

文章编号: 1005-0523(2004)02-0010-04

工程网络计划中的多目标优化问题

周树发, 刘 莉

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:提出的方法是网络计划多目标优化问题,即按照用户或业主的综合要求,对于工程的质量、工期、成本、资源的均衡等多个目标都进行适当的考虑,建立多目标规划模型,利用网络计划软件和目标规划计算软件,对网络进行优化,从而使工程网络计划达到总体最优.本文主要介绍多目标规划模型的建立和部分解题的方法.

关键词:网络计划;网络优化;多目标规划;工期优化;资源均衡;决策变量;偏差变量

中图分类号:F240

文献标识码:A

0 引言

只凭一项工程的初步方案和粗估的每道工序的持续时间而编制出的工程网络计划,在它付诸实施之前,都要经过细心的优化,最终指导工程实践才能体出它的总体优势.按照过去传统,一般只进行工期优化,或者在满足工期要求的情况下再进行工期-成本的优化.因此关于工程的质量,工程的成本,工程使用资源的均衡(这里所说的资源,主要指人力、物力、财力等,这些资源的均衡也是节约工程成本最有效的方法之一)在网络计划编制过程中,只能暂且搁置一边,或者再单独地、孤立地去考虑某个的问题.我们称这种方法叫单目标优化.这种方法往往满足不了用户或业主的综合要求,或者说网络计划达不到总体的最优.

本文提出的方法是网络计划的多目标优化问题,即按照用户或业主的综合要求,对于工程的质量、工期、成本、资源的均衡等多个目标都进行适当的考虑,建立多目标规划模型,利用网络计划软件和目标规划计算软件,对网络进行优化,从而使工程网络计划达到总体最优.

由此,本文从传统的单目标优化开始,分别建

立工期、质量、成本、资源均衡四个优化模型,然后再将这四个模型组合成多目标的规划模型,最后就部分模型简单介绍其解题的部骤.

1 工期优化模型

$$T_{cot} \leq T_{plan}$$

T_{cot} —通过网络的工期优化所得的计算工期.

T_{plan} —用户或业主所要求的工期.

工期优化的设定条件是:

- 1) 已知某项工程是由若干道工序组成.
- 2) 已知每道工序的正常持续时间和最短的持续时间,分别用 nt_{ij} 和 ct_{ij} 表示.
- 3) 已知由正常持续时间到最短的持续时间费用增加的变化率,用 r_{ij} 表示(即每压缩一个单位时间所需的费用).

工期优化的步骤是:

- 1) 调用网络计划软件(本文作者已编制好的网络计划软件)附编相应的使用程序.
- 2) 初始阶段,先输入每道工序正常的持续时间(即令 $t_{ij} = nt_{ij}$),通过计算,确定总工期和关键工序的组合.
- 3) 在关键工序集合中,寻找费用变化率最小

收稿日期:2003-09-16

作者简介:周树发(1948),男,江西永新人,华东交通大学教授.

者,作为被压缩的工序,每次只压一个单位时间(已至最短的持续时间,不能选作压缩的对象).并令 $t_{ij} = t_{ij} - 1$.

4) 以修改后的 t_{ij} 重新计算网络,确定的新的关键工序组合,计算 T_{cot} .

5) 判断 $T_{cot} \leq T_{plan}$,是,则工期优化结束;否则,转第 3 步.

2 质量模型

$$Q_{cot} = Q_{plan}$$

Q_{cot} —质量量化后所得的计算值

Q_{plan} —计划的质量值

$$\text{又: } Q_{cot} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m q_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [1 - \gamma_{ij}(tn_{ij} - t_{ij})]$$

m —某工程的工序数

q_{ij} — ij 工序的质量值

tn_{ij} — ij 工序的正常持续时间

t_{ij} — ij 工序的当前持续时间

γ_{ij} — ij 工序由于赶工的质量降低变化率

$$\gamma_{ij} = \frac{1 - qc_{ij}}{rn_{ij} - t_{ij}}$$

qc_{ij} — ij 工序用最短的持续时间的质量值

tc_{ij} — ij 工序的最短持续时间

质量量化的假设条件:

1) 除工序的持续时间发生变化以外,其它的施工因素(如材料、使用机械等)条件不变.

2) 假定在正常的持续时间条件下,工作的质量能保证,其量化值为 1,则小于正常持续时间下的工作质量为小于 1 大于 0 的百分数.

