

多项目环境下动态资源配置优化模型与集成管理策略

翟寿庆

成都宏宇数智科技有限公司 四川省 成都市 610095

【摘要】：多项目并行环境中，共享资源的有限性引发的调度冲突与配置低效已成为制约组织绩效的关键瓶颈。本文以资源受限多项目调度问题（RCMPSP）为理论基础，构建了双层动态资源配置优化模型：外层负责多项目间资源的粗粒度分配，内层聚焦项目内部活动的细粒度调度。在此基础上，从统一资源池构建、缓冲动态调整与实时监控反馈三个维度提出集成管理策略。仿真结果表明，该模型较传统静态调度方案在资源利用率与工期控制方面均有明显改善，为多项目资源动态调度提供了理论支持与实践参考。

【关键词】：多项目管理；资源受限项目调度；动态资源配置；双层优化模型；集成管理

0 引言

随着企业项目化运营程度的加深，多个项目并行推进已成为常态。研究表明，近90%的项目在多项目环境中执行，且超过60%的项目因不确定性因素遭受延期。多项目环境的核心挑战在于：各项目共享同一组有限资源，一个项目的资源调度决策可能对其他项目产生连锁反应，而传统的单项目调度方法难以处理这种跨项目的耦合关系。

资源受限多项目调度问题（Resource-Constrained Multi-Project Scheduling Problem, RCMPSP）正是针对上述挑战提出的理论框架，其目标是在满足活动优先序关系与资源容量约束的条件下，优化多个项目共享资源的分配方案。然而，经典的RCMPSP模型大多基于确定性假设，即假定活动工期与资源可用量在调度之前完全已知。在实际工程中，新项目的动态加入、活动工期的随机波动以及资源的临时不可用等不确定性因素频繁扰动既定调度方案，使得静态调度方案的鲁棒性难以保证。

近年来，动态资源配置问题受到广泛关注。有研究提出了考虑动态资源分配的多项目调度优化模型，允许资源基于当前项目状态进行重新分配，与传统静态方法形成鲜明对比。另有研究构建了“资源规划+任务调度”的双层优化模型，外层考虑多项目随时间变化的资源分配与资源转移，内层考虑任务执行的多模式与开始时间安排，通过内外层动态交互实现全局优化。在求解方法方面，遗传算法因其良好的全局搜索能力，已被应用于多项目环境下的资源动态调度模型构建与仿真优化。

上述研究为多项目资源配置提供了重要基础，但仍存在以下不足：其一，多数模型未将资源配置决策与配套的管理策略进行系统性整合，导致优化模型在实际应用中缺乏可操作性；其二，现有研究对资源动态流动过程中的转移成本与时间约束考虑不够充分。本文从动态优化的视角出发，建立双层数学优

化模型，并在此基础上提出模型与管理多层次联动的集成策略体系，旨在为多项目环境下资源配置决策提供理论支撑与可操作的管理方案。

1 问题描述与模型构建

1.1 问题描述与符号说明

考虑一个由MM个并行项目组成的项目群，每个项目 i ($i=1, 2, \dots, M, i=1, 2, \dots, M$) 包含 J_i 个活动。项目群共享KK类可更新资源，第kk类资源的总容量为 R_k 。活动 (i, j) (i, j)（表示项目 i 的第 j 个活动）的执行需占用 r_{ijk} 单位的第kk类资源，工期为 d_{ij} 。活动之间存在优先序关系：活动 (i, j) 的任一紧前活动 (i, p) 完成之前，该活动不得开始。

与传统静态模型不同，本文引入以下动态特征：第一，资源允许在执行过程中根据实时项目状态重新分配；第二，新项目可在调度执行期间动态到达，触发全局资源的再优化；第三，资源在不同项目间的转移需消耗一定的准备时间，反映工程实践中设备搬迁、人员调动的实际约束。

1.2 双层优化模型框架

本文构建的双层优化模型由外层资源分配层与内层活动调度层组成，两者通过迭代交互实现全局优化。

外层（资源分配层）负责将全局资源池中的各类资源按时间段分配给各项目，决策变量为 $R_{ik}(t)$ ，表示第 t 时段分配给项目 i 的第 k 类资源数量。其优化目标为最小化项目群总完工工期：

$$\min F = \max_{i \in \{1, \dots, M\}} C_i$$

其中， C_i 为项目 i 的完工时间，由内层调度结果反馈。

内层（活动调度层）在给定外层资源分配方案的前提下，优化各项目内部活动的开始时间 S_{ij} 与执行顺序，使单个项目的工期最短，并将计算结果返回外层进行迭代调整。内外

层之间的动态交互是实现全局优化的核心机制。

1.3 约束条件

模型的约束条件包括三类。第一，优先序约束：任一活动须在其所有紧前活动完成后才能开始。第二，资源容量约束：任一时段内，所有项目对第 k 类资源的占用总量不得超过其可用容量 R_k 。第三，资源转移约束：若某类资源从项目 A 转移至项目 B ，需满足最小转移时间 Δt ，这一约束反映了工程实践中设备搬迁、人员调度的实际成本。

2 集成管理策略设计

优化模型提供了资源配置的定量决策基础，但仅有模型不足以应对多项目环境的动态性与复杂性。有效的集成管理策略是将模型产出转化为实际管理效能的必要条件。本文从以下三个维度设计配套策略。

