

优化工程进度的新方法

TU 721.3.
TU 722

119
99-105

吴学伟

(重庆建筑大学管理工程学院 400045)

摘要 紧紧围绕工程项目管理最重要的任务——工程进度展开,探讨如何优化网络进度。当前,制定网络进度计划虽然同时考虑了项目的资源供应、费用和气候等因素,然而,对进度计划优化时仅考虑了一个因素,其实际意义不大。本文用系统的观点,定量分析了以上影响工程进度的几个因素,提出了同时考虑以上因素的优化方法,建立多因素关系式,提出最低费用(项目最大经济效益)的数学模型。

关键词 进度、优化

工程进度,新方法,网络计划,进度控制

中图分类号 TU 722

在工程建设中,进度控制对一个项目的成功起着举足轻重的作用。事实上,工程进度控制包括四个阶段:制定网络进度计划、优化网络进度计划、跟踪和调整进度计划。其中,优化网络进度计划在工程管理中占有重要地位,但是,由于没有有效的方法,进度计划优化不能发挥其重要作用。当然,在实际工作中,存在一些优化方法,如费用优化、资源优化、工期优化。然而这些优化方法都只针对项目的一个因素。实际上,当总工期基本确定(已初步形成进度计划)后,对工程项目进度的优化需要考虑许多因素,因为工程项目的经济效益与许多因素紧密相关。例如,投资者希望缩短工期,减少投资的利息支出;或为减少不利气候影响工程进度的费用而提供充足的资源,确保项目早日投产赢利。同时,如果一个项目包括几个分项,例如一条高速公路的建设,可能包含几段路和几孔桥等分项,每个分项由相应的人员在限定的时间内负责完成。对于这类项目,项目管理人员不能只管理一个分项,而应同时管理几个分项。然而,同时管理几个有资源和进度冲突的分项是比较困难的。所以,整个项目的进度计划和对进度计划的优化显得十分必要。

为了管理包含几个分项的项目,项目管理者需制定一个总进度计划,计划包括所有的分项(这些分项可能相关或不相关)。为了达到整个项目的最优经济效益,同时考虑几个因素对进度优化是必要的。由于项目进度优化是在进度计划的基础上进行,因而,有一些因素是可以大致确定。进度优化即在这些一定的约束条件下进行,这些条件包括:项目总工期、分项的数目、每个分项所需的资源量、投资额和工期的大致确定。应该看到,没有一种优化方法能够在任何条件下对任何一个项目的进度计划优化,所有优化都在一定条件下,考虑主要因素进行的。因此,本文在项目工期初步确定的基础上(已制定基本的进度计划),提出同时

收稿日期:1996-12-02

吴学伟,男,1972年生,助教

考虑资源供应、资金分配和气候影响等因素,优化整个项目进度的方法,以期使项目达到最优的经济效益。

1 影响工程进度的因素和它们之间的关系模式

1.1 进度和资金分配的关系

显而易见,不同的进度计划将导致不同的资金占用。因此,优化项目进度时,必须考虑合理的资金分配。由于资金具有时间价值,因此,项目最后的总费用由于利息的存在可能发生变化。当项目的总工期确定后,项目总投资额随资金占用时间的延长而增加,项目总投资额的终值可用下式表示:

$$f = \sum_{j=1}^n Q_j (1+d)^{n-j+1} \quad (1)$$

式中, n 为工程的总工期; d 为月利率; Q_j 为第 j 月的投入资金(以下变量同意不另说明)。

如果第 j 月的投入资金为 Q_j , 项目总投资额为 $\sum_{j=1}^n Q_j$, 利息为

$$\Delta C_1 = \sum_{j=1}^n Q_j (1+d)^{n-j+1} - \sum_{j=1}^n Q_j = \sum_{j=1}^n Q_j [(1+d)^{n-j+1} - 1] \quad (2)$$

$$Q_j = \sum_i^N q_i' X_{ij}$$

式中, ΔC_1 为实际投资额的变化量; q_i' 为分项 i 的每月投资额。

事实上,每月在分项目的支出是不均衡的,考虑下述原因,假定每个分项的支出(投资)是均衡的。

- 1) 项目管理人员希望支出尽可能均衡;
- 2) 虽然每个月的支出不均衡,这种情形对整个项目的总投资影响不大;

