

文章编号:2095-0365(2014)01-0012-06

线性工程项目工期成本优化方法

李明¹, 李前进¹, 邓海²

(1. 石家庄铁道大学 经济管理学院, 河北 石家庄 050043;

2. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:离散的工期成本组合优化问题是工程项目管理中的一个经典问题,但是对线性工程项目的工期成本组合优化还很少有人研究。本文在线性工程项目进度计划模型的基础上提出了一种新的工期成本组合优化方法。通过该方法,能够在众多的组合方案中快速而准确地确定出最优的帕累托解集,从而帮助项目管理者进行有效的工期成本决策。对一个公路工程案例的应用表明,该方法具有较高的求解效率,能够快速的缩小优化问题求解的空间,并最终获得最优的工期成本组合方案。

关键词:线性工程项目;工期成本;组合优化;生产率

中图分类号:F224 **文献标志码:**A **DOI:**10.13319/j.cnki.sjztdxbskb.2014.01.03

一、引言

线性工程项目指在不同施工位置包含大量重复活动的项目。典型的线性工程有铁路、公路、隧道、管道工程和高层建筑等。然而,研究表明,目前在行业内普遍采用的关键线路法(CPM)并不适用于线性工程项目^[1-3];采用CPM方法对线性工程编制计划时,需要采用大量的重复性活动来表示项目计划,从而使得整个项目计划显得庞大复杂不易理解;CPM技术仅考虑了完成一开始的时间约束,不能保证专业工作队在不同的施工位置间连续作业;CPM方法在计划时没有考虑活动的作业位置,因此不能反映活动之间重要的时间—空间关系。从20世纪70年代以来,国外一直不断有学者进行线性进度计划的研究,并提出了众多的模型,例如:平衡线技术^[4]、线性进度模型^[5]、时间—空间进度模型^[6]、重复项目模型^[2]、重复活动调度模型^[3]和生产率调度模型^[6]等。这些模型的共同特点就是具有时间和空间的二维特性,能够保证线性活动的连续性,并且形象直观。线性进度计划方法的使用对于提高建筑行业生产

效率会有重要意义。

工期成本优化(Time-cost trade-off problem, TCTP)是项目管理中的一个经典问题,即在一定的约束条件下,从众多可供选择的工期成本组合方案中选择合适的工期成本组合,即确定出工期—成本方案的帕累托前沿,其本质属于多目标优化问题。现有的文献中可以看到有采用遗传算法、模拟退火算法和蚁群算法等方法^[7-9]来解决此类问题,但是这些方法都是以离散的网络计划为基础,很难适用于线性工程。针对建筑行业大量存在的线性工程对象,提出了一种工期成本优化的启发式算法,并以一个公路工程为例验证了这一算法的有效性。

二、线性进度计划模型及假设条件

(一)线性进度计划基本模型

线性进度计划模型的形式有很多,其共同之处均为绘制在二维坐标系中的线性图形,如图1所示,其中纵坐标轴表示时间进度,横坐标轴表示里程或施工位置,工作之间的逻辑关系采用时间

收稿日期:2013-12-25

基金项目:河北省社科基金项目(HB13GL009);河北省软科学研究计划项目(12457205D-30)

作者简介:李明(1975—),男,副教授,博士研究生,研究方向:项目管理。

间隔或距离间隔来表示,图1中 LT (Least Time Interval)表示相邻两工序中允许的最短时间间隔, LD (Least Distance Interval)表示相邻两工序之间允许的最短空间距离。这两种间隔之间可以进行换算,文献多采用时间间隔来进行分析,以便进行进度的计算。文献[10]对线性工程项目进度计划编制的基本形式和方法进行了系统的介绍。关于线性活动生产率之间的关系,最理想的情况是所有的活动生产率都一致,但这种状态很难达到,因为受到可用资源数量、工作面大小以及施工工艺复杂程度等因素的影响,不同活动的生产率往往有很大差异。

