

文章编号:1001-7372(2002)01-0116-03

搭接网络计划计算模型的改进

杨冰

(北方交通大学 交通运输学院,北京 100044)

摘要:针对搭接网络计划因传统的计算模型较复杂和不够严谨而影响其应用的问题,通过引入延迟时距的概念,将各种搭接关系的时距统一起来,给出一组改进的搭接网络计划时间参数计算模型。该模型物理意义清晰、简明而严谨,有利于搭接网络计划技术在公路工程项目管理中应用推广。

关键词:公路工程;项目管理;搭接网络计划

中图分类号:U415.2 **文献标识码:**A

Improving calculating models for the spliced network planning

YANG Bing

(School of Traffic and Transportation, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: In this paper, for the spliced network planning a conception named delay time separation is introduced to unify the time separations of different spliced relations, and a set of calculating models is presented to improve the traditional complicated and imprecise one which limited the application of the spliced network planning. The new models are of clear physical meaning, concise modality and precise describing, and in favor of popularization of the spliced network planning in highway project management.

Key words: highway engineering; project management; spliced network planning

搭接网络计划于20世纪60年代中期提出,其目的是以较少工序和较简练的图形表达含有交叉作业关系的工程计划。公路工程的特点决定了对于公路建设来说,搭接网络计划比一般网络计划(工序自身和工序之间无约束的网络计划)更符合实际,应该得到更广泛的应用。但是,由于传统的搭接网络计划的模型比较复杂且不够清晰,导致搭接网络计划难于推广。为此,笔者提出一组改进的搭接网络计划时间参数计算模型,使熟悉一般网络计划的公路工程计划和监理人员极易掌握搭接网络计划,帮助计算机辅助项目管理软件系统的开发人员正确地实现搭接网络计划的计算功能,从而加速搭接网络计划在中国公路建设中的推广应用。笔者假设读者熟悉一般网络计划,了解搭接网络计划的基本概念;首先通过定义延迟时距,对于四种基本搭接关系的时距表

示加以统一;然后给出一组新的搭接网络计划时间参数计算模型,该模型表明搭接网络计划是一般网络计划的自然扩展,它与传统的模型相比,物理意义更为清晰,形式更为简单,对于修正的描述更为严谨;最后通过实例说明新模型的应用。

1 延迟时距

1.1 基本搭接关系

在实际问题中,有部分或完全接续关系的工序对 (i, j) 所遇到的基本搭接关系有如下四种:

(1)完成到开始(FTS)关系。工序 i 完成到工序 j 开始有时距 FTS_{ij} 要求的关系。

(2)开始到开始(STS)关系。工序 i 开始到工序 j 开始有时距 STS_{ij} 要求的关系。

(3)完成到完成(FTF)关系。工序 i 完成到工序

j 完成有时距 FTF_{ij} 要求的关。

(4) 开始到完成(STF)关系。工序 i 开始到工序 j 完成有时距 STF_{ij} 要求的关。

四种关系的图示及在公路工程中的应用实例见表1,更复杂的搭接关系是它们的组合。事实上,基本搭接关系中的时距均是指最小时距。

表1 基本搭接关系

关系	搭接关系示意图	在公路工程中的应用实例
FTS_{ij}		拱桥采用无支架施工时,拱圈混凝土浇筑前,拱座必须达到强度的70%,即浇筑时,拱座等待时间就是时距FTS。
STS_{ij}		公路工程中路基和路面施工,路基开工后,是时间,为路面施工创造的工作条件后,路面施工才可以开始,这两种施工开始工作时间之间的间隔就是STS时距。
FTF_{ij}		公路工程中路基和路面施工,路基施工结束后,路面施工还需要一段时间才能结束,这两项工作结束之间的时间间隔就是FTF时距。
STF_{ij}		在混凝土工程中,搅拌混凝土的工作开始,在混凝土初凝前这段时间内,混凝土的振捣成型工作必须结束,这段时间就是时距STF。

