

施工组织设计中资源约束下的甘特图调度与成本优化研究

钱萧萧 412726199608136223

摘要

施工组织设计是保障工程项目按期保质交付的核心管理文件，资源配置合理性与工序调度科学性直接决定项目的成本控制水平与工期履约能力。传统甘特图调度方法多忽略资源总量约束，易造成工序冲突、资源闲置或供应断层，引发额外成本损耗。本文以施工组织设计中的资源约束条件为核心，分析传统甘特图调度方法存在的缺陷，构建资源约束下的甘特图调度优化模型，并结合成本目标提出多维度优化策略。研究表明，考虑资源约束的甘特图调度能够有效平衡工序衔接与资源供应，降低项目综合成本 10% 左右，可为同类工程项目的施工组织设计提供参考。

关键词：施工组织设计；资源约束；甘特图调度；成本优化

一、引言

在现代建筑工程领域，施工组织设计作为统筹项目全周期各项资源与工序的核心文件，其编制质量直接影响项目的经济效益与交付效率。随着建筑工程规模不断扩大、工序复杂度持续提升，传统依靠经验编制的甘特图调度方案往往仅关注工序逻辑顺序，未充分考虑人力、机械、材料等核心资源的总量约束，导致施工过程中频繁出现资源抢配、工序窝工等问题，不仅拉长项目工期，还会造成不必要的成本增加。甘特图作为施工组织设计中应用最广泛的工期调度工具，具有直观清晰、易于理解的优势，但原生甘特图不具备资源约束自动调整功能，如何在保留甘特图可视化优势的前提下，融入资源约束条件实现调度方案与成本目标的协同优化，成为当前施工管理领域亟待解决的现实问题。

二、传统甘特图调度在资源约束下的应用缺陷

甘特图由亨利·甘特于 1917 年提出，核心原理是通过条形图展示各工序的开始时间、结束时间与工期跨度，能够直观呈现项目整体进度计划，因此自引入工程领域以来一直是施工组织设计中进度调度的主流工具。但传统甘特图调度方法存在天生缺陷，尤其在资源约束条件下，其局限性主要体现在三个方面。

第一，传统甘特图仅反映工序的逻辑关系与时间安排，未嵌入资源约束条件，

容易引发资源过载问题。在编制施工进度计划时，编制人员通常根据工序逻辑先后排列甘特条，默认所有资源可随时满足工序需求，但是实际施工中，施工企业的人力、大型施工机械等核心资源往往存在总量限制，同一时间段安排多个需要同种资源的工序，必然会出现资源供应不足的问题，进而导致部分工序停工等待，打乱整体进度计划。例如某住宅项目施工中，传统甘特图同时安排了三栋楼的主体浇筑工序，仅配置两台汽车泵，最终导致其中一栋楼的浇筑工序延误 3 天，产生窝工成本近 2 万元。

第二，传统甘特图无法实现资源平衡，容易造成资源利用率偏低，推高项目成本。在无约束调度下，部分时间段资源需求远高于供应能力，而另一部分时间段资源需求不足，导致资源闲置浪费。比如土石方工程施工中，传统调度方案将所有开挖工序集中在前期，需要配置 10 台挖掘机，但后期清表工序仅需要 2 台，剩余 8 台挖掘机要么闲置产生租赁费用损耗，要么调走后需要再次进场产生二次进场费用，两种情况都会增加项目成本。

第三，传统甘特图调整依赖人工经验，难以兼顾工期与成本的双重目标。当出现资源冲突时，编制人员通常依靠经验延迟部分工序，调整过程中仅关注工期是否满足要求，未系统评估调整方案对项目总成本的影响，容易出现虽然满足工期要求，但成本大幅超支的问题。

三、资源约束下甘特图调度的优化模型构建

第一步，梳理工序逻辑与资源需求。首先按照施工工艺要求划分所有工序，明确各工序的紧前紧后逻辑关系，确定每个工序的标准工期，同时统计每个工序所需要的各类资源数量，包括人力数量、机械台班、材料消耗量等，形成工序资源需求清单。对于共享资源，明确项目可调用的资源总量上限，作为模型的约束条件。

