

**這是一本為”喜憨兒”所寫的書**

**本書有兩個願望**

**第一個願望：希望本書能提供有用的知識，歡迎讀者無條件下載一把知識傳出去。**

**第二個願望：本人誠摯建請讀者依個人意願和能力，主動捐獻喜憨兒社會福利基金會（郵政劃撥捐款帳戶：台北 41951790 新竹 42123431 高雄 41852008）或其他弱勢團體--讓愛心關懷弱勢。**

作者 高安祥 敬上

**中華民國 100 年 1 月 1 日**

## 把知識傳出去, 讓愛心關懷弱勢

高安祥 991225

拉拉關懷弱勢，特別鍾愛喜憨兒。

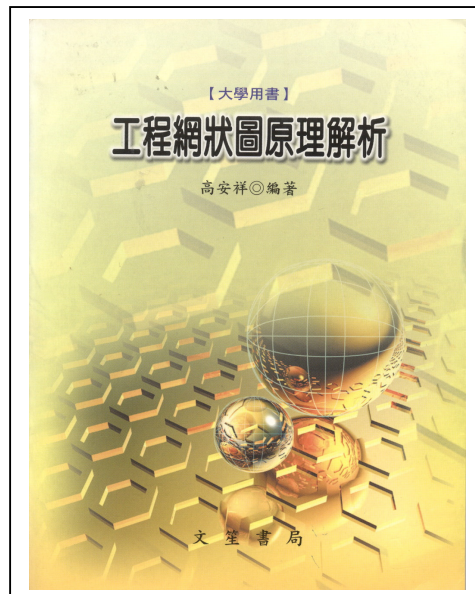
本人耳濡目染，也深受感召；在愛心鞭策下，不揣才疏學淺，將多年執教與研習心得，撰寫“工程網狀圖原理解析”乙書，委交文笙書局代為發行；並允諾將版稅所得全數捐贈『喜憨兒社會福利基金會』，為拉拉的愛心付諸行動。

近日省思著作立論的意義，實不宜偏廢知識傳承與資訊分享。因此，擬藉現代化資訊發展之便利，將原著彙編為電子檔案，供讀者無條件下載以利流通；同時為表達關懷弱勢之初衷，擬呼籲下載者依個人意願和能力，自由捐獻『喜憨兒社會福利基金會』（或其他弱勢團體）；期望「把知識傳出去，讓愛心關懷弱勢」成為不受侷限的自由行動。

感謝文笙書局的認同與成全。從此，拙著“工程網狀圖原理解析”書本將不再版；取而代之者，夾帶愛心的電子檔即將分設於數個固定網站，在提供自由下載的同時，也為弱勢團體發起勸募；相信「知識」與「愛心」可以雙軌並行，更樂見各界人士鼎力捐輸，造福我們的弱勢同胞。

拙著“工程網狀圖原理解析”計分為四個單元：（一）網狀圖繪製技巧（二）網狀圖時間分析（三）時間豎格網狀圖（四）縮短工期與趕工計畫。每個單元除了理論背景說明之外，最大的特色在於「例題解析」；所有例題全部出自本人精心設計，藏身在每個例題的背後，至少蘊藏一個主題觀念的闡釋，殷盼以解題為媒介達到釐清重要觀念的效果。絕對值得細細品味，讀者不妨親自體驗。

拉拉何許人？一個善良平凡小婦人，她是我的伴侶。



# 工程網狀圖原理解析

高安祥編著

## 原著序

工程網狀圖乃現代化工程規劃技術，國內、外工程界廣泛使用多年，許多重大工程將網狀圖納入合約必備文件，逼近審理有關工期爭議的訴訟、仲裁案件中，莫不引用網狀圖之操作與推演，作為裁決的主要依據。由此可見，網狀圖技術是當今工程管理的主流知識，相關從業人員不可一日不備。

網狀圖技術內涵，包括網狀圖「繪製」、「分析」與「應用」三個層次。筆者自民國七十五年執教營建管理相關課程迄今，涉獵有關網狀圖課程書籍，發現偏重技法演練者眾，相對欠缺系統整理、觀念演繹與實例解析之篇幅。促使本人毅然投入創作的主要動機，乃是期望對於有志熟習網狀圖技術人員，增加一個學習管道；故特將多年鑽研心得，去蕪存菁彙整成冊，以恪盡棉薄心力。惟個人才智學能有限，疏漏錯誤在所難免，尚祈先進賢達，鞭策指正。