1.2 延迟时距

无论那种搭接关系都有两种情况:一是工序 i 完成后工序 j 才开始;二是工序 i 还没有完成工序 j 就可以开始。实际上只有在情况二时 i 和 j 才有真正的搭接关系。因此,可以用工序 i 完成与工序 j 开始的时间差来统一各种搭接关系。

定义 搭接工序对 (i, j) 的延迟时距是指该搭接关系所限定的工序 j 开始与工序 i 完成的时距,记为 $\Delta T(i, j)$ 。

据此定义,延迟时距的计算公式为

$$\Delta T(i, j) = \begin{cases} FTS_{ij} & (FTS) \\ STS_{ij} - t(i) & (STS) \\ FTF_{ij} - t(j) & (FTF) \\ STF_{ij} - t(i) - t(j) & (STF) \end{cases} \quad (1)$$

式中 $t(i)$ 为工序 i 的延续时间。

当 $\Delta T(i, j) \geq 0$ 时,工序 i 与工序 j 实际没有交叉。当 $\Delta T(i, j) < 0$ 时,它们才发生交叉或真正的搭接,此时 $|\Delta T(i, j)|$ 是工序 j 可以超前于工序 i 完成而开始的时距。当 $\Delta T(i, j) = 0$ 时,工序 i 与工序 j 是一般意义的紧前紧后工序对,以下简称为一般工序对。当所有的工序对 (i, j) 均为一般工序对时,这一网络计划就是一般网络计划。因此可以说一般网络计划是一种特殊的搭接网络计划,也可以说搭接网络计划是一般网络计划的自然扩展。

2 工序时间参数的计算模型

设搭接网络计划共有 m 个工序,且所有搭接工序对 (i, j) (i, j 是工序序号)均有 $i < j$ 。为计算方便,引入工序 0 表示工程开始,工序 $m+1$ 表示工程终结,令 $t(0) = t(m+1) = 0$, $(0, *)$ 和 $(*, m+1)$ 是一般工序对,由延迟时距的定义和公式(1)及对一般网络计划的工序时间参数计算公式加以修正,就可得到搭接网络计划的工序时间参数计算模型。

2.1 工序最早时间

工序最早开始时间 $ES(j)$ 和最早完成时间 $EF(j)$ 的计算模型为

$$ES(0) = EF(0) = 0 \quad (2)$$

$$ES(j) = \max \{ EF(i) + \Delta T(i, j) \} \quad (j=1, \dots, m) \quad (3)$$

当 $ES(j) < 0$, 令 $ES(j) = 0$ 。

增加一般工序对 $(0, j)$

$$EF(j) = ES(j) + t(j) \quad (4)$$

若 $EF(k) = ES(m+1)$ 且无 $(k, m+1)$,

则增加一般工序对 $(k, m+1)$ ($1 \leq k \leq m$)

将式(2)~(4)与一般网络计划的工序最早时间

参数计算公式

$$ES(0) = EF(0) = 0 \quad (5)$$

$$ES(j) = \max \{ EF(i) \} \quad (j=1, \dots, m+1) \quad (6)$$

$$EF(j) = ES(j) + t(j)$$

相比较,可知有了三点变化:①因为有延迟时距 $\Delta T(i, j)$, 所以最早开始时间的计算作了自然的修正;②当按搭接时距要求计算得到 $ES(j) < 0$ 时,为保持工程开始时间不变,可以令 $ES(j) = 0$ 而拉大搭接时距,并增加一般工序对 $(0, j)$;③由于搭接,工程的工期可能不由工序 m 的最早完成时间决定,而应取工序最早完成时间的最大值,对于最早完成时间等于该最大值的中间工序 k ,增加一般工序对 $(k, m+1)$ 。

