

基于贝叶斯推断的复杂工程项目动态风险评估与决策

闵哲

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2025年5月23日; 录用日期: 2025年6月20日; 发布日期: 2025年6月27日

摘要

在当前复杂多变的经济环境下, 工程项目投资决策的科学性、风险管理的有效性及其对投资收益的保障成为项目成功的核心议题。传统投资决策过程常面临信息不对称、风险评估方法主观或依赖大量数据、以及决策支持不足等挑战, 制约了决策的精准度和风险应对的动态性。为应对这些挑战, 本文致力于构建一个集成的工程项目投资决策动态风险评估与智能支持框架。核心创新在于引入贝叶斯推断, 特别是利用正态-逆伽马共轭分布模型, 对项目投资中的关键风险参数进行估计与预测, 该方法在处理小样本数据和不确定性方面具有独特优势。论文详细阐述了风险评估体系的具体构建方法, 包括风险识别、基于N-IG模型的风险量化分析、以及风险等级评定步骤。进一步, 本文设计了相应的决策支持系统(DSS)的概念架构与实施路径。该DSS旨在整合N-IG模型的分析结果, 为项目投资提供动态的风险预警、多策略比选(如风险规避、减轻、转移和接受)以及投资收益预测支持, 从而提升决策的科学性和智能化水平。论文不仅探讨了如何通过优化项目管理、强化成本控制及提升项目质量以实现经济、社会与环境等多维度投资收益, 更强调了所提出框架与DSS在这些过程中的赋能作用。最后, 本文通过一个基于模拟数据的实证研究验证了该集成框架及N-IG算法在提升风险评估准确性和辅助投资决策方面的有效性。研究成果旨在为工程项目投资决策提供一套更为先进和可操作的理论与工具, 对未来工程项目在该领域的发展趋势进行了展望, 具有显著的理论创新与实践应用价值。

关键词

工程项目投资决策, 风险管理, 投资收益, 风险评估, 管理策略

Dynamic Risk Assessment and Decision-Making for Complex Engineering Projects Based on Bayesian Inference

Zhe Min

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Abstract

In the current complex and volatile economic environment, the scientific nature of investment decision-making, the effectiveness of risk management, and their assurance of investment returns have become core issues for the success of engineering projects. Traditional investment decision-making processes often face challenges such as information asymmetry, subjective risk assessment methods or reliance on large amounts of data, and insufficient decision support. These issues constrain the precision of decisions and the dynamic nature of risk response. To address these challenges, this paper is committed to constructing an integrated framework for dynamic risk assessment and intelligent support in engineering project investment decision-making. The core innovation lies in the introduction of Bayesian inference, particularly using the Normal-Inverse-Gamma (N-IG) conjugate distribution model, to estimate and predict key risk parameters in project investment. This method has unique advantages in handling small sample data and uncertainty. The paper elaborates on the specific construction methods of the risk assessment system, including risk identification, risk quantification analysis based on the N-IG model, and risk level evaluation steps. Furthermore, this paper designs the conceptual architecture and implementation path of a corresponding Decision Support System (DSS). The DSS aims to integrate the analysis results of the N-IG model to provide dynamic risk warnings, multi-strategy comparisons (such as risk avoidance, mitigation, transfer, and acceptance), and investment return prediction support for project investment, thereby enhancing the scientific and intelligent level of decision-making. The paper not only explores how to achieve multi-dimensional investment returns in economic, social, and environmental aspects through optimizing project management, strengthening cost control, and improving project quality but also emphasizes the enabling role of the proposed framework and DSS in these processes. Finally, this paper validates the effectiveness of the integrated framework and the N-IG algorithm in improving the accuracy of risk assessment and assisting investment decision-making through an empirical research based on simulated data. The research results aim to provide a more advanced and operable set of theories and tools for engineering project investment decision-making and look forward to the development trends of future engineering projects in this field, with significant theoretical innovation and practical application value.

Keywords

Engineering Project Investment Decision-Making, Risk Management, Investment Returns, Risk Assessment, Management Strategies

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在企业追求核心竞争力提升与生产力发展的征途中，投资是不可或缺的关键环节。工程项目作为一种特殊的投资形式，具有投资周期长、资金需求量大、且决策一旦实施便难以逆转的显著特点。这使得项目投资的前期决策阶段尤为重要，企业必须进行充分的调研与严谨的研究，对项目的投资价值与适宜规模做出精准判断，严把决策关，以规避资金的无效投入与潜在浪费。投资决策的科学性与否，已然成为直接关乎企业持续发展乃至生存命脉的核心要素。

在复杂的工程项目投资决策过程中，对潜在风险的深度分析与前瞻性研究，以及对预期投资回报的准确预估，构成了最为关键的环节。然而，在当前复杂多变、不确定性日益增加的经济环境下，传统的风险评估方法往往面临信息不对称、模型对大量历史数据的依赖性强、以及在小样本或认知不确定条件下难以提供精确指导等局限。这些因素极大地制约了投资决策的科学性与风险管理的有效性。

为应对上述挑战，并显著提升工程项目投资决策的质量与风险抵御能力，迫切需要构建一套更为先进、能够动态适应不确定性并充分利用有限信息的评价与收益评估体系。本研究旨在突破传统方法的瓶颈，提出一个基于贝叶斯推断理论，特别是运用正态-逆伽马(Normal-Inverse-Gamma)分布模型进行关键风险参数估计的创新框架。该方法在处理数据稀疏、不确定性量化方面展现出独特优势，能够为风险评估提供更为稳健的概率基础。

进一步而言，为将此先进的风险评估能力转化为可操作的决策支持，本文将探讨如何基于此框架构建一个智能化的决策支持系统(DSS)概念。该系统旨在整合动态的风险分析结果，为决策者提供多维度信息支持，从而实现投资风险的有效降低和投资回报的科学预估。通过引入这种科学的评估方法和智能化的决策辅助工具，本研究致力于实现工程项目投资决策的精准化与科学化目标，为企业在复杂环境中稳健发展提供支持。

2. 工程项目风险管理与风险决策概述

引言中指出了传统工程项目投资决策的局限性，如信息不对称和数据不足。本部分将通过探讨工程项目风险的本质、决策过程及风险管理框架，为后续的贝叶斯方法和 DSS 设计提供理论基础。

