

# 施工项目网络计划优化研究综述

赵延龙<sup>1</sup>, 明 磊<sup>1,2</sup>

(1. 兰州交通大学, 甘肃兰州 730070; 2. 兰州市金兰工贸有限责任公司, 甘肃兰州 730060)

**摘要:**网络计划的优化,是在满足既定约束条件下,按某一目标,通过不断改进网络计划寻求满意方案。根据其优化目标,网络计划的优化可分为:工期优化、资源优化和费用优化三类。文章基于网络计划技术,介绍国内外学者在施工项目的工期优化、费用优化、资源优化和综合优化方面的研究成果,并进行比较分析,提出施工项目网络计划优化研究的问题,展望其研究前景。

**关键词:**施工项目;网络计划技术;网络计划优化;综述

**中图分类号:**F281 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2007)01-0054-03

## 0 引言

网络计划的优化,是在满足既定约束条件下,按某一目标,通过不断改进网络计划寻求满意方案。网络计划的优化目标,应按计划任务的需要和条件选定,主要有工期目标、费用目标和资源目标。根据其优化目标,网络计划的优化可分为:工期优化、资源优化和费用优化三类。资源优化中又分为:资源有限、工期最短优化和工期固定、资源均衡优化两种。网络计划优化的原理,一是利用时差,前后移动各项工作,改变有关工作的时间参数,从而达到资源参数的调整;二是利用关键线路,对关键工作适当增加资源的投入,缩短其工作持续时间,从而达到缩短工期的目的。在编制好的网络计划付诸实施之前,都要经过优化,使最终指导实践的网络计划,无论从工期、费用还是资源利用各项指标上,都能体现出它的优势。目前网络计划的优化,就是利用时差,在一定约束条件下,不断改善网络计划的最初方案,以达到方案最优化的目的。由于优化目标的不同(工期、费用、资源),目前存在着各种优化理论和方法。本文对国内外学者对网络计划工期优化、费用优化和资源优化的研究进行综述。

## 1 工期优化

当网络计划的计算工期大于要求工期时,在人力、材料、设备等资源基本有保证前提下,通过压缩关键工作的持续时间,以达到满足工期要求。在施工技术措施上,选择压缩时间后对质量影响不大的关键工作,有充足备用资源的工作,因缩短持续时间而增加费用最少的工作,并通过增加资源数量,增加工作班次,改变施工方法,组织流水作业等途径缩短关键工作的时间<sup>[1]</sup>。在数学计算

方法上,一般最常用的是图上计算的方法<sup>[2]</sup>:根据网络计划的关键路线和关键工作,按要求工期计算应缩短时间以确定各关键工作能压缩多少时间。许多学者<sup>[3]</sup>对网络计划的工期优化用线形规划方法。

目标函数:  $\text{Min} X_m - X_1$

约束于:  $X_j - X_i \geq t_{ij}$  (对所有的活动)

其最常用的求解过程是单纯形法。该线性规划模型最初用0—1规划模型表示的

$$\text{Max} Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij}$$

$$\sum_{k=2}^n x_{1k} = 1$$

$$\sum_{k=2}^{n-1} x_{kn} = 1$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ik} - \sum_{j=1}^n x_{kn} = 0$$

$$x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1, k=2, \dots, n$$

上述工期优化的模型指出了网络计划的关键线路及关键工作,使工期优化的精力集中在关键路线、关键工作上,反映出网络计划自身的特点及优化的途径,但没有给出具体的优化步骤,以及没有涉及费用及其它目标,这是工期优化的不足之处。

## 2 费用优化

费用优化,一般指工期—费用优化,就是寻求工程总成本最低的目标。费用优化最常用的方法是最低费用加快法<sup>[4,5]</sup>,即假定工作的直接费—工时关系为直线,分析工期压缩的约束条件,选择直接费用率最小的工作进行压缩,将正常工期直至不能压缩为止,算出每次缩短工期后的工程直接费、间接费和总费用。其中成本最低的工期就是成本优化所寻求的最优工期。对于该方法研究的CON曲线缺少分析以及缺乏此方法下的费用优