3 费用模型

$$C_{cot} \leq C_{plan}$$

C_{cot} —工程费用计算值

C_{plan} —工程费用的计划值

$$\text{又: } C_{cot} = \sum_{i=1}^m [cn_{ij} + \beta_{ij}(tn_{ij} - t_{ij})] + \alpha_1(T_{plan} - T_{cot}) + \alpha_2 T_{cot}$$

cn_{ij} — ij 工序在正常持续时间下的直接成本

β_{ij} — ij 工序的持续时间压缩时的费用增加变化率

α_1 —计算工期超过或小于计划工期的奖罚系数

α_2 —与计算工期有关的间接费系数(每单位时间的间接费用)

4 资源均衡模型

$$\delta_{cot}^2 \leq \delta_{plan}^2$$

δ_{cot}^2 —整体资源均衡程度计算值

δ_{plan}^2 —整体资源均衡程度计划值

$$\text{又: } \delta_{cot}^2 = \frac{1}{T_{cot}} \sum_{t=1}^{T_{cot}} R_t^2 - R_m^2$$

R_t^2 —进度计划中 t 时刻所需资源总和的平方值

R_m^2 —进度计划中单位时刻所需平均资源的平方值

5 多目标规划模型

设定条件:

1) 用户或业主首先要确定目标,即:工期目标为 T_{plan} ,质量目标为 Q_{plan} ,成本目标为 C_{plan} ,资源均衡目标为 δ_{plan}^2 .

2) 用户或业主要对四个目标设定优先等级.

例如:若用户要求将工期放在第一位,而质量和成本放在第二位,但给质量权系数为 1.5.把资源的均衡放在第三位,则可建立如下多目标规划模型.

$$\begin{aligned} \min \{ & p_1 d_1^+, p_2 [1.5(d_2^- + d_2^+) + d_3^-], p_3 d_4^+ \} \\ \text{s.t. } & T_{cot} + d_1^- - d_1^+ = T_{plan} \\ & Q_{cot} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [1 - \gamma_{ij}(nt_{ij} - t_{ij})] + d_2^- - d_2^+ = Q_{plan} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} C_{cot} = \sum_{i=1}^m [& cn_{ij} + \beta_{ij}(tn_{ij} - t_{ij})] + \alpha_1(T_{plan} - T_{cot}) \\ & + \alpha_2 T_{cot} + d_3^- + d_3^+ = C_{plan} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\delta_{cot}^2 = \frac{1}{T_{cot}} \sum_{t=1}^{T_{cot}} R_t^2 - R_m^2 + d_4^- - d_4^+ = \delta_{plan}^2 \quad (4)$$

$$\text{同时: } ct_{ij} \leq t_{ij} n_{ij} \quad d^+ \quad d^- \geq 0$$

式中: $p_1 \quad p_2 \quad p_3$ 为优先等级标号

$d^+ \quad d^-$ 为正负偏差变量

需要说明的是:

1) 要使约束条件(1)和(4)得以满足,必须结合网络计划软件的运行来进行.

2) 约束条件(2)和(3)和完成函数 \min 组成的目标规划,决策变量是 t_{ij} ,它的个数小于等于 m ,以

及 $d_2^+, d_2^-, d_3^+, d_3^-$, 共有决策变量小于等于 $m+4$ 个. 而基本变量只有 2 个.

根据以上情况及设定的条件, 该多目标规划模型题解步骤简述如下:

- 1) 以 $t_{ij} = nt_{ij}$ 为初始方案, 进行网络计算, 计算工期 T_{cot} , 确定关键工序集合.
- 2) 判断 $T_{cot} \leq T_{plan}$, 是, 则转第(5)步.
- 3) 在关键工序集合中, 寻找 β_{ij} 最小者, 并将其值输入一个累加器, 令 $t_{ij} = t_{ij} - 1$, 如果 $t_{ij} = ct_{ij}$, 则令 β_{ij} 等于无穷大.
- 4) 输入新的 t_{ij} 值, 得新的时标网络及计算工期 T_{cot} , 确定新的关键工序集合, 转第(2)步.
- 5) 判断 $Q_{cot} > Q_{plan}$, 否则整个优化结束. 转第(8)步.
- 6) 在关键工序集合中, 寻找 β_{ij} 最小者, 并将其值输入一个累加器, 令 $t_{ij} = t_{ij} - 1$, 如果 $t_{ij} = ct_{ij}$, 则令 β_{ij} 等于无穷大.
- 7) 判断累加器的值是否小于 $(T_{plan} - T_{cot})(\alpha_1 + \alpha_2)$, 是则转第(5)步.
- 8) 进行工期固定资源的均衡优化, 在网络上逐个逐单位时间调整资源峰值所对应的非关键工序的开工时间, 判断资源 $\delta_{cot}^0 > \delta_{plan}^0$ 或 δ_{cot}^0 是否有下降的趋势, 是, 则继续调整, 否则, 停止该非关键工序

的调整, 直至所有其它非关键工序都判断可以停止调整为止. 资源均衡工期固定优化结束.

