

Team Control Number:

26xxxxxx

Problem Chosen:

D

2026 MCM/ICM Summary Sheet

职业体育管理的高维博弈与随机优化

——基于 WNBA 数据的“魔球理论 2.0”动态决策系统

摘要

关键词：体育金融工程，随机规划，条件风险价值 (CVaR)，博弈论，贝叶斯动态定价

January 30, 2026

Contents

1	Introduction (引言)	2
1.1	Background (背景)	2
1.2	Overview of Our Approach (方法概述)	2
2	Problem Description (问题描述)	2
2.1	Problem Statement (问题陈述)	2
2.2	问题分析	3
2.2.1	问题一分析: 动态阵容构建	3
2.2.2	问题二分析: 基于投资组合优化的收购策略	3
2.2.3	问题三分析: 作为 Stackelberg 博弈的扩张防御	3
2.2.4	问题四分析: 动态定价与鲁棒性	3

1 Introduction (引言)

1.1 Background (背景)

1.2 Overview of Our Approach (方法概述)

为了构建这一“魔球理论 2.0”动态决策系统，将复杂的管理问题分解为从价值发现到运营执行的四个不同阶段：

- **阶段 1：估值引擎 (数据工程)**
首先，开发了一个**非线性归因模型**，将球员价值解耦为竞技维度和商业维度。利用 **XGBoost** 和 **SHAP (Shapley Additive Explanations)** 值，结合因果推断，我们将球员的“预期胜场贡献” (S_i) 与其“品牌溢价” (F_i) 分离，为联盟中的每一位球员创建精确的“资产卡片”。
- **阶段 2：宏观战略 (动态优化)**
我们将阵容构建问题公式化为**多阶段随机混合整数规划 (MIP)** 模型。通过引入 **CVaR (条件风险价值)**，我们最大化**风险调整后资本回报率 (RAROC)**。该模型在“软工资帽”和“基于图论的化学反应”约束下动态调节球队的运营杠杆，以确保在最坏情况下的偿付能力。
- **阶段 3：微观战术与扩张防御 (组合与博弈论)**
我们将**现代投资组合理论 (MPT)** 应用于球员收购，构建**有效前沿 (Efficient Frontier)** 以识别新签约的最佳风险回报权衡。此外，为了应对联盟扩张，我们利用**双层规划 (Stackelberg 博弈)** 模型生成最优保护名单，以最小化面对策略性对手时的资产价值损失。
- **阶段 4：动态运营 (贝叶斯学习)**
我们实施了用于票务定价的**在线学习机制**。利用**贝叶斯推断**，模型根据逐场比赛的观测数据实时更新市场需求曲线参数，实现能够捕捉由球队表现驱动的消费者剩余波动的**动态定价策略**。

2 Problem Description (问题描述)

2.1 Problem Statement (问题陈述)

鉴于严格的监管约束——具体而言即薪资帽、名单限制和市场规模差异——本研究构建了一个多目标动态优化模型，以定量分析竞技表现与商业价值之间的非线性耦合机制。核心问题被分解为以下三个子模块：

- **竞技-金融二元性的量化与映射**：该模块建立了一个衡量竞技维度与金融维度相互作用的框架。其旨在最大化经济效用，指导战略制定，并评估球员表现转化为收入的效率。
- **多维约束下的动态战略调节**：本部分研究不同约束条件如何影响管理策略。具体而言，它分析了应对外部冲击（如联盟扩张对战略规划和球队选址决策的影响）时的运营杠杆。
- **战略评估与风险分析**：利用模型输出，该模块全面评估所提出策略的有效性。它识别了在竞技成功与财务健康之间维持可持续平衡所需的关键因素。

2.2 问题分析

2.2.1 问题一分析：动态阵容构建

首要挑战是在球员表现和健康状况不确定的情况下，最大化球队的总价值（利润 + 估值增长）。这并非一个静态的背包问题，而是一个风险下的动态控制问题。我们必须在严格遵守**薪资帽**和**奢侈税**规则的同时，平衡“类债券”资产（稳健的老将）和“类权益”资产（高潜力球星）。核心难点在于量化“化学反应风险”（资源冲突）并确保策略在关键资产减值（例如因伤病）时仍具有鲁棒性。

2.2.2 问题二分析：基于投资组合优化的收购策略

球员收购不应仅被视为填补阵容空缺，而应被视为在预算约束下构建**最优资产投资组合 (Optimal Asset Portfolio)**。核心挑战在于如何处理不同球员资产之间的**异质性 (Heterogeneity)** 与**相关性 (Correlation)**：

- **风险收益权衡**：我们需要在“高风险-高回报”资产（如高天赋新秀）与“低风险-稳定回报”资产（如经验丰富的老将）之间寻找平衡，以构建位于**有效前沿 (Efficient Frontier)** 上的阵容。
- **非线性协同效应**：球员价值并非简单的线性叠加。我们需要通过**协方差矩阵**量化球员间的“化学反应风险”（例如，两名高球权占用率的球员同时在场可能产生负效用）。因此，该问题转化为一个**均值-方差优化 (Mean-Variance Optimization)** 问题。

2.2.3 问题三分析：作为 Stackelberg 博弈的扩张防御

联盟扩张引入了一个典型的**双层规划 (Bilevel Programming)** 场景，其本质是现有的球队（领导者）与新扩张球队（跟随者）之间的**Stackelberg 主从博弈**。

- **博弈结构**：这是一个**零和博弈**环境。我们的决策变量（保护名单）构成了上层问题，旨在最小化资产流失；而扩张球队的决策变量（选人名单）构成了下层问题，旨在最大化其获得的资产价值。
- **理性预期**：传统的静态保护策略往往失效，因为它们忽略了对手的**理性反应 (Best Response)**。我们的模型必须内嵌一个“虚拟对手”，预测其不同保护方案下的最优选择，并通过 **KKT 条件** 将下层优化转化为上层约束，从而求解出全局最优的防御策略。

2.2.4 问题四分析：动态定价与鲁棒性

运营收入对赛场表现高度敏感。挑战在于捕捉随时间变化的需求弹性。静态定价模型无法利用“连胜热潮”获利，也无法减轻低迷时期的损失。我们需要一个能够从市场反馈中“学习”的自适应系统。最后，为了确保整个系统的可行性，我们必须利用**影子价格 (Shadow Prices)** 进行**敏感性分析**，以理解结构性变化（例如薪资帽增加 10%）如何影响最优策略和总盈利能力。