本書計分為四個單元：（一）網狀圖繪製技巧（二）網狀圖時間分析（三）時間豎格網狀圖（四）縮短工期與趕工計畫。每個單元除了理論背景說明之外，最大的特色在於「例題解析」，所有例題全部出自本人精心設計，藏身在每個例題的背後，至少蘊涵一個主題觀念的闡釋，殷盼以解題為媒介達到釐清重要觀念的效果，絕對值得細細品味，讀者不妨親自體驗。

本書得以付梓，要特別感謝邱敬泓先生、吳秀梅小姐、鄭瑤琳小姐和吾兒志碩，在排版、建檔、校對以及題目測試各方面的協助，而最重要的是啟蒙恩師 林耀煌教授（國立台科大營建系），多年來在專業知識上的啟迪與悉心教導，才能促成筆者具備傳承的能力，故藉此表達內心最高的敬意與謝忱。

最後謹以本書獻給默默支持與鼓勵我的妻子一拉拉

高安祥 謹誌

中華民國九十三年五月十七日

# 目 錄

## 第一單元 網狀圖繪製技巧

1.1	ADM 網圖系統.....	2
1.2	PDM 網圖系統.....	3
1.3	先行作業與後續作業.....	3
1.4	並行作業.....	4
1.5	虛業.....	5
1.6	ADM 與 PDM 之互換.....	8
1.7	網狀圖繪製標準化.....	10
1.7.1	準備作業	
1.7.2	PDM 網圖繪製	
1.7.3	ADM 網圖繪製	
1.8	中繼結點法.....	16
1.9	作業分割法.....	18
	【第一單元 精選例題】	
A0110	ADM 網狀圖的系統概念.....	21
A0120	「先行作業」與「後續作業」.....	25
A0130	「並行作業」與「同時施工」的關聯性.....	29
A0140	「先行作業」與「後續作業」之轉換.....	31
A0150	網狀圖與作業關係.....	33

<b>A0210</b>	PDM 網狀圖的表現方式.....	35
<b>A0220</b>	「並行作業」與「同時施工」的關聯性....	37
<b>A0230</b>	ADM 與 PDM 網狀圖.....	39
<b>A0310</b>	ADM 與 PDM 之互換.....	41
<b>A0320</b>	ADM 與 PDM 之互換.....	44
<b>A0330</b>	ADM 與 PDM 之互換.....	46
<b>A0340</b>	虛業數量之研判.....	48
<b>A0350</b>	網狀圖與施工邏輯.....	50
<b>A0410</b>	贅餘虛業之判斷.....	52
<b>A0420</b>	贅餘虛業之判斷.....	56
<b>A0430</b>	贅餘虛業之判斷.....	58
<b>A0440</b>	贅餘虛業之判斷與影響.....	60
<b>A0450</b>	贅餘虛業之判斷.....	62
<b>A0460</b>	贅餘虛業之判斷.....	64
<b>A0510</b>	以虛業刪除法轉換網狀圖.....	66
<b>A0520</b>	中繼結點法.....	69
<b>A0530</b>	作業分割法.....	72

## 第二單元 網狀圖時間分析

2.1 時間分析的十個參數.....	76
2.1.1 結點時間	
2.1.2 作業排程	
2.1.3 作業浮時	
2.1.4 要徑	
2.2 前進計算法與後退計算法.....	82
2.2.1 前進計算法	
2.2.2 後退計算法	
2.3 排程分析.....	84
2.4 FF、IF 和 TF 之轉換.....	86
2.5 決定要徑的五個方法.....	97
2.5.1 全部路徑直接比較法	
2.5.2 以前進計算法決定要徑	
2.5.3 以後退計算法決定要徑	
2.5.4 以自由浮時決定要徑	
2.5.5 以總浮時決定要徑	
2.6 CPM&PETR.....	100
2.6.1 要徑法(CPM)	
2.6.2 計劃評核術(PERT)	
2.6.3 CPM&PERT 之比較	
2.7 PDM 網圖時間運算.....	108