因而可用 q_i/m_i 表示 q_i' , 其中 q_i 为分项 i 的投资额; m_i 为分项 i 的工期。这样 $Q_j = \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{m_i} X_{ij}$,

其中 N 为工程项目包括的分项数目; X_{ij} 为分项 i 在第 j 月的进展情况变量, $X_{ij} = 0$ 表示第 j 月未进行分项, $X_{ij} = 1$ 表示第 j 月进行分项。

上述式子表示由于利息的存在,实际投资额的变化量 ΔC_1 。 ΔC_1 主要与每月资金投入量 Q_j 有关,而 Q_j 与项目总工期有关。因此,考虑资金的时间价值,为了尽量减少 ΔC_1 ,项目管理人员可能在项目结束阶段投入较多资金,即尽可能将分项放到项目结束阶段进行。

1.2 进度和资源供应关系

工程项目要求提供劳动力、材料和设备等资源,不同的进度计划导致不同的资源要求。最理想的资源供应是每单位时间内提供相同的资源,即当项目总工期基本确定后,项目管理者希望资源供应尽可能均衡。不均衡的资源供应将引起临时设施、存储费用等费用的增加,将直接影响项目的经济效益。资源供应不均衡引起的费用与供应不均衡系数有关,可表示为:

$$\Delta C_2 = F(\mu)$$

$$F(\mu) = \sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\gamma_j - \gamma)^2 \quad (3)$$

即每单位时间的资源供应量与平均供应量的方差。式中, ΔC_2 为资源供应不均衡引起的费用; $F(\mu)$ 为资源供应不均衡增加的费用; σ^2 为不均衡度; γ_j 为第 j 月资源供应量, $\gamma_j = \frac{R_i}{m_i} X_{ij}$, R_i 为分项 i 在时间 m_i 内的资源供应量; $\gamma = \frac{1}{n} R_i$ 为 i 分项的资源平均供应量。如果有 N 个分项 ($i = 1, 2, \dots, N$), 第 j 月总的资源供应量为 $\gamma_j = \sum_{i=1}^N \frac{R_i}{m_i} X_{ij}$, $\gamma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N R_i$ 。

所以

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{R_{ik}}{m_i} X_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N R_{ik} \right)^2 \quad (4)$$

式中, σ_k^2 为第 k 种资源的不均衡度; R_{ik} 为分项 i 的第 k 种资源供应量。

如果用 A_k 表示资源供应费用系数, 则由资源供应不均衡引起的额外费用可表示为:

$$\Delta C_2 = \sum_{k=1}^m A_k \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{R_{ik}}{m_i} X_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N R_{ik} \right)^2 \right] \quad (5)$$

1.3 进度与气候的关系

气候在进度计划优化中是一个需要考虑的重要因素, 项目管理者尽量避开影响进度的恶劣气候。

实际的事例已经证明在恶劣的气候条件下施工, 将引起费用增加, 这些费用包括增加的材料、劳动力、设备等费用、管理费及其它费用。

为了确定这些费用, 需要考虑一个参数, 这个参数须代表温度、湿度、风力和雨雪等对项目进度的影响。可用每月平均恶劣天气造成停工的天数表示。相应的停工系数可表示为:

$$\beta_{ij} = \frac{r_{ij}' - r}{r_{ij}'} \quad (0 \leq \beta_{ij} \leq 1) \quad (6)$$

式中: β_{ij} 为恶劣气候条件下停工系数; r_{ij} 为第 i 分项在第 j 月由于气候影响停工天数; r_{ij}' : 第 i 分项在第 j 月预计工作天数。

