

电子科技大学
UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

博士学位论文

DOCTORAL DISSERTATION



论文题目 股票投资组合构建与优化实证研究

学科专业 管理科学与工程

学 号 201011110410

作者姓名 陈 莉

指导教师 潘和平 教授

分类号_____密级_____

UDC ^{注1}_____

学 位 论 文

股票投资组合构建与优化实证研究

(题名和副题名)

陈 莉

(作者姓名)

指导教师

潘和平

教 授

电子科技大学

成 都

(姓名、职称、单位名称)

申请学位级别 博士 学科专业 管理科学与工程

提交论文日期 2015.4.27 论文答辩日期 2015.6.11

学位授予单位和日期 电子科技大学 2015 年 6 月 29 日

答辩委员会主席_____

评阅人_____

注 1: 注明《国际十进分类法 UDC》的类号。

EQUITY PORTFOLIO CONSTRUCTION AND OPTIMIZATION WITH APPLICATIONS

A Doctor Dissertation Submitted to

University of Electronic Science and Technology of China

Major: **Management science and engineering**

Author: **Chen Li**

Advisor: **Pan Heping**

School : **School of economics and management**

独创性声明

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

作者签名：_____

日期： 年 月 日

论文使用授权

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

（保密的学位论文在解密后应遵守此规定）

作者签名：_____

导师签名：_____

日期： 年 月 日

摘 要

投资组合及其优化的概念最先是Markowitz在1952年提出的。这一定量化模型被称为均值方差模型，是投资组合理论中的经典模型。半个多世纪过去了，投资组合领域后来的研究都可以认为是对经典投资组合理论的进一步深入和扩展。

本文中给出了基于定量的投资组合的管理方法，该方法主要包括两个阶段，一是股票挑选阶段，二是投资组合优化阶段。模型的核心思想主要来源于投资的过程主要包括选股及分配投资权重。本文在个股的挑选上采用了公司的财务指标来对个股进行挑选。挑选出的股票通过多目标决策方法和最小半绝对偏差准则两种方法计算投资组合的权重。

首先，本文对公司财务指标选股、现代投资组合理论，以及多目标决策理论的发展现状进行了介绍与回顾。本文研究的主要内容就是如何在复杂的环境下构建投资组合管理模型。

本文讨论了基于公司价值信息融合下的选股问题。本文通过对企业财务指标的分析与研究，建立了一套考虑公司成长与价值的规则对股票进行筛选。并采用了上海证券市场上的数据对本文的股票筛选机制进行了实证研究，说明了该方法的有效性。

在选股的基础上，本文给出了组合多目标决策方法来研究投资组合的权重确定问题。文中所给出的组合多目标决策方法是基于带约束的模糊层次分析法(CFAHP)与逼近于理想解的方法(TOPSIS)来构建的组合模型。这种组合方法克服了两种方法单独使用时的缺点。单独使用TOPSIS方法时，备选方案的属性权重通常情况下具有很强的主观性，通过带约束的模糊层次分析法(CFAHP)对三角模糊数进行带约束的处理，解决了在不确定环境下的属性权重计算问题，同时克服了普通算子应用于模糊数时容易导致结果无效等问题，从而获得了客观权重向量；再次，组合方法中通过TOPSIS方法对备选方案的投资权重进行计算，可以减少使用传统层次分析法进行排序时所需的计算量。

文中给出了一种考虑多因子的最小半绝对偏差准则模型。这个投资组合模型同Markowitz均值-方差模型相比，将下半方差波动视为风险，这与现实情况更相符合。基于上述原因，文中将宏观因素作为模型的影响因子进行研究与讨论。本文所给出的模型是在考虑交易费用的基础上，是可以处理多阶段的投资组合模型。文中所给出的最小半绝对偏差准则的投资组合模型在进行交易管理的过程中，为了防止大幅回调的发生，在实证研究的过程中，进一步加入了止损机制。上面

的描述中可以看出，文中所给出的是考虑了交易费用，并引入了宏观因子的最小半绝对偏差准则模型。

本文对在采用财务指标选股的基础上，进一步应用组合多目标决策方法和最小半绝对偏差模型方法分别进行了实证研究，给出了方法的具体实施步骤及计算结果。首先，应用公司财务指标对股票进行筛选，选取适量的相对较优的个股，再运用组合多目标决策方法和最小半绝对偏差准则进行投资组合的研究，研究的结果表明了该方法的有效性与实用性，为投资决策提供了很好的理论支持。在文章的最后，对全文进行了总结，并提出了进一步研究的方向与思路。

总之，本论文提出了一个具有综合性的、定量的投资组合管理方法。本文研究工作的主要贡献如下：1)首先通过量化过程对股票进行筛选，再进一步构建股票投资组合；2)将多目标决策过程的来确定股票投资组合权重；3)在行业投资组合阶段，采用了最小半绝对偏差准则及多因子模型，来进行投资组合优化；4)在投资组合的管理过程中，加入了止损机制，是对经典投资组合理论的延伸。

关键词：股票筛选，多目标决策，CFAHP，TOPSIS，最小半绝对偏差

ABSTRACT

The notion of diversification in investment and portfolio optimization was first formulated into a quantitative portfolio theory by Markowitz (1952). This work was then called the Mean-Variance Model of the classical portfolio theory. More than a half century since then has passed, virtually all the follow-on research works in portfolio theory can be considered as deepening and extensions of the classical portfolio theory.

This thesis advances a quantitative and dynamic methodology for equity portfolio management, which consists of two innovative processes – stock selection and portfolio optimization. The methodology is motivated by an investment strategy that a general equity portfolio should be constructed first on the stock level and then considered on the portfolio. For stock selection, a set of corporate financial ratios are carefully chosen and used for stock screening. Selected stocks are weighted into a stock portfolio through a multi-objective decision process and minimum semi-absolute deviations.

This thesis provides a literature review on the modern portfolio theory, value and growth investing and multi-objective decision making. The research problem of the thesis is then clarified as how to construct and manage an equity portfolio in the dynamic market environment.

This thesis discusses investment strategies for stock selection based on corporate value information fusion. A set of corporate financial ratios are selected, based on which an approach is established for stock screening. Evidence from Shanghai stock market on stock screening with this approach is provided.

This thesis describes a new model of multi-objective decision-making for determining the weight of stocks in a portfolio, which combines the constrained fuzzy analytic hierarchy process (CFAHP) with (TOPSIS). This combination overcomes many shortcomings of CFAHP or TOPSIS if used alone. When using the TOPSIS method separately, alternatives' attribute weights have strong subjectivity. This combination method obtains the attributes' weights by using the constrained fuzzy AHP to deal with the triangular fuzzy number, and meanwhile overcomes the invalid results by application of ordinary operator into fuzzy number. The combination method obtains the objective weight vector. In the combination method, the TOPSIS method is applied to rank the alternatives and reduces the huge computation in traditional AHP method.

This thesis advances a portfolio model based on minimum semi- absolute deviations criterion, in which a multi-factor model is included. This portfolio model has advantages over Markowitz' s mean-variance model in that only downside volatility is treated as risk. In the literature, many portfolio models do not consider the impacts of the external economic environment. This thesis has found out a set of macro-economic indicators as influence factors that are included in a multi-factor model as a part of the portfolio optimization. This portfolio model has incorporated the transaction costs into the optimization process, and it can deal with multi-stage portfolio optimization. The methodology of portfolio management developed in this thesis goes beyond portfolio optimization, reaching trade management. To avoid large losses dues to dramatic price fall, a stop-loss mechanism is implemented to manage open trades.

This thesis documents the implementation steps and the results of empirical test of the proposed portfolio models and methodology on the historical data. First of all, choose suitable stocks from the set of corporate financial ratios; secondly use the combination of the multi-objective decision-making method and minimum semi-absolute deviations portfolio to do a research, the study results show that the method is effective and practical. It also provides a good theoretical support for investment decision. At the end of the article, the full text is summarized, and put forward the direction of the further research and thinking.

In summary, this thesis has proposed and developed a comprehensive methodology for quantitative and equity portfolio management. The contributions of this work include four points: 1) stock screening , a set of corporate financial ratios are carefully chosen and used for stock screening; 2) a multi-objective decision-making procedure for stock portfolio weighting; 3) a portfolio model based on minimum semi-absolute deviations criterion with a multi-factor model for sector index portfolio optimization; 4) a stop-loss mechanism introduced to manage open trades as an extension of classical portfolio theory.

Keywords: stock screening, multi-objective decision-making, CFAHP, TOPSIS, minimum semi-absolute deviations

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究的背景	1
1.1.2 研究的意义	2
1.2 研究问题的提出	2
1.3 本文的研究内容与结构	3
1.4 本文的主要创新点	5
第二章 研究综述	7
2.1 选股模型的概述	7
2.2 价值投资理论的文献综述	8
2.2.1 价值投资理论在国内的发展	9
2.2.2 基于价值投资有效的验证	9
2.3 多目标决策方法概述	10
2.3.1 多目标决策问题的构成要素	12
2.3.2 权重确定方法	13
2.4 多目标决策的文献综述	14
2.5 投资组合理论	16
2.5.1 投资组合发展的相关理论	19
2.5.2 国内的发展研究现状	25
2.6 本章小结	27
第三章 基于成长与价值的投资策略	29
3.1 引言	29
3.2 公司财务信息集成模型的指标选取	31
3.2.1 净利润的定义	31
3.2.2 营业收入的定义	31
3.2.3 现金流量与现金比率的定义	32
3.2.4 净资产收益率的定义	33
3.2.5 组合财务指标选股规则	34
3.3 基于公司价值信息的股票选择方法的实证分析	35
3.3.1 数据来源与样本的选取	35

3.3.2 实证结果	36
3.3.3 结果分析	41
3.4 本章小结	42
第四章 组合CFAHP和TOPSIS方法在投资组合方面的应用	44
4.1 多目标决策概述	44
4.2 层次分析法	45
4.3 带约束的模糊层次分析法(CFAHP)	49
4.3.1 带约束的模糊算子	50
4.3.2 CFAHP方法介绍	50
4.3.3 实证研究	53
4.4 TOPSIS 方法的介绍以及其应用	59
4.4.1 TOPSIS模型介绍	59
4.4.2 基于CFAHP 和TOPSIS方法的实证研究	61
4.4.3 结论	67
4.5 本章小结	68
第五章 最小半绝对偏差准则的投资组合模型	69
5.1 研究背景	69
5.2 投资组合模型介绍	69
5.2.1 半方差模型	70
5.2.2 考虑带有交易费用的投资组合模型	71
5.2.3 最小半绝对偏差准则下的投资组合模型	72
5.2.4 本节小结	76
5.3 基于最小半偏差准则的实证研究	76
5.3.1 研究数据的选取与预处理	76
5.3.2 模型I:基于沪深300指数与国债的实证研究	80
5.3.3 模型II: 基于行业指数与国债的实证研究	83
5.4 MSAD模型在个股上的应用	90
5.5 本章小结	92
第六章 总结与展望	93
6.1 本文工作总结	93
6.2 研究与展望	94
致 谢	96
参考文献	97
攻博期间取得的科研成果	105

第一章 绪论

金融学的一个核心问题是研究资本如何进行有效的配置。资本市场本身是一个风险极高的市场，它受到国内外经济形势，经济政策等因素以及资本市场本身的运动规律的影响，鉴于此，对市场走势的预测存在许多困难因素。如何在风险环境下，选择适合投资的资产，对资源进行分配和利用是现代社会中投资者和金融机构所面临的一个重要问题。在市场经济中这种配置主要是通过资本市场来完成的。资本市场从广义上来讲包括证券市场，货币市场，以及类型各异的银行，储蓄机构，投资基金，养老基金，保险市场等。而市场的参与者中包括个人，企业，政府和各种的金融机构，参与者在参与资本市场交易的过程中，形成了资本同资产之间的供需关系，再通过供需关系指导交易价格，而价格又反过来指导着资本和资产的供求关系以及其最终配置。随着社会的不断发展与进步，人们在处理资产分配问题（即所谓的投资组合问题）时，总是在不断地寻求能使投资的风险低而收益高的策略。为了避免盲目投资所带来的损失，通常使用数学方法对市场上的历史数据进行分析与研究，建立起最优化模型，设计出适合于投资决策的优化算法来反映股票价格地变化和走势，给投资者提供重要的技术参数和更好的投资方案，也可以为经济理论现象的解释提供新方法和新思路。

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究的背景

改革开放以来，我国社会主义市场经济取得了飞速地发展，人们物质生活水平和经济收入都得到了显著地提高。我国在加入世界贸易组织（WTO）之后，与国际金融界之间的联系变得越来越紧密，国内资本市场的发展与挑战并存，股票、期货等金融概念与产品已经深入到了普通民众的生活中，投资理财的意识增强，投资理财的需求也与日俱增。在金融市场波动频现的情况下，无论是投资机构还是个人都需要关注如何实现收益最大化，风险最小化的投资组合。

金融投资的风险包括系统性风险和非系统性风险。系统性风险也被叫做不可控风险，是在宏观因素的作用下引起的，具有影响时间长，波及范围广，并且难以规避等特点。非系统性风险即可控风险，是特定股票发生的风险，是可以通过投资组合方法来规避的风险。金融学的核心问题是研究资本如何实现有效的配置，投资组合理论是现代金融学的重要组成部分，其核心问题是研究在风险环境下如何对资源进行有效地分配和利用。在市场经济中这种配置主要是通过金融市场来

完成的。投资组合可以使投资者在实现收益最大化的同时，把由股市下跌的风险控制在可承受范围。投资组合理论主要研究了在各种复杂的不确定环境下，投资者持有的资产如何实现有效配置从而实现期望收益最大化，并使得投资组合优化模型及方法研究风险最小。对投资组合优化问题的研究，无论是在理论上还是在实际应用中都有着十分重要的学术价值及现实意义。

1.1.2 研究的意义

投资组合的发展大致经历了三个阶段。第一个阶段即所谓的投机阶段。在20世纪30年代以前，市场中的交易者可以凭借雄厚的资金实力和赌徒般的心理，对市场价格进行操纵，从而获取暴利，这个时候的市场犹如赌场一般，市场参与者并不需要高深的技巧。第二个阶段是投资管理的职业化阶段。以美国在1933年和1934年颁布的《1933年证券法》和《证券交易法》为标志，市场开始注重于职业道德标准的提高，以及操作过程的规划化、标准化，并注重于树立良好的社会形象，逐步开始规范公平交易的机制，建立自律监督机构等。第三个阶段是科学计量化阶段。在这个过程中，开始注重于投资理论的研究，并逐步把统计学等数学知识与投资理论相结合，使得科学计量化方法进入到投资领域。

现代投资组合理论起源于1952年Harry M. Markowitz发表的论文《Portfolio Selection》^[1]，第一次从数理经济学角度，通过均值-方差模型揭示了如何通过分散投资在风险和收益之间进行权衡，是现代金融学的核心内容之一，是随着应用数学知识以及计算机科学技术的不断发展与结合，其知识在投资领域的研究与应用使得投资组合的理论研究得到了进一步的发展。投资组合在我国有着广泛的应用，研究如何实现收益最大化，风险最小化的投资组合具有现实的意义。

1.2 研究问题的提出

从理论层面来看，Markowitz的均值-方差模型，以及学者结合投资者心理进行改进的其他风险度量方法模型，给予风险因素很多的关注，这是它们一个共同的缺点。事实上，对于参与市场的投资者来说，风险和收益都是需要共同考虑的因素。现代投资组合理论的市场前提假设条件是基于完美的市场条件下的假设，是精确的并且理想的。然而，在现实环境中，上述假设条件并不能完全成立，它只是现实情况的一种近似，因此很多学者着手研究更与现实情况相接近的模型。事实上，在运用均值-方差模型进行投资组合时，投资者面临着数据输入的复杂性以及参数估计的困难性等问题，使得人们很难利用这一方法来对投资过程给予必要的指导。基于早期投资组合模型在应用方面存在的问题，以及投资组合的理论

对投资者投资行为的指导作用，使得投资组合模型的研究具有现实意义，后来大量的学者着手改进了原有的模型，并不断结合新兴学科的知识以及智能算法等寻找新的模型与研究方法，使得现代投资组合理论得到了不断的丰富与完善。

从现实需求来看，改革开放以来，我国的经济建设和资本市场都取得了很大的发展。但从客观情况分析，我国的资本市场与发达国家相比还是有一定的距离，总的来说没有发达国家的资本市场成熟，还有需要完善的空间。我国资本市场中存在大量的投机套利行为，资本市场在宏观经济、投资者观念等因素的作用下跌宕起伏，所以我们迫切的需要进一步完善资本市场，从而为投资者提供一个成熟的市场。现代投资组合理论就可以作为投资的理论基础供相关的投资者学习，从而为投资过程提供指导。我们在现代投资组合理论方面的研究较发达资本市场晚，但近年来随着资本市场的不断发展以及学者们在这方面做了大量的研究工作，我国也在这方面的研究也取得了显著的成果。随着我们资本市场的不断发展与完善，探索并研究适合于我国市场的现代投资组合理论是投资者在市场中取胜的关键。

本文选题旨在基于公司成长与价值信息选股的基础上，利用组合多目标决策来进行投资组合，并研究摩擦市场情况下应用基于最小半绝对偏差准则的投资组合优化模型的有效性以及在我们资本市场中的应用问题。在当前国内和国际金融环境的大背景之下，更为有效的投资组合优化问题的研究可以为投资者提供相应的理论依据，具有一定的实际指导意义。

1.3 本文的研究内容与结构

本文从我国证券市场出发，研究了基于公司成长与价值的选股问题，并在此基础上给出组合多目标决策和最小半绝对偏差准则在投资组合方面的应用。首先，文中对选股策略的发展、组合多目标决策和投资组合理论国内外相关研究进行了回顾，在此基础上，本文给出了考虑公司财务指标选股的选股策略，并进行了实证研究；其次，在选股的基础上，给出了组合多目标决策方法和最小半绝对偏差准则在投资组合上的实证研究与分析。本文的研究内容和结构安排如下：

第一章是绪论部分，在这一章中，首先对选题的研究背景及意义进行了介绍；其次，给出了本文的研究内容与结构，介绍了每一章的大体研究内容，从整体上对本文的框架进行了解。

第二章是文献综述部分，在这一章中介绍了基于公司财务信息选股、多目标决策和投资组合领域国内外的研究现状及特点。首先对基于公司财务方面选股的研究进行了概述，给出了基于公司财务报表选股的发展及其相关研究；其次对多

目标决策的方法进行了概述，介绍了多目标决策的构成要素以及权重的确定方法，并对多目标决策相关文献进行了介绍；再次，介绍了投资组合的理论起源及其在不同环境下的发展；最后，给出了在上述领域中值得关注与研究的问题。最后，介绍了本文的主要创新点，从整体上对文章的脉络进行大体的了解。

第三章针对第二章中的选股研究，进一步说明了投资过程中选股的重要性，并在简单介绍了常用的投资选股策略后给出了基于公司成长与价值信息集成的选股策略，并针对文中所给出的选股策略，详细地介绍了相应的财务指标的含义及其意义，最后将文中所给出的选股策略在2004年到2013年，共10年的基础上进行了实证研究，将每一年所得到的年收益同上证指数进行了比较，并通过 t 检验验证了文中所给出的选股策略的有效性。

第四章针对第二章中的多目标决策方法问题，在基于公司成长与价值的选股策略的基础上，研究了其在投资组合方面的应用。在这章中，对多目标决策方法进行了一个简单的概述，介绍了多目标决策方法中十分经典和常用的层次分析法，通过引入三角模糊数对传统的层次分析法进行了改进，但是由于经典算子作用于三角模糊数会导致结果的无效性，基于这个原因，将带约束的算子作用于模型层次分析法来解决这个问题，最终得到了改进后的带约束的层次分析法。在本章中，将带约束的模糊层次算法用于确定属性的权重问题，而将TOPSIS方法用于对股票的投资组合的权重确定问题。这样做的原因是因为通过带约束的层次分析法可以得到较为客观地得到属性的权重向量，从而避免了在TOPSIS方法中，对股票的属性权重赋权过程中的主观性；而通过TOPSIS方法来对备选方案进行投资组合，可以减少直接通过层次分析计算投资组合权重时所需要的大量计算。通过上述的组合方法使得属性的权重具有客观性，又很大程度的减少了模型的计算量，通过实证研究证明了模型的有效性。

第五章主要提出了基于最小半绝对偏差的投资组合模型。事实上，在投资的过程中，投资者总是期望获得高过预期的收益，所以在均值方差模型中将高于预期收益的部分也是作为风险来度量的，是不符合人们预期的，针对这一缺点，本文是采用半绝对偏差来衡量风险的，更接近与现实情况。在接下来的部分，主要是对最小半绝对偏差准备的投资组合模型进行了实证研究。并从实证研究的角度，对模型中所需要的数据的获取以及数据的预处理进行了介绍，考虑到交易费用对组合资产的收益率会产生很大的，在模型的实证研究中，加入了带有比例交易费用的情况，并基于沪深300指数、行业指数进行了实证研究，通过对实证结果分析以及其在子时期的表现，验证了该模型的有效性以及实用性。在结合前面章节的知识，研究了基于最小半绝对偏差准则的动态投资组合在多目标决策选股下的

表现问题。通常情况下，在投资组合模型的研究中，人们总是将资产池里面的所有资产作为投资标的，只是通过投资权重的大小来进行调节，并没有对资产池里面的资产进行挑选，本文首先通过选股方法对资产池里面的资产进行一个挑选，使得资产池里的资产相对较优，然后再进行投资组合，从而提高组合资产的收益率。投资组合模型对投资者的投资过程是非常有用的指导工具，能够为投资者在决策的过程中提供非常重要的参考依据。

第六章主要是对本文的研究内容进行了一个比较系统全面的总结，并结合未来的研究方向进行了展望。

本文主要的研究过程与框架如图 1-1所示：

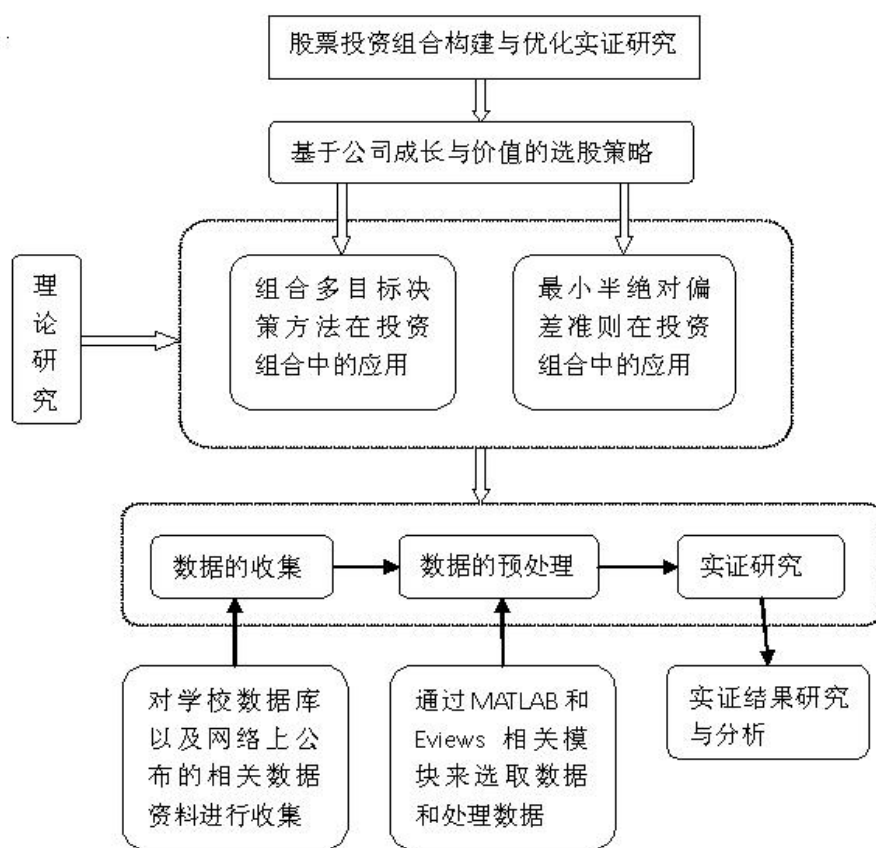


图 1-1 论文研究框架

1.4 本文的主要创新点

1952年Markowitz的均值方差模型^[1]问世，标志着现代投资组合理论的诞生，它是现代金融学研究的核内容之一。均值方差模型从数理经济学的角度，阐述了如何在风险和投资收益之间通过分散投资来进行权衡。随着金融市场的全球化以及新兴交叉学科的不断发展和应用，其知识在投资领域表现出了强大的生命力，

将新兴交叉学科的理论方法应用于股票的选取与投资组合领域，对我国指导投资者以及规范化资本市场具有十分重要的现实及理论意义。本文在国内外研究的基础上，主要研究了基于公司成长与价值信息集成选股的基础上利用组合多目标决策算法以及最小半绝对偏差准则的投资组合理论，本文的创新点主要包括以下几个方面：

1、在证券市场中，投资者进行投资的过程中，首先对沪市中所有的上市公司进行分析，挑选出符合条件，具有成长与价值的公司进行投资，从而获取一定的投资回报。本文从上市公司的财务数据出发，给出了能够反映公司成长与价值的指标，并根据这些指标挑选出满足条件的股票进行投资。在实证研究的部分，本文给出了从2004年到2013年共10年的实证研究结果并同大盘指数进行了比较，证明了选股指标的有效性。

2、融合带约束的模糊层次分析法、TOPSIS方法对股票进行投资组合研究。研究中针对TOPSIS方法在对股票的属性进行赋权时带有很强的主观性，通过模糊层次分析法获得在不确定环境下的属性的权重计算问题，在实际计算的过程中对三角模糊数进行带约束地处理，克服了普通算子应用于模糊数时容易导致结果无效的问题，从而获得了客观权重向量；再通过TOPSIS方法对股票进行投资权重的计算，使得用传统的层次分析法进行排序时所需要的计算量大大减少。通过将上述的组合方法应用于股票的投资组合，克服了各个方法单独应用时的缺陷，同时给投资者在考虑投资组合的过程中提供了重要的工具。

3、通过对均值方差模型进行分析，提出了用最小半绝对偏差准则来度量投资者的风险。事实上，在投资组合研究中，大多数学者都只考虑了资产本身的预期收益，并没有考虑外部环境所带来的具体影响，本文通过将宏观因子引入到模型中，给出了考虑宏观因素影响下的基于最小半绝对偏差准则的投资组合模型。在这一部分的实证研究过程中，交易频率是以季度为单位的，即通常情况下一个季度调整一次仓位，并且在实际的交易过程中，考虑到忽视交易费用将会导致严重的结果，且在持仓的过程中可能会发生一些极端的情况，比如，个股由于突发事件导致股价巨幅下跌，因此考虑交易费用，以及在持仓期间加入止损是非常必要的。

在论文的研究过程中，分别给出了相对应的实例研究，验证了算法的有效性，为投资决策提供了良好的理论支持。现代投资组合理论从问世以来就获得了广泛的关注。本文中所提出的方法具有很好的效果，鉴于新兴学科以及交叉学科理论对现代投资组合理论表现出强大的生命力，因此，大力研究相关领域具有非常重要的现实意义。

第二章 研究综述

本文从上市公司的财务指标出发，挑选出具有成长与价值的股票，首先通过等权重的投资方法研究文中所给出的方法的有效性，然后再结合组合多目标决策方法和最小半绝对偏差准则构建投资组合策略，本文在实证研究的过程中，主要用到了上市公司财务报表中的数据，以及组合多目标决策方法在投资组合方面应用，最后文中讨论了基于最小半绝对偏差准则的投资组合方法的有效性，主要涉及到宏观指标的应用。因此本文的文献综述主要从选股模型、多目标决策方法、最小半绝对偏差准则在投资组合理论方面进行了概述。

2.1 选股模型的概述

股票市场是从买卖荷属东印度公司的股票演变而来的，而最早的股票市场则出现在美国。1990年，我国股票市场成立，实现了从无到有，从最开始的八只股票到现在的2000多只股票，发展速度非常迅速。在我国股票市场不断完善的过程中，造就了一大批的年轻富豪。在不缺少财富神话的股市，投资者们前赴后继的参与到股票市场的博弈中，无论是个人投资者还是机构投资者都希望能够挑选出具有成长价值的股票，从而获得较好的投资收益。

我国的股票市场同西方国家的股票发展历史相比还很年轻，只有短短的二十来年。中国股市在1995年经历了疯狂炒作高转送、拆股等消息的年代。四川长虹、深发展等绩优股在1996和1997年的行情，使得投资者们接触到了绩优股的投资理念。后来全球投资网络科技股的浪潮使得投资者把基本面分析完全抛在了脑后，直到2001年广夏事件的曝光，使得A股市场陷入了大熊市之中。在熊市中，投资者们开始重点关注基本面表现良好的股票，此时关注公司价值的投资理念得到广大投资者的认同，一大批的以此理念为指导的基金和信托取得了良好的投资回报率。日益增多的机构和研究者在价值投资方面进行了研究。随着价值股在2006年和2007年中表现优异，使得价值投资成为了机构和个人投资者追从的投资理念，但2008年的股市大跌，也使得人们怀疑价值投资理念的正确性。

回顾我国证券市场的发展过程，从1993年证券市场走向全国时是1558点，而到2013年12月31日，指数也不过只有2109点，涨幅共35%，其复合年收益率甚至比不过一年的定期利率。但在此期间却不难发现表现良好的股票，例如，涨了10几倍的茅台，涨了10倍的云南白药，涨幅超过5倍的个股更是比比皆是。同时，在股市中诞生了一批的年轻富豪。

通过上面的研究以及欧美国家对价值投资理念上百年的验证,充分说明价值投资理念的有效性。事实上,由于我国股市发展的历程较发达国家短,我国股市投资的理念也不如西方国家成熟,投资者在投资的过程中常常存在非理性的行为,特别是在中小投资者中。例如,从众行为,投资者常会受到他人行动的影响,从而改变自己原来的决定,而采取和大多数人相同的行为;投机行为,投资者关注股票价格短期的变化,在股票上涨时买入股票,在股票下跌时卖出,没有关注股票本身的价值。投资者的非理性行为,常常导致投资回报不高,甚至出现较大亏损的可能。面对风险与机会并存的股票市场,面对市场中多样的投资理念,投资者如何选择适合的投资模型,从而进行理性的投资,是一个值得关注与研究的问题。

2.2 价值投资理论的文献综述

在1934年,本杰明·格雷厄姆同大卫·多德共同出版了《证券分析》^[2]这本书,是价值投资理念诞生的标志。赫赫有名的投资大师沃伦巴菲特即是格雷厄姆的学生。基于价值投资的理论认为:无论何种投资标的都有其内在价值,通过对投资标的基本面进行分析可以寻找出标的内在价值,当发现价格低于其内在价值的标的时,买入该标的并持有到价格接近其内在价值的时候即可获利。

格雷厄姆在《证券分析》^[2]中强调分析的对象主要是资产负债表中的有形资产部分。为了减少投资组合的波动性,以及对个股判断的失误所带来的损失。格雷厄姆在投资的过程中,十分重视投资组合的安全边际,只有当股票价格对于每股净资产来说,相对较低时才进行买入操作,他认为在投资的过程中,要避免市场波动所带来的干扰。但是在格雷厄姆的投资生涯中所获得超额收益仅高于市场平均水平两个百分点。

菲利普·费雪在《怎样选择成长股》^[3]一书中提出了挑选成长股的投资理念,即在投资的过程中,挖掘未来具有成长潜力的股票来获得超额收益。格雷厄姆强调的是通过有形资产来衡量企业的内在价值,而费雪注重的是企业在成长的过程中所带来的超额收益。

巴菲特的投资理念是格雷厄姆和费雪投资理念的融合。巴菲特会寻找优质的股票在市场情绪悲观或者公司在经营过程中暂时陷入困难时以较低的价格买入股票,巴菲特通过长期持有具有安全边际和成长性同时存在的股票,成为了全世界投资界的传奇人物。

由于国外证券市场的发展与研究时间都比我国的时间要长，所以我国证券市场的发展借鉴了海外市场大量的发展经验。海外大量的投资者从不同的角度研究了价值投资的理论，为后来者进行价值投资研究奠定了坚实的基础。