收稿日期:2006-04-25

作者简介:赵延龙(1964-),男,甘肃兰州人,副教授,硕士生导师,研究方向为工程施工与管理。



化具体步骤。

线性规划法<sup>[6]</sup>也是一种有效的计算费用优化的方法,其数学模型如下:

$$\begin{aligned} \text{Min} C &= \sum_{i,j \in N} P_{ij} (D_{ij} - Y_{ij}) \\ t_i + y_{ij} &= t_j \\ d_{ij} - y_{ij} &= D_{ij} \\ t_n &= T \end{aligned}$$

其中,  $n$  表示整个网络活动集合,  $T$  表示给定的项目完成时间。

该规划也可以用单纯形法求解。但更为有效的方法是采用流量法(Flow solution)。流量法是从每一活动的最小费用、最长时间开始压缩,进而求出时间—费用最优化的计算法<sup>[7]</sup>。文献[8]对求解最大流量的问题的 8 种算法作了详细的比较。

国内近几十年对该类问题也进行了不少研究。胡颖<sup>[9]</sup>于 1989 年提出一种改进的优化方法:在优化过程中,同时考虑直接费率和间接费用率,指出对那些直接费用率明显大于间接费用率的关键工作,可不必进行压缩。陈森发<sup>[10]</sup>等人基于关键线路和次关键线路的概念,建立了网络计划的最低成本日程的模型,并提出了求解该模型的新算法。仲景冰、杨应玖<sup>[11]</sup>在前人对工期—费用优化研究的基础上,提出一种简化的成本—工期的优化数学模型。除了这些计算方法及优化模型外,线性的时间—费用问题也可用启发式算法求解<sup>[7]</sup>。

### 3 资源优化

通常对网络计划资源安排有两种情况:

第一种:是在规定的工期内,如何安排各工作的活动时间,使可供使用的资源均衡地消耗,然而,由于施工生产的不均衡性,根据施工进度计划的安排,单位时间对资源的需要量有所不同,常出现高峰低谷的现象。使工期规定下寻求资源的均衡安排,称为网络计划的“工期固定—资源均衡”的优化。

对于“工期固定—资源均衡”的优化,可以利用“削高峰法”<sup>[3]</sup>,对施工进度计划进行调整,使各单位资源需求量趋于平均水平,使高峰低谷现象减少到最低程度。徐秀丽<sup>[13]</sup>于 1991 年提出一种网络计划计算工期一定,求资源总需量均方差最小的新方法。姚玉铃<sup>[14]</sup>对网络计划资源均衡优化中的缩方差法(即最小平方和法)的工序调整计算公式进行了修正,提出了一个比较完善的计算公式,从而大大减少优化过程中计算量。

以上关于最小平方和法的优化及进一步研究,都是对单一资源进行的。对多资源的均衡使用

问题,早在 1982 年 Talbot 就提出一个 0—1 整数规划法<sup>[15]</sup>,讨论了离散性的时间—资源关系。1993 年,葛震明<sup>[16]</sup>提出一种网络计划多资源综合协调的 LFT 判断法。白思俊<sup>[17]</sup>对有资源约束的工期固定的资源均衡问题分析后,提出一种相应的启发式优化方法:资源均衡的归一化方法。高明生、何建明<sup>[18]</sup>针对多资源均衡问题,提出一种单步比较法。庞南生<sup>[19]</sup>基于工程网络计划使用多资源均衡的情况,以资源分布不均衡系数(方差)为目标函数,运用多目标优化理论的方法,对多资源均衡优化的启发式算法进行了研究,并提出了极大模理想点法。文献<sup>[20]</sup>对资源需要量为变数的多资源网络计划问题的组织效率进行了研究。文献<sup>[21]</sup>对多资源的进度问题研究了一种启发式算法,并分析了最优解的下限。文献<sup>[22]</sup>考虑了资源分配过程中的一些随机因素,诸如天气因素、资源延期、资源供应能力、组织次序的改变等对资源分配的影响。

