定了贷款组合的最优期限结构，对于整体与非正态概率没有苛刻要求的copula函数拟合的联合分布概率反映了贷款组合的真实风险，防范了银行的流动性风险，改变了现有研究大多将资产组合的联合分布假设为多元正态分布，因而低估了资产组合风险的现状。

(3)建立了基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型

通过逆向递推原理，在考虑下一区段优化配置结果的前提下，控制了本区段单位收益所承担的下偏矩风险，以所有区段全部资产收益最大化为目标，建立基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型。反应了不同区段的单位收益所承担的风险对贷款总体效果的相互影响，在考虑单个区间贷款最优的过程中，优化配给所有区间段的贷款。

(4)建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型

以贷款利息收益最大化为目标，以利率风险免疫条件和数量结构对称为约束，以线性规划为工具，建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型，解决了资

产与负债利率的协调与匹配问题，保护了银行的股东权益，避免和减小了流动性风险，保证了银行资产配给的合法性与合规性。

关键词：商业银行；贷款组合；组合优化；风险控制；决策模型

The Research on Loan Portfolio Optimization Model for Commercial Bank

Abstract

Loan portfolio optimization is the core of management of commercial banks. The most of non-performing assets are contributed by the assigning mistake. The research on loan portfolio optimization model for commercial banks is most important to realize the basic goal and final goal of management.

The paper is based on the inner risk control of commercial banks. The paper separately based on liquidity risk control、interest risk control and default loss control discuss the problem of portfolio optimization model of loan risk decision-making for commercial bank.

The paper is divided into six chapters. The first chapter is about the issue selection gist, relative research review, research approach, technical route and research content. The second chapter is the research on the loan portfolios model considering accumulative risk of the existing portfolio and increment risk of new loans. The third chapter is the research on loan portfolio term structure optimization model on base of Copula. The fourth chapter is the research on multi-stage dynamic optimal model of loan portfolio for commercial banks based on default loss control. The fifth chapter is the research on optimization model of Asset-Liability portfolio considering interest risk and liquidity risk. The sixth chapter is the conclusion of the paper. The main works of the paper are shown as follows:

(1) The paper sets up the loan portfolio Decision-making Model for Individual Incremental Loan based on the accumulative risk control of the existing portfolio.

The paper takes the Individual Incremental Loan and existing loan as a new loan portfolio. This model uses the perturbation item to represent credit risk; this can control the whole risk of new portfolio. It sets up loan portfolio optimization model considering new and old loan. The model considers the effect of the accumulative risk of the existing portfolio of the old loans and the rational relationship between previous portfolio and the new added. The model changes the phenomenon of the present research only controlling the risk of Incremental Loan portfolio.

(2) The paper sets up a loan portfolio term structure optimization model on base of copula.

Using copula model to the consociation distribution of short term and long term loans, and using VaR method to determine the minimum risk assets portfolio, When the risk is least choosing the ratios of short term loan and long term loan, then getting the optimization loan portfolio term structure. The joint distribution of fitting function copula which needn't request integer and abnormal distribution reflects the real risk of loan portfolio, keeps away the

liquidity risk of bank, changes the phenomenon of the most present research undervalue the asset portfolio risk because of supposing assets obeys multi-normal distribution.

(3) The paper sets up multi-stage dynamic optimal model of asset portfolio based on default loss control

By using Backward Induction Method, under considering the next period asset portfolio optimization, controlling current period the Downside-risk per profits of bank. Taking maximizing the whole period asset profits as target, setting up multi-stage dynamic optimal model of asset portfolio based on default loss control. This reflects the influence to the whole loan allocation of different period Downside-risk per profits of bank can bear. By considering the single period loan portfolio's optimal to optimize the whole period loan portfolios. Through considering the single period loan optimization, optimizing the whole period loan allocation.

(4) The paper sets up the optimized asset-liability portfolio model that concurrently control the interest rate risk and liquidity risk.

It takes the maximum interest rate of loans as the target, it takes the interest rate risk immunity condition and the quantity structure symmetry as restrains, by taking linear programming as the tool to set up optimized asset-liability portfolio model that concurrently control the interest rate risk and liquidity risk.. Through the duration gap and immunity conditions, the paper controls the interest rate risk and protects the equity rights, the model solves the harmonization and match problem, and it protects the bank equity against the effect and loss while the market interest rate changing. Through the quantity restrictions of law, code and managing, this paper controls the liquidity risk and ensures the payment ability of bank; it can ensure the legitimacy and standard of bank assets allocation. It controls the liquidity risk, assure the payment ability and avoid the liquidity crisis.

Key Words: Commercial Bank; Loan Portfolio; Portfolio Optimization; Risk Control; Decision-Making Model

博 士 学 位 论 文

商业银行贷款组合优化模型研究

The Research on Loan Portfolio Optimization Model for Commercial Bank

作 者 姓 名： 许 文

学科、专业： 管理科学与工程

学 号： 10111037

指 导 教 师： 邓贵仕 教授

迟国泰 教授

完 成 日 期： 2006年11月2日

大连理工大学

Dalian University of Technology

资助项目： 国家自然科学基金资助项目(NO:70471055)

高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(NO:20040141026)

独创性说明

作者郑重声明：本博士学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得研究成果。尽我所知，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的研究成果，也不包含为获得大连理工大学或者其他单位的学位或证书所使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

作者签名：__________日期：2006.11.2

大连理工大学学位论文版权使用授权书

本学位论文作者及指导教师完全了解“大连理工大学硕士、博士学位论文版权使用规定”，同意大连理工大学保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权大连理工大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，也可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文。

作者签名：

导师签名：

2007 年 3 月 15 日

1 绪论

1.1 选题的科学依据和意义

1.1.1 选题的科学依据

(1)贷款组合优化是银行信贷经营管理的核心

贷款业务是银行为现代经济社会的运行和发展所提供的最重要的金融服务。信贷资产构成了银行资产项目中的最主要和最重要部分[1]，贷款利息收入是商业银行最主要的获利来源，决定着银行的效益和持续发展。因此，贷款组合管理水平对银行的盈利能力乃至市场竞争能力有着相当大的影响。

自商业银行产生以来，贷款的收益与风险一直是银行经营者、银行监管部门关注的焦点，信贷管理始终是商业银行的一项重要的、支柱性的管理业务，也是现代银行管理理论研究的主要领域和内容。现代商业银行经营的基本目标是资金来源与运用在效益性、安全性和流动性上的“三性”平衡，而贷款组合优化是商业银行维持或达到资金“三性”平衡的有效方式[2]。

全球银行危机案例研究表明[3]：银行危机的实质在于商业银行资产配置的失误。由此可见，商业银行贷款组合优化是现代商业银行信贷管理框架中的核心内容，对实现商业银行的效益最大化目标至关重要。

(2)我国商业银行不良贷款率居高不下，资产质量亟待提高

目前国际上优秀的商业银行不良贷款率多在3%以下，中等商业银行在5%左右。根据中国银监会统计数据，2006 年一季度末，我国主要商业银行(国有商业银行和股份制商业银行)不良贷款余额 1.21 万亿元，不良贷款率 8.3%。其中，国有商业银行不良贷款余额 1.06 万亿元，不良贷款率高达 9.8%。若不良贷款余额下降 1%，即可盘活贷款 106 亿[4]！

不良贷款的巨额存量固然是一个亟待解决的社会性难题，但新增不良贷款的持续发生更是银行和社会所不可忽视的一个重大课题。如何在利率市场化的条件下，降低信贷风险、提高新增贷款质量，优化资产配置、提高银行盈利能力，这是摆在商业银行和银行监管部门面前的一个现实问题。

(3)我国政府和银行监管当局高度重视商业银行的资产风险管理

基于维护存款人的权利，保证长期的金融稳定和社会稳定，我国政府和中国人民银行、中国银监会高度重视商业银行的经营管理问题，关注和指导商业银行持续提高盈利能力，不断降低信贷风险。近年来，我国政府陆续颁布了中华人民共和国银行法、商业

银行法、商业银行市场风险管理、股份制商业银行指引等一系列金融法律和法规，加强商业银行的风险管理，按照国际标准出台了诸多监管比例，对商业银行的经营行为实施规范管理。

(4)论文的选题源于国家自然科学基金研究项目

论文的选题源于导师迟国泰教授主持的国家自然科学基金资助项目"基于组合风险控制的银行资产负债管理优化理论与模型"(NO:70471055)和高等学校博士学科点专项科研基金资助项目"银行资产负债管理的资源配置优化决策理论与模型研究"(NO:20040141026)。

1.1.2 选题的意义

(1)探索银行风险管理亟待解决的理论问题

近年来，商业银行贷款组合优化理论的研究发展迅速，虽然取得了较大的进展，但是对于贷款组合的累计风险控制、多期贷款组合优化等诸多问题还没有得到解决，因此商业银行贷款组合优化模型的研究有利于贷款组合的风险控制和贷款组合优化理论的发展，有利于深化相关研究。

(2)探索我国银行实践中亟待解决的实际问题

目前，我国商业银行的风险管理手段匮乏，管理水平和管理效率低下，在我国金融业全面对外开放的今天，难以与外资银行进行激烈的市场竞争。尤其是贷款的收益与风险控制问题，更是我国商业银行的管理"软肋"，为了提高市场竞争力，维持金融稳定，我国商业银行在业务运行中亟需有效的管理手段和工具。由此，建立一套面向银行综合风险控制的贷款组合优化决策方法，促进商业银行金融资产的合理分配和利用，在提高我国商业银行的风险管理水平上有一定的现实意义。

本文致力于解决商业银行在实际业务运行中的贷款决策和贷款优化的模型，为改进管理手段，提高管理效率提供一定的支持。

1.2 国内外研究进展分析

1.2.1 按研究方法分类的贷款组合优化研究现状分析

1.2.1.1 基于评级和评分方法的贷款组合优化方法

信用评级包括银行内部评级与评分和Standard & Poor、Moody等机构的外部评级。利用回归技术的外部评分的典型是Altman在1974年提出的z值信用评分模型，这种模型完全依赖于财务数据，对非财务因素的分析没有体现出来[5]。Gollinger 和John

Morgan(1993)[6]建立的商业银行贷款组合有效前沿计算模型，这种方法用行业平均ZETA分数来代表行业风险，用ZETA分数的平均值来求违约的方差-协方差矩阵。

评分法只反映企业的财务数据情况，而不直接反映出各种贷款之间的相互关系，从而使这种模型的组合精度受到影响。其次，这种方法的约束条件是贷款组合收益大于等于目标收益，当目标收益定的较大时，银行要面临较大的风险。

1.2.1.2 基于期权理论的信用分析方法

基于期权理论的信用分析技术是由Robert Merton在1974年提出来的。他发现银行发放的贷款，其得到的支付与卖一份借款企业资产的看跌期权是同构的，后来KMV公司运用Merton的这一思想开发了违约预测模型Credit Monitor Model[7]。

这种模型的收益、风险和相关系数变量都依赖于 EDF(预期违约频率，Expected Default Frequency)，其中的不足很明显：期权评价模式较适用于市场资料相对充分的上市公司；而且对于不同债务，其到期期限可能有所不同，使债务价值估计上比较困难。

1.2.1.3 基于均值－方差的贷款组合优化方法

这种贷款组合方法基础是 Markowitz 提出的均值一方差模型[8]，通过在一定收益率基础上求解最小风险方差或在一定风险方差基础上求解最大收益率，从而得出最优组合[9]。

Altman 提出的商业贷款组合分析模型[10,11]，这种方法是在贷款组合收益大于等于目标收益的约束下，求解夏普指数的最大化。马志卫(2006)[12]通过蒙特卡洛模拟，以贷款项目的财务内部收益率及其波动反映其收益和风险，建立组合收益最大、组合风险最小的贷款组合多目标规划决策模型。分步求解得到满足约束条件的若干贷款有效组合和有效前沿曲线，有效前沿曲线与银行的无差异曲线的交点是满足银行风险偏好的最优贷款组合。姜灵敏(2006)[13]在综合考虑贷款收益和风险的前提下，从众多的贷款对象中选择一组合适的贷款，建立综合考虑贷款收益和风险的贷款决策模型。马慧民(2006)[14]针对贷款组合优化决策模型的求解问题，提出了用于求解该问题的二进制粒子群算法。传统的以均值-方差模型为基础的贷款组合方法还有互斥化法、排序法、有效梯度法、规划方法等[15-20]。

这种方法是在 Markowitz 提出的以均值作为组合收益和以方差作为组合风险的基础上得到的方法，这种方法在现有研究中应用最为广泛。但因均值和方差的计算需要大量的历史数据，而实际上我们很难得到贷款的完整的历史数据，因此实证研究受到限制，现有研究大都利用虚拟的数据进行实例研究。

1.2.1.4 基于风险价值VaR的贷款组合优化方法

VaR方法是通过在一定概率置信度下的贷款最大损失值来确定银行的风险资本要求[21]。典型的研究包括以VaR为约束条件、采用Lagrange乘子法求解的优化模型[22][23]，用VaR度量风险与用方差度量风险对资产组合收益率影响进行比较[24]，以及VaR度量风险下的组合模型的经济学意义等。

迟国泰和奚扬等[25](2002)以银行各项资产组合收益最大化为目标函数，以 VaR 风险限额为约束，以法律、法规和经营管理约束为条件，建立了基于 VaR 的银行资产负债管理优化模型。Dietsch(2002)等[26]利用 VaR 约束组合的风险，提出了针对小商业贷款特征的具体贷款组合模型，并进行了实证研究。袁乐平(2005)[27]以商业银行各项资产和负债的组合收益最大化为目标函数，以贷款组合的 VaR 约束及法律法规约束和经营管理约束为条件，提出了基于 VaR 约束的商业银行资产负债组合配给模型体系。刘晓星(2006)[28]考虑组合资产的交易成本、交易限制、资金约束和投资者的风险承受度，构建基于 CVaR 约束的投资组合优化模型。

这种方法的优点在于可以很直观地表示出银行的潜在损失，但 VaR 的输入变量给出的不明确，对于贷款组合优化模型中的三个关键变量，没有给出具体的确定方法，而这对于模型的有效性是至关重要的。贷款的收益、风险和相关性指标本来就很难确定，所以贷款组合优化模型不能完全套用 Markowitz 投资组合模型，而由此计算得出的有效边界也不切实际。

1.2.1.5 基于信用迁移的贷款组合优化方法

自从J.P. Morgan推出CreditMetrics度量组合价值和信用风险的方法之后，有关资产的信用迁移的分析被许多银行和学者所采用。Altman和Kao、Standard & Poor以及Moody等给出了不同标准下的信用迁移矩阵[29-31]，信用等级随时间变化对资产的价值和信用利差的重要影响[32,33]。这些研究为银行贷款决策的信用风险的分析打下了基础。David Lando 等[34,35]应用半参数回归法对连续时间的信用等级迁移进行了估计，用实证数据证明了非马尔科夫过程的数据集对持续期的依赖以及对上一信用等级的依赖。

现有研究的风险转移矩阵虽然已经研究到证券市场或证券债信评级层次，但在反映信贷或贷款层次上的风险迁移矩阵或规律的方法还没有。大多数公司并不在资本市场上发行债券，这类企业的风险很难衡量。另外，债信与贷款评级在实践中有很大的区别，信贷风险的转移规律亟待探讨。

1.2.1.6 基于随机规划的贷款组合优化方法

Kusy(1986)[36]在满足法律、银行法规等条件下，考虑银行资产和负债的不确定性，建立了多起动态随机规划模型，利用模型给出了一个五年期的资产负债组合规划形式。Leonard(2004)[37]讨论了多风险资产的长期资产配置问题，通过资产增长对数效用函数，

建立了多期资产组合随机规划模型。研究还将建立起来的模型推广到动态配置资金的证券市场等情况。Mulvey(1994)[38]对多期随机规划问题的算法进行了研究，提出了平行分解算法，将问题分解为对应情景下的子问题，从而通过调整情景得到规划问题的解。Consigli (1996)[39]考虑了半自动资产负债管理情形，通过对养老基金管理的建模，建立了资产负债动态随机规划模型。

由于模型计算的复杂性、参数的不确定性和随机规划的求解难等问题，这种方法很少应用于实践。

1.2.2 按贷款期限分类的贷款组合优化研究现状分析

1.2.2.1 单期贷款组合研究现状分析

单期贷款组合研究是仅考虑一个贷款期限的研究，大致可以分为以下三类研究：

(1)基于组合风险最小化的单期资产组合研究

迟国泰和朱战宇等(2000)[40]分析了国内外同类研究的缺陷，提出了反映贷款风险组合优化规律的决策原则，并以 0-1 型整数规划为工具，以综合贷款风险度为约束条件，建立了贷款风险组合的优化决策模型。Sheedy 等人(1999)[41]在满足目标收益率约束的前提下，运用二次规划方法求解资产组合风险的最小化，建立了当风险变化时的资产分配决策模型。

(2)基于组合收益最大化的单期资产组合研究

庄新田、黄晓原(2001)[42]在满足资产负债比率管理的约束条件下，追求银行资产收益最大化，建立了资产负债管理模型。Gjerde 和 Semmen(1995)[43]利用线性规划方法，在风险资本约束、资本充足率约束和可用头寸约束的前提下，求解银行收益最大化，建立了满足资本需求的银行组合风险决策模型。陈道斌(2001)[44]以资产负债比例管理指标为条件、银行收益最大为目标、线性规划为工具，建立了银行资产负债优化模型。

(3)同时考虑收益和风险因素的单期资产组合研究

Shing 和 Nagasawa(1999)[45]建立了期望收益最大和组合风险最小的多目标随机规划模型，但这种模型也未考虑收益率的不确定性。同时这种模型对如何分配目标权重以合理反映银行风险承受能力也缺乏应有的考虑。Brinson 等人(1986)[46]建立了投资组合业绩分析模型，Altman(1997)[11]应用数学规划方法建立了公司债券与商业贷款组合分析模型。其中 Altman 模型的目标函数是追求夏普比率((Sharpe Ratio)[47-51])的最大化，其经济学含义实际上是追求单位风险收益的最大化。Tim 和 Litterman(1998)[52]在 Altman 研究的基础上，考虑了风险资本的约束，建立了持续性风险监测和资本优化模型。为了避免在资产配给中的剩余资源过多，这类模型的约束条件采用了新贷款的组合收益大于或等于目

标收益。迟国泰和秦学志等(2000)[53]针对已有的不确定投资情况下风险与收益选择方法的特点与弊端，提出了在贷款组合配给中的单位风险收益最大原则，并依此建立了风险贷款组合的优化决策模型，解决了收益与风险各不相同时贷款组合的决策问题。

仅从单一的贷款期限来研究贷款组合，没有考虑到多期贷款组合的问题是单期贷款组合研究的不足之处。

1.2.2.2 多期贷款组合研究现状分析

(1)基于组合收益最大化的资产组合研究

Gjerde 和 Semmen(1995)[43]在风险资本约束、资本充足率约束和可用头寸约束的前提下，求解银行收益最大化，建立了满足资本需求的银行两期资产组合风险决策模型。Li 和 Ng(2000)[54]在组合风险小于目标值的情况下，以组合收益最大化为目标，建立了多阶段的均值-方差组合优化模型。Tokat 等人(2003)[55]在反映风险价值与风险厌恶程度的情况下求期望收益的最大化，并应用动态分配方法，通过情景模拟给出了特定情况下的多期资产分配比重。Puelz(1997)[56]在满足对未来负债提供足够现金流的前提下，力求实现所需现金流成本最小的目标，建立了多期资产负债的随机组合模型。程迎杰和秦成林(2000)[57]在满足预算约束和资产负债管理比率约束条件下，追求银行利润最大化，建立了多周期银行资产负债管理的随机规划模型。

(2)基于组合风险最小化的资产组合研究

杨智元(2003)[58]建立了动态的无风险资产组合模型，通过该模型进行调整，得到在一段时间内使资产组合处于无风险状态的动态过程。潘雪阳(2005)[59]研究了从一期投资扩展到多期投资的优化策略投资，证明了在多期投资中每一期的最优投资策略类似于一期最优投资策略，而总的风险概率在各期之间进行分配。Rasmussen (2006)[60]动态地考虑了投资者对风险的态度变化，以各期的风险最小为目标函数，建立了多阶段资产组合整数随机规划模型。Nikolas 等(2006)[61]以资产组合的风险价值最小为目标函数，建立了多期资产组合的线性随机规划模型，并证明该模型优于单期的资产规划模型。

(3)综合考虑收益和风险的资产组合研究

李仲飞等人(2004)[62]在安全第一的原则下，运用线性规划研究了连续时间金融市场的最优资产组合选择问题，并与 Markowitz 的均值—方差模型进行了比较。郭战琴等人(2005)[63]在综合考虑商业银行的风险承受能力以及在风险与回报均衡的基础上，提出基于 VaR 约束的贷款组合多目标决策方法，并引入几何方法求解该多目标优化问题。Norbert J. Jobst 等人[64-66]结合信用风险与市场风险描述了固定收益资产的随机动态性，并考虑了贷款违约的时间风险，建立了资产负债多期随机规划模型。Consigli、Wall 等

人[39,67-71]基于资产负债的收益和风险，通过多维随机规划方法建立了许多模型，对资产负债管理问题进行了大量研究。

现有的多期贷款组合文献虽然研究了多期资产组合的优化配置问题，但是忽略了多期资产组合优化配置之间的相互影响。

1.2.3 按风险控制对象分类的贷款组合优化研究现状分析

1.2.3.1 基于流动性风险控制的贷款组合优化方法研究

近年来代表性的研究是 Amy V. Puelz 的资产负债随机组合模型[72]和 Karl Frauendorfer 的多阶段随机规划模型[73]。这种方法在满足对未来负债提供足够现金流的前提下，实现所需现金流成本最小的目标。Norio Hibiki(2006)[74]建立多阶段随机优化模型，在假定负债提供足够现金流的前提下，对资产组合进行动态配给，证明模拟通径结构相较于传统的树结构，能够更准确地刻划资产回报的不确定性。用相同的模拟数据对混合通径模型和传统树模型进行对比分析，并描述固定比例资产的有效前沿，等到混合模型能够更好地评估和控制资产组合风险的结论。Gary P. Moynihan[75]等人提出资产负债的决策支持体系，利用历史数据预测资产与负债的数量，并利用仿真模型模拟利率的变动，预测未来周期内的利率走势。该体系能够预测资金缺口与利率风险，能够使资金持有者在变动的市场环境中做出有利的抉择。程迎杰和秦成林[57]在考虑一系列确定的投资回报率、借入成本以及一系列随机存款的条件下，建立一个带有简单补偿的多周期随机规划模型，在一个计划期内决定资产与负债的组合。

这类模型的特点是立足于银行支付能力的管理，但未考虑资产与负债利率的协调与匹配。

1.2.3.2 基于违约风险控制的贷款组合优化方法研究

代表性的研究是 E. I. Altman 的商业贷款组合分析模型[11,76]。这类模型以夏普指数(Sharpe Ratio)为基础，求解单位风险收益最大化。但由于模型的约束条件是组合贷款收益大于或等于目标收益，当目标收益定得较高时，银行则会面临着较大的风险。Mei Choi Chiu(2006)[77]等人运用均值—方差模型，以最终盈余的均值最大化，或方差最小化使资产负债达到最优，以此给出一个最优的期望盈余的均值与方差。并采用随机二次方程给出均值—方差的有效前沿，运用模型讨论了资产持有者与共同基金投资者在不同目标下的最优组合。Yarema Okhrin 和 Wolfgang Schmid(2006)[78]用二次期望效用函数计算组合分配比重的协方差，估计收益服从多元高斯过程时资产组合的渐进分布，得到夏普指数条件密度的组合最优比重。王春峰(2006)[79]等人建立含有对违约风险控制、平均绝对离差约束、平衡表其他相关约束以及目标约束等在内的商业银行利率风险管理的目标规划

模型，并在给出数值实例的基础上，讨论了违约风险的存在对银行利率风险管理的影响。Samuel Hanson 和 Til Schuermann(2006)[80]提出信用区间的对比体系，用参数法及非参数法估计了不同等级企业的违约概率，用实例检验了点估计、信用区间估计与非马尔可夫过程的一致性。

当然，这类模型的共性问题也是未考虑利率风险。

1.2.3.3 基于利率风险控制的贷款组合优化方法研究

从西方商业银行的实践看，这类方法侧重于利率、资产负债数量、利率敏感性资产与利率敏感性负债的组合分析[81-83]。这类方法又分为两种：

一种是资金缺口管理模型/会计模型(Accounting Model)[84-87]。这种模型把利率敏感性资产减去利率敏感性负债做为资金缺口(Funding GAP)，通过资金缺口和利率变动来确定净利息收入的变动。这种模型的最大优点是简单明了，计算计划期内的资金缺口也很容易。但缺口管理模型没有考虑利率变化对所有者权益的影响——而这正是银行股东最关注的问题。

张永成(2006)[88]运用利率敏感性缺口衡量了我国商业银行的利率敏感性比率，实证结果表明我国商业银行从资产敏感型逐步向负债敏感型过渡，随着利率下调至低点，商业银行面临的利率风险有暂时减小的趋势。Anwer S. Ahmed(2004)[89]等人研究了商业银行到期票据缺口在银行利率风险管理中的重要性，并用 1990-1997 年的美国利率市场变动实际数据、某银行在此阶段净利息收入的数据证明了固定利率与浮动利率对净利息收入影响的大小。Gloria M. Soto 等人[90-92]对比了单精度模型与多因素持续期模型在利率免疫中的作用，实证结果表明，所考虑的风险因素的个数对利率免疫的影响要高于模型的选择对利率免疫的影响，并且三因素的持续期模型精度最高。

第二种是持续期缺口管理模型/经济模型(Economic Model)[84,93-96]。持续期(Duration)是用时间进行加权的现金流量的现值与未加权的现金流量现值之比，用它来衡量一系列固定现金流的平均期限。这种方法通过资产与负债的持续期缺口和利率的变化，来判断银行净值(所有者权益的市场价值)的变化。它的核心在于银行资产负债价值的敏感性分析。这种方法的优点一是只需考虑资产和负值的总体平衡，而不必设法去逐笔平衡每一笔资产和负债。二是考虑了货币的时间价值，是一种对利率的动态分析方法。这种方法的不足之处，一是其虽然可用于分析既定结构的资产负债的利率风险，但未能对资产负债结构进行事先的整体优化。二是衡量银行净值的变化需要预测利率的变动，这在实践中往往是一个棘手的问题。三是对流动性风险的控制缺乏考虑。有鉴于此，这种模型在实际中的应用尚不如会计模型广泛[83]。Yusuf Jafry 和 Til Schuermann 等人[97,98]提出基于群和二变量持续期的信用组合模型，并应用该模型计算了基于二变量持续期模型的信用

迁移矩阵，用于控制信用风险。Merxe Tudela(2004)[99]用半参数法估计了无风险底线的持续期模型，并研究了银行资产与负债的时间长度对流动性危机的产生的影响。

1.2.4 现有研究存在的主要问题

通过对银行贷款组合文献的回顾可知，国内外商业银行的贷款组合优化研究经历了一个迅速的发展过程，并获得了一些有价值的研究成果，但受发展历史短的影响，在现有的中国商业银行贷款组合研究中存在着以下几点不足：

(1)*缺乏对资产与负债利率的协调与匹配问题的分析*。现有研究只分析既定结构的资产负债的利率风险，关于利率风险对银行损失的影响只是事后测算，未能对资产负债结构进行事先的整体优化，使在利率发生变动时，无法控制银行的利率与流动性风险，不能保障银行的支付能力。

(2)*现有研究未反映贷款存量组合风险对决策的影响*。事实上，存量组合与增量组合构成了银行的全部贷款组合，它们的风险均对银行资产质量产生直接影响。并且现有的研究模型主要集中于单个企业或个人的财务分析，没有把微观层次的风险与宏观经济变量衔接起来，没有充分考虑宏观经济要素对微观个体还贷能力的重要影响。

(3)*现有的多期资产组合研究没有对违约损失进行控制*。现有研究大多用方差控制风险，存在着许多的问题。另外，现有研究把贷款的不同区间视为一个统一的区段进行优化，没有考虑不同区段间贷款收益与风险的相互影响。事实上，不同区段贷款的组合收益与风险是相互影响的，不同区段贷款的组合收益与风险对整个贷款的总体收益和风险也是有直接的交互影响。

(4)*对银行贷款的匹配未考虑期限结构问题*。已有研究未考虑银行的短期贷款与中长期贷款的期限结构匹配问题，并且一般假设贷款组合的分布为多元正态分布，这就低估了贷款组合的风险，无法避免银行流动性危机的发生。

鉴于以上分析，本论文对商业银行贷款组合优化问题进行研究，以期解决上述不足，逐步完善商业银行贷款组合研究的理论方法体系，为商业银行管理水平的提升提供借鉴与思路。

1.3 研究方法与内容

1.3.1 研究方法

1.3.1.1 基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策的研究方法

(1)*用单因子套利模型 APT 扰动项表示信用风险*

通过计算单因子套利模型 APT 的扰动项的方差，给出了单因子套利模型 APT 的信用风险表示方法。这就改变了现有研究只给出了扰动项的期望为 0 的现象。

(2)用信用迁移矩阵 CreditMetrics 定量地表示非系统风险

利用企业的信用迁移矩阵以及信用迁移对收益率的影响，应用随机分析方法找出资产的价值这一随机变量与时间的关系和与信用等级迁移的关系，定量地表示出了非系统风险。

1.3.1.2 基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化的研究方法

(1)用非正态分布拟合贷款组合的联合分布

运用银行贷款收益率的实际数据计算 4 类 copula 函数的表达式，通过多元范数距离法选择能够刻划联合分布的最优的 copula 函数，从而对贷款组合进行联合分布函数的拟合。

(2)用联合分布函数来计算贷款组合的风险价值 VaR

用联合分布的风险价值 VaR 度量贷款组合的风险，并用牛顿差值法和描点法求解风险最小的短期贷款与中长期贷款的比例，从而确定贷款组合的最优期限结构。

1.3.1.3 基于违约损失控制的多期资产组合动态优化的研究方法

(1)用逆向递推方法配置多期资产组合

考虑下一区间段贷款组合对本区间段的贷款组合的影响，从最终阶段开始，逆着实际过程的进展方向逐段求解贷款组合，在每一段求解中都要利用上一阶段的结果，直到初始阶段求出结果，返回始点为止。

(2)用单位收益的下偏距风险来控制贷款组合的违约损失

通过计算贷款组合的下偏距风险，然后与资产组合的总收益相除，得到贷款组合的单位收益下偏距风险。控制单位收益下偏距风险少于一定值，实现对贷款组合的违约损失控制。

(3)用动态非线性优化方法求解多期资产组合

非线性规划能计算出不同区段贷款效益对全部区段贷款总体效益的相互影响。而动态规划只计算了组合收益，没有对各区间段的贷款配给进行优化。

1.3.1.4 兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化的研究方法

(1)用持续期缺口控制利率风险

通过持续期缺口的控制和免疫条件来控制利率风险，消除或减少由于利率波动所引起的银行净值的变化。

(2)用线性规划方法优化贷款组合

通过免疫条件约束，通过法律约束、法规约束和经营管理的约束，以贷款利息收益最大为目标，以线性规划为工具，实现贷款组合的最优决策。

1.3.2 研究的技术路线

本论文采用理论研究与应用实例、定性分析与定量分析相结合的研究方法展开，具体的研究思路和技术路线详见图 1.3

(1)进行了大量而充足的文献检索与阅读，对商业银行贷款组合优化研究领域做了深入评析，整理了目前此类研究涉及的数学方法、决策理论和商业银行资本监管法律法规的现状。

(2)综合运用商业银行资产负债管理理论、优化理论、风险控制理论等有关方法进行理论研究，从风险控制对象划分考察了商业银行贷款组合的流动性风险、利率风险和违约风险，建立了四个贷款组合优化模型：

一是反映贷款存量与增量组合累计风险对单笔贷款决策的影响，建立了基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型。

二是反映短期贷款与中长期贷款的比例对银行资产流动性的影响，建立了基于流动性风险控制的贷款组合期限结构优化模型。

三是使贷款组合全区间段配置最优，建立了基于违约损失控制的商业银行多期资产组合动态优化模型。

四是反映资产组合的利率结构协调与匹配的问题，建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型。

(3)选取商业银行的实际贷款收益率、贷款企业信用等级、企业信用等级迁移矩阵等实际数据对模型的实用性进行了实例证明。

1.3.3 研究内容

1.3.3.1 基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型

根据CreditMetrics信用风险迁移矩阵的时间效应和随机过程中的Brown运动来反映银行贷款风险的非系统因素，确定信贷资产风险随时间变动的数学关系；结合因子模型，建立基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型。模型的基本原理是通过对决策前贷款存量组合的风险和收益率与其加入一笔新贷款后的总风险和总收益率的对比来决定是否发放该笔贷款。

1.3.3.2 基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型

根据银行短期贷款与中长期贷款的实际收益率数据，求贷款组合联合分布的四类copula 函数的解析式，找出一个与实际收益率联合分布最接近的 copula 函数来拟合贷款

组合收益率的实际分布；用找到的这个 copula 函数来计算贷款组合的风险价值，在贷款组合的损失最小的前提下，匹配和协调短期贷款和中长期贷款的比例。

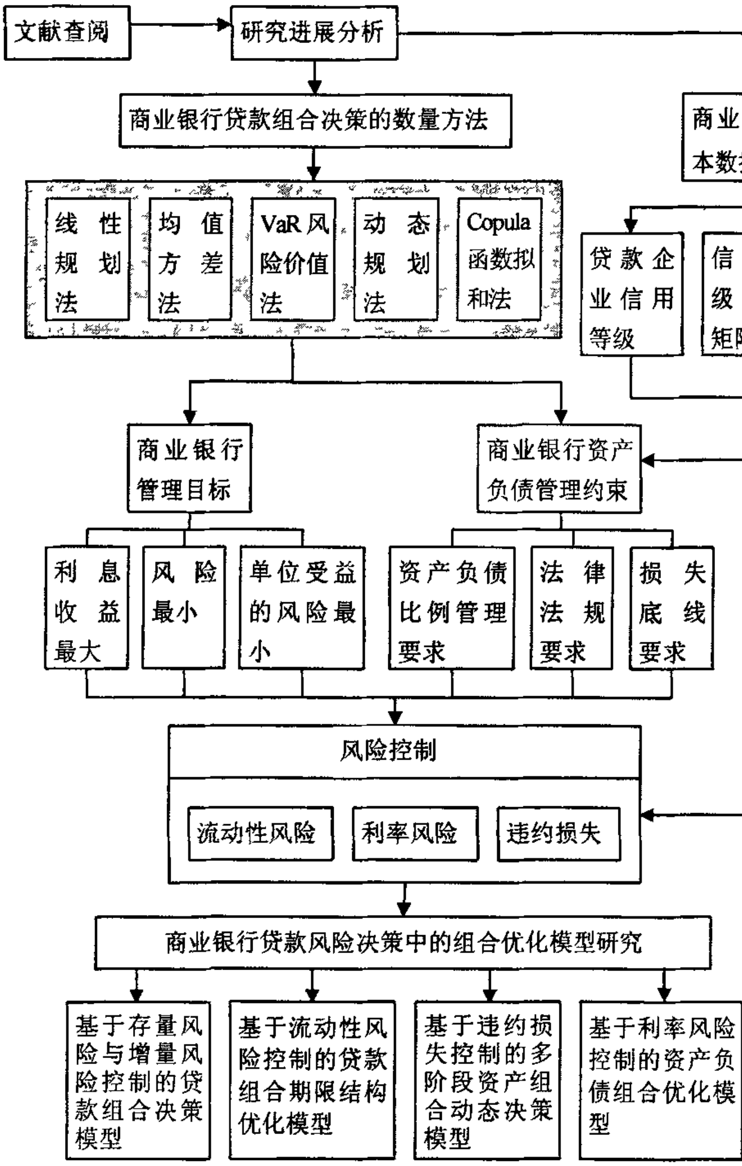

图 1.3 论文的技术路线

Fig 1.3 The technical route

1.3.3.3 基于违约损失控制的商业银行多期资产组合动态优化模型

以银行各项资产组合收益最大化为目标函数，以资产组合的单位收益所承担的风险损失和风险价值为约束，运用逆向递推原理和非线性规划方法，建立了基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型。运用逆向递推原理在考虑下一区段优化配置结果的前提下，控制本区段单位收益所承担的下偏矩风险。反应了不同区段的单位收益所承担的风险对贷款总体效果的相互影响。