在恶劣气候条件下施工, 要求采取特殊措施, 这将增加支出。因此, 项目管理者尽量在好的气候条件下, 让项目进展快一点而减少费用的支出。第 i 分项在第 j 月的支出为(考虑气候影响) $\beta_{ij} \frac{q_i}{m_i} X_{ij}$, 恶劣气候影响下第 i 分项第 j 月增加的支出可表示为:

$$\beta_{ij} \frac{q_i}{m_i} X_{ij} - \frac{q_i}{m_i} X_{ij} \quad (7)$$

项目在恶劣气候影响下总增加的费用可表示为:

$$\Delta C_3 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N \beta_{ij}' (1 - \beta_{ij}) \frac{q_i}{m_i} X_{ij} \quad (8)$$

式中, ΔC_3 为恶劣气候影响下增加的费用。

2 数学模型的建立

2.1 假定

如前所述,项目总进度计划优化需要同时考虑:资源供应、资金分配和气候等主要因素。应该看到,不同的进度计划导致不同的资金分配、资源供应和工效;为了减少利息,施工活动尽量在项目结束阶段进行;为了确保资源供应均衡,施工活动应尽量均衡;为了确保高工效,大量的施工活动尽可能在好的天气进行。这样看来,项目进度的优化似乎是多目标问题,实际上,所有问题都围绕一个目标——费用(尽量减少整个项目费用支出)。这样问题由多目标转化为一个目标。因为,寻找合理的资源分配是为了减少利息(ΔC_1);要求均衡的资源供应和避免恶劣气候施工是为了减少额外费用(ΔC_2 和 ΔC_3)支出。基于以上分析,可建立一个数学模型,求解最优的进度计划。在建立模型前,提出下列前提:

- 1) 项目需预先确定投资额和大致的工期(几个月);
- 2) 项目所包括的分项数可以确定;
- 3) 大致确定每个分项的投资额和所需时间;
- 4) 项目的初步进度计划已完成;
- 5) 大致确定每个分项的资源供应量;
- 6) 资源供应不均衡引起的费用与资源供应不均衡度成反比关系;
- 7) 恶劣气候增加的费用与恶劣气候发生率成正比关系。

2.2 $N \times n$ 矩阵

在建立数学模型前,需建立一组元素表,每个元素都与项目总工期有关。如前所述,项目分项的数目为 $N(i=1, 2, \dots, N)$,工期为 n 月($j=1, 2, \dots, n$),相应建立元素组 X_{ij} ($i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, n$)。其中 X_{ij} 为分项 i 在第 j 月的进展情况变量, $X_{ij}=0$ 表示第 j 月未进行 i 分项, $X_{ij}=1$ 表示第 j 月进行 i 分项。

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1j} & X_{1n} \\ \vdots & & & & \vdots \\ X_{N1} & X_{N2} & \cdots & X_{Nj} & X_{Nn} \end{bmatrix}$$

每个元素与进度有一一对应关系。如 $X_{11}=X_{12}=X_{13}=X_{14}=X_{15}=X_{16}=X_{17}=X_{18}=X_{19}=1$,表示第1个分项从第1月开始,直到第9月结束。这样,假如项目总工期为13月,则 $X_{110}=X_{111}=X_{112}=X_{113}=0$ 。利用 $N \times n$ 矩阵,可用的值 $X_{ij}(0, 1)$ 改变的方法来表示项目进度的安排。

2.3 建立目标函数

由前面的讨论知道,问题最后将转到确定每个分项的开工时间,而总的目标是寻找项目最优的经济效益即最低的费用。项目的费用一般包括:利息 F_1 、资源供应不均衡引起的额外费用 F_2 、恶劣气候引起的额外费用 F_3 、每个分项的投资额 F_4 、其它间接费或不可预见费 F_5 。即 $F_i = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$

$$\text{目标函数为 } \min F_i = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 \quad (9)$$

其中 $F_4 = \sum_{i=1}^n q_i$

由于 F_3 很少,可忽略,上式可表示为

$$F_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \tag{10}$$

而 $F_1 = \Delta C_1, F_2 = \Delta C_2, F_3 = \Delta C_3$ 。

所以

$$\begin{aligned} \min F = & \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{m_i} X_{ij} \right) (1+d)^{n-j+1} + \sum_{k=1}^M A_k * \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{R_{ik}}{m_i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N R_{ik} \right)^2 \right] \\ & + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N \left(\varphi_{ij} \frac{q_i}{m_i} X_{ij} \right) \end{aligned} \tag{11}$$