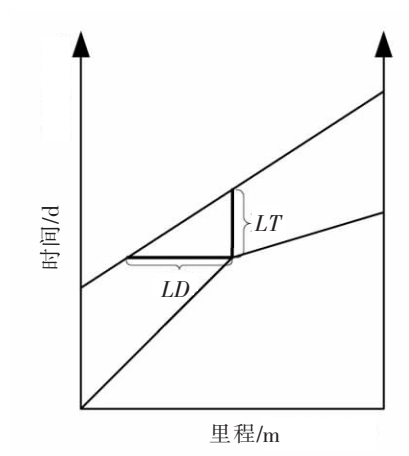


图1 线性进度计划基本模型

(二) 假设条件

(1) 各项活动均为全程线性活动,即不考虑生产率在施工过程中的变化,那么活动之间的制约关系,即最小时间间隔一定发生在工作线的两端。

(2) 对于某种生产要素组合,其生产率固定且不允许中断。

(3) 活动的生产率高低与活动的成本成反比,即生产率越高,该项活动的直接费越高,因为生产率高成本低的方案是无需选择的。

三、生产率和成本关系

Mattila & Abraham^[11]曾以一段长为1 515 m的旧公路改造工程为对象进行了项目的资源均衡优化研究,在此研究中给出了各项工作在不同的资源配置下有可能的生产率方案,但是没有给出相应的成本信息,Lucko^[12]以此案例为基础进行了资源均衡优化的研究。本文为研究方便,以京津冀地区某公路建设为背景,按照河北省

2012年度的材料价格,对各活动在不同的生产率情况下的成本进行了估算。为分析方便,采用矩阵的形式表示各项不同活动的生产率及对应的成本。如式(1)~(6)所示,每个矩阵中第一行的元素表示该项活动可能采用的生产率方案,单位是(d/m),第二行中各项元素表示的为第一行元素对应的生产率方案的预算成本,单位为(元)。

$$A = \begin{bmatrix} 1/1 \ 515 & 7/1 \ 515 & 15/1 \ 515 \\ 144 \ 310 & 132 \ 300 & 120 \ 260 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$B = \begin{bmatrix} 10/1 \ 515 & 12/1 \ 515 & 15/1 \ 515 \\ 324 \ 340 & 312 \ 540 & 294 \ 850 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$C = \begin{bmatrix} 3/1 \ 515 & 10/1 \ 515 & 13/1 \ 515 \\ 198 \ 450 & 189 \ 420 & 180 \ 400 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$D = \begin{bmatrix} 13/1 \ 515 \\ 173 \ 520 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$E = \begin{bmatrix} 5/1515 & 3/1 \ 515 & 10/1 \ 515 & 13/1 \ 515 & 15/1 \ 515 \\ 357 \ 770 & 327 \ 960 & 298 \ 150 & 268 \ 330 & 238 \ 520 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$F = \begin{bmatrix} 3/1 \ 515 \\ 1 \ 592 \ 250 \end{bmatrix} \quad (6)$$

假定各活动之间的时间间隔分别为: $\Delta AB = 2 \text{ d}$, $\Delta BC = 3 \text{ d}$, $\Delta CD = 3 \text{ d}$, $\Delta DE = 2 \text{ d}$, $\Delta EF = 3 \text{ d}$,总里程长度为1 515 m。对于此项目来讲,可能的工期成本组合方案为 $3 \times 3 \times 3 \times 1 \times 5 \times 1 = 135$ 个。采用matlab对这135个方案编程计算可以得到其工期成本分布散点图,如图2所示。

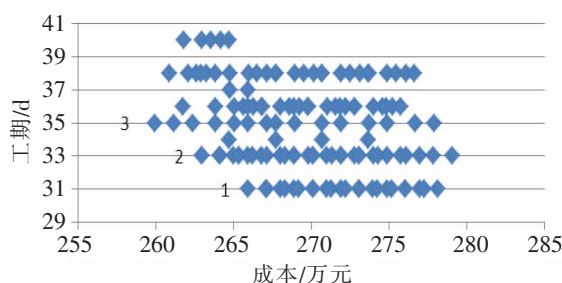


图2 工期成本组合散点图

通过对图2的观察发现,所有的方案组合呈现出有规律的层状结构,即对应着同一工期会出现若干不同的工期组合方案。毫无疑问,在对应于同一工期组合中成本最低的方案是最优的。本例中点1、2、3构成了帕累托前沿,管理者应当从这3种方案中进行决策是最为合理的。从图2可以看出,在每一种工期对应的方案集中,都存在一