**【第二單元 精選例題】**

<b>B0110</b>	路徑與要徑.....	109
<b>B0120</b>	網圖時間分析參數.....	111
<b>B0210</b>	「前進計算」與「後退計算」.....	113
<b>B0220</b>	「前進計算」與「後退計算」.....	116
<b>B0230</b>	結點時間分析.....	118
<b>B0240</b>	結點時間分析.....	120
<b>B0250</b>	結點時間之系統觀念.....	122
<b>B0260</b>	結點時間與要徑.....	124
<b>B0310</b>	最早開工計畫.....	127
<b>B0320</b>	最早與最遲開工計畫.....	130
<b>B0330</b>	最早、最遲開工計畫與 S-curve.....	133
<b>B0340</b>	S-curve 軌跡的研判.....	138
<b>B0410</b>	總浮時與要徑.....	140
<b>B0420</b>	自由浮時.....	144
<b>B0430</b>	干擾浮時.....	148
<b>B0440</b>	自由浮時之基本概念.....	152
<b>B0450</b>	浮時整合運算.....	154
<b>B0460</b>	浮時整合運算.....	158
<b>B0510</b>	前進計算法與要徑.....	161
<b>B0520</b>	後退計算法與要徑.....	163
<b>B0530</b>	網狀圖整合運算.....	165

<b>B0540</b>	網狀圖時間整合分析.....	167
<b>B0550</b>	網狀圖時間整合分析.....	170
<b>B0560</b>	網狀圖時間整合分析.....	172
<b>B0570</b>	網狀圖時間整合分析.....	174
<b>B0610</b>	PERT 與要徑分析.....	176
<b>B0620</b>	PDM 網圖時間分析.....	180
<b>B0630</b>	PDM 網圖時間分析.....	182

### 第三單元 時間豎格網狀圖

<b>3.1</b>	時間豎格.....	185
<b>3.2</b>	最早與最遲開工之時間豎格網狀圖.....	186
<b>3.3</b>	時間豎格網狀圖之應用.....	189
<b>3.3.1</b>	作業排程分析.	
<b>3.3.2</b>	資源調配	
<b>3.3.3</b>	浮時分析	
<b>3.3.4</b>	界限工期之研判	

#### 【第三單元 精選例題】

<b>C0110</b>	時間豎格網狀圖概念.....	200
<b>C0120</b>	時間豎格網狀圖之繪製.....	202
<b>C0130</b>	時間豎格網狀圖繪製方法.....	204
<b>C0140</b>	解讀時間豎格網狀圖.....	206
<b>C0210</b>	ES 時間豎格網狀圖.....	208

<b>C0220</b>	ES 與 LS 時間豎格網狀圖之互換.....	210
<b>C0230</b>	ES 及 LS 時間豎格網狀圖.....	211
<b>C0310</b>	時間豎格網狀圖與浮時.....	214
<b>C0320</b>	自由浮時的妙用.....	216
<b>C0330</b>	時間豎格網狀圖與浮時.....	218
<b>C0340</b>	時間豎格網狀圖之簡化與應用.....	220
<b>C0410</b>	以時間豎格網狀圖解析工期.....	222
<b>C0420</b>	時間豎格網狀圖與趕工計畫.....	225

## 第四單元 縮短工期與趕工計畫

<b>4.1</b>	進度績效與工期評估.....	229
<b>4.1.1</b>	進度績效評估	
<b>4.1.2</b>	工期評估	
<b>4.2</b>	縮短工期的基本原理.....	234
<b>4.3</b>	作業時間－成本分析.....	235
<b>4.4</b>	直接成本與間接成本.....	237
<b>4.5</b>	總成本曲線與最佳工期.....	238
<b>4.6</b>	趕工計畫之模擬.....	241
<b>4.6.1</b>	確認趕工對象	
<b>4.6.2</b>	擬定趕工方案	
<b>4.6.3</b>	趕工效益分析與決策	

**【第四單元 精選例題】**

<b>D0110</b>	總浮時與趕工計畫.....	247
<b>D0120</b>	自由浮時與趕工計畫.....	249
<b>D0130</b>	模擬趕工方案.....	252
<b>D0140</b>	判讀趕工計畫.....	253
<b>D0210</b>	成本斜率與趕工成本.....	255
<b>D0220</b>	總成本曲線.....	259
<b>D0230</b>	擬定趕工方案.....	263
<b>D0240</b>	擬定趕工方案.....	266
<b>D0310</b>	界限工期之趕工計畫.....	268
<b>D0320</b>	推演最佳工期.....	270
<b>D0330</b>	最佳工期之決策.....	271
<b>D0340</b>	獎懲條款與最佳工期決策.....	273
<b>D0350</b>	獎懲條款與最佳工期決策.....	275

