

# 工程进度优化与控制问题的研究现状及趋势

王学民<sup>1,2</sup>, 高随祥<sup>1</sup>

(1. 中国科学院研究生院, 北京 100049;  
2. 北京六建集团公司, 北京 100039)

**摘要:** 本文讨论工程项目管理中的工程进度优化与控制问题。重点分析和综述针对进度-成本优化问题、进度-成本-质量优化问题及工程进度控制问题的国内外研究现状, 阐述工程进度优化和控制方面的主要研究方法, 指出了工程进度优化与控制研究的未来研究方向。

**关键词:** 项目管理; 工程进度; 优化; 控制

中图分类号: TB11

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2010)02-0131-06

工程项目由于施工条件复杂、规模庞大、涉及专业多、牵涉范围广, 具有极强的实践性、复杂性、多样性、风险性和不连续性的特点, 因此, 加强工程的进度优化与控制显得非常重要。工程进度的优化与控制是工程项目管理中的重点内容, 直接关系到工程的成本、工期和质量, 它与投资控制和质量控制一起并称为工程项目的三大控制, 是保证工程按期完成、合理安排资源供应和节约工程成本的重要措施。良好的工程进度控制则可实现在既定的工期内编制出最优的进度计划, 在执行计划过程中定期检查施工进度情况, 将其与计划进度相比较, 若出现偏差, 则分析偏差产生的原因和对工期的影响程度, 修改原进度计划, 如此不断循环, 直至工程竣工验收。因此, 加强对工程进度的优化与控制问题的研究, 对业主单位、监理单位或承包商都具有重要意义。本文通过对工程进度优化与控制问题的国内外研究进展的总结与分析, 进一步明确工程进度优化与控制领域未来的主要研究方向。

## 1 工程项目管理体系要素研究现状

工程项目管理是项目管理中的重要内容之

一。最初的工程项目管理主要是建筑师受雇于或从属于业主, 负责设计、购买材料、雇工及管理。伴随大型工程的出现, 系统论、控制论、组织论、行为科学理论、价值工程理论以及预测技术、决策技术、网络计划技术、数据统计技术等科学技术理论逐渐被应用于工程项目的管理中<sup>[1]</sup>。云南鲁布革水电站引水工程是我国第一个利用世界银行贷款并按世界银行基本规范进行国际竞争性招标和项目管理的工程<sup>[2]</sup>。随后, 我国的许多大中型工程项目相继实行了项目管理体系, 具体包括项目资本金制度、法人负责制、合同承包制、建设监理制等, 工程项目的管理流程也日益完善和成熟<sup>[3]</sup>, 具体可见图 1。

工程项目管理的核心内容包括项目进度、成本、质量, 对这些方面的具体研究集中在以下几个方面:

(1) 项目的进度管理。它一般包括持续时间估计、分阶段的进度安排、施工工艺选择、计划实施、进度控制等。对项目时间管理的研究多集中在项目进度计划制定和进度计划的监控方面, 从项目

收稿日期: 2010-05-04; 修回日期: 2010-05-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 10831006, 10671024); 中科院知识创新工程重要方向性项目(编号: kjcx-yw-s7)

作者简介: 王学民(1971-), 男, 北京人, 硕士, 工程师, 主要从事施工管理及研究工作。E-mail: www202752@sohu.com

高随祥(1962-), 男, 陕西延安人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为最优化方法及其应用。

