

建筑工程施工中基于动态规划的施工进度优化方法研究

文 / 潘昌安 铜陵有色铜冠建筑安装股份有限公司

摘要：为优化建筑工程施工进度，提升施工管理水平，采用基于动态规划的方法。分析建筑工程施工进度优化面临施工工序复杂、不确定因素干扰、资源配置不合理、多目标优化复杂及数据获取处理难等挑战，阐述动态规划在施工进度优化中的优势，如保证最优解、考虑多重约束与因素、提供高效决策支持、灵活应对变化与不确定性等。结果表明，基于动态规划的施工进度优化方法在目标函数设计与求解过程中有独特优势，对建筑工程施工进度优化有重要意义。

关键词：建筑工程；施工进度；动态规划；进度优化；施工管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.13.019

引言

在建筑工程领域，施工进度管理是确保项目顺利交付、控制成本和保障质量的关键环节。随着建筑项目规模日益增大、结构愈发复杂，传统施工进度管理方法逐渐暴露出诸多问题。施工工序的复杂性使进度安排困难重重，不确定因素如天气变化、材料供应延迟等频繁干扰施工进度，资源配置不合理导致浪费与延误，多目标优化的复杂性增加了协调难度，数据获取与处理的难度也制约着进度管理的精准度。因此，急需一种高效的方法来优化施工进度。基于动态规划的方法能够综合考虑多种因素，为施工进度优化提供了新的思路和解决方案，对提升建筑工程施工管理水平具有重要的现实意义。

一、动态规划在施工进度优化中的优势

（一）最优解保证

动态规划基于其独特的算法逻辑，将复杂的施工进度优化问题分解为一系列相互关联的子问题。通过求解每个子问题的最优解，并利用子问题间的递推关系，逐步构建出整个问题的最优解。在建筑工程施工中，施工进度安排涉及众多施工活动，各活动之间存在先后顺序、时间限制等约束。动态规划能够全面考量这些因素，以数学模型为基础，精确计算出每个施工阶段的最佳时间节点和资源分配方案。例如，在一个大型建筑项目中，涉及基础施工、主体结构施工、设备安装等多个环节，动态规划算法可以根据各环节的施工时间、资源需求以及相互之间的逻辑关系，确定出整体施工进度的最优路径，确保项目在最短时间内完成，同时实现资源利用的最大化，避免因不合理的进度安排导致的工期延误和成本增加，为施工进度提供了坚实的最优解保障。

（二）考虑多重约束与因素

建设工程建设是一项受多种约束条件与因素共同作用的复杂系统工程。动态规划法具有很强的适应性，能充分考虑施工过程的多种约束条件和因素。从时间维度来看，既要注意每一道工序的工期，又要精确地掌握工序间的时序与间隔要求，以保证施工进度的一致性。在资源侧，动态规划可综合考虑各种资源（如人、料、机）

的有限性和各阶段需求的变化，对资源进行合理配置，避免资源过度集中或缺乏。同时，动态规划还可以将施工场地条件、技术要求和安全规范等限制因素纳入模型分析。例如，施工场地空间是有限的，动态规划可以根据各个施工活动的空间需要，对施工顺序及场地利用进行合理安排，以保证施工的顺利进行。该方法综合考虑了多种约束因素，使动态规划方法更接近于工程实际，具有较高的可行性和可靠性。

（三）高效的决策支持

在建筑工程施工进度管理过程中，管理者需要不断做出决策，以应对各种复杂情况。动态规划为管理者提供了高效的决策支持。通过对施工进度的数学建模和分析，动态规划能够生成详细的进度计划和资源分配方案，这些方案以量化的数据形式呈现，使管理者能够直观地了解不同决策选项下的施工进度和资源利用情况。例如，当面临施工资源调整或工期变更时，管理者可以借助动态规划模型快速计算出不同调整方案对整个施工进度的影响，从而选择最优的决策方案。同时，动态规划还能对施工过程中的风险进行评估和分析，提前为管理者预警可能出现的进度延误风险，并提供相应的应对策略建议。这种基于数据和模型的决策支持方式，大大提高了决策的科学性和准确性，减少了人为决策的主观性和盲目性，有助于管理者在复杂多变的施工环境中做出及时、有效的决策，保障施工进度的顺利推进。

（四）灵活应对变化与不确定性

建筑工程施工过程中充满了变化与不确定性，如天气突变、设计变更、材料供应中断等，这些因素往往会对施工进度产生重大影响。动态规划方法具有良好的灵活性，能够快速适应这些变化。当出现意外情况时，动态规划模型可以根据新的信息和条件，重新计算和调整施工进度计划。例如，遇到恶劣天气导致某一施工工序延误，动态规划能够迅速分析该延误对后续工序和整体工期的影响，并通过调整剩余工序的施工顺序和时间安排，重新制定最优的施工进度计划，最大限度地减少延误带来的损失^[1]。同时，动态规划还可以对不确定性因

