

研究报告

基于遗传算法的工程项目投资综合优化探讨

陈耀明^{1,2}, 钟登华¹, 付金强¹

(1. 天津大学建工学院, 天津 300072; 2. 太原理工大学管理学院, 太原 030024)

[摘要] 利用多目标优化理论、多属性效用函数理论建立了工程建设项目工期、成本和质量的综合均衡优化模型, 在网络计划技术的基础上, 用遗传算法对模型进行求解, 可以得到最满意的决策方案和多个近似满意的备选方案, 作为工程建设项目投资综合控制的目标。并应用实例对模型的可行性和实用性进行了验证。

[关键词] 工程项目投资; 多属性效用函数; 遗传算法

[中图分类号] F224.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)07-0068-04

工程建设项目的总目标是使工期最短、成本最低、质量最优, 是互相关联的矛盾对立统一体^[1]。一般而言, 质量要求越高, 成本就会相应增加, 施工进度也会变慢; 而加快施工进度, 会增加施工成本, 降低质量水平; 如果考虑施工的间接成本, 进度与成本之间就不是一种简单的增减关系了, 当施工进度控制在某一界限范围内时, 加快施工进度, 有利于降低间接成本, 降低费用; 超越这一界限时, 加快施工进度反而会导致投入成本的增加; 工程投入成本的降低, 同样也会导致工程质量的降低。文献[2, 3]认为成本、工期和质量是评价建筑工程项目的主要指标。文献[4]认为工程项目施工进度加快, 会影响到工程的质量, 并建立了线性模型。从这些研究中可以看出, 在进行工程项目管理时, 片面地追求总目标中的任何一个都是不合理的。要实现工程建设项目的总目标, 在工程项目管理的整个过程中保持工期、成本和质量的均衡控制, 实现多目标要求下的最优化是非常重要的。为此, 在总结上述研究成果的基础上, 建立了工程建设项目优化控制的多目标、多属性效用函数模型。

1 数学模型的建立

根据多属性效用函数的定义, 分解和构造原

理^[5], 结合网络计划优化的特点, 设工程项目的工期为 T , 成本为 C , 工作 i 的持续时间为 T_i , 工作 i 的成本为 C_i , (指直接费用)。工程项目总成本为 $C = \sum_{i=1}^m C_i$ 。单项工作质量为 Q_i , 整个工程质量为

$$Q = \sum_{i=1}^m W_i Q_i, \quad \sum_{i=1}^m W_i = 1 \quad (1)$$

笔者只讨论各工作质量得分均为 60 分以上的工程。为了更准确地表示各个单项工作质量的严格程度, 可进行模糊语言变量划分, 如将 60~100 划分为合格、一般、良好、优良、优秀 5 个等级, 并建立各自的模糊隶属度函数。

一个工程是由多项工作组成的, 各项工作质量要求的严格程度不同, 因此, 在确定整个工程项目的总体质量时, 对工程产生较大影响的工作, 赋予较大的权重。

1) 根据工程项目进度绘制网络计划图。

2) 利用专家评分法, 可以较准确地估计各工作的正常持续时间 T_i^N , 正常直接成本 C_i^N , 最短持续时间 T_i^c , 最大直接成本 C_i^c 。通常情况下, 因为工程建设项目由于赶工而导致质量的降低是关注的焦点, 为此作如下假设: 假设一项工作正常情况下的质量为 100%。同样可以采用专家评分法, 得到

工作 i 的最劣质量 Q_i^C 。质量的权重为 ω_i 。

① 假设有 F_1, F_2, F_3, F_4 指标排列如下：

指标	F_1	F_2	F_3	F_4	K_i	ω_i
F_1		0	2	1	3	0.125
F_2	4		4	3	11	0.458
F_3	2	0		1	3	0.125
F_4	3	1	3		7	0.292
总计	$F_2 > F_4 > F_1 = F_3$				24	1