2.2.1 价值投资理论在国内的发展

在国内曾经专注于价值投资的代表性人物是但斌和李驰，他们两位都是私募基金的老总。但斌在其专著《时间的玫瑰——但斌投资札记》^[4]中叙述的投资哲学，有“中国巴菲特”之称。他认为在当前中国经济高速发展的时代背景下，价值和成长相互之间没有抵触性，投资者可以在遵循安全边际理论的同时，长期持有具有良好发展前景的优质公司股票，随着公司的发展与成长而获取更高的利润。通过这种投资方式，但斌先生在过去的投资中获取了8倍的投资收益。在中国价值投资人中，李驰^[5]先生通过学习各个投资大师的理念，学习的对象不仅有巴菲特还有索罗斯等人。他的投资理念较其他人也很独特，首先运用巴菲特的价值投资方法来选择进行投资的股票，然后在买卖操作的时候，采用的却是索罗斯的反身理论。这种操作手法非常激进，通过在低点买入，在高点卖出，在过去取得了高达70倍的超额收益。

国内的价值投资研究人员，从不同角度对该理论进行了研究。袁云松^[6]在研究中发现，巴菲特作为最成功的价值投资人，他的投资策略也是随着时间的发展在不断变化的，所以投资者只有根据自己的实际情况结合市场来选择适合自己的投资策略。莫晓东^[6]在分析研究了基于价值投资的各种不同投资期限的收益后，发现价值投资的持股时间并不需要特别长，这与一般的市场投资常识相违背，给出了基于价值投资的持有时间要根据市场的具体情况而定。

2.2.2 基于价值投资有效的验证

价值投资理论在国外经历了长达八十多年的实践检验，其中不乏巴菲特、彼得·林奇等一大批依靠价值投资理念积累巨额财富的投资者。但在国内，价值投资的发展仅仅只有十来年的时间，虽然如此，也有通过价值投资理念获得大量财富的投资者，并且也有大量的学者对价值投资理念进行了研究。

在2002年，我国价值投资的启蒙阶段，孙友群等^[7]从样本数据出发分析了我国市场上上市公司的情况，通过与国外情况的对比发现，说明价值投资在我国市场上的有效性。2003年，王咏梅^[8]在研究高科技公司的股票时，发现具有低市盈率和成长性的高科技股具有投资的价值。李大刚^[9]曾在2004年用行为金融学的理论对中国股市1998年到2002年的数据进行分析，发现使用价值投资理论的投

资策略表现要高于市场平均水平，是有效的策略。2005年，蒋俊贤^[10]在研究中认为，支撑公司股价上行的最根本的原因来自业绩的支撑，并通过建立股票价格同公司业绩相关联的模型，利用历史数据分析，给出了中国股市具有价值投资的结论。

徐成刚^[11]在2006年的文章中，用数据分析了股票收益与市净率、市盈率、成长性等多个指标之间的关联，得出了价值投资在中国股市是有效的结论。孔一峰也通过投资组合的方法验证了价值投资在国内是有效的结论。孙美等^[12]在2008年通过对国内的多个行业进行研究发现，价值投资理论在国内的不同行业也是有效的，认为在现今国内已具有进行价值投资的条件。裘超强^[13]在2008年使用理论研究和实证分析的方法，都得出价值投资理论在当前中国是有效的结论。王静^[14]在2009年分别建立了成长股和价值股的组合模型，得到这两个组合模型的市净率和市盈率，并与市场的平均收益率对比，发现价值股和成长股都比市场平均收益率要高，验证了价值投资理论在中国确实是有效的。还有学者将智能算法同企业的财务信息先结合起来挑选股票，例如：陈荣达^[15]等将启发式算法的支持向量机用来进行投资选择。

在选股的过程中，本文首先在考虑公司成长与价值的基础上对上市公司进行研究，认为考虑公司的成长与价值是投资过程中最终能够战胜市场的制胜法宝。在研究的过程中，从公司的基本面出发进行深入的分析，抓住事物的本质，并且最大程度的衡量公司未来的发展前景与其内在价值，寻找价格偏离其内在价值或者是未来发展看好的股票进行投资，从而获得超额的投资回报。

2.3 多目标决策方法概述

随着人类社会以及科学技术的不断发展与进步，人类日常生活中所面临的各种问题越来越复杂。事实上，在生活和工作中，无论是个人，公司，还是各类机构，都需要应对各类大小事务，并迅速做出判断和选择。通常情况下需要在多个目标中进行选择，这些都是决策问题。例如，对于个人来说，购物过程中日常用品的挑选通常会涉及到价格，质量，厂商，功能等一系列的因素，购物的过程即是一个决策的过程；个人生活中所涉及到的买房、择业等都是决策问题；对于集体或者是社会来说，商场、医院的选择，以及水利工程中水库高度的选择等问题也都是决策问题。1960年，西蒙在《管理决策新科学》中提出：“管理就是决策（文献）”，突出了决策是管理的核心。通常情况下，决策的定义有狭义和广义之分：狭义地认为，决策是人们在不同的行动方案中做出选择；从广义角度讲，决策是人们进行最后选择或判断之前所进行的一切活动，是一种思维过

程。管理学教授里基格·里芬曾提出,“决策就是从两个及两个以上的备选方案中选择一个的过程”,这是因为两个以上的方案才能比较其优劣,如果只有一个方案,就不需要进行比较选择。事实上,在多方案之间进行选择是决策的一个重要原则。多目标决策在实际决策过程中根据决策对象的不同可以分为如下几大类:其中多准则决策(MCDM, Multi-Criteria Decision-Making),是指在具有相互冲突、不可共度的有限(无限)方案集中进行选择的决策,它是分析决策理论的重要内容之一;多属性决策(MADM, Multiple Attribute Decision Making)也称为有限方案的多目标决策,是指在考虑多个属性的情况下,选择最优备选方案或进行方案排序的决策问题,它的理论和方法在工程、军事、技术、经济、管理等领域中都有广泛的应用,是现代决策科学的一个非常重要的组成部分;多目标决策(MODM, Multiple-Objective Decision Making)是指需要同时考虑两个或两个以上目标的决策。如某企业在考虑产品生产的过程中,需要考虑获利的大小,同时又要考虑现有设备以及生产技术能否生产、原材料的供应是否充足等因素来决定生产什么样的产品,只有让这些相互联系、相互制约的各种因素都得到最佳的协调和配合,才能找出最优的决策。上述决策种类所描述的问题的侧重点有所不同,但所要解决的问题大致上是一致的,目标之间都具有不可公度性和矛盾性,本文中所涉及到的概念均为多目标决策。理解和掌握多目标问题的特点,可以更加有效和灵活的研究决策的理论和方法,具有十分重要的意义。多目标决策问题具有如下的特点。

1、决策问题的目标多于一个。通常情况下,对一组项目进行评估时,会从多个角度来进行考察和度量。

2、目标之间的不可公度性(non-commensurable),也可以称为量纲的不一致性,是指各个目标之间没有统一的计量单位或衡量标准,由于需要从各个不同角度来对项目进行度量,因此很难在不同层面之间进行比较。下面以水利工程的建设问题为例,发电量的计算是用装机容量或年发电量来计量的,淹没成本是水库建成后淹没的山林和耕地面积来衡量的,建设水库的投资和移民成本是用货币单位来计算的,水库建成后对周边气候和生态的影响很难用具体的单位来衡量,只能进行定性的说明和描述。又如人才选拔时,会考虑候选人的思想品德、健康状况、学历、才能、工作作风、市场应变能力等个性化指标为决策提供依据,这些指标都没有统一的计量单位。从上面的例子中可以看出,评价目标具有不同的量纲,指标之间不具有可比性,因此,在决策之前,需要对评价指标进行标准化处理。

3、目标之间存在相互博弈的矛盾性。事实上,如果存在能使所有目标都达

到最优的备选方案，则多目标决策问题存在最优解，这时可以不用考虑目标之间的不可公度性问题，但是现实生活中出现这种情况的概率很小。现实环境中，绝大多数备选方案在各个目标之间存在相互博弈的矛盾性，即改进一种目标的效用值，会导致另外一些目标的效用值向相反的方向改变。通常情况下，在一个方案中会同时存在效益型指标和成本型指标，效益型指标的数值越大越好，如收益率，可靠性等，而成本型指标则是指标数值越小越好，如废品率、成本等。在水利工程建设中，如果需要提高水库发电能力，则需要通过提高水库的坝高来提高水库的水位，但同时也会导致淹没成本和工程建设成本的增加，同时对气候环境和生态的影响也会加大，即在提高了效益型指标的同时，导致了成本型指标的增加，体现了目标之间的矛盾性。

4、定性指标和定量指标混合共存。在多目标决策过程中，备选方案的指标之间存在着是否可以量化的区别，有一些指标是明确的，是可以量化的，比如时间、价格、成本、投资、产量等；而另一些指标则是模糊的，只能进行定性化的描述，如在人才选择问题中人的才能、思想品德、工作作风、市场应变能力等。在实际决策过程中，可以利用模糊数学对定性指标进行模糊化处理。

2.3.1 多目标决策问题的构成要素

将多目标决策方法应用到实际问题的过程中，需要从下面几个方面对问题进行分析，即决策主体、指标评价体系、属性集合、决策环境以及决策规则等方面，具体的内容如下：决策主体，决策主体是由一个或一组人形成的决策主体，他们通过获取决策环境中的各类信息，然后根据自己的价值取向、经验等直接或间接地对各个候选方案进行价值判断，最终一起做出的决定。指标评价体系，决策主体在决策过程中希望达到的状态的抽象化表示就是目标。通常情况下，为了阐述清楚多目标决策中目标的细则，需要对目标层进行细化，得到若干的子目标层，通过分层的处理方式，可以得到有效的定量化指标和清晰的定性化指标。属性集合，属性集是在对各个方案的目标进行刻画时的直观描述，是对目标实现程度的直接度量。属性本身需要考虑可理解性和可测性。所选择的属性能充分体系目标的实现程度，即属性的可理解性；能够通过量纲来表述目标的实现水平，即属性的可测性。不仅如此，在决策问题的过程中，还需要考虑属性集的完全性、非冗余性、最小化等特点。在实际决策过程中，决策问题的高度复杂性会使得上述要求不能全部满足，在这种情况下，只能在非冗余性和最小化方面进行适当的取舍。决策环境，决策环境是决策问题中的结构和环境，是多目标决策问题的基础。决策环境中包括决策问题的候选方案，以及这些方案在各个属性上的取值大

小，属性之间的相关性分析，各个属性的理想解和最劣解，以及决策主体对属性权重的分配等。决策规则，在决策的过程中，决策人总是期望能够选择最优的可行方案。而选择的前提就是在各方案中根据其性能进行排序，这一对方案进行排序或分档定级的方法就称为决策规则。

2.3.2 权重确定方法

权重是管理决策中一个非常关键的要素，人们也一直把他作为重要的争论和研究课题。权重是方案中指标重要程度的直接表现，还在方案选择方面起着关键性的作用。权重的概念最先出现在数理统计学中，通过对权重赋予大小不同的数值可以反映评价指标在模型中的相对重要程度。

在多目标决策过程中，评价指标权重的确定是关键的一环，权重的合理性和准确性，是评估和分析结果是否可靠的基础。确定评价指标权重的方法有很多，大致可以分为主观赋权法、客观赋权法和主客观综合赋权法三大类型。

主观赋权法主要是专家依据特长和经验，通过对决策问题进行分析和判断，从而得到各个评价指标的相对重要程度。常用的主观赋权法主要有：专家法、环比评分法、层次分析法和头脑风暴法。从主观赋权法对各个评价指标决策的过程可以看出，这种方法具有很大的为主观影响，其对权重的决策结果常常受到质疑，因而未能得到普遍的认可，具有很大的局限性。

客观赋权法是与主观赋权法相对应的，它是依据决策矩阵中的数据，产生各评价指标的权重，决策过程中排除了人为主观因素的影响，具有较高的客观性。客观赋权主要的方法有：主成份分析法、离差最大化法和熵值法。在实际使用的过程中，客观赋权法会受到方案数量以及评价目标数量上的限制，给快速决策带来了一定程度的困难，除此之外由于客观赋权法没有专家的经验认识，可能会得到与专家经验知识相背离的权重向量，甚至会出现矛盾的情况。

主观赋权法和客观赋权法都有各自的优缺点：主观赋权法是专家在充分考虑和分析决策问题的情况下，依据以往的经验、自身的知识水平来确定不同属性的权重，因而具有较差的客观性，事实上人对事物的判断能力会受到诸多因素的制约，比如：知识结构、个人能力水平以及经验等，并且不同专家对相同属性的赋权也会存在差异性，因而主观赋权法的缺点主要有主观性较强、随意性大，对实际问题缺乏说服力；客观赋权法是依据决策矩阵的数据和定量的计算方法得到属性的权重，具有较强客观性，但是解释力较差，在没有考虑属性的现实情况下，可能出现现实重要程度与属性权重不一致的情况。在现实情况中，大部分多目标决策问题的权重信息均是未知的。

主客观综合赋权法是在综合考虑了主客观赋权法的基础上提出来的, 通过将主观分析判断和客观赋值相结合, 使得权重即可以客观地反映信息, 又能很好的和专家的经验信息相结合。实际上, 综合赋权法解决了决策者的偏好问题, 并有效地减少了主观赋权的随意性, 使得权重的结果更加科学合理, 从而获得了广泛的关注。

2.4 多目标决策的文献综述

多目标决策是现代决策领域的一个重要研究领域, 已经被广泛的应用于各个领域, 比如: 经济学领域, 管理领域等。典型的多目标决策模型包括: 层次分析法(AHP, analytic hierarchy process), 逼近于理想解的排序方法(TOPSIS, technique for order preference by similarity to an ideal solution), 以及改进评估偏好的排序方法(PROMETHEE, Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations)。Satty^[16]于1980年提出了AHP, 并获得了广泛的关注^[17-20]。AHP模型结构清晰并且便于理解。不过为了建立决策矩阵, 它需要属性与备选方案之间建立成对比较矩阵, 会导致巨大的计算量, 并减低准确率。Hwang和Yoon^[21]于1981年提出了TOPSIS模型, 他们认为一个好的方案一定是离正理想解最近, 同时离负理想解最远的方案。TOPSIS在^[22, 23]里面得到了广泛的研究与应用。在TOPSIS模型中, 需要指定属性的权重, 用来反映他们的相对重要性。目前, 为了简便, 通常假定属性的权重相同或者主观地确定权重向量。这种情况下, 模型的缺点是明显的。事实上, 不同的属性有不同的权重, 因此对不同的属性赋予相同的权重是不合理的。但是通过主观判断属性的权重, 很难在决策过程中保证权重的客观性和合理性。为了克服上述模型的缺点, 可以通过AHP模型来确定属性的权重, 建立决策矩阵后通过TOPSIS方法来对方案进行排序。这样可以减少AHP决策矩阵中的计算量, 同时也可以使TOPSIS模型中的权重合理化。

事实上, 许多种不同的结合AHP和TOPSIS的方法得到了应用。在这些方法中, 属性的权重通常用AHP方法来确定, 然后通过TOPSIS方法来确定方案的排序。例如: Lin^[24]通过AHP和TOPSIS方法解决了客户驱动性的生产设计问题, 其中, 属性和备选方案的估计是通过确切的数来表示的。AHP和模糊TOPSIS (fuzzy TOPSIS, FTOPSIS) 方法被应用在^[25]中用来解决固体废物转运选址问题, 在这篇文章中, AHP方法确定的属性权重是实数, 而备选方案是通过语言变量来估计的。同样的, 论文^[26]中所研究的武器选择问题也采用了AHP和FTOPSIS方法。不同于上面的情况, 模糊AHP (fuzzy AHP) 和TOPSIS方法在论文^[27]中用来估计水泥公司选址问题, 其中语言变量被用来估计属性权重, 而实数被用来对备选方案进行排

序。FAHP和TOPSIS 方法^[28]也被用来估计危险废弃物运输公司选址问题。通过上述组合方法,在论文^[29]中研究了土耳其银行选址问题。更进一步,在论文^[30]中的购物中心的选址问题,以及生产系统性能问题^[31]应用了FAHP和FTOPSIS方法来解决,其中,属性和备选方案的估计都采用了语言变量。寇刚^[32]等应用基于时序多目标方法的对主权信用违约风险进行了研究。

在现实情况下,会有很多的不确定性和模糊性问题的存在。在决策过程中,通常情况下,人们不愿意用一个确切的数值来表述对一个事物的评估,其原因可以归纳如下:一个事物的重要程度通常会具有很错综复杂的现实背景;人们的判断通常会带有不确定性和模糊性;专家的知识系统也有一定的局限性。事实上,人们更愿意通过语言变量来表述评估的结果。例如,人们喜欢用“非常好”、“很好”、“一般”、“不好”、“非常不好”等来表述对一个事物的判断。

模糊集的出现给上述问题提供了一个很好的解决途径。在很长的一段时间里,经典数学、概率论与数理统计等数学工具可以很好地对客观世界中事物的运动规律进行描述,随着人们的认知发展到一定阶段,发现这些工具不能描述自然界中存在的亦此亦彼的模糊现象。事实上,数学的发展也是具有阶段性的,随着人们对现实世界认知水平的不断提高以及科学技术发展的需求,人们对处理现实世界的各类数学工具的需求与要求也越来越多,模糊数学就是在人们迫切需求处理现实世界中具有模糊现象这一背景下诞生的。1965年,控制论专家Zadeh^[33]教授提出了模糊集的概念,标志着模糊数学的诞生。模糊数学是能够处理具有模糊现象的一类事物的新的数学工具。随着计算机水平的迅速发展,模糊数学在各个领域都得到了广泛的应用,例如,模式识别、信息检索、人工智能、模糊决策、医学等领域,在经济生活中,我们时常会遇到用模糊数学方法才能解决得更好的一些问题。

事实上,在日常生活中很多对象都具有模糊性这一特点,成员之间找不出明确的划分界限。如“好”和“不好”之间找不到明确的边界,“健康”同“不健康”之间不能给出明确的划分,事实上,从“好”到“不好”,或者是从“健康”到“不健康”是一个从量变到质变逐步积累的过程,从中可以看出,有差异的两方的类属划分不明确,呈现出模糊性的特点。而模糊集正是处理这种处于“亦此亦彼”,具有模糊性概念的对象的工具,它不像经典数学一样满足互补律。在研究不确定性现象的过程中,人们早已熟悉了随机性。随机性与模糊性都是研究具有不确定性的数学模型,但模糊性是与随机性不同的另一种不确定性,它们之间是有区别的。随机性是指在某一特定时间,出现某种结果的机会,例如自然界中有一定会发生的必然事件,也有不可能发生的不可能事件,某一事件的出现具有

偶然性，但一定是介于必然事件同不可能事件之间的，出现这种不确定性是因为条件的不充分而引起的，它是对因果律关系破缺的反映，概率论与数理统计就是处理这类随机现象的数学。模糊性，是指存在事物类属划分的不分明而引起的判断上的不确定，所反映的是排中律的破缺，模糊数学是处理这类具有模型性的数学工具。可见，随机性与模糊性确实是两种不同的处理不确定性的数学工具。事实上，概率论与数理统计主要是处理具有随机现象的对象，它是对处理必然现象的数学工具的应用范围的进一步扩大；而模糊数学则是处理具有模糊现象的对象，它是对数学工具在清晰现象中的应用的进一步拓展。

模糊集的出现，给处理不确定性和模糊性的提供了一个有效的工具。它将不确定性信息，不完全信息，信息部分缺失应用到决策模型中。在多目标决策问题中，当估计备选方案的时候，可以将语言变量被转化成梯形模糊数或者是三角模糊数。备选方案的排序依赖于模糊算子的值。不幸的是，普通的数学算子直接应用到模糊数上将会得到毫无意义的结果，直接应用未经改进的模糊算子将会得到冗余的结果，最主要的原因是因为将实数算子直接应用到模糊区间所带来的缺陷。算术算子的规则是唯一的，但应用到模糊数上时却是无效的。为了克服这个问题，Klir^[34]研究了带约束的模糊算子，通过设置必要的约束条件，能够减少算子的模糊度，并得到相对精确的结果。Enea和Piazza^[35]把带有约束的模糊算子应用到AHP中，Tiryaki和Ahlatcioglu^[36]研究了模糊投资组合的选择问题。

作为进一步的研究，本文将层次分析法同其他的技术分析方法相结合，得到带约束的模糊层次分析法，从而使得模型能够处理模糊环境下的问题，并通过将带约束的模糊层次分析法分别同TOPSIS方法进行组合，从而形成组合多目标决策方法来对股票进行排序。事实上，组合多目标决策方法具有各个方法单独使用时的很多优点，在接下来的章节中，将会对组合多目标决策方法进行详细的阐述，事实上，组合多目标决策方法在选股过程中的应用，能为投资者在投资决策的过程中，提供更加合理的决策区间。

2.5 投资组合理论

在犹太教法典中关于财富有如下记载：人们应该将其财富分为三份来使用，一份用于土地投资，一份用于商业投资，并将剩下的一份留在手中备用。1952年，Weisenburger 在《投资公司》一书中讲述了美国投资公司投资组合具有多样化的特点，并效仿英国金融机构在19世纪60年代的做法提供分散化的投资策略，即通常情况下所说的，不要把所有的鸡蛋放在一个篮子里面。从上面可以看出，分散化投资很早就出现了，并不是什么新事物。由于在新古典经济学中，经济学家关

心的是资金供求与利率水平对经济增长的影响，并没有关注投资过程本身，所以在使得在1952年Markowitz以前，学术界并未正式提出分散化投资方面相关的概念与理论。

证券市场在20世纪初得到了很大的发展。在20世纪50年代之前，从投资者开始研究证券投资分析方法开始。“基本分析法”与“技术分析法”是证券市场上两种主要的非数量化投资分析方法。基本分析法是从经济、政治、公司基本财务数据出发，判断金融市场未来的走势，在股票投资价值进行分析的基础上，对股票价格进行预测。通常情况下是基于宏观经济面，行业前景，同业竞争水平，以及公司管理水平等多方面数据的透彻分析。基本分析法的内容主要含义以下内容：

1. 政治因素，主要是考虑国内外的政治形势、社会发展的方向等重大事件对股价变动的影响，例如一个国家政权的更替，会导致该国经济的不稳定，不利于投资者在该国进行资产配置；局部战争的爆发，例如中东地区的频繁战乱会导致石油价格的波动，从而会对全球经济产生影响。

2. 经济因素，国际、国内各种直接或间接对股价产生影响的因素，主要包括两大类，其中的宏观经济因素如下：

- (1)国际经贸的形势，从对外贸易层面上来看，进出口贸易的差额，贸易保护主义，本国产品在国际贸易市场中的地位和影响以及国际市场上供需关系的变化等都会直接或间接地引起本国股价的变动。如果这些变化有利于一个国家的出口，那么生产出口产品的企业的股价就会相应的上升；如果这些变化不利于进口，那些需要进口产品的企业的股价则会下跌，而那些生产进口替代产品的企业则会从中获益，从而使得其股价得到一定程度的上升。

- (2)经济周期。在国家经济高速发展的时期，市场需求旺盛，物价相对比较稳定，企业的经营也比较顺利，股票价格的变动呈现出稳定的上升趋势。反之，在经济萧条时期则正好相反，随着市场供求的萎缩，企业库存了积压大量的，物价下跌，企业会延缓设置停滞在设备上的投资，企业的经营业绩也会随指下降，投资者在股市的活跃程度也会随之减少。

- (3)通货膨胀。在通货膨胀时期，市场中的物价会随之上涨，企业的库存产品可按通货膨胀后的价格出售。这样，会使得企业的名义利润增加，企业在偿还债务上的能力大大增加。因此，物价的上升有利于这一类型的企业的股价。但是对于需大量依赖原材料的企业来说情况则正好相反，由于原材料价格以及进口原材料价格因世界范围内的通胀而大幅上涨，会产生对这类企业不利的影响。

(4)利率。利率的调节与股价之间的有着密切的关系。当国家调低利率时，企业融资的成本相对降低，盈利的空间增加，使得市场对股市的预期看好；反之如果国家提高利率，紧缩信用，则企业融资困难，成本会相对提高，盈利的空间也会减少，相应市场也会看跌股价市场。

(5)汇率。汇率变动会从多个方面影响一个国家的经济。从进出口方面来说，本国货币的升值对以出口为主的企业不利却有利于以进口为主的企业，当货币贬值的时候情况正好相反。所以汇率调整的方向对一个国家经济整体上的影响，会使得人们对股价产生不同的预期。

(6)税制。国家对企业 and 股市投资者的税收政策的变化会对投资者买卖股票的决策产生影响。当税制的变化是朝着有益于企业的方向发展时，企业的股价会上升，反之则会出现下跌。因此，但国家对税率进行调整时，通常会伴随着股价的波动。

从微观层面上来看，影响因素主要包括有：

(1)公司的概况。公司成立的背景，管理者和经营者的素质以及能力，甚至包括声誉都包括在投资者考虑的范围之内。

(2)公司的经营特征。公司本身所处的行业，行业本身的发展前景，以及公司在该行业中的影响力，以及公司自身的经营情况，甚至销售的网络都是投资者需要进行考虑的因素。

(3)企业经营管理的情况。投资者会根据公司披露的收益和财务状况等重要指标来衡量该企业的经营状况。

通过上面一系列的工作，投资者最终会给出一个股票整体上的判断，这就是基本投资所要做的研究工作。

所谓的技术分析法是通过图表或技术指标数据，以市场行为为研究对象，来预测未来证券价格的变动趋势；技术分析认为市场价格是所有的相关资讯以及市场参与者博弈的结果，其本身更偏向于价格“内部”分析。技术分析的一个基本假设即历史可以重演，即价格行为会重复其本身的模式，因为技术分析主要是专注于各种趋势和形态上的认定。

在十九世纪时，日本米市的商人用K线图来记录米市的行情与价格波动等信息，其中就包括开市价、收市价、最高价以及最低价等信息，用阳烛表示当日升市，即价格上升，用阴烛表示跌市，即当日的价格下跌。因为K线图细腻独到的标画方式而被人们引入到股市及期货市场。从图表上来看，这种方法所绘制出来的图表在形状上看去就像是一根根的蜡烛，加上早期这些蜡烛只有黑白两种颜色，因此也被叫做阴阳线图表。利用K线图，人们就能够把每一天或某一周期的市场

行情完全记录下来，通过一段时间的记录股价会在图上表现成一种特殊区域或形态，不同的形态表示不同意义。人们通过对这些形态进行研究分析总结出了一些规律，事实上，K线图形分析法，就是在归纳和总结以往价格的演化形态的基础上来预测股价未来走势的一种方法。K线图形态包括反转形态、整理形态及缺口和趋向线等。在股市上，K线图是股价技术分析中最经常用到的一种图表。

技术分析主要是从股价缺口、支撑线和阻力线等方面，依据线路整体趋势的变化进行分析的。它是一种依据历史会重演的情况下来判断买卖讯号的，这种买卖讯号能给投资者提供一定的指导作用，但由于通过技术分析所得到的买卖讯号在投资过程中是必要但不是充分的条件，因此投资者在进行实际操作的过程中不能盲目使用。但是这两种方法均依赖于人的主观意识和操作经验，具有很强的主观性。

伴随着证券市场的发展与成熟，Markowitz^[1]在1952年提出了的基于均值-方差的投资组合模型，该模型的问世，是现代投资组合理论(Modern Portfolio Investment Theory)诞生的标志，模型中的均值用来度量证券的期望收益率，用方差来表示风险，通过这两个统计学中的概念得出了资本资产的投资组合优化模型。这一模型的诞生，使得数量化方法进入到了投资领域，使投资摆脱了凭经验操作的阶段，是现代金融学的基石。

Markowitz 构建的均值-方差模型系统地阐述了投资者如何在给定期望收益率的情况下，获取风险最小的投资组合权重，或者在给定风险水平下获得组合资产的预期收益率最大的投资组合。随着对投资组合理论研究的深入，William Sharpe^[37, 38]，在较强的市场假设下，进一步给出了均值-方差模型的一般均衡模型，并通过研究给出了资本资产定价模型(Capital Asset Pricing Model, CAPM)。Ross^[39]在1976年，研究了资产风险度量的多维方法并提出了套利定价理论(Arbitrage Pricing Theory, APT)，对资本资产定价模型进行了简化。投资组合理论在实践的过程中不断得到完善，是指导投资者进行投资的强有力的工具。因提出和完善投资组合理论，在1990年Markowitz 和William Sharpe 荣获诺贝尔经济学奖，是对投资组合模型的理论价值与重要性给予最充分的肯定。

2.5.1 投资组合发展的相关理论

Markowitz的均值-方差模型^[1]是研究现代投资组合理论的基石，但由于该模型的假设条件过于理想化，并不能够十分准确的刻画资本市场中的情况。基于均值方差模型本身的一些缺陷，后来大量的研究者对该模型进行了理论方面的完善工作，并在该模型基础上进行了一系列的改进工作。

一、不同风险度量下的投资组合模型

在Markowitz的均值-方差模型^[1]中，首先假设资产的收益率具有正态分布的特性，然后通过投资组合收益率的方差来衡量风险，但假设条件在现实情况中是不一定能满足，因此，后来的研究者研究了不同风险度量情况下的投资组合模型。

在均值-方差模型中，在对投资组合模型的风险进行度量时，是将超出或者低于期望收益的部分均作为风险来度量，但现实投资中，人们总是期望收益率能够高于预期的收益率，所以将高于预期收益率的部分作为风险来度量与现实情况相背离。基于上述原因，许多学者研究了半方差、绝对偏差、下半绝对偏差等方法在度量风险上的应用，其中Oudjerri^[40]等，Mao^[41]和Swalm^[42]用半方差来度量投资组合风险，使得方差的度量更加的准确，并建立了均值-半方差投资组合模型。事实上，Markowitz在后来的研究中也发现了结果好于均值-方差模型的均值-半方差模型^[43]。Feiring^[44]等学者在对投资组合进行研究的过程中讨论了用广义半方差-低阶偏矩来替代传统的方差对模型的风险进行度量。

1991年，Konno和Yamazaki^[45]等学者研究并提出均值-绝对偏差模型，用来替代了Markowitz的均值-方差模型。均值-绝对偏差模型表达简洁，保存了均值-方差模型的优点，同时在求解的过程中，应用了线性规划问题来对模型的处理，大大的减少了模型的计算量。Speranza^[46]研究了基于均值-半绝对偏差准则的投资组合模型，其中半绝对偏差是组合中未来收益率低于期望收益率部分的绝对偏差，是对投资组合风险的描述。Feinstein^[47]等学者在1993年提出了基于平均绝对偏差准则的投资组合模型，其中平均绝对偏差准则是对描述投资组合模型的风险的描述。

考虑到通常情况下，由于资产收益率的分布具有非对称性，在20世纪50年代，Samuelson首先将收益率三阶矩引入投资组合模型中，但由于该模型受到大规模计算时的复杂性以及计算水平的限制，在接下来的一段时间里没有得到广泛的关注。随着科技技术的进步，计算机计算水平的高速发展，很多学者研究了偏度模型上。Konno^[48]等学者在1993年，将偏度引入到了均值-绝对偏差模型中。1995年，Konno^[49]又将偏度引入均值-方差模型中，提出了均值-方差-偏度模型，并通过整数规划实现了对模型的快速求解。Kane^[50]和Chunhachinda^[51]等在研究投资组合问题的过程中，讨论了从不同角度引入偏度的投资组合模型。

很多学者还从不同的角度着手来度量模型的风险。Young^[52]，Elton^[53]等，Arditti^[54]，Jean^[55]等从最大化几何平均收益准则着手研究了投资组合优化问题。Pyle^[56]等讨论了基于安全第一（Safty-First）准则的投资组合模型。

在20世纪80年代, Morgan公司从事风险管理的人员提出了一种新的度量风险的方法-风险价值方法(Value at Risk, VaR)。VaR方法的基本思想是在概率水平或置信度一定、市场正常波动的情况下, 研究金融资产或者是证券投资组合价值在未来特定一段时期内的最大可能损失。VaR方法在应用的过程中, 统一了计量风险的标准, 具有对风险的测量过程简洁等优点。Ahna^[57]等学者考虑并研究了如何在静态条件下使得VaR问题最小化。Basak和Shapiro^[58]研究并讨论了VaR模型在投资决策的过程中对企业承担风险行为的影响, 并给出不确定情况下的风险因素的评级。Alexandre和Baptisa^[59]通过将VaR模型同均值-方差模型相融合给出了均值-VaR投资组合模型。

同方差进行风险度量时相比较, VaR方法虽然在度量风险时更具有优越性, 但计算和优化的过程却存在着困难。事实上, 通过VaR对风险进行度量时, 会有一些令人不十分满意的地方存在, 比如没有超过VaR部分的损失信息, 并且VAR不具备有子可加性。为了克服上述的缺点, Rockafellar和Uryasev^[60, 61]通过对VaR度量风险的方法进行改进, 提出了条件风险价值方法(Conditional Value at Risk, CVaR), 即CVaR模型。在后来的研究中, Andersso等^[62], Rockafellar和Uryasev^[63], Topaloglou等^[64]许多学者通过研究证明了在风险度量中, CVaR的方法优于VaR的方法。