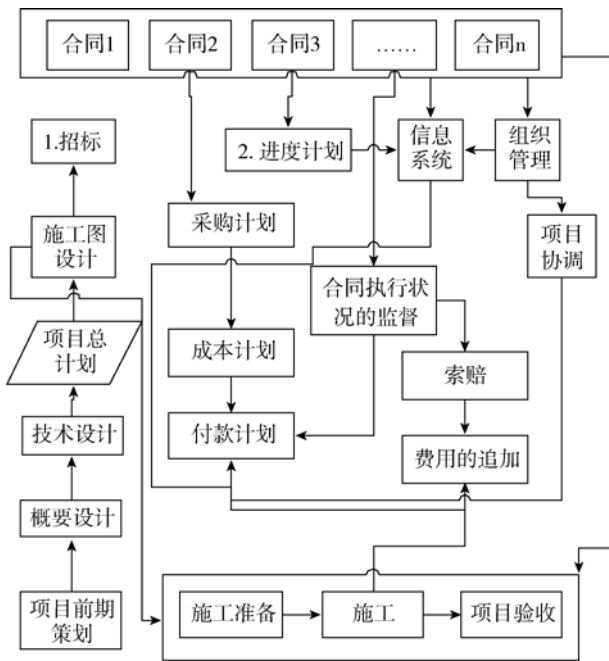


图1 工程项目管理流程图

时间管理实践看,目前常用的方法有关键日期法、前锋线法、甘特图、关键路线法、计划评审技术等。目前依旧有一些学者在继续上述研究,同时也有学者根据研究成果提出了新的关于项目进度管理的网络技术,如图示评审技术(GERT)、风险评审技术(VERT)等<sup>[4]</sup>。

(2) 项目成本管理理论与方法。对于项目成本管理的理论方法研究一般集中在前期费用概算、资源计划、过程控制、最终项目造价决算与审计等方面。胡志根对工程项目投资规划开展了研究,提出了工程项目投资规划及其动态风险分析模型<sup>[5]</sup>。他提出的项目投资规划被广泛应用,风险分析模型比较符合实际。其他学者根据工程造价管理与控制在现实中存在的问题,提出了针对某项工程造价实行动态管理的概念,使得工程造价的控制类似于工程进度的控制随工程进展情况的变化而变化,在实践的基础上,建立了工程造价动态管理的理论体系<sup>[6]</sup>。也有学者把项目的工程成本与项目工期结合起来一并进行研究,使二者得到了有机的结合,同样使二者在动态中得到控制。

(3) 项目管理优化理论与方法。项目优化问题的研究不仅取决于网络基本参数的估计、网络结

构的确定,更重要的是要建立有效的数学模型,即选择合理的优化算法等方面。在网络参数的估计方面,曾经应用模糊数学方法来解决实际问题,效果是明显的<sup>[7]</sup>。随着研究的深入,网络结构也由原来的确定型逐步发展到了随机型<sup>[8]</sup>,由于随机型网络的局限性,其优化问题在实际应用中并不普遍。网络进度计划优化的数学模型的建立主要采用以下几种方法:线性规划、非线性规划、动态规划、马氏过程<sup>[9]</sup>。随着技术的进步,人们已开始对网络进度计划优化的启发式算法进行广泛的研究。

## 2 工程进度-成本优化研究现状

工程项目建设计划中进度的控制由计划编制、优化、计划监控和调整四项内容组成。其中计划优化是一个非常重要的阶段。网络计划的优化又分为工期优化、费用优化(时间成本优化)和资源优化三种。传统的计划编制、优化、监控和调整方法是CPM法(Critical Path Method)和PERT法(Program Evaluation and Review Technique)。到目前为止,通过学者的研究和探索,关于工期优化、费用优化(时间成本优化)和资源优化三个方面已取得了一些显著的成果。

国外学者对于工期固定-资源平衡优化问题,较多的采用了分析与启发式方法,为有效解决问题也将数学规划方法应用于解决网络成本工期优化问题,目的是使得工期最短,并达到两者的最优组合。J.E. 凯利(J. E. Kelly)于1961年<sup>[10]</sup>、W.L. 迈耶(W. L. Meyer)和L. R. 谢弗(L. R. Shaffer)于1965年<sup>[11]</sup>、W. S. 布彻(W. S. Butcher)于1967年<sup>[12]</sup>、F. B. 塔尔博特(F. B. Talbot)于1982年<sup>[13]</sup>曾经利用线性规划中的动态规划方法对工期固定-资源平衡优化问题进行了系统研究,在解决问题时,采取了假定的算法,主要针对工序的费用和工期之间的如下关系:(1) 线性的和非线性;(2) 凸关系、凹关系或关系不定;(3) 离散和连续;(4) 混合型。1978年,哈里斯(Harris)提出利用时间-费用曲线来进行优化处理,这种方法在当时看来极为适用,