② 设 0—很不重要，1—不重要，2—同样重要，3—更重要，4—非常重要。并对这 4 个指标做两两比较，进行打分。

③ 将每行得分相加，得各基本指标的总分。

④ 将各基本指标的总分相加，得最终总分。

⑤ 计算每一个基本指标的权重

$$\omega_i = K_i / \sum_{i=1}^n K_i$$

首先由参加评价的七位专家根据各单项工作对整个工程质量的重要程度，对各项工作进行两两比较打分，然后按上述计算步骤求得各专家确定的每一个基本指标的权重。在不考虑专家自身权重的情况下^[6]。采用算术平均法，可求得各工作的权重平均值 ω_i （见于表 1 中第 (7) 列），建立如下形式的工期，成本和质量综合均衡优化模型：

$$\begin{aligned} \max f(T, C, Q) &= | u(T, C, Q) - \\ &u(T^*, C^*, Q^*) | / | u(T, C, Q) - \\ &u(T_0, C_0, Q_0) | + | u(T, C, Q) - \\ &u(T^*, C^*, Q^*) | \end{aligned} \quad (2)$$

st: $T \in (T_0, T^*), C \in (C_0, C^*), Q \in (Q^*, Q_0)$ 取理想解为 $u_0 = u(T_0, C_0, Q_0)$ ，负理想解为 $u^* = u(T^*, C^*, Q^*)$ 。

2 模型的求解

采用遗传算法求解上述综合均衡优化模型^[7]。笔者用基因位置代表工作序号，基因值代表该项工作的持续时间，如图 1 所示；计算程序见图 2。



图 1 染色体结构图

Fig.1 Chromosomes structure

图 2。

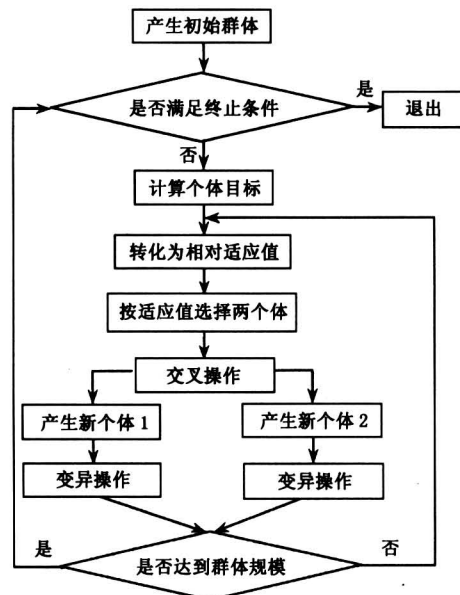


图 2 程序框图

Fig.2 Frame of algorithm program

3 应用实例

1) 某楼房项目的各项工作划分和工作间的相互关系见表 1，由表 1 可画出相应的网络计划图。用本文数学模型可求得各项工作的正常持续时间、成本和质量参数（表 1 中(1),(3),(5)列)，各项工作最短持续时间，最大成本和最劣质量参数（表 1 中(2),(4),(6)列)；以及最终计算得到的各项工作权重参数（表 1 中(7) 列)。

2) 由关键路线法 (CPM) 得到整个工程项目的最长工期 $T^* = 304$ d，最短工期 $T_0 = 242$ d；最小直接成本 $C_0 = \sum_{i=1}^m C_i^N = 1\ 835\ 892$ 元，最大直接成本 $C^* = \sum_{i=1}^m C_i^C = 2\ 570\ 858$ 元；最优质量 $Q_0 = 1$ ，最劣质量 $Q^* = \sum_{i=1}^m W_i Q_i^C = 0.891\ 3$ 。

3) 利用效用函数的二次函数形式及边界条件，可求得工期 T ，成本 C 和质量 Q 的单属性效用函数分别为：

$$u(T) = \begin{cases} a + b(T - 242)^2 & , T \in (242, 304) \\ 0 & , T \notin (242, 304) \end{cases}$$