二、考虑摩擦市场的投资组合问题

投资者在资本市场中进行交易和换手的过程中, 会产生一定的交易和换手费用, 并上缴各种税收, 即投资者在交易的过程中存在摩擦因素, 存在摩擦因素的市场称为摩擦市场。但Markowitz的均值-方差模型是基于理性条件下建立的, 并没有将这些客观存在于市场中的摩擦因数考虑进去, 而这些因素的存在会对投资组合的收益率等产生直接的影响, 从而影响投资者的决策行为。在1976年Magill和Constantinides^[65]首先提出了关于摩擦市场的投资组合的优化问题, 在接下来的研究中, 许多学者针对这一问题做了深入研究, 并取得了显著的成果。

Patel和Subrahmanya^[66]在研究的过程中发现投资者必须获得比期望收益更多的收益才能弥补在交易过程中所需要的交易费用, 这也说明投资组合的配置确实受到交易费用的影响。1990年, Arnott和Wagner^[67]在文中指出忽略交易费用所得到的投资组合, 用来指导投资者进行投资的过程中, 会使得投资组合不能达到预期效果, 从而导致结果的无效。1990年, Davis等^[68]通过在摩擦市场中引进随机控制方法研究了投资组合的优化问题。Eastham和Hastings^[69]在研究的过程中利用脉冲控制方法分析并研究了固定成本所引起的较大交易费用这一类问题。

Shreve等^[70]和Akian等^[71]在研究带有交易费用的、多维度下的投资组合优化问题过程中,通过引进粘度理论解决了这一类问题。Morton和Pliska^[72]在研究的过程中,也对带有固定交易费用的投资组合问题进行了研究与讨论。Dammon^[73]等研究了资本收入税下如何进行消费才是最优的选择,以及在该情况下如何进行投资组合,研究结果说明投资者会通过衡量交易费用与分散化投资所带来的收益两者之间的关系来调整资产的头寸,并且投资者调整投资头寸的积极与与否与投资者自身的年龄、以及持有资产头寸的收益这些因素相关。Gallmeyer^[74]等在考虑资产收入税的情况下,研究了存在多风险资产时,投资者该如何做出最优的消费策略,以及投资组合的选择问题,研究的结果表明卖空对投资组合的选择问题存在影响,并给投资者提出了考虑未来税收交易成本最小的交易策略,可以通过处理掉手里的一些风险资产来实现。事实上,考虑交易费用的模型,对投资者更具有实际的指导作用。虽然,上述模型并不能够完全模拟真实环境中所产生的所有交易费用等情况,但却能更好地指导投资者进行实际操作。

投资组合模型的不同,所采用的算法也不尽相同,可以采用拉格朗日乘子法来求解均值-方差模型,在无摩擦情况下可以用线性规划方法来对投资组合模型进行求解,但在考虑摩擦因素的模型中,由于交易费用的存在使得问题变成了一个非凸的问题,从而给问题的求解带来了困难。通常情况下,对投资组合模型进行求解,需要对交易费用进行数学上的处理,常用的处理方法是将交易费用在投资组合模型中作为常数函数、线性函数或者是V函数来进行考虑。Mulvey等^[75]在研究带有交易费用的投资组合问题的过程中,首先用分段线性函数来拟合交易费用,再进一步对该投资组合模型进行进一步的处理。随着计算机技术和智能算法的发展,该技术也被广泛地应用在求解投资组合优化问题中。Mansin和Speranza^[76]研究了智能优化算法在用绝对离差度量风险的整数线性规划问题中的应用。Kellerer^[77]讨论了在固定交易费用、最小交易单位约束条件下的投资组合优化问题。Jobst^[78]对限制了最小交易量、资产种类以及最小交易单位的约束条件下的均值-方差模型进行了研究,并研究了该约束条件下模型的求解以及有效前沿的构造问题。Crama和Schyns^[79]讨论了限制了资产种类,并要求最小交易量情况下的投资组合问题,在该文中,通过模拟退火算法对这个混合整数二次规划进行了求解。

三、模糊投资组合选择模型

基于随机不确定性情况下的投资组合优化问题得到了广泛的关注和应用。但是,在现实世界中,证券市场中所存在的不确定性很多是模糊的不确定性,事实上,模糊现象在现实世界中大量的存在。1965年,Zadeh^[33]提出的模糊集,是模

模糊数学理论诞生的标志，为具有模糊现象问题的研究提供了很好的数学工具与理论支持。随着模糊数学的出现，越来越多的学者将这一数学工具应用到具有模糊性的证券市场中来研究投资组合优化理论的相关问题，并取得了显著的研究成果。

Ramaswamy^[80]等人在1998年发表的论文中，研究了基于模糊决策理论基础上的投资组合优化选择问题。在2001年，Watada^[81]给出了一个模糊投资组合优化问题，其模型与Markowitz的均值方差模型类似。Tiryaki和Ahlatcioglu^[36]利用模糊层次分析法研究了投资组合的选择问题。

事实上，可以把区间数当作一类特殊的模糊数来处理，因而可以将处理区间数的方法用来处理具有不确定现象的问题。在Lai^[82]等人的论文中，就是通过把证券的期望收益与协方差作为区间数来处理，从而很好的处理了具有模糊现象的投资组合优化问题，是Markowitz均值方差模型的进一步推广。Parra^[83]等人给出了基于模糊数区间近似方法上的投资组合目标规划模型，在这个模型中，讨论了如何将区间数的方法应用到投资组合优化选择中。

四、动态投资组合模型

对于投资者来说，无论是机构还是个人，投资都是一个长期的过程，而Markowitz给出的均值-方差模型是一个仅考虑单个阶段的投资组合模型。事实上，投资者进行投资是一个动态的过程，因为投资者并不是在投资的初期一直持有一定比例的投资组合不变，而总是会根据不断变化的投资环境适时的调整投资组合的持有比例，使得投资组合往有利于投资者的方向进行调整，从上面的描述中可以看出，动态投资组合问题的研究是具有非常重要的现实意义。基于离散时间与连续时间的划分，动态投资组合模型主要包括离散和连续两种类型，基于离散时间的动态投资组合模型同时也被叫做多阶段投资组合模型。如何将单阶段的投资组合模型扩展到多阶段是现代金融研究的一个重要课题。20世纪50年代，Bellman几乎与Markowitz同时提出了动态规划方法，为多阶段投资组合模型提供了理论上的解决工具，为动态投资组合模型的研究奠定理论上的基础。

在投资的过程中，投资期内投资环境、经济形势等因素都会出现不同程度的变化，通常情况下，资产的收益率函数的分布也会随着各种因素的变化而发生变化，所以说收益率的分布函数并不是一成不变的。投资者在动态投资组合理论的研究过程中，通过将时间和外部投资环境的变化相结合，研究了如何动态的调整投资组合的头寸，从而克服不确定性因素和收益率函数分布的变化所带来的影响。动态投资规划问题的提出，得到了学术界和投资界的广泛关注，并取得了重要的研究进展。

1968年, Mossin^[84]最早利用动态规划的方法成功地将单阶段投资模型推广到多阶段投资组合的情况,但是由于该模型并不能直接用动态规划求解,因此并未得到方程的解析解。随着动态投资组合的发展, Fama^[85]、Ostermark^[86]等学者也深入研究了多阶段投资组合优化问题。

直到20世纪末期,动态投资组合优化模型的研究都是效用函数模型的基础上进行的,在这一时期,由于算法和计算水平的制约,对动态均值一方差模型进行求解很困难^[87],所以很少有学者对动态均值一方差进行研究。

Li^[88]等学者在2000年发表的论文中,研究讨论了多阶段的均值-方差投资组合模型的求解问题,在动态均值-均值方差的研究方面取得了突破,同时还给出了多阶段均值-方差投资组合模型的有效前沿以及该模型的最优策略的解析表达式。Yin和Zhou^[89]在论文中给出了基于离散时间特征下的均值-方差投资组合模型,并研究了该模型用于求解相应的连续时间模型下的数值解的问题。1969年Merton^[90]最早研究了具有连续时间的动态投资组合问题。在接下来的一段时间里,这方面的研究取得了很大的进展。Zhou和Li^[91]等人研究了具有连续时间状态的动态均值-方差投资组合优化选择问题。Steinbach^[92]研究了基于投资收益分布是离散的情况下的多阶段均值-方差投资组合选择问题。Cox等^[93]和Karatzas等^[94]研究者基于有效市场这一假设条件,利用静态规划问题对随机动态规划问题进行了求解,其理论的基础是鞅表示定理。他们在文^[95]中通过引入非负约束,并且得到最优消费和投资组合策略的解析表达式。在1986年,Pliska^[96]通过研究给出了具有连续时间情形的最优投资组合问题的解析解。Campbell和Viceira^[97]与论文^[95]对最优投资组合模型的特点进行了描述,并通过研究发现投资者风险的厌恶程度对最优投资组合中债券与股票之间的投资比例有着成正比的关系。

Sundaresan和Zapatero^[98]在研究中给出了投资组合模型最优资产的分配策略。Liu^[99]给出在摩擦市场下具有随机情形的投资组合最优策略的解析表达式。Chacko和Viceira^[100]研究了在摩擦市场情况下具有随机波动性的投资组合的权重和消费策略的问题。

五、智能算法用于投资组合优化

从前文的描述中可以看出,可以将投资组合问题转化成一个具有多目标约束条件的问题来进行求解。在20世纪50年代到90年代的这一时期,由于计算方法的缺乏以及计算水平的制约,通常在构建投资组合优化模型之前做了很多的假设,这样做的目的是为了减少问题在计算过程中的复杂的。但随着智能优化算法的研究与发展,各类实际问题广泛的采用智能优化算法来解决,也被研究者应用在投

投资组合问题中。**Chen**和**Kou**^[101]在文中指出,大约有400多种刊物是讨论智能优化算法在经济、金融领域中的应用,而其中的绝大多数刊物都和投资组合优化问题有关。

在早期的研究中,由于智能优化算法本身不够完善,在求解投资组合问题的过程中也有一定的局限性,该算法早期主要用来求解单目标、并且无约束条件的投资组合问题。**Dueck**和**Winker**^[102]在研究的过程中讨论了一个基于智能优化算法的局部搜索投资组合优化问题的算法。随着遗传算法的出现,也被广大学者用来求解投资组合优化问题。

后来,部分学者通过在模型中加入约束条件,研究了带约束的投资组合优化问题上。**Jobst**^[78]等从算法上讨论并研究了离散资本约束条件下的投资组合优化模型。**Chang**^[103]等学者运用智能优化算法讨论并研究了在基数约束条件下的投资组合模型优化问题。**Schaerf**^[104]运用局部搜索讨论了带约束条件的投资组合问题。**Streichert**^[105]通过各种进化算法,**Fernandez**^[106]等通过神经网络算法,**Cura**^[107]通过粒子群算法研究了带约束条件的投资组合问题,从大量智能优化算法研究的结果中表明,神经网络算法所得到的有效前沿与于均值-方差模型所得到的有效前沿更加接近。

Lin 等^[108]学者在求解投资组合优化问题模型的过程中最早应用了多目标遗传算法。**Crama**和**Schyns**^[79]在对复杂的投资组合优化模型进行求解的过程中,应用了模拟退火算法。**Ong**^[109]等在研究投资组合优化模型的过程中应用了多目标进化算法。**Armananza**和**Lozano**^[110]运用智能优化算法对多目标投资组合优化问题进行了研究。在后来的研究中,大量的学者通过智能优化算法以及改进后的智能优化算法对模型进行了研究,其中**Chiam**^[111]等研究了几类进化算法;**Yang**^[112]用遗传算法;**Krink**^[113]等通过使用微分进化算法对投资组合优化问题的求解进行了研究。

在应用智能优化算法求解投资组合选择问题的过程中具有较多的优点,例如,并不需要对目标函数的先验信息进行考虑,也不需要去考虑目标函数是否连续、可微等先决条件,并且智能优化算法还能够处理考虑约束条件情况下的,且具有连续型以及混合型的复杂的投资组合模型等问题。并且由于智能优化算法具有并行计算的特点,可以有效地处理具有较大规模计算量的投资组合优化问题。从上面的介绍中可以得到,智能优化算法及其扩展形式在投资组合问题中的应用,为投资者提供了一个非常有效地求解投资组合模型的强有力工具。

2.5.2 国内的发展研究现状

现代投资组合理论从1952年诞生至今经过几十年的发展, 已经是现代金融学的重要组成部分, 是西方发达国家投资者进行投资组合决策时的主要理论依据。我国证券市场同西方发达国家相比, 发展的时间较短, 对投资组合理论的研究也较西方发达国家晚, 虽然如此, 我国学者在投资组合领域的研究也取得了丰硕的研究成果。

大量学者从投资组合模型优化及算法求解的角度对投资组合模型相关领域的问题进行研究和讨论。在1999年, 马永开和唐小我^[114]在描述证券收益率的变化时, 采用了CAPM方法来刻画其变化, 从而对均值-方差模型进行了简化, 对不允许卖空条件下值证券投资组合决策模型进行了研究, 并给出了的解析解的表达式; 2000^[115]年的时候, 他们又用套利定价理论对多因子组合模型进行了讨论, 给出了在不考虑投资组合收益率的情况下, 仅通过极小化非系统风险, 给出了不允许卖空条件下的的简化均值-方差模型的解以及其性质。

汪寿阳等学者也对投资组合优化模型做了大量研究, 他们的研究成果主要体现在《Portfolio Selection and Asset Pricing》^[116]、《投资组合优化与无套利分析》^[117]和《摩擦市场下的投资组合与无套利分析》^[118]等著作中。王艳萍等^[119]学者在2012年研究了多因子投资组合选择模型, 该模型是基于多因子结构下对静态均值-方差模型的改进, 该模型是单因子模型的推广。王延章等^[120]学者用下半方差来度量风险, 并将该模型应用在债券投资组合中进行了验证。汪寿阳和夏玉森应用妥协式算法求解具有线性交易费用的投资组合优化问题。李仲飞和汪寿阳等学者应用无套利分析研究了多阶段投资组合优化问题。

在2004年, 徐绪松等^[121]学者在收益-波动比率为标准的条件下, 研究了用均值-方差、绝对离差、半方差来度量风险的投资组合模型, 通过应用模拟退火算法来对模型进行求解, 对其结果进行了实证研究与比较。陈剑利^[122]等学者在2004年研究了用CVaR来度量风险的投资组合模型。陈志平等^[123]学者在2005年通过对各类投资组合限制条件进行考虑, 给出了广义的均值-方差模型, 是对经典均值-方差模型应用范围的推广, 即讨论了多约束条件下的投资组合优化问题。在2005年, 林丹等^[124]学者在传统的均值方差模型中引入了最小交易量、交易费用等情况, 由此得到了一个改进后的非线性整数规划模型, 并通过遗传算法对该模型进行了求解。2009年, 陈国华等^[125]学者运用模糊数来度量投资组合选择问题的预期收益率, 通过模糊约束来对方差约束进行简化, 给出了模糊线性规划的投资组合选择模型, 在模型的求解阶段, 利用模糊数学知识, 给出了模糊算法, 对模糊线性选择问题转化而来的多目标问题进行求解, 最后给出的实证研究说明了模型的有效

性。余婧^[126]通过利用上下半方差的比值来近似的刻画偏度，提出了均值-方差-近似偏度模型，有效的克服了传统的偏度模型求解困难的问题。徐晓宁等^[127]学者在允许卖空的市场下，讨论了基于均值方差模型的区间二次规划投资组合模型。罗洪浪^[128]、徐丽梅^[129]、郑振龙^[130]等学者对投资组合优化问题以及其分支进行了全面系统的总结与展望。

无论是在理论还是在实践方面，投资组合优化问题都取得了丰硕的研究成果，但考虑到本文篇幅上的限制以及结合本文内容上的需要，本文不再对其他的研究成果进行详细的介绍。现代投资组合优化问题通过近几十年的研究，取得了大量的研究成果。事实上，投资组合优化问题的研究具有十分重要的现实意义，通过对现代投资组合理论发展的现状的研究，并结合当前全球金融市场发展的实际需要，对投资组合问题的进一步研究十分必要并具有广阔的空间。投资组合未来的研究工作还可以着眼于以下几个方面来进行。

首先，在投资者进行交易的过程中，必须考虑交易费用、市场利率等多方面因素共同作用所带来的影响。而在Markowitz 建立均值-方差模型的过程中，为了模型建立和计算上的方便，并没有充分考虑这些会对投资结果带来影响的因素，事实上，对这些影响因素的忽略，会对投资者的决策过程造成一定程度的误差和影响，甚至还会导致组合模型产生一定程度的损失。因此，研究摩擦市场情况下带有多种约束条件的投资组合优化模型及其算法是未来可以关注的一个重点研究领域。

其次，均值方差模型在度量风险的时候将高于预期收益的部分也是作为风险来度量的，这与现实情况不相符合，因为投资在总是期望能获得超过预期收益的收益。因此，寻找更加符合现代金融市场的新型度量风险的方法也是学者们研究的热点问题之一。

再次，研究将智能算法同传统投资组合优化算法结合起来的方法，使其具有实用性好、操作性强等优点，还能求解多种投资组合模型。

最后，研究投资组合策略如何更加符合实际情况下的长期投资决策，也会是将来的一个重点。

2.6 本章小结

本章介绍了基于公司财务指标选股、多目标决策方法、投资组合在国内外的研究现状及各自的特点。文中首先对公司财务指标选股的概述及研究现状进行了介绍与回顾；其次对本文所涉及到的多目标决策方法中的层次分析法和TOPSIS方法进行了概述与回顾，阐述了多目标决策的构成要素以及权重的确定方法，并对

多目标决策中关于层次分析法和TOPSIS方法中的相关文献进行了综述；然后，介绍了投资组合的理论起源及其在不同环境下的发展；最后，给出了在上述领域中值得关注与研究的问题。

第三章 基于成长与价值的投资策略

3.1 引言

在我国证券市场飞速发展的背景下，投资者的数量整体呈现上升的趋势，但在投资的过程中，无论是个人投资者还是机构投资者，都面临着选股的问题。然而，在股票市场中，即使是相同板块中不同股票的表现都呈现出不同的走势，更不用说众多板块中的不同股票，所以如何从股市中挑选出表现良好的股票，从而取得可观的投资收益是市场中所有投资者十分关注的问题。

股市是一个错综复杂、瞬息万变的市場，在变化莫测的大盘走势面前，个人投资者通常没有足够的精力和能力来研究市场中复杂琐碎的问题。在股票投资的过程中，为了给投资者提供上市公司有价值的投资信息，《上市公司信息披露管理办法》要求上市公司全面、真实、及时并充分地进行信息披露。信息披露是社会公众以及投资者对上市公司经营状况进行全面了解以及信息沟通的桥梁。投资者通过定期阅读上市公司所披露的信息，并结合自身判断，从而做出是否投资该公司的重要抉择。余峰，田益祥等^[13]在其研究的论文中，从上市公司的财务报表出发，讨论了自由现金流量下的证券投资组合。事实上，华尔街的投资大师们，也给出了许多基于公司财务报表选股的投资策略，下面将对华尔街的投资大师们的选股模型进行简单的介绍：

比乔·斯基基于市净率的选股模型：价值投资的方法在过去大量的研究中被证明是有效地。价值投资的理念就是寻找出价值被低估的股票，市净率、市盈率、股息、股价/现金流等指标是其主要的评价指标。事实上，在研究投资组合的过程中，大量的实证研究是基于巨大的股票数量上进行的，在这些股票中，不乏走势好于大盘的，但是也有表现不如大盘的股票存在。比乔·斯基期望通过一些简单的财务分析，将大部分表现不良的股票进行剔除。比乔·斯基选股模型规则的总结如下：

- (1) 在整个市场中，市净率的排名位于后面的20%；
- (2) 不包括在柜台市场中进行交易的股票；
- (3) 资产回报率在上一年度为正；
- (4) 经营性现金收入在上一年度为正；
- (5) 上一年度的资产回报率同比增长为正；
- (6) 上一年度经营性现金的收入与同期的税后收入相比要高；
- (7) 上一年度的长期资产回报率同比增长为负；

- (8) 上一年度流动比率同比增长为正;
- (9) 上一年度的股本同比增长为负;
- (10) 上一年度的毛利率同比增长为正;
- (11) 上一年度的资产周转率同比增长为正。

比乔·斯基的选股方法主要是从上市公司所披露的财务报表中,挑选出满足上述规则的股票,是一个基于公司价值的选股方法,事实上,有很多的选股方法是从公司的基本面出发,挑选适合投资的股票,例如股神巴菲特的选股方法,股市赢家选股策略,约翰奈夫选股策略,彼得·林奇选股策略等选股方法都是从公司的基本面出发挑选股票。

在以前大量的研究中,基本面分析和技术分析是相对独立的两派。拥护基本面分析方法的人士认为,只要股票的基本面表现良好,不用去关心技术指标,即可采取买入操作。但采取这样的判断方法进行买进,往往容易被套牢或者是股价来回地震荡。采用技术分析的人士则认为,通过技术指标的分析就可以选到好的股票,但只采用技术分析进行操作,也容易出现失误。因此吸取基本面分析和技术分析的长处,才能找出合适的股票,并选择合适的时机,从而为投资者提供适合的选股方法。

威廉·欧内尔的CANSLIM选股模型是一个基于基本面和技术分析的中庸之道,是两者的有机结合。欧内尔认为投资的目的是为了参与到股票的长期增长中去,只有在一支股票的基本面和技术面情况都表现良好的时候才会成为一支超级牛股,下面给出欧内尔选股模型中重要的选股指标:

(1)当季每股收益和每股销售收入的增长可观,在数据获取的过程中,为了避免季节性因素所带来的影响,通常将公司的每股收益以及销售收入同上年同一季度进行比较,即计算每股收益和每股销售收入的同比增长;

- (2)年度收益增长率达到25%至50%;
- (3)公司研发了重要的新产品,或者能够从新的管理层中获益;
- (4)关键点上的需求量;
- (5)价格相对强度在过去的52周里排在前三0%以内;
- (6)机构持有者的数量最少有5个;
- (7)市场的整体走势。

威廉·欧内尔的CANSLIM选股模型为普通投资者提供了可操作的选股方法,而不用去研究高深难懂的各种投资理论以及智能算法。

3.2 公司财务信息集成模型的指标选取

本文将从大量的选股规则中，挑选出适合国内股票分析的方法，下面将对本文所涉及到的基本面指标进行详细的介绍：

3.2.1 净利润的定义

净利润，英文名为Net Profit，也被称为税后利润或者净收入，主要是指利润总额部分按照规定扣除了公司所得税后的剩余，其计算公式为：净利润=利润总额 \times (1-所得税率)。净利润是一个企业在经营过程中所取得的最终成果，它是一个衡量企业经营好坏的重要指标。净利润越多，则说明企业的经营有方，取得了良好的收益；净利润较少，则说明企业存在经营不到位的地方。对于投资者来说，投资回报的多少依赖于所投资企业获得的净利润，而对于企业的经营管理者来说，净利润是一个衡量其经营管理好坏的重要指标。其实，净利润不但能够用来衡量一个企业的盈利能力、管理水平，同时能够从多方面反映企业的综合情况。

净利润虽然是一个可以用来衡量企业经营好坏的重要指标，但是投资者在挑选股票的过程中，更应该关注的是每股收益的同比增长率，其中每股收益(Earning Per Share, EPS)，是税后总利润同股本总数的百分比。首先，对于同一个企业来说，为了避免季节性因素所带来的影响，应该将该指标同上一季度的同一季度进行比较，而不是同上一季度进行比较，即采用同比增长率，而不是环比增长率；其次，在企业所公布的财务报表中，其净利润同增加了15%，看上去该企业取得了十分不错的效益，但取得这样的效益的原因却可能是因为该企业在过去的一段时间里面，发行了额外的股票，这样的结果是，虽然净利润同增加了15%，但每股收益同比可能只增加了5%；最后，对于不同规模的企业来说，其净利润的大小存在很大的区别，对于规模大的企业而言，在通常情况下，其净利润的总额会高于规模小的企业，但由于其普通股的数量多于规模小的企业，收益平均到每股的时候，有时会出现其每股收益同比增长小于这个规模较小的企业的情况。上面的分析充分说明，投资者在选择股票的时候应该更加注重每股收益的同比增长，而不能受净利润增长的影响。

3.2.2 营业收入的定义

营业收入，英文名为Operating Incoming，是企业在日常经营业务的过程中通过产品销售、劳务提供以及资产使用权的让渡等方式所获得的经济利益的总和，主要包括主营业务收入、其他业务收入，是企业经营过程中，获得利润的保障。现在上市公司的利润表中，已经将主营业务收入同其他业务收入进行了合并列入

营业收入这一项；并且从公司的经营来看，现在很多企业已经是混合经营，所以在文中直接利用利润表中的营业收入来衡量企业的经营成果。

在投资者进行选股的时候，股票每股收益的强劲增长还需要企业营业收入的增长来作为有力地支撑。企业在经营的过程中，通过降低企业短期的经营成本，减少在广告、研发中的投入，及其他有利于短期提高企业利润的支出方面的减少，都会使得企业的净利润和每股收益增加，但是没有营业收入的相同幅度增长的每股收益的增加是不可持续的，因此，同每股收益一样，投资者在选股的过程中，需要关注于企业营业收入的同比增长情况。事实上，营业收入同每股收益同比增长幅度相同的股票才是投资者真正值得挑选的股票。

3.2.3 现金流量与现金比率的定义

现金流量是企业某一会计期间，经济活动按照现金收付实现制所记录的现金流入及其流出的数量。企业在销售商品、提供劳务、借入资金等过程中产生现金的流入；在购买商品、现金投资、购买固定资产等过程中产生现金的流出。现金流量是用来衡量企业的经营状况、资产变现的能力，以及偿还债务等能力的重要指标。

现金流量按照企业经营业务的范畴，可以划分为三类：

(1) 经营活动产生的现金流，是除去企业投资活动和筹资活动所产生的现金流之外的交易事项所产生的现金流量。

(2) 投资活动产生的现金流量，是企业在购买或者处置长期资产、不包含在现金等价物内的资产的过程中所产生的现金流量。

(3) 筹资活动产生的现金流量，是企业的资本、借款的规模和构成情况产生变化时的现金流量。

经营活动产生的现金流量最是上述三类流量中最为重要的一类，因为它能充分反映企业在实际的经营活动，通过运用自身资源来创造现金的能力。

企业经营过程中，现金流入量与流出量之间的差额是企业经营过程中所产生的现金流量净额。

从偿债能力来看，企业所创造的利润是偿还债务的最终来源，但企业所拥有的现金才是反映其偿债能力的关键。由于会计处理中，利润是以权责发生制为计量基础的，收入与费用是以权责发生的时间作为归属确认的，并不是以是否收到现金作为确认的标准，因此企业利润同净现金流量通常情况下不是一致的，在实际情况中，企业有利润，却没有现金的情况时有发生，具有盈利的企业却可能由于净现金流缺乏，而不能偿还到期的债务，从而导致企业不能按时偿还债务，而

不得不对企业进行清算。因此，关注于企业现金流的情况，能够发现企业发生坏账的可能，也使企业的投资者或者是债权人能更加充分并全面的了解企业在财务方面的状况。企业经营活动中的净现金流量是衡量企业创造价值的能力，以及企业盈利能力的重要指标。

从上面的介绍中可以看出，现金流量在衡量企业的盈利能力时是一个十分重要的指标。在本文的选股中，将考虑经营活动中每股现金流量的同比增长，其中，经营活动产生的每股现金流量=经营活动产生的现金流量净额÷总股本，考虑经营活动中每股现金流量同比增长是衡量企业的经营过程中，现金流的管理能力的状况同之前状况相比的情况。

现金比率，即经营活动产生的现金流量净额与净利润之比。企业的现金流量高，但其净利润较低，说明企业在经营的过程中较为保守，没能利用好机会进行投资，具有较差的现金流量品质；如果企业的净利润偏高，但是经营过程中所产生的现金流量较低，企业会面临现金不足的困境，严重时，甚至会出现破产。现金比率能够很好的衡量企业在经营过程中所产生的现金流量同净利润的均衡关系。

3.2.4 净资产收益率的定义

净资产收益率，又被称为股东权益报酬率、净资产利润率，即ROE(rate of Return on Common Stockholders' Equity)，其计算公式为：净资产收益率=净利润/净资产*100%，该指标有效地反映了股东权益的收益水平，是衡量公司自有资本运用效率的重要指标。净资产收益率的值越高，说明投资过程中所带来的收益越高，是衡量自有资本获取净利润能力的重要指标，是每股净利润衡量企业时的重要补充。例如，企业对原有的股东配送红股后，在计算每股净利润的时候，由于股本总数增加导致每股净收益下降，投资者会出现企业盈利能力下降的错觉，所以在分析公司盈利能力的过程中，需要考虑净资产收益率。

企业的资产由两部分组成，其中一部分是股东的所投入的资产部分投资，它是所有者权益(它包括企业股东在企业中所投入的股本，企业公积金和留存收益等的总和)，另一部分是企业借入和暂时占用的资金。企业在经营的过程中，可以运用财务杠杆来提高资金的使用效率，但是在经营的过程中，当企业借入过多资金，会导致企业的财务风险增大，但同时可能会提高企业的盈利能力；当企业借入的资金过少的情况下，又会导致资金的使用效率降低，因此净资产收益率这个指标是衡量企业股东自有资金在经营过程中使用效率的一个十分有效的财务指标。

净资产收益率有两个比较常用的计算方法：

方法一：全面摊薄净资产收益率=报告期净利润÷期末净资产；

方法二：加权平均净资产收益率=报告期净利润÷平均净资产，其中平均净资产=(本年期初净资产+本期末净资产)/2。

在选股的过程中，应该选择方法一还是方法二来计算净资产收益率，为了解决这个问题，下面将对两种计算方法进行更加全面地介绍。

全面摊薄净资产收益率计算公式所得到的的是一个强度指标，是对期末单位净资产分享经营净利润的说明，能够很好的衡量股票的未来价值。从股东，企业外部的利益相关者来看，全面摊薄净资产收益率的计算方法更加适合，主要原因是由于股份制企业具有一定的特殊性：在新增股份的过程中，新的股东通常要缴纳超过面值的资本才能获得同股同权的地位，考虑到这样的情况，我国证监会给出了基于全面摊薄法来计算净资产收益率。采用全面摊薄法所得出的净资产收益率更加适合于用来判断公司股票市场上的交易价格，在向股东披露公司的会计信息时常采用此方法。

加权平均净资产收益率所强调的是企业经营者在经营期间单位净资产所赚取的利润，能够反映企业过去时间的综合管理水平能够帮助判断公司的未来盈利能力。对企业的经营者衡量过去经营策略的优劣，并制定未来合适的经营策略具有十分重要的指导作用。因此，该方法更加适合于企业的经营者，在可以用来衡量企业经营者的业绩。

从上面的分析中，可以看出，企业外部侧重采用方法一中的计算方法，企业内部侧重采用方法二种所出的计算方法。因此，在本章中，利用净资产收益率这个指标来选择股票时，应该采用方法一中所给出的全面摊薄净资产收益率的计算公式。

3.2.5 组合财务指标选股规则

上面的部分介绍了本文基于公司价值与成长信息选股策略所涉及到的财务指标，下面将对上面的指标进行总结，本文的选股方法所涉及的指标如下：

指标一，该季度每股收益的同比增长。

指标二，该季度的营业收入同比增长。

指标三，每股现金流同比增长。

指标四，经营活动产生的现金流量净额与净利润之比。

指标五，净资产收益率。

在选股的过程中，符合五个指标的值均为正的股票的数量很多，投资者可以对挑选出的五个指标给予一定的阈值，挑选出价值相对较高的股票。对本文所用到的五个指标所赋予的结果如下所示：

指标一，该季度每股收益的同比增长大于20%。

指标二，该季度的营业收入同比增长大于25%。

指标三，每股现金流同比增长大于20%。

指标四，经营活动产生的现金流量净额与净利润之比大于20%。

指标五，净资产收益率大于20%。

下面将根据所给出的五个指标及其阈值的大小，进行进一步的实证研究。

3.3 基于公司价值信息的股票选择方法的实证分析

本节的研究主要是从上海证券交易所的上市公司所披露的财务数据出发，依据公司价值信息的选股方法并结合技术指标判断是否进行买入操作的实证研究与分析，从而检验基于公司价值信息的选股方法的有效性：