2.1. 工程项目投资风险

复杂环境下的不确定性挑战工程项目的投资行为，本质上是投资主体在动态的市场与经营环境中，为追求未来价值增值而对现有资金、物力、人力等资源进行战略性配置的过程。然而，这种配置天然伴随着风险——即工程项目未来投资收益的不确定性，其表现形式多样，可能导致收益未达预期甚至本金损失[1]。正如美国项目管理专家马克思·怀德曼所指出的，风险是特定事件发生并对项目产生不利影响的可能性。工程项目投资风险不仅具有客观性、普遍性和固有的不确定性，更因项目本身投资成本高昂、建设周期漫长以及传统管理中主观判断的局限性，使得风险的来源与影响更为复杂和难以预测。尤其在当前多变的经济与技术环境下，如何精确识别、量化并有效管理这些不确定性，特别是在信息不完备或历史数据稀疏的情况下，成为工程项目投资成功的关键挑战。了解这些风险的特性对制定有效的投资决策至关重要，下一节将探讨决策过程的具体内容。

2.2. 工程项目投资决策

从经验驱动到智能辅助工程项目投资决策是投资者为达成预期目标，运用科学理论、方法与手段，对投资必要性、目标、规模、方向、结构、成本效益等重大问题进行系统分析、判断与方案抉择的核心过程[2]。投资决策的质量直接关系到投资时机的把握、投资规模的合理性、投资方向的准确性，并最终影响投资风险控制与投资收益的实现。传统的投资决策往往依赖于经验判断或基于确定性假设的分析模型，这在日益复杂的项目中显得力不从心。工程项目固有的高投入、一次性及固定性特征，要求决策者在项目启动前，必须超越单一指标的局限，对潜在风险及其连锁效应有深刻洞察。有效的决策需要系统的风险管理策略，这将在下一节中详细阐述。

2.3. 工程项目投资风险管理

整合贝叶斯推断与决策支持的系统化方法广义而言，工程项目投资风险管理旨在识别并应对所有可

能导致实际收益偏离期望的因素，其核心目标是以最小的成本投入实现风险损失的最小化与潜在收益的最大化。一个科学的风险管理体系应包含事前预防(如经济、社会责任、安全目标)与事后控制(确保损失在企业可承受范围内) [3]。

本文提出的风险管理框架，在传统风险管理流程的基础上，强调了定量分析的深度和决策支持的智能化：

1) 风险识别不仅包括识别所有潜在风险因素，更侧重于识别那些具有高度不确定性、缺乏充分历史数据、但对项目成败有显著影响的关键风险参数[4]。这些参数将是后续贝叶斯分析的重点。

2) 风险估计与量化是本研究方法的核心创新所在。传统风险估计往往依赖于定性排序或基于大样本假设的频率统计。本文提出运用贝叶斯推断，特别是正态-逆伽马分布模型，对关键风险因素(如成本超支、工期延误的概率分布参数)进行估计。该方法能够有效融合先验信息(如专家判断、类似项目数据)与当前项目的小样本观测数据，动态更新对风险参数的认知，并以概率分布的形式量化其不确定性。

3) 风险评价基于 N-IG 模型输出的后验概率分布，可以更全面地评价风险的影响程度。例如，不仅得到期望损失，还能获得损失超过某一阈值的概率、可信区间等，为风险排序和资源分配提供更精细化的依据，并直接输入到决策支持系统中。

4) 风险决策与智能支持构建并运用决策支持系统(DSS)。该 DSS 整合了风险评估模块的输出，能够模拟不同风险应对策略(如风险规避、转移、减轻、接受)的效果，评估其对项目整体风险画像和预期收益的影响，辅助决策者在多重约束和目标下选择最优的风险管理方案。

5) 风险处理与动态监控根据 DSS 辅助下制定的风险管理计划，组建风险管理团队并付诸实施。重要的是，在项目执行过程中，持续收集新的数据和信息，反馈给贝叶斯模型和 DSS，实现对风险评估结果和应对策略的动态调整与优化。

6) 风险管理后评价对整个风险管理过程的有效性、所采用模型的准确性以及 DSS 的实用性进行评估，总结经验教训，为未来项目和模型改进提供输入。通过上述整合了先进统计方法与智能决策工具的风险管理流程，旨在提升工程项目投资决策的科学性、风险应对的有效性以及最终的投资回报。

3. 工程项目投资风险分析

第二部分指出了传统风险管理方法在数据稀缺和不确定性环境下的不足。本部分将介绍基于贝叶斯推断的动态量化方法，特别是正态 - 逆伽马(N-IG)模型，以应对这些挑战。

基于贝叶斯推断的动态量化方法工程项目投资风险分析是科学风险管理的核心环节，旨在为投资决策提供坚实的量化依据。传统的风险分析方法在面对日益复杂的项目环境、信息不完备以及不确定性固有的挑战时，其有效性常受到限制。本研究倡导的风险分析过程，特别强调不确定性的系统性辨识与基于贝叶斯理论的概率化估计，并最终服务于智能化的风险评价与决策支持。

3.1. 工程项目投资风险识别

聚焦关键不确定性参数风险识别作为风险管理的首要步骤，其目的在于系统性地发现和认知工程项目投资全过程中可能面临的各类风险[5]。风险识别不仅遵循传统方法论所强调的全面性、系统性(纵向追踪项目全生命周期，横向覆盖所有相关领域)，更进一步聚焦于识别那些对项目目标(如成本、进度、收益)具有显著影响且其自身特性(如发生概率、影响程度)存在较大不确定性的关键风险因素及其相关的参数。具体实施步骤调整如下：

1) 确定分析对象与分解结构：将工程项目投资的生命周期及关键影响领域(如技术、市场、财务、管理、政策环境等)进行结构化分解，初步识别潜在的风险来源和表现形式。

2) 信息收集与预处理: 广泛收集与项目相关的内外部信息, 包括历史数据(即便不完整)、行业报告、专家意见、市场预测、政策文件等。特别强调收集用于构建贝叶斯模型先验分布的信息, 领域专家的经验判断、类似已完成项目的绩效数据、理论模型推导出的参数范围等。对收集到的信息进行筛选、分类和初步的质量评估。