并且至今一直在工程实践中被作为一种传统的方法而被利用。另有学者提出了一种在费用分解结构(Cost Break down Structure, 简称 CBS)和工序分解结构(Work Breakdown Structure, 简称 WBS)之间建立一种映射机制的方法来处理时间和费用的细节问题。时间和费用在项目管理中始终是一对矛盾, 在二者的关系上, 一些学者提出了建立时间和费用类型的 2D 矩阵的方法来对问题加以处理。

除了以上使用数学建模的方法外, 还有其他方法如若干“启发式搜索”方法也曾被提出, 1961 年提出的 Fondahl 方法, 1971 年提出的 Simense 模型以及 Moselhi 模型都是启发式搜索的典型代表<sup>[14]</sup>。以上方法虽得到应用但也存在缺陷, 如利用数学建模的方法无法对现实中存在的问题及各种因素充分考虑, 尤其是那些不能量化的方面; 在求解方面由于受工程实例的限制, 有些数据不能准确的予以认定, 或不能全面搜集数据, 加大了求解难度。而启发式搜索算法又不能保证能够得到最优解, 这样看来经验算法尤其重要, 有些问题还需靠经验方法来得到答案。

在国内学者的近期研究中, 王好温首先提出建立线性规划模型, 而后应用单纯形方法求解网

络计划成本的优化问题<sup>[3]</sup>, 这样改变了求解的方法, 有效地解决了现实问题。高明生利用双代号网络图进行工期成本优化, 找出网络计划在各工序的后移差, 逐一列出所有可能导致网络计划资源方差最小的方案, 采用单步比较法进行网络计划的优化, 这一方法带有一定的主观随意性, 遇到大型工程项目, 工序众多, 相互间逻辑关系复杂, 很难找出最优方案<sup>[15]</sup>。刘津明在解决工期成本问题中为降低直接费用, 运用“最大流最小割理论”压缩“最小割集”所在的工序来达到解决问题的目的<sup>[16]</sup>。当然还有学者提出了其他优化方法, 如为了建立动态规划数学模型, 邢莉燕采用动态规划法原理及其方法对网络成本工期优化进行了具体的研究和应用, 提出了建立动态规划的数学模型, 通过公式的推导, 确定最小成本和最优工期<sup>[17]</sup>。动态原理能将实际工期发生的变化反映出来。俞宗卫根据资源利用平行法中的资源进度法和中小总时差法对网络计划的资源进行优化<sup>[18]</sup>。刘泉宝运用 CPM 方法进行网络计划技术的决策分析<sup>[19]</sup>。张才江使用网络技术和概率评价进行时间-费用优化<sup>[20]</sup>。

目前, 国内外普遍采用的优化算法包括以下类型, 具体可见表 1。

表 1 常用优化算法

|          |                |                                      |
|----------|----------------|--------------------------------------|
| 精确方法     | 直接分析直接对候选解进行操作 | 线性规划、局部搜索、梯度方法、牛顿迭代法                 |
|          | 构建解            | 分枝定界法、动态规划法、分治法                      |
| 近似、启发式方法 | 确定的            | 禁忌搜索                                 |
|          | 概率的            | 基于单解 模拟退火、随机爬山法                      |
|          |                | 基于群体 粒子群算法、蚁群算法、演化算法; 遗传算法、演化规则、演化策略 |

### 3 工程进度-成本-质量优化研究现状

在工程进度、成本、质量的综合优化方面, A. J. G. 巴布(A. J. G. Babu)和 N. 苏雷什(N. Suresh)首次将质量作为一个目标, 建立了问题的数学规划模型, 采用线性规划的方法, 进行了工期、成本、质量三者之间的优化<sup>[21]</sup>, 但其目标主要是为了解决工程项目质量问题而综合考虑工期(工程

进度)和成本的关系。高兴夫、胡程顺分析了基于遗传算法的限定工程质量及费用的最短工期、限定工程质量及工期的最优费用、限定工期及费用的最优工程质量的单目标优化<sup>[22]</sup>, 虽然考虑了工程进度、成本、质量三个方面的因素, 但是优化目标还仅为单目标优化, 也无法从系统的角度满足多目标共赢的目的。总体看来, 目前对于工程进度、成本、质量的综合优化研究还较少, 仅仅