1.3.3.4 兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型

通过资产的利率结构与负债利率结构的匹配和协调，通过持续期缺口的控制和免疫条件来控制利率风险，消除或减少由于利率波动所引起的银行净值的变化；在资产配给中使长期负债用于长期资产，短期负债用于短期资产，使资产负债的数量结构匹配；通过法律约束、法规约束和经营管理约束的数量对称来控制流动性风险和保障银行支付能力，保证了银行资产配给的合法性与合规性。

1.3.4 研究内容的相互关系

论文的各章研究内容分别从流动性风险控制、利率风险控制、违约损失控制的角度来研究商业银行的贷款组合优化问题。各研究内容既可作为单独的应用模型来控制风险，也可同时应用多个模型来控制银行的风险。

一是基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型，模型立足于对新增单笔贷款组合的违约风险控制，是商业银行在日常信贷决策中任何时候都要考虑的重点，即使是成本较小的短期贷款，应用该模型进行决策，也能科学地反映银行决策者对控制违约风险的价值偏好。

二是基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型，模型立足于对商业银行贷款整体结构的流动性风险控制，贷款组合的期限结构是在对单笔贷款决策的同时，不可忽略的贷款组合整体结构问题。

三是基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型，模型立足于不同期限贷款的违约损失控制，在考虑了下一区间段资产组合对本区间段的资产组合配置影响下，控制了贷款组合的风险损失，体现了银行决策者对长期贷款结构的合理配置的意愿。

四是兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型，模型立足于商业银行贷款决策的利率风险控制，是商业银行规避利率风险的重要手段，是在利率市场发生波动时，银行控制信贷风险的重点。

上述四个贷款组合优化模型是从不同风险控制角度对商业银行贷款组合进行了研究，为决策分析者提供了理论方法。在银行信贷管理实践中，决策者可以根据不同的意

愿，基于不同的控制重点或基于不同的价值偏好选择贷款组合优化模型。如在市场变化比较频繁的时期，既需要对单笔贷款申请进行决策，同时又需要控制利率风险，就可以选择两个模型同时应用；即使市场处于平稳发展时期，应用模型控制利率风险也有助于银行的风险控制管理及长期规划。

上述模型也可以结合起来建立控制综合风险的贷款组合优化模型，但鉴于模型的复杂性，可能会增加求解的困难。

1.4 论文的主要创新点

(1)建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型

以贷款利息收益最大为目标，以利率风险免疫条件和数量结构对称为约束，以线性规划为工具，建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型。通过持续期缺口的控制和免疫条件的利率结构对称原理来控制利率风险，解决了资产与负债利率的协调与匹配的问题，保护了银行股东权益的安全。通过法律约束、法规约束和经营管理约束的数量结构对称原理来控制流动性风险，避免了和减少了流动性风险，保证了银行资产配给的合法性与合规性。

(2)建立了基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型

通过逆向递推原理在考虑下一区段优化配置结果的前提下，控制了本区段单位收益所承担的下偏矩风险，以所有区段全部资产收益最大化为目标，建立基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型。反应了不同区段的单位收益所承担的风险对贷款总体效果的相互影响，在考虑单个区间贷款最优的过程中，优化配给所有区间段的贷款。

(3)建立了基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型

用 copula 函数拟合短期贷款与中长期贷款的联合分布情况，通过联合分布概率来计算贷款组合的风险价值，选择风险最小时的短期贷款与中长期贷款的比例，由此确定了贷款组合的最优期限结构，对于整体与非正态概率没有苛刻要求的 copula 函数拟合的联合分布概率反映了贷款组合的真实风险，防范了银行的流动性风险，改变了现有研究大多假设资产组合的联合分布是多元正态分布，进而低估了资产组合风险的现状。

(4)建立了基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型

把新增单项贷款与已有贷款的存量组合视为一个新的组合，通过对决策前贷款存量组合的风险和收益率与其加入一笔新贷款后的总风险和总收益率的对比，来决定是否发放该笔贷款。反映了贷款存量组合累计风险对贷款决策的直接影响，考虑了宏观经济变量对银行信贷资产风险的影响及贷款存量组合风险与贷款增量风险的关系及其全部风险，改变了现有研究仅仅立足控制增量贷款组合风险的现状。

2 基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型

2.1 问题的提出

贷款决策是商业银行日常经营活动中的一项重要决策。它既要考虑贷款的收益率，又要考虑贷款的风险。银行面对客户的贷款的信贷风险主要是信用风险，国内外同类研究按照研究方法的不同可以分为以下几类：

(1)基于评级和评分方法的贷款组合方法

信用评级包括银行内部评级与评分和Standard & Poor、Moody等机构的外部评级。利用回归技术的外部评分的典型是Altman在1974年提出的z值信用评分模型，这种模型完全依赖于财务数据，对非财务因素的分析没有体现出来[5]。Gollinger 和John Morgan(1993)[6]建立的商业银行贷款组合有效前沿计算模型，这种方法用行业平均ZETA分数来代表行业风险，用ZETA分数的平均值来求违约的方差-协方差矩阵。

评分法只反映企业的财务数据情况，而不直接反映出各种贷款之间的相互关系，从而使这种模型的组合精度受到影响，其次这种方法的约束条件是贷款组合收益大于等于目标收益，当目标收益定的较大时，银行要面临较大的风险。

(2)基于期权理论的信用分析方法

基于期权理论的信用分析技术是由Robert Merton在1974年提出来的。他发现银行发放的贷款，其得到的支付与卖一份借款企业资产的看跌期权是同构的，后来KMV公司运用Merton的这一思想开发了违约预测模型Credit Monitor Model[7]。

模型的收益、风险和相关系数变量都依赖于EDF(预期违约频率，Expected Default Frequency)，其中的不足很明显，期权评价模式较适用于市场资料相对充分的上市公司；而且对于不同债务，其到期期限可能有所不同，使债务价值在估计上比较困难。

(3)基于均值－方差的贷款组合方法

这种贷款组合方法基础是 Markowitz 提出的均值一方差模型[8]，通过在一定收益率基础上求解最小风险方差或在一定风险方差基础上求解最大收益率，从而得出最优组合[9]。

Altman 提出的商业贷款组合分析模型[10,11]，这种方法是在贷款组合收益大于等于目标收益的约束下，求解夏普指数的最大化。马志卫(2006)[12]通过蒙特卡洛模拟，以贷款项目的财务内部收益率及其波动反映其收益和风险，建立组合收益最大、组合风险最小的贷款组合多目标规划决策模型。分步求解得到满足约束条件的若干贷款有效组合和有效前沿曲线，有效前沿曲线与银行的无差异曲线的交点是满足银行风险偏好的最优贷款

组合。姜灵敏(2006)[13]在综合考虑贷款收益和风险的前提下，从众多的贷款对象中选择一组合适的贷款，建立综合考虑贷款收益和风险的贷款决策模型。马慧民(2006)[14]针对贷款组合优化决策模型的求解问题，提出了用于求解该问题的二进制粒子群算法。传统的以均值-方差模型为基础的贷款组合方法还有互斥化法、排序法、有效梯度法、规划方法等[15-20]。

这种方法是在Markowitz提出的以均值作为组合收益和以方差作为组合风险的基础上得到的方法，这种方法在现有研究中应用最为广泛。但因均值和方差的计算需要大量的历史数据，而很难得到贷款的历史数据，因此实证研究受到限制，现有研究大都利用虚拟的数据进行实例研究。

(4)基于风险价值VaR的贷款组合方法

VaR方法是通过在一定概率置信度下的贷款最大损失值来确定银行的风险资本要求[21]。典型的研究包括以VaR为约束条件、采用Lagrange乘子法求解的优化模型[22][23]，用VaR度量风险与用方差度量风险对资产组合收益率影响进行比较[24]，以及VaR度量风险下的组合模型的经济学意义等。

迟国泰和奚扬等[25](2002)以银行各项资产组合收益最大化为目标函数，以VaR风险限额为约束，以法律、法规和经营管理约束为条件，建立了基于VaR的银行资产负债管理优化模型。Dietsch(2002)等[26]利用VaR约束组合的风险，提出了针对小商业贷款特征的具体贷款组合模型，并进行了实证研究。袁乐平(2005)[27]以商业银行各项资产和负债的组合收益最大化为目标函数，以贷款组合的VaR约束及法律法规约束和经营管理约束为条件，提出了基于VaR约束的商业银行资产负债组合配给模型体系。刘晓星(2006)[28]考虑组合资产的交易成本、交易限制、资金约束和投资者的风险承受度，构建基于CVaR约束的投资组合优化模型。

这种方法的优点在于可以很直观的表示出银行的潜在损失，但VaR的输入变量给出的不明确，对于贷款组合优化模型中的三个关键变量，没有给出具体的确定方法，而这对于模型的有效性是至关重要的。贷款的收益、风险和相关性指标本来就很难确定，所以贷款组合优化模型不能完全套用Markowitz投资组合模型，而由此计算得出的有效边界也不切实际。

(5) 基于信用迁移的贷款组合方法

自从J.P. Morgan推出CreditMetrics度量组合价值和信用风险的方法之后，有关资产的信用迁移的分析被许多银行和学者所采用。Altman和Kao、Standard & Poor以及Moody等给出了不同标准下的信用迁移矩阵[29-31]，信用等级随时间变化对资产的价值和信用利差的重要影响[32,33]。这些研究为银行贷款决策的信用风险分析打下了基础。David Lando

等[34,35]应用半参数回归法对连续时间的信用等级迁移进行了估计，用实证数据证明了非马尔科夫过程的数据集对持续期的依赖以及对上一信用等级的依赖。

现有研究的风险转移矩阵虽然已经研究到证券市场或证券债信评级层次，但在反映信贷或贷款层次上的风险迁移矩阵或规律的方法还没有。大多数公司并不在资本市场上发行债券，这类企业的风险很难衡量。另外，债信与贷款评级在实践中有很大的区别，信贷风险的转移规律亟待探讨。

(6)基于随机规划的贷款组合方法

Kusy 和 William Ziemba(1986、2004) [36][37], Mulvey (1989、1994)[38] Consigli (1996)[39] 等运用随机规划技术对资产负债管理问题进行了大量的研究，提出了许多有用的数学模型。由于模型计算的复杂性和参数的不确定性，很难实证进行研究的特点，因此运用随机规划方法面临着许多困难。

现有研究取得了长足的进展，但仍有诸多的问题未能得到较好的解决：一是这些方法只反映了贷款增量组合的风险控制与优化决策，并未反映贷款存量组合风险对决策的影响。事实上，存量组合与增量组合构成了银行的全部贷款组合，它们的风险均对银行资产质量产生直接影响。二是现有的研究模型主要集中于单个企业或个人的财务分析，没有把微观层次的风险与宏观经济变量衔接起来，没有充分考虑宏观经济要素对微观个体还贷能力的重要影响。

本章在考虑上述因素的基础上，结合单因子模型与 Markowitz 的均值－协方差模型，建立了反映贷款存量与增量组合累计风险的决策模型，综合考虑了微观财务的评级与宏观经济变量对银行贷款收益率的影响，使贷款的组合决策更加符合实际情况和更具有可操作性。

2.2 基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策原理

2.2.1 收益与风险的基本关系

根据单因子模型，用最小二乘法回归确定了信贷资产的收益率与因子之间的数学关系[9]：

$$r_i = \alpha_i + r_f + \beta_i Y + e_i \tag{2.1}$$

式中：

r_i——第 i 项资产的收益率；

r_f——无风险收益率；

Y——影响资产 i 的因子，例如一个国家或地区的国民经济增长率；

α_i，β_i——与因子有关的系数：

e_i——随机扰动因子，第 i 项信贷资产的非系统因素。

2.2.2 信用风险的反映

以往 APT 定价中只给出了扰动项 e_i 的期望为 0[9]，即：

$$E(e_i)=0 \tag{2.2}$$

继而忽略了扰动项 e_i 的方差 σ_{ei}^2 的定量分析，而在本章中由于考虑了信用风险，所以 $\sigma_{ei}^2 \neq 0$。

随机变量 e_i 只反映资产的非系统因素而没有赋予任何具体的经济学意义。对于银行来说，信用风险是其资产组合中最主要的风险，但是由于银行贷款的流动性差，信用风险主要集中于非系统风险[100]，在这里可以用 e_i 的方差 σ_{ei}^2 来表示信贷资产的信用风险，根据 J.P. Morgan 的 CreditMetrics 思想，资产的价值会随着资产信用品质随时间的迁移而发生相应的变化[33,100]，即 e_i 与时间有关，并且由式(2.1)、(2.2)和随机分析的数学知识，有

$$e_i=e_i(t)=\sigma_i B_t=\lambda_i \varepsilon \sqrt{t} \tag{2.3}$$

$$\sigma_{ei}^2=\lambda_i^2 t \tag{2.4}$$

式中：

λ_i——表示波动的幅度，由式(2.26)确定；B_t——标准 Brown 运动，即 $B_t \sim N(0,t)$；t——表示持有信贷资产的时间；ε——随机变量，且 $\varepsilon \sim N(0,1)$。

设 P_i^j—企业的信用迁移概率，由方差的基本定义，知 σ_{ei}^2 计算如下：

$$\sigma_{ei}^2=Er_i^2-(Er_i)^2=\sum_{j=1}^{8}(r^j)^2 P_i^j-(\sum_{j=1}^{8} r^j P_i^j)^2 \tag{2.5}$$

式(2.5)中：

r^j——信贷资产 i 在信用等级 j 下的收益率，如下文表 2.4 中信贷资产在 AA 级下的收益率为 7.3%。

P_i^j——信贷资产 i 在信用等级 j 下的概率，如下文表 2.4 中信贷资产 3 在 AA 级下的概率为 $P_3^2=17.3\%$。

式(2.5)给出了因子模型中信用风险的计算方法，改变了流行方法将扰动项均值设为零而忽略计算 $\sigma_{e_i}^2$ 的现状。

式(2.5)反映了贷款的非系统风险及其随时间的动态变化与随信用等级迁移的变化。这使贷款的决策更加符合实际情况和更具有可操作性，充分反映了贷款风险决策的客观规律。

由式(2.4)知

$$\lambda_i^2=\frac{\sigma_{ei}^2}{t} \tag{2.6}$$

根据式(2.3)和式(2.4)得第 i 项资产收益的方差为：

$$\sigma_i^2=\beta_i^2\sigma_Y^2+\sigma_{ei}^2=\beta_i^2\sigma_Y^2+\lambda_i^2 t \tag{2.7}$$

σ_Y^2——表示系统影响因子 Y 的方差。

信贷资产 i 与信贷资产 j 的协方差为[8]：

$$\sigma_{ij}=\beta_i\beta_j\sigma_Y^2 \tag{2.8}$$

2.2.3 贷款存量组合风险与收益

通过组合银行所持有的各个时期 n 项信贷资产的收益率 r，并根据对因子 Y 的某一时期的预测，就可得到在未来某个时期内这 n 项组合资产的收益率 $r_{p(n)}$ 和风险(方差) $\sigma_{p(n)}^2$。

2.2.4 贷款累计风险与收益

当决定一项新的贷款申请的时候，应首先根据式(2.1)评估其收益率 r_{n+1}，然后计算出组合后的(n＋1)项信贷资产在未来相同时期内的收益率 $r_{p(n+1)}$ 和风险(方差) $\sigma_{p(n+1)}^2$，比较 $r_{p(n)}$ 与 $r_{p(n+1)}$ 和 $\sigma_{p(n)}^2$ 与 $\sigma_{p(n+1)}^2$ 之后，来决定是否批准新的贷款申请，决策可以利用效用函数[102]或者差异系数来判断[103]。

这种决策思路反映了贷款存量组合累计风险对新增单项贷款决策的直接影响。考虑了宏观经济变量对银行借贷资产风险的影响及贷款存量组合风险与贷款增量风险的关系及其全部风险。

这种决策思路综合考虑了宏观经济因素与微观借贷客户信用风险对银行贷款风险与收益的影响，特别是定量分析了银行信用风险，结合信用风险迁移矩阵给出了 σ_{ei}^2 的值，同时计算出了贷款存量与增量的累计风险。

采用信用风险迁移矩阵反映了贷款的非系统风险及其随时间的动态变化与随信用等级迁移的变化。这使贷款的决策更加符合实际情况和更具有可操作性。由于贷款的信

用风险主要就是非系统性风险，同时也受到宏观经济环境的影响，故模型充分反映了贷款风险决策的客观规律。

模型决策过程如图 2.1 所示。

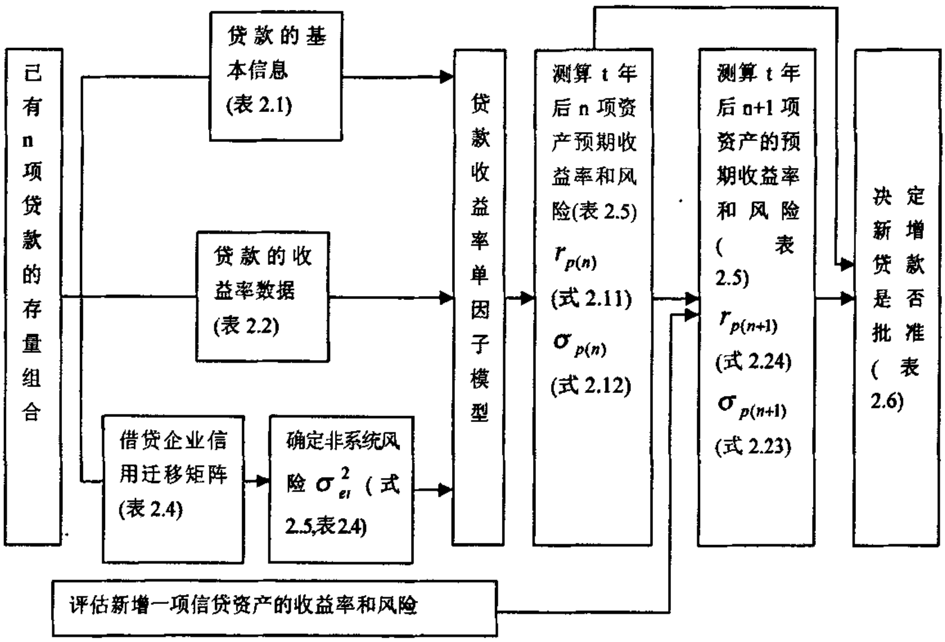

图 2.1 决策过程

Fig. 2.1 decision－making process

2.2.5 基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策原理的特色

(1)反映了贷款存量组合累计风险对新增单项贷款决策的直接影响。考虑了宏观经济变量对银行借贷资产风险的影响及贷款存量组合风险与贷款增量风险的关系及其全部风险。改变了现有研究只对贷款增量进行优化的现状，使信贷决策更能反映现实中的管理要求。

(2)给出了因子模型中信用风险的计算方法。根据 J.P. Morgan 的 CreditMetrics 思想，考虑到由于资产的信用品质随时间的迁移而发生相应的的变化，利用企业的信用迁移矩阵以及信用迁移对收益率的影响，应用随机分析方法找出资产的价值这一随机变量与时间的关系和与信用等级迁移的关系，定量地表示出了非系统风险，即主要为银行的信贷资产的信用风险，在资产组合优化领域的研究上具有一定的突破性。改变了流行方法将扰动项均值设为零而忽略计算 $\sigma_{e_i}^2$ 的现状。

(3)反映了贷款的非系统风险及其随时间的动态变化与随信用等级迁移的变化。这使贷款的决策更加符合实际情况和更具有可操作性。由于贷款的信用风险主要就是非系统性风险，同时也受到宏观经济环境的影响，故模型充分反映了贷款风险决策的客观规律。

2.3 基于APT单因子模型的信贷资产收益率

2.3.1 基于APT单因子模型的信贷资产收益率公式

根据APT单因子模型[9]及式(2.1)和式(2.2)，信贷资产的收益率可以写为：

$$E(r_i) = \alpha_i + r_f + \beta_i E(Y) \tag{2.9}$$

式(2.9)中：

r_i——第 i 项资产的收益率；

r_f——无风险收益率；

Y——影响资产 i 的因子，例如一个国家或地区的国民经济增长率；

α_i，β_i——与因子有关的系数；

式(2.9)表示信贷资产的收益率的期望值 E(*ri*)是无风险收益率 r_f 、与影响因子 Y 有关的系数 α_i、影响因子 Y 的期望 E(Y)和影响因子风险报酬系数 β_i 乘积，这三项之和。

2.3.2 基于APT单因子模型的信贷资产收益率公式参数的确定

式(2.9)中的无风险收益率 r_f 由政府短期公债的收益率来确定。

α_i 与 β_i 的数值采用基于历史数据的最小二乘法得到，即假定 α_i 与 β_i 各个时期为常数，根据资产 i 的收益率和因子 Y 的历史数据，用最小二乘法回归得到 α_i 与 β_i 的估计值。

根据CreditMetrics的思想，资产信用随时间迁移会引起资产收益率的变化，因为银行的信贷资产的非系统风险主要是信用风险，由原理中的分析我们完全可以假定资产收益率在一定时期内由信用迁移矩阵引起的风险完全可以由 e_i 确定。

这种计算资产信用风险方法的好处在于反映了贷款的信用风险及其随时间的动态变化与随信用等级迁移的变化。这使贷款的决策更加符合实际情况和更具有可操作性。

2.4 基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型

2.4.1 原有贷款组合收益率$r_{p(n)}$和风险$\sigma^2_{p(n)}$的计算

假设某一商业银行在t时刻以前已有n笔信贷资产，资产收益率满足公式(2.1),设n笔贷款总额为G，则这n笔资产的β系数组成向量$\beta=(\beta_1,\beta_2,\cdots\beta_n)^T$，各项存量资产的比例组成向量$W=(\omega_1,\omega_2,\cdots\omega_n)^T$，则这$n$笔贷款的收益率向量为：

$$R=(r_1,r_2,\cdots,r_n)^T=\alpha+\beta Y+Ir_f=e$$

$$=\begin{bmatrix}\alpha_1\\ \vdots\\ \alpha_n\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\beta_1\\ \vdots\\ \beta_n\end{bmatrix}Y+\begin{bmatrix}1\\ \vdots\\ 1\end{bmatrix}r_f+\begin{bmatrix}e_1\\ \vdots\\ e_n\end{bmatrix} \tag{2.10}$$

这n项资产的平均总收益率为：

$$r_{p(n)}=W^TE(R)=W^T(\alpha+\beta E(Y))+r_f \tag{2.11}$$

把数据代入式(2.7)和式(2.8), n笔信贷资产收益率的总方差为：

$$\sigma^2_{p(n)}=\sum_{i,j}^{n}\omega_i\omega_j\sigma_{ij}=\sigma_Y^2W^TVW+W^TV_eW \tag{2.12}$$

式(2.12)中的第一项反映了宏观经济因素所反映的系统性风险，第二项反映了主要由信用风险引起的非系统因素。

式(2.12)的好处一是综合考虑了信贷资产的市场风险与信用风险，二是宏观经济因素Y对信贷资产的风险影响被合理地反映出来了，即式中的σ_Y^2。

式中：σ_Y^2——因子Y的方差；V——各项资产的相对于因子Y的协方差阵；V_e——各项资产的信用风险e_i的协方差阵。

V，V_e分别由下列式子确定：

$$V=\beta\beta^T \tag{2.13}$$

$$V_e=\begin{bmatrix}\sigma^2_{e_1} & 0 & \cdots & 0\\ 0 & \sigma^2_{e_2} & \cdots & 0\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ 0 & 0 & \cdots & \sigma^2_{e_n}\end{bmatrix}=V_\sigma T \tag{2.14}$$

式中：

$$V_{\sigma}=\begin{bmatrix}\lambda_1^2 & 0 & \cdots & 0\\ 0 & \lambda_2^2 & \vdots & 0\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_n^2\end{bmatrix} \tag{2.15}$$

$$T=\begin{bmatrix}t_1 & 0 & \cdots & 0\\ 0 & t_2 & \vdots & 0\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ 0 & 0 & \cdots & t_n\end{bmatrix} \tag{2.16}$$

2.4.2 新增一笔贷款后组合总收益率r_{n+1}和总风险$\sigma_{p(n+1)}^2$的计算

如果该银行有一笔新的信贷申请，金额为G_{n+1},银行估计出此信贷资产的收益率为：

$$E(r_{n+1})=\alpha_{n+1}+r_f+\beta_{n+1}E(Y) \tag{2.17}$$

式中的α_{n+1}，β_{n+1}系数可以通过与该笔信贷资产同信用等级的存量资产的系数估计出来。

银行在添加这笔信贷资产后，即将式(2.17)添加到式(2.11)和式(2.12)中的相应的向量中，推导可得出总方差阵和总收益率分别为：

$$\sigma_{p(n+1)}^2=\sigma_Y^2\begin{bmatrix}\overline{W}^T & \omega_{n+1}\end{bmatrix}\times\begin{bmatrix}V & \beta\beta_{n+1}\\ \beta^T\beta_{n+1} & \beta_{n+1}^2\end{bmatrix}\times\begin{bmatrix}\overline{W}\\ \omega_{n+1}\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}\overline{W}^T & \omega_{n+1}\end{bmatrix}\times\begin{bmatrix}V_e & 0\\ 0 & \sigma_{e_{n+1}}^2\end{bmatrix}\times\begin{bmatrix}\overline{W}\\ \omega_{n+1}\end{bmatrix} \tag{2.18}$$

$$r_{p(n+1)}=\begin{bmatrix}\overline{W}^T & \omega_{n+1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}E(R)\\ E(r_{n+1})\end{bmatrix}=\overline{W}^T E(R)+\omega_{n+1}E(r_{n+1}) \tag{2.19}$$

式中：$\overline{W}=\dfrac{G}{G+G_{n+1}}W=\eta W$ $\quad(2.20)$

$$\eta=\frac{G}{G+G_{n+1}} \tag{2.21}$$

$$\omega_{n+1}=\frac{G_{n+1}}{G+G_{n+1}} \tag{2.22}$$

整理式(2.18)得：

$$\sigma_{p(n+1)}^{2}=\eta^{2}\sigma_{p(n)}^{2}+2\eta\beta_{n+1}(\omega_{n+1}\beta^{T}W)\sigma_{Y}^{2}+\beta_{n+1}^{2}\omega_{n+1}^{2}\sigma_{Y}^{2}+\omega_{n+1}^{2}\sigma_{e_{n+1}}^{2} \tag{2.23}$$

式(2.23)中的$\sigma_{p(n)}^{2}$表示信贷资产的存量风险，而α_{n+1}，β_{n+1}所反映的是新增信贷资产，即增量资产的收益率，$\sigma_{e_{n+1}}^{2}$反映的是增量资产的信用风险。

式(2.23)表明了累计风险不是存量资产与增量资产的简单线性累加关系，存量资产与增量资产的风险是相互影响的。

*式(2.23)反应了存量累计风险对新增贷款的影响，改变了*现有研究只对贷款增量进行优化的现状，使信贷决策更能反映现实中的管理要求。

整理式(2.19)得：

$$r_{p(n+1)}=\eta W^{T}E(R)+\omega_{n+1}E(r_{n+1})=\eta r_{p(n)}+\omega_{n+1}E(r_{n+1}) \tag{2.24}$$

式(2.24)中的$r_{p(n)}$表示信贷资产的存量收益率，$r_{p(n+1)}$是综合考虑了存量资产与增量资产的累积风险与累计收益率。

式(2.24)表明*累积收益率不是存量资产与增量资产收益率的简单线性累加关系*，存量资产与增量资产的收益率存在相互影响。

2.4.3 基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策标准

现在可以分别比较添加此笔信贷资产与不添加该笔信贷资产在未来某段时期内的风险和收益率，一般来说，$\sigma_{p(n)}^{2}$与$\sigma_{p(n+1)}^{2}$，$r_{p(n)}$与$r_{p(n+1)}$的比较结果会有4种情况：如果风险减少，收益率增加，就可立即接受第(n+1)笔贷款。若情况刚好相反，就可马上拒绝。对于另外两种情况，在有些情况下是可以接受的。例如，商业银行在一定的风险控制范围内，即$\sigma_{p(n+1)}^{2}\le|\sigma^{2}|$，如果收益率$r_{p(n+1)}$对$r_{p(n)}$有显著的改善，其中$|\sigma^{2}|$是该银行可以承受的最大风险值。为了决策这两种情况，有两种方法可以采用，一种是用效用函数[71-73]，根据银行对风险厌恶的程度与对收益的偏爱程度来决策。另外一种是根据差异系数[74-76]，通过比较添加信贷资产前后差异系数即$\sigma_{p(n)}/r_{p(n)}$与$\sigma_{p(n+1)}/r_{p(n+1)}$的大小决定是否批准该笔信贷资产，如果$\sigma_{p(n)}/r_{p(n)}\ge\sigma_{p(n+1)}/r_{p(n+1)}$，表示单位收益率下所承受的风险因新加入的信贷资产而降低了，对存量资产的风险有稀释作用，则应批准新增贷款申请；否则应拒绝。在实例分析中，我们采用后一种方法。

2.4.4 基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型的特色

(1)反映了贷款存量组合累计风险对新增单项贷款决策的直接影响。改变了现有研究只对贷款增量进行优化的现状，使信贷决策更能反映现实中的管理要求。

(2)给出了因子模型中信用风险的计算方法。利用企业的信用迁移矩阵以及信用迁移对收益率的影响，应用随机分析方法找出资产的价值这一随机变量与时间的关系和与信用等级迁移的关系，定量地表示出了非系统风险，改变了流行方法将扰动项均值设为零而忽略计算$\sigma_{e_i}^2$的现状。

(3)反映了贷款的非系统风险及其随时间的动态变化与随信用等级迁移的变化。这使贷款的决策更加符合实际情况和更具有可操作性。由于贷款的信用风险主要就是非系统性风险，同时也受到宏观经济环境的影响，故模型充分反映了贷款风险决策的客观规律。

2.5 应用实例

2.5.1 贷款存量的基本信息

在实例分析中，单因子模型中的Y取国家或地区的国民经济增长率。

某商业银行在2003年12月31日终了时的信贷资产收益率一览表，如表2.1所示。银行内部保留的这9个企业过去12年贷款收益率数据如表2.2所示，我们以银行系统内拆借利率2%作为无风险收益r_f，即$r_f = 2\%$。并假定决策的时刻就是2003年12月底。

表2.1 年贷款实际收益率一览表

Tab. 2.1 The annually returns of loans

企业	贷款的基本信息				贷款收益率(%)				
	信用等级	起始时间	期限(年)	金额(万元)	1999 (7.1)*	2000 (8.0)	2001 (7.3)	2002 (8.0)	2003 (8.1)
1	AA	1999.1	10	400	6.3	7.3	6.6	7.4	7.6
2	BB	1999.1	8	300	2.9	4.0	3.2	3.9	4.4
3	A	2000.1	5	1000		6.1	5.6	6.3	6.2
4	CCC	2000.1	5	500		2.4	0.5	1.9	2.5
5	AAA	2000.1	5	700		8.6	8.0	8.5	8.8
6	B	2001.1	4	350			2.5	3.1	3.3
7	B	2001.1	6	750			0.2	2.7	2.8
8	BBB	2002.1	5	200				5.7	5.6
9	A	2003.1	3	800					6.5

*所有括号里的数值表示单因子Y，即GDP的增长率

2.5.2 回归系数的计算

把表 2.1 中的企业贷款收益率数据与表 2.2 中的数据结合起来，例如企业 1 在表 2.1 中有 5 组贷款收益率数据，在表 2.2 中有 12 组贷款收益率数据，企业 1 总共有 17 组贷款收益率数据，以此类推，企业 9 总共有 13 组贷款收益率数据。利用最小二乘法，把式(2.22)变形为：$E(r_i)-r_f=\alpha_i+\beta_i E(Y)$

并令 $m_{ij}=E(r_{ij})-r_f$，$n_{ij}=E(Y_j)$，则

$$\beta_i=\frac{\sum_{j=1}^{k}(m_{ij}-\overline{m_i})(n_{ij}-\overline{n_i})}{\sum_{j=1}^{k}(n_{ij}-\overline{n_i})^2} \tag{2.25}$$

$$\alpha_i=\overline{m_i}-\beta_i\overline{n_i} \tag{2.26}$$

式中：

k——企业 i 数据组数；

$\overline{m_i}$，$\overline{n_i}$——企业 i 的 k 组数据中 m_i，n_i 的均值；

得到 α_i 和 β_i 系数如表 2.3 所示。

表 2.2 贷款收益率一览表

Tab. 2.2 The history of annually returns

年份	Y (%)	企业贷款收益率(%)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	8.5	7.5	4.3	6.6	2.4	9.0	3.4	3.0	5.7	6.8
2	8.0	7.1	4.2	6.4	2.7	8.6	3.0	2.4	5.5	6.5
3	7.8	6.8	3.6	6.5	2.1	8.5	2.7	2.1	5.6	6.6
4	7.5	6.6	3.3	6.2	1.5	8.0	2.6	1.9	5.3	6.1
5	7.9	6.9	3.7	6.5	1.3	8.6	3.1	2.5	5.5	6.6
6	8.3	7.2	4.0	6.6	2.0	9.1	3.5	3.5	5.6	6.7
7	8.3	7.0	4.1	6.7	2.2	8.9	3.3	3.3	5.7	6.7
8	7.4	6.5	3.0	6.0	-1.3	8.1	2.3	-0.8	5.1	6.3
9	7.5	6.4	3.5	6.1	-1.1	8.0	2.5	-0.3	5.4	5.9
10	7.6	6.6	3.3	6.0	-0.6	8.3	2.7	1.5	5.3	6.1
11	7.9	6.8	4.0	6.3	0.2	8.4	3.1	2.0	5.4	6.2
12	8.0	7.0	4.2	6.5	1.9	8.6	3.2	2.3	5.6	6.7

2.5.3 贷款存量组合的收益率和信用风险

这些企业的信用迁移矩阵如表 2.4 所示。

将表 2.4 的信用迁移矩阵中的各企业的收益率 r^j 数据以及表 2.4 的第 1-9 行的迁移概率 P_i^j 数据分别代入到式(2.5)和式(2.6)。得到第 i 个企业的信用风险 σ_{ei}^2 和平均方差 λ_i^2。计算结果列入表 2.4 的第 9、10 列。

表 2.3 α_i 和 β_i 系数一览表

Tab. 2.3 Coefficient α_i and β_i

企业	α_i	β_i
1	-1.990	0.882
2	-7.012	1.117
3	-1.040	0.676
4	-23.045	2.833
5	-1.229	0.981
6	-6.884	0.995
7	-24.873	3.151
8	-0.186	0.466
9	-1.039	0.693

表 2.4 企业 10 年期信用等级迁移矩阵(%)