3) 不确定性参数的初步界定与判断: 基于收集的信息, 分析并判断哪些风险因素的参数(如某一成本的均值与波动范围、某一技术风险发生的概率)存在显著的不确定性且难以通过传统频率统计精确估计。评估这些不确定性参数对项目整体投资回报和风险的可观影响。

4) 选择风险识别技术与工具: 结合传统的风险识别工具并辅以旨在发掘数据稀疏领域不确定性的方法。

5) 关键风险事件与参数的确定与分类: 综合运用识别技术与专家经验, 确定关键风险事件清单。对每个关键风险事件, 明确需要通过贝叶斯方法进行量化估计的核心不确定性参数。

6) 风险事件过程及后果的初步预测: 结合专家经验和初步数据, 对风险事件可能的发展路径、触发条件及潜在后果进行初步描述, 为后续量化模型的输入提供定性支持。

7) 风险识别报告的编制: 输出风险识别报告, 其中应包含: 详细的风险清单及其描述。风险的初步分类(例如, 按来源、影响范围) [6]。重点列出拟采用贝叶斯方法进行量化分析的关键不确定性参数及其初步的认知(例如, 可能的分布类型、专家对参数范围的初步判断)。风险间的潜在关联性分析。初步的风险控制优先级建议, 指向量化分析的重点。

通过识别关键风险参数及其不确定性, 本节为下一节使用贝叶斯推断和 N-IG 模型进行风险量化奠定了基础。

3.2. 工程项目投资风险估计

应用贝叶斯推断与正态-逆伽马模型在完成风险识别, 特别是关键不确定性参数的识别之后, 风险估计的核心任务是对这些风险进行量化, 以客观数据和概率语言描述其潜在影响, 从而为后续的风险评价和决策提供科学输入。

传统风险估计方法, 如专家打分法、综合推断法以及层次分析法(AHP), 在特定场景下有其应用价值, 尤其是在处理多标准、定性因素的排序和权重确定方面(如 AHP)。

这些方法往往依赖于主观判断的直接量化, 对于不确定性的表达不够充分(通常为点估计或模糊区间), 并且在数据稀疏或需要动态更新认知的情况下能力有限。为克服这些局限, 本文提出以贝叶斯推断为核心的风险估计方法, 特别地, 当关键风险参数采用正态-逆伽马分布作为其联合共轭先验/后验分布进行建模与估计。

风险估计的方法主要包括以下几种:

1) 综合推断法

在对工程项目投资风险进行预测时, 需要顾及各种风险的发生概率, 综合推断法就是利用现存的数据, 加上风险管理人员的主观分析来进行判断, 得到这些概率。综合分析法包括前推法、后推法和旁推法。当然, 这些分析方法不是孤立使用的, 根据不同的情况可以使用两种方法结合推断, 从而得到更准确的风险估计。

① 前推法

在风险估计中最常用的一种就是前推法, 这种外推方法是根据以前的历史数据, 从项目的实际情况出发, 结合逻辑可能和经验进行推算, 来估计尚未发生的风险在未来发生的可能性。

② 后推法

在进行风险估计的时候，有时并没有历史数据或历史经验供风险管理人员使用，这时就可以采用后推法，这种方法是通过想象未知事件、后果与已知事件、后果间的关系相结合，来推断未来可能发生的风险事件，也就是从现在往后推算。

③ 旁推法

旁推法是指借鉴不同情况但是具备一定的相似性的项目的经验或数据，来预测本工程项目的风险情况，这也是常用方法之一。

2) 层次分析法

在进行工程项目风险估计时，一种有效的工具是层次分析法。该方法对于可能存在的风险因素进行充分细致的分解，这种分解是从多方面进行的，在形成了有序的层次结构后，对各层之间比较判断，从而确定各风险因素的相对重要性。

由于人的主观判断力在风险估计阶段起到了主要的作用，要对这些风险因素发生的概率直接判断是比较困难的，层次分析法提供了一种将定性和定量相结合的判断方法，从而可以提高风险估计的科学性和准确性[7]。工程项目投资风险估计过程如图 1 所示。

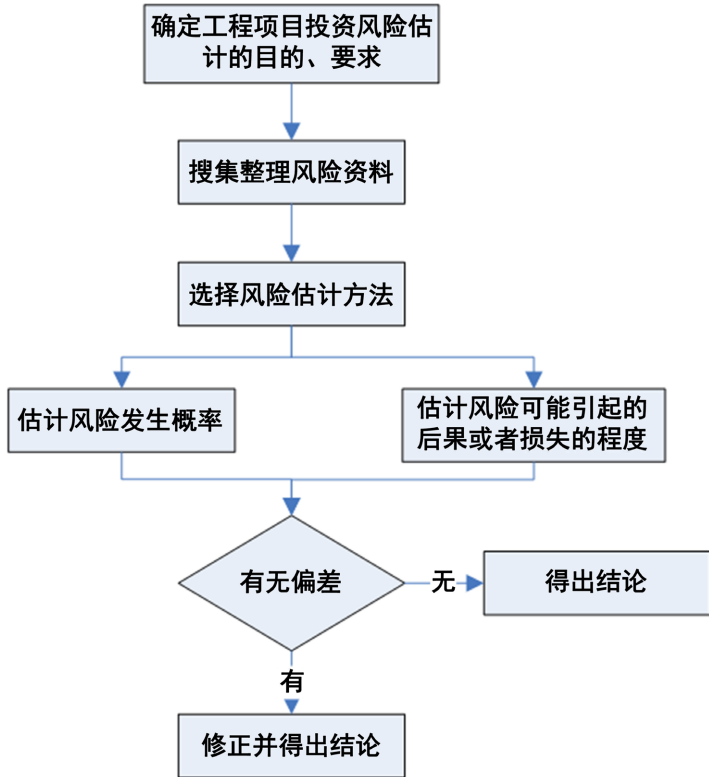


Figure 1. Flow chart of investment risk estimation of engineering projects
图 1. 工程项目投资风险估计流程图