些组合只会引起成本上升而不会使工期缩短,这样的方案称为冗余方案。如果能找到这些冗余方案并把他们删除,也就是找出每种工期方案集中成本最低的那个,那么整个线性工程的工期成本决策空间就会缩小很多。

四、冗余方案和优化思想

在线性计划中,考查一个活动与相邻活动的生产率之间的关系会发现活动之间会存在以下一些基本结构:发散结构、收敛结构、松弹簧结构和紧弹簧结构,如图3所示。

图3(a)为发散结构,A、B、C三项活动的斜率关系为 $S_A \leq S_B \leq S_C$ (注:生产率与斜率成反比关系),活动A与B、B与C之间的最小时间间隔均发生在开始里程处,在这种情况下,活动B的斜率就有一个可变的范围,如图3(a)中灰色区域所示,在这一区域内改变活动B的斜率(生产率)不会使总工期改变。例如B、 B_1 和 B_2 分别表示了三种可供选择的生产率方案,那么在A和C斜率固定的情况下,选择 B_1 方案会使总成本最低。在

这种情况下,B和 B_2 的生产率方案实际上就成为了冗余方案应当剔除,以防止在与后面的活动继续叠加时产生更多的冗余方案。

图3(b)为收敛结构,A、B、C三项活动的斜率关系为 $S_A \geq S_B \geq S_C$,活动A与B、B与C之间的最小时间间隔均发生在结束里程处,在这种情况下,活动B的斜率也有一个可变的范围,如图中灰色区域,在这一区域内改变活动B的斜率同样不会使总工期改变,选择接近A的斜率更有利于成本的降低。

图3(c)为松弹簧结构,在这种情况下,A、B、C三项活之间的斜率关系表现为 $S_A \geq S_B \leq S_C$,活动B的前端与A的时间间隔大于 LT_{AB} ,后端与紧后活动C的时间间隔大于 LT_{BC} 。在这种情况下,活动B的斜率的任何改变都会使计划工期改变。但有意思的是,B的斜率的提高在导致总工期缩短的同时使成本减少。例如,图3(c)中,活动B的斜率由B变为 B_1 ,此时,斜率增大的同时,工期还会缩短 ΔT ,因此,这两种方案进行对比时,B方案为冗余方案应剔除。