6 算例

某工程通过前期统计分析, 建立了如下初始表. 业主要求工程在 19 单位时间内(月)完成, 并且要求质量保证率在 95% 以上. 施工单位按照工期、质量、成本、资源均衡的原则, 根据本文所述模型及建立的计算机程序计算, 得出图 1、图 2 的结果; 工期为 19 个单位时间(月), 为赶工增加的最小成本为 13 个单位(万元). 质量保证率为 $((6+0.94+0.95+0.90)/9=0.98)$ 98% 满足业主要求和施工单位多目标的要求.

以上的解题方法只是用户和业主一种要求的解题方法, 通过以上求解, 从总体上基本能满足用户或业主要求. 其实根据用户或业主对工期、质量、成本和资源均衡等要求的优先程度不同, 可以有 24 种组合. 根据这 24 种组合可建立相应的 24 种多目标规划模型, 在计算程序上稍作改变有 24 种对应的解题方法. 这样经过优化编制出的工程网络计划就能适应不同用户或业主要求, 且在总体上基本能达到最优.

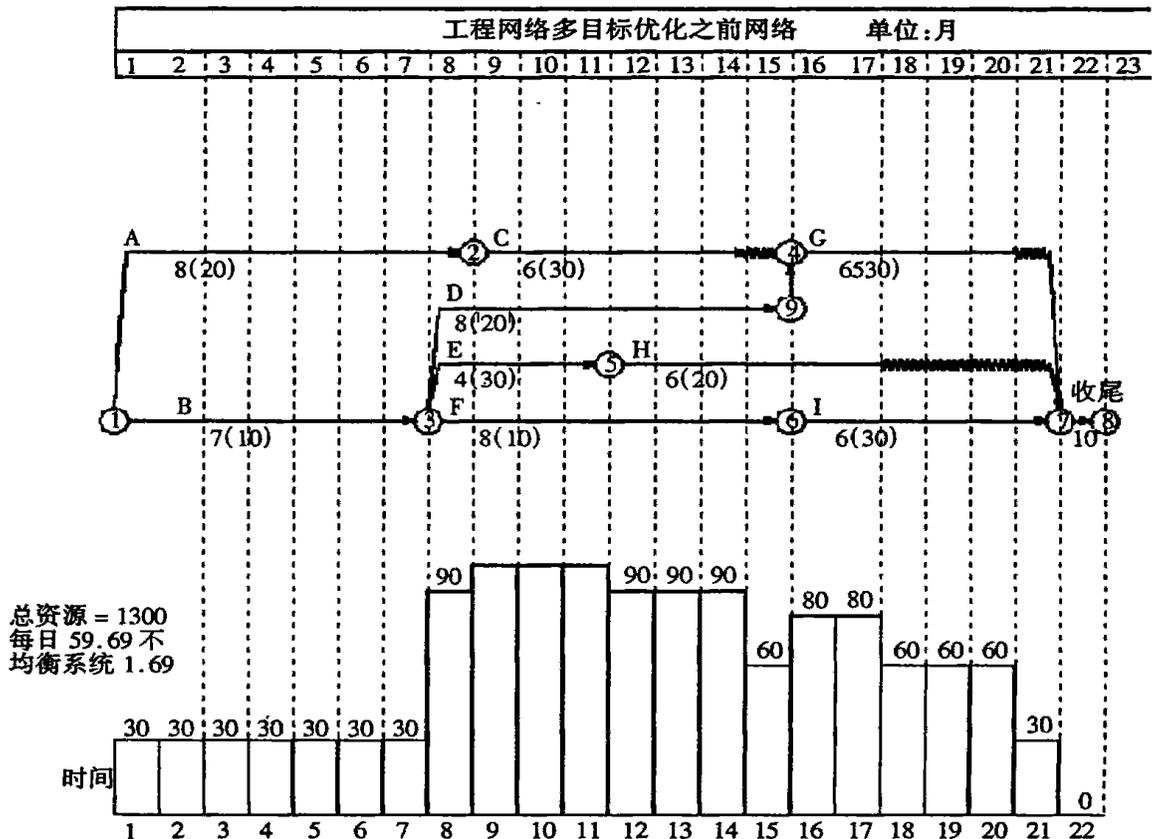


图 1 工程网络多目标优化之前网络

表1 工程前期初始数据统计分析表

| 工序名称 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | 收尾 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 正常持续时间 | 8 | 7 | 6 | 8 | 4 | 8 | 5 | 6 | 6 | 1 |
| 最短持续时间 | 4 | 4 | 3 | 5 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| 质量降低变化率 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | / |
| 成本增加变化率 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | / |
| 需要资源(工日) | 160 | 70 | 180 | 160 | 120 | 160 | 150 | 120 | 180 | / |
| 紧前工作 | / | / | A | B | B | B | C,D | E | F | G,H,I |