表 1 工作及其相互关系及参数估计

Table 1 Works and their relative as well as parameters estimates

序号	工作名称	工作内容	紧后工作	(1) T_i^N/d	(2) T_i^C/d	(3) $C_i^N/元$	(4) $C_i^C/元$	(5) $Q_i^N/\%$	(6) $Q_i^C/\%$	(7) ω_i
1	A	开始节点	2	0	0	0	0	0	0	0
2	B	基础工程	3	25	21	133 793	187 076	1	0.923 3	0.073 0
3	C	一层墙体	4, 5	19	16	103 531	144 945	1	0.913 3	0.063 8
4	D	一层梁板	7	32	26	164 053	229 678	1	0.915 6	0.053 4
5	E	一、二层楼梯	6, 7	14	13	11 939	16 713	1	0.888 9	0.046 7
6	F	一层地面	9	8	6	11 812	16 537	1	0.870 0	0.024 3
7	G	二层墙体	8, 9	19	16	103 531	144 945	1	0.903 3	0.054 5
8	H	二层梁板	10	32	26	164 053	229 678	1	0.898 9	0.051 5
9	I	二、三层楼梯	10	14	13	11 939	16 713	1	0.878 9	0.043 8
10	J	三层墙体	11	19	16	103 531	144 945	1	0.895 6	0.053 1
11	K	三层梁板	12	32	26	164 053	229 678	1	0.874 4	0.046 5
12	L	三、四层楼梯	13	14	13	11 939	16 713	1	0.878 8	0.042 9
13	M	四层墙体	14	21	17	121 003	169 409	1	0.894 1	0.053 1
14	N	四层梁板	15	32	26	164 053	229 678	1	0.873 4	0.044 1
15	O	屋面	16, 24	12	9	76 812	107 356	1	0.882 2	0.034 1
16	P	一层门窗及装饰	17, 18	14	10	82 377	115 287	1	0.860 0	0.023 1
17	Q	一层安装工程	19, 20	5	3	18 225	25 515	1	0.892 2	0.042 5
18	R	二层门窗及装饰	19, 20	14	10	79 052	110 671	1	0.868 9	0.023 9
19	S	二层安装工程	21	5	3	18 225	25 515	1	0.887 8	0.043 1
20	T	三层门窗及装饰	21, 23	14	10	79 052	110 671	1	0.870 0	0.024 8
21	U	三层安装工程	23	5	3	18 225	25 515	1	0.885 6	0.042 8
22	V	四层门窗及装饰	23	14	10	79 052	110 671	1	0.872 3	0.025 1
23	W	四层安装工程	26	5	3	18 225	25 515	1	0.884 9	0.041 8
24	X	外墙装饰	25	22	17	90 745	128 105	1	0.864 4	0.024 3
25	Y	台阶散水等	26	5	3	6 672	9 329	1	0.870 0	0.023 8
26	Z	结束节点	-	0	0	0	0	0	0	0

$$u(C) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{734\ 966^2}(C - 1\ 835\ 892)^2 & , C \in (1\ 835\ 892, 2\ 570\ 858) \\ 0 & , C \notin (1\ 835\ 892, 2\ 570\ 858) \end{cases}$$

$$u(Q) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{0.109\ 87^2}(Q - 1.000\ 0)^2 & , Q \in (0.890\ 13, 1.000\ 0) \\ 0 & , Q \notin (0.890\ 13, 1.000\ 0) \end{cases}$$

于是, 工期 T , 成本 C 和质量 Q 的多属性效用函数

$$u(T, C, Q) = K_T \left[1 - \frac{1}{62^2}(T - 242)^2 \right] + K_C \left[1 - \frac{1}{734\ 966^2}(C - 1\ 835\ 892)^2 \right] + K_Q \left[1 - \frac{1}{0.109\ 87^2}(Q - 1.000\ 0)^2 \right].$$

4) 模型的解算: 依据决策人对工期 T , 成本 C 和质量 Q 的偏好不同, 在取 $K_T=0.3$, $K_C=0.4$, $K_Q=0.3$ 情况下, 利用自行编写的遗传算法程序, 输入表 1 中有关数据, 并设定群体规模 500, 交叉概率 0.6, 变异概率 0.1 的情况下, 求得最满意解

为 $(T, C, Q) = (279, 2\ 182\ 858, 0.972\ 980\ 5)$, 工作持续时间按工作序号顺序排列为 0, 25, 19, 27, 14, 8, 19, 32, 14, 19, 32, 14, 21, 32, 10, 10, 5, 10, 5, 10, 5, 10, 3, 21, 5, 0, 相应地, 各工作的成本为 0, 147 172, 113 884, 226 922, 13 133, 12 973, 113 884, 180 458, 13 133, 113 884, 180 458, 13 133, 133 123, 180 458, 106 068, 113 784, 20 048, 109 323, 20 048, 109 323, 20 048, 109 323, 25 209, 99 720, 7 349, 0, $u(T, C, Q) = 0.847\ 675$ 。应当指出, 该计算结果是从业主的角度计算得出的, 即认为工程质量水平要求越高越满意, 所以假设正常情况下的质量为 100% 合格。而对承包商而言, 一般只是希望能够达到最低合格

