

# 不确定性网络计划的工序作业时间研究

张清河 张云波

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

**摘要** 计划评审法在确定工序作业时间时,可采用估计出该工序最可能的作业时间、乐观的作业时间和悲观的作业时间.然后,取三者的加权平均数.同时,采用专家取值法,确定基于集对分析的不确定性网络计划的工序时间.对工序作业时间实现的概率,取用专家综合评判法进行了分析和判断.

**关键词** 集对分析, 网络计划, 不确定性, 综合评判

**中图分类号** TU 721<sup>+</sup>.3 TU 12

**文献标识码** A

影响工程建设进度的不利因素有很多,如人为因素,施工方法和技术因素,设备、材料及构件因素,资金因素,水文、地质与气象因素,以及其它自然与社会环境等方面的因素.工序作业时间是与这些因素密切相关的,或者说是由它们支配的.网络计划技术作为工程计划组织实施全过程的管理工具,在组织指挥计划中发挥着必不可少的作用.较大的工程项目是一复杂的大系统,牵涉众多的不确定性因素,有时甚至可能存在不可意料因素(以下称作突发事件).在网络计划的编制与实施过程中,不能不充分考虑这众多的不确定性和可能存在的突发事件.若对它们不加强管理与监控,往往导致计划实施过程中对不确定性和突发事件产生的影响缺乏快速反应的能力.这将造成各相关部门之间难以进行必要的协调,出现顾此失彼的现象,使网络计划难以发挥作用,导致工程项目工期延误的发生.

## 1 集对分析(SPA)

1989年,我国学者赵克勤提出了集对分析(SPA),又称同异反分析法.集对分析的核心思想是把不确定性与确定性,作为一个确定与不确定系统来进行数学处理和辩证分析.所谓集对,就是具有一定联系的两个集合所组成的对子.设集合对子所要研究的特性总数为 $N$ ,这两个集合对子相互共同具有的特性个数为 $S$ ,其相互对立的特性个数为 $P$ ,而相互差异的特性个数为 $F$ .在不计特性权重的情况下,称比值 $a = S/N$ 为同一度, $b = F/N$ 为差异度, $c = P/N$ 为对立度.并引用式子

$$u = a + bi + cj$$

来系统地处理由随机、模糊、不确定等不确定性所导致的综合不确定性问题。其中  $a, b, c$  为非负实数, 且满足归一化条件  $a + b + c = 1$ ;  $i$  是差异度系数, 在区间  $[-1, 1]$  视不同情况取值;  $j$  为对立度系数, 通常取等于  $-1$ 。但是, 可以根据研究对象作  $j$  值的相应的调整。这样做, 仍然符合同异反的分析思想<sup>[1]</sup>。由此, 我们可以对一个集合对子进行同一性、差异性、对立性以及联系程度的全面定量描述分析。联系数的意义不仅在于把一个具体的数与这个数所在的范围的确定与不确定联系起来, 使得一定范围内的确定与不确定的相互联系、渗透、制约与转化在数量上得以客观地反映。文 [2] 提出了一种用联系数处理网络计划中的不确定性的新方法, 文 [3] 进一步考虑了当突发事件发生时的网络计划方法。网络计划中的不确定性, 本质上是在某个区间变化着的东西, 只有在特定条件下才取某个定值。对网络计划的不确定性问题的研究, 首先要研究关键线路上工序的不确定性。但是, 当工序作业时间发生变化时, 网络计划的关键线路并不是一成不变的。在一定条件下, 它会与次关键线路、再次关键线路发生转化, 从而影响工程项目的工期。