限制条件

$$\begin{cases} ES_i \leq X_i \leq LS_i \\ \lambda_{ij} = 1 \quad j \in [X_i, X_i + m_i] \quad i = 1, 2, \dots, n \\ X_{ij} = 0 \quad \text{其它} \\ X_i \geq 1 \end{cases}$$

式中, $\varphi_{ij} = B_{ij} \cdot (1 - \beta_{ij})$, B_{ij} 为与气候有关费用系数(统计数据)。

3 结 论

从目标函数看出,问题转化为求解一组 X_i 即各分项的最优开工时间。从限制条件看出 X_i 必须在 ES_i 和 LS_i 之间,这意味着的目标函数的解的个数是有限的,可采用试算的方法获得解(X_i 的取值和 F_i 的计算可分别进行)。最后的结果将得到 X_{ij} 系列元素和 F_i 的值,进而依 X_{ij} 的值确定项目的进度。

4 案 例

这是一个以上述模型为依据,借助计算机求解的实例。该工程为一热电厂,包含十七个分项,总工期为 38 月,数据如表 1 所示:

结合上表数据,确定模型参数:

开工时间	94.3
分项数	17
工期	38
资源种类	1
资源费用系数	$A_k = 0.016$
与气候有关费用系数	$B_{ij} = 0.051$

$$\beta_{1j} = \beta_{2j} = \dots = \beta_{ij} = \beta$$

$$\beta = \left\{ \begin{array}{l} 0.6, 0.6, 0.8, 0.9, 0.9, 0.8, 0.7, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.0, 0.6, 0.6, 0.8, \\ 0.9, 0.9, 0.8, 0.7, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.0, 0.6, 0.6, 0.8, 0.9, 0.9, \\ 0.8, 0.7, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.0, 0.6, 0.6 \end{array} \right\}$$

本文的主要目标是探讨一种新的优化工期的方法,以便更适合工程实际需要。在工程实际中需要一些新的方法,特别是新的优化方法。本文主要是提供一种工程优化的数学模型,为了更合适工程实际需要,还有许多工作要做,以便完善该模型。

附变量说明: q_i :分项*i*的投资额; q_i :分项*i*的每月投资额; m_i :分项*i*的工期; N :工程包括的分项数目; n :工程的总工期; X_{ij} :分项*i*在第*j*月的进展情况变量, $X_{ij}=0$ 表示第*j*月未进行*i*分项, $X_{ij}=1$ 表示第*j*月进行*i*分项; R_i :分项*i*在时间 m_i 内的资源供应量; γ_j :第*j*月资源供应量; γ :资源平均供应量; R_k :分项*i*的第*k*种资源供应量; A_k :资源供应费用系数; $F(\mu)$:资源供应不均衡增加的费用; σ^2 :不均衡度; σ_k^2 :第*k*种资源的不均衡度; M :资源种类; r_{ij} :第*i*分项在第*j*月由于气候影响停工天数; r'_i :第*i*分项在第*j*月预计工作天数; B_{ij} :与气候有关的费用系数。

New Means For Optimization of Construction Schedule

Wu Xuewei

(Faculty of Management Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045)

Abstract This paper is concerned with one of the most important tasks in construction management construction schedule. With a view of systematization, this paper first analyzes quantitatively the factors that influence the overall construction schedule. A mathematical model with the best economic benefits (the lowest construction cost) is established.

Key Words construction schedule, optimization

(编辑:陈蓉)

(上接 77 页)

circle rebar $\varnothing 12$ and $\varnothing 8$ in diameter and $\varnothing 24$ pieces of high strength carbon steel wire $\varnothing 5$ in diameter are tested on mechanical behaviors under high temperature. The laws of variation of mechanical behaviors with the temperature are investigated for prestressed steel and non-prestressed steel. The conclusions obtained in this paper are significant for research of the loading capacity of reinforced concrete members under the condition of fire catastrophe.

Key Words prestressed steel, non-prestressed steel, high temperature, mechanical behavior

(编辑:刘家凯)