由图 1 可以看出，在通常情况下，对工程项目投资的风险进行估计会由以下几个步骤完成。首先经过分析，将工程项目投资风险估计的目的和要求确定下来，从目标出发，才能够准确无误的进行预先估计。然后搜集风险的相关资料并进行整理。这些资料包括与工程项目投资有关的历史资料和现工程项目投资的资料。第三要选择在该工程项目中对投资风险进行估计的方法。由于存在着多种不同的风险估计方法，不同的方法得到的结论不同，因此要根据风险估计指标、风险处置等需要来合理选择风险估计方

法。第四要对工程项目投资风险发生概率和损失程度进行估计,将其控制在投资主体所能接受的范围内。第五是对偏差进行修正并得到结论。通过这些步骤,才可以得到偏差较小、更接近于客观真实情况的风险估计结果。

4. 工程项目投资风险决策评价

基于贝叶斯后验分析与决策支持的动态评估在完成工程项目投资风险的系统性识别和基于贝叶斯推断的量化估计,风险决策评价阶段的核心任务是综合评估这些量化风险对项目整体目标(如投资回报、成本控制、工期实现)的潜在影响程度,并为风险应对策略的选择提供科学依据。

4.1. 指标体系建立的原则

融合贝叶斯洞察与系统思维构建科学有效的工程项目投资风险决策评价指标体系至关重要,以下公式用于风险因素的归一化,确保系统性评价:

$$\delta_{(\omega)} = \delta - (\delta - s) \left(\frac{\omega}{N_s} \right)^c \quad (1)$$

尽管不同项目、管理者和地区可能关注点各异,但在本研究提出的框架下,指标体系的构建应遵循以下原则,并充分体现贝叶斯方法的优势:

1) 系统性: 评价体系应全面覆盖影响项目成功的关键因素。通过第二部分基于 N-IG 模型的参数估计,我们能够获得各底层风险因素的概率分布。评价体系需能整合这些微观层面的不确定性,系统地评估其对项目宏观目标(如总成本、总工期、净现值)的累积影响。决策支持系统(DSS)在此扮演关键角色,通过模型集成和依赖关系分析,确保评价的系统性。

$$P(A_\omega | \delta) = \int_{-\infty}^{\delta_{(\omega-1)}} f_s(s) ds = F_s(\delta_{(\omega-1)}) \quad (2)$$

该公式可计算风险参数的后验分布,提升评价的科学性。

2) 科学性与客观性: 评价指标的选取和计算应基于科学理论。贝叶斯推断为风险参数的估计提供了严谨的概率基础,其后验分布客观反映了在现有信息下的不确定性。评价过程应充分利用这些后验分布,而非依赖纯粹的主观打分或确定性点估计,从而提升评价的科学性和客观性。以下公式支持动态风险评估:

$$R(\omega | \delta) = R(\omega - 1 | \delta) P(A_\omega | \delta) = \prod_{i=1}^{\omega} P(A_i | \delta) \quad (3)$$

3) 动态性与前瞻性: 评价体系不应是静态的,而应能适应项目进展和外部环境变化。贝叶斯方法天然支持动态更新,新的数据可以持续优化后验分布。评价指标和基于此的决策应具有前瞻性,能够基于当前的风险认知预测未来可能的多种结果及其概率[8],为主动风险管理提供指引。以下公式可预测未来风险概率分布:

$$R(\omega | \delta) = \prod_{i=1}^{\omega} \int_{-\infty}^{\delta_{(i-1)}} f_s(s) ds = \prod_{i=1}^{\omega} F_s(\delta_{(i-1)}) \quad (4)$$

4) 可作性与实用性: 尽管底层模型可能复杂,但评价结果应以清晰、易懂的方式呈现给决策者,并通过 DSS 实现便捷操作。例如, DSS 可以将复杂的后验分布转化为易于理解的风险仪表盘、概率区间和关键风险驱动因素排序,直接支持决策。以下公式支持模型适应性调整:

$$R(\omega | \delta) = \prod_{i=1}^{\omega} F_s(\delta, i - 1) \quad (5)$$

5) 对标性与适应性: 在借鉴国内外先进经验的同时,评价体系应能适应中国具体国情及特定项目的

独特性。贝叶斯框架的灵活性(如先验信息的选择)允许根据具体情况调整模型,使其更具适应性。

4.2. 评价指标的选取

在工程项目投资过程中,涉及到指标评价体系的建立时,需要认真选取体系中的各评价指标。

以下公式可量化风险用于指标选取:

$$\begin{aligned} R(\omega) &= \int_{-\infty}^{+\infty} f_{\delta}(\delta) R(\omega|\delta) d\delta \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} f_{\delta}(\delta) \prod_{i=1}^{\omega} F_s(\delta, i-1) d\delta \end{aligned} \quad (6)$$

这些指标的选取主要依赖于工程项目风险分析和因素,主要包括以下几点:

- 1) 投资成本: 投资成本包括投入到工程项目的财力、物力、人力等总成本。包括投资成本、财务费用、销售费用、经营管理费用等各项支出。
- 2) 投资周期: 投资周期指工程项目从开始立项、规划设计、开工建设到完成项目的全过程。主要包括建设工程期、投资回收期、经营周期。
- 3) 投资效益: 对工程项目进行投资的目的是为了获得相应的收益,因此投资收益也是风险评价的根本因素。包括销售或营业收入、投资利润。
- 4) 投资风险: 在工程项目全过程中产生的风险因素称为投资风险。主要包括政治、经济、技术等风险。

$$h(\omega) = \frac{R(\omega) - R(\omega+1)}{R(\omega)} \quad (7)$$

在工程项目投资风险评价体系的设计过程中,需要对各风险因素进行综合评判,这样做的目的是为了从某个因素出发,得到的结论有片面性。从综合的角度出发,可以得到更接近实际情况的评判指标体系。

将式(7)代入上式可得:

$$h(\omega) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} f_{\delta}(\delta) [1 - F_s(\delta, \omega)] \prod_{i=1}^{\omega} F_s(\delta, i-1) d\delta}{\int_{-\infty}^{+\infty} f_{\delta}(\delta) \prod_{i=1}^{\omega} F_s(\delta, i-1) d\delta} \quad (8)$$