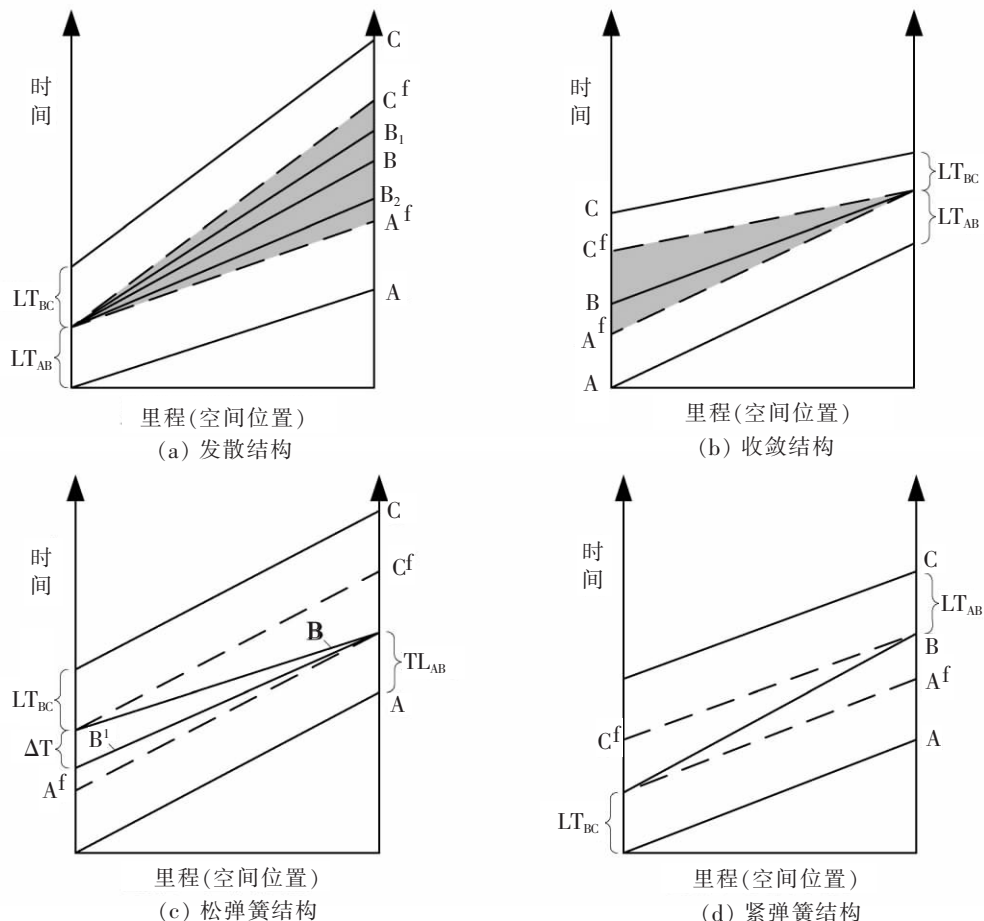


图3 生产率关系组合图

图 3(d)为紧弹簧结构,在这种情况下,A、B、C 三项活之间的斜率关系表现为 $S_A \leq S_B \geq S_C$,活动 B 斜率的任何改变都会使计划工期改变,但与松弹簧结构相比,B 活动的斜率增大在使成本降低的同时会使工期变长,斜率减小会使工期变短但成本增加,故对这种生产率的组合结构应在方案比较中进行保留。

基于以上对线性活动基本结构的分析,可以看出在线性结构组合方案中存在着大量冗余结构,这些结构只会使成本增加但却不会使工期变短,尽早发现这些冗余结构并把他们进行剔除,会大大的缩减线性工程工期成本组合优化的工作量。整个线性工程的计划可以看作是一个由各项活动基于时间的一个累加的过程,因此,可以考虑逐步累加优化的策略,即在每次增加一项活动的生产率结构时,判断是否为冗余结构,如为冗余结构,则立即进行剔除,以避免这种冗余结构的组合放大,确保当前的状态为各种工期方案中的最优状态。

五、优化步骤

(一) 初始组合优化

活动 A 和 B 的生产率初始组合方案如矩阵(7)所示。删除其中的冗余方案后,组合方案由 9 个变为 5 个,矩阵(7)中划线的方案表示应被删除的冗余方案。

$$\begin{bmatrix} A & B \\ 5/1515 & 10/1515 \\ 7/1515 & 10/1515 \\ 15/1515 & 10/1515 \\ 5/1515 & 12/1515 \\ 7/1515 & 12/1515 \\ 15/1515 & 12/1515 \\ 5/1515 & 15/1515 \\ 7/1515 & 15/1515 \\ 15/1515 & 15/1515 \end{bmatrix} \quad (7)$$

(二) 活动依次叠加

叠加活动 C 的生产率方案,此时组合数为 15 个,删除冗余结构后剩余方案为 8 个。如矩阵(8)所示。

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ 7/1515 & 10/1515 & 8/1515 \\ 15/1515 & 10/1515 & 8/1515 \\ 7/1515 & 12/1515 & 8/1515 \\ 15/1515 & 12/1515 & 8/1515 \\ 15/1515 & 15/1515 & 8/1515 \\ 7/1515 & 10/1515 & 10/1515 \\ 15/1515 & 10/1515 & 10/1515 \\ 7/1515 & 12/1515 & 10/1515 \\ 15/1515 & 12/1515 & 10/1515 \\ 15/1515 & 15/1515 & 10/1515 \\ 7/1515 & 10/1515 & 13/1515 \\ 15/1515 & 10/1515 & 13/1515 \\ 7/1515 & 12/1515 & 13/1515 \\ 15/1515 & 12/1515 & 13/1515 \\ 15/1515 & 15/1515 & 13/1515 \end{bmatrix} \quad (8)$$