2.1 统一资源池构建策略

统一资源池是实现多项目资源统筹管理的基础设施。策略要点包括：第一，对组织内全部可调配资源（人员、设备、物料等）进行标准化编码与能力分级，建立资源台账；第二，明确资源在不同项目间的共享规则与优先级体系，避免因资源争夺引发的协调成本；第三，借助数字化平台实现资源状态的实时可视化，使管理者能够即时掌握全局资源利用情况。研究表明，建立统一资源池并辅以资源平衡算法，可在底层逻辑上解决资源与时间的高维匹配问题。

2.2 动态缓冲管理策略

传统项目管理中，缓冲通常按固定比例设置在关键路径末端。然而在多项目环境下，不同项目的风险暴露程度差异显著，统一缓冲设置容易造成资源浪费。本文采用分层缓冲管理思路：

在项目层面设置项目缓冲（PB），在系统层面设置能力约束缓冲（CCB），形成“能力约束缓冲—项目缓冲”的双层协同缓冲体系。当某一项目缓冲消耗超过预设阈值时，系统自动触发资源调配机制，从系统缓冲中调拨资源予以补充；反之，若项目执行顺利，则可将盈余缓冲回补至系统层，供其他项目使用。该动态调整机制在保证完工概率的同时减少了缓冲浪费。

2.3 实时监控与反馈机制

实时监控是连接模型优化与管理执行的关键纽带。该机制包含三个环节：第一，通过数字化看板实时采集各项目进度数据与资源占用数据；第二，设定关键指标（如资源利用率、进度偏差率）的预警阈值，当指标偏离正常范围时自动触发警报；第三，建立快速响应流程，明确触发预警后的决策权限与行动方案。工程实践表明，通过系统自动预警延误风险，可帮助管理者提前调配资源，有效降低延期发生率。

3 仿真分析与结果

3.1 仿真设置

为验证所提模型与策略的有效性，本文设计了一个包含 3 个并行项目、共享 2 类资源的仿真算例。3 个项目分别包含 12、8 和 10 个活动，资源总容量设定为 $R_1=10, R_2=8$ 。仿真对比了三种方案：方案 A 为传统静态调度（资源分配方案在初始阶段确定后不再调整）；方案 B 为仅使用双层优化模型的动态调度（无缓冲管理）；方案 C 为本文提出的“双层优化模型+集成管理策略”的完整方案。仿真运行 100 次，取平均值作为最终结果。

3.2 结果分析

仿真结果汇总于表 1。

表1 三种方案的性能对比

性能指标	方案A（静态调度）	方案B（仅优化模型）	方案C（完整方案）
项目群总工期（天）	48.6	43.2	41.3
平均资源利用率	71.5%	82.4%	87.2%
资源利用均衡度（方差）	0.062	0.041	0.033
缓冲超限次数	—	7.2	3.1
资源冲突事件数	12.4	6.8	3.5

从表 1 可以看出，方案 C 在各项指标上均优于其他两种方案。在项目群总工期方面，方案 C 较方案 A 缩短约 15%，较方案 B 缩短约 4.4%；在平均资源利用率方面，方案 C 较方案 A 提升约 15.7 个百分点，较方案 B 提升约 4.8 个百分点；在资源利用均衡度方面，方案 C 的方差值最小，表明资源使用更加平稳。值得注意的是，集成管理策略对缓冲超限次数和资源冲突事件数的控制效果尤为显著，分别较仅使用优化模型方案 B 降低了 56.9% 和 48.5%，这充分说明了动态缓冲管理与实时监控机制在化解不确定性干扰中的关键作用。

4 结论

本文针对多项目环境下资源调度冲突与配置低效的现实问题，构建了双层动态资源配置优化模型，并设计了统一资源池构建、动态缓冲管理与实时监控反馈三位一体的集成管理策略。仿真结果表明，所提方法在缩短项目群总工期、提高资源利用率、降低资源冲突等方面均表现出显著优势。

本研究的主要贡献在于：第一，将资源配置的优化模型与管理策略进行系统性整合，弥补了现有研究“重模型轻策略”的不足；第二，在模型中引入资源转移时间约束，更贴近工程

实际。未来研究可从以下方向深入：考虑资源多技能特征对调度算例中验证方法的扩展性。
度的影响，探索分布式决策环境下的协调机制，以及在大规模

参考文献

- [1] Soltan S, Ashrafi M. A new optimization model for multi-project scheduling considering dynamic resource allocation[J]. *Soft Computing*, 2025, 29: 5143-5158.
- [2] Sousa R, et al. Multi-Project Scheduling with Uncertainty and Resource Flexibility: A Narrative Review and Exploration of Future Landscapes[J]. *Algorithms*, 2025, 18(6): 314.
- [3] 朱荔冬. 多项目环境下资源动态调度模型构建与仿真优化——基于遗传算法[J]. *中国建筑*, 2025(11): 93-95.
- [4] 别黎, 崔南方, 赵雁, 等. 关键链多项目调度中分散式能力约束缓冲设置法[J]. *管理工程学报*, 2013.
- [5] 胡雪君. 多项目间资源共享与调度的双层优化模型研究[R]. 中国石油大学(华东)学术沙龙报告, 2025.
- [6] 多项目管理系统的资源调度算法解析[EB/OL]. 致远互联, 2025.
- [7] 项目组合管理方法论与资源池化系统融合方案[EB/OL]. 有谱软件, 2025

作者简介：翟寿庆（1984—），男，汉族，本科，研究方向为系统集成项目管理工程。