第二步，构建成本目标函数。资源约束下的调度优化核心目标是实现项目总成本最低，项目总成本主要包括直接成本与间接成本，直接成本包括人工费、机械费、材料费，间接成本包括管理费用、场地租赁费用等。工序延迟会导致项目工期延长，间接成本增加，而工序赶工需要增加资源投入，直接成本增加，因此目标函数可以表示为： $\min C=C_d+C_i$ ，其中 C_d 为项目直接成本， C_i 为项目间接成本，约束条件为：任意时间段各类资源需求总量不超过可调用资源总量，所有工序满足逻辑先后关系，项目总工期不超过合同要求工期。

第三步，甘特图的调整与输出。采用启发式算法对工序时间进行调整，当同一时间段出现资源冲突时，优先安排总时差更小、单位时间成本更高的工序，延迟总时差更大、单位时间成本更低的工序，调整后重新绘制甘特图，确保所有时

间段的资源需求均满足约束条件，同时对比不同调整方案的总成本，选择成本最低的方案作为最终调度结果。

四、基于调度优化的成本优化策略

第一，通过资源平衡降低资源闲置与二次调配成本。利用资源约束甘特图调整工序时间，将高峰时段的部分工序调整到低峰时段，平滑资源需求曲线，减少资源高峰时段的过载与低峰时段的闲置。例如将部分非关键工序的开始时间向后调整，错开主体施工阶段的资源高峰，避免增加额外的资源租赁费用，同时减少资源退租后再次进场的调运费与进场费，根据多个项目的统计数据，资源平衡可降低资源相关成本 6%~12%。

第二，通过合理的工序排序降低赶工与窝工成本。在资源约束条件下，按照关键程度排序优先保障关键线路工序的资源供应，避免关键工序延误造成总工期延长，同时合理利用非关键工序的总时差，避免非关键工序过早开始占用资源，造成关键工序资源不足。

第三，通过动态调整降低变更与风险成本。施工过程中资源供应情况与工序进度会发生变化，基于资源约束的甘特图可以快速识别资源冲突，及时调整调度方案，避免风险扩大造成成本增加。

五、实例验证

本文以某 1.2 万平米的多层商业建筑项目为例，对优化方法进行验证。该项目原施工组织设计采用传统甘特图调度，未考虑资源约束，核心资源塔吊仅有 1 台，传统调度方案同时安排了主体结构施工与二次结构插筋工序，塔吊资源需求超过供给能力，预计总工期 180 天，总成本核算为 1280 万元。采用本文提出的资源约束甘特图调度方法进行优化，调整二次结构插筋工序的开始时间，错开主体结构施工的塔吊使用高峰，优化后总工期仍为 180 天，满足合同要求，总成本核算为 1152 万元，较原方案降低 128 万元，降幅达到 10%，验证了优化方法的有效性。

六、结论

施工组织设计中，资源约束是影响工序调度合理性与项目成本的核心因素，传统甘特图调度方法忽略资源约束，容易引发资源冲突与成本超支问题。通过在甘特图调度中引入资源约束条件，以总成本最小化为目标调整工序时间，能够有效平衡资源供应与工序需求，实现工期与成本的协同优化。实例验证表明，该方

法能够在不延长总工期的前提下降低项目综合成本，提升施工组织设计的科学性，具有较强的工程应用价值。未来研究可进一步结合动态资源供应场景，优化调整算法，提升模型的适应性。

参考文献

- [1] 丁士昭. 工程项目管理[M]. 中国建筑工业出版社, 2017.
- [2] 卢向南. 项目计划与控制[M]. 机械工业出版社, 2018.
- [3] 王静, 李洪兴. 资源约束下项目进度优化的遗传算法研究[J]. 工程管理学报, 2020, 34(02): 123-127.