Tab. 2.4 Rating migration matrix of debtors during 10 years

企业	AAA(1)	AA (2)	A (3)	BBB (4)	BB (5)	B (6)	CCC (7)	C (8)	方差 $\sigma_{e_i}^2$	λ_i^2
	8.5*	7.3	6.8	5.4	4.0	3.1	2.4	-2.0		
1	3.5	45.7	27.1	19.0	2.4	0.2	0.0	2.1	2.37	0.237
2	0.0	0.0	10.3	25.5	20.6	12.5	17.2	13.9	6.52	0.652
3	0.8	17.3	60.9	16.0	2.4	0.9	0.6	1.1	1.54	0.154
4	0.0	0.0	2.6	3.6	2.6	30.7	26.5	34.0	6.59	0.659
5	52.1	35.6	7.1	4.6	0.0	0.4	0.0	0.2	0.96	0.96
6	0.0	0.0	5.7	8.6	6.7	40.9	6.6	31.5	8.11	0.811
7	0.0	0.3	6.0	9.5	5.8	41.8	7.6	29.0	7.95	0.795
8	0.0	2.8	36.1	42.3	8.2	4.6	1.9	4.1	3.63	0.363
9	1.3	15.8	57.6	19.3	3.4	0.8	0.7	1.1	1.64	0.164

* 该行数据为各信用等级企业下的信贷资产的平均收益率，表中 2 至 9 列的数据取自[33]第 311 页表 16-3 中的 Altman and Kao 的数据。

以第 3 个企业为例，

$$\sigma_{e3}^2=\sum_{j=1}^{8}(r^j)^2P_3^j-(\sum_{j=1}^{8}r^jP_3^j)^2=1.54$$

由于表 2.4 中的信用迁移矩阵考察企业的期限为 10 年，所以每年的平均方差为：

$$\lambda_i^2=\sigma_{ei}^2/10$$

例如：$\lambda_3^2=\sigma_{e3}^2/10=1.54/10=0.154$ 。

由表 2.1 第 5 列的数据的代数和可得贷款总额为 G=5000 万元，通过把表 2.1 第 5 列数与 G 之比得到贷款组合的比例 W 为：

$$W=(\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_9)^T$$
$$=(0.08,0.06,0.2,0.1,0.14,0.07,0.15,0.04,0.16)^T \tag{2.27}$$

由表 2.1 第 3 列的数据可得贷款时间矩阵 T 为：

$$diagT=(5+t,5+t,4+t,4+t,4+t,3+t,3+t,2+t,1+t)^T \tag{2.28}$$

式中：diag T——阵 T 对角线上的元素；

T——测算风险和收益率时刻与进行决策时刻即 2003 年 12 月的时间间距，与 t 相加的数据表示信贷资产从贷款起始时刻到决策时刻的时间间隔，例如从表 2.1 可知，资产 1 从起始时间 1999 年至 2003 年 12 月已有 5 年时间，所以为 t+5。

向量 α 、β 由表 2.3 第 2、3 列数据得：

$$\alpha=(-1.990,-7.012,-1.040,-23.045,-1.229,-6.884,-24.873,-0.186,-1.039)^T \tag{2.29}$$

$$\beta=(0.882,1.117,0.676,2.833,0.981,0.995,3.151,0.466,0.693)^T \tag{2.30}$$

把表 2.4 中最后一列的 λ_i^2 数据代入式(2.13)得 V_σ 矩阵为：

$$diagV_\sigma=(0.237,0.652,0.154,0.659,0.96,0.811,0.795,0.363,0.164)^{\mathrm{T}} \tag{2.31}$$

2.5.4 贷款增量的基本信息

假设有四笔新的借贷申请，经商业银行测评以后，无风险利率为 $r_f=2\%$，未来 2 年的国民经济增长率 $E(Y)$＝8.1%，其方差为 $\sigma_Y=0.147$ 。

考虑到表 2.1 中的信贷资产期限的问题，为了使我们所考虑的表 2.1 中的信贷资产不会因为距离所评估的风险的时刻太远而期满，我们评估距离决策时刻 2 年后的风险，即 2005 年 12 月底的存量与增量的综合风险，故 t=2，因为如果 t 太长，有可能有一部分存量贷款已经到期，并且被偿还完毕。

仿照 2.5.3 中的计算过程，原始数据经过处理后，这些信贷资产关于收益率的α_{n+1}、β_{n+1}、λ_{n+1}^2、金额见表 2.5 的第 2 至 5 列。

表 2.5 四笔信贷申请的测评结果

Tab. 2.5 Assessing results of 4 applicants

企业	金额G_{n+1} (万元)	系数			收益率(%)		方差(%)	
		α_{n+1}	β_{n+1}	λ_{n+1}^2	存量组合 $r_{p(n)}$	全部组合 $r_{p(n+1)}$	存量组合 $\sigma_{p(n)}$	全部组合 $\sigma_{p(n+1)}$
A	300	-1.23	1.0	1.00	5. 4075	5.6034	0.6147	0.5754
B	500	-23.5	2.9	0.7	5.4075	5.0968	0.6147	0.6260
C	450	-27.8	3.97	1.1	5.4075	5.4859	0.6147	0.6688
D	700	-7.0	1.1	0.6	5.4075	5.2236	0.6147	0.5413

2.5.5 结果分析

将式(2.30)的向量β代入式(2.11)计算出矩阵 V，把式(2.31)的矩阵V_σ和式(2.28)的向量T代入式(2.12)可以得出V_e，把式(2.27)的向量 W 和矩阵 V、V_e及$\sigma_Y=0.147$代入式(2.10)得到 n 项资产的组合风险$\sigma_{p(n)}^2$。

在式(2.9)中代入式(2.27)中的 W、表 2.3 中的α和β、E(Y)=8.1%和$r_f=2\%$可计算出 n 项资产的组合收益率$r_{p(n)}$。

根据表 2.5 中G_{n+1}、α_{n+1}、β_{n+1}、λ_{n+1}^2以及$E(Y)=8.1\%$、t=2：利用式(2.4)计算出$\sigma_{e(n+1)}^2$，利用式(2.19)计算出η，利用式(2.20)计算出ω_{n+1}，利用式(2.15)计算出$E(r_{n+1})$。再把这些计算结果及σ_Y、$r_{p(n)}$、$\sigma_{p(n)}^2$代入式(2.21)和式(2.22)计算出总共 n+1 项资产的组合收益率$r_{p(n+1)}$和风险$\sigma_{p(n+1)}^2$。

$r_{p(n)}$与$r_{p(n+1)}$和$\sigma_{p(n)}$与$\sigma_{p(n+1)}$的计算结果见表 2.5 最后 4 列。表 2.5 的计算结果表明，企业 A 的 300 万元贷款能够使银行既增加银行的收益率，又能降低风险，应该批准该笔信贷。企业 B 的 500 万元贷款结果的情况刚好与 A 相反，应该拒绝。企业 C，D 的贷款申请的评测结果需要进一步分析。为了决定企业 C 和 D 的信贷申请，利用差异系数法，即分别计算出差异系数$\sigma_{p(n)}/r_{p(n)}$与$\sigma_{p(n+1)}/r_{p(n+1)}$，如果 $\sigma_{p(n)}/r_{p(n)}\ge\sigma_{p(n+1)}/r_{p(n+1)}$，则批准，否则拒绝。采用差异系数法对企业 C 和 D 的评估结果见表 2.6。

表 2.6 企业信贷申请者的评估结果

Tab. 2.6 Assessing results of applicants

企业	$r_{p(n)}$	$\sigma_{p(n)}$	$r_{p(n+1)}$	$\sigma_{p(n+1)}$	$\sigma_{p(n)}/r_{p(n)}$	比较	$\sigma_{p(n+1)}/r_{p(n+1)}$	评估结果
A	5.4075	0.6147	5.6034	0.5754	0.114	>	0.103	批准
B	5.4075	0.6147	5.0968	0.6260	0.114	<	0.123	拒绝
C	5.4075	0.6147	5.4859	0.6688	0.114	<	0.122	拒绝
D	5.4075	0.6147	5.2236	0.5413	0.114	>	0.104	批准

这种决策方法反映了贷款存量组合累计风险对贷款决策的直接影响。考虑了宏观经济变量对银行信贷资产风险的影响及贷款存量组合风险与贷款增量风险的关系及其全部风险。改变了现有研究只对贷款增量进行优化的现状，使信贷决策更能反映现实中的管理要求。

从表 2.5 和表 2.6 可以看出，企业 A 的数据与表 2.4 中企业 5 的数据比较接近，而企业 5 为 AAA 级企业，能给商业银行带来较大的收益和较小的风险，接受企业 A 的信贷申请是恰当的。企业 B 的收益率数据与表 2.4 中的 CCC 级企业 4 的数据很接近，对银行来说，风险较大，收益率较低，拒绝也在情理之中。企业 C 和 D 分别前两者之间，但是由于企业 C 的信用风险 λ_i^2 较大，在进一步分析之后拒绝也是合理的。

应当指出：虽然本论文建立的是基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型，但利用该模型可以进行全部贷款组合决策。其原因在于，对于新增多项贷款情况，可以利用本模型，逐项进行贷款决策，最终达到全部贷款组合优化的目的。

例如，有甲、乙、丙三项新增贷款的情形，可以利用本模型首先对甲贷款进行决策。如果批准了甲贷款的申请，则将甲贷款看成存量贷款的一部分，然后利用该模型继续对乙贷款进行决策；如果拒绝了甲贷款的申请，则直接利用模型对乙贷款进行决策。以此类推，再对丙贷款进行决策。

2.6 本章小结

根据 CreditMetrics 信用风险迁移矩阵的时间效应和随机过程中的 Brown 运动来反映银行贷款风险的非系统因素，确定信贷资产风险随时间变动的数学关系；结合因子模型与 Markowitz 的均值一协方差模型，建立基于存量与增量组合累计风险的银行贷款决策模型。模型的基本原理是通过对决策前贷款存量组合的风险和收益率与其加入一笔新贷款后的总风险和总收益率的对比来决定是否发放该笔贷款。模型的主要特色为：

(1)综合反映贷款存量组合累计风险对贷款决策的直接影响。考虑了宏观经济变量对银行借贷资产风险的影响及贷款存量组合风险与贷款增量风险的关系及其全部风险。改变了现有研究只对贷款增量进行优化的现状，使信贷决策更能反映现实中的管理要求。

(2)给出了因子模型中信用风险的计算方法。现有研究只给出了扰动项e_i的期望为0，其随机变量只是象征性地反映资产的非系统因素，由于扰动项e_i的期望为0而没有办法赋予任何具体的经济学意义，从而由e_i所反映的非系统风险就没有得到定量分析计算。根据J.P. Morgan的CreditMetrics思想，考虑到由于资产的信用品质随时间的迁移而发生相应的变化，利用企业的信用迁移矩阵以及信用迁移对收益率的影响，应用随机分析方法找出资产的价值这一随机变量与时间的关系和与信用等级迁移的关系，定量地表示出了非系统风险，即主要为银行信贷资产的信用风险，在资产组合优化领域的研究上具有一定的突破性。改变了流行方法将扰动项均值设为零而忽略计算$\sigma_{e_i}^2$的现状。

(3)反映了贷款的非系统风险及其随时间的动态变化与随信用等级迁移的变化。这使贷款的决策更加符合实际情况和更具有可操作性。由于贷款的信用风险主要就是非系统性风险，同时也受到宏观经济环境的影响，故本模型充分反映了贷款风险决策的客观规律。

3 基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型

3.1 问题的提出

银行贷款组合的期限结构优化就是匹配和协调短期和中长期贷款的比例，使银行贷款的期限结构合理避免银行流动性危机的发生。

流动性危机是各国银行危机中常见的一种情况，而其中的贷款期限结构匹配不合理是其主要的原因之一[104]。期限结构优化在商业银行防范兑付危机的前提下，使贷款收益最大的过程中具有极为重要的作用。

根据风险控制或匹配对象的不同，现有对银行资产负债的优化研究，大致可分为两大类：

一类是匹配利率结构的资产负债管理方法。这类方法考虑到利率敏感性资产与利率敏感性负债的匹配，通过久期缺口的控制和免疫条件来控制利率风险。近年来的代表性研究是 Gloria M.Soto(2005)[90]以及 David L.等[34,105,106]，这类模型考虑利率的变动对资产和负债产生的本期和未来现金流量价值的影响，从而判断银行净值的变化。

目前对久期模型的研究还在不断完善和改进[90,104]，如刘湘云(2006)[105]引入随机免疫理论代替经典的免疫理论，构建了基于利率风险最小模型的随机免疫策略，得出在无现金交易条件下的随机免疫策略能够降低利率风险。Chris M. S.(2006)[107]用贝叶斯马尔科夫过程对条件久期模型进行改进，并应用 Monte Carlo 模拟证明该方法优于传统久期模型。邓黎阳(2005)[106]等用即期收益率曲线对各期现金流折现，克服了传统久期模型水平收益率曲线假设的局限。

第二类是匹配数量结构的资产负债管理方法。这类方法通过协调资产与负债的数量结构来避免银行的支付危机。近年来的代表性研究是 Norbert J 等(2006)[108]的多期随机规划模型以及姜灵敏(2006)等[109]运用的线性规划模型。这类模型在满足对未来负债提供足够现金流的前提下，实现贷款组合风险最小的目标。这种方法立足于银行支付能力的管理，侧重点是银行流动性风险的控制。

Copula 是在构造多元联合分布以及随机变量间相关结构分析中常见的工具[110]。最早将 copula 理论引入金融风险管理的是 Embrechts，McNeil and Straumann(1999)[111]，随后很多学者都对这一领域进行了更深入的研究。Clemente 和 Romano(2003)[112]结合极值理论和 copula 理论研究了意大利的资本市场，并运用 Montr Carlo 仿真方法计算了对多个资本进行投资组合得到的 VaR 值，后检验结果表明基于极值理论和 copula 模型优于多元条件正态分布假设下的传统的 VaR 模型。Rosenberg 和 Schuermann(2004)[113]采用

VaR 作为风险测度，运用 copula 理论研究了市场风险、信用风险和运作风险的风险聚合问题，并与其他模型进行了对比，结果表明由 copula 模型计算得到的 VaR 值最接近经验 VaR。

现有研究取得了长足的进展，但仍然存在诸多的问题：一是没有考虑短期贷款与中长期贷款组合的期限结构匹配问题，使银行面临较大的流动性风险。二是现有研究测算贷款的组合风险不准确。其中大多把贷款组合的联合分布当作多元正态分布[108,113]，低估了金融风险，而用极值理论[112,114]的研究又高估金融风险。

本研究在考虑上述因素的基础上，用 copula 函数拟合贷款组合的联合分布，用 *VaR* 风险价值衡量贷款组合期限结构的流动性风险，建立基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型，解决了贷款组合决策中的流动性风险控制问题。

3.2 基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化原理

3.2.1 基于 copula 函数的期限结构匹配原理

基于 copula 函数的期限结构匹配原理一是求四类 copula 函数的解析式，找出一个与实际收益率分布最接近的 copula 函数来拟合贷款组合收益率的实际分布。二是用找到的这个 copula 函数来计算贷款组合的风险价值，在贷款组合的损失最小的前提下，匹配和协调短期贷款和中长期贷款的比例。

Copula 理论是构造多元联合分布以及随机变量间相关结构分析中的方法，它在金融领域的应用仅仅是近几年的事情。最早将 copula 理论引入金融风险管理的是 Embrechts, McNeil and Straumann(1999)[111]，目前 copula 方法在风险管理中的应用仅限于对证券市场指数相关性的研究。

由于 copula 函数具有描述联合分布的分布函数特点，且比多元正态分布函数能更准确刻划贷款组合的实际收益率的联合分布，故运用 copula 函数对贷款组合收益率联合分布进行拟合，能够较好的进行贷款风险控制的优化。

应用基于 copula 函数的期限结构匹配原理对贷款组合期限结构进行优化，反应了贷款组合收益率联合分布的实际情况，解决了现有研究均假设贷款组合的分布服从多元正态分布，对贷款组合的实际分布描述不准确的问题。

3.2.2 匹配期限结构的风险价值

匹配期限结构的风险价值(VaR)在这里也就是基于copula的联合分布的VaR，它是指在给定的置信水平下，当贷款组合满足某一期限结构时可能产生的最大损失。本章VaR及收益或损失均取正数形式,这是为了与日常习惯一致。

用函数关系表述匹配期限结构的风险价值，可以简洁地表示为：$VaR=f[C(F(x),F(y)),\beta]$，其中$C(F(x),F(y))$—短期贷款与中长期贷款的copula联合分布；$\beta$—短期贷款与中长期贷款的比例系数，$\beta$是决策变量，$0\leq\beta\leq1$。

假定持有期为一周，给定的置信水平为95%，则某投资组合的*VaR*为100万元,就表示该投资组合在未来一周内损失超过100万元，或者说在未来一周该投资组合最大期望损失为100万元的概率为5%。

根据概率理论的基本原理，*VaR*也可以表示成收益率的形式。例如在特定的时间内给定的置信水平为95%，则某投资组合的*VaR*为2%就表示该组合在未来一段时间内收益率低于2%的概率为5%。也就是说,如果银行有100万元进行贷款组合,则在未来收益低于100万元×2%=2万元的可能不超过5%，这就将未来收益控制在一个定值如2万元以上。

本章中的决策模型立足于分析收益率与控制收益率风险，故 *VaR* 以收益率的形式表现出来。

基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化是在匹配期限结构的贷款组合的损失最小的前提下，匹配短期贷款与中长期贷款的比例。

运用风险价值衡量基于 copula 函数的贷款组合收益率的不确定性。控制了贷款组合联合分布的 *VaR*，对组合风险的控制更直观，有助于商业银行对自身风险暴露程度的调节。

3.2.3 基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化准则

基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化准则是使贷款组合收益率的 *VaR* 最大。

与流行文献的大多数做法不同，这里的 *VaR* 不是贷款组合的损失，而是贷款组合的收益。例如一家银行按照名义利率计算出的加权平均收益率为 6%，计及贷款不是 100 %归还的情况，本准则控制的是在一定置信水平(如下文中的置信水平 95%)下，收益率至少大于 3%。这里的 3%的收益底线就是 *VaR*。

对每一个贷款组合的期限结构对应的 *VaR* 值进行描点，所形成曲线的切点——收益底线 *VaR* 的最高水平对应的不同期限的贷款比率，即是贷款组合的最优期限结构。

在组合优化过程中考虑了贷款期限结构匹配。解决了现有对贷款组合的优化研究忽略贷款组合的期限结构匹配，易导致资产流动性差、运营效率低的问题。

3.2.4 基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化原理

(1)对贷款组合收益率的联合分布，求四类 copula 函数的解析式，找出一个与实际收益率分布最接近的 copula 函数。

(2)用与实际收益率分布最接近的 copula 函数来表述贷款组合的风险价值。在贷款组合的损失最小的前提下，确定短期贷款与中长期贷款的合理比例。

基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化原理就是运用 copula 函数对短期贷款与中长期贷款组合收益率分布进行拟合，用 VaR 度量贷款组合收益率的风险，确定当贷款组合的损失最小时短期贷款与中长期贷款的比例。贷款组合的期限结构优化原理如图 3.1 所示。

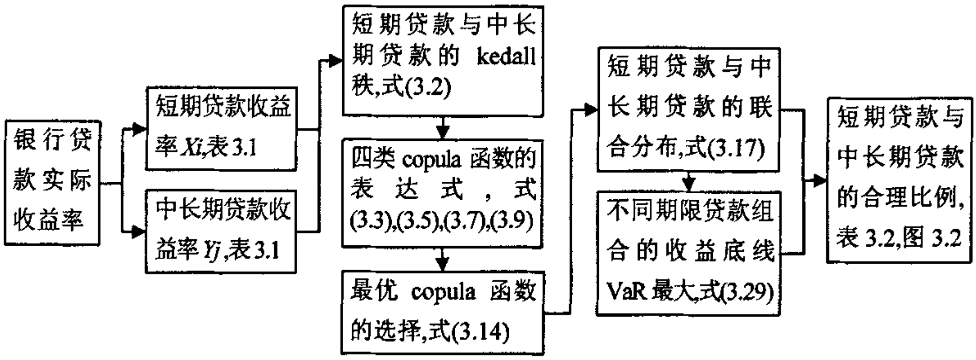

图 3.1 贷款组合的期限结构优化原理图

Fig. 3.1 Principle of loan portfolio based on term structure optimization

3.2.5 基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化原理的特色

(1)在组合优化过程中考虑了贷款期限结构匹配。解决了现有对贷款组合的优化研究忽略贷款组合的期限结构匹配，易导致资产流动性差、运营效率低的问题。

(2)反应了贷款组合收益率联合分布的实际情况。应用 copula 函数对贷款组合的实际收益率的联合分布进行拟合，解决了现有研究均假设贷款组合的分布服从多元正态分布，对贷款组合的实际分布描述不准确的问题。

(3)运用风险价值衡量基于 copula 函数的贷款组合收益率的不确定性。控制了贷款组合联合分布的 *VaR*，对组合风险的控制更直观，有助于商业银行对自身风险暴露程度的调节。

3.3 基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型的建立

3.3.1 copula 函数对贷款组合分布的拟合

3.3.1.1 模型中的基本参数

设x—短期贷款的收益率随机变量，这里的短期贷款系指1年期以下的贷款(含1年)；y—中长期贷款的收益率随机变量，这里的中长期贷款系指1年期以上贷款；$C(F_1(x),F_2(y))$—短期贷款与中长期贷款(x,y)联合分布的估计[111]。

利用经验的相关性结构kendall秩[111]，即参数τ，估计出copula函数。

考虑短期贷款的收益率x与中长期贷款的收益率y的相关性。x的变化用它的两个独立的观察值的差来反映：x_1-x_2。同样的，y的变化也可以用它的两个独立的观察值的差来反映：y_1-y_2。若$(x_1-x_2)(y_1-y_2)>0$，则它们的变化是一致的；若$(x_1-x_2)(y_1-y_2)<0$，它们的变化就是相反的，定义Q函数：

$$Q((x_i,y_i),(x_j,y_j))=\begin{cases}1, & if(x_i-x_j)(y_i-y_j)>0\\ 0, & if(x_i-x_j)(y_i-y_j)=0\\ -1, & if(x_i-x_j)(y_i-y_j)<0\end{cases} \tag{3.1}$$

其中，x_i一第i笔短期贷款的年收益率；y_j一第j笔中长期贷款的年收益率，$1\le i<j\le n$。

随机变量x和y的kendall秩为[111]：

$$\tau=\frac{2\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}Q((x_i,y_i),(x_j,y_j))}{n(n-1)} \tag{3.2}$$

τ一反映了两个随机变量一致与否的程度参数。

3.3.1.2 四类copula函数

为了估计出copula函数，选择的copula函数大部分是一个参数的Archimedean copula函数[115]。可选择的copula函数有：Gumbel，FGM(即Farlie-Gumbel-Morgenstern)，Frank和Clayton。

这些copula函数都有这样一个属性：对于每一个copula函数，kendall秩τ是关于它们的参数θ的一个解析函数[115]。这样就可以通过相关性度量来估计copula函数。对于每一个copula函数，因为有了一个作为参数θ的函数的kendall秩τ的表达式$\theta=f(\tau)$，而且已经知道了kendall秩τ的经验值，这样就可以通过kendall秩τ来得到参数θ的值[115]。

在本研究中，对贷款组合收益率的联合分布，求上述四类copula函数的解析式，找出一个与实际收益率最接近的copula函数，用选择出的copula函数来计算贷款组合的风险价值。

(1)Gumbel函数

Gumbel函数的表达式为[115]：

$$\exp\{-[(-\ln F_1(x))^\theta+(-\ln F_2(y))^\theta]^{\frac{1}{\theta}}\} \tag{3.3}$$

其中

$$\theta=\frac{1}{1-\tau} \tag{3.4}$$

$F_1(x)$—短期贷款收益率的边缘分布函数；$F_2(y)$—中长期贷款收益率的边缘分布函数。

(2) FGM 函数

FGM 函数的表达式为[115]：

$$F_1(x)F_2(y)\{1+\theta[1-F_1(x)][1-F_2(y)]\} \tag{3.5}$$

其中

$$\theta=\frac{9\tau}{2} \tag{3.6}$$

(3) Frank 函数

Frank 函数的表达式为[115]：

$$-\frac{1}{-\theta}\ln\{1+\frac{(e^{-\theta F_1(x)}-1)(e^{-\theta F_2(y)}-1)}{(e^{-\theta}-1)}\} \tag{3.7}$$

其中

$$\tau=1+\frac{4}{\theta}[\frac{1}{\theta}\int_0^{\theta}\frac{t}{e^t-1}dt-1] \tag{3.8}$$

(4) Clayton 函数

Clayton 函数的表达式为[115]：

$$[F_1(x)^{-\theta}+F_2(y)^{-\theta}-1]^{-\frac{1}{\theta}} \tag{3.9}$$

其中

$$\theta=\frac{2\tau}{1-\tau} \tag{3.10}$$

3.3.1.3 最优 copula 函数的选择

(1)最优 copula 函数的选择标准

上述得到的四个 copula 函数，用来描述短期贷款收益率的边际分布 $F_1(x)$与中长期贷款收益率的边际分布 $F_2(y)$之间的相关性结构。

由于上述得到的四个 copula 函数都是从经验的相关性结构估计出来的，下一步应该选择一类 copula 函数，使选出的 copula 函数和经验的 copula 函数相关性结构最接近，即最优的 copula 函数和经验 copula 函数之间的误差最小[116]。

(2)离散 L^2 范数距离

应用二元 copula 函数计算短期贷款与中长期贷款收益率的联合分布。

定义示性函数 I：

$$I(x_i \le x^{(ti)}, y_j \le y^{(tj)}) = \begin{cases} 1, & x_i \le x^{(t_i)} 与 y_j \le y^{(t_j)} 同时成立 \\ 0, & x_i \le x^{(t_i)} 与 y_j \le y^{(t_j)} 不同时成立 \end{cases} \tag{3.11}$$

二元经验 copula 分布可以写成[117]：

$$\hat{C}\left(\frac{t_i}{n}, \frac{t_j}{n}\right) = \frac{1}{n}\sum_{i,j=1}^{n} I\left[x_i \le x^{(t_i)}, y_j \le y^{(t_j)}\right] \tag{3.12}$$

其中：$\hat{C}$—由实际样本数据估计出的贷款组合的经验 copula 函数；n—样本容量，$i=1,\ldots,n$；t_i—短期贷款实际收益率顺序统计量序号，顺序统计量由小到大排列；t_j—中长期贷款实际收益率顺序统计量序号，顺序统计量由小到大排列； $I(x_i \le x^{(ti)}, y_j \le y^{(tj)})$—示性函数，如式(3.11)所示； x_i—第 i 笔短期贷款实际收益率； $x^{(ti)}$—短期贷款实际收益率顺序统计量，顺序统计量由小到大排列； y_j—第 j 笔中长期贷款实际收益率； $y^{(tj)}$—中长期贷款实际收益率顺序统计量，顺序统计量由小到大排列。

$C(F_1(x),F_2(y))$—从经验的相关性结构中估计出来的copula函数，称之为理论的copula函数。如式(3.3)、(3.5)、(3.7)、(3.9)所示。理论的 copula 集合记为：C={Gumbel, FGM, Frank, Clayton}。

$\hat{C}(F_1(x),F_2(y))$—由下文表 3.1 中实际样本数据估计出来的经验的 copula 函数。由式(3.12)给出。

为选择最优的 copula 函数，引入离散 L^2 范数的距离 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$[117]：

$$\hat{d}_2(C,\hat{C}) = \left\{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left[C\left(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n}\right)-\hat{C}\left(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n}\right)\right]^2\right\}^{1/2} \tag{3.13}$$

其中：$C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$—理论 copula 函数，由式(3.3)、(3.5)、(3.7)、(3.9)给出；$\hat{C}(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$—由样本数据估计出来的经验 copula 函数，由式(3.12)给出。

(3)最优 copula 函数的选择

记最优的 copula 函数为 C^*，C^*必须满足下面的条件[116]：

$$C^* = \min_{C}\left\{\frac{d_2(C,\hat{C})}{n}\right\} \tag{3.14}$$

通过式(3.13)计算集合 C={Gumbel, FGM, Frank, Clayton}中的每一个理论 copula 函数 $C(F_1(x),F_2(y))$和由式(3.12)样本数据估计出来的经验 copula 函数$\hat{C}(F_1(x),F_2(y))$之间的误差$\hat{d}_2(C,\hat{C})$，**误差最小的 copula 函数 C^*就是贷款组合收益率的联合分布函数。**

式(3.14)是对贷款组合联合分布的copula函数表述，其好处在于运用copula函数对短期贷款与中长期贷款实际收益率进行拟合运算，得出与实际贷款组合联合分布最接近的分布函数，更准确地刻画了贷款组合风险。

3.3.2 贷款组合收益率密度函数表达式的建立

3.3.2.1 贷款组合联合分布的风险价值

设x—短期贷款的收益率随机变量，这里的短期贷款系指1年期以下的贷款(含1年)；y—中长期贷款的收益率随机变量，这里的中长期贷款系指1年期以上贷款。则短期贷款与中长期贷款的组合收益率变量可表示为：

$$\beta x+(1-\beta)y \tag{3.15}$$

其中，β—短期贷款与中长期贷款的比例系数，$0\leq\beta\leq1$。

贷款组合$\beta x+(1-\beta)y$在显著性水平α下的VaR值定义为：

$$P\{\beta x+(1-\beta)y>VaR\}=1-\alpha \tag{3.16}$$

式(3.16)的经济学含义表示贷款组合收益率$\beta x+(1-\beta)y$大于VaR的概率为$1-\alpha$。

例如当显著性水平$\alpha=5\%$时，表示的是贷款组合收益率大于风险价值VaR的概率是1-5%=95%。显见，这种控制风险是把收益率大于定值的概率控制在一个范围内(如这里的95%)。

应该指出，与现有研究不同，式(3.16)关于风险价值的表达式不是传统意义上的表达式，因为其中的风险价值是由短期贷款与中长期贷款的联合分布而得出。

用基于copula函数的风险价值VaR度量贷款组合风险的好处在于：一是控制的是贷款组合联合分布的风险，反映了贷款组合的风险暴露程度，有利于贷款组合的损失控制；二是可以直观地对不同期限结构的贷款组合的风险进行比较，从而进行贷款期限结构的优化决策。

3.3.2.2 贷款组合联合分布的密度函数

由式(3.3)、(3.5)、(3.7)、(3.9)表示的四类copula函数中，可以选择出一个最优的copula函数，其选择标准由式(3.14)给出。选择出的copula函数就是短期贷款与中长期贷款收益率的联合分布函数$F(x,y)$。由联合分布函数的定义，有：

$$F(x,y)=\int_{-\infty}^{x}\left(\int_{-\infty}^{y}f(s,t)dt\right)ds \tag{3.17}$$

对式(3.17)求偏导数，则可以得到贷款组合收益率联合分布的密度函数$f(x,y)$为：

$$f(x,y)=\frac{\partial F(x,y)}{\partial x\partial y} \tag{3.18}$$

式(3.18)即两类贷款的联合分布密度函数。

3.3.2.3 贷款组合边际分布的密度函数

(1)贷款收益率边际分布的假设.

①为了便于表述模型的计算过程，假设短期贷款的收益率与中长期贷款的收益率的边际分布为正态分布。在实际的应用中，可以根据短期贷款的收益率与中长期贷款的收益率分布的具体情况确定贷款组合的边际分布函数。

边际分布为正态分布时，其联合分布不一定是多元正态分布，因此贷款组合联合分布中的边际分布是正态分布的假设与贷款组合联合分布函数的拟合过程不冲突.