停留在考虑多因素的单目标优化阶段。

#### 4 工程进度控制研究现状

国内外对工程进度控制研究主要集中在以下两个方面：一是对工程进度延误原因的研究；二是从确定型和不确定型两方面对工程进度的控制方法进行研究。

##### 4.1 工程进度延误分析

对于工期延误原因方面的研究已取得研究成果，已应用在工程项目建设领域中，取得了较好的效果。国外，S. O. 奥贡拉纳(S. O. Ogunlana)以泰国为例研究了发展中国家建筑工程施工进度延期的问题，主要原因可归结为：机械设备、劳动力及主要原料不足或短缺，各种合同不严谨使得相关方不能达成共识，业主原因导致工程项目不能连续进行等<sup>[23]</sup>。Z. J. 埃尔布斯曼(Z. J. Herbsman)等研究了工程三要素，即成本、进度、质量之间的关系，认为上述三者的关系对工程项目起到了至关重要的作用。他的研究主要讨论了工程进度滞后对工程质量和造价的影响<sup>[24]</sup>，结论是，由于进度不能保证，势必出现抢工现象，工程质量将存在隐患，同时造价也将随之增加。N. R. 曼斯菲尔德(N. R. Mansfield)等对尼日利亚建设工程进度和成本进行研究，结果表明影响进度最重要的因素是资金问题，同时也得出与奥贡拉纳(Ogunlana)研究相同的结果，即合同管理不善、场地条件和作业条件改变、材料短缺供应不及时，以及计划组织不当等<sup>[25]</sup>。S. A. 阿萨夫(S. A. Assaf)等研究了影响沙特大型建设工程进度的风险因素，归纳出包括图纸审批、承包商的进度款延误支付及施工期间的资金问题、设计变更、分包商之间工作进度冲突等主要因素<sup>[26]</sup>。T. M. 迈泽尔(T. M. Mezher)等则分别从业主、承包商和建筑师的角度对黎巴嫩工期延误原因进行调查分析，发现业主主要考虑资金问题，而承包商对合同关系最关注，工程师反而认为项目管理问题才是影响进度的最重要原因

<sup>[27]</sup>。国内在这方面的研究非常少，对于工期延误因素的相关研究往往主观成分多，定性方法少。高嵩分析了承包单位责任造成的工程施工阶段进度延误的原因包括进度控制目标不合理、进度计划中存在缺陷、工程质量不合格引起返工、进度计划实施中的问题，以及风险的影响等<sup>[28]</sup>。还有学者提出了将系统论与风险原理结合、基于系统论的风险元传递理论来识别工程进度延误的原因和规避方法的建议<sup>[29]</sup>。

##### 4.2 工程进度控制的方法

对于工程进度确定的控制方法的研究，随着科技不断进步和人工智能技术的研究和应用的深入，各种新的先进算法例如蒙特卡罗、遗传算法、模糊技术和神经网络技术等运用到进度控制研究中。对于工程进度不确定的情况，早期的研究主要采用概率统计方法，通过数理统计理论确定各种影响因素发生的概率，再根据其对工期的影响，计算出可能发生的概率，其中 PERT 就是典型的概率进度控制方法。

近年来，一些新的科学理论和方法被引入到工程进度控制中。吴伟军将混沌理论应用到水利工程建设项目的进度控制研究中，通过分析水利工程建设项目的进度控制中存在的问题，提出了基于初值敏感性、蝴蝶效应、奇异吸引子和虫口模型的项目进度控制方法<sup>[30]</sup>。还有学者将挣值理论应用到工程进度与费用控制中，实现进度与费用的联合控制<sup>[31]</sup>，并进行了相应的仿真研究<sup>[32]</sup>。但是，目前国内对工程进度控制的研究中，定性分析较多<sup>[33]</sup>，大多数研究仅仅结合工程实践提出一些具体的应对措施，还未实现对工程进度的科学预测和动态控制。

#### 5 工程进度优化和控制的研究趋势

国内外关于工程进度优化与控制的研究主要集中在以下几方面：一是对工程进度的优化，主要是考虑费用、质量等因素约束条件下的进度优

化模型；二是工程进度的控制研究，主要集中在工期延误和进度控制方法的研究方面。工期延误的研究大多采用实际工程案例的方法；进度控制主要集中于确定型情况，对于工程进度不确定情况的研究尚处于定性研究阶段。未来对工程进度优化与控制的研究趋势主要会集中在如下几个方面。