(1)首先根据实证研究的需要，挑选出适量的股票，获取上市公司的财务数据指标，并得出计算出基于公司价值信息选股方法所依赖的指标的值；

(2)在此基础上依据本文所给出的公司价值信息选股方法挑选出满足规则的股票；

(3)在每月根据技术指标判断是否对该股票进行买入操作；

(4)计算出所挑选的股票所获得的收益率，与市场中相应的指数进行比较，通过检验基于公司价值信息的选股方法是否获得超额收益率来判断该选股方法的有效性。

3.3.1 数据来源与样本的选取

从股票市场发展的历史来说，我国股票市场的发展历史较发达的欧美国家短，上市公司的财务信息披露也经历了一个不断完善的过程。例如，包含有现金流量表的财务报表也是在1998年度才出现。本章在进行实证研究的过程中，采用的上海证券交易所的上市公司的数据，数据来源于深圳国泰安金融数据库。在股票样本挑选的过程中，首先剔除了ST股票；其次，考虑到金融和房地产行业的股票的特殊性；同时剔除了这两类股票；最后剔除了财务报表数据不全的股票。在剩余的样本中，挑选出了800多支样本股票进行实证研究。

在实证的过程中，采用动态分析的方法，样本数据的时间范围从2003年1月1日开始到2013年的12月31日，由于涉及到计算同比增长的值的大小，所以最终给出超额收益的年份总共有10年，在研究的过程中，将分别计算出从2004年到2013年每一年的超额收益率。以2003年和2004年的数据为季度财务报表为依据，计算出相应的2004年的指标的同比增长，从而挑选出适合的股票数，淘汰掉不满足条件

的股票，并通过在2004年持有相应股票，最后得出在该年的投资组合上证综指相比的所获得的超额收益率。以此类推，以2004年和2005年的财务报表为依据，挑选出2005年相应季度的满足规则的股票进行投资，然后计算出相应的超额收益，2006年到2013年的挑选方法依次类推，最终的实证过程将给出2004年到2013年，共10年的超额收益率。

3.3.2 实证结果

经过上述规则的筛选，给出2004年到2013年每一个季度所挑选出来的股票的数量，设 N_{ij} 表示第 i 年，第 j 季度所挑选出的符合条件的总数，其中 $i = 1, 2, 3, \dots, 10$ ， i 取1表示该年为2004年， $i = 2$ 表示2005年，以此类推， $i = 10$ 表示2013年， $j = 1, 2, 3, 4$ ， $j = 1$ 表示第一季度， $j = 2$ 表示第二季度， $j = 3$ 表示第三季度， $j = 4$ 表示第四季度，在表 3-1 中给出了是剔除了停盘后的股票所挑选出的股票总数：

表 3-1 每一年度所在季度挑选出的股票数量

	第一季度	第二季度	第三季度	第四季度
2004年	33	27	40	36
2005年	33	21	27	17
2006年	23	16	20	24
2007年	23	26	26	40
2008年	36	31	41	25
2009年	17	10	10	23
2010年	23	41	34	44
2011年	37	26	31	19
2012年	16	10	10	13
2013年	13	8	10	9

从表 3-1中可以看出， N_{11} 为33，即2004年第一季度有33支符合条件的股票，为了方便模型的介绍，设：

n_{ij} 表示第 i 年，第 j 季度的第 n 个股票，其中 $n_{ij} = 1_{ij}, 2_{ij}, \dots, N_{ij}$ ；

$Open_{n_{ij},k}$ 表示所挑选出来的第 n 个股票所在第 i 年，第 j 季度的第 k 个月的开盘价格；

$Close_{n_{ij},k}$ 表示所挑选出来的第 n 个股票所在第 i 年，第 j 季度的第 k 个月的收盘价格；

$Op_{n_{ij},t}$ 表示所挑选出来的第 n 个股票所在第 i 年，第 j 季度的第 t 个交易日的开盘价格；

$Cl_{n_{ij},t}$ 表示所挑选出来的第 n 个股票所在第 i 年，第 j 季度的第 t 个交易日的收盘价格；

$r_{n_{ij}}$ 表示所挑选出来的第 n 个股票所在第 i 年，第 j 季度的收益率；

$w_{n_{ij}}$ 表示投资于股票 n_{ij} 的权重；

r_{ij} 表示投资策略在第 i 年，第 j 季度所取得的收益率；

r_i 表示投资策略在第 i 年所取得的收益率；

T 为交易过程中，所需要的手续费用，取值为0.3%，即买卖股票的金额到达1000元，需要交纳3元的手续费用；

下面将介绍 $r_{n_{ij}}$ 和 r_i 的计算方法，具体的方法如下。

对所挑选出来的股票 n_{ij} 来说，其收益率 $r_{n_{ij}}$ 的计算涉及到如下四种情况：

本文首先给出考虑交易手续费为 T 时的个股收益的过程，对个股来说，买入时需要交纳一定比例的手续费，因此买入的成本为买入股票的成本加上所需要的手续费用买入股价 $\times(1+\text{交易手续费比例})$ ，卖出股票时，卖出所得的资金要按比较交纳手续费，卖出股票后，所得的资金为卖出股价 $\times(1-\text{交易手续费})$ ，本章中，手续费为 T ，因此个股的收益率为：个股收益率 $=\text{卖出股价}\times(1-T)-\text{买入股价}\times(1+T)/\text{买入股价}$ 。

情况一：在第 i 年、第 j 季度的第一个月的交易日中，如果该股出现

$$(Op_{n_{ij},t} - Open_{n_{ij},1}) / Open_{n_{ij},1} < -5\%$$

的情况，即在该季度的第一个月出现下跌 5% 的情况，则在该月卖出股票 n_{ij} ，改为持有现金，直到下一个季度重新挑选出适合的股票，此时考虑买入和卖出手续费后股票的收益率为：

$$r_{n_{ij}} = \frac{Open_{n_{ij},1} * (1 - 5\%) * (1 - T) - Open_{n_{ij},1} * (1 + T)}{Open_{n_{ij},1}} \quad (3-1)$$

即：

$$r_{n_{ij}} = (1 - 5\%) * (1 - T) - (1 + T) \quad (3-2)$$

情况二：如果情况一中的条件没有发生，则继续在该季度的第二个月继续持有该股票，如果在该季度的第二个月的交易日中，该股出现：

$$(Op_{n_{ij},t} - Open_{n_{ij},1}) / Open_{n_{ij},1} < -5\%$$

或

$$(Op_{n_{ij},t} - Open_{n_{ij},2}) / Open_{n_{ij},2} < -5\%$$

的情况，即在该季度的第二个月出现股票 n_{ij} 相对于第一个月的开盘价或者是第二个月的开盘价回调5%的情况，则卖出该股票，持有现金，直到下一个季度挑选挑选出新的符合条件的股票，则该股票在该季度的收益率为：

$$r_{n_{ij}} = \frac{\max(Open_{n_{ij},1}, Open_{n_{ij},2}) * (1 - 5\%) * (1 - T) - Open_{n_{ij},1} * (1 + T)}{Open_{n_{ij},1}} \quad (3-3)$$

即：

$$r_{n_{ij}} = \frac{\max(Open_{n_{ij},1}, Open_{n_{ij},2})}{Open_{n_{ij},1}} * (1 - 5\%) * (1 - T) - (1 + T) \quad (3-4)$$

情况三：如果上述情况均未出现，那么在该季度的第三个月的交易日中，该股出现：

$$(Op_{n_{ij},t} - Open_{n_{ij},1}) / Open_{n_{ij},1} < -5\%$$

或

$$(Op_{n_{ij},t} - Open_{n_{ij},2}) / Open_{n_{ij},2} < -5\%$$

或

$$(Op_{n_{ij},t} - Open_{n_{ij},3}) / Open_{n_{ij},3} < -5\%$$

即在该季度的第三个月，股价出现相对于第一月、第二月和第三月的开盘价下跌5%的情况，则卖出该股票，持有现金，股票 n_{ij} 的收益率为：

$$r_{n_{ij}} = \frac{\max(Open_{n_{ij},1}, Open_{n_{ij},2}, Open_{n_{ij},3}) * (1 - 5\%) * (1 - T) - Open_{n_{ij},1} * (1 + T)}{Open_{n_{ij},1}} \quad (3-5)$$

即：

$$r_{n_{ij}} = \frac{\max(Open_{n_{ij},1}, Open_{n_{ij},2}, Open_{n_{ij},3})}{Open_{n_{ij},1}} * (1 - 5\%) * (1 - T) - (1 + T) \quad (3-6)$$

情况四：上述三种情况均为出现的话，则持有该股票到本季度末，此时该股票的收益率为：

$$r_{n_{ij}} = \frac{Close_{n_{ij},3} * (1 - T) - Open_{n_{ij},1} * (1 + T)}{Open_{n_{ij},1}} \quad (3-7)$$

即：

$$r_{n_{ij}} = \frac{Close_{n_{ij},3}}{Open_{n_{ij},1}} * (1 - T) - (1 + T) \quad (3-8)$$

投资策略在第 i 年，第 j 季度所取得的收益率：

$$r_{ij} = \sum_{n_{ij}=1}^{N_{ij}} w_{n_{ij}} r_{n_{ij}} \quad (3-9)$$

本章的研究中，暂时先不考虑如何对资产进行分配的问题，对所选取的资产进行等权重分配，即取 $w_{n_{ij}}$ 为 $1/N_{ij}$ ，则公式(3-9)可以表示为：

$$r_{ij} = \frac{1}{N_{ij}} \sum_{n_{ij}=1}^{N_{ij}} r_{n_{ij}} \quad (3-10)$$

通过上述方法计算出第 i 年每一个季度的收益率 $r_{n_{ij}}$ ，则投资策略在第 i 年所取得的收益率为：

$$r_i = \prod_{j=1}^4 (1 + r_{ij}) - 1 \quad (3-11)$$

将上述计算收益率的过程同所挑出来的股票相结合，计算出其每个季度相应的收益率，在表 3-2 中给出了 2004 年第一季度所挑选出的股票的代码，以及其买入股价和卖出股价，同时给出了在考虑交易手续费为 T 时的个股收益率 $r_{n_{ij}}$ ， $r_{n_{ij}} = (\text{卖出股价} * (1-T) - \text{买入股价} * (1+T)) / \text{买入股价}$ ：

表 3-2 2004 年第一季度所挑选的股票及其收益率

股票代码	买入股价(元)	卖出股价(元)	收益率 $r_{n_{ij}}$
600010	5.1	5.9	15.04%
600099	8.07	7.92	-2.45%
600113	6.16	8.01	29.34%
600132	13.07	18.18	38.38%
600232	7.73	11.2	44.16%
600303	10.78	11.64	7.35%
600327	13.95	16.88	20.34%
600360	9.2	14.9	61.17%
600361	12.75	15.92	24.19%
600378	5.56	7.56	35.26%
600389	6.67	8.76	30.64%
600422	17.7	20.61	15.79%
600428	8.95	13.87	54.21%
600512	6.5	8.19	25.32%
600519	25.01	35.04	39.38%

接下页

接上页

股票代码	买入股价(元)	卖出股价(元)	收益率 $r_{n_{ij}}$
600523	5.31	6.15	15.17%
600581	6.72	8.08	19.58%
600590	9	14.84	64.09%
600592	7.25	8.28	13.56%
600619	7.5	9.76	29.44%
600637	10.31	12.18	17.48%
600682	8.31	10.13	21.24%
600710	9.03	9.61	5.80%
600721	8.69	10.374	18.72%
600757	4.74	6.09	27.80%
600758	3.59	4.93	36.61%
600769	4.59	5.21	12.87%
600780	8.69	10.09	15.46%
600800	6.06	8.02	31.65%
600802	4.86	5.59	14.38%
600815	5.75	7.02	21.42%
600875	9.16	11.79	28.03%
600898	6.5	8.78	34.37%

在表 3-2中给出了2004年第一季度所挑选出的股票的代码和其对应的个股收益率，该季度所挑选出来的股票总数为33，因此每一只股票的投资权重为1/33，则根据公式(3-10)可以得到，2004年第一季度的收益率为：

$$r_{11} = \frac{1}{33} \sum_{n_{11}=1}^{33} r_{n_{11}} = 26.24\%.$$

同理，可以得到2004年到2013年每一个季度的收益率并根据公式(3-11)计算出每一年的年收益，具体的结果如表 3-3：

表 3-3 组合规则的季度收益率及年收益率

	一季度 收益率	二季度 收益率	三季度 收益率	四季度 收益率	年 收益率
2004年	26.24%	-3.61%	4.01%	-1.30%	24.91%
2005年	-0.43%	0.82%	8.37%	-1.92%	6.71%
2006年	14.37%	46.41%	5.57%	16.96%	106.75%

接下页

接上页

	一季度 收益率	二季度 收益率	三季度 收益率	四季度 收益率	年 收益率
2007年	55.76%	49.13%	52.87%	-1.05%	251.36%
2008年	2.19%	6.82%	1.59%	-5.47%	4.83%
2009年	43.76%	13.00%	11.47%	36.57%	147.32%
2010年	6.50%	-3.60%	35.94%	10.17%	53.77%
2011年	4.87%	0.95%	1.01%	-1.16%	5.70%
2012年	7.06%	14.15%	0.50%	8.11%	32.78%
2013年	13.28%	9.29%	24.42%	-1.76%	51.32%

在下面将给出每一年度同上证综指相比所取得的超额收益，具体的结果见表 3-4 所示，其中：

表 3-4 组合规则的年收益率同上证综指年收益率的比较

	组合规则的 年收益率	上证综指该年 开盘的收盘价	上证综指该年最 后一天的收盘价	上证综指该年 的年收益率	超额收益率
2004年	24.91%	1517.193	1266.496	-16.52%	41.43%
2005年	6.71%	1242.774	1161.057	-6.58%	13.28%
2006年	106.75%	1180.963	2675.474	126.55%	-19.80%
2007年	251.36%	2715.719	5261.563	93.74%	157.62%
2008年	4.83%	5272.814	1820.805	-65.47%	70.29%
2009年	147.32%	1880.716	3277.139	74.25%	73.07%
2010年	53.77%	3243.76	2808.077	-13.43%	67.20%
2011年	5.70%	2852.648	2199.417	-22.90%	28.60%
2012年	32.78%	2169.39	2269.128	4.60%	28.18%
2013年	51.32%	2276.992	2115.978	-7.07%	58.39%

为了对数据有一个比较直观的了解，将给出投资策略收益率与上证指数收益率的柱状图，具体的结果如图 3-1 所示：

3.3.3 结果分析

从图 3-1 中可以看出，除了2006年的投资策略收益率同上证指数的收益率相比没有获得超额收益外，其余每一个年度的个股的超额收益率均为正，并且在2006年投资策略还是获得了很好的回报率，下面将通过显著性检验进一步的分析投资策略同上证综指相比是否存在显著的差异。

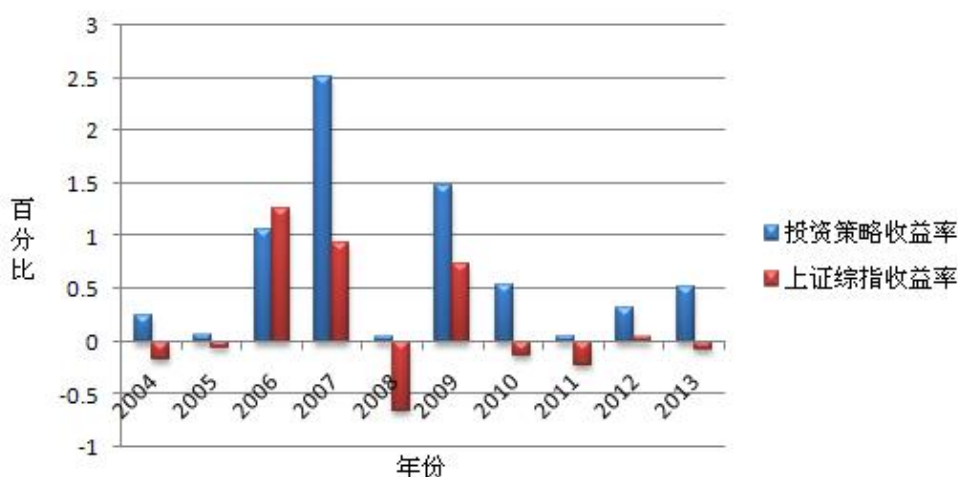


图 3-1 投资策略年收益率同上证综指年收益率的柱状图

由表 3-4 可得，需要进行检验的样本 $D=(0.4143, 0.1328, -0.1980, 1.5762, 0.7029, 0.7307, 0.6720, 0.2860, 0.2818, 0.5839)$ 为组合策略收益率与上证综指收益率的差值。

首先给出原假设： $H_0: \mu_D \leq 0$ ，则备则假设为： $H_1: \mu_D > 0$ ，则需要进行检查的问题的拒绝域为：

$$t = \frac{\bar{x}}{s_D/\sqrt{n}} \geq t_{\alpha}(n-1).$$

取 $\alpha=0.01$ ，现在 $n=10$ ，则 $t_{\alpha}(n-1)=t_{0.01}(9)=2.8214$ 。通过计算可以得到，样本 D 的均值 $\bar{x}=0.5183$ ，和标准差 $s_D=0.4724$ ，则：

$$t = \frac{0.5183}{0.4724/\sqrt{10}} = 3.4691 \geq 2.8214.$$

因此，在显著性水平为 1% 的情况下， t 落在拒绝域中，因此拒绝原假设，接受备则假设，这样的结果说明，基于公司成长与价值规则方法所获得的投资收益率相对于上证综指而言能够获得更高的投资回报率，存在显著的差异。

3.4 本章小结

本章通过分析上市公司的财务报表，考察上市公司的当季每股收益的同比增长、当季营业收入的同比增长、每股现金流的同比增长、经营活动产生的现金流量净额与净利润之比、净资产收益率五个指标，挑选出具有投资价值的股票，给出了基于公司成长与价值投资的选股方法，给投资者提供了一个挑选股票的方法与途径。

本章介绍了上述五个指标的具体含义，以及其具体的作用，给出了基于五个指标的阈值挑选具有成长与价值的股票的选股方法，并基于该方法进行了实证研究。在进行实证研究的过程中，通过计算所挑选出的股票的每一季度的收益率，再通过等权重分配资金，计算出每一季度的投资收益率，从而获得每一年的投资收益率。通过实证研究与显著性分析发现，基于公司成长与价值信息的选股方法比上证综指具有更高的收益率，说明了基于公司成长与价值信息的选股策略能够获得良好的投资效果。事实上，为了实证研究的方便，本文的止损策略仅考虑了当季相对于每一个月的开盘价的回调幅度，并不是考虑的最大回调，如果在实证研究的过程中，考虑个股的最大回调，能够获得更好的投资效果。

从上面的实证结果中还可以看出，由于本文中所给出的选股模型是基于公司成长与内在价值所提出的，所以该模型也是寻找具有内在价值的上市公司的投资方法。在投资的实践中，本章所给出的基于公司成长与价值信息的选股方法为投资者提供了一个有效的选股途径，投资者可以利用该方法来挑选股票从而进行投资决策。

第四章 组合CFAHP和TOPSIS方法在投资组合方面的应用

改革开放以来，国民经济取得了飞速的发展，我国的金融市场也从无到有，逐渐取得完善。经济水平的提高，也使得人们对投资的需求越来越旺盛，但是金融市场本身是具有巨大风险的市场，如何通过科学的方法来分析金融市场的各种产品，从而根据投资者的需求与偏好来进行投资组合是本文研究的重点之一，在本章的研究过程中我们将依据上一章中所挑选出来的股票，并在此基础上，采用组合多目标决策方法来进行投资组合。在应用多目标决策方法的过程中，由于该方法的使用特点，属性的权重是研究的关键点也是重点问题之一，因为属性权重包含了决策问题中属性的相对重要性等相关信息。通常情况下，权重的确定方法有客观赋权法和主观赋权法两大类，主观赋权法较大程度的依赖于专家的知识系统，或者是投资者的个人认识，所以主观赋权法具有较大的缺陷，本文将结合模糊数学和层次分析法中来确定属性的相对权重。事实上，在权重的确定过程中，考虑到专家在对评价指标进行打分时，通常会给出一个模糊的表述，如，好，良好，一般，差等，因此我们结合模糊数学里面的三角模糊数，通过带约束的模糊层次分析法得到属性的权重。通过这样的处理，获得了相对较为客观的属性权重向量，再结合TOPSIS方法对备选方案进行排序，从而克服了单独使用CFAHP方法时计算量偏大的问题。本章是层次分析法与模糊数学研究方法相结合的典范，是研究组合多目标决策方法在投资组合方面的应用。

4.1 多目标决策概述

在现实世界的决策问题，会涉及不同层次的多个评价标准，人们挑选商品时，会考虑产品的功能、外观、价格等评价指标，最终会根据个人喜好在不同品牌、型号的产品中挑选自己中意的产品。事实上，在挑选商品的过程中，人们已经对各个评价指标分配了权重，并根据权重进行了挑选。在日常生活中，挑选生活用品或者是购买家用电器等问题是相对比较简单多目标决策问题。但在生产过程中所遇到的通常是比较重大的多目标决策问题，例如企业考虑现阶段生产何种产品，如何在备选方案中进行选择就是一个非常重要且复杂的问题。因为生产产品的选择会影响企业未来的盈利，那么如何根据现有的数据，如生产要素的价格、投资成本、企业的生产水平、未来市场的需求等，来为企业的生产问题找到解决方案。在决策时间有限的情况下，通常很难找到问题的最佳解决方案，即不能找到在所有评价指标上取最优值的备选方案。事实上，这一情况和现实情况相吻合，

企业生产水平的提高，依赖于设备的投入，相应投资成本会增加，评价指标这之间存在相互矛盾的情况。通常情况下，人们通过将寻找问题的最优化方案转化为寻找问题的最适合的折衷方案。多目标决策方法即是在多个相互矛盾的指标上，通过科学、合理的方法，如：运筹学方法、统计学原理、最优化理论等，在备选方案中进行选优的方法理论体系，是管理科学中一个广受学者关注的分支领域。

自从多目标决策方法问世以来，已经被广泛应用在诸多领域中。例如，工程问题的项目选择。如何在备选方案中，根据相应的评价目标，通过多目标决策方法来寻找一组有效解，也被称为非劣解或者是帕累托解。在现阶段，已经有多种多目标决策方法被研究出来，用以帮助决策者寻找最优的妥协方案，下面将介绍几种常用的多目标决策方法：层次分析方法、逼近于理想解的排序方法等，将应用这些方法进行介绍和研究，并介绍如何将其应用在投资组合中。

4.2 层次分析法

在过去20年中，国内外学者对层次分析法进行了非常深入和广泛的研究，并针对其中存在的问题进行了许多改进和变形。层次分析法由于其容易被理解，已经被应用于不同的决策问题、如资源分配、武器控制、物料采购、人力资源选择、项目选择、市场营销、投资组合选择、模型选择等。多目标决策方法一个重要的科学发展就是将权重分析从人为臆断，通过科学化手段进行客观量化。Saaty^[16]教授在1980年提出的层次分析法（The Analytic Hierarchy process, AHP），是解决多目标决策问题的常用方法之一，其核心思想是对评价指标进行两两比较，得到成对比较矩阵（决策矩阵）来确定指标的相对重要性。层次分析法具有结构简洁、易于理解、便于使用等特点，在很多领域得到了广泛的应用，例如项目选址，生产资料采购，项目选址，以及投资组合选择等问题。由于在AHP方法中决策矩阵是对评价指标进行两两比较得到的，从而没有办法避免出现人为的主观臆断，会导致评价结果与现实不一致等情况，在实际处理过程中，通过引入一致性系数检验方法来解决这个问题。在层次分析法中，评价指标的相对优先级是通过量化的1-9标度法来确定的，其中，1表示方案A与方案B在比较的过程中，具有同等重要性；而9表示方案A与方案B相比，前者比后者具有极端重要性，在这种情况下，方案B与方案A之间的比值就记为1/9；方案A与方案B之间更多的比值见下面的表4-1所示的1-9标度法。层次分析法的运用是通过将复杂的决策问题的组成因素进行整理，并通过组成因素的支配关系进行分层，通过对复杂问题的逐一分解，从而构造出一个递进的层次结构模型。

层次分析法的计算过程可以分为如下的四个步骤：首先，通过对决策问题进行分析，可以将决策问题分解为目标层、评价准则层、备案方案层三个相互关联

的决策单元。在层次分析法的使用过程中，对于层次结构中的第二层即评价准则层可以根据需要进行进一步的划分，从而得到不同水平的子准则层。第二步，根据决策问题确立好层次结构之后，决策者就需要对同一层次的不同元素相对于上一层次中的某一评价准则使用两两比较的方法得到决策矩阵，元素间重要程度的赋值通过1-9标度法表示。第三步，依据上一步所得到的决策矩阵，并通过计算该决策矩阵的最大特征值来获得同一层次各元素相对上层次中某一评价准则的相对优先级权重。第四步，将各层次元素的优先级权重进行组合，并计算得到各层次对系统总目标的综合优先级权重。

下面将对层次分析的计算过程进行更详细的介绍：

步骤一：分析问题，建立相应的层次结构。层次分析法的结构可以分为三层：目标层，准则层，方案层。其中，目标层是期望寻找的方案；准则层是评价方案时所考虑的准则，这一层可以根据实际情况划分为若干个子准则层；方案层是可供选择的方案。从上面的定义可以看出如下规律：同一层上的元素对相对应的下一层上的元素起决定或者支配的作用，同时又受上一层元素的支配。层次分析法的结构如图 4-1所示：

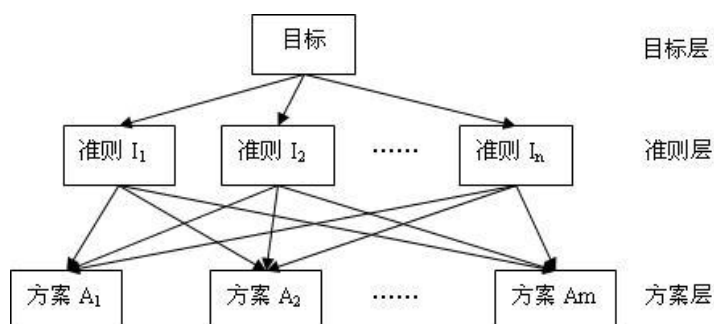


图 4-1 层次分析法的层次结构

步骤二：建立用于确定准则层相对权重的成对比较矩阵。在层次分析法中，准则之间的两两重要程度的比较是通过定性比较的，而不是通常情况下的定量比较，通过1-9标度法将定性的重要程度转化成相应的赋值，从而解决了这个问题，数字1-9的具体含义如表 4-1 所示：

表 4-1 1-9标度法

标度	含义
1	表示相比较的两个元素同样重要
3	表示相比较的两个元素，前者比后者稍重要

接下页

接上页

标度	含义
5	表示相比较的两个元素，前者比后者明显重要
7	表示相比较的两个元素，前者比后者强烈重要
9	表示相比较的两个元素，前者比后者极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间值
倒数	元素 i 与元素 j 之间重要性的比值为 a_{ij} ，则元素 i 与元素 j 之间的重要性之比为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

设 $C = \{C_j \mid j = 1, 2, \dots, n\}$ 是准则层的集合，则 n 个准则层的成对比较矩阵可以表示成是一个 $n \times n$ 的决策矩阵 A ，其中 $a_{ij}(i, j = 1, 2, \dots, n)$ 是准则 C_i 同准则 C_j 进行比较所得值，决策矩阵 A 如下所示：

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & a_{ii} & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

由于 a_{ii} 是准则 C_i 同自身进行比较，则有 $a_{ii}=1$ ，即矩阵的对角线元素全为1；同时为了确保对称性，有 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ ，其中 $a_{ij} \neq 0$ ，所以只需要进行 $n(n-1)/2$ 次的成对比较。

步骤三：确定权重向量的值。根据Saaty教授提出的特征根法来求解权重向量，设 λ_{max} 是决策矩阵 A 的最大特征值， ω 是决策矩阵 A 的相应于特征值 λ_{max} 的特征向量，则有：

$$A\omega = \lambda_{max}\omega$$

将 ω 进行归一化处理，就得到了权重向量的值。

特征值的计算过程如下：

首先：任意取一个与决策矩阵 A 同阶的归一化初始向量 w ，其中 w 记为 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ ， $0 < w_i \leq 1$ ， $1 \leq i \leq n$ ，且满足下面的约束条件：

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

其次，计算 $w^{q+1} = Aw^q$ ，其中 $q = 0, 1, 2, \dots$

第三步，将 w^{q+1} 进行归一化处理，具体的计算公式如下：

$$w^{q+1} = w^{q+1} / \sum_{i=1}^n w_i^{q+1}$$

第四步：对于 $\forall \varepsilon > 0$ ，当 $|w_i^{q+1} - w_i^q| < \varepsilon$ 成立时，其中 $i \in N$ ，则 $w = w^{q+1}$ 为对应于特征矩阵 A 的最大特征值 λ_{max} 的权重特征向量，且有：

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n w_i^{q+1} / n w_i^q$$

最大特征值 λ_{max} 的计算也可以表示如下：

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{n w_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i}$$

其中：

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

步骤四：计算总目标的权重向量。

在处理实际问题的过程中，决策层的划分通常情况下不止一层，这时需要计算每一层元素相对于上一层元素的权重向量，通过将这些优先级权重向量进行组合，得到总目标的权重向量，再依据权重向量的结果对方案进行最终的选择。对于划分了多层次结构的决策问题，在计算总目标的权重向量时，需要从上而下的对权重向量进行合成。

假设 W^{k-1} 是第 $k-1$ 层上的元素相对于总目标的权重向量，其中这一层元素个数记为 n_{k-1} ，其中向量表示式如下：

$$W^{k-1} = (w_1^{(k-1)}, w_2^{(k-1)}, \dots, w_{n_{k-1}}^{(k-1)})^T$$

假设 P_j^k 是第 k 层上的 n_k 个元素相对第 $k-1$ 层上第 j 个准则的权重向量，其中不受元素 j 支配的权重向量设为零，则有：

$$P_j^k = (p_{1j}^k, p_{2j}^k, \dots, p_{n_{k-1}j}^k)^T$$

记第 k 层上对 $k-1$ 层元素的排序为 P^k ，其中 P^k 是 $n_k \times n_{k-1}$ 阶矩阵

$$P^k = (p_1^k, p_2^k, \dots, p_{n_{k-1}}^k)$$

$$W^k = (w_1^{(k)}, w_2^{(k)}, \dots, w_{n_k}^{(k)})^T = P^k W^{k-1}$$

其中

$$w_i^{(k)} = \sum_{j=1}^{n_{k-1}} P_{ij}^k w_j^{k-1}$$

$i = 1, 2, \dots, n_k$.