采用基于联系数的网络计划方法, 会比传统的网络计划方法提供更多有价值的信息。它具有更灵活的表达和处理能力, 更加符合工程实际并且思路清晰、操作方便、意义直观, 是一种很有推广价值的网络计划新方法。比如, 某工序正常情况需要 8 d 的时间才能完成, 如果遇到停电、恶劣的天气, 完成该工序则需要增加 2 d 的时间; 如果采用新工艺, 则可提前 3 d 完成; 如果遇到突发事件, 则该工序还需要 15 d 才能完成。这样, 可以用联系数表示为  $8 + 3i + 15j$ 。描述各工序时间的不确定性, 是通过实数  $A, B, C$  和不确定数  $i, j$  值来体现的。如何结合施工实际情况, 分析、估计、乃至确定一个工序中的实数  $A, B, C$  和不确定值  $i$  和  $j$ , 是本文研究的核心问题之一。不管是传统网络计划方法, 还是其它不确定性网络计划方法, 在工程开工之前都需要根据工程项目的总工期, 来合理安排各工序的时间, 确定关键线路和次关键线路等。设  $A$  为同异反网络计划中某工序的确定性时间, 即在正常情况下完成该工序所需的时间; 不确定性时间  $B$  的变化范围, 应该介于“乐观估计时间”和“悲观估计时间”之间,  $B = \frac{1}{2}(\text{悲观估计时间} - \text{乐观估计时间})$ 。所谓“乐观估计时间”是指在最有利情况下所需的进展时间, 也是最短推断时间和最理想的估计时间; “悲观估计时间”是指在最不利情况下所需的进展时间。一般认为, 悲观时间包括施工活动正常的耽误和延误时间, 而不包括由突发事件的影响而造成的停工时间。 $i, j$  的物理意义, 表示不确定数  $i \in [-1, 1]$ , 应视不同情况取值, 以表示工序作业时间波动的方向与波动的幅度。根据网络计划的特点,  $j$  在这里作为反常的标志, 在区间  $[0, 1]$  取值<sup>[1]</sup>。当控制得力使突发事件不发生时, 取  $j = 0$ ; 当突发事件产生最严重后果时, 取  $j = 1$ ; 其余的情况下发生突发事件时, 可根据其严重程度, 即导致工序作业时间增加的程度在  $(0, 1)$  取值。因此, 工序作业时间可以用同异反联系数  $A + Bi + Gj$  表示。

## 2 确定工序作业时间及其实现可能性的评判

确定各施工工序的工作天数  $t$ , 可以按两种方法<sup>[4]</sup>进行。

(1) 根据劳动力限额、机械台数  $R$  和每天工作班次  $b$  按下式确定为

$$t = P/Rb,$$

式中  $P$  为完成某工序需要的劳动量或机械台数,  $R$  为每天的劳动力出勤人数(或劳动力限额、

机械台数),  $b$  为每天安排的工作班组数.

(2) 完成施工工序所需的天数, 可以根据要求总工期倒推. 然后, 再计算完成该工序所需的劳动力限额(或机械台数)为

$$R = P/tb.$$

## 2.1 情况(1)的工序时间确定方法

为了说明问题的方便, 不妨以外墙涂料这道工序  $D$  为例. 设影响该工序的因素有  $V_1$ (气候)、 $V_2$ (材料及时供应)、 $V_3$ (劳动力人员数量和工效)、 $V_4$ (水和电供应情况)、 $V_5$ (资金及时供应)、 $V_6$ (机械设备台数和完好率)等. 现在, 已知  $D$  工序的各影响因素. 为了准确地确定  $D$  工序的同异反联系数表达式, 避免由于 1 个人估计带来较大的误差, 可设由 5 名专家根据上述确定  $A, B, C$  的方法估计出完成  $D$  工序的同异反联系数表达式. 它们分别为

$$13 + 4i + 20j, 14 + 5i + 19j, 15 + 2i + 21j, 14 + 3i + 18j, 15 + 4i + 20j.$$

5 名专家的权重可以取不同数值, 这里不妨假设 5 名专家的权重相同. 则

$$U(t) = wME^{(6)} = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 13 & 4 & 20 \\ 14 & 5 & 19 \\ 15 & 2 & 21 \\ 14 & 3 & 18 \\ 15 & 4 & 20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ i \\ j \end{bmatrix} =$$

$$14.2 + 3.6i + 19.6j,$$

式中  $U(t)$  为  $D$  工序作业时间的同异反联系数表达式,  $w$  为专家的权重系数矩阵,  $M$  为专家对  $D$  工序作业时间的估计矩阵,  $E$  为同异反联系数系数矩阵.