#### (1) 对工程进度偏差的预测方法的研究

目前对工程进度偏差的研究主要集中在工期延误方面的研究，而对提前完成进度与质量目标保障的关系研究较少，并未全面分析与界定工程进度偏差。对于影响工程进度的因素分析多为事后的定性分析，缺乏对工程进度偏差的合理估计、预测与评估，难以实现在工程项目开始之初即采用相应的管理措施保障工程项目达到预期目标。目前，对于工程进度偏差的预警机制研究尚未成熟，应当作为工程进度控制研究的方向之一。

#### (2) 进度、成本、质量三者之间的多目标优化研究

目前国内外针对工程进度优化的研究重点集中在进度、成本两者的优化中，其目的在于求出与工程最低成本相对应的最优工期，以及在规定工期的条件下工程的最低成本，而对如何实现兼顾项目管理三要素的优化研究较少。在考虑三个因素的相互制约关系时，目前往往仅考虑了两两之间的关系，尚未对系统的关系进行全面综合的分析，无法实现工程进度的全局优化。但也有学者开始针对这一问题展开研究，在向最终实现工程进度的全局优化方向努力。

#### (3) 对工程进度动态控制的定量研究

目前对于工程进度的动态控制管理已经受到国内外研究者的关注，一些相应的措施已经被提出，但所提出的管理方法多为反馈式管理，即通过若干次的纠错程序后逐步改进控制措施，没有实现对工程进度从前期预警、实施过程跟踪、实施后果反馈等各阶段的动态管理，以及定量指标的监控，使得工程进度的控制研究还较多的处于主观分

析阶段，无法实现真正意义上的动态控制。这方面的研究也是工程进度控制的研究方向之一。

#### (4) 从全生命周期角度对工程进度控制的研究

进度控制方法目前主要是在某些确定性或不确定性的假设下，结合相应的智能方法来建立控制模型，解决进度过程中的某一控制节点问题，缺乏从全生命周期的角度来解决不同时间段内的进度控制问题，从而使得工程进度控制的研究出现了“头痛医头、脚痛医脚”的解决局部问题的局面。现在有学者试图从全生命周期的角度开展工程进度控制的研究，以期不仅能够实现动态控制，较好地保障从各个源头实现对工程进度的全面掌控。

## 6 总结

综上所述，工程进度的优化与控制研究对于工程建设项目的意义是不言而喻的，尤其是对大型工程项目(如投资较大、工程周期较长、投入的资源较多、关系到国民经济命脉的重要项目)更是不可或缺的。国内外学者在工程进度的优化与控制研究方面已经取得了许多研究成果。未来在进度偏差预测、动态控制、多目标优化、全生命周期的控制优化等方面的研究将会引起人们的重视，相应的预测、控制和优化方法将会对实际工程项目的科学管理起到重要的作用。

## 参考文献

- [1] Chinowsky P S. Strategic Management in construction[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2000, 126(1): 1-9.
- [2] 杨合湘, 黄潇. 我国项目管理的问题集对策[J]. 中国创业投资与高科技, 2003(8): 58-60.
- [3] 王好温, 率兵. 单纯形法在网络工期成本优化中的应用[J]. 山东建筑工程学院学报, 1997(3): 38-41.
- [4] 卢志杰. 项目管理知识体系指南[M]. 王勇, 译. 电子工业出版社, 2005: 7.
- [5] 胡志根. 工程项目投资规划及动态风险分析模型研究[J]. 基建优化, 1997, 18(3): 13-18.
- [6] 成虎. 施工项目成本和工期的动态控制方法[J]. 建筑经济, 1997(10): 39-40.
- [7] Leu S S. A GA-based fuzzy optimal model for construction times-cost trade-off[J]. International Journal of Pro-