的标准就满意了, 如果定义各项工作质量的最低合格标准为 60% (即至少达到质量合格), 从承包商角度对质量参数进行评分, 表 1 (6) 列的值均应为 0.6, 表示即使在赶工的情况下, 各项工作质量要求的严格程度也至少应该达到质量的最低合格标准; (5) 列中的值则表示承包商愿意达到的最高限度。在本实例中, 不妨假设承包商愿意达到的最高质量限度为表 1 (6) 列的数值; 采用同样计算方法, 即可求得质量 Q 的单属性效用函数以及工期 T 、成本 C 和质量 Q 的多属性效用函数, 此时的最满意解为: $(T_1, C_1, Q_1) = (276, 2\ 168\ 333, 0.767\ 235)$, 相应的各工作持续时间和成本按工作序号顺序排列分别为 0, 25, 19, 27, 14, 8, 19, 31, 14, 19, 31, 14, 19, 31, 10, 10, 5, 10, 5, 10, 5, 10, 3, 21, 5, 0 和 0, 143 787, 111 265, 221 702, 12 831, 12 675, 111 265, 176 849, 12 831, 111 265, 176 849, 12 831, 130 461, 176 849, 103 628, 111 167, 19 587, 106 809, 19 587, 106 809, 19 587, 106 809, 24 629, 97 426, 7 180, 0, $u(T_1, C_1, Q_1) = 0.756\ 835\ 9$ 。总成本比从业主的角度出发的计算值大约下降了 2.21%。

与其他寻优算法不同, 遗传算法优化的最后一代中有许多接近最满意解的可行解, 为决策人提供了多个备选方案。如 $(T, C, Q) = (278, 2\ 184\ 775, 0.971\ 255\ 3)$, 工作持续时间按工作序号顺序排列分别为 0, 25, 19, 27, 14, 8, 19, 32, 14, 19, 32, 14, 20, 32, 10, 10, 5, 10, 5, 10, 5, 10, 3, 21, 5, 0, $u(T, C, Q) = 0.847\ 435\ 3$ 和 $(T, C, Q) = (279, 2\ 183\ 374,$

$0.972\ 668\ 2)$; 0, 25, 19, 27, 14, 8, 19, 32, 14, 19, 32, 14, 21, 32, 10, 10, 5, 10, 5, 10, 5, 10, 3, 21, 5, 0, $u(T, C, Q) = 0.847\ 557\ 9$, 等等。尽管它们的解与解之间各项工作的压缩方案有所不同, 但最终工期, 成本和质量相差甚微, 分别集中在工期 279 d, 成本 218 万元, 质量 0.972 附近。因此, 在实际应用时, 上述各个方案都可根据决策人对工期、成本和质量的不同偏好作为最终的决策方案。

参考文献

- [1] Shih-Wen Hsiao. Fuzzy Logic Based Decision Models for Product Design [J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1998(21): 103 ~ 116
- [2] Do Ba Khang, Yin Mon Myint. Time, Cost and Quality trade-off in project management: a case study [J]. International Journal of Project management, 1999, 17 (4): 249 ~ 256
- [3] Mckim R, Hegazy T, Attalla M. Project performance control in reconstruction projects [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2000, 126 (2): 137 ~ 141
- [4] Babu A J G, Suresh N. Project management with time, cost, and quality considerations [J]. European Journal of Operational Research, 1996, 88(2): 320 ~ 327
- [5] 陈耀明. 工程建设项目多目标综合优化研究 [J]. 中国管理科学, 2004, 12(专刊): 173 ~ 176
- [6] 闫皓, 贺仲雄. 权重分析系统 [J]. 系统工程与电子技术, 1992, (4): 41 ~ 45
- [7] 钟登华, 刘东海. 基于遗传算法的施工导流建筑物优化 [J]. 系统工程理论与实践, 2000, (10): 126 ~ 133

Construction Project Investment Optimization Based on Genetic Algorithm

Chen Yaoming^{1,2}, Zhong Denghua¹, Fu Jinqiang¹,

(1. Construction College of Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Management College of Taiyuan Science and Technology University, Taiyuan 030024, China)

[Abstract] In this paper, a time-cost-quality trade-off optimization model is set up by using multi-objective optimization theory and multi-attribute utility function theory. By applying network planning techniques and genetic algorithms to the model, the most satisfied decision result as well as several near satisfied alternative results can be obtained, which can be used to control the project investment. In the paper, a case study is given to verify the feasibility and practicability of the model. The application analysis and the results show that the model has practical value to some extent.

[Key words] project investment; multi-attribute utility function; genetic algorithms