第二种情况是与施工进度计划相配套的资源需要量受到资源限制时,如果不增加资源数量会迫使工程的工期延长或不能进行。此时,在资源受到限制的情况下,对施工进度计划进行调整,使各单位时间资源需求量均满足资源限量的要求,以保证进度计划的顺利实施,此类优化方法称为“资源有限—工期最短”的优化方法。

对于这类问题,研究者提出用 0—1 规划<sup>[23]</sup>,整数规划、穷举法、分支定界法、简化负荷平衡法,它们对于求大型复杂的网络都是不可行的<sup>[24]</sup>。启发式方法是较为完善、使用较广的一种算法,它主要有两类:序列法(Serial)和并行法(Parallel)<sup>[4]</sup>。除了启发式方法外,应用最多的 RSM 法(The Resource Scheduling Method)<sup>[4]</sup>,即在资源冲突时段内以工期增加最少为目标,重新调整该时段内工序顺序,以达到满足资源限量的目的。曹小琳、汪金根<sup>[25]</sup>在探讨工程项目实施过程中进度计划与资源计划协调运行的同时,提出了在受资源限制条件下,对工期进行优化的“RSM”法。此外,白思俊<sup>[17]</sup>还提出了一种处理该类问题的有效方法—资源分配的优先权系数法。

### 4 综合优化

网络计划综合优化的目标是在获得既定条件约束下的工期最佳、费用最低及资源配置最合理的方案。张家明、陈家祥<sup>[26]</sup>结合实际工作经验,根据资源—工期—费用—收益—效益的一系列动态关系,得出一条资源—工期—效益的综合曲线,用图形的方式把网络优化理论中原来孤立的两类理论结合起来,对资源有限的网络计划进行了综合优化。杨应玖



<sup>[27]</sup>根据模糊数学原理,提出了多目标网络优化的数学模型,实现了费用和资源的两个目标的优化。1996年宣以政<sup>[28]</sup>根据技术经济学、运筹学及现代管理科学理论,结合我国各种工程网络计划的基本要求、内容、特点,提出了网络计划综合优化的理论分析和应用方法,建立了相应的数学模型。其基本思路是:在工期—费用优化数学模型中,寻找工期最低时点,在该工期下对资源进行均衡,它实际上是以费用最小为目标的优化。

## 5 问题与展望

通过以上学者对网络计划进行的研究,我们可以得出目前在网络优化方面存在以下几方面的不足:

(1)目前的网络计划的优化理论研究还不完善。

网络计划是一种新兴的科学管理方法,从它的诞生至今还不到60a,属于一种新兴的软科学。由于网络计划的特点和特殊性,其研究及应用较缓慢。从分析中可以看出,研究者试图从各个角度,用各种方法对网络计划进行研究处理,研究途径比较广泛,但是主要是单资源研究。对网络计划多资源优化没有形成一种特定的理论及解决方法。

(2)网络计划优化的评判目标不全面。

一直以来网络计划的评判准则被认为是工期、费用、资源、质量等目标,虽然它们在一定程度上也能反映工程网络计划的优劣,但随着人们生活质量和生活水平的提高,项目建成对社会影响程度、对环境造成污染程度、对社会经济发展贡献率等社会目标应成为评价工程成功与否的重要指标,也应成为评价网络计划优劣的一个指标。

(3)网络计划多目标优化理论在工程中缺乏操作性。

由于网络计划多目标优化的矛盾性、不可公度性,以及决策者的偏好性和工程追求目标的不同性,网络计划多目标优化问题一直很棘手。随着科学的不断发展进步,一些新的决策理论的出现,为解决网络计划的综合优化开辟了新道路,但其没有运用到实际工程中,相信随着科技的深入发展、计算机网络的普及,人们计算机水平的提高,网络计划多目标优化理论的应用将越来越广泛,越来越深入。