在实际应用中，由于客观事物的复杂性和认识上的局限性，会导致两两比较的时候不能满足 $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ ，出现这种情况主要有两个原因：一个是由于指标

数量比较多, 导致在评价是出现了逻辑上的矛盾, 另一个是参与评价的专家较多, 导致评价者在认知或者认识上的不同所产生的不一致情况, 为了避免逻辑上所产生矛盾, 需要检验决策矩阵的一致性, 定义如下:

当决策矩阵中的元素满足 $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ 时, 则称决策矩阵 A 为一致性矩阵, 并称矩阵 A 通过了一致性检验, 反之则称矩阵 A 没有通过一致性检验。

为了对决策矩阵的一致性进行进一步的研究, 需要考虑一致性指标 CI (consistency index), 其中:

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

当决策矩阵 A 具有完全一致性的时候, 即 $\forall a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, 此时矩阵 A 的秩为1, 最大特征值 λ_{max} 的值为 n , 此时 CI 的值为0。

考虑一致性比率 CR (Consistency ratio):

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

其中, RI (Random Index)是随机一致性指标, 对于不同的准则数 n , RI 的值对应如表 4-2 所示:

表 4-2 随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当 $CR \geq 0.1$ 时, 决策矩阵 A 没有通过一致性检验, 需要对决策矩阵进行调整; 当 $CR < 0.1$ 时, 决策矩阵 A 通过一次性检验^[132]。

4.3 带约束的模糊层次分析法(CFAHP)

在决策的过程中广泛的存在着不确定性和模糊性。人们通常喜欢用语言来表达对一个事物的看法, 而不是一个很准确的数字。随着模糊数学的出现, 可以将语言变量转化成为模糊数。通常情况下使用的是三角模糊数。

定义 4.3.1 三角模糊数是一个特殊的集合 $\tilde{F} = \{(x, \mu_F(x), x \in R)\}$, 这里 x 是实数域 $R: -\infty < x < +\infty$ 上的值, 并 $\mu_F(x)$ 是从实数 R 到闭区间 $[0,1]$ 上的连续映射。

定义 4.3.2 一个三角模糊数被定义为 $\tilde{A} = (l, m, u)$, 其中 $l < m < u$ 。 \tilde{A} 中的元素被定义为:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

如果 $l = m = u$ ，三角模糊数就成了一个实数。

在本章中，为了计算上的方便，语言变量用三角模糊数来代替。在不确定的环境中，这种方法已经被证明是一种非常有效的方法^[22, 133, 134]。

定义 4.3.3 三角模糊数 $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 和 $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ 之间的距离被定义为：

$$d(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = \sqrt{\frac{1}{3}[(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2]}$$

4.3.1 带约束的模糊算子

在运算的过程中，把常用的运算法则应用到模糊数里面会导致结果的无效性。Klir 介绍了带有约束的模糊算子，用来避免传统的运算公式所带来的无效。例如，三角模糊数 $\tilde{A} = [A_l, A_m, A_u]$ 和 $\tilde{B} = [B_l, B_m, B_u]$ ，考虑如下的模糊算术表达式： $\tilde{A}/(\tilde{A} + \tilde{B})$ 。常用运算法则下，不考虑约束条件的模糊算子的表达式如下：

$${}^\alpha[\tilde{A}/(\tilde{A} + \tilde{B})] = {}^\alpha[\tilde{A}_l/(\tilde{A}_u + \tilde{B}_u), \tilde{A}_u/(\tilde{A}_l + \tilde{B}_l)]$$

改进后，考虑带约束条件的模糊算术表达式如下：

$${}^\alpha[\tilde{A}/(\tilde{A} + \tilde{B})] = {}^\alpha[\tilde{A}_l/(\tilde{A}_l + \tilde{B}_u), \tilde{A}_u/(\tilde{A}_u + \tilde{B}_l)]$$

现在有两个三角模糊数 $A=[1 \ 2 \ 3]$ ， $B=[2 \ 3 \ 4]$ 。不考虑带有约束的算子，则 $\tilde{A}/(\tilde{A} + \tilde{B})=[1/(3+4), 2/(2+3), 3/(1+2)]=[1/7, 2/5, 1]$ 。考虑带有约束的算子，则 $\tilde{A}/(\tilde{A} + \tilde{B})$ 的结果是 $[1/(1+4), 2/(2+3), 3/(3+2)]=[1/5, 2/5, 3/5]$ 。通过利用平等约束，我们得到了一个更小的区间，去掉了不必要的信息。在图 4-2 中，给出了带约束的算子与不带约束的算子之间的比较。

4.3.2 CFAHP 方法介绍

通过上面的介绍，在这一节里将介绍怎样通过带有约束的模糊层次分析法（CFAHP）来得到模糊综合程度。

假设有 m 个选项，每个选项有 n 个属性。 S 是属性之间的模糊成对比较矩阵，其中的元素是 $\tilde{s}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, $1 \leq i, j \leq n$ 。为了确保矩阵的对称性，有如下定义： $\tilde{s}_{ji} = (1/u_{ij}, 1/m_{ij}, 1/l_{ij})$, $\forall i \neq j$, $\tilde{s}_{ji} = (1, 1, 1)$, $\forall i = j$ 。

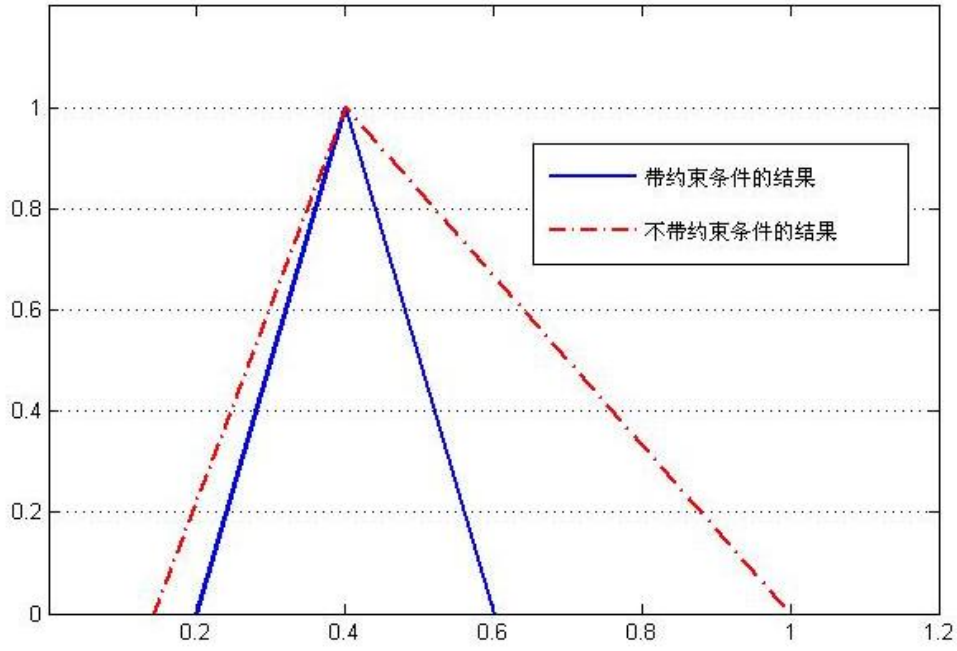


图 4-2 带约束条件的算子与不带约束条件的算子之间的比较

记模糊综合程度为 $\tilde{s}_i = (s_{li}, s_{mi}, s_{ui})$ 。 s_{mi} 定义如下：

$$s_{mi} = \sum_{j=1}^n m_{ij} \times \left[\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n m_{kj} \right]^{-1} \quad (4-1)$$

为了得到 s_{li} ，首先通过下面的约束条件得到 $B_i = (b_{kj}), i, j, k = 1, 2, \dots, n$,

$$b_{jj} = 1$$

$$b_{jk} = 1/b_{kj}$$

$$b_{ij} = l_{ij}, \forall j \neq i$$

$$b_{kj} = \{x \mid y = \max(x + \frac{1}{x}), \forall x \in [l_{kj}, u_{kj}]\}, \forall k \neq i, j \neq i, j > k.$$

当矩阵 $B_i, i = 1, 2, \dots, n$ 得到之后， $s_{li}, i = 1, 2, \dots, n$ 的计算过程如下所示：

$$s_{li} = \sum_{j=1}^n b_{ij} \times \left[\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n b_{kj} \right]^{-1} \quad (4-2)$$

同理为了得到 s_{ui} ，通过下面的约束条件得到 $C_i = (c_{kj}), i, j, k = 1, 2, \dots, n$

$$c_{jj} = 1$$

$$c_{jk} = 1/c_{kj}$$

$$c_{ij} = u_{ij}, \forall j \neq i$$

$$c_{kj} = \{x \mid y = \min(x + \frac{1}{x}), \forall x \in [l_{kj}, u_{kj}]\}, \forall k \neq i, j \neq i, j > k.$$

得到 $C_i, i = 1, 2, \dots, n$, 通过下面的公式(4-3)可以得到 $s_{ui}, i = 1, 2, \dots, n$ 。

$$s_{ui} = \sum_{j=1}^n c_{ij} \times [\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n c_{kj}]^{-1} \quad (4-3)$$

上述方法的优点是在计算模糊综合程度的过程能够得到更多有效的信息, 有利于减少不确定性的信息。因此, 这个方法比传统的模糊层次分析法有效。

在上面的计算过程中, 为了确定 b_{kj} 和 $c_{kj}, k, j = 1, \dots, n$ 的值需要在闭区间 $[l_{kj}, u_{kj}]$ 上确定函数 $x + \frac{1}{x}$ 的最大值和最小值。因为

$$(x + \frac{1}{x})' = 1 - \frac{1}{x^2}, \quad (x + \frac{1}{x})'' = \frac{2}{x^3},$$

所以函数 $(x+1)/x$ 的最小值在 $x=1$ 得到。事实上, 函数 $(x+1)/x$ 在区间 $[1, +\infty)$ 上单调递增的, 在区间 $(0,1)$ 上是单调递减的。因此 b_{kj} 和 $c_{kj}, k, j = 1, \dots, n$ 的值如下所示:

$$b_{kj} = l_{kj}, c_{kj} = u_{kj}, \text{ when } u_{kj} < 1;$$

$$b_{kj} = u_{kj}, c_{kj} = l_{kj}, \text{ when } l_{kj} > 1;$$

$$b_{kj} = l_{kj}, c_{kj} = 2, \quad \text{when } l_{kj} < 1 < u_{kj}, \quad (l_{kj} + \frac{1}{l_{kj}}) > (u_{kj} + \frac{1}{u_{kj}})$$

$$b_{kj} = u_{kj}, c_{kj} = 2, \quad \text{when } l_{kj} < 1 < u_{kj}, \quad (l_{kj} + \frac{1}{l_{kj}}) < (u_{kj} + \frac{1}{u_{kj}})$$

计算所得到的 $\tilde{s}_i = (s_{li}, s_{mi}, s_{ui}), i = 1, 2, \dots, m$ 是用来确定属性的相对权重。更重要的是, 接下来将通过程度分析技术把模糊综合向量转化成确定的向量。具体计算步骤如下:

步骤一: 通过 $v(\tilde{s}_2 \geq \tilde{s}_1) = \sup_{y \geq x} [\min(u_{\tilde{s}_1}(x), u_{\tilde{s}_1}(y))]$ 来计算 $\tilde{s}_2 = (s_{l2}, s_{m2}, s_{u2}) \geq \tilde{s}_1 = (s_{l1}, s_{m1}, s_{u1})$ 的概率。其具体计算过程如下所示:

$$v(\tilde{s}_2 \geq \tilde{s}_1) = hgt(\tilde{s}_2 \cap \tilde{s}_1) = \mu(d) = \begin{cases} 1, & s_{m2} \geq s_{m1}; \\ 0, & s_{l2} \geq s_{u2}; \\ \frac{s_{l2} - s_{u2}}{(s_{m2} - s_{u2}) - (s_{m1} - s_{l1})}, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4-4)$$

为了比较 \tilde{s}_1 和 \tilde{s}_2 , 需要计算 $v(\tilde{s}_2 > \tilde{s}_1)$ 和 $v(\tilde{s}_1 > \tilde{s}_2)$ 。

步骤二: 三角模糊数 \tilde{s} 发生的概率大于其他三角模糊数 $\tilde{s}_i, i = 1, 2, \dots, n$ 的概率定义为:

$$v(\tilde{s} \geq \tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_n) = v[(\tilde{s} \geq \tilde{s}_1) \text{ and } (\tilde{s} \geq \tilde{s}_2) \text{ and } \dots \text{ and } (\tilde{s} \geq \tilde{s}_n)] = \min_i v(\tilde{s} \geq \tilde{s}_i)$$

让 $d'(\tilde{s}_i) = \min_k v(\tilde{s}_i \geq \tilde{s}_k), k = 1, 2, \dots, n, k \neq i$ 。可以得到如下向量：

$$W' = (d'(\tilde{s}_1), d'(\tilde{s}_2), \dots, d'(\tilde{s}_n)).$$

步骤三：把向量 W' 进行归一化处理，得到如下的权重向量：

$$W = (d(\tilde{s}_1), d(\tilde{s}_2), \dots, d(\tilde{s}_n)).$$

很显然， W 是一个非模糊的向量。

通过利用带约束的模糊算子和程度分析法，上述方法不仅能够减少不确定性程度，利用更多更有效的信息，并且能够准确的确定权重向量，使得该方法在实际应用中的更有效。如果应用CFAHP来对备选方案选项进行选择或排序，则需要将属性同每一个目标选项之间进行比较来建立决策矩阵，则有大量的矩阵需要计算，计算量会大大增加。为了避免上述缺点，其他的一些计算方法将被用来进一步的改进CFAHP方法的缺点。

4.3.3 实证研究

在上面的介绍中，我们主要针对CFAHP方法进行了介绍，在接下来的介绍中，我们将利用CFAHP方法来确定对股票的属性的权重。下面将给出具体的计算过程。通常情况下，为了避免一个专家所带来的主观性，并确保评价结果的合理性，多个决策专家将会被邀请来对决策问题进行评价。

下面通过一个具体的例子来展示如何应用CFAHP来计算属性的权重。假设共邀请了 t 个专家，共计 m 个备选方案，每个方案有 n 个属性。这里，所涉及到的属性主要是如下所示的五个指标：

指标一，该季度每股收益的同比增长。

指标二，该季度的营业收入同比增长。

指标三，每股现金流同比增长。

指标四，经营活动产生的现金流量净额与净利润之比。

指标五，净资产收益率。

然后在每一季度所需要的投资组合的股票是通过上一章所挑选出来的股票，具体的数量见表 3-1。下面将给出CFAHP方法计算备选方案属性权重的具体步骤，具体的计算过程如下：

步骤一：分析问题并建立相应的目标层、准则层以及备选方案层，当问题较为复杂时，还可以对准则层进行进一步的划分，建立相应的子准则层，具体的层次结构如下图 4-3 所示：

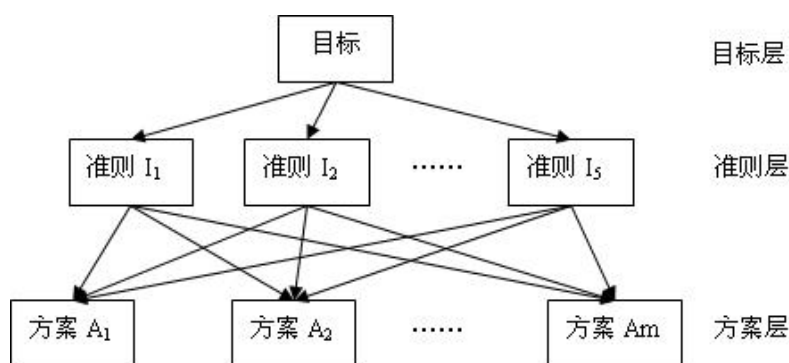


图 4-3 层次分析法的层次结构

其中, I_1 代表指标一, 该季度每股收益的同比增长; I_2 代表指标二, 表示该季度的营业收入同比增长行业前景; I_3 代表指标三, 表示每股现金流同比增长; I_4 代表指标四, 表示经营活动产生的现金流量净额与净利润之比; I_5 代表指标五, 表示净资产收益率。 I_1 到 I_5 是挑选股票时所采用的五个指标, 被用来作为准则层。

步骤二: 在CFHAP中, 准则之间需要进行两两比较。同时, 为了避免一个专家对评价指标所带来的主观性, 邀请了两个专家对准则进行比较。根据Chen和Yang^[135], Dagdeviren和Yüksel^[136]在论文中的定义, 语言变量与三角模糊数有如表 4-3 所示的等价关系:

表 4-3 语言变量同三角模糊数之间的等价关系

Definition	Triangular fuzzy number
完全相同(Just equal)	(1, 1, 1)
弱重要(Equally important)	(1/2, 1, 3/2)
稍微重要(Weakly important)	(1, 3/2, 2)
相对重要(Moderately important)	(3/2, 2, 5/2)
强烈重要(Strongly important)	(2, 5/2, 3)
绝对重要(Absolutely important)	(5/2, 3, 7/2)

在确定决策矩阵的过程中, 所有对角线元素被定义为(1,1,1), 上对角线元素为 $\tilde{s}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}), i < j$, 为了确保矩阵的对称性, 相应地, 下对角线元素相应的被定义为 $\tilde{s}_{ji} = (\frac{1}{u_{ij}}, \frac{1}{m_{ij}}, \frac{1}{l_{ij}}), i > j$ 。下面给出专家 t_1 和专家 t_2 对准则层进行两两比较所得到的评价矩阵 S_1 和 S_2 。

$$S_1 = \begin{pmatrix} (1,1,1) & (1,1,1) & (2/3,1,2) & (2/5,1/2,2/3) & (2/5,1/2,2/3) \\ (1,1,1) & (1,1,1) & (2/3,1,2) & (1/2,2/3,1) & (1/2,2/3,1) \\ (1/2,1,3/2) & (1/2,1,3/2) & (1,1,1) & (2/3,1,2) & (2/3,1,2) \\ (3/2,2,5/2) & (1,3/2,2) & (1/2,1,3/2) & (1,1,1) & (1,1,1) \\ (3/2,2,5/2) & (1,3/2,2) & (1/2,1,3/2) & (1,1,1) & (1,1,1) \end{pmatrix}$$

$$S_2 = \begin{pmatrix} (1,1,1) & (1,1,1) & (1,1,1) & (2/5,1/2,2/3) & (2/5,1/2,2/3) \\ (1,1,1) & (1,1,1) & (1/2,2/3,1) & (1/2,2/3,1) & (1/2,2/3,1) \\ (1,1,1) & (1,3/2,2) & (1,1,1) & (2/3,1,2) & (2/3,1,2) \\ (3/2,2,5/2) & (1,3/2,2) & (1/2,1,3/2) & (1,1,1) & (2/3,1,2) \\ (3/2,2,5/2) & (1,3/2,2) & (1/2,1,3/2) & (1/2,1,3/2) & (1,1,1) \end{pmatrix}$$

步骤3: 为了确保矩阵的对称性, 通过几何平均法对上述决策矩阵进行处理, 得到如下的结果:

$$S_3 = \begin{pmatrix} (1,1,1) & (1,1,1) & a_1 & a_2 & a_2 \\ (1,1,1) & (1,1,1) & a_3 & a_4 & a_4 \\ a_5 & a_5 & (1,1,1) & a_6 & a_6 \\ (1.5,2,2.5) & (1,1.5,2) & (0.5,1,1.5) & (1,1,1) & a_1 \\ (1.5,2,2.5) & (1,1.5,2) & (0.5,1,1.5) & a_5 & (1,1,1) \end{pmatrix}$$

其中 $a_1=(0.8165,1,1.4142)$, $a_2=(0.4,0.5,0.6667)$, $a_3=(0.5774,0.8165,1.4142)$, $a_4=(0.5,0.6667,1)$, $a_5=(0.7071,1,1.2247)$, $a_6=(0.6667,1,2)$

步骤4: 通过CFAHP来确定模糊综合程度。首先在第二层上, 需要通过 B_1 , B_2 , B_3 , B_4 , B_5 来得到 $s_{li}, i=1,2,3,4,5$, 再通过 C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 来得到 $s_{ui}, i=1,2,3,4,5$ 。

首先确定 B_1 , B_2 , B_3 , B_4 , B_5 的值的大小:

$$B_1 = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 & 0.8165 & 0.4 & 0.4 \\ 1.0 & 1.0 & 0.5774 & 0.5 & 0.5 \\ 1.2247 & 1.7321 & 1.0 & 2.0 & 2.0 \\ 2.5 & 2.0 & 0.5 & 1.0 & 1.4142 \\ 2.5 & 2.0 & 0.5 & 0.7071 & 1.0 \end{pmatrix}$$

$$B_2 = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.4142 & 0.4 & 0.4 \\ 1.0 & 1.0 & 0.5774 & 0.5 & 0.5 \\ 0.7071 & 1.7321 & 1.0 & 2.0 & 2.0 \\ 2.5 & 2.0 & 0.5 & 1.0 & 1.4142 \\ 2.5 & 2.0 & 0.5 & 0.7071 & 1.0 \end{pmatrix}$$

$$B_3 = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.4142 & 0.4 & 0.4 \\ 1.0 & 1.0 & 1.4142 & 0.5 & 0.5 \\ 0.7071 & 0.7071 & 1.0 & 0.6667 & 0.6667 \\ 2.5 & 2.0 & 1.5 & 1.0 & 1.4142 \\ 2.5 & 2.0 & 1.5 & 0.7071 & 1.0 \end{pmatrix}$$

$$B_4 = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.4142 & 0.6667 & 0.4 \\ 1.0 & 1.0 & 0.5774 & 1.0 & 0.5 \\ 0.7071 & 1.7321 & 1.0 & 2.0 & 2.0 \\ 1.5 & 1.0 & 0.5000 & 1.0 & 0.8165 \\ 2.5 & 2.0 & 0.5000 & 1.2247 & 1.0 \end{pmatrix}$$

$$B_5 = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.4142 & 0.4 & 0.6667 \\ 1.0 & 1.0 & 0.5774 & 0.5 & 1.0 \\ 0.7071 & 1.7321 & 1.0 & 2.0 & 2.0 \\ 2.5 & 2.0 & 0.5 & 1.0 & 1.4142 \\ 1.5 & 1.0 & 0.5 & 0.7071 & 1.0 \end{pmatrix}$$

C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 的值如下所示:

$$C_1 = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.4142 & 0.6667 & 0.6667 \\ 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 0.7071 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.5 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.5 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \end{pmatrix}$$

$$C_2 = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.6667 & 0.6667 \\ 1.0 & 1.0 & 1.4142 & 1.0 & 1.0 \\ 1.0 & 0.7071 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.5 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.5 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \end{pmatrix}$$

$$C_3 = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 & 0.8165 & 0.6667 & 0.6667 \\ 1.0 & 1.0 & 0.5774 & 1.0 & 1.0 \\ 1.2247 & 1.7321 & 1.0 & 2.0 & 2.0 \\ 1.5 & 1.0 & 0.5 & 1.0 & 1.0 \\ 1.5 & 1.0 & 0.5 & 1.0 & 1.0 \end{pmatrix}$$

$$C_4 = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.4 & 0.6667 \\ 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.5 & 1.0 \\ 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.6667 & 1.0 \\ 2.5 & 2.0 & 1.5 & 1.0 & 1.4142 \\ 1.5 & 1.0 & 1.0 & 0.7071 & 1.0 \end{pmatrix}$$

$$C_5 = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.6667 & 0.4 \\ 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.5 \\ 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.6667 \\ 1.5 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.8165 \\ 2.5 & 2.0 & 1.5 & 1.2247 & 1.0 \end{pmatrix}$$

根据公式得到相应的模糊综合程度如下：

$$\tilde{s}_1 = (0.1235, 0.1526, 0.1865);$$

$$\tilde{s}_2 = (0.1219, 0.1583, 0.2127);$$

$$\tilde{s}_3 = (0.1315, 0.1993, 0.2982);$$

$$\tilde{s}_4 = (0.1718, 0.2418, 0.3133);$$

$$\tilde{s}_5 = (0.1674, 0.2480, 0.3072);$$

步骤五：通过CFAHP来确定权重向量。首先，计算 $\tilde{s}_i \geq \tilde{s}_j, i \neq j$ 的概率，其中的最小值就是 \tilde{s}_i 的权重。具体的计算结果如下：

\tilde{s}_1 同 $\tilde{s}_2, \tilde{s}_3, \tilde{s}_4, \tilde{s}_5$ 之间的比较:

$$\begin{aligned} v(\tilde{s}_1 \geq \tilde{s}_2) &= 0.9188, & v(\tilde{s}_1 \geq \tilde{s}_3) &= 0.5407, \\ v(\tilde{s}_1 \geq \tilde{s}_4) &= 0.1417, & v(\tilde{s}_1 \geq \tilde{s}_5) &= 0.1669, \end{aligned}$$

则有:

$$d'(\tilde{s}_1) = \min_k v(\tilde{s}_1 \geq \tilde{s}_k) = 0.1417, k = 2, 3, 4, 5$$

\tilde{s}_2 同 $\tilde{s}_1, \tilde{s}_3, \tilde{s}_4, \tilde{s}_5$ 之间的比较:

$$\begin{aligned} v(\tilde{s}_2 \geq \tilde{s}_1) &= 1, & v(\tilde{s}_2 \geq \tilde{s}_3) &= 0.6644, \\ v(\tilde{s}_2 \geq \tilde{s}_4) &= 0.3289, & v(\tilde{s}_2 \geq \tilde{s}_5) &= 0.3357, \end{aligned}$$

则有:

$$d'(\tilde{s}_2) = \min_k v(\tilde{s}_2 \geq \tilde{s}_k) = 0.3289, k = 1, 3, 4, 5$$

\tilde{s}_3 同 $\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \tilde{s}_4, \tilde{s}_5$ 之间的比较:

$$\begin{aligned} v(\tilde{s}_3 \geq \tilde{s}_2) &= 1, & v(\tilde{s}_3 \geq \tilde{s}_3) &= 1, \\ v(\tilde{s}_3 \geq \tilde{s}_4) &= 0.7484, & v(\tilde{s}_3 \geq \tilde{s}_5) &= 0.7289, \end{aligned}$$

则有:

$$d'(\tilde{s}_3) = \min_k v(\tilde{s}_3 \geq \tilde{s}_k) = 0.7289, k = 1, 2, 4, 5$$

\tilde{s}_4 同 $\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \tilde{s}_3, \tilde{s}_5$ 之间的比较:

$$\begin{aligned} v(\tilde{s}_4 \geq \tilde{s}_1) &= 1, & v(\tilde{s}_4 \geq \tilde{s}_2) &= 1, \\ v(\tilde{s}_4 \geq \tilde{s}_3) &= 1, & v(\tilde{s}_4 \geq \tilde{s}_5) &= 0.9596, \end{aligned}$$

则有:

$$d'(\tilde{s}_4) = \min_k v(\tilde{s}_4 \geq \tilde{s}_k) = 0.9596, k = 1, 2, 3, 5$$

\tilde{s}_5 同 $\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \tilde{s}_3, \tilde{s}_4$ 之间的比较:

$$\begin{aligned} v(\tilde{s}_5 \geq \tilde{s}_1) &= 1, & v(\tilde{s}_5 \geq \tilde{s}_2) &= 1, \\ v(\tilde{s}_5 \geq \tilde{s}_3) &= 1, & v(\tilde{s}_5 \geq \tilde{s}_4) &= 1, \end{aligned}$$

则有:

$$d'(\tilde{s}_5) = \min_k v(\tilde{s}_5 \geq \tilde{s}_k) = 1, k = 1, 2, 3, 4$$

通过上面的计算可以得到 I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 权重向量如下:

$$W' = (d'(\tilde{s}_1), d'(\tilde{s}_2), d'(\tilde{s}_3), d'(\tilde{s}_4), d'(\tilde{s}_5)) = (0.1417, 0.3289, 0.7289, 0.9596, 1.0).$$

对 W' 进行归一化处理, 得到 I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 的权重向量为:

$$W = (0.0449, 0.1041, 0.2307, 0.3038, 0.3166).$$

上述步骤介绍了如何在模糊的环境下, 基于CFHAP方法计算备选方案的属性权重向量。由于直接应用层次分析法对备选方案进行排序, 会产生非常巨大的计算量, 所以为了简化算法, 将采用组合多目标决策方法对方案进行排序。在下面将对TOPSIS方法进行介绍, 然后用来对方案进行排序, 这样做的目的不仅可以有效地减少直接用层次分析法来对备选方案进行排序的计算量, 还通过利用CFAHP方法所获得的具有客观性的权重向量, 克服了在TOPSIS方法中的权重是主观获取的缺点。下面将对TOPSIS方法进行介绍。

4.4 TOPSIS 方法的介绍以及其应用

TOPSIS的英文全称为Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, 又被叫做逼近于理想解的排序法, 是多目标决策分析方法比较常用的一种。TOPSIS方法是C.L.Hwang和K.koon^[21]于1981年最早提出的, 其核心思想是通过比较方案与正理想解和负理想解之间的距离来确定方案的排序, 模型中的正理想解, 是正向的、积极的, 事实上是一个虚拟的最佳方案, 是在所有方案中挑选每个属性值中最好的值所构成的方案; 而负理想解是负面的、消极的, 与正理想解相同也是一个虚拟的方案, 不过是在所有方案中挑选每个属性值中最差的值来组成的一个最差方案。模型中最优的方案是在决策矩阵中距离正理想解最近, 同时距离负理想解最远的方案。常见的度量距离的方法是几何距离, 也被称为欧式距离, 在下面的模型介绍中即是采用的此方法。由于TOPSIS方法在数据处理方面具有很好的效果, 并且能很好的对结果进行解释, 在众多领域都得到了广泛的应用, 下面将对TOPSIS模型进行介绍。

4.4.1 TOPSIS模型介绍

TOPSIS方法的具体计算过程表述如下:

步骤1: 建立一个选项与属性之间的决策矩阵:

$$A_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

其中 x_{ij} 的值是表示选项 $A_i, i = 1, 2, \dots, m$, 同标准 $C_j, j = 1, 2, \dots, n$ 比较所得到的值。

通过下面的公式来归一化矩阵 $A_{m \times n}$:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (4-5)$$

步骤2: 计算加权决策矩阵:

$$V_{m \times n} = (v_{ij})_{m \times n} \quad (4-6)$$

其中 $v_{ij} = w_j r_{ij}$, w_j 是评价指标的权重系数, 并且 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。

步骤3: 确定正理想解(PIS, positive ideal solution)和负理想解(NIS, negative ideal solution):

$$PIS: A^* = \{(v_j^* = \max_i v_{ij} \mid j \in J), (v_j^* = \min_i v_{ij} \mid j \in J'), j = 1, 2, \dots, n\} \quad (4-7)$$

$$NIS: A^- = \{(v_j^- = \min_i v_{ij} \mid j \in J), (v_j^- = \max_i v_{ij} \mid j \in J'), j = 1, 2, \dots, n\} \quad (4-8)$$

其中 $J = \{j = 1, 2, \dots, n \mid j \in Bs\}, J' = \{j = 1, 2, \dots, n \mid j \in Cs\}$, Bs 是效益型指标, Cs 为成本型指标。正理想解和负理想解被记为: $A^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*)$ 和 $A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-)$ 。

步骤4: 计算备选方案同正理想解与负理想解之间的距离。

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (4-9)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (4-10)$$

其中 D_i^* 表示方案与正理想解之间的距离, D_i^- 是表示方案与负理想解之间的距离。

步骤5: 计算备选方案相对贴近度 Cl_i :

$$Cl_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^*}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (4-11)$$

其中 Cl_i 的取值范围为(0, 1)。

步骤6: 根据 Cl_i 的大小来对各个方案进行排序。排序的准则是 Cl_i 的值越大, 则说明该方法越靠近于正理想解, 与负理想解之间的距离则越远。 Cl_i 的值越小, 说明方案离正理想解的距离越远。

在这一节中, 主要是对组合模型中用于排序的多目标决策的TOPSIS方法进行理论上的介绍。其核心思想是寻找决策问题的非劣解而不是最优解, 通过对方

案的贴近度进行排序顺利地解决了问题。由于TOPSIS方法对数据以及决策的准则没有特别的要求，逻辑结构清晰，下面将通过组合方法很好的对股票的优劣进行排序。

4.4.2 基于CFAHP 和TOPSIS方法的实证研究

通过上面的准备，在这一节中将阐述如何结合CFAHP和TOPSIS来解决多目标决策过程所遇到的问题，具体的计算过程分为三个阶段。第一阶段，分析问题并建立目标层，属性层，以及备选方案。第二阶段，利用CFAHP来确定属性的权重，可以避免TOPSIS方法在对权重赋值过程中所产生的主观性。第三阶段，利用TOPSIS方法对方案排序。

在上面的章节中，我们已经对目标问题进行了分析并建立了相应的层次结构，并直接利用通过CFHAP方法已经计算出来的权重向量，其具体的值如下：

$$W = (0.0449, 0.1041, 0.2307, 0.3038, 0.3166).$$

在接下的来的过程中，主要是利用分析和计算出来的结果，结合TOPSIS方法对备选方案进行排序。

作为一个研究的例子，本章仅给出2004年第一季度的计算过程，下面是基于TOPSIS方法对上一章中所挑选出来的股票的投资权重的计算过程：

步骤一：根据国泰安数据库，依据上一章的选股方法所挑选出来的股票基于备选方案属性的得分数据，具体数值如表4-4所示：

表 4-4 相应指标的得分

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
600010	0.8517	0.6737	1.2632	0.2223	0.1360
600099	0.5550	0.7410	1.6763	0.7212	0.0104
600113	0.3719	1.2034	0.8353	0.3378	0.0164
600132	0.2886	0.2121	0.2284	0.4299	0.0795
600232	1.0900	0.4783	2.8076	0.8218	0.2103
600303	1.4814	2.2828	9.0261	3.0405	0.1573
600327	0.4551	0.7189	0.7575	0.2079	0.0920
600360	0.4279	0.3077	1.6789	0.8761	0.0601
600361	0.5779	0.6755	2.5376	1.2419	0.1039
600378	1.4965	0.2699	7.4291	2.3763	0.0722
600389	0.4139	0.7574	3.5832	2.2415	0.0744