②当贷款组合的边际分布不是正态分布，但符合其他分布时，如 t 分布、F 分布等情况。可以采用 t 分布、F 分布等函数形式表示贷款组合的边际分布，再进行模型的建立。

③当贷款组合的边际分布不符合现有的分布函数的函数形式时，可以用短期贷款的收益率与中长期贷款的收益率的经验分布函数表示贷款组合的边际分布，再进行模型的建立。

(2)短期贷款收益率的密度函数

根据正态分布的定义，得到短期贷款的收益率的密度函数表达式：

$$f_1(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x}e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}} \tag{3.19}$$

短期贷款的收益率的样本均值：

$$\mu_x=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i}{n} \tag{3.20}$$

短期贷款的收益率的样本方差：

$$\sigma_x^2=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu_x)^2}{n-1} \tag{3.21}$$

其中， $f_1(x)$—短期贷款的收益率的密度函数； μ_x—短期贷款的收益率的样本均值； σ_x^2—短期贷款的收益率的样本方差； x_i—第 i 笔短期贷款的收益率；n—样本容量，$i=1,...,n$。

(3)中长期贷款收益率的密度函数

中长期贷款的收益率的密度函数表达式：

$$f_2(y)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y}e^{-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} \tag{3.22}$$

中长期贷款的收益率的样本均值：

$$\mu_y = \frac{\sum_{j=1}^{n} y_j}{n} \tag{3.23}$$

中长期贷款的收益率的样本方差：

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n} (y_j - \mu_y)^2}{n-1} \tag{3.24}$$

其中，$f_2(y)$—中长期贷款的收益率的密度函数；μ_y—中长期贷款的收益率的样本均值；σ_y^2—中长期贷款的收益率的样本方差； y_j—第 j 笔中长期贷款的收益率；n—样本容量，$i=1,...,n$。

3.3.2.4 贷款组合的边际分布函数

(1)短期贷款收益率的分布函数

根据边际分布函数的定义，对式(3.19)短期贷款收益率的密度函数 $f_1(x)$进行积分，得到短期贷款收益率的分布函数：

$$F_1(x) = \int_{\infty}^{x} f_1(x)dx = \int_{\infty}^{x} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\mu_x} e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx \tag{3.25}$$

(2)中长期贷款收益率的分布函数

根据边际分布函数的定义，对式(3.22)中长期贷款收益率的密度函数$f_2(y)$进行积分，得到中长期贷款收益率的分布函数：

$$F_2(y) = \int_{\infty}^{y} f_2(y)dy = \int_{\infty}^{y} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\mu_y} e^{-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} dy \tag{3.26}$$

3.3.3 基于copula函数的贷款组合优化模型的建立

3.3.3.1 基于copula函数的贷款组合优化模型的推导过程

根据概率函数的定义，对式(3.18)贷款组合收益率联合分布的密度函数 $f(x,y)$从 $\beta x+(1-\beta)y>VaR$ 的范围内进行积分，就得到了由式(3.16)左边表示的概率：

$$P\{\beta x+(1-\beta)y>VaR\}= \int_{\beta x+(1-\beta)y>VaR} f(x,y)dxdy \tag{3.27}$$

式(3.27)的右边是对一个面积的积分，故可以表示为

$$P\{\beta x+(1-\beta)y>VaR\}= \int_{\infty}^{+\infty}(\int_{\frac{VaR-(1-\beta)y}{\beta}}^{+\infty} f(x,y)dxdy \tag{3.28}$$

3.3.3.2 基于 copula 函数的贷款组合优化模型

将式(3.28)带入式(3.16)左端，可以得到：

$$\int_{-\infty}^{+\infty}\left(\int_{\frac{VaR-(1-\beta)y}{\beta}}^{+\infty} f(x,y)dxdy = 1\text{-}\alpha \tag{3.29}$$

式(3.29)就是基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型。其经济学含义为：当贷款组合满足一定期限结构时，即当β取一定值时，贷款组合的收益率大于 VaR 的概率为 1-α。

如下文表 3.2 中第 2 行第 2 列所示，当 α=5%时，β=0.02 时，贷款组合的 VaR=0.741% ，其表示贷款组合的收益率大于 0.741%的概率为 95%。

贷款组合的风险价值是由短期贷款和中长期贷款的联合分布得出，使得风险价值能够控制联合风险，更有助于商业银行对贷款组合期限结构的调节。

式(3.29)便是基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型，其好处在于一是考虑了贷款的期限结构对贷款组合流动性风险的影响；二是运用 copula 函数准确地刻划了短期贷款与中长期贷款的联合分布情况；三是通过度量联合分布的风险价值来控制流动性风险。

3.3.4 基于 copula 函数的贷款组合优化模型的求解

在式(3.29)中，贷款组合收益率的联合密度函数 $f(x,y)$已知，由式(3.18)给出；估算贷款组合收益率>VaR 的显著性水平 α 已知；只有 VaR 与 β 未知。

因此在式(3.29)中，给定一个 β 值，就有一个 VaR 值与之对应。根据基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化准则，通过牛顿差值法求出当 VaR 值最大时对应的 β 值，也就是求出了贷款组合的损失最小时，贷款组合中短期贷款与中长期贷款的比例。这就确定了贷款组合的最佳期限结构。

3.3.5 基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型的特色

(1)在组合优化过程中考虑了贷款期限结构匹配。提出基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化原理，运用 copula 函数构造贷款组合的联合分布函数，通过控制贷款组合的风险价值来匹配和协调短期和中长期贷款的比率，使银行贷款的期限结构趋于合理，避免银行流动性危机的发生。

(2)优化模型反应了贷款组合收益率联合分布的实际情况。运用 copula 函数对短期贷款与中长期贷款实际收益率进行拟合运算，得出与实际贷款组合联合分布最接近的分布函数，更准确地刻画了贷款组合风险。

(3)运用风险价值衡量贷款组合收益率的不确定性。贷款组合的风险价值是由短期贷款和中长期贷款的联合分布得出，使得风险价值能够控制联合风险，更有助于商业银行对贷款组合期限结构的调节。

3.4 应用实例

3.4.1 样本基本情况

在一个贷款周期中，银行总可以得到本利和的现值或用年金公式把得到的本利和扣除本金后折算成每年的收益率。表3.1中第2、6列给出的是，每一笔贷款本利和扣除本金后折算成的名义平均年收益率。

例如一笔6个月期短期贷款的本金为100万元，本利和为102万元，则这笔短期贷款的平均年收益率可表示为[(102-100)/6*12]/100=4%。

选取某银行近期100笔贷款平均年收益率数据，其中短期贷款50笔，表3.1第2列；中长期贷款50笔，表3.1第6列。

表3.1.各期限贷款平均年收益率及顺序统计量(%)

Tab.3.1 The yield and ordered categories of diffirent limited loans(%)

短期贷款平均年收益率 x_i		短期贷款平均年收益率顺序统计量 $x^{(i)}$		中长期贷款平均年收益率 y_j		中长期贷款平均年收益率顺序统计量 $y^{(j)}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
x_1	4.7	$x^{(1)}$	1.4	y_1	5.2	$y^{(1)}$	-3.9
x_2	2.7	$x^{(2)}$	1.8	y_2	5.3	$y^{(2)}$	-3.7
x_3	5.1	$x^{(3)}$	2.4	y_3	4.9	$y^{(3)}$	-2.6
...	...	...	...	...	...	...	...
x_{49}	4.9	$x^{(49)}$	5.9	y_{49}	5	$y^{(49)}$	6.2
x_{50}	5.1	$x^{(50)}$	6	y_{50}	5.3	$y^{(50)}$	6.3

3.4.2 贷款组合联合分布密度函数的计算

3.4.2.1 参数τ的计算

(1)将表3.1中第2列50笔短期贷款的年收益率数据及表3.1第6列50笔中长期贷款的年收益率数据带入式(3.1)，计算函数Q的值。

例如将表 3.1 第 2 列第 1、2 行两笔短期贷款的年收益率数据、表 3.1 第 6 列第 1、2 行两笔中长期贷款的年收益率数据带入式(3.1)，计算 $Q((x_1,y_1),(x_2,y_2))$，即 $Q((4.7,5.2),(2.7,5.3))$。

由于(4.7-2.7)×(5.2-5.3)<0，因此，由式(3.1)函数 Q 的定义得到：

$Q((x_1,y_1),(x_2,y_2))= -1$。

(2)仿上一步骤，将表 3.1 中 2、6 列数据代入式(3.1)计算函数 Q 的值，并将结果带入式(3.2)，计算参数τ的值，得到：

$$\tau=\frac{2\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}Q((x_i,y_i),(x_j,y_j))}{n(n-1)}$$

$$=\frac{2}{50\times49}\times\{Q((x_1,y_1),(x_2,y_2))+Q((x_1,y_1),(x_3,y_3))+\ldots+Q((x_1,y_1),(x_{50},y_{50}))+Q((x_2,y_2),(x_3,y_3))+ Q((x_2,y_2),(x_4,y_4))+\ldots+Q((x_2,y_2),(x_{50},y_{50}))+\ldots+Q((x_{48},y_{48}),(x_{49},y_{49}))+ Q((x_{48},y_{48}),(x_{50},y_{50}))+Q((x_{49},y_{49}),(x_{50},y_{50}))\}$$

$$=\frac{2}{50\times49}\times\{Q((4.7,5.2),(2.7,5.3))+Q((4.7,5.2),(5.1,4.9))+\ldots+Q((4.7,5.2),(5.1,5.3)) +Q((2.7,5.3),(5.1,4.9))+Q((2.7,5.3),(3.9,4.1))+\ldots+Q((2.7,5.3),(5.1,5.3)) +\ldots+Q((4.6,-2.6),(4.9,5))+Q((4.6,-2.6),(5.1,5.3))+Q((4.9,5),(5.1,5.3))\} \tag{3.30}$$

式(3.30)中 Q 函数值的项数一共为 n×(n-1)/2＝50×49/2＝1 225 个。

由式(3.1)Q 函数的定义，计算式(3.30)中 1225 个 Q 函数的值。例如式(3.30)大括号中第 2 项 $Q((4.7,5.2),(5.1,4.9))$ 的计算过程：由式(3.1)Q 函数的定义，由于(4.7-5.1)×(5.2-4.9)<0，因此有 $Q((4.7,5.2),(5.1,4.9))=-1$。

仿此，计算式(3.30)中所有 1225 个 $Q((x_i,y_i),(x_j,y_j))$的值后，并把其带入式(3.2)，计算参数τ的值，得到：

$$\tau=\frac{2\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}Q((x_i,y_i),(x_j,y_j))}{n(n-1)}=0.1243$$

上述过程仅仅是为了对实例中算法的说明。在实际中是采用 Matlab 编程一次性计算出来的。

3.4.2.2 贷款组合联合分布函数的确定

(1)Gumbel 的函数表达式

将上一步计算的τ＝0.1243 带入到式(3.4)中，得到 Gumbel 函数中参数 θ 的值：

$$\theta=\frac{1}{1-\tau}=\frac{1}{1-0.1243}=1.142$$

再将θ=1.142代入到式(3.3)中，得到Gumbel函数的表达式为：

$$\exp\{-[(-\ln F_1(x))^{\theta}+(-\ln F_2(y))^{\theta}]^{\frac{1}{\theta}}\}$$

$$=\exp\{-[(-\ln F_1(x))^{1.142}+(-\ln F_2(y))^{1.142}]^{1/1.142}\} \tag{3.31}$$

(2) FGM 的函数表达式

将τ=0.1243带入到式(3.6)中，得到FGM函数中参数θ的值：

$$\theta=\frac{9\tau}{2}=\frac{9\times 0.1243}{2}=0.559$$

再将θ=0.559代入到式(3.5)中，得到FGM函数的表达式为：

$$F_1(x)F_2(y)\{1+0.559[1-F_1(x)][1-F_2(y)]\} \tag{3.32}$$

(3) Frank 的函数表达式

将τ=0.1243带入到式(3.8)左端：

$$0.1243=1+\frac{4}{\theta}(\frac{1}{\theta}\int_0^{\theta}\frac{t}{e^t-1}dt-1) \tag{3.33}$$

解方程(3.33)得到θ的值：

θ=1.173

将θ=1.173带入式(7)，得到Frank函数的表达式为：

$$-\frac{1}{-1.173}\ln\{1+\frac{(e^{-1.173F_1(x)}-1)(e^{-1.173F_2(y)}-1)}{(e^{-1.173}-1)}\} \tag{3.34}$$

(4) Clayton 的函数表达式

将τ=0.1243带入到式(3.10)中，得到Clayton函数中参数θ的值：

$$\theta=\frac{2\tau}{1-\tau}=\frac{2\times 0.1243}{1-0.1243}=0.284$$

再将θ=0.284代入到式(9)中，得到Clayton函数的表达式为：

$$\{[F_1(x)]^{-0.284}+[F_2(y)]^{-0.284}-1\}^{-1/0.284} \tag{3.35}$$

3.4.2.3 Copula 函数的优选

(1)贷款年收益率的顺序统计量

表3.1第2列是50笔短期贷款的平均年收益率x_i的原始数据。表3.1第4列短期贷款的年收益率顺序统计量$x^{(n)}$是将表3.1第2列50笔短期贷款的年收益率x_i从小到大排列得到。

如表 3.1 第 2 列 50 笔短期贷款的平均年收益率 x_i 的最小值为 1.4，则有表 3.1 第 4 列第 1 行的顺序统计量 $x^{(1)}$=1.4。然后再在表 3.1 第 2 列剩下的 49 个数据中寻找最小值，找到了 1.8 列入表 3.1 第 4 列第 2 行，依此类推，得到表 3.1 第 4 列和第 8 列的所有数据。

(2)经验 copula 函数的计算

如前所述，式(3.12)中，t_i—短期贷款实际收益率顺序统计量序号，顺序统计量由小到大排列；在本例中由 1 到 50 顺序排列。t_j—中长期贷款实际收益率顺序统计量序号，顺序统计量由小到大排列；在本例中也是由 1 到 50 顺序排列。

将表 3.1 中第 2 列短期贷款的平均年收益率 x_i，表 3.1 中第 4 列短期贷款年的平均年收益率顺序统计量 $x^{(ti)}$，表 3.1 中第 6 列中长期贷款的平均年收益率 y_j，表 3.1 中第 8 列中长期贷款的平均年收益率顺序统计量 $y^{(tj)}$数据带入式(3.12)，计算贷款组合的经验 copula 函数$\hat{C}(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$。

以$\hat{C}(\frac{1}{50},\frac{3}{50})$的计算为例，计算过程为：

①此时 t_i=1，t_j=3 ；

②找到表 3.1 第 4 列第 1 个短期贷款年收益率顺序统计量 $x^{(1)}$的数据为：$x^{(1)}$=1.4；找到表 3.1 第 8 列第 3 个中长期贷款年收益率顺序统计量 $y^{(3)}$的数据为：$y^{(3)}$=-2.6；

③将上述 $x^{(1)}$=1.4，$y^{(3)}$=-2.6 带入式(3.12)，得到：

$$\begin{aligned}\hat{C}(\frac{1}{50},\frac{3}{50})=&\frac{1}{50}\{I(x_1\le x^{(1)},y_1\le y^{(3)})+I(x_2\le x^{(1)},y_2\le y^{(3)})+I(x_3\le x^{(1)},y_3\le y^{(3)})\\&+\ldots+I(x_{50}\le x^{(1)},y_{50}\le y^{(3)})\}\\=&\frac{1}{50}[I(4.7\le 1.4,\ 5.2\le -2.6)+I(2.7\le 1.4,\ 5.3\le -2.6)+I(5.1\le 1.4,\\&4.9\le -2.6)+\ldots+I(5.1\le 1.4,\ 5.3\le -2.6)]\end{aligned}\tag{3.36}$$

④由式(3.11)示性函数 $I(x_i\le x^{(ti)},y_j\le y^{(tj)})$的定义，计算式(3.36)$\hat{C}(\frac{1}{50},\frac{3}{50})$的值。

以式(3.36)中括号中第 1 项 $I(4.7\le 1.4,\ 5.2\le -2.6)$为例，由于 4.7≤1.4 不成立，5.2≤-2.6 不成立，由式(3.11)示性函数 $I(x_i\le x^{(ti)},y_j\le y^{(tj)})$的定义，当 4.7≤1.4 和 5.2≤-2.6 不同时成立时，示性函数的值为：

$I(4.7\le 1.4,5.2\le -2.6)=0$

⑤依上述步骤计算示性函数$\hat{C}(\frac{1}{50},\frac{3}{50})$的值，得到：

$\hat{C}(\frac{1}{50},\frac{3}{50})=1/50\times(0+0+\ldots+0)=0$,

同理，可以计算出其它示性函数的数值。

(3)距离范数 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$ 的计算

①Gumbel 函数的 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$ 计算

Gumbel 函数的理论 copula 函数的 $C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$ 的计算是将 $F_1(x)=t_i/n$ 和 $F_2(y)=t_j/n$ 带入式(3.3)，得到：

$$C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})=\exp\{-[(-\ln\frac{t_i}{n})^{1.142}+(-\ln\frac{t_j}{n})^{1.142}]^{1/1.142}\} \tag{3.37}$$

以计算 $C(\frac{1}{50},\frac{3}{50})$ 为例，就是令短期贷款收益率分布函数 $F_1(x)=\frac{1}{50}$，中长期贷款收益率分布函数 $F_2(y)=\frac{3}{50}$，并将 $F_1(x)=\frac{1}{50}$ 和 $F_2(y)=\frac{3}{50}$ 带入式(3.3)，得到：

$$C(\frac{1}{50},\frac{3}{50})=\exp\{-[(-\ln\frac{1}{50})^{1.142}+(-\ln\frac{3}{50})^{1.142}]^{1/1.142}\}=0.0021$$

仿上述步骤，将式(3.37)计算的 Gumbel 函数的 $C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$ 值、仿式(3.36)步骤计算的实际样本的经验 copula 函数 $\hat{C}(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$ 值，带入式(3.13)，得到 Gumbel 函数的 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$ 值为：

$$\begin{aligned}\hat{d}_2(C,\hat{C})&=\left\{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left[C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})-\hat{C}(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})\right]^2\right\}^{1/2}\\
&=\{[C(\frac{1}{50},\frac{1}{50})-\hat{C}(\frac{1}{50},\frac{1}{50})]^2+[C(\frac{1}{50},\frac{2}{50})-\hat{C}(\frac{1}{50},\frac{2}{50})]^2+\cdots+[C(\frac{1}{50},\frac{50}{50})-\hat{C}(\frac{1}{50},\frac{50}{50})]^2\\
&\quad+[C(\frac{2}{50},\frac{1}{50})-\hat{C}(\frac{2}{50},\frac{1}{50})]^2+[C(\frac{2}{50},\frac{2}{50})-\hat{C}(\frac{2}{50},\frac{2}{50})]^2+\cdots+[C(\frac{2}{50},\frac{50}{50})-\hat{C}(\frac{2}{50},\frac{50}{50})]^2+\\
&\quad\cdots+[C(\frac{50}{50},\frac{1}{50})-\hat{C}(\frac{50}{50},\frac{1}{50})]^2+[C(\frac{50}{50},\frac{2}{50})-\hat{C}(\frac{50}{50},\frac{2}{50})]^2+\cdots+[C(\frac{50}{50},\frac{50}{50})-\hat{C}(\frac{50}{50},\frac{50}{50})]^2\}^{1/2}\end{aligned} \tag{3.38}$$

式(3.38)大括号中共有50×50=2500项平方求和，每一个平方项中的 $C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$ 由式(3.37)给出，每一个平方项中的 $\hat{C}(F_1(x),F_2(y))$ 仿式(3.36)得出。计算所有这2500项平方和，得到 Gumbel 函数的 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$ 值为：

$\hat{d}_2(C,\hat{C})=4.3783$

上述过程仅仅是为了对实例中算法的说明。在实际中是采用 Matlab 编程一次性计算出来的。

② FGM 函数的 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$ 计算

仿①中 Gumbel 函数的 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$ 值计算步骤，FGM 函数的理论 copula 函数的 $C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$ 的计算是将 $F_1(x)=t_i/n$ 和 $F_2(y)=t_j/n$ 带入式(3.5)，得到：

$$C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})=\frac{t_i}{n}\cdot\frac{t_j}{n}\{1+0.559[1-\frac{t_i}{n}][1-\frac{t_j}{n}]\} \tag{3.39}$$

将式(3.39)计算的 FGM 函数的 $C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$、仿式(3.36)计算的实际样本的经验 copula 函数 $\hat{C}(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$ 带入式(3.13)，得到 FGM 函数的 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$ 值为：

$\hat{d}_2(C,\hat{C})$=4.3356

③ **Frank 函数的 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$ 计算**

仿①中的计算步骤，Frank 函数的理论 copula 函数的 $C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$ 的计算是将 $F_1(x)=t_i/n$ 和 $F_2(y)=t_j/n$ 带入式(3.7)，得到：

$$C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})=-\frac{1}{-1.173}\ln\{1+\frac{(e^{-1.173\frac{t_i}{n}}-1)(e^{-1.173\frac{t_j}{n}}-1)}{(e^{-1.173}-1)}\} \tag{3.40}$$

将式(3.40)计算的 Frank 函数的 $C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$、仿式(3.36)计算的实际样本的经验 copula 函数 $\hat{C}(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$ 带入式(3.13)，得到 Frank 函数的 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$ 值为：

$\hat{d}_2(C,\hat{C})$=4.3551

④**Clayton 函数的 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$ 计算**

仿①中的计算步骤，Clayton 函数的理论 copula 函数的 $C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$ 的计算是将 $F_1(x)=t_i/n$ 和 $F_2(y)=t_j/n$ 带入式(3.9)，得到：

$$C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})=[(\frac{t_i}{n})^{-0.284}+(\frac{t_j}{n})^{-0.284}-1]^{-1/0.284} \tag{3.41}$$

将式(3.41)计算的 Clayton 函数的 $C(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$、仿式(3.36)计算的实际样本的经验 copula 函数 $\hat{C}(\frac{t_i}{n},\frac{t_j}{n})$ 带入式(3.13)，得到 Clayton 函数的 $\hat{d}_2(C,\hat{C})$ 值为：

$\hat{d}_2(C,\hat{C})$=4.2241

(4)最优 copula 函数的确定

将上述得到的四类copula函数的$\hat{d}_2(C,\hat{C})$值带入式(3.14)，得到最优的copula函数：

$$C^* = \min_C\left\{\frac{d_2(C,\hat{C})}{n}\right\} = \min_C\left\{\frac{4.3783}{50},\frac{4.3356}{50},\frac{4.3551}{50},\frac{4.2241}{50}\right\}$$

$$=\{[F_1(x)]^{-0.284}+[F_2(y)]^{-0.284}-1\}^{-1/0.284} \qquad (3.42)$$

式(3.42)的最右边是最小值4.2241/50对应的函数表达式，这表示Clayton的函数表达式是最优的copula函数，故由式(3.35)表示。

式(3.42)就是表示短期贷款与中长期贷款收益率联合分布的最优copula函数，用于表述贷款组合的收益率分布情况。

式(3.42)的好处在于运用copula函数对短期贷款与中长期贷款实际收益率进行拟合运算，得出与实际贷款组合联合分布最接近的分布函数，更准确地刻画了贷款组合风险。

3.4.2.4 贷款组合边际分布密度函数的确定

(1)短期贷款收益率密度函数的确定

将表3.1中第2列短期贷款的平均年收益率数据带入式(3.20)，得到短期贷款的年收益率的样本均值：

$$\mu_x=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i}{n}=\frac{4.7+2.7+\cdots+5.1}{50}=4.186$$

将表3.1中第2列短期贷款的平均年收益率数据μ_x=4.186带入式(3.21)，得到短期贷款的平均年收益率的样本方差：

$$\sigma_x^2=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu_x)^2}{n-1}$$

$$=\frac{(4.7-4.186)^2+(2.7-4.186)^2+\cdots+(5.1-4.186)^2}{50-1}$$

$$=1.107$$

将上述得到的μ_x=4.186，σ_x^2=1.107带入式(3.19)，得到短期贷款的年收益率分布的密度函数为：

$$f_1(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x}e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}}=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\times1.052}e^{-\frac{(x-4.186)^2}{2.214}} \qquad (3.43)$$

(2)中长期贷款收益率密度函数的确定

将表3.1中第6列中长期贷款的平均年收益率数据带入式(3.23)，得到中长期贷款的年收益率的样本均值：

$$\mu_y=\frac{\sum_{j=1}^{n}y_j}{n}=\frac{5.2+5.3+\cdots+4.9}{50}=4.614$$

将表 3.1 中第 6 列中长期贷款的平均年收益率数据、上式得到的 μ_y=4.614 带入式(3.24)，得到中长期贷款的年收益率的样本方差：

$$\sigma_y^2=\frac{\sum_{j=1}^{n}(y_j-\mu_y)^2}{n-1}$$

$$=\frac{(5.2-4.614)^2+(5.3-4.614)^2+\cdots+(5.3-4.614)^2}{50-1}$$

$$=5.722$$

将上述得到的 μ_y=4.614，σ_x^2=5.722 带入式(3.22)，得到中长期贷款的年收益率分布的密度函数为：

$$f_2(y)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y}e^{-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}}=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\times 2.392}e^{-\frac{(x-4.614)^2}{11.444}} \tag{3.44}$$

3.4.2.5 贷款组合边际分布函数的确定

(1)短期贷款收益率分布函数的确定

由分布函数的定义，将式(3.43)带入式(3.25)，得到短期贷款的平均年收益率的分布函数：

$$F_1(x)=\int_{\infty}^{x}f_1(x)dx=\int_{\infty}^{x}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\times 1.052}e^{-\frac{(x-4.186)^2}{2.214}}dx \tag{3.45}$$

(2)中长期贷款收益率分布函数的确定

由分布函数的定义，将式(3.44)带入式(3.26)，得到中长期贷款的平均年收益率的分布函数：

$$F_2(y)=\int_{\infty}^{y}f_2(y)dy=\int_{\infty}^{y}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\times 2.392}e^{-\frac{(x-4.614)^2}{11.444}}dy \tag{3.46}$$

3.4.2.6 贷款组合联合分布密度函数的确定

将贷款组合的联合分布函数式(3.42)带入贷款组合联合分布的密度函数式(3.18)，得到贷款组合联合分布的密度函数为：

$$f(x,y)=\frac{\partial F(x,y)}{\partial x\partial y}$$

$$=1.284[F_1(x)F_2(y)]^{-1.284}\times[f_1(x)f_2(y)]\times[F_1(x)^{-0.284}+F_2(y)^{-0.284}-1]^{-5.521} \tag{3.47}$$

其中，$f(x,y)$—贷款组合联合分布的密度函数；$F_1(x)$—短期贷款的平均年收益率的分布函数，由式(3.45)给出；$F_2(y)$—中长期贷款的平均年收益率的分布函数，由式(3.46)给出；$f_1(x)$—短期贷款的平均年收益率的密度函数，由式(3.43)给出；$f_2(y)$—中长期贷款的平均年收益率的密度函数，由式(3.44)给出。

式(3.47)是短期贷款与中长期贷款收益率的联合分布密度函数，描述了贷款组合的实际收益率分布情况。式(3.47)是在基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型数值求解中重要的函数。

3.4.3 基于copula函数的贷款组合期限结构优化的数值求解

本研究选取显著性水平为 5%，即计算当 $1\text{-}\alpha=1\text{-}5\%=95\%$时，贷款组合的风险价值。

这里的问题是在计算当置信水平为 $1\text{-}\alpha=95\%$时，贷款组合收益率的风险价值 VaR 为多少，即贷款组合的收益率大于风险价值 VaR 的概率为 95%。

将贷款组合联合分布的密度函数式(3.47)带入到式(3.29)，可以计算出当风险最小时贷款组合的期限结构，得到：

$$\int_{-\infty}^{+\infty}\left(\int_{\frac{VaR-(1-\beta)y}{\beta}}^{+\infty}\{1.284[F_1(x)F_2(y)]^{-1.284}\times[f_1(x)f_2(y)]\times[F_1(x)^{-0.284}+F_2(y)^{-0.284}-1]^{-5.521}\}dxdy\right.$$

$$=95\% \tag{3.48}$$

式(3.48)就是基于copula函数的贷款组合期限结构优化模型。运用 copula 函数构造贷款组合的联合分布函数，通过控制贷款组合的风险价值来匹配和协调短期和中长期贷款的比率，使银行贷款的期限结构合理避免银行流动性危急的发生。

在式(3.48)中，已知条件分别为：

(1)右边是一个常数 95%。

(2)$F_1(x)$—短期贷款的平均年收益率的分布函数，由式(3.45)给出；$F_2(y)$—中长期贷款的平均年收益率的分布函数，由式(3.46)给出。

(3)$f_1(x)$—短期贷款的平均年收益率分布的密度函数，由式(3.43)给出；$f_2(y)$—中长期贷款的平均年收益率分布的密度函数，由式(3.44)给出。

对式(3.48)而言，只有 VaR 和 β 未知，因此给定一个 β 值，就有一个 VaR 值与之对应。

例如：将表 3.2 第 2 行第 1 列中的β=0.010 带入式(3.48)，可以得到表 3.2 第 2 行第 2 列的贷款组合 VaR 值为 0.741%，其表示：当短期贷款与中长期贷款的比例为 1：99 时，贷款组合的平均年收益率超过 0.741%概率为 95%。

仿此，计算出贷款组合在取不同β值时的 VaR。

这一过程由于需要计算式(3.48)的积分式，过程比较复杂，故选择描点及牛顿差值的方法计算贷款组合在不同期限结构β下的 *VaR* 值。

β的取值范围为 $0\leq\beta\leq1$。

第一步：β的取值在 0-1 之间，令β以 0.01 的间隔，对 *VaR* 值进行描点，此时β=0,0.01,0.02,...,1。即将β=0 带入式(3.48)，得到表 3.2 第 1 行第 2 列 *VaR*=0.673%；再将β=0.01 带入式(3.48)，得到表 3.2 第 2 行第 2 列 *VaR*=0.741%；依此类推，得到β以 0.01 为间隔时贷款组合的 *VaR* 值。以β为坐标横轴，贷款组合的 *VaR* 值为坐标纵轴进行描点，其结果见表 3.2、图 3.2。

表 3.2 不同组合的 *VaR* 值(α=0.05)

Tab. 3.2 The value of VaR with diffirent combination

序号	β (1)	*VaR* (2)
1	0	0.691
2	0.010	0.741
3	0.020	0.783
	...	...
i-2	0.671	3.0133
i-1	0.672	3.0167
i	**0.673**	**3.0181**
i+1	0.674	3.0174
i+2	0.675	3.0166
	...	...
n-1	0.990	2.487
n	1.000	2.460

第二步：根据第一步的结果，在图 3.2 中判断出β的取值在 0.6-0.8 之间贷款组合的收益率 *VaR* 较大；将β的取值细化为 0.001，运用牛顿差值的方法计算与β相对应的贷款组合 *VaR* 值。找出贷款组合 *VaR* 最大时β的取值。其结果亦见表 3.2、图 3.2。

由于从图 3.2 中可以判断出β的取值在 0.6-0.8 之间贷款组合的 *VaR* 值较大，因此只将介于 0.6-0.8 之间的贷款组合系数β进行细化，便可以找到贷款组合的损失最小时的最佳贷款期限结构。

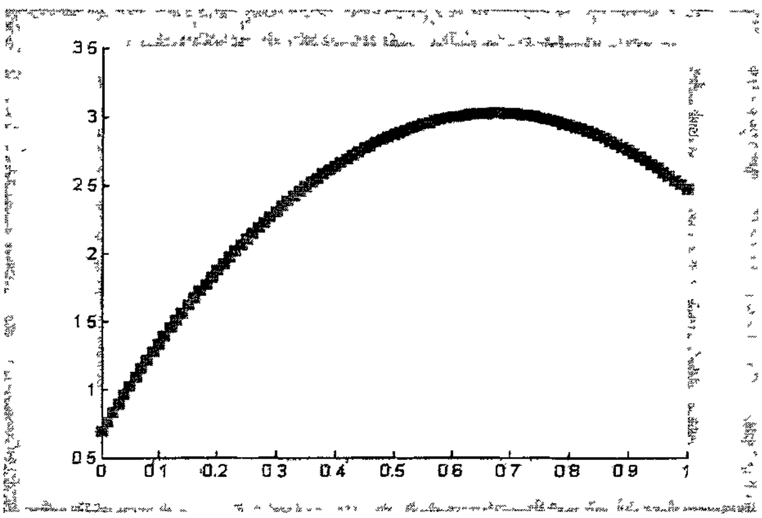

图3.2 组合系数β——*VaR*值

Fig. 3.2 Coefficient of combinationβ-Value of *VaR*

3.4.4 优化结果分析

图3.2直观的地刻划了贷款组合期限结构与风险价值的关系。由表3.2、图3.2的结果可知，当β=0.673时，贷款组合的*VaR*值最大。即达到损失最小的贷款期限结构就是短期贷款的比重是0.673＝67.3％。中长期贷款的比重则为1－67.3％＝32.7％。

3.5 有关说明

应该指出，现有研究只能对二元copula函数求解，在实际应用中，现有方法还无法实现运用三元及三元以上的多元copula函数进行联合分布的构造。

对于三元及多元贷款组合分布的情况，可以采用二元copula函数对三元及多元的贷款组合联合分布进行叠加构造。

例如，一家银行关注的是1年期贷款x、3年期贷款y、8年期贷款z这三类贷款的比率为多少时，银行能够控制贷款组合的损失最小。第一步，用二元copula函数拟合1年期贷款x与3年期贷款y的联合分布函数$C_1(x, y)$，当贷款组合的损失最小时，得到1年期贷款x与3年期贷款y的比率为x：y=3：2；第二步，用二元copula函数拟合前两类贷款的联合分布函数$C_1(x,y)$与8年期贷款z的联合分布函数$C_2(C_1(x, y), z)$，当贷款组合的损失最小时，得到(x, y)：z=7：4；第三步，由前两步得到的x：y=3：2和(x, y)：z=7:4可以得到当贷款组合的损失最小时，三类贷款之间的比率为$x:y:z=\frac{7}{3+2}\times3:\frac{7}{3+2}\times2:$

4=4.2：2.8：4。这个归一化过程就是把 7 分成 5 份，1 年期贷款占 3 份，所以是 7/(3+2)×3；3 年期贷款占 2 份，所以是 7/(3+2)×2；8 年期贷款占比不变，是 4。

也就是当贷款组合的损失最小时，1 年期贷款占贷款组合的 4.2/(4.2+2.8+4)=38.2%；3 年期贷款占贷款组合的 2.8/(4.2+2.8+4)=25.4%；8 年期贷款占贷款组合的 4/(4.2+2.8+4)=36.4%。

通过以上对三元贷款组合的联合分布的 copula 函数的叠加构造可以控制三元组合风险，多元的组合分布情况也可以依此原理叠加得到。

3.6 本章小结

根据银行短期贷款与中长期贷款的实际收益率数据，求贷款组合联合分布的四类 copula 函数的解析式，找出一个与实际收益率联合分布最接近的 copula 函数来拟合贷款组合收益率的实际分布；用找到的这个 copula 函数来计算贷款组合的风险价值，在贷款组合的损失最小的前提下，匹配和协调短期贷款和中长期贷款的比例。模型的主要特色为：

(1)运用贷款组合的期限结构来控制流动性风险。提出了基于 copula 函数的贷款组合期限结构匹配原理，建立了基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型，通过控制短期贷款与中长期贷款的合理比例，解决了贷款组合的流动性风险控制问题。

(2)运用 copula 函数更准确地拟合贷款组合收益率的联合分布。运用 copula 函数来拟合贷款组合的联合分布，更好地反映了贷款组合的真实风险，改变了现有研究大多假设资产组合的联合分布是多元正态分布，进而低估了资产组合风险的现状。

(3)运用贷款组合联合分布的风险价值衡量组合风险。运用 copula 函数拟合短期贷款与中长期贷款的联合分布，用 *VaR* 法度量贷款组合联合分布的风险价值，通过控制组合风险来确定最优的资产组合，兼顾了资产组合的收益与市场风险暴露。

4 基于违约损失控制的商业银行多期资产组合动态优化模型

4.1 问题的提出

商业银行的贷款决策实质上是贷款组合风险与收益的均衡问题，它涉及的问题至少有二：一是单个贷款的最优并不意味着贷款组合整体的最优；二是在整个贷款发放的时间区段，单个区段的贷款组合最优并不意味着全部区段的贷款组合效果的整体最优，因为不同区段贷款的配置相互影响。*而后一个问题，正是现有研究鲜有涉足的领域。*

现有的多期资产组合动态优化研究，按照研究的角度不同大体上可以分为以下三大类。

*一是基于组合收益最大化的资产组合研究。*Gjerde 和 Semmen(1995)[43]在风险资本约束、资本充足率约束和可用头寸约束的前提下，求解银行收益最大化，建立了满足资本需求的银行两期资产组合风险决策模型。Li 和 Ng(2000)[54]在组合风险小于目标值的情况下，以组合收益最大化为目标，建立了多阶段的均值-方差组合优化模型。Tokat 等人(2003) [55]在反映风险价值与风险厌恶程度的情况下求期望收益的最大化，并应用动态分配方法，通过情景模拟给出了特定情况下的多期资产分配比重。Puelz(1997) [56]在满足对未来负债提供足够现金流的前提下，力求实现所需现金流成本最小的目标，建立了多期资产负债的随机组合模型。程迎杰和秦成林(2000) [57]在满足预算约束和资产负债管理比率约束条件下，追求银行利润最大化，建立了多周期银行资产负债管理的随机规划模型。

*二是基于组合风险最小化的资产组合研究。*杨智元(2003) [58]建立了动态的无风险资产组合模型，通过该模型进行调整，将得到在一段时间内使资产组合处于无风险状态的动态过程。潘雪阳(2005) [59]研究了从一期投资扩展到多期投资，证明了在多期投资中每一期的最优投资策略类似于一期最优投资策略，而总的风险概率在各期之间进行分配。Rasmussen (2006) [60]动态地考虑了投资者对风险的态度变化，以各期的风险最小为目标函数，建立了多阶段资产组合整数随机规划模型。Nikolas 等(2006)[61]以资产组合的风险价值最小为目标函数，建立了多期资产组合的线性随机规划模型，并证明了优于单期的资产规划模型。

*三是综合考虑收益和风险的资产组合研究。*李仲飞等人(2004)[62]在安全第一的原则下，运用线性规划研究了连续时间金融市场的最优资产组合选择问题，并与 Markowitz 的均值—方差模型进行了比较。郭战琴等人(2005)[63]在综合考虑商业银行的风险承受能力以及在风险与回报均衡的基础上，提出基于 VaR 约束的贷款组合多目标决策方法，

并引入几何方法求解该多目标优化问题。Norbert J. Jobst 等人[64-66]结合信用风险与市场风险描述了固定收益资产的随机动态性，并考虑了贷款违约的时间风险，建立了资产负债多期随机规划模型。Consigli(1997)[39]，Walk(2002)[67]，MacLean(2004)[68]等人基于资产负债的收益和风险，通过多阶段随机规划方法建立了许多模型，对资产负债管理问题进行了大量研究。

现有研究的共性问题主要表现在两个方面：

(1)现有研究不是基于违约损失的控制。现有研究大多用方差控制风险，其问题颇多。

一是方差是一种收益率正负两个方向上波动程度的反应，它人为地要求正负偏差之间对称，这与投资者的真实心理感受不一致。实际上，投资者对损失往往赋予更大的权重[118]。

二是用方差度量风险是基于风险未来收益率的不确定性或易变性的认识，但根据 Fishburn 等人的研究，易变性或不确定性并不是风险的本质属性[119]。因此用收益率的易变性描述风险是不合适的。

三是方差度量风险有一些严格假设。它要求证券投资收益率服从正态分布，或者投资者具有二项式的效用函数。但根据现有研究证明，证券市场并不是正态分布的；同时二项式效用函数的假设也不符合实际[120]。

(2)现有研究把贷款的不同区间视为一个统一的区段进行优化，没有考虑不同区段间贷款收益与风险的相互影响。事实上，不同区段贷款的组合收益与风险是相互影响的，不同区段贷款的组合收益与风险对整个贷款的总体收益和风险也是有直接交互影响的。

在综合考虑上述问题的基础上，根据逆向递推原理，利用单位收益下偏矩风险和 VaR 控制违约损失，以所有区段全部收益最大化为目标，建立基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型。