上式包含了如下信息, 即在正常情况下完成  $D$  工序所需的时间  $A = 14.2$  d. 当  $i = -1$  时, 表示由于工程中的不确定性所引起  $D$  工序的最大负波动, 使完成  $D$  工序的时间减少 3.6 d; 当  $i = 1$  时, 表示由于工程中的不确定性所引起  $D$  工序的最大正波动, 使完成  $D$  工序的时间增加了 3.6 d,  $i \in [-1, 1]$ .  $i$  的取值可根据具体情况确定, 比如由于采用了新型涂料而使完成该工序的时间加快 2 d, 则  $3.6i = -2$ , 可得  $i = -0.556$ . 而由于墙面严重不平整, 基层抹灰处理要多耽误 3 d 时间, 则  $3.6i = 3$ , 可得  $i = 0.833$ . 又如雨天将导致外墙涂料无法施工, 故  $D$  工序施工期间在雨天不超过 3.6 d, 这属于不确定时间的正常波动范围.  $C$  表示由于突发事件发生而使  $D$  工序增加的最大时间. 当发生影响因素( $V_1 \sim V_6$ )之外的突发事件, 或者当不确定因素产生的变化范围超出( $V_1 \sim V_6$ )的正向的正常范围. 比如进行  $D$  工序恰逢雨季. 连绵不断的雨下了 19.6 d 之后才转天晴, 这时应把它定义为突发事件, 并取  $j = 1$ . 如果对突发事件控制得当, 如使  $D$  工序避开雨季, 则取  $j = 0$ , 表示没有发生突发事件. 总之, 突发事件的严重程度可由  $j$  从  $[0, 1]$  的不同取值来表示.

## 2.2 情况(2)工序作业时间实现概率的评判

根据工程项目总工期, 推求  $D$  工序作业时间  $t_d$ . 如果完成  $D$  工序所应具有的条件, 或者说它的影响因素为( $V_1 \sim V_6$ ), 这时可以采用专家判别法来判别  $D$  工序按时完工的概率. 专家根据工序作业时间  $t_d$  可以推求完成  $D$  工序所应具备的条件, 或影响因素( $V_1 \sim V_6$ ). 设( $H_1 \sim H_6$ )为集合( $V_1 \sim V_6$ )和集合( $V_1 \sim V_6$ )比较后得到的新的集合, 当集合( $V_1 \sim V_6$ )条件均优于或等于专家推估的集合( $V_1 \sim V_6$ )时, 说明  $D$  工序完成所需的时间  $t_d$  一定能在专家确定的工

序时间  $t_d$  内完成, 即  $t_d \leq t_d$ . 那么在不考虑权重的情况下, 当某因素  $V_i$  优于或等于  $V_i$  时, 用同一度  $a$  表示; 反之, 用对立度  $c$  表示, 这将导致  $t_d > t_d$ . 如果无法判定这对影响因素集  $(H_1 \sim H_6)$  的条件优劣, 自然也就无法判断  $t_d$  与  $t_d$  的大小, 这时用差异度  $b$  表示. 专家集  $(E_1 \sim E_5)$  与集合  $(H_1 \sim H_6)$  组成一判断矩阵  $D[H, E]$ <sup>[6]</sup>.

根据因素集对  $D$  工序作业时间的影响程度, 不妨假设专家们对各影响因素的权重, 如表 1 所示.

表 1 确定权重系数  $\lambda$

因素集	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$\Sigma$	$\lambda$
$V_1$	0.30	0.25	0.28	0.29	0.30	1.42	0.284
$V_2$	0.25	0.28	0.27	0.26	0.26	1.32	0.264
$V_3$	0.15	0.13	0.14	0.14	0.17	0.73	0.146
$V_4$	0.10	0.12	0.11	0.13	0.11	0.57	0.114
$V_5$	0.12	0.11	0.12	0.09	0.10	0.54	0.108
$V_6$	0.08	0.11	0.08	0.09	0.06	0.42	0.084

我们从表2可以看出, 评价集的基数为  $N = E_m \times V_n = 30$ . 同一度的基数为  $D_a(H, E) = 21$ .