接下页

接上页

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
600422	0.5207	0.3179	2.5225	1.3163	0.1223
600428	0.3249	0.4817	1.3779	0.7947	0.0751
600512	0.7192	0.8310	1.2233	0.2932	0.0899
600519	0.5506	0.3085	1.1669	0.3975	0.1754
600523	0.4918	0.2374	9.6868	6.1638	0.0084
600581	1.0115	0.4944	4.1781	2.0891	0.1625
600590	0.4930	0.2959	17.5237	11.4068	0.0991
600592	0.5473	0.5475	0.9788	0.2789	0.0790
600619	0.5493	0.2628	0.8879	0.2186	0.0473
600637	1.1779	0.4114	0.5989	0.2659	0.0609
600682	0.3065	0.4561	0.7399	0.3317	0.0812
600710	2.1985	0.4958	1.2643	0.4159	0.2550
600721	6.7150	0.5091	0.9955	0.7414	0.1681
600757	0.8216	0.4353	5.2800	2.4475	0.0427
600758	1.0810	0.5435	6.8718	98.2156	0.1385
600769	1.0356	0.2089	0.8874	54.0675	0.0047
600780	2.4180	5.6995	2.3129	0.9385	0.1746
600800	1.2031	0.6394	1.8761	15.1627	0.0748
600802	1.1957	0.2057	1.6029	14.3012	0.0541
600815	0.5070	0.5473	1.1020	0.3948	0.0896
600875	0.6657	0.3027	50.4582	29.8931	0.0349
600898	0.4965	0.4182	10.7204	6.8277	0.1082

根据公式(4-5)将表 4-4进行归一化处理后得到如表 4-5所示的决策矩阵:

表 4-5 归一化处理后的值

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
600010	0.0983	0.0989	0.0218	0.0019	0.2108
600099	0.0641	0.1087	0.0289	0.0061	0.0161
600113	0.0429	0.1766	0.0144	0.0028	0.0255
600132	0.0333	0.0311	0.0039	0.0036	0.1232
600232	0.1258	0.0702	0.0485	0.0069	0.3258
600303	0.1710	0.3350	0.1558	0.0256	0.2437
600327	0.0525	0.1055	0.0131	0.0017	0.1426

接下页

接上页

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
600360	0.0494	0.0451	0.0290	0.0074	0.0930
600361	0.0667	0.0991	0.0438	0.0104	0.1610
600378	0.1727	0.0396	0.1282	0.0200	0.1119
600389	0.0478	0.1111	0.0618	0.0188	0.1153
600422	0.0601	0.0466	0.0435	0.0111	0.1895
600428	0.0375	0.0707	0.0238	0.0067	0.1163
600512	0.0830	0.1220	0.0211	0.0025	0.1393
600519	0.0636	0.0453	0.0201	0.0033	0.2718
600523	0.0568	0.0348	0.1672	0.0518	0.0130
600581	0.1167	0.0725	0.0721	0.0176	0.2518
600590	0.0569	0.0434	0.3025	0.0959	0.1535
600592	0.0632	0.0803	0.0169	0.0023	0.1223
600619	0.0634	0.0386	0.0153	0.0018	0.0733
600637	0.1359	0.0604	0.0103	0.0022	0.0944
600682	0.0354	0.0669	0.0128	0.0028	0.1258
600710	0.2537	0.0728	0.0218	0.0035	0.3950
600721	0.7750	0.0747	0.0172	0.0062	0.2605
600757	0.0948	0.0639	0.0911	0.0206	0.0661
600758	0.1248	0.0798	0.1186	0.8256	0.2145
600769	0.1195	0.0307	0.0153	0.4545	0.0072
600780	0.2791	0.8364	0.0399	0.0079	0.2705
600800	0.1389	0.0938	0.0324	0.1275	0.1158
600802	0.1380	0.0302	0.0277	0.1202	0.0838
600815	0.0585	0.0803	0.0190	0.0033	0.1388
600875	0.0768	0.0444	0.8709	0.2513	0.0540
600898	0.0573	0.0614	0.1850	0.0574	0.1676

步骤二：通过公式(4-6)将备选方案得分进行归一化处理后的值与CFHAP方法获得的属性权重对应相乘，得到了表 4-6所示的值，其中 $W=(0.0449,0.1041,0.2307,0.3038,0.3166)$ 。

表 4-6 赋权处理后的值

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
600010	0.0044	0.0103	0.0050	0.0006	0.0667

接下页

	接上页				
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
600099	0.0029	0.0113	0.0067	0.0018	0.0051
600113	0.0019	0.0184	0.0033	0.0009	0.0081
600132	0.0015	0.0032	0.0009	0.0011	0.0390
600232	0.0056	0.0073	0.0112	0.0021	0.1031
600303	0.0077	0.0349	0.0359	0.0078	0.0772
600327	0.0024	0.0110	0.0030	0.0005	0.0451
600360	0.0022	0.0047	0.0067	0.0022	0.0295
600361	0.0030	0.0103	0.0101	0.0032	0.0510
600378	0.0077	0.0041	0.0296	0.0061	0.0354
600389	0.0021	0.0116	0.0143	0.0057	0.0365
600422	0.0027	0.0049	0.0100	0.0034	0.0600
600428	0.0017	0.0074	0.0055	0.0020	0.0368
600512	0.0037	0.0127	0.0049	0.0007	0.0441
600519	0.0029	0.0047	0.0046	0.0010	0.0860
600523	0.0025	0.0036	0.0386	0.0157	0.0041
600581	0.0052	0.0076	0.0166	0.0053	0.0797
600590	0.0026	0.0045	0.0698	0.0291	0.0486
600592	0.0028	0.0084	0.0039	0.0007	0.0387
600619	0.0028	0.0040	0.0035	0.0006	0.0232
600637	0.0061	0.0063	0.0024	0.0007	0.0299
600682	0.0016	0.0070	0.0029	0.0008	0.0398
600710	0.0114	0.0076	0.0050	0.0011	0.1250
600721	0.0348	0.0078	0.0040	0.0019	0.0825
600757	0.0043	0.0066	0.0210	0.0062	0.0209
600758	0.0056	0.0083	0.0274	0.2508	0.0679
600769	0.0054	0.0032	0.0035	0.1381	0.0023
600780	0.0125	0.0871	0.0092	0.0024	0.0856
600800	0.0062	0.0098	0.0075	0.0387	0.0367
600802	0.0062	0.0031	0.0064	0.0365	0.0265
600815	0.0026	0.0084	0.0044	0.0010	0.0439
600875	0.0034	0.0046	0.2009	0.0763	0.0171
600898	0.0026	0.0064	0.0427	0.0174	0.0530

步骤三：依据公式(4-7)和公式(4-8)计算正理想解(PIS)与负理想解(NIS)的值，具体结果如表 4-7所示：

表 4-7 PIN与NIS相应的值

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
PIS	0.0348	0.0871	0.2009	0.2508	0.1250
NIS	0.0015	0.0031	0.0009	0.0005	0.0023

步骤四：利用公式(4-9)和(4-10)计算方案 $A_i(i=1,2,\dots,33)$ 同正理想解PIS与负理想解NIS之间的距离 D^* 与 D^- ，结果如表 4-8所示：

表 4-8 最终结果

	D^*	D_-	Cl_i	w_i
600010	0.3335	0.0650	0.1632	0.0293
600099	0.3476	0.0106	0.0295	0.0053
600113	0.3479	0.0165	0.0452	0.0081
600132	0.3434	0.0367	0.0966	0.0174
600232	0.3249	0.1015	0.2381	0.0428
600303	0.3034	0.0890	0.2269	0.0408
600327	0.3392	0.0436	0.1139	0.0205
600360	0.3413	0.0279	0.0755	0.0136
600361	0.3319	0.0501	0.1313	0.0236
600378	0.3239	0.0446	0.1211	0.0218
600389	0.3309	0.0381	0.1031	0.0185
600422	0.3312	0.0585	0.1502	0.0270
600428	0.3396	0.0351	0.0937	0.0169
600512	0.3377	0.0431	0.1132	0.0204
600519	0.3320	0.0838	0.2016	0.0362
600523	0.3229	0.0407	0.1119	0.0201
600581	0.3217	0.0794	0.1979	0.0356
600590	0.2829	0.0878	0.2369	0.0426
600592	0.3406	0.0370	0.0979	0.0176
600619	0.3462	0.0211	0.0576	0.0103
600637	0.3441	0.0282	0.0757	0.0136
600682	0.3413	0.0378	0.0997	0.0179
600710	0.3280	0.1233	0.2732	0.0491
600721	0.3299	0.0870	0.2087	0.0375
600757	0.3323	0.0284	0.0787	0.0141
600758	0.2011	0.2602	0.5640	0.1014

接下页

				接上页
	D^*	D_-	Cl_i	w_i
600769	0.2732	0.1376	0.3350	0.0602
600780	0.3170	0.1191	0.2730	0.0491
600800	0.3115	0.0524	0.1441	0.0259
600802	0.3183	0.0440	0.1214	0.0218
600815	0.3389	0.0421	0.1106	0.0199
600875	0.2233	0.2144	0.4899	0.0881
600898	0.3037	0.0680	0.1829	0.0329

步骤五：利用公式(4-11)计算方案的相对贴近度 $Cl_i(i=1,2,3,4)$ ，对应的值见表4-8：

步骤六：根据 Cl_i ， $i=1,2,\dots,33$ ，的值进行归一化后即可得到投资于每一只股票的投资权重 w_i ，具体的值见表 4-8。最后再结合在上一章节中所给出的个股的回报率，可以得到股票在2004年第一季度的投资回报率为26.64%，下面将通过表 4-9给出每一个季度，以及每一年的年收益。

表 4-9 每个季度及年收益率

	一季度	二季度	三季度	四季度	年回报率
2004年	26.64%	-4.40%	5.43%	-1.57%	25.64%
2005年	-1.43%	1.18%	10.29%	-2.71%	7.01%
2006年	15.70%	57.24%	7.38%	17.15%	128.87%
2007年	54.87%	44.96%	56.87%	-0.31%	251.08%
2008年	1.56%	8.68%	1.05%	-5.53%	5.36%
2009年	52.25%	11.86%	10.85%	39.85%	164.01%
2010年	7.74%	-3.61%	35.69%	11.13%	56.61%
2011年	5.86%	2.27%	0.95%	-0.84%	8.38%
2012年	3.37%	23.96%	1.76%	7.79%	40.54%
2013年	15.76%	8.04%	26.45%	-2.19%	54.68%

下面将对本文的方法进行进一步的研究与比较，下面将表 4-9中和表 3-3中的年回报率进行进一步的研究和比较，具体的结果见表 4-10：

由表 4-10可得，需要进行检验的样本 $D=(0.0073, 0.0030, 0.2212, -0.0028, 0.0053, 0.1669, 0.0284, 0.0268, 0.0776, 0.0336)$ 为组合策略收益率与上证综指收益率的差值。

表 4-10 超额收益率

	多目标决策下 投资组合你收益率	基于成长与价值的 投资组合年收益率	超额 收益率
2004年	25.64%	24.91%	0.73%
2005年	7.01%	6.71%	0.3%
2006年	128.87%	106.75%	22.12%
2007年	251.08%	251.36%	-0.28%
2008年	5.36%	4.83%	0.53%
2009年	164.01%	147.32%	16.69%
2010年	56.61%	53.77%	2.84%
2011年	8.38%	5.7%	2.68%
2012年	40.54%	32.78%	7.76%
2013年	54.68%	51.32%	3.36%

首先给出原假设： $H_0: \mu_D \leq 0$ ，则备则假设为： $H_1: \mu_D > 0$ ，则需要进行检查的问题的拒绝域为：

$$t = \frac{\bar{x}}{s_D/\sqrt{n}} \geq t_\alpha(n-1).$$

取 $\alpha=0.05$ ，现在 $n=10$ ，则 $t_\alpha(n-1)=t_{0.05}(9)=1.8331$ 。通过计算可以得到，样本 D 的均值 $\bar{x}=0.0567$ ，和标准差 $s_D=0.0770$ ，则：

$$t = \frac{0.0567}{0.0770/\sqrt{10}} = 2.3295 \geq 1.8331.$$

因此，在显著性水平为5%的情况下， t 落在拒绝域中，因此拒绝原假设，接受备则假设，这样的结果说明，基于多目标决策方法进行投资组合所获得的投资收益率相对于基于企业成长与价值的等投资而言能够获得更高的投资回报率，存在显著的差异。

4.4.3 结论

在本文的研究中，本章的主要目的是从股票集中对股票的相对优劣性进行比较排序的，从而使得下一步的投资组合在相对较优的股票集之中进行组合选择。这个方法的优点在于它结合了CFAHP和TOPSIS方法中的优点。事实上，CFAHP是一个简单、有效的方法。在CFAHP中，通过将语言变量转化为三角模糊数来估计属性的权重，同时还避免了在传统的TOPSIS方法中属性权重是主观赋予的缺点；TOPSIS方法被用来对备选方案进行排序，大大减少了使用层次分析法来进行排序时所需要的计算量。上面基于CFHAP与TOPSIS组合方法的实证研究充

分展示了组合方法的适用性和有效性，该方法同样可以适用于其他的决策分析问题。

4.5 本章小结

在实际的投资过程中，如何对选取的股票进行投资组合是投资者在投资的过程中十分关心的问题。近年来，随着新兴交叉学科以及计算机科学的发展，人们针对投资组合方面的问题进行了大量的研究。本章研究的主要目的也是对所挑选出来的股票集进行投资组合，从而在投资者进行投资组合时提供决策支持。本章所用的方法是基于CFAHP来对属性权重进行赋值的，然后再用TOPSIS方法对备选方法进行排序，通过这样组合的多目标决策方法，可以获得相对客观的属性权重向量，从而可以克服单独使用TOPSIS方法时属性权重具有强烈的主观性的缺点；当使用CFAHP方法来对备选方案进行排序时，会产生巨大的计算量，然而使用TOPSIS方法可以大大的减少在权重确定过程中的计算量，从上面的介绍中可以看出，组合多目标决策方法可以有效的克服方法单独使用时的缺点，不仅通过客观方法获得了属性权重，还大大减少了方法所需要的计算量，使得组合多目标决策方法具有更多、更好的优点，并且具有较好的实用性。

第五章 最小半绝对偏差准则的投资组合模型

5.1 研究背景

金融学的核心问题是研究资本和资产的配置效率，证券投资组合理论问题的研究是现代金融学研究中的重要组成部分，其中的核心问题就是研究如何在考虑风险的环境下对资源进行分配和利用。在市场经济中这种配置主要是通过金融市场来完成的。从广义上来讲，金融市场包括证券市场，货币市场，各种类型的银行，储蓄机构，投资基金，养老基金，保险市场等。而市场的参与者中包括个人，企业，政府和各种金融机构，它们在资本市场中交易的过程，形成了资本和资产的供需关系，并通过供需关系决定其价格，而价格又反过来指导着资本和资产的供求以及其最终的配置。在本文中我们主要关注在证券市场中的资产配置问题。

证券市场本身具有风险高的特点，它同时受到国内外宏观经济形势，政策变化及走向，以及证券市场自身诸多规律等因素的共同影响，从中可以看出，证券市场在运行的过程中有许多不能预测的因素存在。虽然如此，证券市场仍吸引着大批的投资者参与其中，在投资的过程中，投资者总是在不断地寻找能够使得投资风险低同时收益高的投资策略。而投资组合的目的，就是将投资适当地进行分散，从而有效地抵消证券之间的风险，从而在收益一定的情况下获得风险最小的投资组合，或者在风险最小的情况下获得收益最大的投资组合。

由于证券的收益以及风险都带有高度的不确定性，使得证券市场本身具有高度复杂的不确定性。证券市场中的投资者如何在一个不确定的投资环境下做出投资决策是一个需要考虑的问题。在接下来的研究中，为了避免盲目投资所带来的损失，将介绍人们如何利用市场上的历史数据，建立最优化模型，设计出适合于投资者进行投资的优化模型，为投资者提供更好的投资方案，同时也可以为经济理论现象的解释提供新方法和新思路。

5.2 投资组合模型介绍

在实际的交易过程中，投资者总是期望投资组合能够在牛市时跟上或者是超越大盘指数，在熊市时总的资产不回落（容许有一定的回调区间）。回顾现代投资的历史可以得知，要同时达到这两个指标是比较困难的。考虑建立一个基于最小半绝对偏的投资组合（Portfolio based on Minimum Semi-Absolute Deviations(MSAD)）。下面将半方差模型和考虑交易手续费的模型进行介绍，在此基础上在对本章所提出的最小半绝对偏差模型进行详细地介绍。

5.2.1 半方差模型

在均值-方差模型中高于预期收益的部分是作为风险来衡量的，但在投资者的理解中，认为风险是可能的亏损部分，并且人们总是期望获得超过预期的收益，并不认为超过期望收益的部分是风险，事实上，在投资者进行投资组合的过程中，真正是风险的部分应该是实际收益中低于预期收益的部分。在数量统计中，通常认为风险就是收益的不确定性，从这个角度出发，只要是与预期收益率不相符合，即实际收益中超出或者低于预期收益率的部分均作为风险来处理也是有一定道理的。但是模型的建立是为了能更好的处理人们在现实生活中所遇到的问题，从更加贴近现实的情景出发，大量学者从人们对风险认知的角度出发，只考虑将实际收益率中低于预期收益率的部分作为风险来度量，而不再将高于预期收益率的部分作为风险来度量，最终给出了改进后的均值-半方差模型。下面将给出均值-半方差模型的简单介绍。

设投资组合中资产 i 的总数为 N ；单个资产 i 的期望收益率为 \bar{r}_i ；资产 i 的实际收益率为 r_i ；当资产 i 的实际收益率比预期收益率低时，将预期收益率超过实际收益率的部分记为 U_i ，其表达式如下所示：

$$U_i = (\bar{r}_i - r_i)^+ = \begin{cases} \bar{r}_i - r_i & \bar{r}_i > r_i; \\ 0 & \bar{r}_i \leq r_i. \end{cases} \quad (5-1)$$

则投资组合的半方差 σ^{-2} 可以表示为：

$$\sigma^{-2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U_i)^2 \quad (5-2)$$

在组合优化决策的过程中，由于单只风险证券的半方差值不能像方差那样直接相加，从而采用将整个组合看成一只风险资产的方法来解决半方差在处理过程中不能直接相加的弱点，在计算的过程中，首先计算出各个时点上组合资产的投资收益率，再计算组合的半方差值，其具体的计算步骤如下所示：

假设有 N 只风险证券，第 i 只证券的期望收益率为 \bar{r}_i ，相应的投资权重为 x_i ，则组合资产的期望收益率为：

$$u_p^+ = \sum_{i=1}^n x_i \bar{r}_i \quad (5-3)$$

利用历史数据可以计算出各个股票的平均收益率，用 r_i 表示投资组合在投资期的平均收益率，即 r_i 为第 i 个资产的期望收益率，通过半方差的定义可以知道，预期收益率 \bar{r}_i （ \bar{r}_i 为用半方差模型计算的投资组合的期望收益率）如果大于平均收

益 r_i ，则其半方差为零，如果预期收益率小于平均收益率但偏差小于给定的方差，则半方差就为计算所得的数值。故半方差方法的组合优化模型为：

$$\text{Max } u_p^+ = \sum_{i=1}^n x_i \bar{r}_i \quad (5-4)$$

让：

$$\sigma^{2+} = \frac{\sum_{i=1}^N (U_i^2)}{N} = \begin{cases} 0, & U_p^+ \geq \bar{r} \\ \sigma^{2+}, & U_p^+ < \bar{r} \end{cases} \leq \sigma^{-2} \quad (5-5)$$

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1 \quad (5-6)$$

$$x_i, i = 1, 2, \dots, N \quad (5-7)$$

从上面的均值-半方差模型中可以看出，该模型将人们在投资过程中所获得的高于预期的部分没有作为风险来度量，更加符合实际的投资情况。

5.2.2 考虑带有交易费用的投资组合模型

假设投资者在 N 中风险资产中进行投资。通常情况下，在进行投资决策或者在调整的过程中，投资者手中会持有一定比例的风险证券，由于在对组合资产进行调整时，会涉及到对单个资产进行买入或者卖出等操作，假设其中第 i 种证券的持仓头寸为 a_i ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，当前第 i 种风险资产的所分配到的头寸为 x_i ，则在此过程中，第 i 种资产所产生的变化为 $|a_i - x_i|$ ，其中， $a_i - x_i > 0$ 表示卖出资产 i 的比例， $a_i - x_i = 0$ 表示对资产 i 没有进行调整， $a_i - x_i < 0$ 表示再买入资产 i 的比例，在此过程中，所产生的交易费用为：

$$c_i |a_i - x_i| \quad (5-8)$$

记 $c' = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ ， $y' = (|a_1 - x_1|, |a_2 - x_2|, \dots, |a_n - x_n|)$ ，则在整个投资组合资产调整的过程中，所产生的交易费用为：

$$c' y = \sum_{i=1}^n c_i |a_i - x_i| \quad (5-9)$$

从上面的可以看出，考虑交易费用的投资组合的期望收益应该为总的收益减去交易费用： $\pi = r'x - c'y$ ，假设 V 表示投资组合的协方差矩阵，则在投资的过程中，对于资产的权重下面的约束条件：

$$e'x \leq e'; a, x \geq 0 \quad (5-10)$$

其中 $a' = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, $e' = (1, 1, \dots, 1)$, 为了方便接下来的表述, 记上述公式为:

$$f(x) = x'Vx \quad (5-11)$$

$$g(x) = r'x - c'y \quad (5-12)$$

$$X = x : x \in R^n, x \geq 0, e'x \leq e'x \quad (5-13)$$

则可以将摩擦市场中所存在的交易费用的投资组合模型数学上表述如下:

$$\min \quad v = f(x) \quad (5-14)$$

$$\begin{cases} s.t. & g(x) = \pi \\ & x \in X \end{cases} \quad (5-15)$$

或者是:

$$\max \quad \pi = g(x) \quad (5-16)$$

$$\begin{cases} s.t. & f(x) = v \\ & x \in X \end{cases} \quad (5-17)$$

5.2.3 最小半绝对偏差准则下的投资组合模型

本文所给出的模型是基于宏观因素对股票的影响进行了考虑的, 研究的基础是基于股票市场的研究, 因此基于本文的需要, 首先有如下的假设:

(1) 中国股指和国债能够直接进行交易并具有良好的流动性;

(2) 中国A股市场不允许做空。

为了进一步的阐述MSAD模型, 给出了如下的定义, 其中:

i 表示第 i 个资产;

n 表示投资资产的总数;

t 表示第 t 个时期;

T 表示在给定的时间窗口里总的时期数;

r_{it} 表示 t 时期, 资产 i 的投资回报率;

k 表示第 k 个宏观因子;

K 表示宏观因子的总数;

F_{tk} 表示在 t 时期, 第 k 个宏观因子的值;

w_i 是资产 i 的权重系数, 是一个0到1之前的常量;

w_{ti} 表示在 t 时期，资产 i 的投资权重；

δ_{ti} 表示资产 i 从 $t-1$ 到 t 时期投资比例的权重变化量；

B_{ki} 表示第 k 个宏观因子对资产 i 的影响系数，是一个与时间 t 无关的常量；

R_t 表示在 t 时期，组合资产的投资回报率；

CP_j 表示在 t 时期，买进一个单位的资产 i 的手续费；

CN_j 表示在 t 时期，卖出一个单位的资产 i 的手续费；

T_t 表示在 t 时期，投资回报率的阈值；

事实上， T_t 是 t 时期的一个阈值，是前几期的投资回报率的移动平均，数学表达式如下：

$$T_t = \max(0, MA_t(R))$$

在 t 时期，将投资回报率 R_t 与阈值 T_t 进行比较，当投资回报率 R_t 与阈值 T_t 的差值为正的时候记为 V_t ；当投资回报率 R_t 与阈值 T_t 的差值为负时， Z_t 表示 R_t 与 T_t 差值的绝对值，在数学上表示为：

$$R_t - T_t = \begin{cases} V_t, & \text{when } R_t - T_t \geq 0; \\ -Z_t, & \text{when } R_t - T_t < 0. \end{cases} \quad (5-18)$$

在MSAD模型中，目标函数总是期望在 T 时期内， Z_t 的均值越小越好，对 V_t 来说，总是希望它越大越好，即收益越高越好，因此模型的目标函数针对 Z_t 定义如下：

$$\min \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Z_t \quad (5-19)$$

现在考虑MSAD模型的约束条件，首先考虑时间变量 w_{ti} ，是 t 时期资产 i 的权重，是基于 K 个宏观因子的线性组合，表示成数学公式如下，其中 F_{tk} 是 t 时期，第 k 个宏观因子的值：

$$w_{ti} = w_i + \sum_{k=1}^K F_{tk} * B_{ki} \quad (5-20)$$

方程(5-20)是MSAD模型的核心，它表明在 T 时期内，资产 i 的投资权重 w_{it} 随着宏观因子 F_{kt} 的改变而变动，而宏观影响因子系数 B_{ki} 在 T 时期内仍然是一个常数，同套利定价理论(ATP)有着相同的原理。

MSAD模型的核心就是在长度为 T 的一个时期内（在 T 时期内），找出适当的 B_{ki} 使得目标函数的值最小，即最小半绝对偏差最小，因此叫做最小半绝对偏差准则的动态投资组合模型。

记资产 i 从 $t-1$ 时期到 t 时期的投资权重变化量为 δ_{ti} ，则

$$\delta_{ti} = w_{ti} - w_{t-1,i} \quad (5-21)$$

当 $\delta_{ti} \geq 0$ 是，记为 δ_{ti}^+ ，表示在 t 时期对资产 i 的投资权重增加，即买入一定量的资产 i ；当 $\delta_{ti} < 0$ 时，记 δ_{ti} 的绝对值为 δ_{ti}^- ，表示在 t 时期对资产 i 的持有量减少，即卖出一定量的资产 i ，数学上可以表示为：

$$\delta_{ti}^+ = \begin{cases} \delta_{ti}, & \delta_{ti} \geq 0; \\ 0, & \delta_{ti} < 0. \end{cases} \quad (5-22)$$

即：

$$\delta_{ti} = \begin{cases} \delta_{ti}^+, & \delta_{ti} \geq 0; \\ -\delta_{ti}^-, & \delta_{ti} < 0. \end{cases} \quad (5-23)$$

现在考虑投资回报率 R_t 的值，在 t 时期，第 i 个资产的权重为 w_{ti} ，投资回报率为 r_{it} ，则资产 i 的收益为 $w_{ti} \cdot r_{it}$ 。考虑在初期，对资产 i 的买入或者卖出产生的手续费费用：当产生买入行为时，所产生的费用为： $\delta_{ti}^+ \cdot CP_i$ ；当卖出资产时，所产生的交易费用为： $\delta_{ti}^- \cdot CN_i$ 。所以对资产 i ，在 t 时期当产生买入行为时的实际收益：

$$w_{ti} \cdot r_{it} - \delta_{ti}^+ \cdot CP_i$$

当产生卖出行为时的实际收益为：

$$w_{ti} \cdot r_{it} - \delta_{ti}^- \cdot CN_i$$

实际上，当 $\delta_{ti}^+ \geq 0$ 时， $\delta_{ti}^- = 0$ ；当 $\delta_{ti}^- \geq 0$ 时， $\delta_{ti}^+ = 0$ ，所以在 t 时期，资产 i 的收益率形式上可以表示为：

$$w_{ti} \cdot r_{it} - \delta_{ti}^+ \cdot CP_i - \delta_{ti}^- \cdot CN_i \quad (5-24)$$

在 t 时期，投资组合的回报率 R_t 的值则可以表示为：

$$R_t = \sum_{i=1}^n w_{ti} \cdot r_{it} - \sum_{i=1}^n \delta_{ti}^+ \cdot CP_i - \sum_{i=1}^n \delta_{ti}^- \cdot CN_i \quad (5-25)$$

模型的整个规划问题可以写成如下的数学表达式：

$$\min \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Z_t \quad (5-26)$$

$$s.t. \quad w_{ti} = w_i + \sum_{t=1}^K F_{tk} \cdot B_{ki} \quad (5-27)$$

让:

$$\delta_{ti} = w_{ti} - w_{t-1,i} \quad (5-28)$$

$$\delta_{ti} = \begin{cases} \delta_{ti}^+, & \delta_{ti} \geq 0; \\ -\delta_{ti}^-, & \delta_{ti} < 0. \end{cases} \quad (5-29)$$

$$R_t = \sum_{i=1}^n w_{ti} \cdot r_{it} - \sum_{i=1}^n \delta_{ti}^+ \cdot CP_i - \sum_{i=1}^n \delta_{ti}^- \cdot CN_i \quad (5-30)$$

$$R_t - T_t = \begin{cases} V_t, & R_t - T_t \geq 0; \\ -Z_t, & R_t - T_t < 0. \end{cases} \quad (5-31)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (5-32)$$

事实上, MSAD模型能够处理在一定时期内, 带有影响因子的投资组合问题。从模型的框架中可以看出, 当得到 σ_{ti} 的值之后, 就能得到 σ_{ti}^+ 和 σ_{ti}^- 的值, 就能够通过线性规划对MSAD模型求解。MSAD模型可以通过Matlab里面的线性规划工具箱来求解。在模型的求解过程中, 最主要的就是确定系数 B_{ki} 的值。

在实际的应用中, 宏观因子、资产的收益率等都是一个时间序列, 理论上, 时间序列的维度, 可以是月度数据、周数据, 或者是天数据, 例如对高频交易, 外汇交易或者是期货交易, 需要天数据, 甚至是秒数据。现在考虑在当前时刻 t' , 如何根据MSAD模型做出投资决策。第一步, 考虑时间长度为 T 的后视窗口, 是指从当前时刻 t' 往后推移 T 个时间单位的历史数据; 第二步, 将历史数据带入带MSAD模型中求解 B_{ki} 的值; 最后, 利用MSAD模型所估计出的参数 B_{ki} 和 t' 时刻宏观因子 $F_{t',k}$ 的值来确定 t' 时刻资产 i 的投资权重。当前时刻的权重数学上可以表示为:

$$w_{t',i} = w_i + \sum_{k=1}^K F_{t',k} \cdot B_{ki} \quad (5-33)$$

其中, $F_{t',k}$ 是宏观因子 k 在 t' 时刻的值, B_{ki} 是第 k 个宏观因子对资产 i 的影响系数, 是通过MSAD模型求解所得到的值。

MSAD模型对资产的收益率以及宏观因子的值的分布没有要求, 也没有类似于均值方差模型中的相关矩阵。事实上, 资产之间是通过权重分配函数(5-20)联系起来的。从方程(5-20)可以看出, 一个宏观因子的改变, 会引起一系列的投资权

重的增加，同时也会引起另一部分的投资权重的减少，正是这种联系取代了均值方差模型中的相关矩阵，并能有效地得到资产的权重。

5.2.4 本节小结

这一章首先介绍了Markowitz的均值-方差模型。在该模型中将高于预期收益的部分也是作为风险来进行度量的，这与现实情况不相符合，因为人们总是期望能够获得超过期望收益的收益，所以将这部分收益作为风险来度量显然不妥，本文所介绍的模型，只考虑了小于预期收益的部分，并没有将高于预期收益的部分作为风险来度量，事实上是基于最小半绝对偏差准则的投资组合模型。在接下来的研究中考虑到大多数在研究投资组合的过程中，并没有考虑宏观因素对资产本身的影响，并且在摩擦市场中，即具有交易费用的情况，会对投资组合的收益及投资的比例产生较大的影响，所以本文提出了在考虑交易费用的情况下的基于最小半绝对偏差准则，将宏观因素作为模型的输入变量引入到投资组合模型，在接下来的部分将对最小半绝对偏差准则投资组合模型进行进一步的实证研究。

5.3 基于最小半偏差准则的实证研究

现代投资组合理论是金融学中非常重要的研究领域。自从Markowitz提出的均值方差分析方法为现代投资组合奠定了坚实的基础之后，这一领域的研究得到了非常广泛的关注。在研究资产配置的问题中，均值方差模型和其他很多的研究投资组合的模型都将无风险利率融入带投资组合中，并将无风险利率视为常数，其中部分的资产投资于无风险的资产，另外的部分资产投资于具有风险的证券上。随着现代金融产品的不断创新，使得人们可以很方便的在股票、债券、以及各类货币资产之间进行转化，从而为人们在风险资产和无风险资产之间的自由转化提供了很好的实现途径。事实上，绝大多数投资者都认为，如何实现资产的有效配置是投资组合模型中所面临的重要课题，下面将结合上一章中所介绍的MSAD模型研究该模型的有效性。

5.3.1 研究数据的选取与预处理

一、研究数据与宏观因子的选取

在接下来的实证验证环节中，如何选取合适的对模型进行检验是一个非常重要的部分，这和模型是否有效直接相关。在这一节中，将对MSAD模型中数据的选取做一个详细的介绍。

在MSAD投资组合模型中，宏观因子的选取必须与上下文相关，必须能够对股票的可投资性产生多方面的影响，并与目标市场和它本身潜在的经济含义有关。例如，国民生产总值，国内生产总值、固定资产投资完成额、进出口商品差额（亿美元）、货币供应量M2余额、全国居民消费价格指数、生产资料价格总指标等指标的变动，反映了市场环境的变动，从而影响股票的变动。