4.3. 工程项目投资风险决策评价体系

根据工程项目投资风险决策评价体系指标的选取原则,对工程项目投资风险决策评价体系的相关指标进行选取,并建立起科学的评价体系,如图2所示。

由图2可以看出,在工程项目投资风险评价体系指标的设计中,主要涉及到了四个大方面的指标,包括投资成本、投资周期、投资效益和投资风险。相对而言,投资项目的规模越大,投资成本越高,此时产生的投资风险也相应的越大。随着投资周期的延续和项目的进展,风险逐步减少。投资收益则是工程项目投资的最终目标,因此是投资风险评价的一个重要指标[9]。投资风险又是项目投资的决定因素。每个大方面又各被分为数个小方面,这些详细的指标共同构成了工程项目投资过程中对风险的评价指标。

假设 μ 的先验分布为正态分布, σ^2 的先验分布为逆伽马分布,可以表示为:

$$\begin{cases} \mu | \sigma^2 \sim N\left(\mu_0, \frac{\sigma^2}{\kappa_0}\right) \\ \sigma^2 \sim IGa\left(\frac{\nu_0}{2}, \frac{\nu_0 \sigma_0^2}{2}\right) \end{cases} \quad (9)$$

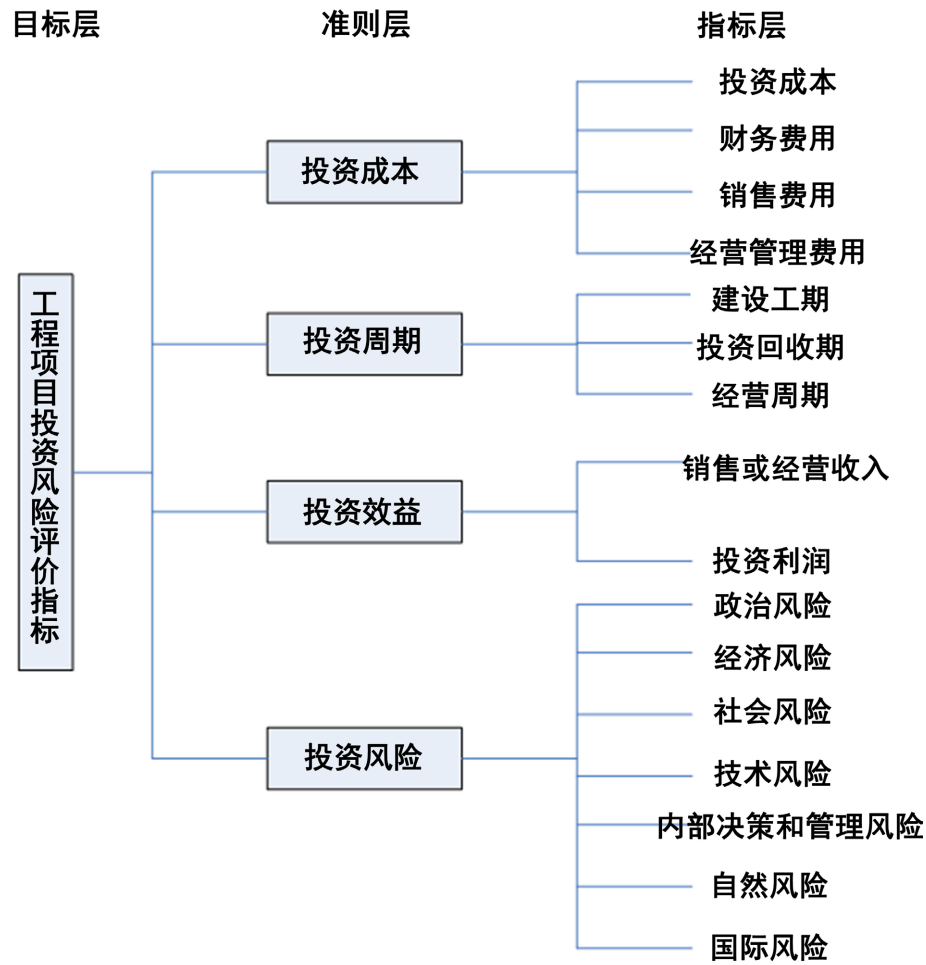


Figure 2. Risk evaluation system for investment decision-making of engineering projects
图 2. 工程项目投资决策风险评价体系

该公式定义了风险参数的先验分布，其中 μ 表示均值， σ^2 表示方差， m_0, k_0, a_0, b_0 是超参数，用于表示对这些参数的先验信念。可以通过以下公式确定：

$$\begin{cases} \nu_m = \nu_0 + m \\ \kappa_m = \kappa_0 + m \\ \mu_m = \mu_0 \frac{\kappa_0}{\kappa_0 + m} + \bar{s} \frac{m}{\kappa_0 + m} \\ \nu_m \sigma_m^2 = \nu_0 \sigma_0^2 + (m-1) s_m^2 + \frac{\kappa_0 m}{\kappa_0 + m} (\mu_0 - \bar{s})^2 \end{cases} \quad (10)$$

该公式根据新数据更新超参数，其中 n 是样本数， $\bar{x}$ 是样本均值，实现动态风险评估的关键步骤。通过建立的这个工程项目投资风险决策评价体系，可以在工程项目投资决策过程中起到良好的参考作用。工程项目投资决策者参考评价体系，对工程项目进行科学合理的投资决策，将投资风险降到最低处，使得投资主体可能受到的损失风险和损失大小都大大降低[10]。

令 $\hat{\alpha}$ 为 $\frac{\nu_0}{2}$ 的估计量， $\hat{\beta}$ 为 $\frac{\nu_0 \sigma_0^2}{2}$ 的估计量，逆伽马分布的超参数可由下式确定：

$$\begin{cases} \ln(\hat{\alpha}) - \frac{\partial \ln(\Gamma \hat{\alpha})}{\partial \hat{\alpha}} = \frac{\sum_{i=1}^m \ln x_i}{m} + \ln \left(\sum_{i=1}^m \ln \left(\frac{1}{x_i} \right) \right) - \ln(m) \\ \hat{\beta} = \frac{m \hat{\alpha}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{x_i}} \end{cases} \quad (11)$$