附錄一、網圖規劃之標準作業程序（SOP）

附錄二、網圖規劃作業備忘錄

## 第一單元 網狀圖繪製技巧

- 1.1 ADM 網圖系統
- 1.2 PDM 網圖系統
- 1.3 先行作業與後續作業
- 1.4 並行作業
- 1.5 虛業
- 1.6 ADM 與 PDM 之互換
- 1.7 網狀圖繪製標準化
- 1.8 中繼結點法
- 1.9 作業分割法.

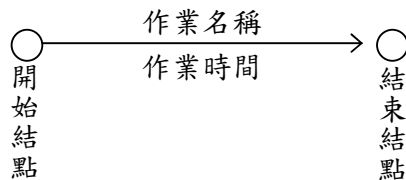
## 第一單元 網狀圖繪製技巧

### 1.1 ADM 網圖系統

ADM ( Arrow Diagram Method )：箭線式網狀圖。

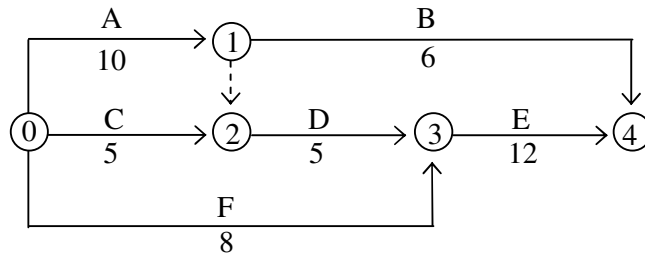
以「箭線」表示工程「作業」( Activity )，「結點」表示作業關係的網圖表達方式，稱作 ADM 網圖。

在 ADM 網圖中，每一個作業兩端銜接兩個結點，分別表示該作業的開始與結束。



繪製 ADM 網狀圖必須注意虛業的運用，繪製過程中，應遵守以下兩項規則：

- (1) 兩個結點之間恰能以一條箭線連接，該箭線可為實際作業或虛業。
- (2) 網圖為閉合系統，具有共同的起點與終點，用以顯示系統之邊界條件。



【圖 1.1 ADM 網圖範例】

## 1.2 PDM 網圖系統

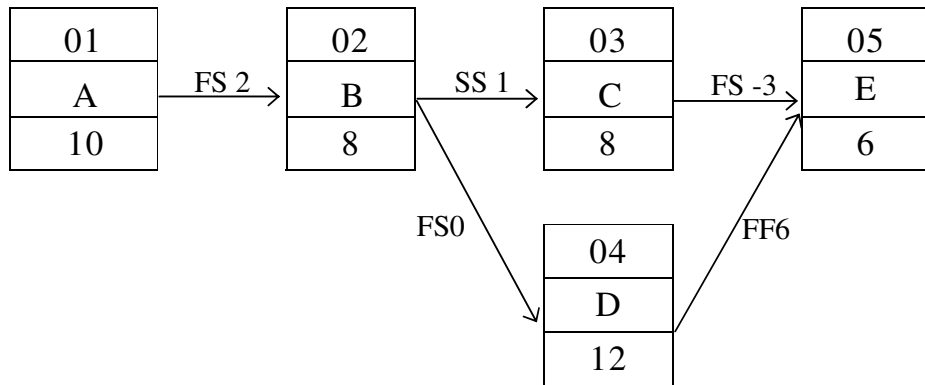
PDM (Precedence Diagram Method)：結點先行式網狀圖。

以「結點」表示工程作業 (Event, 事件)，「箭線」表示作業關係的網圖表達方式，稱作 PDM 網圖。

PDM 網圖與 ADM 網圖採用之符號意義剛好相互對應。在 PDM 網圖中，對於作業關係有三種不同表達方式：

- (1) Start To Start 簡稱 SS
- (2) Finish To Start 簡稱 FS
- (3) Finish To Finish 簡稱 FF