在本文中，在MSAD投资组合中所涉及到的资产包括，沪深300指数，国债，行业指数，以及个股等，在对宏观因子进行分析比较之后，我们选取了如下的宏观因子作为模型的核心部分，并对投资组合模型进行了研究，下面就是具体的指标以及含义：

国内生产总值（简称GDP）是一定时期尺度内（如一个季度、一个年度）一个国家（或地区）经济活动所产生的全部最终产品和劳务的价值总和，是公认的衡量一个国家（或地区）经济状况最优的指标。它是一个国家（或地区）经济表现的最好反映，也是一个国家国力和财富的反映，是一个国家（或地区）经济实力和市场规模的综合反映。GDP是一个国家（或地区）国民经济核算体系最为重要的一个综合性指标，在我国，GDP为国家统计局发布。根据国家统计局发布经济数据显示，2011年，我国GDP总量为473104.05亿元，同比增长9.21%。2012年，我国GDP总量为519470.10亿元，同比增长7.65%，其中，一季度增长8.1%，二季度增长7.6%，三季度增长7.4%，四季度增长7.9%。三季度增幅创下2009年二季度以来14个季度新低。在本文中，采用GDP的增速对MSAD进行研究。

货币供应量是指一个国家在某一时期内社会经济运转服务所需要的货币存量，它包括中央银行在内的金融机构供应的存款货币以及现金货币两部分。世界各国的中央银行货币在货币供应量上的估计口径不完全一致，但大致都是依据流动性的大小来划分的。我们国家对货币层次划分为四层：将其记为M0、M1、M3、M4。其中，M0表示流通中的现金，是流通于银行体系之外的现金；M1是M0与企业活期存款的总和，反映经济中的现实购买力；M2是M1与准货币的总和，其中准货币包括定期存款、居民储蓄存款、以及其他存款，是现实购买力和潜在购买力的总和。当M1增速过快时，消费和终端市场较为活跃；当M2增速过快时，投资市场和中间市场较为活跃。中央银行和商业银行等可以通过对M1、M2的增速来制定相应的货币政策。事实上，当M2过高而M1偏低时，市场中的投资偏热、需求不旺，有发生危机的风险；当M1过高M2偏低是，市场中需求强劲、然而投资则表现的相对不足，有发生涨价的风险。M3是M2、金融债券、商业票据、大额可转让存单等的总和。中央银行通过对货币供应量的调控，

以及其他货币政策工具的应用,来达到经济的平稳运行。在本文中,利用M2数据来对MSAD模型进行进一步的研究与分析。

居民消费价格指数, **Consumer Price Index**, 简称为CPI, 是依据与居民生活相关的消费商品以及服务所需要的价格来进行统计的物价变动的宏观经济指标。居民消费价格是根据一组具有代表性的社会产品和服务项目的最终价格来进行统计调查的, 它同人民群众的生活密切相关, 并且在整个国民经济体系中占据着及其重要的地位。它是对价格总水平的检测, 是国家进行经济分析和决策、国民经济核算的重要指标, 通常也被用来衡量通货膨胀水平。居民消费价格指数(CPI)是金融市场中一个热门的经济指标, 通过这个指数还能衡量消费者在商品购买和服务上面的花费, 花费的成本可以用来衡量商业经营的成本。在本文中, 采用了具有重要地位的CPI数据来对MSAD模型进行进一步的研究与分析。

工业品出厂价格指数(PPI)是反映全部工业产品出厂价格总水平变动趋势与变动程度的指数, 它是反映生产领域某一时期内价格变动情况的一个重要经济指标, 是国家进行国民经济核算与制定相关经济政策的重要依据。我国目前的工业品出厂价格指数, 依据工业企业的普查资料和年度统计资料确定参与调查的产品有4000多种, 覆盖了39个工业行业大类, 是采用算术平均法进行编制的, 它和居民消费价格指数一样充分反映了各自领域价格变动的客观需求, 是一个非常重要的经济指标。

采购经理人指数, **Purchase Managers' Index**, 简称PMI, 是经济先行指标中非常重要的一项附属指标, 分为制造业采购经理人指数和服务业采购人经理指数。一般意义上讲, 采购经理人指数主要考虑制造业采购经理人指数, 所以本文主要采用制造业采购经理人指数。结合国际惯例, 我国制造业采购经理人指数分别从生产、新订单、商品价格、存货、雇员、订单交货、新出口订单和进口等十一个方面的状况对采购经理进行问卷调查, 通过赋予一定的形式的综合性指数。具有高度的时效性、通俗易懂、时间准确可靠等优点。目前, 在全球已经有20多个国家建立了采购经理人指数体系, 国家统计局发布的采购经理人指数是由其会同中国物流采购联合会共同调查编制完成的, 它是反映市场动态的风向标。采购经理人指数包括制造业和非制造业采购经理指数, 从2005年6月开始, 我国对制造业采购经理指数按月发布, 它与GDP一样, 是我国宏观经济的指标体系的重要组成部分。事实上, 制造业采购经理人指数(PMI)是一个综合指数, 50%是经济荣枯的临界值, 通常情况下, 当指数大于50%时, 指数反映出制造业经济总体扩张的趋势; 当指数低于50%时, 则反映出制造业经济总体衰退的趋势。由于采购经理人指数的重要性, 相关的机构已开始着手建立全球采购经理人指数以及欧

元区指数，采购经理人指数以及其商业报告已经成为世界上经济运行活动的一个重要评价指标，是世界经济变化的晴雨表。

二、研究数据的选取范围

本章中所涉及到的数据，无论是宏观因子还是沪深300指数、行业指数，国债还是个股，都是选取的从2005年1月到2013年12月之间的数据。事实上，这段时间中的数据包含了比较全面的市场行情，因为从2005年1月到2007年10月，这期间是一波牛市行情，而从2007年11月到2008年12月行情从牛市转为了熊市行情，从2009年1月到2013年底，行业却一直处在震荡的过程中。对这段时间中的数据进行研究，模型在不同市场环境中的表现都可以很好地得到观察与研究，从而为验证模型的有效性提供更多信息，以及更加全面的数据支持。

三、数据的预处理

时间序列是指将某种现象、某个统计指标按照一定的时间顺序记录下来排列而形成的数据集。在人类社会生活和与科学研究中，时间序列是最广泛存在的数据类型之一，时间序列按照研究对象分类，可以分为一元时间序列和多元时间序列。

时间序列数据在现实生活中，广泛而且大量存在着，因此相关的研究和应用很多，比如，股票的价格变化就是按照发生的时间记录的，是在该时间段内，股票价格的时间序列；在城镇居民的消费中，把每一年当地城镇居民的消费支出按照时间顺序记录下来，就构成了消费支出时间序列；在现代医学中，将脑电图数据按时间进行收集和记录，就构成了脑电图时间序列，是一种比较典型的多元时间序列数据；此外对河水涨落的情况、天气情况的变化、各地降雨量记录等都是时间序列。记录时间序列数据的目的是想通过研究发现时间序列的性质，并通过对时间序列时间的观察与研究来对序列做进一步的推断。本文中所利用的金融数据就属于是典型的时间序列数据。

金融时间序列数据在金融研究中占据十分重要的地位，相关研究具有广泛的实用价值与意义。事实上，金融市场中积累了海量的时间序列数据，其中就包括股票的价格时间序列等，为金融相关领域的研究与应用提供了丰富的数据来源。其中，现代证券投资组合理论的研究是现代金融学研究的热点问题，面对市场中大量的信息，如何选择投资组合来实现组合的风险最低，同时收益最大，是投资组合问题研究的重点。事实上，金融数据给我们提供了大量的数据资源，但同时也存在很多的噪声数据，需要对数据进行预处理。在文章中，通过对金融数据进行平稳性分析，可以实现对数据的预处理。

在宏观因子的数据获取过程中，我们会遇到在实际的投资组合过程中不能在当前的时点获得当期的宏观因子数据，通常情况下，在第一季度过完，即4月初的时候，国家统计局才会陆续公布第一季度的宏观经济数据，而宏观因子对市场的影响已经产生，因此数据的获取存在一定程度上的滞后。

下面将给出两个基于中国证券市场的实证研究例子，并将结果与均值方差模型的结果进行比较，用来验证MASD模型的有效性和实用性。第一个模型的资产由沪深300指数和国债组成，在模型中，沪深300指数是作为风险资产出现的，而国债是作为无风险资产出现的，由于这两组资产有强烈的负相关性，所以能够验证模型的有效性。第二个实证模型是由行业指数和国债所组成，能有进一步的验证模型的实用性。

注意到，在MSAD模型中，投资组合的权重调整是以季度为单位的，即一个季度调整一次持仓比例，但是对于投资组合风险的控制问题却是需要每一天都要去做的，即投资组合的风险控制需要精确到每一天，在实证研究中，考虑到风险控制的需要，对模型加入了止损机制。历史数据的样本是从2005年1月到2013年12月，一共跨越了9个年度。

5.3.2 模型I:基于沪深300指数与国债的实证研究

在下面的实证研究过程中，我们对组合资产的调整周期设为一个季度，因为对于宏观指标来说，虽然大多数都是一个季度更新一次数据，但为了更好地在基于公司财务指标选股的基础上进一步的研究，才能使得组合资产在数据更新速度上同步。对于国民生产总值来说，是三个月进行一次更新，而其它的宏观指标是一个月进行一次更新，但是在文中只需要利用每个季度最开始月所公布的数据即可。

为了进一步的研究做好准备，首先给出了沪深300股指同国债从2005年到2013年与宏观指数的相关性测试，具体数据如下表所示：

表 5-1 宏观因子同沪深300指数与国债的相关性

	GDP	CPI	PPI	PMI	M2
CSI-300	0.2609	0.5389	0.0526	0.1906	0.2193
National debt	0.4568	0.6950	0.2538	-0.1410	0.4424

为了减少宏观因子之间数量级的差别，需要对宏观数据进行预处理，通常情况下，采用对数处理。

在投资组合的管理过程中，交易过程中所产生的手续费是一个需要考虑的问题，大量的研究已经表明，交易费用对投资组合的投资收益以及回报率具有影

响，忽视交易费用的问题，将会导致一系列的问题，因此本文的研究将会考虑交易费用问题，即在摩擦市场中，进一步的研究投资组合问题。我国股票市场中的手续费是由多个部分组成的，但实际的交易过程中，产生交易费用大致是0.3%，并且国债的交易费用设为零。在本文中，单个资产的投资回报率通过下面的式子获得： $r_{n_{ij}}$ ， $r_{n_{ij}} = (\text{卖出股价} * (1-T) - \text{买入股价} * (1+T)) / \text{买入股价}$ ：

投资策略在第 i 年，第 j 个投资期所取得的收益率为：

$$r_{ij} = \sum_{n_{ij}=1}^{N_{ij}} w_{n_{ij}} r_{n_{ij}} \quad (5-34)$$

上述方法计算出第 i 年第 j 个投资期的收益率 $r_{n_{ij}}$ ，则投资策略在第 i 年所取得的收益率为：

$$r_i = \prod_{j=1}^J (1 + r_{ij}) - 1 \quad (5-35)$$

其中 J 表示在第 i 年中 j 的总数。

利用公式 (5-34) 到公式 (5-35) 并结合市场中的数据，我们可以非常方便的得到标的资产所获得的投资回报率。

5.3.2.1 实证研究的结果与分析

下面将我们所获得数据，带入到最小半绝对偏差准则模中进行实证研究。给定一个时期，我们就能够确定一个向后看和向前看的一个窗口，考虑包含一定时间长度的历史数据，并将这些数据代入到基于最小半绝对偏差准则的投资组合模型中进行求解，模型的求解是在Matlab软件中进行的，事实上，模型的本质就是利用一定长度的时间序列对模型进行求解并估计模型中的参数，然后将模型中所估计到的参数同现阶段的数据相结合做出相应的投资组合判断，为投资者的投资行为提供决策支持。事实上，向后看的窗口中，时间序列长度的选取也是我们必选考虑的问题，在此，我们测试了长度为2, 3, 4, 5, ..., n的数据。在本文的例子中，对投资组合持仓比例的调整是以季度为单位的，即通常情况下，一个季度才进行一次持仓比例的调整。通过对不同长度的时间序列数据作为输入变量进行研究，我们发现了一个有趣的现象，即基于国内的宏观数据，当向后看的时间窗口的长度为2时，投资组合的收益率相对其他长度的结果更好，具体的实证结果我们通过表5-2给出：

表 5-2 MSAD模型同沪深300指数年收益率的比较

	沪深300指数 年收益率	国债年 收益率	MSAD 年收益率
2005年	-0.0329	0.0201	-0.0183
2006年	1.0216	0.0193	0.8513
2007年	1.238	0.0283	1.2336
2008年	-0.6066	0.0303	0.0203
2009年	0.7591	0.0129	0.7356
2010年	-0.0237	0.0203	-0.0075
2011年	-0.2375	0.0323	0.0148
2012年	0.0238	0.0274	0.0248
2013年	-0.1328	0.034	-0.0233

事实上，在当前季度，都将根据MSAD模型所估计得来的参数确定投资组合的权重。这意味着，在每个季度的开始阶段，都将利用长度为2的后视窗口中的数据，并结合MSAD模型来估计模型的参数的值的大小，然后再将估计的参数结合最新所获得宏观因子的数据给出投资组合模型的权重比率。从中可以看出，沪深300指数和国债指数都是根据MSAD模型进行调整的。

为了更好地验证模型的有效性，把同样的数据代入到均值-方差模型中，用所得到的结果同MSAD模型所得到的结果作对比。事实上，在均值-方差模型中，总是期望在风险一定的情况下，收益越高；在收益一定的情况下，风险越小，但两个约束是不能同时达到的。因为均值方差模型是一个静态的模型，所以根据之前的历史数据，计算出当前时期对沪深300指数和国债的投资权重，再根据当前阶段每个资产的投资回报率计算出投资组合的回报率，最后给出考察期内的年收益率。为了做出一个更好的比较，将MSAD和均值-方差模型的年收益率进行比较，具体的结果见表 5-3所示：

表 5-3 MSAD模型同均值方差模型的年收益率比较

	沪深300指数	国债	投资组合	MSAD	超额收益
2005年	-0.0329	0.0201	-0.0183	-0.0197	0.0014
2006年	1.0216	0.0193	0.8513	0.4017	0.4496
2007年	1.2380	0.0283	1.2336	0.3053	0.9283
2008年	-0.6066	0.0303	0.0203	-0.0359	0.0562
2009年	0.7591	0.0129	0.7356	0.2688	0.4668

接下页

接上页

	沪深300指数	国债	投资组合	MSAD	超额收益
2010年	-0.0237	0.0203	-0.0075	-0.0133	0.0058
2011年	-0.2375	0.0323	0.0148	-0.0710	0.0859
2012年	0.0238	0.0274	0.0248	0.0241	0.0007
2013年	-0.1328	0.0340	-0.0233	-0.0338	0.0105

从表 5-3中还可以看出，基于MSAD模型方法所获得的投资收益率高于均值方差模型所获得的投资回报率，进一步说明了MSAD模型的有效性。

5.3.2.2 本节小结

事实上，在本章的研究过程中，投资组合的调整期通常时间较长，在初期对资产权重进行调整后，一直持有到期末，而在这个期间，如果资产发现了巨额亏损，我们也并没有采取相应的措施，这显然与投资者在进行实际投资的过程的情况是不相符的。投资者在进行实际投资操作的过程中，通常单个资产的亏损到达一定的比例，就会对该资产进行平仓，即设置一定的止损线，而在上述MSAD的实证中，并没有考虑设置止损线，从而不能有效地控制在这个期间的亏损，为了减少最大回调的尺度，可以在资产的持有期内设置止损比例，通过将止损策略加入到MSAD模型中，可以有效的减少最大回调所带来的损失。在下面的研究中，将加入止损条件。

很明显，由于宏观经济因素更新的时间周期相对较长，所以MSAD适合做中长期的投资。在接下来的研究中，将进一步结合技术分析的指标，设置止损指标，当单个资产的最大回调达到一定幅度的时候对该资产进行卖出操作，这样可以最大限度的保证我们的总资产不回落，防止在资产持有期间，因为一些系统因素所带来的重大损失，达到相对稳定的收益，这是后续研究的目标，通过这样的处理以期到达更高、更稳定的收益。

从上面的研究中可以看出，MSAD模型的回报率明显优于均值方差模型的回报率，这表明模型是可行的，但模型中仅用了两种资产来对基于最小半绝对偏差准则的投资组合模型进行验证，相对比过于简单，在接下的验证中，我们将引入更多的资产，并在资产的持有期内加入止损条件对模型进行进一步的验证。

5.3.3 模型II：基于行业指数与国债的实证研究

在上面的研究中，只是对模型进行了最简单的实证研究，以期说明模型的有效性。下面的实证研究中，将引入更多的资产，并结合设置适当的止损，对模型进行进一步的研究。这部分的研究主要是基于行业指数的研究，下面将对成分指数进行介绍，以方便投资者对行业指数进行一个比较全面的了解。

5.3.3.1 指数的介绍

自从股票市场诞生以来，人们在早期期望能有一个数能很好的反映市场中总体股票价格的变化趋势，从而有了股价指数的诞生，其主要目的就是反映市场中总体价格的运动轨迹。随着证券市场以及股价指数的不断发展，使得指数逐步衍生出具有可投资性的功能。

一、成分股指的主要功能：可投资性

随着证券市场的不断发展与完善，市场中逐渐形成了综合指数与成分指数，综合指数主要是用来描述市场中总体股价的变化趋势，而成分股指数则转变成了具有可投资性的股指。事实上，在各个发达国家中，综合指数主要是承担最原始的代表性功能，而成分指数具有可投资这一功能使得它越来越受到投资策略的关注。

1、成分股指的可投资性功能主要表现在一下几个方面：

(1) 成分股指数是股指期货的标的指数

当投资者看好某个公司的业绩，预期该公司的股价会上涨，可以通过购买该股票进行获利。但如果投资者预期某一个国家的整体经济运行不错，希望能够在该国经济增长的过程中分得一杯羹，那么可以通过在股市上购买该国的所有股票，但这样的操作显然是不现实的。但仅仅购买少数几支的股票也是不可取的，这是因为这几支股票的走势可能与国家的整体经济完全不同。那么，通过投资该国的股指期货能有效的解决上面的问题，事实上，股指期货还具有交易成本低等优点。成份股指数会随着整个市场行情涨或者跌，因此它能够对市场中的系统风险具有很好的代表作用，在实际的操作过程中，投资者可以通过做空股指期货来达到规避系统风险的需求。从上面可以看出，成份股指数不仅是国家总体经济的代表，还能够有效地规避系统风险，基于上述的优点，使得股指期货获得了飞速的发展。在发达国家中，股指期货的交易量远远超过了股票的交易量。事实上，股价指数作为股指期货的标的资产，一定要在很大程度上反映市场中总体股票价格的变化趋势，这样才能将其同系统风险相等价。

(2) 成分股指数是指数基金投资组合过程中的模板

随着发达国家金融市场的不断完善，人们要想获得好于市场的表现变得越来越困难。通常情况下，积极的进行投资却获得相对比较平凡的业绩，而积极投资所产生的成本却相对较高，这使得人们越来越关注于消极性的投资。消极性投资主要是通过建立相应的指数基金，然后利用大规模的资金购买市场指数中的成份股，但是由于在这个过程中，没有雇佣大量的分析师对市场进行分析，也没有进行频繁的股票买卖，所以其所涉及到的成本较少，然而却能获得与市场行情相同

的投资业绩。股指期货是能很好代表市场的指数，而指数基金则是考虑多种指数的结果，其中包括有行业指数、风格指数等。事实上，指数基金还是一种完全的市场行为，它是投资者为满足自身需求而产生的，而股指期货是由交易所编制的，市场的参与者只能被动的接受。

(3)成份股指数可以作为衡量基金组合投资业绩的标准

相对于上面的消极投资，积极投资由于付出了更多时间和金钱的成本，理应获得超过消极投资的收益，因此将积极投资的收益是否超过成份股指的收益相比较来衡量其投资结果的好与坏。

2、成份股指数在实现可投资功能时的相对优势

成份股指数与综合指数在可投资性方面的比较：

市场中的综合指数，是考虑所有上市挂牌的股票的一个投资组合，因此市场中单一股价变动时，综合指数也会随之而变动，从中可以看出，综合指数能很好的反映整个市场的变动。同时当有新的股票上市时，综合指数就会对其分母进行调整，从而没有办法去衡量一个固定的投资组合的收益，因此综合指数失去了具体的经济含义。从前面的叙述中，我们可以知道，股价指数可以作为衡量投资业绩的标准，但由于综合指数的样本在不断的变化，从而无法从综合指数的增长中衡量原始投资组合的收益率，因而，没有办法将综合指数作为衡量投资业绩的标准。

在实际的投资过程中，尽管各个国家都编制了综合指数，由于其编制过程特点，很少被用来作为股指期货的标的和衡量投资业绩的标准。

成份股指的编制是选取挂牌上市股票中的一部分来做投资组合的，其股票的数量是恒定的，通常情况下其样本股是选取具有一定规模、能很好的代表该行业、具有一定的上市时间、且交易相对比较活跃的股票。成份股指数在计算的过程中，是采用的市值加权平均法来计算的。事实上，在上市的股票中，经常会发生拆股或者并股的现象，如果此时只考虑单支股票的价格，显然会使得指数在可比性方面的性能变差，而市值加权平均是基于该股票的市值来进行计算的，不受拆股或并股的影响，因此不想其他方法那样产生误差，目前大多数的成份股指数都是采用该方法进行编制的。成份股指数的中的样本一旦选定之后，不会像综合指数那样频繁的变动，因此具有较好的稳定性和连续性，从而克服了综合指数的相关缺陷。通过上面的叙述可以看出，成份股是一个固定样本股票的投资组合，通过其指数的涨跌幅度就能很好的衡量该组合的整体收益率。由于成份股指数本身具有可投资性的功能，因此不像综合指数那样，投资者可以很容易的实现其收益率。

二、行业指数的必要性

随着市场经济的不断发展，一个国家的经济总体也需要通过各行各业的具体表现才能够被很好的反映。同一行业的企业由于其具有相同的市场竞争体制、所处的市场结构也相同、同时本行业的宏观经济周期、企业自身的生命周期等方面也极其相似，而这些特征，在不同的行业之间有着很大的差异性，从而使得相同行业的企业具有较好的可比性。

投资者在进行投资的过程中，首先对行业进行研究，然后在此基础上进行投资决策，因此进行行业划分对投资者具有重要的指导作用，是投资领域不可少的过程。

综合指数在编制的过程中，包含了所有挂牌上市的股票，因此不用考虑样本股的选取问题，以及其行业代表性等问题。但由于成份股指数是从所有挂牌上市的股票中挑选一部分股票来进行编制的，因此必须要考虑样本股的行业代表性这个非常重要的问题。

成份股在代表这个股票市场的行情的同时，还希望能够代表市场整体的结构，所以对上市公司进行行情分类具有十分重要的意义，从每一个行业中挑选能够代表本行业的样本股，这样做的原因是因为行业结构是市场结构中最简单、最有效的结构，并且处于同一行业的上市公司，其公司的经营状况，业绩以及股票价格的涨跌幅度都一致，而不同行业公司，在这些方面存在明显的差异。比如高科技的公司，在市场前景、市盈率等都与传统经济的房地产、农业等有着本质的不同。投资者在不同的投资环境中，会挑选不同行业进行投资，在各个行业中，投资的比例与权重会有所不同，因而基于行业分类的指数，不但能够表征上市公司的群体，还能够代表整个国民经济的结构。因此在对样本股进行选取的时候，必须充分考虑行业的代表性，否则会出现样本股仅由部分行业组成的情况，从而使其不能代表整个市场的行情。

为了方便投资者进行国际比较和国际分散化投资，对金融市场进行行业的分类也是非常必要的。事实上，发达国家与发展中国家具有不同的经济结构，发达国家中新兴行业在经济中的比重相对大些，而在发展中国家传统行业占比相对更高，因此在编制指数的过程中考虑行业分类，通过指数来表示不同的经济类型，可以有效的反映出国家之间的经济差别。事实上，基于国际分工、产业梯度的原则，每个国家都会有其相对优势的产业。在经济全球化的大背景下，投资者可以根据投资的需要在不同的国家之间选择不同的行业进行资产配置。行业的分类，以及行业指数的出现可以很好的解决这个问题。目前，投资行业国际化发展趋势越来越明显，投资者为了最大程度的控制可能出现的系统风险，并分享全球资本

市场发展所带来的收益，需要在全球范围内分散化投资。同时，中国现在已经成为WTO成员国，经济市场逐步开放，其中自然也包括证券市场，这样的大环境下，我们对行业的分类以及行业指数的编制承担着吸引外资以及推动我国资本市场国际化的重要任务。所谓行业，是指在国民经济中，生产同性质的产品或具有相同生产工艺的过程或提供同类型的劳动服务来划分的经济活动的类别。例如金融行业、房地产行业、通讯行业、饮食行业等。

在对产业进行分类时，我国在20世纪80年代中期就引进了三次产业的划分方法，第一次产业为农业；第二次产业是工业和建筑业；第三次产业是除去第一、第二产业以外的其他产业。

从严格意义上来讲，产业与行业是有差别的，其区别主要在于适用范围的不同。事实上，行业是贸易规模上的一种约定，证券分析师以及投资者关注的就是具有一定规模的行业，所以在业内一直约定俗成地将行业分类与产业分类作为同类来处理。在行业分类的历史中，基于不同的分类需求产生了不同的类型的行业分类方法。例如：三次产业分类法、联合国标准产业分类法、我国的国民经济行业分类法等。

从证券投资的角度来看，一般的投资者不能直接地参与公司的经营管理，他们关心的重点在于投资的保值增值，因此证券市场中的产业分类需要能够有效地反映产业的盈利前景，分类后各行业收益差别显著，这样才能对投资者在资产选择、投资组合管理等活动具有指导作用。

我国在1984年首次颁布了《国民经济行业分类与代码》(GB/T4754)，并于1994年进行了第一次的修订，1999年进行了第二次的修订，现在该标准已经完成了所有的修订工作，并在2002年10月1日开始正式实施，并改名为《国民经济行业分类》。该标准是国家统计局在参考联合国国家标准产业分类和世界其他国家的行业分类标准基础上，根据中国国情制定的，目的就是対国民经济进行产业分类。

5.3.3.2 实证研究的结果及分析

在国内很多券商制定相应的行业分类标准，其中包括有中信证券、国泰君安证券等券商。本文接下来的部分，将基于沪深300行业指数研究MSAD模型的实用性。

沪深300行业指数是为了反映沪深300指数中不同行业的公司股票的整体表现，将300只样本股按照行业分类标准进行划分成10个行业，从而形成的10只行业指数，其具体的描述见表 5-4 所示：

表 5-4 行业指数的划分

指数名称	指数简称	上交所代码	深交所代码
沪深300能源指数	300能源	000908	399908
沪深300原材料指数	300材料	000909	399909
沪深300工业指数	300工业	000910	399910
沪深300可选消费指数	300可选	000911	399911
沪深300主要消费指数	300消费	000912	399912
沪深300医药卫生指数	300医药	000913	399913
沪深300金融地产指数	300金融	000914	399914
沪深300信息技术指数	300信息	000915	399915
沪深300电信业务指数	300电信	000916	399916
沪深300公用事业指数	300公用	000917	399917

从上面可以看出，我们加入了10种行业指数，并且仍然将国债指数作为无风险指数进行考虑，所以在投资组合的资产池里面的资产共有11种，提供了比之前的两种资产更多的资产，使得投资组合可以在更多的资产中进行组合优化。在进行实证研究的过程中，我们采用了相同的宏观因子、以及国债数据，事实上，实证模型II只是将沪深300指数换成了相应的行业指数，为了能同实证模型I进行很好地比较，实证模型II同实证模型I的投资组合的调整时间都是一致的。行业指数的年收益率将通过表 5-5和表 5-6给出，其中表 5-5给出了300能源到300消费的年收益率，表 5-6给出300医药到300公用的年收益率：

表 5-5 300能源-300消费的年收益率

	300能源	300材料	300工业	300可选	300消费
2005年	0.1546	-0.1116	-0.0757	-0.0703	0.0570
2006年	0.9878	0.8845	0.8280	0.9465	1.7373
2007年	1.6109	1.4729	1.3605	1.1090	1.0941
2008年	-0.6327	-0.6820	-0.6150	-0.5928	-0.5247
2009年	0.9304	0.8930	0.5285	1.1815	0.8196
2010年	0.0379	0.1346	0.0530	0.0117	0.1834
2011年	-0.2134	-0.3300	-0.3788	-0.2584	-0.0566
2012年	-0.1228	-0.0518	-0.0803	0.0378	-0.0102
2013年	-0.3571	-0.3137	-0.1090	0.1450	-0.0286

表 5-6 300医药-300公用的年收益率

	300医药	300金融	300信息	300电信	300公用
2005年	-0.1551	0.1353	-0.2239	-0.0314	-0.0227
2006年	0.9675	1.6864	0.4160	0.7544	0.4833
2007年	1.3669	1.1164	0.7564	1.1812	1.1923
2008年	-0.4092	-0.6018	-0.6269	-0.5345	-0.4392
2009年	0.7289	0.7676	0.5829	0.6617	0.2244
2010年	0.2159	-0.1624	0.1059	-0.1720	-0.1696
2011年	-0.2697	-0.1433	-0.3481	-0.1854	-0.1889
2012年	0.1640	0.1366	-0.0258	-0.2609	-0.0061
2013年	0.1034	-0.1867	0.3608	0.1282	-0.1431

注意到，在模型II的实证过程中，止损策略被用来减少投资组合收益率曲线的回调比例。其实，策略的思想十分的简单易懂，对每一投资组合中的资产来说，资产将会一直持有到下一个调整期。为了避免在实际的交易过程中可能产生的不可避免的系统损失，当投资组合的单个资产的回调率到达5%时，我们将会对持有期内的股票进行平仓处理，从而来控制组合资产的最大回报率。通过原有数据以及新的行业指数带入到MSAD模型中进行求解，同时计算了向后看窗口的长度为在 $T=2$ 时的结果，在表5-7中，我们给出了模型II基于300行业指数和国债的年收益率：

表 5-7 MSAD模型基于行业指数与国债的年收益率

2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年
0.0586	1.1949	1.2449	-0.0451	0.7783	0.1235	-0.0875	0.1129	0.2156

为了进一步验证模型的有效性，下面将数据代入到均值-方差模型进行计算，相应的年收益率见表 5-8所示：

表 5-8 均值-方差模型基于行业指数与国债的年收益率

2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年
-0.1822	0.5373	0.2927	-0.4019	0.4520	-0.0924	-0.1317	0.0140	0.1027

下面将模型II将表 5-7和表 5-8中结果进行对比，得到模型II相对于均值方差模型的年收益率的超额收益为 $D=(0.2409, 0.6577, 0.9522, 0.3567, 0.3262, 0.2159, 0.0443, 0.0989, 0.1129)$ 。从超额收益 D 中可以得到，基于MSAD模型所获得的投资收益率相对于均值-方差模型而言能够获得更高的投资回报率，存在显著的差

异，进一步说明了MSAD模型的有效性。

5.3.3.3 本节小结

本节用基于两个实证模型分别验证了沪深300指数同无风险资产的组合、以及行业指数与无风险资产组合基于MSAD模型的投资组合的收益率。在我们的测试期内，基于最小半绝对偏差准则的投资组合模型能够获得比均值-方差模型更好的收益率。事实上，实证模型II的收益率在很大程度好于实证模型的收益率I，一个比较明显的原因是因为，模型II中的资产数量多于模型I中的资产数量，这样在进行投资组合的过程中，模型II的可选择范围更宽，能够更加有效的控制风险；另外一个原因是因为，在模型II中加入了止损控制机制，这样在股票的持有期内，如果单个资产出现比较大的回调，我们可以对其进行平仓处理，这样的处理也是与现实情况相符的，而在模型I中则没有加入止损控制机制，在下一个调整期内，即使单个资产出现严重的亏损我们也没有对其采取平仓措施，这也是模型I的收益率远远小于模型II的原因。

但是，我们认为基于最小半绝对偏差准则的投资组合模型还有很大的研究空间。其中一个研究方向就是研究多时间窗口下的投资组合问题，即投资组合可以在一个不定期的时间框架内进行的调整，例如调整的时间长度可以为月、周、天为单位，甚至可以是以后根据具有现实环境进行自适应的一种调整。另一种可能的改进是将Pan^[137, 138]提出的阴阳波动率引入到动态投资组合模型中来进行进一步的研究投资组合策略在多目标决策选股下的表现。