4.2 基于违约损失控制的多期资产组合动态优化原理

4.2.1 贷款组合逆向递推动态优化原理

4.2.1.1 逆向递推原理

逆向递推基本思路就是逆向递推法(Backward Induction Method)，其把寻求最优策略看作连续递推的过程，从最终阶段开始，逆着实际过程的进展方向逐段求解，在每一段求解中都要利用上一阶段的结果，直到初始阶段求出结果，返回始点为止。这样运用逆向递推原理，在考虑所有贷款区间全部收益最优化的前提下，优化配给区间段的贷款配给，使得全部区段的整体贷款配给达到最优。贷款组合的逆向递推原理如图 4.1 所示。

4.2.1.2 第 $j+1$ 期资产分配

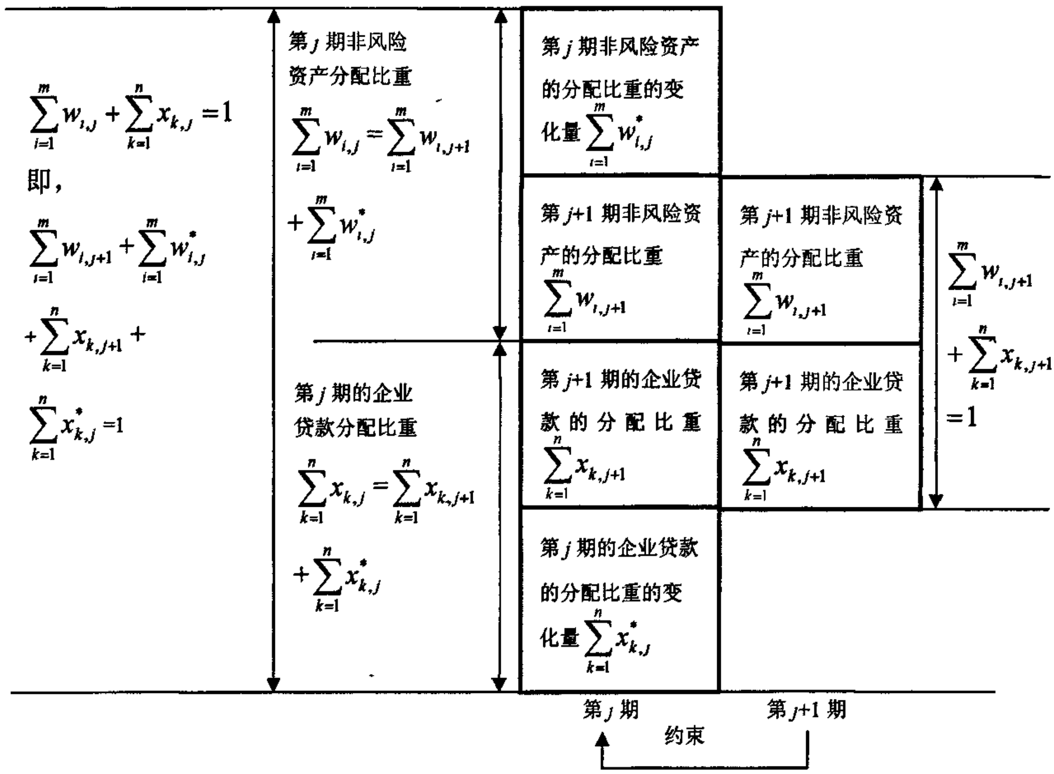

图 4.1 银行组合贷款的逆向递推原理图

Fig. 4.1 Backward induction principle of portfolio optimal for bank portfolio loans

设 $w_{i,j+1}$—第 i 项非风险资产第 j+1 期的分配比重。$x_{k,j+1}$—第 k 类企业第 j+1 期贷款分配比重。m—非风险资产的项数。n—企业贷款的项数。则图 4.1 中的第 j+1 期的资产分配为

$$\sum_{i=1}^{m} w_{i,j+1} + \sum_{k=1}^{n} x_{k,j+1} = 1 \tag{4.1}$$

在式(4.1)中，$\sum_{i=1}^{m} w_{i,j+1}$ 为非风险资产第 j+1 期的分配比重之和。$\sum_{k=1}^{n} x_{k,j+1}$ 为企业第 j+1 期贷款分配比重之和。

4.2.1.3 第 j 期的资产分配

设 $w_{i,j}^{*}$—第 i 项非风险资产第 j 期的分配比重的变化量。$w_{i,j}$—第 i 项非风险资产第 j 期的分配比重。$w_{i,j+1}$—第 i 项非风险资产第 j+1 期的分配比重。$x_{k,j}^{*}$—第 k 类企业第 j 期

贷款分配比重的变化量。$x_{k,j}$—第 k 类企业第 j 期贷款分配比重。$x_{k,j+1}$—第 k 类企业第 $j+1$ 期贷款分配比重。m—非风险资产的项数。n—企业贷款的项数。

在求解第 j 期的资产分配应该考虑第 $j+1$ 期的资产分配比重约束，则图 4.1 中的第 j 期资产分配为

$$\sum_{i=1}^{m}(w_{i,j}^{*}+w_{i,j+1})+\sum_{k=1}^{n}(x_{k,j}^{*}+x_{k,j+1})=1 \tag{4.2}$$

其中，

$$w_{i,j}=w_{i,j+1}+w_{i,j}^{*} \tag{4.3}$$

$$x_{k,j}=x_{k,j+1}+x_{k,j}^{*} \tag{4.4}$$

不言而喻：如 $w_{i,j+1}=0$，且 $w_{i,j}^{*}\neq0$，则式(4.3)为

$$w_{i,j}=w_{i,j}^{*} \tag{4.5}$$

如 $x_{k,j+1}=0$，且 $x_{k,j}^{*}\neq0$，则式(4.4)为

$$x_{k,j}=x_{k,j}^{*} \tag{4.6}$$

应当指出，组合贷款动态优化模型是运用逆向递推原理和非线性规划方法建立的。非线性规划能计算出不同区段贷款效益对全部区段贷款总体效益的相互影响，在考虑所有贷款区间全部收益最优化的前提下，优化配给区间段的贷款配给，使得全部区段的整体贷款配给达到最优。而动态规划只计算了组合收益，没有对各区间段的贷款配给进行优化。

4.2.2 多期贷款组合单位收益下偏距风险控制原理

4.2.2.1 贷款组合的下偏距风险

下偏距风险(*Downside-risk*)是指：对于一个给定的目标收益率 h，只考虑小于 h 的收益率作为风险衡量的计算因子。

半方差就是下方风险的一种，反映了投资风险的特征，捕捉到了投资者的真实心理感受。除半方差之外，还提出了其他下方风险的测度方法，这些方法都涉及到目标收益率分布左尾部分的某种"矩"，被归纳为下偏矩(LPM_q)方法。

对于一个离散的资产组合收益率 R_p，下偏矩 LPM_q 可描述为[121]：

$$LPM_q=\sum_{R_P=-\infty}^{k}P_q(h-R_P)^q \tag{4.7}$$

其中，h一给定的目标收益，P_q—资产组合收益 R_P 发生的概率，q=0,1,2。q 取不同的值，LPM_q 就表示不同的含义：LPM_0 为低于目标收益率的概率；LPM_1 为单边离差的均

值，称为目标不足；LPM_2 类似于方差，是偏差平方的概率加权，因为它是关于目标计算的偏差，故 LPM_2 也称为目标半方差[121]，本章的研究中用的就是 LPM_2。

式(4.7)便是贷款组合风险的下偏距表示。

引入下偏矩度量贷款组合风险的意义有二:

一是下偏矩反应的是组合贷款的损失，而不是象方差那样反应的是收益率正负两个方向上的波动。下偏矩体现了风险的本质属性，与投资者的真实心理感受一致。因为大多数投资者都是风险厌恶型的。

二是下偏矩度量贷款组合风险符合金融资产优化的实际情况。它不必象方差度量风险那样需要一些严格假设，它不要求证券投资收益率服从正态分布，这与金融资产优化的实际情况相符合。

4.2.2.2 单位收益的风险损失控制原理

单位收益的风险损失控制原理是通过资产的组合损失和组合收益的比值来控制贷款组合的违约风险。

单位收益的风险损失控制原理是在贷款组合优化中，便于对不同风险、且不同收益的贷款组合之间的比较。

4.2.3 多期贷款组合的 VaR 风险价值

风险价值(VaR)是指在给定的置信水平上(例如 95%)银行的资产或负债在一段给定的时间里可能发生的最大损失。目前对贷款组合的 VaR 的度量主要是 CreditMetrics 方法。这里引入风险价值解决了银行的风险承受能力的问题。

4.2.4 基于违约损失控制的多期资产组合动态优化原理

根据多期贷款组合的逆向递推原理，在考虑下一期资产优化配置的前提下，以本期组合风险和组合损失的控制为约束，以银行的资产组合收益最大为目标来优化资产配置。这就是基于违约损失控制的多期资产组合动态优化原理。

这种优化思路使得每一个资产组合均考虑后一期资产组合对当期的影响，使其反映多期资源配给约束与达到多期资源配给的整体投资效益最大化。银行组合贷款动态优化原理如图 4.2 所示。

基于违约损失控制的多期资产组合动态优化原理体现了三重约束：一是采用逆向递推的方式，本期的资产组合优化以下一期资产优化结果为前提。二是本期的资产组合优化以本期的风险价值 VaR 控制为前提。三是本期的资产组合优化以本期的风险损失 LPM_q 的控制为前提。

这里的组合风险用风险价值来刻划与控制，组合损失用下偏距来刻划与控制。

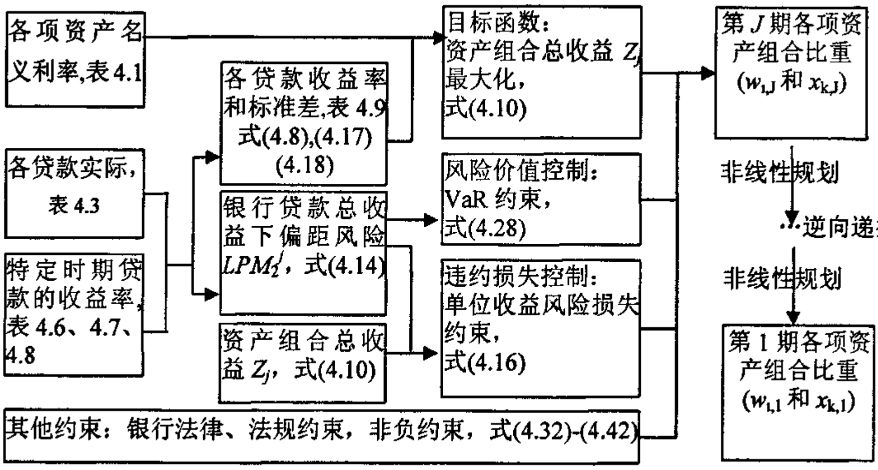

图4.2 银行资产动态优化原理

Fig. 4.2 Principle of dynamic portfolio optimal for bank assets

4.2.5 基于违约损失控制的多期资产组合动态优化原理的特色

(1)贷款组合的配置考虑了不同期间贷款损益的相互影响。根据多期贷款组合的逆向递推原理，在考虑下一期资产优化配置的前提下，以本期组合风险和组合损失的控制为约束，以银行的资产组合收益最大为目标来优化资产配置。每一期资产组合均考虑后一期资产组合对当期的影响。

(2)体现了下一期配置结果对本期资产配置的相互影响、本期资产配置的风险价值和本期资产配置风险损失的三重约束。一是采用逆向递推的方式，本期的资产组合优化以下一期资产优化结果为前提。二是本期的资产组合优化以本期的风险价值 VaR 控制为前提。三是本期的资产组合优化以本期的风险损失 LPM_q 的控制为前提。

(3)通过单位收益的风险损失来控制贷款组合的违约损失。利用下偏距代替传统的方差风险，真实地反映了银行对风险的承受能力，反映了银行对正负偏差不一致的真实心理。

4.3 基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型

4.3.1 模型所需参数

设某银行现有资金头寸为 V_0 元，该银行实际执行的资产利率表如表4.1[122]所示。

表 4.1 商业银行资产利率一览表

Tab. 4.1 Interest-rates of assets in commercial banks

决策变量(分配比重)	资产	利率 r_i(%)
w_1	现金	0.00
w_2	法定存款准备金(6%)	2.52
w_3	系统内准备金(7%)	2.52
w_4	备付金	2.52
w_5	系统内拆借(限额内)	3.00
w_6	系统内拆借(限额外)	3.30
	1—3 年期贷款	4.80
	4—5 年期贷款	6.00

同时，银行准备对 n 类企业进行贷款。这 n 类企业以往贷款的年收益率如表 4.2 所示。

表 4.2 n 类企业 T 年的贷款收益率

Tab. 4.2 The earning rates of n kind corporations for T years

年份	收益率			
	企业类别 1	企业类别 2	…	企业类别 n
1	r_{11}	r_{12}	…	r_{1n}
2	r_{21}	r_{22}	…	r_{2n}
…	…	…	…	…
T	r_{m1}	r_{m2}	…	r_{mn}

由于表 4.1 中的前六项资产的利率是固定的，没有波动性，不存在风险。因此，资产组合的风险仅存在于式(4.1)中的 n 类企业贷款当中。

4.3.2 目标函数的建立

4.3.2.1 企业的年末贷款收益率计算

设 M—贷款的总笔数；$R_{k,j}^{i}$—第 k 类企业第 j 期在一个特定的时期内(例如下文的实例中 5 年为一个时期的表 4.6、4.7、4.8 所示)的第 i 个贷款组合的收益率。则第 k 类企业第 j 期贷款平均收益率 $\overline{R}_{k,j}$ 为

$$\overline{R}_{k,j}=\sum_{i=1}^{M}R_{k,j}^{i}/M \tag{4.8}$$

4.3.2.2 资产组合目标函数的建立

设 J—末期，j—第 j 期，m—非风险资产的项数。n—风险资产的项数。

$w_{i,j}^{*}$—表 4.1 中的第 j 项非风险资产第 j 期的分配比重的变化量。$w_{i,j+1}$—表 4.1 中第 i 项非风险资产第 $j+1$ 期的分配比重。$x_{k,j}^{*}$—第 k 类企业第 j 期贷款分配比重的变化量。$x_{k,j+1}$—第 k 类企业第 $j+1$ 期贷款分配比重。$r_{i,j}$—表 4.1 中第 i 项非风险资产第 j 期对应的利率。$\overline{R}_{k,j}$—第 k 类企业第 j 期贷款的收益率期望值。

则目标函数加权收益率 Z_j 为最大化可表示为

$$Max\quad Z_j=\sum_{i=1}^{m}r_{i,j}w_{i,j}+\sum_{k=1}^{n}\overline{R}_{k,j}x_{k,j} \tag{4.9}$$

式(4.9)右边的第一项是无风险资产的加权收益率，第二项是风险资产的加权收益率。若将银行待分配资产总额乘以式(4.9)，实际上上式就变成了总收益最大化。

将式(4.3)、(4.4)代入式(4.9)得

$$Max\quad Z_j=\sum_{i=1}^{m}r_{i,j}(w_{i,j}^{*}+w_{i,j+1})+\sum_{k=1}^{n}\overline{R}_{k,j}(x_{k,j}^{*}+x_{k,j+1})\qquad (j=1,2\ldots J) \tag{4.10}$$

目标函数的意义是使银行无风险资产和风险资产的综合收益最大化。

在式(4.10)中体现了本期的目标函数建立在下一期的资产的分配比重的基础上，即引入了下一期的非风险资产的分配比重 $w_{i,j+1}$ 和下一期的企业贷款的分配比重 $x_{k,j+1}$ 到式(4.10)中，这在应用实例的 4.4.4.1 节式(4.65)中有具体体现。

4.3.3 单位收益风险损失 LPM_2^j/Z_j 约束

4.3.3.1 贷款总收益率的下偏距 LPM_2^j

设 R_j^i—在一个特定的时期内(例如下文的实例中 5 年为一个时期)，第 i 个贷款组合在第 j 年所有贷款的总收益率；$i=1$，2，…，N。

$R_{k,j}^i$—第 k 类企业第 j 期(在一个特定的时期内)第 i 个贷款组合的收益率。

$x_{k,j}$—第 j 期第 k 类企业贷款金额占所有资金头寸的比重。

则

$$R_j^i=\sum_{k=1}^{n}R_{k,j}^{i}x_{k,j} \tag{4.11}$$

设 LPM_2^j—第 j 年贷款总收益率的下偏矩估计值；N—贷款组合个数；h—为贷款总收益率的目标收益率；则有[121]：

$$LPM_2^j=\sum_{R_j^l<E(R_j^l)}\frac{1}{N-1}(h-R_j^l)^2 \tag{4.12}$$

式(4.12)中，“$h-R_j^l$”表示历史贷款总收益率 R_j^l 与目标收益率 h 的差，第 j 期的贷款总收益率的下偏矩估计值 LPM_2^j 的估计是满足 R_j^l<E(R_j^l)条件的加和：将所有满足贷款总收益率 R_j^l 少于收益率均值 $E(R_j^l)$的贷款组合取出，然后把这些组合的历史贷款总收益率 R_j^l 与目标收益率 h 相减，然后平方累加，最后除以历史数据个数 $N-1$。

由于式(12)在计算过程中，要判断每一个历史数据与均值的大小，计算较麻烦，对式(12)进行化简。其过程为

设中间变量 R^{l-}_j—为 R_j^l-h 的负部，也就是

$$R^{l-}_j=-\min(R_j^l-h,0) \tag{4.13}$$

将式(4.13)代入到式(4.12)得到[121]

$$LPM_2^j=\sum_{R_j^l<E(R_j^l)}\frac{1}{N-1}(h-R_j^l)^2$$

$$=\frac{1}{N-1}\sum_{R_j^l<E(R_j^l)}(h-R_j^l)^2=\frac{1}{N-1}\sum_{l=1}^{N}(R_j^{l-})^2 \tag{4.14}$$

式(4.14)表示贷款收益率的下偏矩 LPM_2^j 的估计为所有的贷款总收益率 R_j^l 与目标收益率 h 之差 R^{l-}_j 负部的平方之和，除以历史贷款总收益率的个数 N 减去 1。

式(4.14)便是第 j 期贷款总收益率的下偏矩，表示第 j 期贷款的违约损失。

采用式(4.14)作为第 j 期贷款违约损失的好处：

一是下偏矩反应的是组合贷款的损失，而不是象方差那样反应的是收益率正负两个方向上的波动。下偏矩体现了风险的本质属性，与投资者的真实心理感受一致。因为大多数投资者都是风险厌恶型的。

二是下偏矩度量贷款组合风险符合金融资产优化的实际情况。

4.3.3.2 单位收益风险损失 LPM_2^j/Z_j 约束的建立

设 Z_j—第 j 期银行资产组合收益；A—银行每一期单位收益所承担的风险损失(下偏距风险)上限。

依据每一期的单位收益风险损失控制原理，得第 j 期银行资产组合单位收益违约损失的下偏距控制约束为：

$$\frac{LPM_2^j}{Z_j} \leq A \tag{4.15}$$

将式(4.9)右边等式表示的资产总收益 Z_j 与式(4.14)的违约损失下偏距 LPM_2^j 代入到式(4.15)，得

$$LPM_2^j/Z_j=(\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(R_j^{i-})^2)/(\sum_{i=1}^{m}r_{i,j}(w_{i,j}^*+w_{i,j+1})+\sum_{k=1}^{n}\overline{R}_{k,j}(x_{k,j}^*+x_{k,j+1}))\leq A \tag{4.16}$$

式(4.16)就是银行单位收益的违约损失下偏距控制约束条件。

建立式(4.16)银行单位收益违约损失下偏距控制的好处一是在贷款组合优化中，便于对不同违约风险损失、且不同收益的贷款组合之间的比较。二是利用下偏矩反应组合贷款的违约损失，体现出了风险的本质属性。三是下偏矩度量贷款组合风险符合金融资产优化的实际情况。

4.3.4 风险价值 VaR 约束

4.3.4.1 约束条件所需参数

(1)企业贷款收益率方差的计算

运用式(4.8)得出的企业贷款收益率 $\overline{R}_{k,j}$，再结合 $R_{k,j}^i$ 和 M，求解企业贷款平均收益率的方差

$$D(\overline{R}_{k,j})=\sum_{i=1}^{M}(R_{k,j}^i-\overline{R}_{k,j})^2/M \tag{4.17}$$

(2)企业贷款收益率标准差的计算

将贷款平均收益率方差 $D(\overline{R}_{k,j})$开方求解贷款平均收益率标准差。

$$\sigma(\overline{R}_{k,j})=\sqrt{D(\overline{R}_{k,j})} \tag{4.18}$$

4.3.4.2 风险价值 VaR 约束的建立

设 x_k(k=1，2，…，n)为对第 k 类企业贷款金额占所有资金头寸的比重，则用于对企业贷款的金额 V 与银行现有资金头寸 V_0 元的关系为[122]

$$V=V_0(x_1+x_2+\ldots+x_n) \tag{4.19}$$

设 R_k(k=1，2，…，n)为各类贷款的年收益率，则第 1 年末贷款组合的市场价值 V 的期望值和方差分别为[122]

$$E(V)=V(1+\sum_{k=1}^{n}x_kR_k) \tag{4.20}$$

$$D(V)=V^2D(\sum_{k=1}^{n}x_kR_k)=V^2(X^T\sigma\rho\sigma X) \tag{4.21}$$

其中，X^T为贷款分配比重向量。

$$X^T=(x_1, x_2, \ldots, x_n) \tag{4.22}$$

σ 为各类贷款收益率的标准差的矩阵。其对角线元素为各类贷款收益率的标准差。

$$\sigma=\begin{bmatrix}\sigma_1 & 0 & \cdots & 0\\ 0 & \sigma_2 & \cdots & 0\\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_n\end{bmatrix} \tag{4.23}$$

ρ 为这 N 类企业贷款收益率的相关系数矩阵，通过各类企业历史数据(表 4.2)可以得到

$$\rho=\begin{bmatrix}\rho_{11} & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1n}\\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdots & \rho_{2n}\\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\ \rho_{N1} & \rho_{N2} & \cdots & \rho_{nn}\end{bmatrix} \tag{4.24}$$

其中，$\rho_{a,b}$代表第 a 类企业和第 b 类企业贷款收益率的相关系数，当 a=b 时，$\rho_{a,b}=1$。设第 a、b 类企业的贷款收益率分别为 r_a和 r_b(如表 4.2 所示)，则 $\rho_{a,b}$的计算方法为

$$\rho_{a,b}=\frac{\mathrm{Cov}(r_a,r_b)}{\sqrt{\mathrm{D}(r_a)}\sqrt{\mathrm{D}(r_b)}} \tag{4.25}$$

为了控制市场风险，我们规定在 95%的置信水平下贷款组合的损失(VaR)不得超过现金与备付金存款之和，即监管要求中的 $R+C$，由此得到下面的不等式约束

$P(V<(\mathrm{E}(V)-(R+C)))<1-0.95$，即

$$P(\frac{V-E(V)}{\sqrt{D(V)}}<-\frac{(R+C)}{\sqrt{D(V)}})<0.05 \tag{4.26}$$

根据中心极限定理，当贷款企业的数量 n 足够大时，$\frac{V-E(V)}{\sqrt{D(V)}}$ 近似地服从标准正态分布。标准正态分布在概率为 0.05 处的分位数为-1.65，则当有足够多的贷款企业时有[107]

$$-\frac{(R+C)}{\sqrt{D(V)}}\leq -1.65,$$

整理上式

$$D(V)\leq (R+C)^2/1.65^2 \tag{4.27}$$

注意到表 4.1 中的银行的现金 V_0w_1 与备付金存款 V_0w_4 之和用符号表示即为 $R+C=V_0(w_1+w_4)$，将其代入式(4.27)的右端，有

$$D(V_j)\leq [V_0(w_1+w_4)]^2/1.65^2$$

将式(4.3)带入到上式，得到

$$D(V_j)\leq [V_0(w_{1,j}^*+w_{1,j+1}+w_{4,j}^*+w_{4,j+1})]^2/1.65^2 \tag{4.28}$$

式(4.28)就是 VaR 约束条件。

用贷款组合的 VaR 控制多期贷款的组合风险，解决了银行的风险承受能力和资本监管的客观要求考虑不足的问题。

建立 VaR 约束的好处一是用贷款组合的 VaR 控制当期综合风险。二是由于每一期的风险控制都考虑了下一期的资产的分配比重，可以控制多期中的区间段的风险。

4.3.5 银行监管约束

4.3.5.1 银行监管约束的基本要求

由于银行风险危及银行的生存和社会的稳定，各国银行业法律和金融管理当局都对资产负债管理有着严格的规定。对于中国的银行业来说，这些监管要求主要有[122]：

$$DLR=L/D\leq 75\% \tag{4.29}$$

式(4.29)中 DLR 为存贷款比重，L 为各项贷款期末余额，D 为各项存款期末余额。**存贷款比重的作用是控制了银行的流动性风险。**

$$RR=(R+C)/L\geq 5\% \tag{4.30}$$

式(4.30)中 RR 为备付金比重，R 为在人民银行备付金存款期末余额，C 为库存现金期末余额。**备付金比重的作用是控制了银行的支付风险。**

$$LMR=M_1/D\leq 8\% \tag{4.31}$$

式(4.31)中 LMR 为拆出资金比重，M_1 为拆出资金期末余额。**拆出资金比重的作用是控制了银行的流动性风险。**

另外，还包括法定存款准备金比重、系统内存款准备金比重、库存现金比重等法规[107]和银行内部的约束条件。将这些约束条件引入到多期资产组合的研究中，控制了多期中的流动性风险，避免了资产配置的流动性危机，保证了银行资产配给的合法性与合规性。解决了现有研究中对银行的风险承受能力和资本监管的客观要求考虑不足的问题。

4.3.5.2 银行监管约束条件的建立

设 $w_{i,j}$—表 4.1 中第 i 项非风险资产第 j 期的分配比重。$x_{k,j}$—第 k 类企业第 j 期贷款分配比重。$r_{i,j}$—表 4.1 中第 i 项非风险资产第 j 期对应的利率。

由表 4.1 和式(4.29)得到存贷款比重

$$\sum_{k=1}^{n}(x_{k,j}^{*}+x_{k,j+1})\leq 75\% \tag{4.32}$$

由表 4.1 和式(4.30)得到备付金比重

$$w_{1,j}^{*}+w_{1,j+1}+w_{4,j}^{*}+w_{4,j+1}\geq 5\%\times\sum_{k=1}^{n}(x_{k,j}^{*}+x_{k,j+1}) \tag{4.33}$$

由表 4.1 和式(4.31)得到拆出资金比重

$$\sum_{i=5}^{6}(w_{i,j}^{*}+w_{i,j+1})\leq 8\%(1-\sum_{i=2}^{4}(w_{i,j}^{*}+w_{i,j+1})) \tag{4.34}$$

由表 4.1 和中央银行要求知法定存款准备金比重[122]

$$w_{2,j}^{*}+w_{2,j+1}=6\% \tag{4.35}$$

4.3.6 经营管理约束

由表 4.1 和和银行总行要求有系统内存款准备金比重(上交总行)

$$w_{3,j}^{*}+w_{3,j+1}=7\% \tag{4.36}$$

基于流动性的库存现金比重(银行测算)

$$w_{1,j}^{*}+w_{1,j+1}\geq 0.06\% \tag{4.37}$$

基于盈利性的库存现金比重(银行测算)

$$w_{1,j}^{*}+w_{1,j+1}\leq 1.5\% \tag{4.38}$$

设 b—各类企业贷款占总资产的比重上限(如下文的实例 4.4.1 基本数据所示)。为了控制贷款结构，建立贷款结构约束为

$$0\leq x_{k,j}\leq b \qquad (k=1,2,\ldots,n)$$

将式(4.4)代入上式，有

$$0\leq x_{k,j}^{*}+x_{k,j+1}\leq b \quad (k=1,2,\ldots,n) \tag{4.39}$$

比重加和等于 1

$$\sum_{i=1}^{m}(w_{i,j}^{*}+w_{i,j+1})+\sum_{k=1}^{n}(x_{k,j}^{*}+x_{k,j+1})=1 \tag{4.40}$$

非负约束

$0 \le w_{i,j+1} \le 1 \quad (1 \le i \le m)$ (4.41)

$0 \le x_{k,j+1} \le 1 \quad (1 \le k \le n)$ (4.42)

4.3.7 模型的归纳

目标函数式(4.10)、单位收益风险损失 LPM_2^j / Z_j 约束式(4.16)、风险价值 VaR 约束式(4.28)以及其他约束式(4.32)-(4.42)便构成了基于违约损失控制的商业银行多期资产组合动态优化模型。

式(4.10)、(4.16)、(4.28)、(4.32)—(4.40)中体现了如图 4.1 所示的基本思想：本期的约束条件建立在下一期的资产的分配比重 $w_{i,j+1}$ 和 $x_{k,j+1}$ 的基础上。

4.3.8 模型的特点

(1)运用逆向递推原理控制不同区段单位收益的下偏矩风险。反应了单个区段的单位收益风险对全部区段贷款总体效果的相互影响，在考虑所有区间贷款整体最优化的前提下，优化配给单个区间段的贷款配给。

(2)用单位收益的风险损失下偏矩来控制违约损失。这就改变了流行研究用方差表述风险而导致的组合风险刻划不准的现象。

(3)考虑下一期资产分配风险损失对本期的作用与影响。这使得综合风险损失得到全面的控制，避免了资产配置的流动性危机，保证了银行资产配给的合法性与合规性。

4.4 应用实例

4.4.1 基本数据

中国工商银行某分行在某日营业终了时根据其“资产负债日表”和“资金头寸日表”匡算出的资金头寸为 1×10^8 元人民币。该银行该段时期实际执行的资产利率表如表 4.1 所示。

此外，银行拟对 7 类企业进行贷款，其贷款期限如表 4.3 所示。同时，银行内部保留有这 7 类企业 15 年时间的贷款实际收益率数据，如表 4.4 所示。

由表 4.4 和式(4.25)可以求出这 7 类企业的贷款收益率之间的相关系数，如表 4.5 所示。

表 4.6-表 4.8 分别给出了这 7 类企业在过去 15 年间的贷款收益率。

表 4.6 为这 7 类企业在 1991－1995 年间的贷款收益率 $R^1_{k,j}$。

表 4.7 为这 7 类企业在 1996－2000 年间的贷款收益率 $R^2_{k,j}$。

表 4.8 为这 7 类企业在 2001－2005 年间的贷款收益率 $R^3_{k,j}$。

为了控制贷款结构，假定银行确定对表 4.3 的七类企业，各类企业贷款占总资产的比例上限分别为：0.25，0.2，0.15，0.10，0.10，0.10，0.10。

表 4.3 贷款企业一览表

Tab. 4.3 The schedule of loan corporations

企业类别	1	2	3	4	5	6	7
贷款期限 t(年)	3	2	5	4	4	4	2

表 4.4 实际年贷款收益率一览表 $r_i(\%)$

Tab. 4.4 The schedule of actual annual earning rates $r_i(\%)$

各类企业收益率	年份														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1(r_1)	6.0	5.7	5.8	5.4	5.6	5.9	5.3	5.1	4.5	4.8	4.4	5.1	5.5	5.3	5.4
2(r_2)	5.3	5.1	4.2	4.6	5.3	5.5	5.1	5.0	4.9	4.8	4.8	5.2	4.7	5.3	5.1
3(r_3)	5.2	5.2	4.6	4.4	4.8	4.9	5.1	5.2	4.4	4.6	4.9	5.1	5.2	4.0	4.7
4(r_4)	5.0	5.0	4.3	4.4	3.7	4.0	4.1	4.6	3.8	4.2	4.5	3.9	4.3	4.1	4.4
5(r_5)	4.4	4.6	4.2	3.7	4.0	4.5	3.9	4.4	3.8	4.0	4.3	3.8	4.1	4.5	4.2
6(r_6)	2.4	3.1	4.0	3.0	3.2	2.5	1.8	-2.6	-3.7	1.4	2.4	2.8	3.6	3.1	2.1
7(r_7)	1.8	2.4	-3.4	-3.9	1.1	0.7	3.0	1.5	-4.7	-3.5	2.5	-1.4	1.0	2.0	1.7

表 4.5 各类企业贷款收益率的相关系数 $\rho_{i,j}$

Tab. 4.5 The correlation of loan corporations ($\rho_{i,j}$)

	企业类别 1	企业类别 2	企业类别 3	企业类别 4	企业类别 5	企业类别 6	企业类别 7
企业类别 1	1	0.211 2	0.250 7	0.281 5	0.381 5	0.555 3	0.251 8
企业类别 2	0.211 2	1	0.181 4	-0.117 0	0.338 6	-0.054 4	0.553 7
企业类别 3	0.250 7	0.181 4	1	0.416 5	0.191 1	0.035 5	0.476 7
企业类别 4	0.281 5	-0.117 0	0.416 5	1	0.549 8	0.118 0	0.353 4
企业类别 5	0.381 5	0.338 6	0.191 1	0.549 8	1	0.150 9	0.614 9
企业类别 6	0.555 3	-0.054 4	0.035 5	0.118 0	0.150 9	1	0.241 4
企业类别 7	0.251 8	0.553 7	0.476 7	0.353 4	0.614 9	0.241 4	1

表 4.6 不同企业在 1991-1995 年间的贷款收益率 $R^1_{k,j}$(%)

Tab. 4.6 The loan' s yields for years 1991-1995 and different credit ratings for corporations $R^1_{k,j}$(%)

	1 年期 ($R^1_{k,1}$)	2 年期 ($R^1_{k,2}$)	3 年期 ($R^1_{k,3}$)	4 年期 ($R^1_{k,4}$)	5 年期 ($R^1_{k,5}$)
企业类别 1	3.60	5.90	6.10	9.36	11.36
企业类别 2	3.65	5.60	5.90	8.88	9.58
企业类别 3	3.67	4.13	5.10	8.21	8.40
企业类别 4	3.00	3.87	4.31	7.33	8.05
企业类别 5	2.03	2.69	3.10	3.82	5.43
企业类别 6	1.20	1.35	1.33	-1.51	-2.34
企业类别 7	-10.01	-15.64	-17.50	-23.85	-29.43

表 4.7 不同企业在 1996-2000 年间的贷款收益率 $R^2_{k,j}$(%)

Tab. 4.7 The loan' s yields for years 1996-2000 and different credit ratings for corporations $R^2_{k,j}$(%)

	1 年期 ($R^2_{k,1}$)	2 年期 ($R^2_{k,2}$)	3 年期 ($R^2_{k,3}$)	4 年期 ($R^2_{k,4}$)	5 年期 ($R^2_{k,5}$)
企业类别 1	3.78	6.2	5.90	8.88	12.11
企业类别 2	3.60	5.30	6.10	8.99	9.48
企业类别 3	3.65	4.31	5.23	8.35	8.65
企业类别 4	2.86	3.66	4.35	7.12	7.86
企业类别 5	2.10	2.56	2.96	3.75	5.35
企业类别 6	1.11	1.21	1.24	-1.63	-2.35
企业类别 7	-9.56	-15.11	-18.23	-25.65	-32.52

表 4.8 不同企业在 2001-2005 年间的贷款收益率 $R^3_{k,j}$(%)

Tab. 4.8 The loan' s yields for years 2001-2005 and different credit ratings for corporations $R^3_{k,j}$(%)

	1 年期 ($R^3_{k,1}$)	2 年期 ($R^3_{k,2}$)	3 年期 ($R^3_{k,3}$)	4 年期 ($R^3_{k,4}$)	5 年期 ($R^3_{k,5}$)
企业类别 1	3.59	6.00	6.15	9.53	10.96
企业类别 2	3.45	5.65	5.86	8.58	9.68
企业类别 3	3.23	3.69	5.50	7.99	8.35
企业类别 4	2.68	3.89	4.23	7.23	8.10
企业类别 5	1.89	2.43	2.86	3.56	4.36
企业类别 6	1.06	1.32	1.03	-1.75	-2.12
企业类别 7	-10.32	-15.83	-18.56	-24.85	-31.25