令 $\hat{\mu}_0$ 为 μ_0 的估计量, $\hat{\sigma}^2$ 为 σ^2 的估计量, $(\sigma^2/\kappa_0)'$ 为 σ^2/κ_0 的估计量, 正态分布的超参数可以由下式确定:

$$\begin{cases} \hat{\mu}_0 = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{s}_i}{m} \\ \hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} \\ (\sigma^2/\kappa_0)' = \frac{\sum_{i=1}^m \left[\bar{s}_i - \left[\sum_{i=1}^m \bar{s}_i \right] / m \right]^2}{m} \\ \kappa_0 = \frac{\hat{\sigma}^2}{(\sigma^2/\kappa_0)'} \end{cases} \quad (12)$$

最大后验估计即后验密度 $\pi(\mu, \sigma^2 | s)$ 达到最大的估计值为 (μ_M, σ_M^2) , 计算公式如下:

$$\begin{cases} \mu_M = \mu_0 \frac{\kappa_0}{\kappa_0 + m} + \bar{s} \frac{m}{\kappa_0 + m} \\ \sigma_M^2 = \frac{2 \left[\nu_0 \sigma_0^2 + (m-1) s_m^2 + \frac{\kappa_0 m}{\kappa_0 + m} (\mu_0 - \bar{s})^2 \right]}{\nu_0 + m + 3} \end{cases} \quad (13)$$

5. 工程项目投资风险管理决策系统应用

5.1. 工程项目投资系统的总体设计

融合贝叶斯智能的核心架构本 DSS 的设计目标是创建一个有机的、集成的风险管理环境, 其中各功能模块既独立运作又紧密协同, 核心驱动力来自于基于贝叶斯 N-IG 模型的动态风险估计与评价能力。

系统设计遵循以下核心原则:

- 1) 实用性与用户友好性: 尽管底层模型具有一定的复杂性, 但系统界面和操作流程应设计得直观易用, 确保管理者能够便捷地输入信息、运行分析并解读结果。
- 2) 模块化与集成性: 系统由若干核心功能模块构成, 这些模块能够独立完成特定任务, 又能无缝集成, 共享数据和分析结果, 形成完整的风险管理闭环。
- 3) 扩展性与灵活性: 系统架构应具有良好的扩展性, 以便未来能够集成新的风险模型、数据源或分析技术。同时, 应能灵活适应不同类型和规模的工程项目。
- 4) 数据驱动与模型核心: 系统的核心是数据与模型。它强调从数据中学习, 并运用先进的概率模型 (特别是 N-IG 模型) 进行推断与预测。

以往数据处理的方法是将样本数据视为先验样本, 直接统计其均值与方差, 然后对先验分布进行估

计。因此，本文结合了历史数据和仿真数据，得到 30 组数据作为先验信息进行处理，得到参数样本如表 1 所示：

Table 1. Samples of parameters formed by prior information

表 1. 先验信息形成的参数样本

μ_δ	σ_δ^2	μ_s	δ_s^2
1.521 606	0.156 731	0.604 105	0.918 283
1.718 141	0.127 745	0.611 453	0.480 627
1.614 155	0.135 424	0.702 121	0.310 253
1.518 251	0.191 811	0.655 673	0.056 808
1.566 579	0.003 232	0.688 762	0.313 055
1.550 051	0.049 442	0.644 569	0.216 365
1.724 111	0.305 521	0.710 233	0.361 096
1.469 226	0.121 916	0.655 439	0.500 365
1.546 960	0.064 124	0.650 861	0.137 538
1.571 885	0.125 585	0.647 638	0.257 417
1.517 051	0.305 031	0.717 861	0.234 624
1.598 042	0.066 442	0.698 765	0.514 321
1.629 665	0.329 413	0.735 430	0.372 242
1.388 675	0.670 857	0.686 543	0.143 909
1.840 463	0.112 678	0.693 210	0.134 406
1.481 845	0.178 757	0.670 122	0.052 948
1.506 863	0.274 921	0.676 543	0.220 301
1.471 922	0.107 032	0.661 238	0.148 305
1.729 916	0.245 112	0.711 266	0.313 838
1.720 403	0.214 211	0.632 355	0.188 807
1.523 242	0.240 466	0.669 877	0.224 656
1.556 722	0.024 212	0.690 113	0.429 893
1.666 832	0.189 135	0.684 563	0.508 337
1.502 880	0.181 556	0.675 697	0.300 963
1.447 813	0.154 981	0.672 325	0.581 250
1.523 452	0.238 421	0.651 459	0.398 480
1.684 543	0.126 475	0.695 648	0.341 561
1.680 357	0.116 826	0.677 870	0.319 022
1.441 901	0.169 912	0.689 012	0.390 813
1.454 654	0.138 456	0.702 347	0.358 477

根据表 1 的数据可得频数分布直方图如图 3:

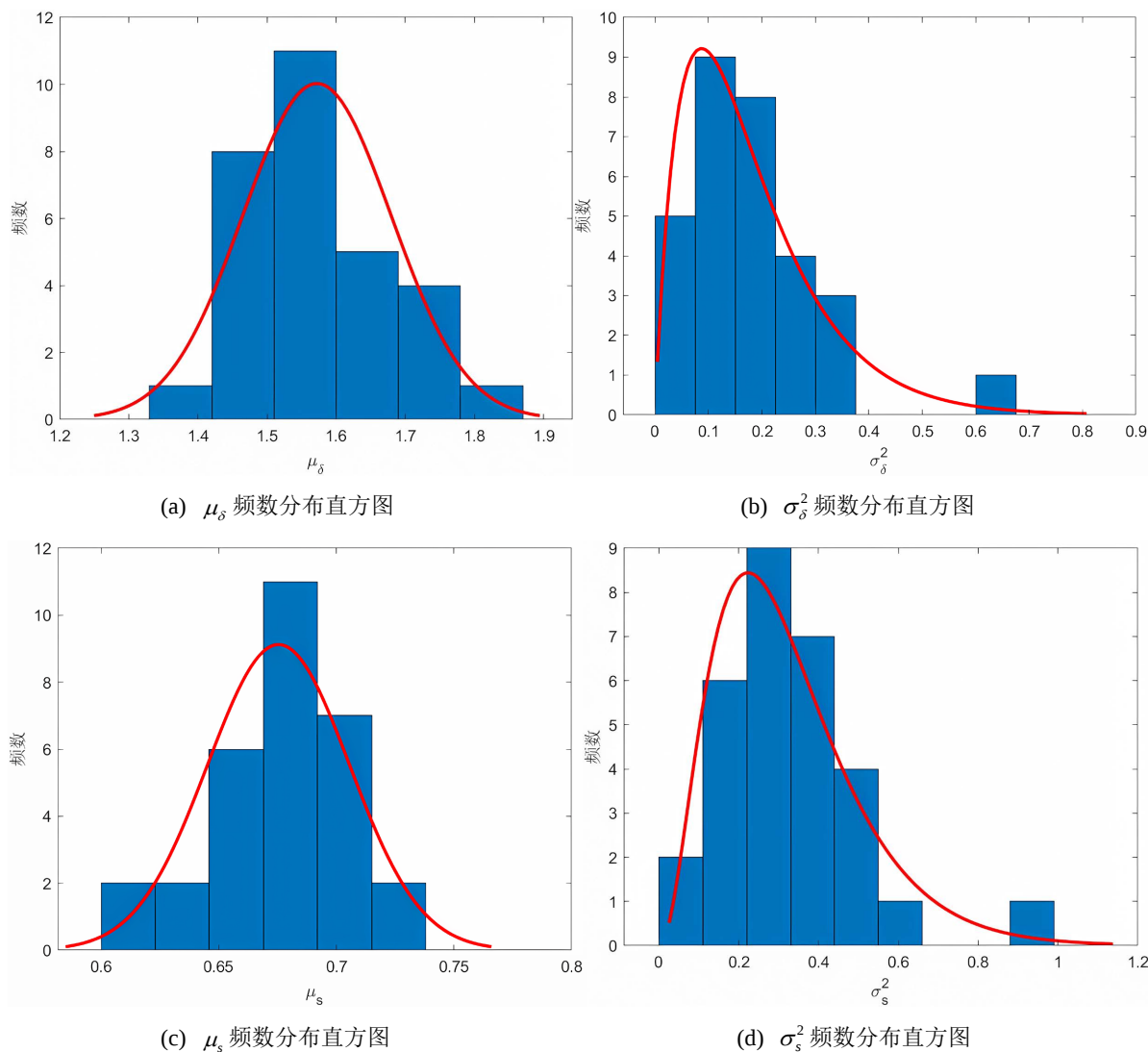


Figure 3. histogram of frequency distribution

图 3. 频数分布直方图

5.2. 工程项目投资系统的框架

根据工程项目投资决策系统的总体设计原则和目标, 结合计算机科学和管理科学等学科知识, 设计工程项目投资决策系统的框架。该框架建立在计算机信息技术的基础上, 融入了运筹学、管理学等知识, 同时定量分析风险管理的各指标。将专家系统、信息系统等集成到风险管理系统中, 形成工程项目投资决策系统, 将对风险管理的定性与定量相结合, 可以大幅提高风险管理效果。工程项目投资系统的逻辑框图如图 4 所示。

图 4 中工程项目投资决策支持系统的是建立在数据仓库的基础上的, 在风险因素的源数据基础上, 对数据进行归纳、析取、分类和加工等处理, 经过提炼, 得到对工程项目投资进行风险识别、评价、估计、应对等功能的相关原始数据和信息。这些数据包括内部数据、外部数据和政府数据, 均与投资风险有关。此外历史工程项目风险管理的实际数据也包括在这些数据内。

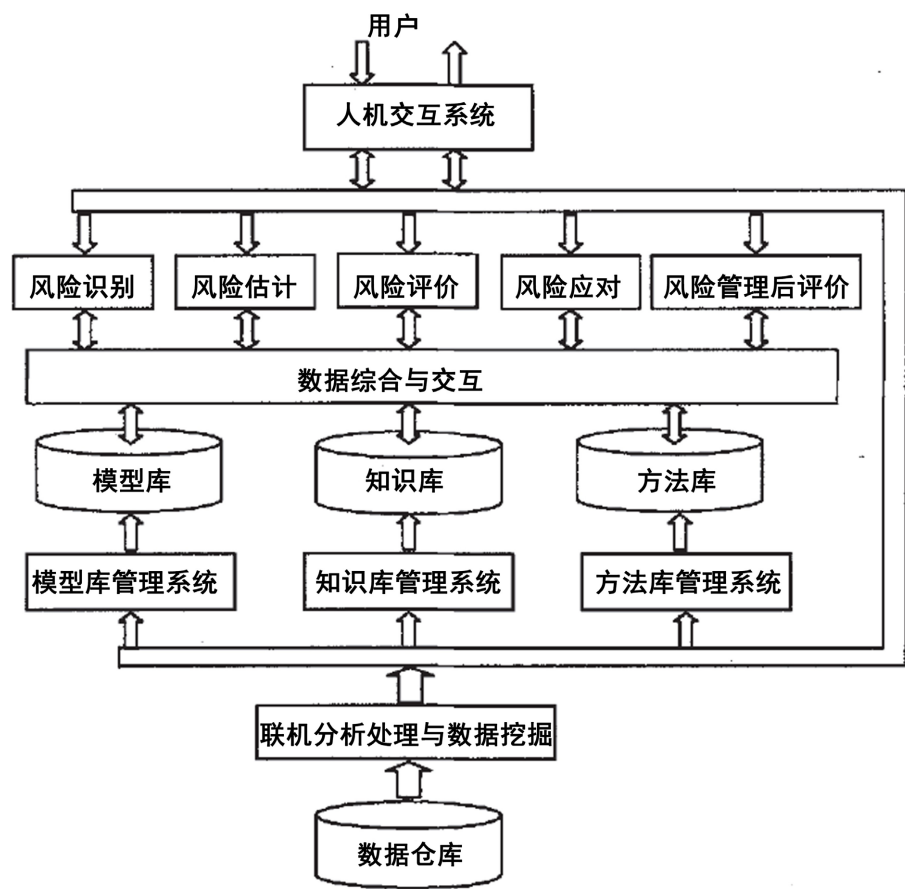


Figure 4. Design framework of investment decision support system for engineering projects
图 4. 工程项目投资决策支持系统设计框架