- ject Management, 2001(19): 47-58.
- [8] Abbasi G Y. Crashing PERT Networks using Mathematical Programming[J]. Journal of Project Management, 2001(19): 181-188.
- [9] Ulusoy G. An equitable approach to the payment scheduling problem in project management[J]. European Journal of Operational Research, 2000 (127): 262-278.
- [10] Kelly J E. Critical path planning and scheduling mathematical basis[J]. Operations Research, 1961, 9(3): 67-79.
- [11] Meyer W L, Shaffer L R. Extending CPM for multiform project time-cost curves[J]. Journal of the Construction Division, 1965(91): 45-67.
- [12] Butcher W S. Dynamic programming for project cost-time curve[J]. Journal of Construction Division, 1967(93): 59-73.
- [13] Talbot F B. Resource-constrained project scheduling with time-resource trade-off: the non-preemptive case[J]. Management Science, 1982, 28(11): 97-210.
- [14] 江景波. 网络计划技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1983: 5.
- [15] 高明生, 何建敏. 单步比较法—网络计划中的一种优化方法. 管理工程学报[J], 1999(3): 57-58.
- [16] 刘津明. 工期成本方法在计算机上的实践[J]. 基建优化, 1998(4): 6-8.
- [17] 邢莉燕, 李纪成. 动态规划法在网络成本工期优化中的应用. 山东科学[J], 1998(3): 60-64.
- [18] 俞宗卫. 网络计划的资源优化[J]. 基建优化, 1998(3): 24-26.
- [19] 刘泉宝, 刘永清. 基于网络计划技术的决策分析[J]. 系统工程, 1994(1): 29-35.
- [20] 张才江. 应用网络技术和概率评价进行时间-费用优化[J]. 施工技术, 1996(3): 20-21.
- [21] Babu A J G, Suresh N. Project management with time, cost and quality considerations[J]. Journal of Operational Research, 1996(88): 320-327.
- [22] 高兴夫, 胡程顺, 钟登华. 工程项目管理的工期-费用-质量综合优化研究[J]. 系统工程理论与实践, 2007(10): 112-117.
- [23] Ogunlana S O, Promkuntong K. Construction delays in a fast growing economy: Comparing Thailand with other economies[J]. International Journal of Project Management, 1996, 14(1): 37-45.
- [24] Herbsman Z J, Chen W T, Epstein W C. Time is money: Innovative contracting methods in highway construction[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1995, 121(3): 273-281.
- [25] Mansfield N R, Ugwu O O, Doran T. Causes of delay and cost overruns in Nigerian construction projects[J]. International Journal of Project Management, 1994, 12 (4): 254-260.
- [26] Assaf S A, Al-Khalil M, Al-Hazmi M. Causes of delay in large building construction projects[J]. Journal of Management in Engineering, 1995, 11(2): 455.
- [27] Mezher T M, Tawil W. Causes of delays in the construction industry in Lebanon[J]. Engineering Construction and Architectural Management Journal, 1998, 5 (3): 25-60.
- [28] 高嵩. 工程项目施工阶段进度延误原因分析[J]. 工程技术, 2006(23): 47.
- [29] 尹健. 基于价值网理论的建设工延期控制应用研究[J]. 生产力研究, 2008(24): 74-76.
- [30] 吴伟军, 谈飞. 基于混沌理论的水利工程建设项目进度控制研究[J]. 工程建设与管理, 2009(14): 38-40.
- [31] 杨镇炜. 基于挣值理论的建设工期进度费用联合控制研究[J]. 建筑设计管理, 2009, 26(5): 23-24.
- [32] 惠彦涛, 李辉山, 宁丰荣. 工程项目进度-费用联合控制系统仿真研究[J]. 西安科技大学学报, 2007, 27(9): 498-501.
- [33] 肖春华. 工程项目的进度管理与控制[J]. 科技创新导报, 2009(22): 206-208.

## The Present Situation and Future Tendency of Researches on Optimization and Control in Project Process

Wang Xuemin<sup>1,2</sup>, Gao Suixiang<sup>1</sup>

(1. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 2. Beijing Liujian Construction Corporation, Beijing 100039)

**Abstract:** This paper mainly discusses the optimization and process control of project management. Special attention has been paid to the optimization of process-cost, process-cost-quality and project quarterly control in China and overseas. This paper describes the main researching methods on project optimization and process control and discusses the future tendency in this field.

**Key words:** project management; process; optimization; control

□ 责任编辑: 王佩琼