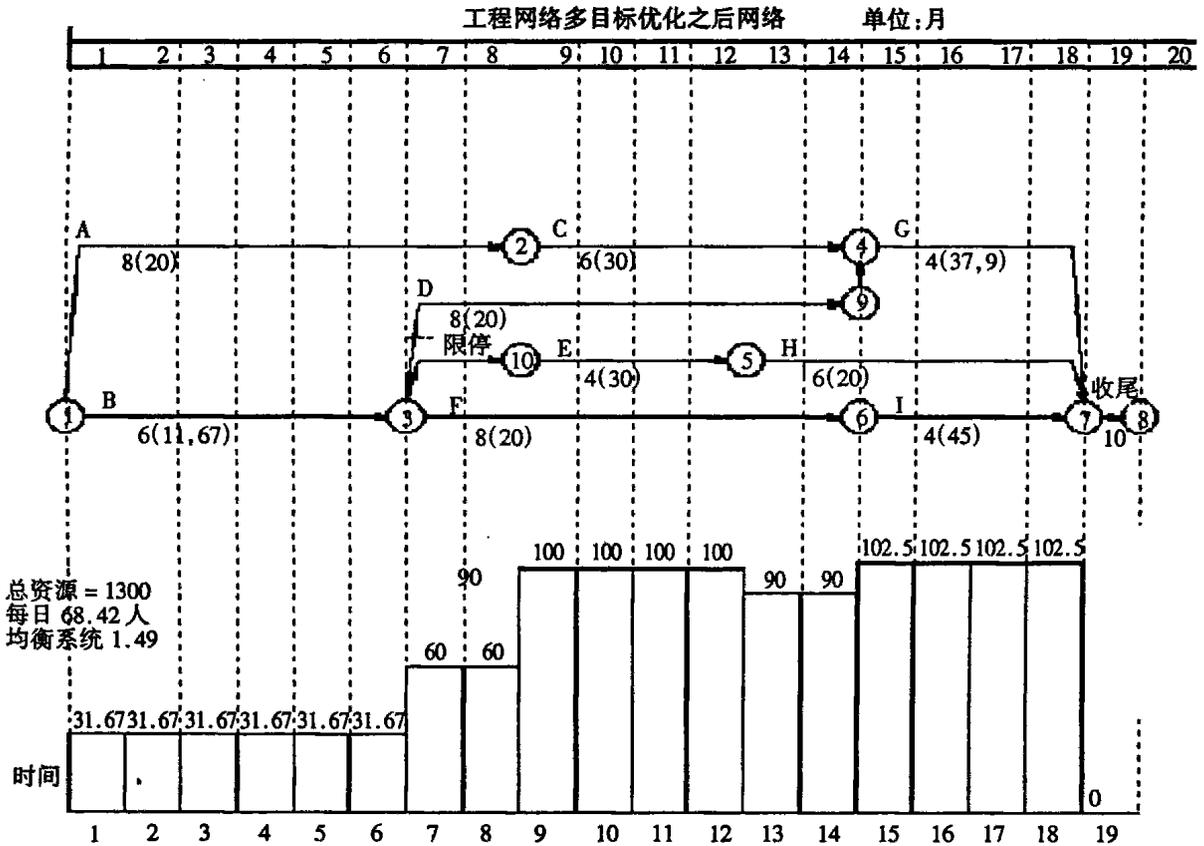


图2 工程网络多目标优化之后网络

参考文献:

[1] 谢尊渊. 建筑施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
 [2] 周树发. 建筑施工[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.

[3] 建筑施工手册编写组. 建筑施工手册[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
 [4] 马振华. 运筹学与最优化理论卷[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.

The Multi-goal Optimization Problem in Network Project

ZHOU Shu-fa, LIU Li

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, china)

Abstract: The article poses a new analysis method in construction network's multi-goal optimization. According to the integrative requirement of user or owner, it has taken a proper consideration about multi-goal such as construction quality, time, cost and resource smoothing. We have set up the multi-goal optimization model, then used network plan software and programming software to make network plan optimum as a whole. This article mainly introduces the establishment of multi-goal program model and parts of solution to the model.

Key words: network project; network optimization; multi-goal programming; resource smoothing; decided variable; deviation variable