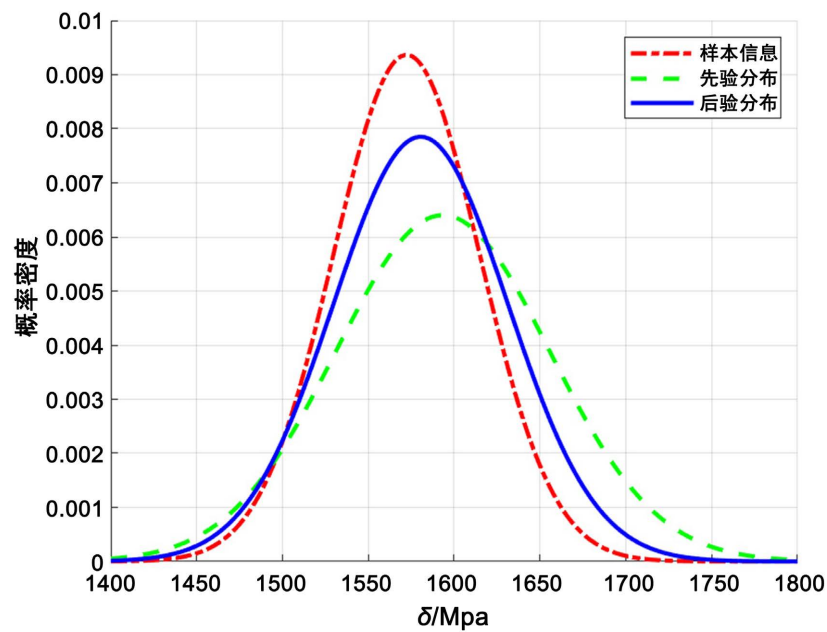


Figure 5. Parameter Bayesian estimation
图 5. 参数贝叶斯估计

工程项目投资决策支持系统框架建立在集成数据层(DataLayer)的基础上。该数据层不仅包含传统的内部数据(如财务报表、项目计划)、外部数据(如市场报告、行业基准)和政府数据(如政策法规),更重要的是,它被设计用来存储和管理支持贝叶斯分析的特定数据类型:先验信息库:结构化存储专家对关键参数的判断(如可能的取值范围、置信度)、类似历史项目的统计数据、以及从文献或理论模型中提取的先验参数。观测数据库:收集和整理当前项目在不同阶段针对关键风险参数的实际观测值。模型与结果库:存储贝叶斯模型的配置(如 N-IG 模型的超参数设定)、计算得到的后验概率分布、以及基于这些分布的风险评价和决策分析结果(图 5)。

5.3. 实现的关键技术

5.3.1. 数据仓库技术

在信息系统中同时存在由日常事务生成的操作型数据和经过加工后的决策支持型数据,前者用于日常事务处理,后者用于信息增值方面。数据仓库指存有决策支持型数据的系统。

数据仓库的特长在于可以对海量数据进行存数和加工,这一点正适用于建立的信息平台的系统数较多,为管理部门提供的风险信息量较大时的情况。

5.3.2. 联机分析处理(OLAP)

OLAP 是用户和数据仓库的接口部分,是一种建立在数据仓库上的信息处理过程。这种技术主要是针对特定问题对数据的联机访问和分析,当数据量较大时,它可以快速灵活的进行复杂处理,并提供直观的处理结果给决策人员,以支持他们对工程项目的投资决策。

5.3.3. 数据挖掘技术

数据挖掘技术是一种属于数据库技术、神经网络、机器学习、人工智能等领域的交叉学科知识,它的主要功能是从数据库中发现知识,从海量数据中提取出有用信息的高级处理过程[11]。

6. 结论

工程项目投资过程包含了从立项到交付使用的全过程,在这个复杂的系统过程中,通常会面临许多需要投资者进行决策的风险、收益等问题。为了使投资项目的决策具备科学性,就必须充分分析决策阶段的风险,这个过程包括风险识别、风险评估、风险评价等步骤,其中的重点就是风险评价。风险评价指标体系的科学性,可以有效支持风险决策的正确性。本文分析了风险评价指标体系和工程项目投资决策的支持系统设计,以及投资收益评估体系,希望可以对工程项目投资决策者和管理者有所帮助。通过整合这些关键技术,特别是将贝叶斯 N-IG 建模置于核心分析地位,所构建的工程项目投资风险决策支持系统将能够为管理者提供前所未有的风险洞察力,实现从传统经验驱动向数据驱动、模型驱动的智能化管理范式转变。

参考文献

- [1] 吕刚. 企业风险管理[J]. 石油化工技术经济, 2024, 14(3): 8.
- [2] 马英昌. 欧美保险业的起源与现状[J]. 西北师大学报(社会科学版), 1997, 34(5): 48-53.
- [3] 赵世强. 房地产开发风险管理[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2023.
- [4] 王金平, 张明玉, 朱苏岩. 我国投资项目风险管理的应用与发展趋势[J]. 管理现代化, 2003(1): 50-52.
- [5] 许谨良. 企业风险管理[M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2020.
- [6] 陈立文. 项目投资风险分析理论与方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2024.
- [7] 尹贻林, 降通, 杨彬. 我国项目风险管理的发展趋势[J]. 中国软科学, 1995(10): 81-84.

-
- [8] 杨艳萍. 风险投资的风险识别、评估与控制方法[J]. 经济师, 2003(7): 34-35.
 - [9] 唐翰岫. 风险投资决策[M]. 济南: 山东人民出版社, 2022.
 - [10] 王姝, 程燕林. 关于我国发展风险投资业的思考[J]. 经济与金融, 2023(2): 29-31.
 - [11] 易山, 王磊. 风险投资评估与传统项目评估比较[J]. 技术经济, 2022, 21(2): 37-38.