2.2 工序最迟时间

类似地,利用延迟时距和考虑可拉大搭接时距,可得到工序最迟开始时间 $LS(i)$ 和最迟完成时间 $LF(i)$ 的计算模型如下

$$LF(m+1) = LS(m+1) = EF(m+1) \quad (7)$$

$$LF(i) = \min \{ LS(j) - \Delta T(i, j) \} \quad (8)$$

当 $LF(i) > LS(m+1)$, 令 $LF(i) = LS(m+1)$

增加一般工序对 $(i, m+1)$

$$LS(i) = LF(i) - t(i), i = m, \dots, 1$$

$$LF(0) = LS(0) = 0 \quad (9)$$

2.3 工序时差和关键线路

(1) 总时差 $TF(i)$

$$TF(i) = LS(i) - ES(i) = LF(i) - EF(i) \quad (i=0, \dots, m+1) \quad (10)$$

(2) 局部时差 $FF(i)$

$$FF(i) = \min_{j \in I(i)} \{ES(j) - EF(i) - \Delta T(i, j)\} \quad (11)$$

$$FF(m+1) = 0, i=0, \dots, m$$

式(11)右侧大括号中就是间隔时距 $Lag(i, j)$, 即

$$Lag(i, j) = ES(j) - EF(i) - \Delta T(i, j) \quad \forall (i, j) \quad (12)$$

(3) 关键线路

由总时差为 0 的工序构成的线路为关键线路。

2.4 计算步骤

综上所述, 搭接网络计划的工序时间参数计算与一般网络计划的主要差别仅在于公式中的修正项 $(+/-)\Delta T(i, j)$ 和搭接可能引起的某些工序与始工序/终工序接关系的修正, 而计算步骤完全相同:

(1) 给定工序明细表;

(2) 按式(1)计算延迟时距;

(3) 依次按式(2)~(4)顺序计算工序最早时间和修正接关系;

(4) 依次按式(7)~(9)逆序计算工序最迟时间和修正接关系;

(5) 按式(10)~(12)计算工序的时差和间隔时距;

(6) 确定关键线路。

3 计算实例

本节以文献[3]中给出的一个略经修改的公路工程实例为例说明上述模型的应用。表2中第1~5列给出了该实例的工序明细表, 时间单位为周。它包含有除 STF 类型外的各种基本搭接关系, 还有 STS 和 FTF 的混合搭接关系。

为计算工序时间参数, 首先按式(1)计算各搭接工序对的延迟时距。表2第6列给出了计算结果。表3给出了按2.4节中步骤计算所得到的该搭接网络计划的各工序时间参数。

下面对表3中带“*”的值加以说明:

(1) 在计算工序 F 的最早开始时间时, 按式(3), 先有

$$ES(6) = \max\{EF(3) + \Delta T(3, 6)\} = 10 + (-18) = -8 < 0$$

后修正为 $ES(6) = 0$, 并且增加一般工序对(0,

(2) 按式(4), 工期 $EF(10)$ 应为

$$EF(10) = \max_{1 \leq i \leq 9} \{EF(i)\} = 31 = EF(7)$$

增加一般工序对(7, 10)。

表2 实例的工序

前导工序	工序	工序时间	搭接关系	时距	延迟时距
—	A	5		0	0
—	B	8		0	0
—	C	10		0	0
A	D	15	FTS	0	0
B	D		FTS	5	5
B	E	20	STS	3	5
C	F	20	FTF	2	18
D	G	10	STS	2	-13
D	G		FTF	3	-7
F	G		FTS	0	0
F	H	5	STS	3	17
E	I	2	STS	4	16
G	I		STS	2	-8
H	I		FTS	4	4
I	—	0		0	0

表3 实例的工序时间参数

i	工序	t(i)	ES(i)	EF(i)	LS(i)	LF(i)	TF(i)	FF(i)
0	始	0	0	0	0	0	0	0
1	A	5	0	5	8	13	8	8
2	B	8	0	8	0	8	0	0
3	C	10	0	10	9	19	9	8
4	D	15	13	28	13	28	0	0
5	E	20	3	23	11	31*	8	8*
6	F	20	0*	20	1	21	1	0
7	G	10	21	31	21	31	0	0
8	H	5	3	8	20	25	17	11
9	I	2	23	25	29	31	6	6
10	终	0	31	31*	31	31	0	0