同時在 SS，FS，FF 之後可加註延滯時間 (Lag Time)，進一步表達作業關係的各種可能情況。



【圖 1.2 PDM 網圖範例】

## 1.3 先行作業與後續作業

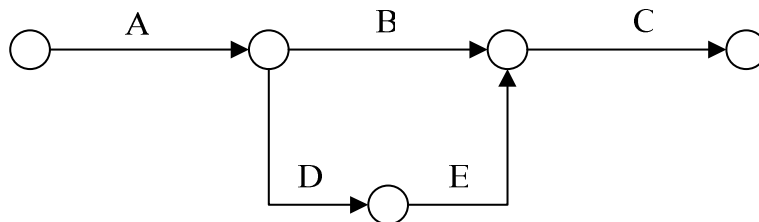
「先行作業」：一個作業開始結點前方匯入之作業稱為先行作業。

「後續作業」：一個作業完成結點後方流出之作業稱為後續作業。

先行作業與後續作業必然成對出現，且兩者將共用一個結點，就施工邏輯而言，先行作業完成為後續作業開始之要件，因此構成時間性之依存關係。

【表 1.1 作業關係範例】

作業項目	先行作業	後續作業
A	——	B，D
B	A	C
C	B，E	——
D	A	E
	D	C

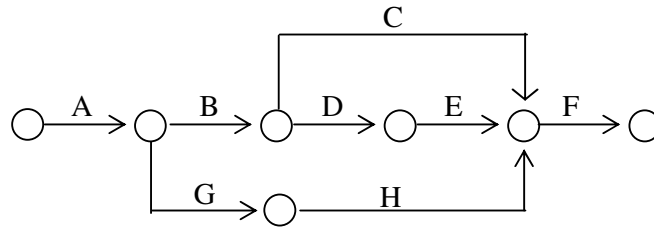


【圖 1.3 對應表 1.1 之 ADM 網圖】

#### 1.4 並行作業

網圖中具有「同時施工」可能之若干作業，互稱為「並行作業」。並行作業無時間性之依存關係，故欲探討某作業之並行作業，得在網圖中先剔除其「先行作業」與「後續作業」，並向兩端繼續延伸，再剔除具有「先行之先行」與「後續之後續」關係之作業，剩餘之作業項目即為該作業之並行作業。





【圖 1.4 ADM 網圖範例】

【表 1.2 對應圖 1.4 之作業關係】

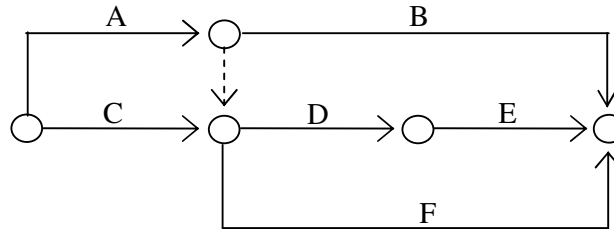
作業項目	先行作業	後續作業	並行作業
A	——	B,G	——
B	A	C,D	G,H
C	B	F	D,E,G,H
D	B	E	C,G,H
E	D	F	C,G,H
F	C,E,H	——	——
G	A	H	B,C,D,E
H	G	F	B,C,D,E

### 1.5 虛業

「虛業」(Dummy Activity) 是一個虛擬的作業，僅出現在 ADM 網圖系統中，虛業並無實質作業內涵（作業時間為 0），運用虛業的唯一目的在於表達施工的邏輯關係。

在 ADM 網圖繪製過程中，當作業關係複雜時，即有引用虛業的必要；反之，觀察已繪製完成的 ADM 網圖，虛業的數量多寡適可反映其作業關係之複雜程度。

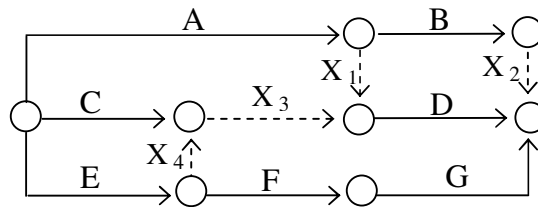
下圖中運用一個「虛業」，巧妙地表達 A 的後續作業除了 B 之外，尚有 D、F，同時 D、F 也是 A 和 C 共同的後續作業：