4.4.2 贷款收益率的计算

4.4.2.1 第1类企业第1年收益率的计算

设：第1类企业第1年贷款平均收益率为$\overline{R}_{k,j}$，由于有表4.6－4.8三个时段的数据，所以M=3。则式(4.8)变为

$$\overline{R}_{1,1}=\sum_{t=1}^{3}R_{1,1}^{t}/3 \tag{4.43}$$

将表4.6中的第1行第1列的数据、表4.7的第1行第1列的数据、表4.8的第1行第1列的数据代入式(4.43)，则求出第1类企业、第1年贷款收益率$\overline{R}_{1,1}$：

$$\overline{R}_{1,1}=\sum_{t=1}^{3}R_{1,1}^{t}/3=(3.60\%+3.78\%+3.59\%)/3=3.66\%$$

计算结果放在下文表4.9的第1行、第1列中。

4.4.2.2 第1类企业第1年收益率的方差

将计算得到的贷款平均收益率$\overline{R}_{1,1}=3.66\%$，和表4.6第1行第1列的数据、表4.7第1行第1列的数据、表4.8的第1行第1列的数据代入式(4.17)，有

$$D(\overline{R}_{1,1})=\sum_{t=1}^{3}(R_{1,1}^{t}-\overline{R}_{1,1})^{2}/3$$

$$=[(3.60\%-3.66\%)^2+(3.78\%-3.66\%)^2+(3.59\%-3.66\%)^2]/3=0.000\ 000\ 763\ 3$$

4.4.2.3 第1类企业第1年收益率的标准差

将贷款平均收益方差D($\overline{R}_{1,1}$)代入式(4.18)得到

$$\sigma(\overline{R}_{1,1})=\sqrt{D(\overline{R}_{1,1})}=\sqrt{0.0000007633}$$

$$=0.000\ 873\ 69$$

计算结果**σ(D($\overline{R}_{1,1}$))=0.000 873 69在下文表4.9中的第1行第2列中。**

4.4.2.4 第1类企业其他年收益率和标准差

第1类企业第2年、第3年的收益率和标准差的计算方法与第1类企业第1年的计算相同。

第1类企业第2年末的贷款收益率$\overline{R}_{1,2}$=6.03%在表4.9中的第1行第3列。标准差σ($\overline{R}_{1,2}$)=0.001 247 66在表4.9中的第1行第4列。

第1类企业第3年末的贷款收益率$\overline{R}_{1,3}$=6.05%在表4.9中的第1行第5列。标准差σ($\overline{R}_{1,3}$)=0.001 080 12在表4.9中的第1行第6列。

应该指出，由表 4.3 知第 1 类企业的贷款年限为 3，故第 1 类企业第 4 年、第 5 年的收益率和标准差为 0，如表 4.9 的第 1 行的第 7—10 列所示。

4.4.2.5 其他类企业收益率和标准差的计算

其他类企业的收益率和标准差的计算方法与第 1 类企业收益率和标准差的计算相同。计算结果见表 4.9 第 2—7 行所示。

表 4.9 各类企业各项贷款年收益率的期望值($\overline{R}_{k,j}$)一览表

Tab. 4.9 The earning rates of every kind corporations on every years $\overline{R}_{k,j}$

企业类别(k)	第 1 年		第 2 年		第 3 年		第 4 年		第 5 年	
	$\overline{R}_{k,1}$(%) (1)	标准差 σ (2)	$\overline{R}_{k,2}$(%) (3)	标准差 σ (4)	$\overline{R}_{k,3}$(%) (5)	标准差 σ (6)	$\overline{R}_{k,4}$(%) (7)	标准差 σ (8)	$\overline{R}_{k,5}$(%) (9)	标准差 σ (10)
1	3.66	0.00087369	6.03	0.00124766	6.05	0.00108012	0	0	0	0
2	3.57	0.00091287	5.52	0.00154596	0	0	0	0	0	0
3	3.52	0.00351426	4.04	0.00451110	5.28	0.00288617	8.18	0.00256710	8.47	0.00227376
4	2.85	0.00226936	3.81	0.00180278	4.30	0.00086603	7.23	0.00148661	0	0
5	2.01	0.00151327	2.56	0.00183848	2.97	0.00170587	3.71	0.00190263	0	0
6	1.12	0.00100499	1.29	0.00104403	1.20	0.00217715	-1.63	0.00169706	0	0
7	-9.96	0.00292100	-15 38	0.00343000	0	0	0	0	0	0

4.4.3 第 5 期资产组合优化配给

4.4.3.1 第 5 期资产组合目标函数

在本实例中，第 5 期就是末期，应该运用式(4.9)求解第 5 期资产组合的目标函数。此时非风险资产的种类 $m=6$，贷款种类 $n=7$，贷款的时段 $j=5$。

将表 4.1 第 1-6 行的非风险资产收益率 $r_{i,5}$ 与表 4.9 第 11 列 $\overline{R}_{k,5}$ 数据代入式(4.9)，则目标函数为

$$Max\ Z_5=\sum_{i=1}^{6} r_{i,5}w_{i,5}+\sum_{k=1}^{7}\overline{R}_{k,5}x_{k,5}$$

$$=(0\times w_{1,5}+2.52\%\times w_{2,5}+2.52\%\times w_{3,5}+2.52\%\times w_{4,5}+3\%\times w_{5,5}+3.3\%\times w_{6,5})+(0\times x_{1,5}+0\times x_{2,5}+8.47\%\times x_{3,5}+0\times x_{4,5}+0\times x_{5,5}+0\times x_{6,5}+0\times x_{7,5}) \tag{4.44}$$

4.4.3.2 第 5 期资产组合约束条件

(1)单位收益风险损失 LPM_2^5/Z_5 约束

①第 5 期银行总贷款收益率 R^i_5 与目标收益率 h 之差的负部 R^{i-}_5 的计算

a 第 5 期第 i 个贷款组合总收益率 R^i_5 的计算

将表 4.6 的第 5 列的数据 $R^1_{k,5}$ 代入到式(4.11)，得到第 5 期第 1 个贷款组合总收益率

$R^1{}_5$

$$R^1{}_5=\sum_{k=1}^{7}R^1_{k,5}x_{k,5}=11.36\%x_{1,5}+9.58\%x_{2,5}+8.40\%x_{3,5}+8.05\%x_{4,5}+5.43\%x_{5,5}+\text{-}2.34x_{6,5}+\text{-}29.43\%x_{7,5}$$

$=11.36\%\times0+9.58\%\times0+\mathbf{8.40\%}x_{3,5}+8.05\%\times0+5.43\%\times0+\text{-}2.34\times0+\text{-}29.43\%\times0$

$=8.40\%x_{3,5}$ (4.45)

由表 4.3 知第 5 期贷款的企业只有第 3 类企业，**故式(4.45)第 1 个贷款组合总收益率 $R^1{}_5$ 的计算结果中只有 $x_{3,5}$ 的系数不为 0。**

同理，把表 4.7 的数据代入式(4.11)，可以得第 2 个贷款组合总收益率 $R^2{}_5=8.65\%x_{3,5}$。

把表 4.8 的数据代入式(4.11)，可以得第 3 个贷款组合总收益率 $R^3{}_5=8.35\%x_{3,5}$。

上述计算结果，如表 4.10 所示。

表 4.10 第 5 期贷款组合总收益率 $R^i{}_5$ 的表达式

Tab. 4.10 The expression of total return ratios of fifth period loan portfolio ($R^i{}_5$)

贷款组合总收益率	$R^1{}_5$	$R^2{}_5$	$R^3{}_5$
表达式	$8.40\%x_{3,5}$	$8.65\%x_{3,5}$	$8.35\%x_{3,5}$

b 第 5 期银行贷款总收益率 $R^i{}_5$ 与目标收益 h 之差的负部的 $R^{i-}{}_5$ 计算

设银行贷款每年的目标收益率 h=6%。

将表 4.10 中的第 5 期的 3 个贷款组合的总收益 $R^i{}_5(i=1,2,3)$的表达式，分别与 h=6% 代入到式(4.13)，得到

$R^{1-}{}_5=-\min\{R^1{}_5-h,0\}=-\min\{8.40\%x_{3,5}-0.06,0\}$ (4.46)

$R^{2-}{}_5=-\min\{R^2{}_5-h,0\}=-\min\{8.65\%x_{3,5}-0.06,0\}$ (4.47)

$R^{3-}{}_5=-\min\{R^3{}_5-h,0\}=-\min\{8.35\%x_{3,5}-0.06,0\}$ (4.48)

②第 5 期银行贷款组合下偏距 $LPM^5{}_2$ 的计算

由表 4.6、4.7、4.8 知，银行贷款组合的个数 N=3，将 N=3 以及式(4.46)-(4.48)带入到式(4.14)，得到第 5 期银行贷款组合的下偏距 $LPM^5{}_2$ 为

$$LPM_2{}^5=\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(R_j^{i-})^2$$

$=1/2\{(-\min\{8.40\%x_{3,5}-0.06,0\})^2+(-\min\{8.65\%x_{3,5}-0.06,0\})^2+(-\min\{8.35\%x_{3,5}-0.06,0\})^2\}$

(4.49)

③单位收益风险损失 $LPM_2{}^5/Z_5$ 约束条件

设该银行单位收益所承担的风险损失(下偏距风险)上限 A=0.015。

将式(4.49)贷款组合的下偏距 LPM_2^5、式(4.44)的右边银行资产的总收益 Z_5 以及银行单位收益所承担的风险损失上限 A=0.015 代入到式(4.16)，得

$$(\frac{1}{N-1}\sum_{l=1}^{N}(R_j^{l-})^2)/(\sum_{i=1}^{m}r_{i,j}w_{i,j}+\sum_{k=1}^{n}\overline{R}_{k,j}x_{k,j})\le 0.015 \tag{4.50}$$

式(4.50)即是第 5 期单位收益风险损失约束条件。其中，分子部分为式(4.49)所示的表达式。分母部分为式(4.44)所示的表达式。

(2)VaR 约束条件

①D(V_5)所需的数据

企业第 5 年贷款的金额 V_5 由式(4.19)计算得出

$$V_5= V_0\times x_{3,5} \tag{4.51}$$

X_5^T 由式(4.22)的表达式所示。

σ_5 由表 4.9 中的第 3 行第 10 列得到，其为 $\sigma_5=0.002\ 273\ 76$。

由于只有一个企业贷款，ρ_5 由表 4.5 中的第 3 行第 3 列得到，其为 $\rho_5=1$。

②D(V_5)的计算

由 4.4.1 的基本数据知，资金头寸 $V_0=1*10^8$，将式(4.51)、X_5^T、σ_5、ρ_5、和 X_5 代入式(4.21)得到

$$D(V_5)= (V_5)^2(X_5^T\sigma_5\rho_5\sigma_5X_5)= (V_0\times x_{3,5})^2\times(x_{3,5}\times\sigma_5\times\rho_5\times\sigma_5\times x_{3,5})$$

$$=(1\times10^8\times x_{3,5})^2\times x_{3,5}\times0.002\ 273\ 76\times1\times0.002\ 273\ 76\times x_{3,5}=(22\ 7376\times x_{3,5}^2)^2 \tag{4.52}$$

③VaR 约束条件

将式(4.52)及待分配头寸 $V_0=1*10^8$ 代入式(4.28)：

$$(227\ 376\times x_{3,5}^2)^2\le[1\times10^8(w_{1,5}+w_{4,5})]^2/1.65^2 \tag{4.53}$$

(3) 银行监管约束

将 $w_{i,5}$ 和 $x_{k,5}$ 代入式(4.32)-(4.42)中的有关项，得第 5 期模型的其他约束条件式(4.54)—(4.64)。此时非风险资产的项数 $m=6$，贷款企业的个数 $n=7$，时期 $j=5$。

由式(4.32)得到存贷款比重约束为

$$\sum_{k=1}^{7}x_{k,5}\le 75\% \tag{4.54}$$

由式(4.33)得备付金比重约束

$$w_{1,5}+w_{4,5}\ge 5\%\sum_{k=1}^{7}x_{k,5} \tag{4.55}$$

由式(4.34)得拆出资金比重约束

$w_{5,5}+w_{6,5}\le 8\%\times(1-w_{2,5}-w_{3,5}-w_{4,5})$ (4.56)

由式(4.35)得法定存款准备金比重约束

$w_{2,5}=6\%$ (4.57)

(4) 经营管理约束

由式(4.36)得系统内存款准备金比重约束

$w_{3,5}=7\%$ (4.58)

由式(4.37)得基于流动性的库存现金比重约束

$w_{1,5}\ge 0.06\%$ (4.59)

由式(4.38)得基于赢利性的库存现金比重约束

$w_{1,5}\le 1.5\%$ (4.60)

由式(4.39)得贷款结构约束

$0\le x_{3,5}\le 0.15$ (4.61)

由式(4.40)得比重加和等于 1 约束

$$\sum_{i=1}^{6} w_{i,5}+\sum_{k=1}^{7} x_{k,5}=1 \qquad (4.62)$$

由式(4.41)、(4.42)得到非负约束

$0\le w_{i,5}\le 1 \quad (1\le i\le 6)$ (4.63)

$0\le x_{k,5}\le 1 \quad (1\le k\le 7)$ (4.64)

4.4.3.3 第 5 期资产组合的分配比重

根据第 5 期资产组合的目标函数式(4.44)和约束条件式(4.50)、(4.53)、式(4.54)-式(4.64)，利用 Matlab 6.5 软件求解该规划模型得到 $w_{i,5}$ 和 $x_{k,5}$。计算结果列入下文表 **4.12** 的第 **5** 列。

将 $w_{i,5}$ 和 $x_{k,5}$ 的结果代入式(4.44)，就得第 **5** 期资产组合收益率 Z_5=**0.034 212**，将 $w_{i,5}$ 和 $x_{k,5}$ 的结果代入式(4.50)，得单位收益率风险损失 LPM^5_2/Z_5=0.013 124。列入下文表 **4.12** 的第 **14**、**15** 行的第 **5** 列。

4.4.4 第 4 期资产组合优化配给

4.4.4.1 第 4 期资产组合目标函数

从第 4 年开始，本年的资产组合分配比重的求解将受到上一期资产组合分配比重的影响，运用式(4.10)求解第 4 期资产组合的目标函数。此时 m＝6，n＝7，j＝4。

将表 4.1 第 1-6 行的非风险资产的收益率 r_{i4}、表 4.9 第 7 列的贷款收益率 $\bar{R}_{k,4}$、表 4.12 第 5 列第 1－13 行的第 5 期资产分配比重 $w_{i,5}$ 和 $x_{k,5}$ 的数据代入式(4.10)，得

$$Max\ Z_4=\sum_{i=1}^{6}r_{i,4}(w_{i,4}^*+w_{i,5})+\sum_{k=1}^{7}\overline{R}_{k,4}(x_{k,4}^*+x_{k,5})$$

$$=[0\times(w_{1,4}^*+0.0006)+2.52\%\times(w_{2,4}^*+0.06)+2.52\%\times(w_{3,4}^*+0.07)+2.52\%$$

$$\times(w_{4,4}^*+0.7063)+3\%\times(w_{5,4}^*+0)+3.3\%\times(w_{6,4}^*+0.013\ 096)]$$

$$+[0\times(x_{1,4}^*+0)+0\times(x_{2,4}^*+0)+8.18\%\times(x_{3,4}^*+0.15)+7.23\%\times(x_{4,4}^*+0)+3.71\%$$

$$\times(x_{5,4}^*+0)+(-1.63\%)\%\times(x_{6,4}^*+0)+0\times(x_{7,4}^*+0)] \tag{4.65}$$

在式(4.65)中：

$w_{i,4}^*$—为待求的第 4 期非风险资产比重变化量。

$w_{i,5}$—表 4.12 中第 5 列第 1－6 行的第 5 期非风险资产比重。

$x_{k,4}^*$—为待求的第 4 期贷款比重变化量的决策变量。

$x_{k,5}$—表 4.12 中第 5 列第 7－13 行的第 5 期非风险资产比重。

逆向递推原理反映在式(4.65)中,就是第 4 期的资产分配的目标函数，反应了第 5 期的非风险资产比重 $w_{1,5}$ 和企业贷款的风险资产分配比重 $x_{k,5}$。

在式(4.65)中体现了图 4.1 所表现的本期的目标函数是建立在下一期的资产的分配比重的基础上的。由于第 5 年到期的贷款第 4 年不可能归还，故这种在分配本期资产时考虑下一期资产的分配情况，是必然的。

4.4.4.2 第 4 期资产组合约束条件

(1)单位收益风险损失 LPM_2^4/Z_4 约束

①第 4 期银行总贷款收益率与目标收益率之差负部 R^{i-}_4 的计算

a 第 4 期第 i 个贷款组合总收益率 R^i_4 的计算

将表 4.6 的第 4 列企业贷款收益率 $R^1_{k,4}$ 数据代入式(4.11)，得第 4 期第 1 个贷款组合总收益率 R^1_4 为

$$R^1_4=\sum_{k=1}^{7}R^1_{k,4}x_{k,4}=9.36\%x_{1,4}+8.88\%x_{2,4}+8.21\%x_{3,4}+7.33\%x_{4,4}+3.82\%x_{5,4}+(-1.51\%)x_{6,4}+(-23.85\%)x_{7,4}$$

$$=9.36\%\times0+8.88\%\times0+8.21\%x_{3,4}+7.33\%x_{4,4}+3.82\%x_{5,4}+(-1.51\%)x_{6,4}+(-23.85\%)\times0$$

$$=8.21\%x_{3,4}+7.33\%x_{4,4}+3.82\%x_{5,4}+(-1.51\%)x_{6,4} \tag{4.66}$$

由表 4.3 知只有第 3、4、5、6 类企业的贷款期限大于等于 4 年，故式(4.66)第 4 期第 1 个贷款组合总收益率 R^1_4 计算结果中只有 $x_{3,4}$、$x_{4,4}$、$x_{5,4}$、$x_{6,4}$ 的系数不为 0。

同理，把表 4.7 的数据代入式(4.11)，可以得第 2 个贷款组合总收益率

$R^2_4=8.35\%x_{3,4}+7.12\%x_{4,4}+3.75\%x_{5,4}+(-1.63\%)x_{6,4}$

把表 4.8 的数据代入式(4.11)，可以得第 3 个贷款组合总收益率

$R^3{}_4$=7.99%$\alpha x_{3,4}$+7.23% $x_{4,4}$+3.56%$\alpha x_{5,4}$+(-1.75%)$x_{6,4}$

上述计算结果，如表 4.11 所示。

表 4.11 第 4 期贷款组合总收益率 $R^i{}_4$ 的表达式

Tab. 4.11 The expression of total return ratios of fourth period loan portfolio ($R^i{}_4$)

	表达式
第 4 期第 1 个贷款组合总收益 $R^1{}_4$	8.21%$\alpha x_{3,4}$+7.33%$\alpha x_{4,4}$+3.82%$\alpha x_{5,4}$+(-1.51%)$x_{6,4}$
第 4 期第 2 个贷款组合总收益 $R^2{}_4$	8.35%$\alpha x_{3,4}$+7.12%$\alpha x_{4,4}$+3.75%$\alpha x_{5,4}$+(-1.63%)$x_{6,4}$
第 4 期第 3 个贷款组合总收益 $R^3{}_4$	7.99%$\alpha x_{3,4}$+7.23% $x_{4,4}$+3.56%$\alpha x_{5,4}$+(-1.75%)$x_{6,4}$

b 第 4 期银行贷款总收益 $R^i{}_4$ 与目标收益率 h 之差的负部的 $R^{i-}{}_4$ 计算

将表 4.11 的第 4 期 3 个贷款组合总收益率 $R^i{}_4$ 的表达式分别与 h=6%代入到式(4.13)，得到

$$R^{1-}{}_4=\min\{R^1{}_4-h,0\}=\min\{8.21\%\alpha x_{3,4}+7.33\%\alpha x_{4,4}+3.82\%\alpha x_{5,4}+-1.51\%\alpha x_{6,4}-0.06,0\} \tag{4.67}$$

$$R^{2-}{}_4=\min\{R^2{}_4-h,0\}=\min\{8.35\%\alpha x_{3,4}+7.12\%\alpha x_{4,4}+3.75\%\alpha x_{5,4}+-1.63\%\alpha x_{6,4}-0.06,0\} \tag{4.68}$$

$$R^{3-}{}_4=\min\{R^3{}_4-h,0\}=\min\{7.99\%\alpha x_{3,4}+7.23\%\alpha x_{4,4}+3.56\%\alpha x_{5,4}+-1.75\%\alpha x_{6,4}-0.06,0\} \tag{4.69}$$

②第 4 期银行贷款组合下偏距 $LPM^4{}_2$ 的计算

由表 4.6、4.7、4.8 知，银行贷款的样本数据个数 N=3，将 N=3 以及式(4.67)-(4.69)带入到式(4.14)，得到第 4 期银行贷款组合下偏距风险 $LPM^4{}_2$ 为

$$LPM_2^4=\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(R_j^{i-})^2=1/2\{[\min(8.21\%\alpha x_{3,4}+7.33\%\alpha x_{4,4}+3.82\%\alpha x_{5,4}+-1.51\%\alpha x_{6,4}-0.06,0)]^2$$

$$+[\min(8.35\%\alpha x_{3,4}+7.12\%\alpha x_{4,4}+3.75\%\alpha x_{5,4}+-1.63\%\alpha x_{6,4}-0.06,0)]^2$$

$$+[\min(7.99\%\alpha x_{3,4}+7.23\%\alpha x_{4,4}+3.56\%\alpha x_{5,4}+-1.75\%\alpha x_{6,4}-0.06,0)]^2\}$$

将式(4.4)代入上式得到，

$$LPM_2^4=1/2\{[\min(8.21\%\alpha x_{3,4}+7.33\%\alpha x_{4,4}+3.82\%\alpha x_{5,4}+-1.51\%\alpha x_{6,4}-0.06,0)]^2+[\min(8.35\%\alpha x_{3,4}+7.12\%\alpha x_{4,4}$$
$$+3.75\%\alpha x_{5,4}+-1.63\%\alpha x_{6,4}-0.06,0)]^2+[\min(7.99\%\alpha x_{3,4}+7.23\%\alpha x_{4,4}+3.56\%\alpha x_{5,4}+-1.75\%\alpha x_{6,4}-0.06,0)]^2\}$$

$$=1/2\{[\min(8.21\%(x_{3,4}^*+x_{3,5})+7.33\%(x_{4,4}^*+x_{4,5})+3.82\%(x_{5,4}^*+x_{5,5})-1.51\%(x_{6,4}^*+x_{6,5})-0.06,0)]^2$$

$$+[\min(8.35\%(x_{3,4}^*+x_{3,5})+7.12\%(x_{4,4}^*+x_{4,5})+3.75\%(x_{5,4}^*+x_{5,5})-1.63\%(x_{6,4}^*+x_{6,5})-0.06,0)]^2$$

$$+[\min(7.99\%(x_{3,4}^*+x_{3,5})+7.23\%(x_{4,4}^*+x_{4,5})+3.56\%(x_{5,4}^*+x_{5,5})-1.75\%(x_{6,4}^*+x_{6,5})-0.06,0)]^2\} \tag{4.70}$$

③单位收益下偏距风险约束条件

将式(4.70)第 4 期银行贷款组合下偏距风险 $LPM^4{}_2$ 代入式(4.16)最左端的分子，式

(4.65)的第 4 期贷款组合总收益 Z_4 代入式(4.16)最左端的分母，该银行单位收益所承担的风险损失(下偏距风险)上限 A=0.015 代入到式(4.16)的最右端，得

$$LPM_2^4 / Z_4 \le 0.015 \tag{4.71}$$

式(4.71)就是第 4 期单位收益风险损失的约束条件。其中，分子部分为式(4.70)所示的表达式。分母部分为式(4.65)最右端所示的表达式。

(2) VaR 约束条件

①D(V_4)所需的数据

V_4 由式(4.19)计算得到

$$V_4 = V_0 \times (x_{3,4} + x_{4,4} + x_{5,4} + x_{6,4}) \tag{4.72}$$

X_4^T 由式(4.22)得到

$$X_4^T = (x_{3,4}\ x_{4,4}\ x_{5,4}\ x_{6,4}) \tag{4.73}$$

σ_4 是由表 4.9 中的第 3 行到第 6 行和第 8 列交叉点上的数据代入式(4.23)矩阵的对角线中，得到 4 行 4 列矩阵为

$$\sigma_4 = \begin{bmatrix} 0.0025671 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.00148661 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.00190263 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.00169706 \end{bmatrix} \tag{4.74}$$

ρ_4 是由表 4.5 中的第 3－6 行和第 3－6 列交叉点上的数据得到 4 行 4 列矩阵：

$$\rho_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0.4165 & 0.1911 & 0.0355 \\ 0.4165 & 1 & 0.5498 & 0.1180 \\ 0.1911 & 0.5498 & 1 & 0.1509 \\ 0.0355 & 0.1180 & 0.1509 & 1 \end{bmatrix} \tag{4.75}$$

②D(V_4)的计算

将式(4.72)—(4.75)代入式(4.21)并整理得到

$$D(V_4) = (V_4)^2 (X_4^T \sigma_4 \rho_4 \sigma_4 X_4)$$

$$= [(x_{3,4} + x_{4,4} + x_{5,4} + x_{6,4}) \times (25\,671 \times x_{3,4}^2 + 148\,661 \times x_{4,4}^2 + 190\,263 \times x_{5,4}^2 + 169\,706 \times x_{6,4}^2)]^2$$

将式(4.4)代入上式得到

$$D(V_4) = [(x_{3,4} + x_{4,4} + x_{5,4} + x_{6,4}) \times (25\ 671 \times x_{3,4}^2 + 148\ 661 \times x_{4,4}^2 + 190\ 263 \times x_{5,4}^2 + 169\ 706 \times x_{6,4}^2)]^2$$

$$= [(x_{3,4}^* + x_{3,5} + x_{4,4}^* + x_{4,5} + x_{5,4}^* + x_{5,5} + x_{6,4}^* + x_{6,5}) \times (25\ 671 \times (x_{3,4}^* + x_{3,5})^2 + 148\ 661 \times (x_{4,4}^* + x_{4,5})^2 + 190\ 263 \times (x_{5,4}^* + x_{5,5})^2 + 169\ 706 \times (x_{6,4}^* + x_{6,5})^2)]^2 \tag{4.76}$$

③VaR 约束条件

本例中，贷款年限j=4，则式(4.28)变成

$$D(V_4)\leq[V_0(w_{1,4}^*+w_{1,5}+w_{4,4}^*+w_{4,5})]^2/1.65^2 \tag{4.77}$$

将式(4.76)代入式(4.77)的左端，将 $V_0=1\times10^8$ 代入式(4.77)的右端，得第 4 期模型的 VaR 约束条件为

$$[(x_{3,4}^*+x_{3,5}+x_{4,4}^*+x_{4,5}+x_{5,4}^*+x_{5,5}+x_{6,4}^*+x_{6,5})\times(25\ 671\times(x_{3,4}^*+x_{3,5})^2+148\ 661\times(x_{4,4}^*+x_{4,5})^2+190\ 263\times(x_{5,4}^*+x_{5,5})^2+169\ 706\times(x_{6,4}^*+x_{6,5})^2)]^2\leq[1\times10^8\ (w_{1,4}^*+w_{1,5}+w_{4,4}^*+w_{4,5})]^2/1.65^2 \tag{4.78}$$

(3) 银行监管约束

由式(4.32)得到存贷款比重约束为

$$\sum_{k=1}^{7}(x_{k,4}^*+x_{k,5})\leq75\% \tag{4.79}$$

由式(4.33)得备付金比重约束

$$w_{1,4}^*+w_{1,5}+w_{4,4}^*+w_{4,5}\geq5\%\sum_{k=1}^{7}(x_{k,4}^*+x_{k,5}) \tag{4.80}$$

由式(4.34)得拆出资金比重约束

$$w_{5,4}^*+w_{5,5}+w_{6,4}^*+w_{6,5}\leq8\%(1-w_{2,4}^*-w_{2,5}-w_{3,4}^*-w_{3,5}-w_{4,4}^*-w_{4,5}) \tag{4.81}$$

由式(4.35)得法定存款准备金比重约束

$$w_{2,4}^*+w_{2,5}=6\% \tag{4.82}$$

(4) 经营管理约束

由式(4.36)得系统内存款准备金比重约束

$$w_{3,4}^*+w_{3,5}=7\% \tag{4.83}$$

由式(4.37)得基于流动性的库存现金比重约束

$$w_{1,4}^*+w_{1,5}\geq0.06\% \tag{4.84}$$

由式(4.38)得基于赢利性的库存现金比重约束

$$w_{1,4}^*+w_{1,5}\leq1.5\% \tag{4.85}$$

将 4.4.1 节基本数据的第 3、4、5、6 类企业贷款占总资产的比例上限 0.15、0.10、0.10、0.10 分别代入式(4.39)，得贷款结构约束式(4.86)-(4.89)

$$0\leq x_{3,4}^*+x_{3,5}\leq0.15 \tag{4.86}$$

$$0 \le x^*_{4,4} + x_{4,5} \le 0.10 \tag{4.87}$$

$$0 \le x^*_{5,4} + x_{5,5} \le 0.10 \tag{4.88}$$

$$0 \le x^*_{6,4} + x_{6,5} \le 0.10 \tag{4.89}$$

由式(4.40)得比重加和等于 1 约束

$$\sum_{i=1}^{6}(w^*_{i,4} + w_{i,5}) + \sum_{k=1}^{7}(x^*_{k,4} + x_{k,5}) = 1 \tag{4.90}$$

由式(4.41)、(4.42)得到非负约束

$$0 \le w_{i,5} + w^*_{i,4} \le 1 \quad (1 \le i \le 6) \tag{4.91}$$

$$0 \le x_{k,5} + x^*_{k,4} \le 1 \quad (1 \le k \le 7) \tag{4.92}$$

在式(4.79)-(4.92)的非风险分配比重 $w_{i,5}(i=1,2,\ldots,6)$ 和风险资产分配比重 $x_{k,5}(k=1,2,\ldots,7)$ 中体现了图 4.1 所表现的本期的约束条件是建立在下一期的资产的分配比重基础上。

4.4.4.3 第 4 期资产组合的分配比重

(1) 第 4 期资产组合的分配比重的变化量

根据第 4 期资产组合的目标函数式(4.65)和约束条件式(4.71)、式(4.78)、式(4.79)-(4.92)，利用 Matlab6.5 求解该非线性规划模型，得到非风险资产分配比重的变化量 $w^*_{i,4}(i=1,2,\ldots,6)$ 和贷款分配比重的变化量 $x^*_{k,4}(k=1,2,\ldots,7)$，如表 4.13 所示。

表 4.13 为第 4 期资产组合分配比重的变化量 $w^*_{i,4}$，计算结果中的负数表示在第 5 期分配 $w_{i,5}$ 基础上减少 $|w^*_{i,4}|$ 比重。$w^*_{i,4}$ 加上第 5 期的分配比重 $w_{i,5}$ 第 4 期的分配比重 $w_{1,4}$(表 4.12 的第 4 列)仍满足大于 0 的非负要求。

将表 4.13 的资产分配计算结果代入到式(4.65)右端得第 4 期资产组合收益率 Z_j= 0.43089。将表 4.13 的计算结果代入到式(4.71)得第 4 期单位收益率的风险损失 LPM_2^j/Z_j =0.0016075。计算结果列于表 4.12 的第 4 列的第 14、15 行。

(2) 第 4 期资产组合的分配比重的求解

①求解非风险资产分配比重 $w_{1,4}$

将表 4.12 中第 1 行第 5 列的非风险资产分配比重 $w_{1,5}$ 和表 4.13 中第 1 行第 2 列的非风险资产分配比重的变化量 $w^*_{1,4}$ 代入式(4.3),有

$$w_{1,4} = w_{1,5} + w^*_{1,4} = 0.000\,6 + 0 = 0.000\,6$$

计算结果 $w_{1,4}$ 放在表 4.12 的第 1 行第 4 列中.