素进行概率分析，通过设置多种情景假设，提前制定应对不同情况的预案，增强施工进度计划的抗风险能力。这种灵活应对变化与不确定性的能力，使得基于动态规划的施工进度管理能够更好地适应复杂多变的施工环境，保障项目的顺利实施。

二、建筑工程施工进度优化面临的挑战

（一）施工工序的复杂性

现代建筑工程规模宏大、结构复杂，施工工序繁多且相互关联。以大型商业综合体建设为例，从基础工程的土方开挖、地基处理，到主体结构的钢筋绑扎(见图一)、混凝土浇筑，再到后期的建筑装饰装修、设备安装调试等，各个工序之间有着严格的先后顺序和工艺要求。不同施工阶段需要不同专业的施工队伍协同作业，各工种之间的衔接稍有不慎，就可能导致施工进度受阻。例如，在主体结构施工时，如果模板搭建进度滞后，会直接影响后续钢筋绑扎和混凝土浇筑的时间，进而延误整个主体结构的施工工期。而且，随着建筑技术的不断发展，新的施工工艺和材料不断涌现，这也增加了施工工序的复杂性，施工人员需要不断学习和适应新的施工要求，这无疑给施工进度的有效管理带来了更大的难度。



图一：钢筋绑扎

（二）不确定因素的干扰

建设项目的建设周期较长，在施工过程中受各种不确定性因素的影响。首先是自然灾害，比如恶劣的天气，比如暴风雨，暴雪(见图二)，大风等，都会造成工地不能正常运转，工期延长。



图二：暴雪

地质条件的不确定性是不可忽视的，施工过程中若遇有特殊地质条件，如地下溶洞、地下暗河等，则需追加地质处理，既增加了建设成本，又影响了建设进度^[2]。其次是社会因素，由于政策的改变，可能会导致建设计划的调整，比如加强环保政策可能会对建设单位的环保要求更加严格，进而影响到建设进度。此外，由于原材料供应延迟、劳动力短缺等因素的影响，这些不确定性因素很难准确预测并进行有效的控制，使得施工进度优化面临巨大挑战。

（三）多目标优化的复杂性

建筑工程施工进度优化需要综合考虑成本控制、质量保证和安全管理等多种目标，使得多目标优化问题变得非常复杂。为了缩短建设周期，可能会增加资源投入，增加建设费用；而过分压缩造价又会影响到工程的质量与安全^[3]。比如，为了加快建设进度，增加了工人、机器等，虽然可以缩短工期，但是人工成本、设备租赁成本却大大增加。同时，为降低生产成本，选择质量稍差的材料，不仅会带来质量隐患，还会增加后期维护费用，甚至引发安全事故。如何在保证工程质量与安全的同时，实现进度与费用之间的最佳平衡，是工程进度优化所面临的一个重大挑战。

（四）数据获取与处理的难度

准确、及时的数据是施工进度优化的重要依据。然而，在建筑工程施工过程中，数据获取与处理面临诸多困难。首先，数据来源广泛且分散，涉及施工过程中的各个环节，如施工进度记录、材料使用情况、设备运行状态等，这些数据可能由不同部门和人员记录，格式和标准不一致，增加了数据收集的难度。其次，施工现场环境复杂，数据采集容易受到干扰，例如，在嘈杂的施工环境中，一些传感器设备可能无法准确采集数据。此外，随着建筑工程规模的增大，数据量呈指数级增长，传统的数据处理方法难以满足快速分析和决策的需求。如何高效地获取、整理和分析海量的施工数据，从中提取有价值的信息，为施工进度优化提供准确的数据支持，是当前建筑工程施工管理亟待解决的问题。

三、基于动态规划的施工进度优化方法

（一）动态规划方法概述

动态规划是一种用于求解多阶段决策过程最优化问题的数学方法。它将一个复杂的问题分解为一系列相互关联的子问题，通过求解子问题的最优解，进而得到原问题的最优解。其核心思想是利用问题的最优子结构性质，即一个问题的最优解可以由其子问题的最优解推导得出。在动态规划中，通常会使用状态变量来描述每个阶段的状态，通过状态转移方程来表示从一个阶段到下一个阶段的状态变化。这种方法区别于传统的贪心算法和分治法，它并非一次性地做出全局决策，而是在每个

阶段根据当前状态做出局部最优决策，并且在后续阶段的决策中充分考虑之前阶段的决策结果，从而保证最终得到的是全局最优解。动态规划在许多领域都有广泛应用，如生产调度、资源分配、路径规划等，在建筑工程施工进度优化中，它也展现出了独特的优势和强大的解决问题能力。