叠加活动 D,计算各方案的工期和累计成本。由于活动 D 的斜率固定,因此其形状对后续活动的影响是一样的,因此可删除同工期情况下成本高的冗余方案和工期长但成本却比工期短的方案成本还高的方案。经过删除后仅剩余 3 个最优组合方案,如矩阵(9)所示。

$$\begin{bmatrix} A & B & C & C & D & \text{工期} \\ 7/1515 & 10/1515 & 8/1515 & 13/1515 & 28 & 328610 \\ 7/1515 & 12/1515 & 8/1515 & 13/1515 & 30 & 318610 \\ 15/1515 & 15/1515 & 8/1515 & 13/1515 & 31 & 778050 \\ 7/1515 & 10/1515 & 10/1515 & 13/1515 & 26 & 819580 \\ 7/1515 & 12/1515 & 10/1515 & 13/1515 & 28 & 807780 \\ 15/1515 & 15/1515 & 10/1515 & 13/1515 & 29 & 786720 \\ 7/1515 & 12/1515 & 13/1515 & 13/1515 & 26 & 798760 \\ 15/1515 & 15/1515 & 13/1515 & 13/1515 & 28 & 769030 \end{bmatrix} \quad (9)$$

叠加活动 E 和 F。考虑到活动 F 斜率固定,固可以和 E 活动一起与前面的方案组合叠加,可能的组合方案有 15 个,如表 1 所示。在删完冗余方案后,剩余的最终方案有 3 个,工期分别为 31 d、33 d、35 d,与之前用 matlab 枚举计算的结果完全一致。

六、结论

提出了一种新的线性工程工期成本组合优化问题求解方法,通过该方法可识别判断线性活动产生率之间所存在的冗余结构,并及早删除相应的冗余方案,从而能够快速缩小优化问题的求解空间,快速求得问题的帕累托前沿。对一个小型公路工程的计算应用证明了该方法的正确性和可行性,即使不借助计算机,采用手工计算的方法也可以快速找到最佳的工期成本组合方案备选集

合。使用该方法可帮助项目管理人员对线性工程
项目中各项活动的生产效率进行科学决策,避免

盲目提高活动的生产率以及活动之间生产率不协
调等的情况出现,对节约项目成本亦有指导意义。

表 1 最终工期成本组合方案

A	B	C	D	E	F	工期/d	成本/元
15/1 515	15/1 515	8/1 515	13/1 515	5/1 515	3/1 515		
15/1 515	15/1 515	8/1 515	13/1 515	8/1 515	3/1 515		
15/1 515	15/1 515	8/1 515	13/1 515	10/1 515	3/1 515		
15/1 515	15/1 515	8/1 515	13/1 515	13/1 515	3/1 515	36	2 638 630
15/1 515	15/1 515	8/1 515	13/1 515	15/1 515	3/1 515	38	2 608 820
7/1 515	12/1 515	13/1 515	13/1 515	5/1 515	3/1 515		
7/1 515	12/1 515	13/1 515	13/1 515	8/1 515	3/1 515		
7/1 515	12/1 515	13/1 515	13/1 515	10/1 515	3/1 515		
7/1 515	12/1 515	13/1 515	13/1 515	13/1 515	3/1 515	31	2 659 340
7/1 515	12/1 515	13/1 515	13/1 515	15/1 515	3/1 515	33	2 629 530
15/1 515	15/1 515	13/1 515	13/1 515	5/1 515	3/1 515		
15/1 515	15/1 515	13/1 515	13/1 515	8/1 515	3/1 515		
15/1 515	15/1 515	13/1 515	13/1 515	10/1 515	3/1 515		
15/1 515	15/1 515	13/1 515	13/1 515	13/1 515	3/1 515	33	2 629 610
15/1 515	15/1 515	13/1 515	13/1 515	15/1 515	3/1 515	35	2 599 800

参考文献:

[1]Stradal O, Cacha J. Time space scheduling method [J]. Journal of the Construction Division. 1982, 108 (3): 445-457.

[2]Reda R M. RPM; Repetitive project modeling [J]. Journal of Construction Engineering & Management, 1990(2):316-330.

[3]Harris R B, Ioannou P G. Scheduling projects with repeating activities[J]. Journal of Construction Engineering & Management, 1998, 124(4):269-278.