其他项非风险资产分配比重依此类推，其结果亦如表4.12第1行第4列的有关数据所示。

表4.12 资产组合分配比重和年贷款收益率(w_i和x_k)

Tab. 4.12 The portfolio quotient and annual earning rates(w_i和x_k)

序号		第1年	第2年	第3年	第4年	第5年
1	w_1	0.000 6	0.000 6	0.000 6	0.0006	0.0006
2	w_2	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
3	w_3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
4	w_4	0.10848	0.05413	0.21717	0.48891	0.7063
5	w_5	0	0	0	0	0
6	w_6	0.060922	0.06527	0.052226	0.030487	0.013096
7	x_1	0.25	0.25	0.25	0	0
8	x_2	0.20	0.20	0	0	0
9	x_3	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
10	x_4	0.10	0.10	0.10	0.10	0
11	x_5	0	0.05	0.10	0.10	0
12	x_6	0	0	0	0	0
13	x_7	0	0	0	0	0
14	资产组合收益率 Z_j	0.03244	0.044059	0.040787	0.043089	0.034212
15	单位收益率的风险损失 LPM_2^j/Z_j	0.0012742	0	1.11e-007	0.0016075	0.013124

②求解贷款分配比重 $\mathbf{x_{k,4}}$

将表4.12中第9行第5列的贷款分配比重的$x_{3,4}$=0.15和表4.13中的第3行第4列的贷款分配比重的变化量$x_{3,4}^*$=0代入式(4.4)，有

$x_{3,4}=x_{3,5}+x_{3,4}^*$=0.15+0=0.15

计算结果$x_{3,4}$放在表**4.12**的第**9**行第**4**列中。同理计算出其他贷款分配比重如表4.12第4列的有关数据所示。

在求解资产组合分配比重时考虑本期的资产组合的求解将会受到其后一期的资产组合的影响，解决了资产组合收益率只是在单期里求解而忽略了各期之间的联系与影响的问题，使求解出来的资产分配比重更好地反映真实情况。

表.4.13 第 4 期资产组合分配比重的变化量

Tab. 4.13 The variables of portfolio quotient in 4th period

序号	非风险资产分配比重变化量 $w_{i,4}^{*}$		风险资产分配比重变化量 $x_{k,4}^{*}$	
1	$w_{1,4}^{*}$	0	$x_{1,4}^{*}$	0
2	$w_{2,4}^{*}$	0	$x_{2,4}^{*}$	0
3	$w_{3,4}^{*}$	0	$x_{3,4}^{*}$	0
4	$w_{4,4}^{*}$	-0.21739	$x_{4,4}^{*}$	0.10
5	$w_{5,4}^{*}$	0	$x_{5,4}^{*}$	0.10
6	$w_{6,4}^{*}$	0.017391	$x_{6,4}^{*}$	0
7	—	—	$x_{7,4}^{*}$	0

4.4.5 其他期资产组合的分配比重

其他年份贷款组合的分配比重、资产组合收益率 Z_j、单位收益率的风险损失 LPM_2^j/Z_j 根据 4.4.4.3 中的方法进行计算，结果如表 4.12 所示。

4.5 本章小结

以银行各项资产组合收益最大化为目标函数，以资产组合的单位收益所承担的风险损失和风险价值为约束，运用逆向递推原理和非线性规划方法，建立了基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型。运用逆向递推原理在考虑下一区段优化配置结果的前提下，控制本区段单位收益所承担的下偏矩风险。反应了不同区段的单位收益所承担的风险对贷款总体效果的相互影响。模型的主要特色为：

(1)建立了基于违约损失控制的商业银行多期资产组合动态优化模型。运用逆向递推原理在考虑下一区段优化配置结果的前提下，控制本区段单位收益所承担的下偏矩风险。反应了不同区段的单位收益所承担的风险对贷款总体效果的相互影响，在考虑单个区间贷款最优的过程中，优化配给所有区间段的贷款。

(2)通过单位收益的风险损失下偏矩来控制违约损失。真实地反应了银行的风险损失。

(3)利用下偏距代替传统的方差表示资产组合的风险。改变了流行研究用方差表述风险而导致的组合风险刻划不准的现象。

5 兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型

5.1 问题的提出

资产负债管理(Asset-Liability Management, ALM)是一种总体风险控制与资源配给方法，是把资产与负债组合视为有机整体，协调资金来源与运用的内在关系，协调流动性、安全性和赢利性，在可接受的风险下实现资产组合的最大赢利[108]，达到使资产的收入现金流时间和数额与负债的支出现金流的时间和数额相匹配[93]。同时，在资产负债管理方面，以资产和负债的价值差的利率敏感性最小来进行资产选择，这一做法称为组合免疫[93]。

银行管理的核心是风险管理，银行风险管理最重要的工具之一就是资产负债管理。银行的资产负债组合产生流动性风险和利率风险，人们通过资产负债管理技术来控制这两种风险。现在以资产负债管理控制银行的综合风险已成为有关各方关注的热点(Hammes 等，2001)[124]。

资产负债管理的目标一是净利息收入，二是净利息收入的波动最小化或银行股东权益的市场价值(银行净值)波动最小化[85]。

根据控制或管理的侧重点不同，现有的资产负债管理技术大致可分为三大类：

一类是基于流动性风险控制的资产负债管理方法，近年来代表性的研究是 Amy V. Puelz 的资产负债随机组合模型[82]和 Karl Frauendorfer 的多阶段随机规划模型[83]。这种方法在满足对未来负债提供足够现金流的前提下，实现所需现金流成本最小的目标。这类模型的特点是立足于银行支付能力的管理，但未考虑资产与负债利率的协调与匹配。

第二类是基于违约风险控制的资产负债管理方法，代表性的研究是 E. I. Altman 的商业贷款组合分析模型[11,77]。这类模型以夏普指数(Sharpe Ratio)为基础，求解单位风险收益最大化。但由于模型的约束条件是组合贷款收益大于或等于目标收益，当目标收益定得较高时，银行则会面临着较大的风险。当然，这类模型也未考虑利率风险。

第三类是基于利率风险控制的资产负债管理方法。从西方商业银行的实践看，这类方法侧重于利率、资产负债数量、利率敏感性资产与利率敏感性负债的组合分析[82-84]。这类方法又分为两种：

一种是资金缺口管理模型/会计模型(Accounting Model)[85-87]。这种模型把利率敏感性资产减去利率敏感性负债做为资金缺口(Funding GAP)，通过资金缺口和利率变动来确定净利息收入的变动。这种模型的最大优点是简单明了，计算计划期内的资金缺口也很

容易。但缺口管理模型没有考虑利率变化对所有者权益的影响——而这正是银行股东最关注的问题。

另一种是持续期缺口管理模型/经济模型(Economic Model)[85,86,93-96]。持续期(Duration)是用时间进行加权的现金流量的现值与未加权的现金流量现值之比，用它来衡量一系列固定现金流的平均期限。这种方法通过资产与负债的持续期缺口和利率的变化，来判断银行净值(所有者权益的市场价值)的变化。它的核心在于银行资产负债价值的敏感性分析。这种方法的优点一是只需考虑资产和负值的总体平衡，而不必设法去逐笔平衡每一笔资产和负债。二是考虑了货币的时间价值，是一种对利率的动态分析方法。这种方法的不足一是其虽然可用于分析既定结构的资产负债的利率风险，但未能对资产负债结构进行事先的整体优化。二是衡量银行净值的变化需要预测利率的变动，这在实践中往往是一个棘手的问题。三是对流动性风险的控制缺乏考虑。有鉴于此，这种模型在实际中的应用尚不如会计模型广泛[85]。

现有研究中存在的主要问题一是未考虑资产与负债利率的协调与匹配的问题。二是关于利率风险对银行损失的影响只是事后测算，均未能对资产负债的利率结构进行事先的整体优化。

综合考虑上述因素，通过法律约束、法规约束和经营管理约束来控制流动性风险和保障银行支付能力，通过持续期缺口控制利率风险和保护银行股东权益，建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型，对资产负债结构进行事先的整体优化，解决了在资产负债优化中利率结构的协调与匹配的问题。

5.2 研究基础

5.2.1 利率敏感型缺口管理

近年来银行使用最广泛的规避利率风险的策略常被称为利率敏感型缺口管理。

如果银行面临高利率风险时，银行管理者便会在利率变化时调整利率敏感型资产量，尽量使之与同期也可依市场状况调整利率的存款和其他负债相匹配。

银行只要确保利率敏感型资产等于利率敏感型负债，这时，盈利资产收入会与负债的利息成本同向同比例变动，这样就可以确保无论利率怎么变化，银行可进行避险，以防范利率变动带来的损失。

如果利率敏感型资产与利率敏感型负债之间存在一个缺口，用公式表示为：

$$GAP=A_t-L_t \tag{5.1}$$

GAP—利率敏感型缺口；A_t—利率敏感型资产；L_t—利率敏感型负债。

(1)正缺口

如果每个时间间隔内(天、周、月等)利率敏感型资产额超过需重新定价的利率敏感型负债额，就称银行存在正缺口，是资产敏感型。即：

$$GAP=A_t-L_t>0 \tag{5.2}$$

例如，一家银行拥有利率敏感型资产5亿元，利率敏感型负债3亿元，其正缺口是2亿元，属资产敏感型。如果利率上升，该银行的净利差会增加，因为银行资产利息收入比借入资金成本增加更多。其他条件不变时，该银行的净利息收入也增加。另一方面，如果利率下降，银行仍属于资产敏感型，那么该银行的净利差会因资产利息收入下降比负债利息支出下降快而减少。于是拥有正缺口的银行便会因利率下降而蒙受净利息收入损失。

(2)负缺口

相反，银行的利率敏感型负债大于利率敏感型资产，该银行就拥有负缺口，被称为负债敏感型。即：

$$GAP=A_t-L_t<0 \tag{5.3}$$

例如一家银行拥有利率敏感型资产2.5亿元，利率敏感型负债4亿元，其负缺口是1.5亿元，属负债敏感型。利率上升会减少该银行的净利差，因为利率敏感型负债成本的增加超过了利率敏感型资产利息收入的增加。利率下降则会带来较大利差，还可能获得更多收入，因为借款成本比利息收入下降的多。

(3)零缺口

只有当利率敏感型资产与利率敏感型负债相等时，银行才能相对避开利率风险。在这种情况下，资产利息收入与资金成本会以相同比率变化。银行的缺口为零，且净利差不受利率变化影响。

但实际上，零缺口不能消除所有的利率风险，因为在实践中，银行资产利率与负债利率并不是完全同步变化的。例如，贷款利率往往滞后于货币市场借款利率。所以经济扩张时银行利息收入往往比支出增长慢，而经济萎缩时银行利息支出往往又比收入下降快。

5.2.2 持续期缺口模型

5.2.2.1 持续期的含义

持续期是一种对到期日进行价值与时间加权的度量方法，考虑了所有盈利资产现金流入和所有与负债相关现金流出的时间安排。它度量了可能的未来现金支付流的平均到期日(如银行预期从其贷款与证券获取的支付流或银行必须向其储户支付的利息支付流)。实际上，持续期度量了弥补投资所用资金所需的平均时间。

计算单一金融工具(如贷款、证券、存款或非存款借款)持续期D的标准公式是：

$$D=\frac{\sum_{t=1}^{n}\frac{F_t\times t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n}\frac{F_t}{(1+r)^t}} \tag{5.4}$$

其中：D —以年或更小单位表示的金融工具的持续期；t —该金融工具每期现金流(如利息或股息收入)发生的时期；F_t—每个时期 t 的每笔预期现金流数额；r —该金融工具的当前到期收益率。

上式的分母与该工具的当前市场价值(价格)是等价的，因此持续期公式，即式(5.4)可简化成

$$D=\frac{\sum_{t=1}^{n}\frac{F_t\times t}{(1+r)^t}}{p_0} \tag{5.5}$$

P_0—金融工具的当前市场价值(价格)。

例如，假定一家银行的贷款发放期是 5 年。贷款的票面价值是 1000 元，支付给银行的年利息是 10%(即每年 100 元)。由于该贷款的当前到期收益率为 10%，所以其当前市场价值(价格)是 1000 元。这笔贷款的持续期计算为：

$$D=\frac{\sum_{t=1}^{5}100元\times\frac{t}{(1+0.10)^t}+1000元\times\frac{5}{(1+0.10)5}}{1000元}$$

$$=\frac{4169.87元}{1000元}=4.17\text{年}$$

5.2.2.2 银行净值变化

所有银行的净值均等于其资产价值减去其负债价值：

$V=A-L$

银行的资产与负债价值会随利率的变化而变化，结果引起净值(股东在银行的投资)的变化：

$$\Delta V=\Delta A-\Delta L \tag{5.6}$$

市场利率上升会导致银行固定利率资产与负债的市场价值下跌；银行资产与负债的到期日越长，市场利率上升时它们的市场价值就越容易下跌。

因此，利率变化时银行净值的变化会依据其资产与负债的相应到期日而有不同。持续期是度量到期日的方法，所以资产持续期较负债持续期长的银行在利率下降时净值遭受的损失大于资产持续期相对较短的银行或负债持续期与资产持续期相匹配的银行。通

过平衡资产与负债的持续期，银行可以使资产预期现金流入的平均到期日与负债预期现金流出的平均到期日保持平衡。这样，持续期分析便可用于保持银行净值市场价值的稳定，或者说对其进行保值。

5.2.2.3 持续期缺口

设 *DGAP*——持续期缺口；*A*——资产的市场价值；*L*——负债的市场价值。对于想充分规避利率波动的银行，应该是资产与负债的持续期缺口尽可能接近零。

$$DGAP=D_A-(L/A)\times D_L \tag{5.7}$$

由于较长持续期表明对利率变动更敏感，由式(5.7)可知，为了消除银行面临利率风险的总体可能性，银行负债价值的变化必须略大于银行资产价值的变化。如果银行的资产持续期没有与其加权的负债持续期保持平衡，则该银行面临利率风险。持续期缺口越大，银行净值对市场利率变动的敏感程度也越大。

(1)持续期正缺口

银行资产持续期大于负债持续期，就是持续期正缺口：

$$DGAP=D_A-(L/A)\times D_L>0 \tag{5.8}$$

如果银行资产拥有比负债长的持续期，任何利率的相同变化都会使银行负债价值的变化小于银行资产价值的变化，无论是升是降。如果利率上升，银行资产价值会比负债价值下降的多，于是银行的净值减少；如果利率下降，银行资产价值会比负债价值上升的快，于是银行的净值会增加。

(2)持续期负缺口

银行资产持续期小于负债持续期，就是持续期负缺口：

$$DGAP=D_A-(L/A)\times D_L<0 \tag{5.9}$$

如果负债拥有比银行资产长的持续期，任何利率的相同变化都会造成负债价值变化比资产价值变化大，如果利率下降，银行负债价值会比资产价值增加的多，于是银行的净值减少；如果利率上升，银行的负债价值会比资产价值减少的快，于是银行的净值会增加。

5.2.2.4 持续期的简化公式

(1)无息票债券的持续期简化公式

无息票债券指到期后一次还本付息的债券，其间并不发生现金流量。在我国各类银行，存款均属于到期后一次还本付息的无息票债券。

由于无息票债券在最后到期期间，不发生现金流量，因此只有在第 n 期的现金流量不为零，其他各期都为零。

设 D——债券持续期；r ——利率；F_i——第 i 期现金流量；n——债券期限。因此可以得到无息票债券的持续期简化公式为：

$$D=\frac{1\times\frac{0}{1+r}+2\times\frac{0}{(1+r)^2}+\cdots+n\times\frac{F_n}{(1+r)^n}}{\frac{0}{1+r}+\frac{0}{(1+r)^{\prime}}+\cdots+\frac{F_n}{(1+r)^n}}=n \tag{5.10}$$

(2)普通债券的持续期简化公式

普通债券是指在到期日之前定期向债券持有者给付利息的债券，即从第一期到到期日每期都有利息收入，并于到期日一次性归还本金。

设 D——债券持续期；C——债券票面金额；r——利率；n——债券期限。可以得到普通债券的持续期简化公式为：

$$D=\frac{1\times\frac{C\cdot r}{1+r}+2\times\frac{C\cdot r}{(1+r)^2}+\cdots+n\times\frac{C\cdot r+C}{(1+r)^n}}{\frac{C\cdot r}{1+r}+\frac{C\cdot r}{(1+r)^2}+\cdots+\frac{C\cdot r+C}{(1+r)^n}}=[(1+r)/r]\times[1-1/(1+r)^n] \tag{5.11}$$

(3)年金债券的持续期简化公式

年金债券指在到期日之前每期给付一定金额的息票给债券持有人，即从第一期到到期日，持票人每期都获得等金额的息票收入。

设 D——债券持续期；F——每期的等金额息票金额；r——利率；n——债券期限。可以得到年金债券的持续期简化公式为：

$$D=\frac{1\times\frac{F}{1+r}+2\times\frac{F}{(1+r)^2}+\cdots+n\times\frac{F}{(1+r)^n}}{\frac{F}{1+r}+\frac{F}{(1+r)^2}+\cdots+\frac{F}{(1+r)^n}}=(1+r)/r-n/[(1+r)^n-1] \tag{5.12}$$

(4)永久年金债券的持续期简化公式

永久年金债券指无到期日的年金债券，即每期给付一定金额的息票给债券持有人。它与年金债券的区别在于，永久年金债券无到期日。

设 D——债券持续期；F——每期的等金额息票金额；r——利率。可以得到永久年金债券的持续期简化公式为：

$$D=\frac{1\times\frac{F}{1+r}+2\times\frac{F}{(1+r)^2}+\cdots+n\times\frac{F}{(1+r)^n}+\cdots}{\frac{F}{1+r}+\frac{F}{(1+r)^2}+\cdots+\frac{F}{(1+r)^n}+\cdots}=(1+r)/r \tag{5.13}$$

5.2.3 资产负债组合优化原则

5.2.3.1 流动性原则

(1)流动性原则的含义

流动性是指银行能够随时满足客户提取存款、满足正常贷款需求的支付能力。商业银行的流动性包括资产的流动性和负债的流动性。

(2)法律约束

1995年7月1日起实行的“中华人民共和国商业银行法”对资产负债的流动性进行了约束(以下简称法律约束)，主要有：

$DLR=L/D\leq 75\%$

$ALR=Al/Ll\geq 25\%$

其中：DLR—存贷款比例，L—各项贷款期末余额，D—各项存款期末余额，ALR—资产流动性比例，Al—流动性资产期末余额，Ll—流动性负债期末余额。

(3)法规约束

中国人民银行于1996年12月12日颁布的“商业银行资产负债比例管理监控、监测指标”(以下简称法规约束)除了法律约束外，还对以下指标进行监管：

$RR=(R+C)/L\geq 5\%$

$MLR=L1/D1\leq 120\%$

$LMR=Ml/D\leq 8\%$

其中：RR—备付金比例，R—在人民银行备付金存款期末余额，C—库存现金期末余额，L—各项贷款期末余额，MLR—中长期贷款比例，L1—余期1a期以上(不含1a期)中长期贷款期末余额，D1—余期1a期以上(不含1a期)存款期末余额，LMR—拆出资金比例，Ml—拆出资金期末余额，D—各项存款期末余额。

(4)经营管理约束

流动性管理除了满足法律约束和法规约束以外，还必须适应经营管理的要求和经营环境的变化。例如在当前情况下，库存现金为多少能满足客户提现的需要等。这方面的约束，总的原则是要坚持资产负债的结构对称和风险分散。

5.2.3.2 安全性原则

(1)安全性原则的含义

安全性是指银行应尽量避免各种不确定性因素对其资产、负债、利润、信誉等方面的不利影响。

(2)法律约束

在安全性方面的法律约束除了存贷款比例和资产流动性比例外，还包括以下比例：

EAR=EAr≥8%

LRi=LiE≤10%

其中：EAR—资本充足率，E—资本净额，Ar—表内外风险加权资产期末总额，LRi—单个贷款比例，Li—对同一借款户贷款余额。

(3)法规约束

法规上的约束包括存贷款比例、资产流动性比例、资本充足率、单个贷款比例、备付金比率和中长期贷款比例，其指标含义如前所述。

(4)经营管理约束

安全性管理除了要坚持资产负债的结构对称和风险分散原则外，还要遵循总量制约原则。

5.2.3.3 盈利性原则

盈利性原则指的是商业银行作为金融企业要追求经济效益的最大化。在一定条件下，盈利水平的提高会增强抵御风险的能力，会增强银行的信誉，使银行便于以较低的成本筹集资本和资金。一般情况下，各国金融管理当局对商业银行的流动性和安全性进行严格的监管，但对盈利性则无要求。建立资产负债组合优化决策模型，必须通过目标函数或约束条件充分反映盈利性原则的要求。

5.3 资产负债组合双重结构对称原理

5.3.1 利率结构对称原理

利率的波动导致各种资产和各种负债的市场价值均发生变化，从而导致银行净值——所有者权益的市场价值发生变化。

利率结构对称原理是指通过资产的利率结构与负债利率结构的匹配和协调，通过持续期缺口的控制和免疫条件来控制利率风险、消除或减少由于利率波动所引起的银行净值的变化。

70年代以来西方国家的商业银行面临着更大的利率风险，这使人们在资产负债管理中更加关注利率、资产与负债的规模、利率敏感性资产与利率敏感性负债的短期组合。资产负债管理的任务是预测当发生意想不到的利率变动时，银行的资产收益率和银行的股票价格如何反应，并进行事先的计划和控制。

应用利率结构对称原理建立决策模型，使银行资产的配置在市场利率发生变化时，银行股东的权益也不受到影响和损失。这样一则控制了利率风险，二是解决了资产负债管理决策模型与方法的服务对象问题。

5.3.2 数量结构对称原理

数量结构对称是指资产的数量结构与负债的数量结构要协调和匹配，以保证银行的支付能力，避免支付危机和减少流动性风险。

从理论上讲，数量结构对称可通过如下措施实现：在资产配给中使长期负债用于长期资产，短期负债用于短期资产。更进一步地划分还要把短期负债中的稳定部分用于长期资产，长期负债中的不稳定部分用于短期资产，以此类推。

从实践上看，数量结构对称则可以通过资产负债比例控制来实现。商业银行法，中央银行对商业银行的监管条例，商业银行根据内部条件和经营环境总结出的资产负债比例，都是减少流动性风险的保障。本章后边的模型和应用实例就采用这类法律约束、法律约束和经营管理约束来控制流动性风险，更详细的内容请见文献[125]。

应用数量结构对称原理建立资产负债组合优化决策模型，通过法律约束、法规约束和经营管理约束的数量对称来控制流动性风险和保障银行支付能力，保证了银行资产配给的合法性与合规性。

5.3.3 兼控双重风险的资产负债组合优化原理

兼控双重风险的资产负债组合优化原理是在求解的约束条件中，引入了利率结构对称原理和数量结构对称原理，并结合持续期缺口达到控制银行的利率风险和流动性风险的结果。兼控双重风险的资产负债组合优化原理如图 5.1 所示。

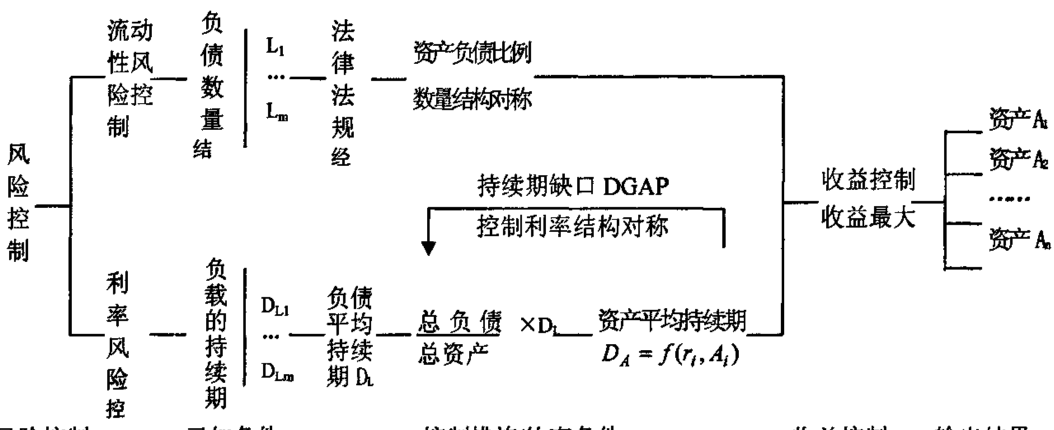

图 5.1 双重结构对称原理

Fig. 5.1 The theory of double symmetrical structure

5.3.4 兼控双重风险的资产负债组合优化原理的特色与创新

(1)应用利率结构对称原理建立决策模型，使银行资产的配置在市场利率发生变化时、银行股东的权益也不受到影响和损失，解决了利率风险的控制问题，解决了资产负债管理决策模型与方法的服务对象问题，弥补了现有研究忽略资产与负债利率协调与匹配的问题。

(2)应用数量结构对称原理建立资产负债组合优化决策模型，通过法律约束、法规约束和经营管理约束的数量对称来控制流动性风险和保障银行支付能力，避免了资产配置的流动性危机，保证了银行资产配给的合法性与合规性。解决了现有研究中对银行的风险承受能力和资本监管的客观要求考虑不足的问题。

5.4 兼控双重风险的资产负债组合优化模型

5.4.1 约束条件中的基本关系

设 D_{Ai}——第 i 种资产的持续期；D_{Lj}——第 j 种负债的持续期；t——现金流或利息发生的时间间隔；n——资产或负债的期限；F_{it}——第 i 种资产在第 t 期产生的现金流或利息；F_{jt}——第 j 种负债在第 t 期产生的现金流或利息；r_i——第 i 种资产的利率；r_j——第 j 种负债的利率。则[63,64]：

$$D_{Ai}=\sum_{t=1}^{n}[t\times F_{it}/(1+r_i)^t]/\sum_{t=1}^{n}[F_{it}/(1+r_i)^t] \tag{5.14}$$

$$D_{Lj}=\sum_{t=1}^{n}[t\times F_{jt}/(1+r_j)^t]/\sum_{t=1}^{n}[F_{jt}/(1+r_j)^t] \tag{5.15}$$

式(5.14)和(5.15)清楚地反映了所谓的"持续期就是用时间进行加权的现金流的现值与未加权的现金流现值之比"，进而可用它来衡量一系列固定现金流的平均期限。但在实践中，应用简化形式更方便[64]。

无息票债券　$D=n$ (5.16)

普通债券　$D=[(1+r)/r]\times[1-1/(1+r)^n]$ (5.17)

年金债券　$D=(1+r)/r-n/[(1+r)^n-1]$ (5.18)

永久年金债券　$D=(1+r)/r$ (5.19)

上边式(5.16)-(5.19)的符号含义同前，由于无论对何种资产或何种负债均通用，故去掉了下标。

设 D_A—资产平均持续期或组合持续期；D_L——负债平均持续期或组合持续期；A_i——第 i 种资产的市场价值；L_j——第 j 种负债的市场价值；k——资产的种类；m——负债的种类。则[64]：

$$D_A=(\sum_{i=1}^{k} D_{Ai} \times A_i)/\sum_{i=1}^{k} A_i \tag{5.20}$$

$$D_L=(\sum_{j=1}^{m} D_{Lj} \times L_j)/\sum_{j=1}^{m} L_j, \tag{5.21}$$

设 $DGAP$——持续期缺口；A——资产的市场价值；L——负债的市场价值；$m=L/A$——负债资产系数，则[64]：

$$DGAP=D_A-(L/A)\times D_L= D_A-m\times D_L \tag{5.22}$$

避免利率风险的免疫条件(Immunization Condition)是[63,64]：

$$A\times D_A=L\times D_L \quad \text{或} \ DGAP=0 \tag{5.23}$$

式(5.23)应用利率结构对称原理建立约束条件，达到资产负债匹配的组合免疫，通过持续期缺口控制利率风险和保护银行股东权益的安全，使银行资产的配置在市场利率发生变化银行股东的权益时也不受到影响和损失。这样一则控制了利率风险，二是解决了资产负债管理决策模型与方法的服务对象问题。

设 ΔV——银行净值的变化；ΔA——资产净值的变化；ΔL——负债净值的变化；ΔA_i——第 i 种资产的变化；ΔL_j——第 j 种负债的变化；Δr_i——第 i 种资产利率的变化；Δr_j——第 j 种负债利率的变化。则[63,64]：

$$\Delta V = \Delta A - \Delta L = \sum_{i=1}^{k} \Delta A_i - \sum_{j=1}^{m} \Delta L_j$$

$$=[-\sum_{i=1}^{k} D_{Ai} \times A_i\times \Delta r_i/(1+r_i)]-[-\sum_{j=1}^{m} D_{Lj} \times L_j\times \Delta r_j/(1+r_j)] \tag{5.24}$$

5.4.2 资产负债组合优化模型

设 Z——优化模型的目标函数，亦即资产的月利息收益；a_{si}——第 s 个约束条件中，第 i 种资产的系数，与法律约束、法规约束、经营管理约束等资产负债的管理比率有关[110]；b_s——第 s 个约束条件中的常量，数值大小也与资产负债管理比率有关[110]。U——与流动性风险有关的约束条件个数。

根据 4.3 中的双重结构对称原理和 4.4.1 中的约束条件基本关系式，有线性规划模型：

$$\text{Max} \quad Z=\sum_{i=1}^{k} r_i A_i \tag{5.25}$$

模型中的目标函数的意义是使银行的利息收入最大化。

$$\text{s.t.} \quad D_A=(L/A)\times D_L \tag{5.26}$$

约束条件(5.26)为源于式(5.23)的免疫条件——利率风险约束。这种约束条件使银行资产的配置在市场利率发生变化时，银行股东的权益也不受到影响和损失，以解决利率风险的控制问题，解决资产负债管理决策模型与方法的服务对象问题。

$$\sum_{s=1}^{u} a_{si} A_i \leq (\text{或} =, \geq) b_i \ (i=1,2,\ldots k) \tag{5.27}$$

约束条件(5.27)为一组流动性风险约束[110]。这里是应用上文的数量结构对称原理建立资产负债组合优化决策模型，通过法律约束、法规约束和经营管理约束的数量对称来控制流动性风险和保障银行支付能力，以避免资产配置的流动性危机，保证银行资产配给的合法性与合规性。

$$A_i \geq 0 \tag{5.28}$$

5.5 实践中的例子与建模分析

5.5.1 基本数据及其初步处理

5.5.1.1 ABC 银行的基本数据

ABC 银行的负债与所有者权益的有关信息如表 5.1 所示。

表 5.1 ABC 银行负债与所有者权益(单位：千元)

Tab. 5.1 The liabilities and equities of ABC bank

负债 L_j 和权益 E	市场现值 L_j (已知条件)	月息(‰)r_j	有效持续期 (月)D_{L_j}
1.活期存款	8 000	0.825	2.40
2.三个月期存款	3 000	1.605	3.00
3.六个月期存款	5 000	1.800	6.00
4.一年期存款	36 000	1.875	12.00
5.三年期存款	20 000	2.250	36.00
6.五年期存款	14 000	2.400	60.00
7.三年期债券	6 000	2.350	34.80
L.负债总额	92 000	——	19.86
E.所有者权益	8 000	——	
L&E 负债和所有者权益	100 000		

5.5.1.2 负债持续期的计算

该银行根据统计数据和类比分析，活期存款的平均到期间隔为2.4个月。由于在我国各类银行存款均属于到期后一次还本付息，其间并不发生现金流量，相当于无息票债券。故由式(5.16)计算出其持续期的月数：

D_{L1}=2.4，D_{L2}=3，D_{L3}=6，D_{L4}=12，D_{L5}=36，D_{L6}=60

对于发行3年期的债券，由于该债券是每半年付息一次，3年付息6次，相当于普通债券。由式(5.17)得到：

$$D_{L7}=\frac{1+(2.4‰\times12)/2}{(2.4‰\times12)/2}\left[1-\frac{1}{[1+(2.4‰\times12)/2]^6}\right]=5.8(\text{半年})=34.8(\text{月})$$

将上述得到的 D_{L1}=2.4，D_{L2}=3，D_{L3}=6，D_{L4}=12，D_{L5}=36，D_{L6}=60、表1中各项负债的数据带入式(5.21)，可求出负债组合持续期：

D_L=(2.4×8000+3×3000+6×5000+36×20000+60×14000+34.8×6000)÷92000

=19.86

以上计算结果见表5.1第8行第3列。

5.5.1.3 资产持续期的计算

ABC银行的资产用途及其月利率如表5.2的第1、3列所示，其中固定资产 A_{11} 和其他资产 A_{12} 是业已形成、毋须改变的常量，其他资产为待求变量。

由于没有利息，持续期 D_{A1}=0，见表5.2第1行第4列。同理 D_{A11}=0，D_{A12}=0。

准备金存款按法规要求不能挪做他用，不存在利率变化后往其他资产上"再投资"的问题。此外，在市场利率变动时，它的利率也变，不同于固定面值的债券会产生贴水。故持续期 D_{A2}=0，见表5.2第2行第4列。

备付金存款是供银行在每天的清算中保支付用的资金，一是在正常情况下这部分资金正好够清算用，二是由于这部分资金总额本来就少，既使有剩余的金额就更少，故 D_{A3}=0，见表5.2第3行第4列。

设上存总行(6个月)的资金亦为按月付息，则其相当于普通债券(否则相当于无息债券)。于是，D_{A4}—D_{A10} 均相当于普通债券。由式(5.17)——普通债券持续期的简化公式可以得到 D_{A4}—D_{A10} 的值。

①将 $r=4.5‰$ 带入式(5.17)得到上存总行(6个月)的资金持续期：

$$D_{A4}=\frac{1+4.5‰}{4.5‰}\left[1-\frac{1}{(1+4.5‰)^6}\right]=5.93(\text{月})$$

见表5.2第4行第4列。

②将 $r=4.65‰$ 带入式(5.17)得到一个月期贷款的持续期：

$$D_{A5}=\frac{1+4.65‰}{4.65‰}\left[1-\frac{1}{1+4.65‰}\right]=1(\text{月})$$

见表 5.2 第 5 行第 4 列。

③将 $r=4.65‰$带入式(5.17)得到六个月期贷款的持续期：

$$D_{A6}=\frac{1+4.65‰}{4.65‰}\left[1-\frac{1}{(1+4.65‰)^{6}}\right]=5.95(\text{月})$$

见表 5.2 第 6 行第 4 列。

表 5.2 ABC 银行资产利率及待求资产

Tab. 5.2 The asset interest rate and asset for settle

资产 A_i	市场现值 A_i(待求规模)	月息(‰)r_j	有效持续期 (月)D_{Aj}
1.现金	516	0.000	0.00
2.存款准备金	5 160	1.725	0.00
3.备付金	待求	1.725	0.00
4.上存总行(6 个月)	待求	4.500	5.93
5.一个月期贷款	待求	4.650	1.00
6.六个月期贷款	待求	4.650	5.93
7.一年期贷款	待求	4.875	11.68
8.三年期贷款	待求	4.950	33.06
9.五年期贷款	待求	5.025	51.95
10.八年期贷款	待求	5.175	75.90
11.固定资产	待求	——	0.00
12.其他资产	待求	——	0.00
A 资产总计	100 000		18.27

④将 $r=4.875‰$带入式(5.17)得到一年期贷款的持续期：

$$D_{A7}=\frac{1+4.875‰}{4.875‰}\left[1-\frac{1}{(1+4.875‰)^{12}}\right]=11.68(月)$$

见表 5.2 第 7 行第 4 列。

⑤将 $r=4.95‰$带入式(5.17)得到三年期贷款的持续期：

$$D_{A8}=\frac{1+4.95‰}{4.95‰}\left[1-\frac{1}{(1+4.95‰)^{36}}\right]=33.06(月)$$

见表 5.2 第 8 行第 4 列。

⑥将 $r=5.025‰$带入式(5.17)得到五年期贷款的持续期：

$$D_{A9}=\frac{1+5.025‰}{5.025‰}\left[1-\frac{1}{(1+5.025‰)^{60}}\right]=51.95(月)$$

见表 5.2 第 9 行第 4 列。

⑦将 $r=5.175‰$带入式(5.17)得到八年期贷款的持续期：

$$D_{A10}=\frac{1+5.175‰}{5.175‰}\left[1-\frac{1}{(1+5.175‰)^{96}}\right]=75.90(月)$$

见表 5.2 第 10 行第 4 列。

5.5.2 建模过程与优化分析

5.5.2.1 目标函数的建立

以月利息收益最大化为目标函数，则会在负债规模与结构一定的条件下使净利息收入最大，这也正是资产负债管理的目标之一。

由表 5.2 的资产利率表的第 3 列，目标函数为：

$\mathrm{Max}Z=0\times A_1+1.725‰A_2+1.725‰A_3+4.5‰A_4+4.65‰A_5+4.65‰A_6+4.875‰A_7+4.95‰A_8+5.025‰A_9+5.175‰A_{10}+0\times A_{11}+0\times A_{12}$

5.5.2.2 利率结构对称约束

由表 5.1 和式(5.23)或式(5.24)的免疫条件，有

$D_A=(L/A)\times D_L=(92\ 000/100\ 000)\times 1.86=18.27$

由表 5.2 和式(5.20)可得出利率结构对称约束条件：

$(\sum_{i=1}^{k}D_{Ai}\times A_i)/\sum_{i=1}^{k}A_i=D_A$　　即：

$(1/100\ 000)\times(0\times A_1+0\times A_2+0\times A_3+5.93A_4+1A_5+5.93A_6+11.68A_7+33.06A_8+51.95A_9+75.90A_{10}+0\times A_{11}+0\times A_{12})=18.27$

应用利率结构对称原理建立约束条件，达到资产负债匹配的组合免疫，通过持续期缺口控制利率风险和保护银行股东权益的安全，使银行资产的配置在市场利率发生变化时，银行股东的权益也不受到影响和损失。这样会一则控制了利率风险，二是解决了资产负债管理决策模型与方法的服务对象问题。

5.5.2.3 数量结构对称约束

根据表 5.1 和表 5.2 的资产种类信息，应用原理 4.3.1 来约束流动性风险[111]：

(1) 资产规模约束 (资产=负债+所有者权益)

$$\sum_{i=1}^{12} A_i = 100\ 000$$

(2) 基于流动性的库存现金比例 (银行测算)

$$A_1 \geq 0.6\% \sum_{j=1}^{6} L_j = 0.6\% \times 86\ 000 = 516$$

(3) 基于盈利性的库存现金比例 (银行测算)

$$A_1 \leq 1.5\% \sum_{j=1}^{6} L_j = 1.5\% \times 86\ 000 = 1\ 290$$

(4) 法定存款准备金比例

$$A_2 \geq 6\% \sum_{j=1}^{6} L_j = 6\% \times 86\ 000 = 5\ 160$$

(5) 备付金比例

$$A_1 + A_3 \geq 5\% \sum_{j=1}^{6} L_j = 5\% \times 86\ 000 = 4\ 300$$

(6) 资产流动性比例 (一个月可以变现的资产/一个月内到期的负债)

$[A_1+A_3+A_5]/L_1 \geq 25\%$

即：$A_1+A_3+A_5 \geq 25\% \times 8\ 000 = 2\ 000$

(7) 存、贷比例

$$\sum_{i=5}^{10} A_i / \sum_{j=1}^{6} L_j \leq 75\%$$

即：$\sum_{i=5}^{10} A_i \leq 75\% \times 86\ 000 = 64\ 500$

(8) 中长期贷款比例

$$\sum_{i=8}^{10} A_i / \sum_{j=5}^{6} L_j \leq 120\%$$

即：$\sum_{i=8}^{10} A_i \leq 120\% \times 34\,000 = 40\,800$

(9) 中长期贷款结构

$A_8 - A_9 \geq 0$

(10) 中长期贷款结构

$A_9 - A_{10} \geq 0$

(11) 固定性约束

$A_{11} = 1\,000$

(12) 固定性约束

$A_{12} = 100$

(13) 非负约束

$A_i \geq 0 \quad (i=1,2,\ldots,12)$

将数量结构对称原理引入到模型中来规避流动性风险，通过法律约束、法规约束和经营管理约束的数量对称来控制流动性风险和保障银行支付能力，避免了资产配置的流动性危机，保证了银行资产配给的合法性与合规性。解决了现有研究中对银行的风险承受能力和资本监管的客观要求考虑不足的问题。