（二）动态规划在施工进度中的应用框架

将动态规划应用到建设项目施工进度优化中，首先要明确问题的阶段划分。一般可按施工过程的先后顺序，将其划分为若干阶段，每一阶段对应一项或几项施工工序。在此基础上，确定了各阶段的状态变量，包括已完成的建设任务，剩余的工期可利用的资源等。然后，通过建立状态转移方程，刻画不同决策条件下，系统从当前状态到下一阶段状态的变化规律。比如，在一定的建设阶段，根据当前的人力、物资、设备等资源状况，确定当前建设项目需要投入多少资源，该决策关系到下一阶段的剩余资源以及施工进度。通过这样的应用框架，将动态规划的数学模型与建筑工程施工进度的实际情况紧密结合，为施工进度的优化提供了系统性的方法。

（三）施工进度优化的目标函数设计

施工进度优化的目标函数是动态规划方法中的关键要素，它用于衡量不同施工进度方案的优劣。常见的目标函数设计可以围绕工期、成本和资源利用等多个方面。以工期最短为目标时，目标函数可以表示为所有施工工序完成时间的总和最小化，即通过合理安排各工序的开始时间和持续时间，使整个项目的总工期达到最短。若以成本最低为目标，目标函数则需要考虑人力成本、材料成本、设备租赁成本等各项费用，将这些成本与施工进度相结合，在满足施工工艺和资源约束的前提下，使总成本最小化。同时，还可以综合考虑资源利用效率，如使资源的平均利用率最高，避免资源的闲置和过度集中。在实际设计中，往往需要根据项目的具体要求和重点，对这些目标进行权重分配，形成一个综合的目标函数，以实现施工进度、成本和资源利用的多目标优化。

（四）动态规划求解过程

动态规划的求解过程是一个逐步计算和决策的过程。首先，根据问题的阶段划分和状态变量定义，确定初始状态。然后，从初始状态开始，按照阶段顺序依次求解每个阶段的最优决策。在求解每个阶段时，需要遍历所有可能的决策方案，根据状态转移方程计算出每个决策方案下的下一阶段状态，并通过目标函数计算出该决策方案对应的目标值。通过比较不同决策方案的目标值，选择使目标函数最优的决策作为当前阶段的最优决策。将每个阶段的最优决策记录下来，直到求解到最后一个阶段。此时，根据记录的最优决

策序列，就可以得到整个施工进度优化问题的最优解，即各施工工序的最优开始时间、持续时间和资源分配方案。在实际求解过程中，为了提高计算效率，常常会采用一些优化技巧，如记忆化搜索，避免重复计算相同的子问题。

（五）动态规划方法的优势分析

相较于传统的施工进度管理方法，动态规划方法具有显著优势。首先，它能够保证找到全局最优解，而不是像一些启发式方法可能只能得到局部最优解。这使得施工进度安排更加科学合理，能够最大程度地优化工期、成本和资源利用。其次，动态规划方法能够充分考虑施工过程中的各种约束条件和复杂因素，如施工工序的先后顺序、资源的有限性、不确定性因素等，通过构建全面的数学模型，为施工进度优化提供了更精确的解决方案。再者，动态规划方法具有良好的灵活性和适应性，当施工过程中出现变化，如设计变更、资源供应变化等，能够快速重新计算和调整施工进度计划，保证施工进度的可控性。此外，动态规划方法为施工进度管理提供了量化的决策依据，使管理者能够基于数据和模型做出更科学的决策，提高施工管理的效率和水平。

结语

综上所述，本研究围绕建筑工程施工进度优化，对基于动态规划的方法展开深入探讨。建筑工程施工面临施工工序繁杂、不确定因素多、资源配置难等诸多挑战，传统进度管理方法难以满足需求。动态规划凭借将复杂问题拆解为子问题，依据最优子结构性层层求解的特性，成功突破这些难题。在实际应用中，其合理的应用框架、科学的目标函数设计以及严谨的求解过程，不仅确保了施工进度优化方案能达到全局最优，还能兼顾成本、资源等多重约束，灵活应对施工中的各类变化。这一方法为施工进度管理提供了精准量化的决策依据，显著提升了施工管理效率与水平。展望未来，随着科技不断进步，动态规划在建筑工程领域将有更广阔的应用空间，持续推动行业发展。

参考文献

- [1] 张永强, 李星圆, 赵尘. 基于 SLP 和 SHA 的林产品仓储布局优化 [J]. 林业工程学报. 2021, (1).
- [2] 张雨果, 王凯, 吕山可, 等. 基于 Pareto 的地铁施工场地平面布置多目标优化 [J]. 土木工程与管理学报. 2020, (5).
- [3] 叶玉玲, 刘佳林, 梁恒达, 等. 基于改进 SLP 方法的铁路物流中心布局规划研究 [J]. 华东交通大学学报. 2020, (3).

作者简介：潘昌安（1978.11），男，汉族，安徽铜陵人，高级工程师，本科学历，研究方向：建筑工程。