5.4 MSAD模型在个股上的应用

本文在前面的章节中讨论了如何通过财务指标来挑选股票，在前面部分，讨论了MSAD模型的有效性，并基于沪深300指数和国债，行业指数与国债进行了验证，下面将结合财务指标选股和MSAD模型进行投资组合实证研究，具体的步骤包括如下的几个步骤：

步骤一，利用MSAD模型计算出行业 k 的投资权重 w_k ，其中 k 的个数为 K ；

步骤二，利用前面章节中所给出选股模型，从每一行业中挑选出满足条件的个股，记在行业 k 里面满足条件的个股为 x_i 的个数为 J_k ，则在本行业中，其个股的投资权重为 $\frac{1}{J_k}$ ；

步骤三，利用相关行业的投资权重 w_k ，同本行业所挑选出来的个股在本行业中的权重相乘 $\frac{1}{J_k}$ ，最终在行业层面上，计算出个股的投资权重。

即

$$w_{kj} = \frac{1}{J_k} * w_k \quad (5-36)$$

步骤四，计算出投资组合的投资回报率，具体的计算过程如下所示：

$$r_t = \sum_1^K w_{kj} * r_{kj} \quad (5-37)$$

事实上，在前面的计算过程中，已经计算出了每一季度所挑选出的个股，因此只要将个股和对于行业进行相乘即可。最后的计算过程如下所示：

表 5-9 每一年度所在季度挑选出的股票数量

	第一季度	第二季度	第三季度	第四季度
2005年	33	21	27	17
2006年	23	16	20	24
2007年	23	26	26	40
2008年	36	31	41	25
2009年	17	10	10	23
2010年	23	41	34	44
2011年	37	26	31	19
2012年	16	10	10	13
2013年	13	8	10	9

表 5-10 超额收益率

	MSAD模型基于 个股的年收益率	基于成长与价值的 投资组合年收益率	超额 收益率
2005年	6.95 %	6.71 %	0.24 %
2006年	119.47 %	106.75 %	12.72 %
2007年	251.42 %	251.36 %	0.06 %
2008年	5.28 %	4.83 %	0.45 %
2009年	159.37 %	147.32 %	12.05 %
2010年	55.89 %	53.77 %	2.12 %
2011年	8.43 %	5.7 %	2.73 %
2012年	38.95 %	32.78 %	6.17 %
2013年	53.46 %	51.32 %	2.14 %

从表5-10中可以看出，在基于公司财务指标挑选个股的基础上，再用MSAD模型计算出个股所对应行业的投资权重，从而确定个股的投资权重这一投资过程的

有效性。

5.5 本章小结

本章的研究中，对最小半绝对偏差准则的投资组合模型进行了实证研究，首先在投资初期，根据模型得出投资权重，在模型I中，所给出的实证模型是基于沪深300指数与国债的，在模型II中，所给出的实证研究是基于行业指数与国债指数的动态投资组合，并加入了止损条件，进一步说明该模型在实际投资的过程中对投资者的指导作用。实证研究的结果表明，基于最小半绝对偏差准则的投资组合有良好的表现，该模型的收益明显好于均值方差模型的表现；在后面的研究中，考虑了MSAD模型同个股层面相结合的应用，将MSAD模型进行了延伸；接下的研究中，可以进一步考虑多市场的投资组合问题，随着市场以及各种智能算法的不断发展，相信在未来的研究中，会有越来越多的适合于现实投资的投资模型出现。

第六章 总结与展望

6.1 本文工作总结

改革开放以来,我国经济取得了飞速地发展,人民的经济收入和生活水平都得到了很大程度地提高。经济收入的提高,使得人们越来越关注于投资理财,但金融市场本身是一个高风险的市场,具有很多无法预测的因素,因此研究在不确定环境下如何对金融资产进行合理有效的配置与选择,使得投资组合在收益最大化的同时风险最小,是现代投资组合理论研究方向,是金融学研究的核心问题。该理论自均值方差模型问世以来,随着计算机科学以及现代数学的发展,使得投资组合理论逐步摆脱了以往依赖于人的主观分析的过程,开始进入了定量分析的阶段。现代投资组合理论越来越一直是世界各国经济学家和金融投资者倾力关注的一个重要理论与实践研究前沿。随着我国资本市场的不断规范化,证券市场、金融投资已经是我国社会经济生活的一个必不可少的重要组成部分,深入研究选股和投资组合的理论问题,无论是对个人还是机构投资者都具有非常深远的理论指导作用和现实意义。

本文的研究工作主要包括基于公司价值与成长的选股策略、组合多目标决策方法在投资组合方面的应用,以及基于最小半绝对偏差准的投资组合在沪深300指数和国债上、行业指数以及个股上的应用。

借助于上述的理论知识与研究方法,本文的理论创新和实践创新主要有以下几点,概括如下:

- 1、针对选股策略的应用。在证券市场中,投资者进行投资的过程中,首先对沪市所有上市公司进行分析,挑选出符合条件,具有成长与价值的公司进行投资,从而获取一定的投资回报。本文从公司的财务信息出发,给出了能够反映公司成长与价值的指标,并根据这些指标挑选出满足条件的股票进行投资,并对2004年到2013年的数据进行了实证研究,依据文中所给出的指标所给出的股票组合的年收益率,并同大盘指数进行了比较,证明了选股指标的有效性。

- 2、针对多目标决策方法在决策领域的优越性,结合各个模型的优缺点,对模型进行优化改进,建立了带有约束的模糊层次分析法来对计算属性的权重,并通过TOPSIS方法确定模型中的备选方案的投资权重。改进后的模型克服了TOPSIS方法在对属性进行赋权时的主观性,同时克服了层次分析法在对备选方案进行排序时计算量过大的问题。通过实证检验说明该组合方法在投资组合方面能够得到很好的应用,能够给投资者在投资的过程中提供一种新的方法与解决思

路。同时，由于在模型中添加了新的约束条件，使得在求解属性的权重过程中，模型在原有的组合方法上得到了进一步的改进，给出了一种更好的求解方法。实证结果显示，组合方法对实际投资过程具有很好的指导作用。

在得到属性的权重后，分别验证了TOPSIS方法在确定备选方案的权重时的优越性，3、Markowitz提出的均值方差模型是单期的，但是在实际的投资过程中，投资者面临的确是一个多阶段的长期投资过程，单阶段的投资模型不能根据实际情况进行调整，针对这一问题，本文采用了MSAD投资组合理论，并且由于在实际的交易过程中所产生的交易费用会对投资组合的收益率产生较大的影响，考虑到这一影响，本文同时考虑了交易费用，并通过沪深300指数、行业指数及个股进行了实证研究，给出了在多阶段投资的情况下，如何通过MSAD投资组合模型进行投资，并验证了该模型的有效性。

在论文的研究过程中，分别给出了相对应的实例研究，验证了算法的有效性，为投资决策提供了良好的理论支持。现代投资组合理论从问世以来就获得了广泛的关注。本文中所提出的方法具有很好的效果，鉴于新兴学科以及交叉学科理论对现代投资组合理论表现出强大的生命力，因此，大力研究相关领域具有非常重要的现实意义。

本文虽然在选股方面、多目标决策方法在投资组合方面、以及MSAD模型取得了一定的研究成果，但还可以在以下方面进行进一步的改进。

6.2 研究与展望

随着现代投资组合理论的发展与应用，基于数量分析的投资组合理论改变了原有的依赖于人的主观分析的投资理论，特别是从Markowitz以后，人们越来越关注于将数量分析的方法。

1、通常情况下，在对股票池进行筛选的过程中，所应用的选股策略的不同，将会得到不同的选股结果，因此如何应用适合的方法选取适合的股票进行投资是投资者研究方向之一。在文中所用到的选股指标，具有十分明确的经济含义，并且该方法具有很好的鲁棒性和适用性，能很好的区分指标之前的关系。将多目标决策方法应用于投资组合领域的研究目前还不是特别的充分，在接下来的时间里将会得到更加广泛的关注。

2、本文在MSAD模型中，并没有考虑噪音数据对模型产生的影响。事实上，噪音是在应用时间序列数据中普遍存在的问题，在样本中，当目标类别的样本数量比较少时，样本中噪音的特征与目标样本的特征很容易混淆在一起，未来将进

一步研究过滤和对数据进行预处理的技术方法，从而得到更好的算法与技术，进一步的提升模型的效用。

3、本文在研究MSAD模型的过程中，只是挑选了对模型冲击比较大的宏观因子，并不是将所有的宏观因子引入到模型中进行研究，因此通过增加模型中宏观因子的数量，进一步的研究模型的实用性和鲁棒性。

4、本文的研究工作还可以进一步的从广度上进行扩展，例如将更多的数据挖掘方面的理论、以及各类智能与现有模型进行进一步的研究与应用。

本文是在研究了选股策略的基础上，验证了多目标决策方法在投资组合领域的应用，并对MSAD模型进行了探索研究，通过实证研究的结果表明研究中所采用的多目标决策方法在投资组合方面具有较好的表现，并且基于最小半绝对偏差准则的投资组合模型也具有非常好的投资回报率，在接下来的研究中，如何对现有方法的进行进一步的拓展，是一个值得深入研究的问题。

致 谢

在电子科技大学经济与管理学院攻读博士学位期间的学习与生活，是我人生中一段难忘的经历，只有亲身经历过的人，才能体会到其中的酸甜与苦辣，知识的获取是艰辛的也是愉悦的，从最开始对博士生活的憧憬与向往，到在迷茫中徘徊、痛苦与纠结，再到最后的坚持与忍耐，并顺利地完成博士论文，这个知识获取的过程，让我对博士生活有了更加深刻的体会与认识，更加得感谢在此期间学校老师、同学们的鼓励与支持。

在电子科技大学经济与管理学院学习生活的这几年时间里，要特别感谢潘老师对我的学术上的指导，以及在学习、研究等方面给予的巨大帮助。潘老师对我研究方面的主题提供了大量的指导，在研究过程中对研究方法与研究细节的指导更是让我受益终生，博士学位论文的完成与潘老师的悉心指导密切相关。

感谢学院给我授课的曾勇老师，周宗放老师的悉心指导，以及学院马永开老师、倪得兵老师、田益详老师、艾兴政老师等的启迪，是您们将所学的知识娓娓道来，对我们在启迪一直铭记在心。感谢孔刚老师和汤玲玉老师的关心和照顾，并感谢参与我的论文评审与答辩的各位老师，在您们的辛勤努力和关怀下，今天才能顺利得完成我的学业，在此给予我最真挚的感谢！您们辛苦了！

感谢我的同班同学徐振业等，在我学习与生活中给予的无私关怀，感谢我的同门师妹吴珊，是你们同我在学习上的讨论交流，让我的思路更加的开阔与完善，你们给予我的陪伴与力量，才让在困难体会到了生活的充实与愉快。

在此，我要特别的感谢我的父母，你们对我默默无闻的支持、关心与付出，是我这几年坚持下来最大的动力，面对你们对我无私的爱，我无法用言语来表达对你们的愧疚之情，我爱你们！

攻读博士学位的人生经历是宝贵的，新的生活与挑战也即将开始，最后我要感谢所用对我直接或者间接帮助过的老师、同学、朋友，祝福你们！

参考文献

- [1] H. Markowitz. Portfolio selection[J]. The Journal of Finance, 1952, 7:77–91
- [2] B. Graham, D. Dodd. Security Analysis[M]. Mc Graw-Hill, Inc: First Edition, 1934
- [3] 菲利普·A·费雪. 怎样选择成长股(第2版)[M]. 北京: 地震出版社, 2003
- [4] 但斌. 时间的玫瑰-但斌投资札记[M]. 山西: 山西人民出版社, 2007
- [5] 李驰. 中国式价值投资[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2010
- [6] 莫小东. 关于价值投资投机期限的思考[J]. 企业科技与发展, 2009, 2:7–10
- [7] 孙友群, 陈小洋, 魏非. 价值投资与中国股市对接的思考[J]. 财经理论与实践, 2002, 2:64–67
- [8] 王咏梅. 高科技公司投资价值信息识别的实证研究[J]. 统计研究, 2003, 11:5–8
- [9] 李大刚. 价值投资策略在中国股市的实证研究[M]. 2004
- [10] 蒋俊贤. 价值投资于中国股市可行性的实证研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2005, 6:21–27
- [11] 徐成刚. 价值投资理论在中国股市的应用分析[J]. 价值工程, 2006, 12:39–42
- [12] 孙美, 刘亚萍. 分行业研究价值投资在我国股市的适用性[J]. 决策和信息, 2008, 10:24–25
- [13] 裘超强. 中国股市价值投资研究-论巴菲特投资思想在中国股市的适用性[M]. 2008
- [14] 王静. 中国证券基金价值投资的实证研究[M]. 2009
- [15] 陈荣达, 虞欢欢. 基于启发式算法的支持向量机选股模型[J]. 系统工程, 2014, 32:40–48
- [16] T. L. Saaty. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980
- [17] Y. Wind, T. L. Saaty. Marketing applications of the analytic hierarchy process[J]. Management Science, 1980, 26:641–658
- [18] T. L. Saaty. How to make a decision: The analytic hierarchy process[J]. European Journal of Operational Research, 1990, 48:9–26
- [19] K. M. A.-S. Al-Harb. Application of the AHP in project management[J]. International Journal of Project Management, 2001, 19:19–27
- [20] 王先甲, 张熠. 基于AHP和DEA的非均一化灰色关联方法[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31:1222–1229
- [21] C. L. Hwang, K. Yoon. Multiple attribute decision making methods and applications[M]. Berlin: Springer, 1981
- [22] M. Iraj, M. Nezam, H. Armaghan, et al. Designing a model of fuzzy TOPSIS in multiple criteria decision making[J]. Applied Mathematics and Computation, 2008, 206:607–617
- [23] J.-W. Wang, C.-H. Cheng, H. Kun-Cheng. Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection[J]. Applied Soft Computing, 2009, 9:377–386

- [24] M. C. Lin, C. C. Wang, M. S. Chen, et al. Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process[J]. *Computers in Industry*, 2008, 59:17–31
- [25] S. Öñüt, S. Soner. Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment[J]. *Waste Management*, 2008, 28:1552–1559
- [26] M. Dağdeviren, S. Yavuz, N. Kılınç. Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment[J]. *Expert System with Application*, 2009, 36:8143–8151
- [27] İrfan Ertuğrul, N. Karakaşoğlu. Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods[J]. *Expert System with Application*, 2009, 36:702–715
- [28] A. T. Gumus. Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology[J]. *Expert System with Application*, 2009, 36:4067–4074
- [29] N. Y. Seçme, A. Bayrakdaroğlu, C. Kahraman. Fuzzy performance evaluation in Turkish Banking Sector using Analytic Hierarchy Process and TOPSIS[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36:11699–11709
- [30] S. Öñüt, T. Efendigil, S. S. Kara. A combined fuzzy MCDM approach for selecting shopping center site: An example from istanbul, Turkey[J]. *Expert System with Application*, 2010, 37:1973–1980
- [31] R. Rostamzadeh, S. Sofian. Prioritizing effective 7Ms to improve production systems performance using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38:5166–5177
- [32] 寇刚, 娄春伟, 彭怡, 等. 基于时序多目标方法的主权信用违约风险研究[J]. *管理科学学报*, 2012, 4:81–87
- [33] L. A. Zadeh. Fuzzy Sets[J]. *Information and control*, 1965, 8:338–353
- [34] G. J. Klir. Fuzzy arithmetic with requisite constraints[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1997, 91:165–175
- [35] M. Enea, T. Piazza. Project selection by constrained fuzzy AHP[J]. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2004, 3:39–62
- [36] F. Tiryaki, B. Ahlatcioglu. Fuzzy portfolio selection using fuzzy analytic hierarchy process[J]. *Information Sciences*, 2009, 179:53–69
- [37] W. F. Sharpe. A simplified model for portfolio analysis[J]. *Management Science*, 1963, 9(3):277–293
- [38] W. F. Sharpe. Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk[J]. *The Journal of Finance*, 1964, 19(3):425–442
- [39] S. A. Ross. The arbitrage theory of capital asset pricing[J]. *Journal of Economic Theory*, 1976, 13(3):341–360

-
- [40] B. N. Ouederni, W. G. Sullivan. A semi-variance model for incorporating risk into capital investment analysis[J]. *The Engineering Economist: A Journal Devoted to the Problems of Capital Investment*, 1991, 36(2):83–106
- [41] J. C. T. Mao. Models of capital budgeting, EV vs ES[J]. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 1970, 4(5):657–675
- [42] R. O. Swalm. Utility theory-insights into risk taking[J]. *Harvard Business Review*, 1966, 44(6)
- [43] H. Markowitz. Portfolio selection: Efficient diversification of investments[M]. John Wiley & Sons, 1958
- [44] B. R. Feiring, W. L. Wong, M. Poon, et al. Portfolio selection in downside risk optimization approach-application to the Hong Kong stock market[J]. *International Journal of Systems Science*, 1994, 25(11):1921–1929
- [45] H. Konno, H. Yamazaki. Mean-Absolute deviation portfolio optimization model and its application to Tokyo stock market[J]. *Management Science*, 1991, 37:519–531
- [46] M. G. Speranza. Linear programming models for portfolio optimization[J]. *Finance*, 1993, 14:107–123
- [47] C. D. Feinstein, M. N. Thapa. Notes: A reformation of a mean-absolute deviation portfolio optimization[J]. *Management Science*, 1993, 39(12):1552–1558
- [48] H. Konno, H. Shirakawa, H. Yamazaki. A mean-absolute deviation-skewness portfolio optimization model[J]. *Annals of Operations Research*, 1993, 45(1):205–220
- [49] H. Konno, K. I. Suzuki. A mean-variance-skewness portfolio optimization model[J]. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 1995, 38(2):173–187
- [50] A. Kane. Skewness preference and portfolio choice[J]. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 1982, 17(1):15–25
- [51] P. Chunchinda, K. Dandapani, S. Hamid, et al. Portfolio selection and skewness: Evidence from international stock markets[J]. *Journal of Banking & Finance*, 1997, 21(2):143–167
- [52] W. Young, R. Trent. Geometric mean approximations of individual securities and portfolio performance[J]. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 1969, 4(2):179–199
- [53] E. J. Elton, M. J. Gruber. On the maximization of the geometric mean with lognormal return distribution[J]. *Management Science*, 1974, 21(4):483–488
- [54] F. Arditti, H. Levy. Portfolio efficient analysis in three moments: the multiperiod case[J]. *The Journal of Finance*, 1975, 30(3):797–809
- [55] W. H. Jean, B. P. Helms. Geometric mean approximations[J]. *The Journal of Financial and quantitative Analysis*, 1983, 18(3):287–293

- [56] D. Pyle, S. Turnovsky. Safety-first and the expected utility maximization in mean-standard deviation portfolio analysis[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1970, 52(1):75–81
- [57] D. H. Ahna, J. Boudoukh, M. Richardson, et al. Partial adjustment or stale prices? Implications from stock index and futures return autocorrelations[J]. *Review of Financial Studies*, 2002, 15(2):655–689
- [58] S. Basak, A. Shapiro. A model of credit risk, optimal policies, and asset prices[J]. Stern School, New York University, working paper, 2004
- [59] G. Alexandre, A. Baptisa. Economic implications of using mean-VaR model for portfolio selection: A comparison with mean-variance analysis[J]. *Journal of Economic Dynamic and Control*, 2002, 26:1159–1193
- [60] R. T. Rockafellar, S. Uryasev. Optimization of conditional value-at-risk[J]. *Journal of Risk*, 2000, 2
- [61] S. Uryasev. Conditional value-at-risk: Optimization algorithms and applications[J]. *Financial Engineering News*, 2000, 14:1–6
- [62] F. Andersson, H. Mausser, D. Rosen, et al. Credit risk optimization with Conditional Value-at-Risk criterion[J]. *Mathematical Programming*, 2001, 89(2):273–291
- [63] R. T. Rockafellar, S. Uryasev. Conditional Value-at-Risk for general loss distributions[J]. *Journal of Banking & Finance*, 2002, 26(7):1443–1471
- [64] N. Topaloglou, H. Vladimirov, S. A. Zenios. CVaR models with selective hedging for international asset allocation[J]. *Journal of Banking & Finance*, 2002, 26(7):1535–1561
- [65] M. J. P. Magill, G. M. Constantinides. Portfolio selection with transaction costs[J]. *Journal of Economic Theory*, 1976, 13(2):245–263
- [66] N. R. Patel, M. G. Subrahmanya. A simple algorithm for optimal portfolio selection with fixed transaction costs[J]. *Management Science*, 1982, 28(3):303–314
- [67] R. Arnott, W. Wagner. The measurement and control of trading costs[J]. *Financial Analysts Journal*, 1990, 46(6):73–80
- [68] M. H. A. Davis, A. R. Norman. Portfolio Selection with Transaction Costs[J]. *Mathematics of Operations Research*, 1990, 15(4):676–713
- [69] J. F. Eastham, K. J. Hastings. Optimal impulse control of portfolios[J]. *Mathematics of Operations Research*, 1988, 13(4):588–605
- [70] S. E. Shreve, H. M. Soner. Optimal investment and consumption with transaction costs[J]. *The Annals of Applied Probability*, 1994, 4(3):609–692
- [71] M. Akian, J. L. Menaldi, A. Sulem. On an investment-consumption model with transaction costs[J]. *SIAM Journal of Control and Optimization*, 1996, 34(1):329–364

-
- [72] A. J. Morton, S. R. Pliska. Optimal portfolio management with fixed transaction costs[J]. *Mathematical Finance*, 1995, 5(4):337–356
- [73] R. M. Dammon, C. S. Spatt, H. H. Zhang. Optimal consumption and investment with capital gains taxes[J]. *Review of Financial Studies*, 2001, 14:583–616
- [74] M. F. Gallmeyer, F. Kaniel, S. Tompaidis. Tax management strategies with multiple risky assets[J]. *Journal of Financial Economics*, 2006, 80:243–291
- [75] J. M. Mulvey, W. T. Ziemba. Assets and liability allocation in a global environment[J]. In: *Finance*, Elsevier Science B.V, 1995
- [76] R. Mansini, M. G. Speranza. Heuristic algorithms for the portfolio selection problem with minimum transaction lots[J]. *European Journal of Operational Research*, 1999, 114(2):219–233
- [77] C. Kellerer, R. Mansini, M. Speranza. Selecting portfolios with fixed costs and minimum transaction lots[J]. *Annals of Operation Research*, 2000, 99:287–304
- [78] N. J. Jobst, M. Horniman, C. Lucas, et al. Computational aspects of alternative portfolio selection models in the presence of discrete asset choice constraints[J]. *Quantitative Finance*, 2001, 1(5):489–501
- [79] Y. Crama, M. Schyns. Simulated annealing for complex portfolio selection problems[J]. *European Journal of Operation Research*, 2003, 150(3):546–571
- [80] S. Ramaswamy. Portfolio selection using fuzzy decision theory[J]. *Working Paper of Bank for International*, 1998, 59
- [81] J. Watada. Fuzzy portfolio model for decision making in investment, in Y. Yoshida (eds.)(C). *Dynamical Asspects in Fuzzy Decision Making*, Physica-Verlag, Heidelberg, 2001, 141–162
- [82] K. Lai, S. Wang, J. H. Zeng. Portfolio selection models with transaction costs: crisp case and interval number case, in D. Li(eds.)(C). *Proceedings of the International Conference and Applications*, Hong Kong, 2001, 943–950
- [83] M. A. Parra, A. B. Terol, M. V. R. Uría. A fuzzy goal programming approach to portfolio selection[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 133:287–297
- [84] J. Mossin. Optimal Multiperiod Portfolio Policies[J]. *Journal of Business*, 1968, 41(2):215–229
- [85] E. Fama. Multiperiod consumption-investment decisions[J]. *American Economic Review*, 1970, 60:163–174
- [86] R. Östermark. Vector forecasting and dynamic portfolio selection: Empirical efficiency of recursive multiperiod strategies[J]. *European Journal of Operational Research*, 1991, 55:46–56
- [87] A. Chen, F. Len. The optimal portfolio revision policy[J]. *Journal of Business*, 1971, 44:51–61
- [88] D. Li, W. Ng. Optimal dynamic portfolio selection: Multi-period mean-variance formulation[J]. *Mathematical Finance*, 2000, 10(3):387–406

- [89] G. Yin, X. Y. Zhou. Markowitz's Mean-Variance portfolio selection with regime switching: from discrete-time models to their continuous-time limits[J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2004, 49(3):349–360
- [90] R. C. Merton. Lifetime portfolio selection under uncertainty: The continuous-time case[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1969, 51(3):247–257
- [91] X. Zhou, D. Li. Continuous time mean-variance portfolio selection: A stochastic LQ framework[J]. *Applied Mathematics and Optimization*, 2000, 42:19–33
- [92] M. Steinbach. Markowitz revisited: mean-variance models in financial portfolio analysis[J]. *SIAM Review*, 2001, 43:31–85
- [93] J. C. Cox, C. Huang. Optimal consumption and portfolio policies when asset prices follow a diffusion process[J]. *Journal of Economic Theory*, 1989, 49(1):33–83
- [94] I. Karatzas, J. P. Lehoczky, S. E. Shreve. Existence and uniqueness of multi-agent equilibrium in a stochastic, dynamic consumption/investment model[J]. *Mathematics of Operations Research*, 1990, 15(1):80–128
- [95] J. Y. Campbell, L. M. Viceira. Who should buy long-term bonds?[J]. *The American Economic Review*, 2001, 91(1):99–127
- [96] S. Pliska. A stochastic calculus model of continuous trading: Optimal portfolios[J]. *Mathematics of Operations Research*, 1986, 11(2):371–382
- [97] J. Y. Campbell, L. M. Viceira. Consumption and portfolio decisions when expected returns are time varying[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1999, 114(2):433–496
- [98] S. Sundaresan, F. Zapatero. Valuation, optimal asset allocation and retirement incentives of pension plans[J]. *The Review of Financial Studies*, 1997, 10(3):631–660
- [99] J. Liu. Portfolio selection in stochastic environments[J]. Graduate School of Business, Stanford University, Working paper, 1998
- [100] G. Chacko, L. Viceira. Dynamic consumption and portfolio choice with stochastic volatility in incomplete markets[J]. Harvard Business School, Working paper, 1999
- [101] S. H. Chen, T. W. Kuo. Evolutionary computation in economics and finance: a bibliography. evolutionary computation in economics and finance[J]. *Physica-Verlag, Heidelberg, New York*, 2002:419–455
- [102] G. Dueck, P. Winker. New concepts and algorithms for portfolio choice[J]. *Applied Stochastic Models and Data Analysis*, 1992, 8(3):159–178
- [103] T. J. Chang, N. Meade, J. E. Beasley, et al. Heuristics for cardinality constrained portfolio optimization[J]. *Computers & Operations Research*, 2000, 27(13):1271–1302

- [104] A. Schaerf. Local search techniques for constrained portfolio selection problems[J]. Computational Economics, 2002, 20(3):177–190
- [105] F. Streichert, H. Ulmer, A. Zell. Evolutionary algorithms and the cardinality constrained portfolio optimization problem[J]. In: Operations Research Proceedings 2003 Selected Papers of the International Conference on Operations Research, 2003:1–8
- [106] A. Fernandez, S. Gomez. Portfolio selection using neural networks[J]. Computers & Operations Research, 2007, 34(4):1177–1191
- [107] T. Cura. Particle swarm optimization approach to portfolio optimization[J]. Nonlinear analysis: Real world applications, 2009, 10(4):2396–2406
- [108] D. Lin, S. Wang, H. Yan. A multiobjective genetic algorithm in for portfolio selection problem[J]. In: Proceedings of ICOTA 2001, 2001:15–17
- [109] C. S. Ong, J. J. Huang, G. H. Tzeng. A novel hybrid model for portfolio selection[J]. Applied Mathematics and Computation, 2005, 169:1195–1210
- [110] R. Armananzas, J. A. Lozano. A multiobjective approach to the portfolio optimization problem[J]. In: Proc.IEEE Cong.on Evol.Comp., 2005, 2:1388–1395
- [111] S. C. Chiam, K. C. Tan, A. A. Mamun. Evolutionary multi-objective portfolio optimization in practical context[J]. International Journal of Automation and Computing, 2008, 5(1):67–80
- [112] X. Yang. Improving portfolio efficiency: A genetic algorithm approach[J]. Computational Economics, 2006, 28(1):1–14
- [113] T. Krink, S. Paterlini. Multiobjective optimization using differential evolution for real world portfolio optimization[J]. Computational Management Science, 2010, 8:157–179
- [114] 马永开, 唐小我. 不允许卖空的 β 值证券投资决策模型研究[J]. 管理工程学报, 1999, 13(4):1–4
- [115] 马永开, 唐小我. 不允许卖空的多因素证券组合投资决策模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20:37–43
- [116] S. Wang, Y. Xia. Portfolio Selection and Asset Price[M]. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2002
- [117] 李仲飞, 汪寿阳. 投资组合优化与无套利分析[M]. 北京: 科学出版社, 2001
- [118] 余媚, 董洪斌, 汪寿阳. 摩擦市场下的投资组合与无套利分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [119] 王艳萍, 陈志平, 陈玉娜. 多因子投资组合选择模型研究[J]. 工程数学学报, 2012, 29:807–814
- [120] 王延章, 蔡建波, 张茂军, 等. 基于下半方差的债券投资组合模型[J]. 系统工程, 2012, 4:32–38
- [121] 徐绪松, 王频, 侯成琪. 基于不同风险度量的投资组合模型的实证比较[J]. 武汉大学学报(理学版), 2004, 50:311–314
- [122] 陈剑利, 李胜宏. CVaR风险度量模型在投资组合中的应用[J]. 运筹与管理, 2004, 13:95–99

- [123] 陈志平, 袁晓玲, 郜峰. 多约束投资组合优化问题的实证研究[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 2:10–17
- [124] 林丹, 李小明, 王萍. 用遗传算法求解改进的投资组合模型[J]. 系统工程, 2005, 23:68–72
- [125] 陈国华, 陈收, 房勇,等. 带有模糊收益率的投资组合选择模型[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(7):8–15
- [126] 余婧. 均值-方差-近似偏度投资组合模型和实证分析[J]. 运筹学学报, 2010, 3:106–114
- [127] 徐晓宁, 何枫, 陈荣,等. 允许卖空条件下证券投资组合的区间二次规划问题[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33:2533–2538
- [128] 罗洪浪, 王浣尘. 现代投资组合理论的新进展[J]. 系统工程理论方法应用, 2002, 22:185–189
- [129] 徐丽梅. 现代投资组合理论最新进展评述及其分支的发展综述[J]. 首都经济贸易大学学报, 2006, 4:75–79
- [130] 郑振龙, 陈志英. 现代投资组合理论最新进展评述[J]. 厦门大学学报, 2012, 2:17–24
- [131] 余峰, 田益祥, 李成刚,等. 基于自由现金流量的证券投资策略及实证[J]. 预测, 2011, 30(2):57–61
- [132] J. J. Wang, D. L. Yang. Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing[J]. Computers and Operation Research, 2007, 34:3691–3700
- [133] C. T. Chen. Extension of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 114:1–9
- [134] Y. M. Wang, T. Elhag. Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment[J]. Expert Systems with Applications, 2006, 31:309–319
- [135] Z. Chen, W. Yang. An MAGDM based on constrained FAHP and FTOPSIS and its application to supplier selection[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2011, 54:2802–2815
- [136] M. Dağdeviren, İhsan Yüksel. Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management[J]. Information Sciences, 2008, 178:1717–1733
- [137] H. P. Pan. A basic theory of intelligent finance[J]. New Mathematics and Natural Computation, 2011, 7:197–227
- [138] H. P. Pan. Yin-Yang volatility in scale space of price-time – a core structure of financial market risk[J]. China Finance Review International, 2012, 2:377–405

攻博期间取得的研究成果

- [1] L. Chen, H. Pan. A dynamic portfolio theory model based on minimum semi-absolute deviations criterion with an application in the Chinese stock markets[J]. China Finance Review International, 2013, 3(3):284–300
- [2] L. Chen, B. Li, S. Dong, et al. A combined CFAHP-FTOPSIS approach for portfolio selection[J]. China Finance Review International, 2013, 3(4):381–395
- [3] L. Chen, B. Li, H. Pan. A hybrid method using CFAHP and TOPSIS for portfolio selection[J]. Journal of Convergence Information Technology, 2013, 8(13):82–90
- [4] Selection of stocks using constrained fuzzy AHP and PROMETHEE[J]. Advances in Information Sciences and Service Sciences, 2013, 5(15):97–103
- [5] Li. Chen, Heping Pan, Boqian Hao. The comparison between TOPSIS and PROMETHEE in selection stocks [C]. International conference on Applied Science and Engineering Innovation, Beijing, 2014