5.5.2.4 优化结果

求解由 5.5.2.1-5.5.2.3 组成的线性规划模型，可得出既控制流动性风险、又避免利率风险的资产最优分配方案，其结果见表 5.3 的第 2 列所示。由分配结果可得出在这种约束条件下的月最大利息收入 Z=445 958(元)。

5.5.2.5 对比分析

若不进行利率风险的免疫，即去掉 5.5.2.3 中的约束条件，求解线性规划后的结果为 A_1=516，A_2=5 160，A_3=3 784，A_4=24 940，A_5=0，A_6=0，A_7=23 700，A_8=13 600，A_9=13 600，A_{10}=13 600，A_{11}=1 000，A_{12}=100；Z=449 236(元)。这后一种优化若单纯从收益角度看比前一种每月增加利息收益 449 236-445 958 =3 278 元，但它不具备抵御利率风险的能力，且风险极大：

设资产 A_i 与负债 L_i 的利率均上升 1%，若不进行利率风险免疫的方案由式(5.24)可方便地算出该银行所有者权益的变化为

$$\Delta V = \Delta A - \Delta L = \sum_{i=1}^{k} \Delta A_i - \sum_{j=1}^{m} \Delta L_j$$

$$= [-\sum_{i=1}^{k} D_{Ai} \times A_i \times \Delta r_i/(1+r_i)] - [-\sum_{j=1}^{m} D_{Lj} \times L_j \times \Delta r_j/(1+r_j)]$$

=-[(0×516×1%)/1+(0×5160×1%×1.725‰)/(1+1.725‰)+…+(75.9×7355×1%×5.175‰)/(1+5.175‰)]-{-[(2.4×8000×1%×0.825‰)/(1+0.825‰)+(3×3000×1%×1.605‰)/(1+1.605‰)]+…+(34.8×6000×1%×2.35‰)/(1+2.35‰)}

= -3 460 358 元

其损失程度占整个资产的比重为 3.46%(3 460 358/100 000 000)，占所有者权益的比重为 43%(3 460 358/8 000 000)。这也从理论上揭示了在浮动利率制度中，西方银行密切关注资产负债的匹配与管理的原因。

表 5.3 ABC 银行资产分配结果

Tab. 5.3 The optimization result of ABC Bank

资产 A_i	市场现值 A_i(待求规模)
1.现金	516
2.存款准备金	5 160
3.备付金	3 784
4.上存总行(6 个月)	24 940
5.一个月期贷款	0
6.六个月期贷款	0
7.一年期贷款	42 434
8.三年期贷款	7 355
9.五年期贷款	7 355
10.八年期贷款	7 355
11.固定资产	1 000
12.其他资产	100
A 资产总计	100 000

5.6 本章小结

通过资产的利率结构与负债利率结构的匹配和协调，通过持续期缺口的控制和免疫条件来控制利率风险，消除或减少由于利率波动所引起的银行净值的变化；在资产配给中使长期负债用于长期资产，短期负债用于短期资产，使资产负债的数量结构匹配；通

过法律约束、法规约束和经营管理约束的数量对称来控制流动性风险和保障银行支付能力，保证了银行资产配给的合法性与合规性。模型的主要特色为：

(1)建立兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型。通过持续期缺口的控制和免疫条件来控制了利率风险，保护了银行股东权益，通过法律约束、法规约束和经营管理约束的数量对称来控制了流动性风险和保障了银行支付能力，以贷款利息收益最大为目标，以线性规划为工具，建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型。

(2)提出了利率结构对称原理控制利率风险。考虑了资产与负债利率的协调与匹配的问题，引入了对利率风险控制的完全免疫条件，解决了利率风险的控制问题，解决了资产与负债利率的协调与匹配的问题，使银行资产的配置在市场利率发生变化时，银行股东的权益也不受到影响和损失，避免了由于利率变化而导致银行净值——所有者权益市场价值的变化，保护了银行股东权益的安全，解决了资产负债管理决策模型与方法的服务对象问题，弥补了现有研究忽略资产与负债利率协调与匹配的问题。

(3)提出了数量结构对称原理控制流动性风险。通过法律约束、法规约束和经营管理约束的数量结构对称来控制流动性风险和保障银行支付能力，避免了支付危机和减少流动性风险，保证了银行资产配给的合法性与合规性。解决了现有研究中对银行的风险承受能力和资本监管的客观要求考虑不足的问题。

6 结论

6.1 论文的主要工作

(1)建立了基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型。根据 CreditMetrics 信用风险迁移矩阵的时间效应和随机过程中的 Brown 运动来反映银行贷款风险的非系统因素，确定了信贷资产风险随时间变动的数学关系；结合因子模型与 Markowitz 的均值一协方差模型，建立基于存量与增量组合累计风险的银行贷款决策模型。模型的基本原理是通过对决策前贷款存量组合的风险和收益率与其加入一笔新贷款后的总风险和总收益率的对比来决定是否发放该笔贷款。

(2)建立了基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型。根据银行短期贷款与中长期贷款的实际收益率数据，求贷款组合联合分布的四类 copula 函数的解析式，找出一个与实际收益率联合分布最接近的 copula 函数来拟合贷款组合收益率的实际分布；用找到的这个 copula 函数来计算贷款组合的风险价值，在贷款组合的损失最小的前提下，匹配和协调短期贷款和中长期贷款的比例。

(3)建立了基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型。以银行各项资产组合收益最大化为目标函数，以资产组合的单位收益所承担的风险损失和风险价值为约束，运用逆向递推原理和非线性规划方法，建立了基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型。运用逆向递推原理在考虑下一区段优化配置结果的前提下，控制本区段单位收益所承担的下偏矩风险。反应了不同区段的单位收益所承担的风险对贷款总体效果的相互影响。

(4)建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型.通过资产的利率结构与负债利率结构的匹配和协调，通过持续期缺口的控制和免疫条件来控制利率风险，消除或减少由于利率波动所引起的银行净值的变化；在资产配给中使长期负债用于长期资产，短期负债用于短期资产，使资产负债的数量结构匹配；通过法律约束、法规约束和经营管理约束的数量对称来控制流动性风险和保障银行支付能力，保证了银行资产配给的合法性与合规性。

6.2 研究的主要创新

(1)兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型

以贷款利息收益最大为目标，以利率风险免疫条件和数量结构对称为约束，以线性规划为工具，建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型。通过持续期缺口的控制和免疫条件的利率结构对称原理来控制利率风险，解决了资产与负债利率的

协调与匹配的问题，保护了银行的股东权益。通过法律约束、法规约束和经营管理约束的数量结构对称原理来控制流动性风险，避免了和减少了流动性风险，保证了银行资产配给的合法性与合规性。

(2)基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型

通过逆向递推原理在考虑下一区段优化配置结果的前提下，控制了本区段单位收益所承担的下偏矩风险，以所有区段全部资产收益最大化为目标，建立基于违约损失控制的多期资产组合动态优化模型。反应了不同区段的单位收益所承担的风险对贷款总体效果的相互影响，在考虑单个区间贷款最优的过程中，优化配给所有区间段的贷款。

(3)基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型

用 copula 函数拟合短期贷款与中长期贷款的联合分布情况，通过联合分布概率来计算贷款组合的风险价值，选择风险最小时的短期贷款与中长期贷款的比例，由此确定了贷款组合的最优期限结构，对于整体与非正态概率没有苛刻要求的 copula 函数拟合的联合分布概率反映了贷款组合的真实风险，防范了银行的流动性风险，改变了现有研究大多假设资产组合的联合分布是多元正态分布，进而低估了资产组合风险的现状。

(4)基于存量累计风险控制的新增单项贷款组合决策模型

把新增单项贷款与已有贷款的存量组合视为一个新的组合，通过对决策前贷款存量组合的风险和收益率与其加入一笔新贷款后的总风险和总收益率的对比，来决定是否发放该笔贷款。反映了贷款存量组合累计风险对贷款决策的直接影响，考虑了宏观经济变量对银行信贷资产风险的影响及贷款存量组合风险与贷款增量风险的关系及其全部风险，改变了现有研究仅仅立足控制增量贷款组合风险的现状。

6.3 研究展望

(1)多元 copula 函数在银行资产组合管理中的应用

在银行贷款组合优化管理实践中，大部分是多笔贷款组合的决策与优化，因此应用 copula 函数对贷款组合的联合分布进行拟合时，更实用的是三个变量以上的多变量 copula 函数。但是在理论上和应用上多元 copula 函数的构造方法、参数估计和检验方法还有待发展和完善。总体上说,，利用多元 copula 函数对多笔贷款或多资产组合的决策研究还待进一步深入。

(2)基于存量累计风险控制的新增多项贷款组合决策模型研究

通过控制累计风险建立新增多项贷款情况下的贷款组合决策模型，实现 n+m 的贷款组合决策，从而拓展本文所建立的基于存量累计风险控制的新增单笔贷款贷款组合决策模型，更好地为商业银行贷款组合决策提供依据。

(3)基于凸度理论的贷款组合优化研究

当收益率曲线以相对较小的数值变动，且与短期和长期利率在一定时期内以大致相等的比例平行变动时，持续期缺口模型分析在处理利率风险问题时往往很有效。但是资产与负债的市场价值和利率之间并不总是满足线性关系，因此引入凸度来描述债券的价格—收益率曲线的弯曲程度，衡量利率波动，能更为精确地测度证券的利率风险。

参 考 文 献

[1] Perter Rose.商业银行管理[M].北京:机械工业出版社,2001:232-244.

[2] 迟国泰,朱占宇,徐睁.基于“三性”分析的商业银行经营绩效综合评价模型.中国管理科学.1999,7(4):: 58-67.

[3] 叶望春,夏清华.银行危机对商业银行资产配置的启示[J].世界经济,2001,(9):69-72.

[4] http://www.cbrc.gov.cn/mod_cn00/jsp/cn004002.jsp?infoID=2485&type=1.

[5] Michel Crouhy, Dan Galai, Robert Mark. A comparative analysis of current credit risk models[J]. Journal of Banking & Finance. 24(2000), 59-117.

[6] Gollinger T L ,Morgan J B. Calculation of an Efficient Frontier for a Commercial Loan Portfolio [J]. Journal of Portfolio Management, 1993, (2) : 39 - 46.

[7] John B. Caouettee， Edward I. Altman， Paul Narayanan 著. 石晓军，张振霞译. 演进着的信用风险管理[M]. 机械工业出版社, 2001.304-352.

[8] William E. Sharpe 著. 胡坚 译. 投资组合理论与资本市场[M]. 机械工业出版社，2001, 55-91.

[9] 宋逢明. 金融工程原理无套利均衡分析[M]. 清华大学出版社.

[10] Altman E I. Predicting Financial Distress of Compa2nies: Revisiting the Z2score and ZETA Models[C] Seoul Korea: Korean Institute of Finance Conference on Bank Credit Risk Management, 1995:28-301.

[11] Altrman E I. Corporate Bond and Commercial Loan Portfolio Analysis [R]. New York: New York Univer2 sity Salomon Center, 1997.

[12] 马志卫,刘应宗.基于蒙特卡洛模拟的贷款组合优化决策方法[J].管理科学.2006,19(3).66-70.

[13] 姜灵敏. 基于综合风险收益的贷款组合优化决策[J], 数理统计与管理, 24(6): 84-88.

[14] 马慧民 叶春明. 粒子群算法在贷款组合优化决策中的应用[J]. 计算机工程与应用,2006 (14):219-221,224.

[15] 赵国杰.现代工程经济学[M].沈阳:辽宁大学出版社, 1999: 349 - 364.

[16] 赵国杰.利用有效梯度排序法优化贷款项目组合方法研究[J].管理工程学报,2001, 15(3):1-3.

[17] Anand P R , Nagesh D K. Ranking Alternatives with Fuzzy Weights Using Set and Minimizing Set[J].Fuzzy Sets and Systems,1999,(105):365-375.

[18] 杨桂元.一类组合投资问题的线性规划解法[J].运筹与管理,2004,13(6):31-36.

[19] 熊福力.基于利润最大化的油田开发非线性规划[J].石油大学学报,2004,28(1):111-113.

[20] 张廷权.多方案项目评选方法的研究[J].辽宁石油化工大学学报,2005,25(1):93-96.

[21] (意) 皮埃特罗·潘泽, (美) 维普·K·班塞尔著.用 VaR 度量市场风险[M]. 机械工业出版社, 2001,99.

[22] William E. Sharpe 著. 胡坚 译. 投资组合理论与资本市场[M]. 机械工业出版社，2001, 55-91.

[23] 王一民. 数理金融经济学[M].北京大学出版社，2000，66-86.

[24] K.F.C Yiu. Optimal portfolios under a value-at-risk constraint[J]. Economic Dynamics & Control 28 (2004): 1317-1334.

[25] 迟国泰，姜大治，奚扬，林建华. 基于 VaR 收益率约束的贷款组合优化决策模型[J].中国管理科学，2002, 6 (10): 1-7.

[26] Dietsch M，Petey J.The credit risk in SME loans portfolios: Modeling issues, pricing, and capital requirements[J]. 2002, 26 (2/3): 303-323.

[27] 袁乐平. 基于VaR约束的商业银行资产负债组合配给模型探讨[J]. 中南大学学报(社会科学版). 2005,11(2): 217-221

[28] 刘晓星. 基于CVaR的投资组合优化模型研究[J]. 商业研究. 2006,(14): 15-18.

[29] Altman, E. L, and D. L. Kao. The Impolications of Coporate Bond Ratings Drift[J]. Financial Analysts Journal, 1992, (May/June):64-75.

[30] Cariy, L., Moody's Rating Migration and Credit Quality Correlation:1920-1960[A]. Moody's Special Report[R]. July, 1997.

[31] Standard&Poor's, Rating Performance 1996: Stability and Transition[A]. Special Report[R]. New York: Standard&Poor's, 1997.

[32] Edward I. Altman The importance and subtlety of credit rating migration[J]. Journal of Banking & Finance 22(1998):1231-1247.

[33] Debashis Guha, Lorene Hiris. The aggregate credit spread and the business cycle[J]. International Review of Financial Analysis 11(2002):219-227.

[34] David Lando,Torben M. Skødeberg. Analyzing rating transitions and rating drift with continuous observations[J]. Journal of Banking & Finance,2002,26(2-3): 423-444.

[35] Jens H.E. Christensen, Ernst Hansen, David Lando. Confidence sets for continuous-time rating transition probabilities[J].Journal of Banking & Finance, 2004,28(11): 2575-2602.

[36] Kusy M I,Ziemba W T.A bank asset and liability management model[J]. Oper Res, 1986,34(3):356-376.

[37] Leonard C. MacLean, Rafael Sanegre, Yonggan Zhao, William T. Ziemba. Capital growth withsecurity[J].Journal of Economic Dynamics & Control, 2004,28(2):937-954.

[38] Mulvey J M, Ruszczynski A. A new scenario decomposition method for large-scale stochastic optimization[J]. Oper Res, 1994,43:477-490.

[39] Consigli G, Dempster M A H. Dynamic stochastic programming for asset liability management[J]. Annals of Operation Research. 1997, 70:110-123.

[40] 迟国泰, 朱战宇, 徐王争. 基于综合风险约束的贷款组合优化决策模型[J]. 大连理工大学学报,2000,40(2):245-248.

[41] Sheedy. E.; Trevor, R.; and Wood, J. Asset-allocation decisions when risk is changing[J]. Journal of Financial Research, 1999, 22(3):301 一 15.

[42] 庄新田，黄小原.银行资产负债管理的模型及其优化[[J].系统工程理论方法应用，2001. 10(2): 167-171

[43] Gjerde, O., Semmen, K. Risk-based capital requirements and bank portfolio risk[J]. Journal of Banking and Finance, 1995, 19(7): 1159-73.

[44] 陈道斌.商业银行资产负债最优化管理方法研究[J].金融论坛，2001, (1):8-14.

[45] Shing, C., and Nagasawa, H. Interactive decision system in stochastic multiobjective portfolio selection[J]. International Journal of Production Economics, 1999, 60-61:187-193. [73]

[46] Brinson, G.P, L. R. Hood, and G. L. Beebower, Determinants of Portfolio Performance[J].Financial Analysts Journal, May/June, 1986, 51(1):4048.

[47] Choey, Mark; Weigend, Andreas S. Nonlinear Trading Models Through Sharpe Ratio Maximization[R]. New York University, Salomon Center, Working Paper, S197/40, December 1997,pp.22.

[48] Whitelaw, Robert F.. Time-Varying Sharpe Ratios and Market Timing[R]. New York UniversitJ},Salomon Center, Working Paper: 5197/29,November 1997, 26 pp.

[49] Kevin Dowd. A value risk approach to risk-return analysis[J]. Journal of Portfolio Management, Summer 1999, 2(4): 60-67.

[50] Bennett W. Golub;Leo M Tilman. Measuring yield curve risk using principal components analysis, value at risk, and key rate durations[J]. Journal of Portfolio Management, Summer 1997, 23(4): 72-84.

[51] Jarrod W Wilcox. Better risk management[J]. Journal of Por 晌 lio Management, Summer 2000, 26(4): 53-64.

[52] J Tim， S. W， and Litterman, R. Building a coherent risk measurement and capital optimisation model for financial firms[J]. Freny Economic Policy Review, 1998, (October):171 — 182.

[53] 迟国泰，秦学志，朱战宇.基于单位风险收益最大原则的贷款组合优化决策模型[J],控制与决策,2000. 15 (4): 469-472.

[54] Li D., Ng Wan-Lung. Optimal dynamic portfolio selection:Multiperiod mean-variance formulation [J].*Mathematical Finance*, 2000,10(3):387-406.

[55] Tokat Y., Rachev S. T.; Schwartz E. S. The Stable non-Gaussian Asset Allocation: A Comparison with the Classical Gaussian Approach[J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2003, 27 (6): 937–969.

[56] Puelz A. V. Asset and liability management: A stochastic model for portfolio selection[A]. Proceedings of the 1997 IEEE/IAFE Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering[C]. NY, USA, 1997. 36-42.

[57] 程迎杰,秦成林. 商业银行资产负债管理的随机规划模型[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2000,6(6):485-490.

[58] 杨智元. 动态的无风险资产组合[J]. 管理工程学报, 2003, 17(3): 105-107.

[59] 潘雪阳.多期行为资产组合模型[J]. 中山大学学报(自然科学版),2005,44(1):21-24.

[60] Rsmussen K.M., Clausen J. Mortgage loan portfolio optimization using multi-stage stochastic programming[J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2006, 5(1): 1-25.

[61] Nikolas Topaloglou, Hercules Vladimirou. Stavros A. Zenios. A dynamic stochastic programming model for international portfolio management[J]. *European Journal of Operational Research*, 2006,1(6): 1-25.

[62] 李仲飞, 姚京.安全第一准则下的动态资产组合选择[J].系统工程理论与实践, 2004, 24(1): 41-45,75.

[63] 郭战琴,周宗放. 基于 VaR 约束的商业银行贷款组合多目标决策[J]. 系统工程理论方法应用,2005,14(2):149-152.

[64] Norbert J. Jobst, Gautam Mitra, Stavros A. Zenios. Integrating market and credit risk: A simulation and optimisation perspective[J]. Journal of Banking & Finance, 2006,30(2): 717-742.

[65] Norbert J. Jobst, Stavros A. Zenios. On the simulation of portfolios of interest rate and credit risk sensitive securities[J].European Journal of Operational Research,2005,161(2): 298-324.

[66] Gautam Mitra, Stavros Zenios. Financial decision models in a dynamical setting[J].Journal of Economic Dynamics and Control,2004,28(5):859-860.

[67] Walk H., Yakowitz S. Iterative Nonparametric Estimation of A Log-optimal Portfolio Selection Function[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2002,48(1): 324-335.

[68] MacLean L. C., Sanegre R., Zhao Y., Ziemba W. T. Capital Growth with Security[J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 2004, 28(5): 937-954.

[69] Xiaodong Ji, Shushang Zhu, Shouyang Wang, Shuzhong Zhang. A stochastic linear goal programming approach to multistage portfolio management based on scenario generation via linear programming[J]. IIE Transactions, 2005, 37(10): p957-969.

[70] Fleten, Stein-Erik; Høyland, Kjetil; Wallace, Stein W. The performance of stochastic dynamic and fixed mix portfolio models[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 140 (1): p37-49.

[71] Puelz, Amy V. A Stochastic Convergence Model for Portfolio Selection[J]. Operations Research, 2002, 50 (3):462-476.

[72] Puelz, A. V. Asset and Liability Management:A stochastic Model for Portfolio, Proceedings of the 1997 IEEE/IAFE Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering [C]. NJ, 1997, 36-42.

[73] Karl Frauendorfer, Michael Schürle. Management of non-maturing deposits by multistage stochastic programming[J]. European Journal of Operational Research,2003,151(3): 602-616.

[74] Norio Hibiki. Multi-period stochastic optimization models for dynamic asset allocation[J]. Journal of Banking & Finance, 2006,30(2): 365-390.

[75] Gary P. Moynihan, Prasad Purushothaman,etal. DSSALM: A decision support system for asset and liability management[J]. Decision Support Systems, 2002,33(1): 23-38.

[76] Caouette, J. B.; Altman, E. I.; Narayanan, P. Managing Credit Risk: The Next Great Financial Challenge [M]. New York: John Wiley & Sons. Inc., 1998. 274-281.

[77] Mei Choi Chiu,Duan Li. Asset and liability management: under a continuous-time mean–variance optimization framework[J]. Department of Systems Engineering and Engineering Management, Available online 15 May 2006.

[78] Yarema Okhrin,Wolfgang Schmid.Distributional properties of portfolio weights[J]. Journal of Econometrics, 2006,134(1):235-256.

[79] 王春峰,杨建林,蒋祥林.含有违约风险的利率风险管理[J].管理科学学报,2006,9(2):53-60.

[80] Samuel Hanson, Til Schuermann. Confidence intervals for probabilities of default[J]. Journal of Banking & Finance,2006, 30(8): 2281-2301.

[81] Zheng, Harry. Interaction of credit and liquidity risks: Modelling and valuation[J]. Journal of Banking & Finance,2006,30(2):391-407.

[82] Puelz, A. V. Asset and Liability Management; A stochastic Model for Portfolio, Proceedings of the 1997 IEEE/IAFE Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering [C]. NJ, 1997, 36-42.

[83] 张春妮. 缺口管理在我国商业银行利率风险管理中的运用[J]. 市场周刊·财经论坛，2003，(11)：23-25.

[84] Bauer, W.; Ryser, M. Risk management strategies for banks[J]. Journal of Banking and Finance. 2004, 28, (2): 331-352.

[85] Joseph, F.; Sinkey, Jr. Commercial Bank Financial Management: In the Financial Services Industry [M]. 5th ed., New Jersey: Prentice Hall Inc, 1998. 142-155.

[86] 俞乔，邢晓林，曲和磊，商业银行管理学[M].上海：上海人民出版社，1998，192-195, 573-603.

[87] 吴双. 用持续期管理我国商业银行利率风险的可行性分析[J]. 重庆大学学报(社会科学版)，2004，10(6)：20-21.

[88] 张永成.利率市场化条件下我国商业银行利率风险实证分析[J].广西大学学报,2006,28(3):15-19.

[89] Anwer S. Ahmed, Anne Beatty, Bruce Bettinghaus. Evidence on the efficacy of interest-rate risk disclosures by commercial banks[J]. The International Journal of Accounting,2004,39(3): 223-251.

[90] Gloria M. Soto. Duration models and IRR management: A question of dimensions[J] Journal of Banking & Finance, 2004,28(5): 1089-1110.

[91] Gloria M. Soto. Immunization derived from a polynomial duration vector in the Spanish bond market[J]. Journal of Banking & Finance,2001,25(6): 1037-1057.

[92] Sanjay K. Nawalkha, Gloria M. Soto, Jun Zhang. Generalized M-vector models for hedging interest rate risk[J].Journal of Banking & Finance,2003,27(8): 1581-1604.

[93] 赵天荣. 存续期缺口模型在资产负债管理中的应用[J]. 财经科学，2003，增刊：235-237.

[94] Duan, J.; Sealey, C. W.; Yan, Y. ，Managing banks' duration gaps when interest rates are stochastic and equity has limited liability[J]. International Review of Economics and Finance. 1999, 8(3): 253-265.

[95] 张琦，蒋馥. 期限结构模型在资产负债管理问题中应用的探讨[J]. 预测，2001，20(2)：45-48.

[96] 左晖. 利率变动下的存续期缺口管理和流量比例调整[J]. 武汉理工大学学报(社会科学版)，2003，16(5)：524-527.

[97] Yusuf Jafry, Til Schuermann. Measurement, estimation and comparison of credit migration matrices[J]. Journal of Banking & Finance,2004,28(11): 2603-2639.

[98] Til Schuermann， Joshua V. Rosenberg. A general approach to integrated risk management with skewed, fat-tailed risks[J].Journal of Financial Economics,2006,79(3): 569-614.

[99] Merxe Tudela. Explaining currency crises: a duration model approach[J]. Journal of International Money and Finance, 2004,23(5): 799-816.

[100] 施兵超，杨文泽. 金融风险管理[M]. 上海财经大学出版社，2002，9—31.

[101] Anil Bangia, Francis X. Diebold, Andre Kronimus, Christian Schagen, Til Schuermann. Ratings migration and the business cycle, with application to credit portfolio stress testing[J]. Journal of Banking & Finance 26(2002) 445-474.

[102] Gregory M. Gelles, Douglas W. Mitchell. Increasingly mean-seeking utility functions and n-asset portfolios. The Quarterly Review of Economics and Finance. 2002,(42): 911-919.

[103] 郑锦亚,迟国泰.基于差异系数σ/μ的最优投资组合方法[J]. 中国管理科学 2001, (1):1-5.

[104] Marcelo F., Joachim G... Nonparametric specification tests for conditional duration models[J]. Journal of Econometrics,2005,127(1): 35-68.

[105] 刘湘云.商业银行利率风险计量模型及实证分析[J].广东商学院,2006,2(4):44-46.

[106] 邓黎阳,孙刚. 商业银行利率风险测度方法的现实选择——Fisher-Weil 久期模型的应用[J].国际金融研究,2005,(12):4-11.

[107] Chris M. S.,etal. Bayesian analysis of the stochastic conditional duration model[J]. Computational Statistics & Data Analysis, 2006,50(9): 2247-2267.

[108] Norbert J. Jobst, etal. Integrating market and credit risk:A simulation and optimization perspective[J]. Journal of Bank & Finance, 2006,(30):717-742.

[109] 姜灵敏.银行授信资产组合优化决策模型与求解[J].商业研究,2006,(6):157-159.

[110] Nelsen R B. An introduction to copulas[M]. New York: Springer, 1998.

[111] Embrechts P A, McNeil A, Straumann D. Correlation: Pitfalls and Alternatives[J].RISK. 1999,12 (5), 11-21.

[112] Clemente A D, Romano C. Measuring portfolio Value-at-Risk by a copula-EVT based approach[C]. Working Paper of University of Rome "La Sapienza", 2003.

[113] Rosenberg J V, Schuermann T. A General Approach to Integrated RiskManagement with Skewed, Fat-Tailed Risk[C]. Working Paper of Research and Market Analysis Group, Federal Reserve Bank of New York .2004.

[114] Viviana Fernandez. Risk management under extreme events[J]. International Review of Financial Analysis,2005,14(2):113-148.

[115] Durrleman V., Nikeghbali A., T. Roncalli,. Which Copula is the Right One Operational[C] Research Group of Credit Lyonnais, France, Working Paper, 2000.

[116] Gatfaoui, H.,. How does Systematic Risk Impact US Credit Spreads. A Copula Study,TEAM Pole Finance (UMR 8059 of the CNRS) University Paris I -Pantheon -Sorbonne, Maison des Sciences Economiques, 106-112, Boulevard de&L' Hopital , 75013 Paris, Working Paper, 2003.

[117] Deheuvels P.. A Non-parametric Test for Independence[J] Publications de Institut de Statistique of Universite of Paris, 1981,(26): 29-50.

[118] 常磊. 商业银行消费信贷的风险分析与对策研究[J]. 金融与经济，2006(5):17-19.

[119] Fishburn PC.Foundations of risk measurement, I.Risk as a probable loss[J].Management Science,1984,30(4):396-406.

[120] E.E.Peter.资本市场的混沌与秩序[M].王小东译.北京：经济科学出版社：1999，47-50.

[121] Harlow W V.Asset allovation in a downside risk framework[J].Financial Analysts Journal,Sep.-Oct.,1991.28-40.

[122] 迟国泰, 奚扬,姜大治,林建华. 基于 VaR 约束的银行资产负债管理优化模型[J]. 大连理工大学学报(自然科学版),2002,42(6):750-758.

[123] Peter, S. R. Commercial Bank Management [M]. 5th ed., New York: The McGraw-Hill Companies, Inc. 2002. 199-200.

[124] Wolfgang, H.; Mark, S. The implications of the new capital adequacy rules for portfolio management of credit assets[J]. Journal of Banking & Finance, 2001, 25: 97-114.

[125] Chi Guotai, Xu Cheng, Li Yanxi. Optimal Decision-making Model of Asset-Liability Portfolio for Banks [A]. Proceedings of 2000 International Conference on China Joins the World Trade Organization[C]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technolgoical Literature Publishing House, Aug. 2000. 67-73.

攻读博士学位期间发表学术论文情况

1. 许文,董贺超,迟国泰.商业银行组合贷款动态优化模型研究[J].管理学报(国家自然科学基金委员会管理科学部认定的重要学术期刊，管理学院 B 类重要期刊),2006,3(6):652-661 (本博士学位论文第四章).
2. **Xu Wen**, Chi Guotai,Yang De. A Model of Bank's Loan Decision-making Model based on the nonsystematic risk and accumulative portfolio risk[A], *Proceedings of the 3rd International Conference on Innovation & Management*, **Wuhan University of Technology Press**, Wuhan, China.2006,11, P576-581(本博士学位论文第二章).
3. 迟国泰,许文,王化增.兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型[J].控制与决策(EI 检索源期刊,国家自然科学基金委员会管理科学部认定的重要学术期刊),2006,21(12):1407-1411,1416 (本博士学位论文第五章).
4. 迟国泰,许文,孙秀峰.个人信用卡信用风险评价体系与模型研究[J].同济大学学报(自然科学版)(EI 检索源期刊,管理学院 B 类重要期刊),2006,34(4):557－563(本博士学位论文第一章).
5. 迟国泰,洪忠诚,许文.基于存量与增量全部组合风险最小的贷款优化决策模型[J].管理科学(国家自然科学基金委员会管理科学部认定的重要学术期刊,管理学院 A 类重要期刊),2006.05.25 录用(本博士学位论文第二章).
6. 迟国泰,郑杏果.许文.基于 Monte Carlo 模拟和 VaR 约束的银行资产组合优化模型[J].系统工程理论与实践(EI 检索源期刊，国家自然科学基金委员会管理科学部认定的重要学术期刊，国家自然科学基金委员会管理科学部认定的重要学术期刊，管理学院 A 类重要期刊),2006,26(7):66-76 (本博士学位论文第一章).
7. 迟国泰,吴珊珊,许文.基于EWMA-VaR的企业整体现金流量预测模型[J].预测(国家自然科学基金委员会管理科学部认定的重要学术期刊，国家自然科学基金委员会管理科学部认定的重要学术期刊，管理学院 A 类重要期刊),2006,25(2):49－53(本博士学位论文第一章).
8. 许文,迟国泰,卢丹.基于 copula 函数的贷款组合期限结构优化模型，已投往系统工程学报(本博士学位论文第三章).
9. 许文,迟国泰,杨万武.基于违约损失控制的商业银行多期资产组合动态优化模型，已投往中国管理科学(本博士学位论文第四章).
10. 许文．关于商业银行信用风险评估方法的研究[J].辽宁师范大学学报,2005,28(1):36—38.

11. 许文.浅析银行绩效考核系统实现难点与要点[J]. 中国电子商情,2005,28(8):23.
12. 许文.商业银行贷款辅助决策系统的构建[J]. 中国金融电脑,2004,(9):28-30.
13. 许文.银行中间业务平台的设计[A].2004 全国企业管理控制一体化和软件技术研讨会论文集(中国计算机学会工业控制专业委员会主办)[C],2004,6:296-298.
14. 许文.银行代理国税系统的设计[A]. 2004 全国企业管理控制一体化和软件技术研讨会论文集[C],2004,6:324-326.
15. 王召华，许文.经济货币化过程中货币作用的实证分析[J]. 辽宁师范大学学报,2004,27(4):478—481.
16. 许文.我国城市商业银行的发展与走向.金融时报.2005，02，21（B07）

攻读博士学位期间参加的课题

1. 2005.01-2007.12 基于组合风险控制的银行资产负债管理优化理论与模型，国家自然科学基金项目(70471055)，导师迟国泰主持，本博士为主要参加者。
2. 2005.01-2007.12 银行资产负债管理的资源配置优化决策理论与模型研究，高等学校博士学科点专项科研基金(20040141026)，导师迟国泰主持，本博士为主要参加者。
3. 2005.09.29—2006.08.27 贷款五级分类评价系统，大连市商业银行，导师迟国泰主持，本博士为主要参加者。
4. 2003.10-2004.9 商业银行综合业务系统，大连市商业银行，主持人，获大连市电子信息技术应用项目一等奖。
5. 2004.8-2005.3 客户关系和经营管理系统，大连市商业银行，主持人，获大连市电子信息技术应用二等奖。
6. 2004.9-2005.11 国际结算业务系统，大连市商业银行，主持人，获大连市电子信息技术应用三等奖。

致　谢

硕士毕业工作多年，又入大连理工大学攻读博士学位。值此论文完成之际，掩卷深思，唏嘘感慨。

在长达六年的学习研究中，我的导师邓贵仕教授和迟国泰教授给予了我巨大的关心、指导与帮助。邓老师始终鼓励和引导我在学术研究的道路上，树立信心，克服困难，不断前进。教给我管理科学的研究方法，帮助我将商业银行工作实际与管理科学研究紧密地联系起来，为我的学业和毕业论文确定了方向和奠定了基础。迟老师以其在金融工程和商业银行分析模型领域方面的极高造诣和经验，在论文选题、写作到修改定稿的整个过程中，给予了全面和具体的指导，他的思想不仅对于本论文的构架和写作有益，更对我国商业银行的业务发展，尤其是信贷风险防范有着巨大的指导和借鉴作用。多年来，邓老师和迟老师严谨的治学态度、科学的治学方法，正直宽厚的人格品质以及孜孜不倦的研究作风，给了我无穷的启迪，不仅在学习中，更使我在今后的工作中终生受益。

我特别要感谢我的同事杨万武和芦丹，他们在案例收集、报表分析和数据整理上给予了我大力支持，对于论文的最后定稿给予了巨大帮助。

我还要感谢参加本论文评审和预答辩、答辩工作的各位老师，感谢杨德礼教授、曲晓飞教授、胡祥培教授、党延忠教授、夏春玉教授等对论文初稿所提出的宝贵修改意见，对于论文的完善起到了关键的作用。

感谢我的夫人杨晓云在我思想苦闷时积极动员并支持我攻读博士学位，感谢薛峰同志、迟旭同志的大力推荐与帮助。六年的学习，成为我参加工作后精神上最为充实的一段时光。

感谢大连理工大学对于我的培养和教育，我将用实际行动来回报母校。