表 2 各位专家对  $D[H, E]$  优劣的评判

因素集	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$
$V_1$	$a$	$c$	$a$	$a$	$a$
$V_2$	$a$	$b$	$c$	$a$	$a$
$V_3$	$c$	$a$	$a$	$a$	$a$
$V_4$	$b$	$a$	$a$	$a$	$a$
$V_5$	$c$	$a$	$b$	$a$	$a$
$V_6$	$a$	$b$	$b$	$a$	$a$

差异度的基数  $D_b(H, E) = 5$ , 对立度的基数为

$$D_c(H, E) = 4.$$

专家对  $D[H, E]$  优或劣评判的同异反联系度为

$$u(H, E) = 21/30 + 5i/30 + 4j/30.$$

对上述各因素按其重要性进行加权, 可得权重向量为

$$[0.284, 0.264, 0.146, 0.114, 0.108, 0.084].$$

$D_a(H, E)$  的等效基数为

$$6 \times (0.284 \times 4 + 0.264 \times 3 + 0.146 \times 4 + 0.114 \times 4 + 0.108 \times 3 + 0.084 \times 3) = 21.264.$$

$D_b(H, E)$  的等效基数为

$$6 \times (0.284 \times 0 + 0.264 \times 1 + 0.146 \times 0 + 0.114 \times 1 + 0.108 \times 1 + 0.084 \times 2) = 3.924.$$

$D_c(H, E)$  的等效基数为

$$6 \times (0.284 \times 1 + 0.264 \times 1 + 0.146 \times 1 + 0.114 \times 0 + 0.108 \times 1 + 0.084 \times 0) = 4.812.$$

此时, 专家对  $D[H, E]$  优劣评判的同异反联系度为  $u(H, E) = 0.709 + 13.10i + 0.160j$ . 由于  $a$

$> c, c > b$ , 属于强同势<sup>[7]</sup>, 这说明系统以同一的趋势为主. 根据专家的评判结果, 按期完成  $D$  工序的概率是 70.9%, 不能完工的概率是 16.0%, 无法确定能否完成的概率是 13.1%. 这将为研究关键路线、次关键线路以及再次关键线路的相互转换, 提供了必要的信息. 但是, 这种方法无法确定出工序作业时间能提前几天完成.

### 3 结束语

劳动定额标准和各影响因素的权重的确定都离不开专家的估计, 所以人的干扰因素较多. 通过多名专家对同异反联系数表达式的估计取值, 可避免因某一单独估计可能带来的主观性. 对影响工序作业时间的各影响因素逐一作出评判, 可把主观因素限制在单一的、较小的范围内, 从而能更加切实地反映各影响因素对评判对象的影响. 对施工进度计划制订与实施过程中, 包含确定性、不确定性信息以及包含突发事件的工序运用同异反联系数进行表达, 可以从量上提供许多有用的信息.

### 参 考 文 献

- 1 黄德才, 赵克勤. 同异反网络计划的工期预测方法[J]. 系统工程与电子技术, 2001, (5): 24 ~ 26
- 2 黄德才, 赵克勤. 用联系数描述和处理网络计划中的不确定性[J]. 系统工程学报, 1999, 14(2): 112 ~ 117
- 3 黄德才, 赵克勤. 基于  $a+bi+cj$  型联系数的网络计划方法初探[J]. 系统工程与电子技术, 2000, (2): 29 ~ 31
- 4 毛鹤琴, 顾敏煜, 姚甫昌等. 土木工程施工[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 2000. 279 ~ 333
- 5 余国祥. 同异反教学评价模型及应用[J]. 绍兴文理学院学报, 1997, (6): 88 ~ 91
- 6 张 鹏, 王光远. 新集对论[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, (3): 1 ~ 5
- 7 黄德才, 赵克勤, 陆耀忠. 含有突发事件的网络计划关键路线分类与应用[J]. 系统工程学报, 2001, 16(2): 162 ~ 164

## A Study on the Productive Time of a Working Procedure in a Network Planning with Uncertainty

Zhang Qinghe      Zhang Yunbo

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** In determining the productive time of a working procedure by programme evaluation and review technique (PERT), it is desirable to adopt the weighted average of most possible productive time as well as the optimistic and the pessimistic ones. In this paper, the method of expert's sampling is adopted to determine the productive time of a network planning with uncertainty on the basis of set pair analysis; and meanwhile, the method of expert's comprehensive judgement is adopted to analyse and to judge the probability of realizing the productive time of this working procedure.

**Keywords** set pair analysis, network planning, uncertainty, comprehensive judgement