### 参考文献

- [1]蔡金樾,温兆明.建设工程监理工程师知识手册[M].北京:中国计划出版社,1994.
- [2]杨劲,李世蓉.建设项目进度控制[M].北京:地震出版社,1993.
- [3][美]J.D 惠斯特,F.K 莱维.统筹方法管理指南[M].葛明震等译.北京:机械工业出版社,1983.
- [4]任建琳,施裕生.工程建设进度控制[M].北京:水利电力出版社,1993.
- [5]左兼金.水利水电工程施工组织管理与系统分析[M].北京:水利电力出版社,1986.
- [6]倪志铿.线性规划与网络计划技术[M].北京:中国铁道出版社,1987.
- [7]曹光明,白思俊.国外PERT/CPM网络计划技术发展的三个方面[J].系统工程理论与实践,1993,13(4).
- [8]R.Sudama&D.M.Chiu. Experience of Designing a sophisticated network monitor software—Practice and Experience. 1990,20(6):550-570.
- [9]胡颖.网络计划时间——费用优化方法的探讨[J].管理工程学报,1989,3(3-4):108-115.
- [10]陈森发,林贻鸿.网络计划最低成本日程的一种新算法[J].管理工程学报,1992,6(2):33-34.
- [11]仲景冰,杨应玖.网络计划成本——工期优化方法的简化[J].水利电力科技,1995,22(3):30-34.
- [12]同济大学经济管理学院,天津大学经济管理学院.建筑施工组织学[M].北京:中国建筑工业出版社,1987.
- [13]徐秀丽.工期一定求资源总需量均方差最小的新方法[J].南京建筑工程学院学报,1991(2):66-73.
- [14]姚玉玲.网络计划资源均衡优化方法的研究[J].西安矿业学报,1998,18(1):45-49.
- [15]F.B.Talbot.Resource-Constrained Project Scheduling with time Resource Tradeoff:thenonpreemptivecase.Mgmt.sci,1982,28(10):1197-1210.
- [16]葛震明.网络计划多资源综合协调—最迟完成时间(LFT)判断法[J].系统工程理论和实践,1993,13(6):61-65.
- [17]白思俊.多资源约束的网络计划的启发式优化方法[J].系统工程理论与实践,1995,15(7).
- [18]高明生,何建敏.单步比较法—网络计划中一种优化方法[J].管理工程学报,1993,13(3):57-58.
- [19]庞南生.多资源网络计划均衡优化启发式方法研究[J].现代电力,1997,14(1):75-80.
- [20]C.V.Timothy New approaches to Construction Management. Journal of Construction Engineering Management.1990,116(3):494-513.
- [21]G.Dobson &V.S.Karmarkar,Simultaneous Resource Scheduling to Minimize Weighted Flow Times.Opns.Res.1989,36(4):592-600.
- [22]T.C.chang,Network Resource Allocation With support of a fuzzy Expert System.Journal of Construction Engineering and Management1990,116(2):239-260.
- [23]B.Dodin and M.Sirvanci.1990,Stochastic networks and the extreme Value Distribution.Computers Opns Res,1990,17(4):397-409.
- [24]白思俊.资源有限的网络计划与启发式优化方法及其评价与选择—启发式优化方法综述[J].中国管理科学,1993,1(2):30-38.
- [25]曹小林,王金根.工程项目工期—资源优化方法研究[J].重庆建筑大学学报,2000,22(2):49-53.
- [26]张家明,陈家祥.网络计划资源有限的直接优化和动态优化[J].基建优化,1990,11(4):28-33.
- [27]杨应玖.多目标网络计划的优化[J].水利学报,1991,(2).
- [28]宣以政.工程项目网络计划的综合优化及其动态优化管理[J].成都大学学报,1996,15(2):38-42.