(3) 在计算工序 E 的最迟完成时间时, 按式(8), 先有

$$LF(5) = \min\{LS(9) - \Delta T(5, 9)\} = 29 - (-16) = 45 > 31$$

后修正为 $LF(5) = 31$, 并且增加一般工序对(5, 10)。

(4) 在按式(11)计算工序 E 的局部时差时, 增加一般工序对起了决定作用

(下转第122页)

3.3 交通拥挤收费的管理

交通拥挤收费是控制交通量的一种重要手段,但不是企业牟利的手段,且收取的费用是一种边际社会成本,并不是公路的运营成本,因此其收费行为必须由政府来承担,收费收入归国家所有。

4 超载对公路营运成本的影响

车辆超载是损害路面质量、加速路面破坏的重要因素,且对交通安全构成重大影响。由文献[3,4]可知,车辆超载对柔性路面与刚性路面的损坏程度是不同的。因此,对柔性路面,车辆超载时的公路营

运成本可按下式确定

$$P_r = MC[(1+r)^{4.3r} - 1] \quad (25)$$

式中: P_r 为超载时公路营运成本的增加值; MC 为不超载时的车辆边际营运成本; r 为超载百分比。

对刚性路面,车辆超载时公路营运成本的增加值应按下式确定

$$P_r = MC[(1+r)^{18} - 1] \quad (26)$$

上述公式中并未考虑超载对交通安全及道路通行能力的影响。表1是车辆在不同的超载百分比下的公路营运成本增加百分比。

从表1可以看出,当车辆超载5%时,对柔性路

表1 车辆超载时公路营运成本增加倍数

路面性质	超载率								
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	50%
柔性路面	0.24	0.51	0.84	1.21	1.64	2.13	2.69	3.32	4.03
刚性路面	1.18	3.59	8.36	17.48	34.53	65.54	120.71	217.80	380.85

面,其公路营运成本将增加0.24倍,而对刚性路面将增加1.18倍;当车辆超载50%时,对柔性路面将增加4.83倍的费用,而对刚性路面则增加654.84倍的费用。因此,从公路使用的经济性和安全性考虑,超载现象应坚决制止。

参考文献:

[1] [日]植草益. 微观规制经济学[M]. 北京: 中国发展出

版社, 1992. 106--117.

[2] 安旗林, 殷作超. 公路建设项目可行性研究指南[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991. 68-69.

[3] 交通部. 公路沥青路面设计规范[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.

[4] 交通部. 公路水泥混凝土路面设计规范[M]. 北京: 人民交通出版社, 1995.

(上接第118页)

$$FF(5) = \min\{ES(9) - EF(5) - \Delta T(5, 9), ES(10) - EF(5) - \Delta T(5, 10)\} = \min\{23 - 23 - (-16), 31 - 23 - 0\} = 8$$

该搭接网络计划的关键线路是: 始→B→D→G→终, 它的单代号逻辑网络图见图1。

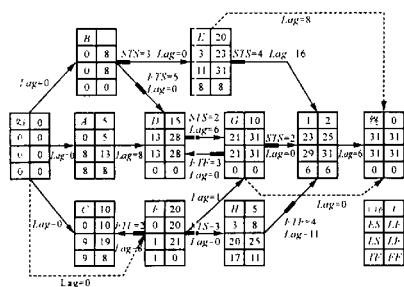


图1 实例单代号逻辑网络

4 结语

搭接网络计划的推广应用对于公路建设有重要的实际意义。笔者提出的搭接网络计划计算模型, 通过引入延迟时距, 建立了搭接网络计划与一般网络计划之间系统的联系, 与现行有关描述相比较, 物理意义更清晰、形式更简明、叙述更严谨, 既适于手算, 又适于计算机编程, 有利于搭接网络计划在公路工程项目管理中的进一步推广。

参考文献:

[1] 刘慧. 高等级公路建设管理与技术大全[M]. 长春: 长春出版社, 1999. 1777-1790.

[2] 徐水文, 赵恒水. 实用网络计划技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 1994. 141-152.

[3] 李英男, 陈兴. 搭接网络图[J]. 公路交通科技, 1998. 15(增): 17-20.