[4]Arditi D, Tokdemir O B, Suh K. Challenges in Line-of-Balance Scheduling. [J]. Journal of Construction Engineering & Management. 2002, 128(6):545-556.

[5]Harmelink D J, Rowings J E. Linear scheduling model; Development of controlling activity path. [J]. Journal of Construction Engineering & Management. 1998, 124(4):263-268.

[6]Lucko G. Productivity scheduling method compared to linear and repetitive project scheduling methods[J]. Journal of Construction Engineering and Management-Asce. 2008, 134(9): 711-720.

[7]Fan S, Sun K, Wang Y. GA optimization model for repetitive projects with soft logic[J]. Automation in Construction. 2012, 21(25): 253-261.

[8]Agrama F A E. Linear projects scheduling using spreadsheets features [J]. Alexandria Engineering Journal. 2011, 50(2): 179-185.

[9]Duffy G, Woldesenbet A, Jeong D H S, et al. Advanced linear scheduling program with varying production rates for pipeline construction projects[J]. Automation in Construction. 2012, 27(3): 99-110.

[10]Yamin R A, Harmelink D J. Comparison of linear scheduling model (LSM) and critical path method (CPM)[J]. Journal of Construction Engineering and Management. 2001, 127(5): 374-381.

[11]Mattila K G, Abraham D M. Resource Leveling of Linear Schedules Using Integer Linear Programming [J]. Journal of Construction Engineering and Management. 1998, 124(3):232-244.

[12]Lucko G. Integrating Efficient Resource Optimization and Linear Schedule Analysis with Singularity Functions[J]. Journal of Construction Engineering and Management-Asce. 2011, 137(1): 45-55.

(下转第 22 页)

- 决定[N]. 人民日报, 2013-11-16(01).
- [9] 中国行政管理学会, 环境保护部宣传教育司. 以绿色新政推动科学发展[N]. 中国环境报, 2010-02-24(02).
- [10] 燕继荣. 服务型政府建设: 政府再造七项战略[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2009: 229.
- [11] 范钰婷, 李明忠. 低碳经济与我国发展模式的转型[J]. 上海经济研究, 2010(02): 30-35.
- [12] 张来春. 西方国家绿色新政及对中国的启示[N]. 中国发展观察, 2010-1-11(3).
- [13] 李忠东. 后危机时期的“绿色”蓝图[J]. 环球, 2009(12): 36.

Research on Promotion Strategy for the “Green New Deal” Based on the “Three-Circle” Theory

LI Yu-ming

(Public Management Department, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: The 18th National Congress of the Communist Party of China (CPC) put forward a long-term strategy for the construction of ecological civilization which can be described as “The ecological civilization construction should be placed in a prominent position to build China into a beautiful country and gain a lasting and sustainable development through making great efforts to carry out green development, circular development and low-carbon development.” Moreover, leadership of CPC central committee pointed out repeatedly that we should seize the development opportunity in the era of low carbon to promote the “Green New Deal” and develop green economy. The value, capacity and support of the “Green New Deal” were analyzed based on the “three-circle” theory, a development planning on the factors of the “three-circle” for carrying out the “Green New Deal” in China was constructed by using scenario analysis method, an axle with five strategies model taking evaluation, strengthening, collaboration, breaking out and sustainability as cores was proposed to promote the rotation of “Green New Deal” of the government in China.

Key words: green new deal; three-circle theory; scenario analysis; an axle with five strategies model; promotion strategy

(上接第 16 页)

Research on Time-cost Optimization Method of Linear Construction Project

LI Ming¹, LI Qian-jin¹, DENG Hai²

(1. School of Economics and Management, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: The discrete time-cost combinational optimization is a classical problem in construction project management, but there are few researches have been done on time-cost optimization of linear construction project. A new time-cost combinational optimization method was put forward on the basis of linear scheduling model. By using this method, the optimal Pareto solution set can be determined exactly and quickly from multitudinous possible combinational schedules to help project managers make an effective decision on time-cost optimization. The application of the method to a highway project case shows that this method has high problem-solving efficiency, so it can narrow the solution space of the optimization problem quickly, and get the optimal time-cost combination solution in the end.

Key words: linear construction project; time-cost; combinational optimization; productivity