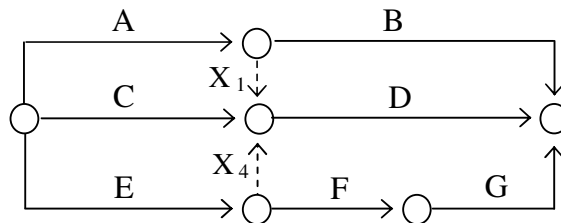
【圖 1.5 具有虛業的 ADM 網圖範例】

初學者，常無端增添虛業的運用，此時可藉由事後的檢討予以剔除，精簡虛業可使圖面簡潔，但不可混淆原有的施工邏輯。

以下兩個網圖（圖 1.6 及 1.7），說明相同的施工邏輯，繪製出虛業數量不同的網圖成果，可供比較：



【圖 1.6 具有虛業的 ADM 網圖範例】

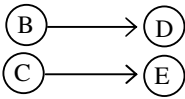
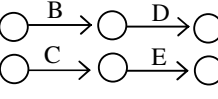
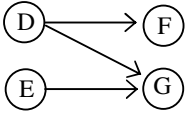
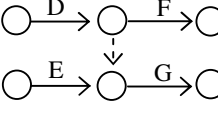
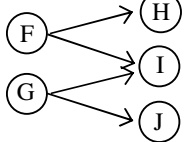
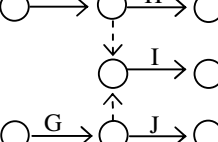
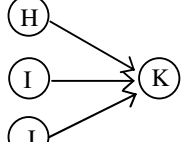
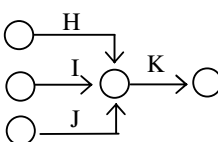


【圖 1.7 具有虛業的 ADM 網圖範例】

虛業的功能有二：一為整合施工邏輯，另一為避免兩個結點之間同時表達兩個以上作業，而予以區分。後者易於學習、熟練，前者則有賴洞悉原理，勤加練習，才能精通。

如何決定虛業產生的位置和所需數量，是 ADM 網圖繪製的精髓，下表提供四種情況，可供研判「虛業」的相關訊息，請專注於「兩個以上作業其後續作業的交集」，相信讀者很快就可以發現「虛業是如何產生？」。

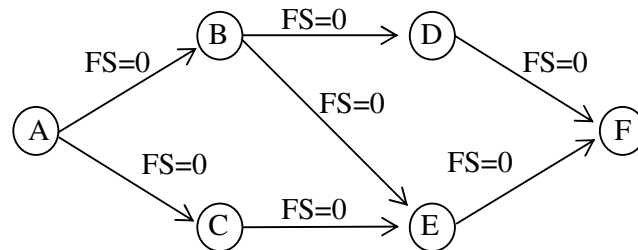
【表 1.3 虛業的原理】

PDM	ADM	說明
		B、C 後續作業不產生任何交集，故無虛業產生。
		D 的後續作業(F、G)包含 E 的後續作業(G)，故由 D 接一虛業到 E。
		F、G 的後續作業有交集(即 I)，但又另有單獨之後續作業，故須兩個虛業來隔離。
		H、I、J 的後續作業完全相同，故僅須共用完成點即可，不須虛業。

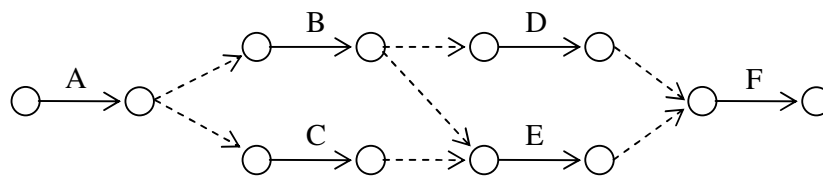
### 1.6 ADM 與 PDM 之互換

ADM 與 PDM 是繪製網狀圖的兩種方法。當一個工程規劃條件確定後，可以選擇運用其中任何方法來繪圖，但假定同時使用兩種方法繪圖並加以比較，將會得到什麼結果？反之，在已繪妥任意的兩個 ADM 與 PDM 網圖，又如何透視其相關性？ADM 與 PDM 是否可以相互轉換，是不是很容易進行，是值得進一步探討的課題。

請觀察以下兩個網圖圖 1.8 及 1.9，並將其規劃條件還原列出作業關係，加以比較（參閱下面的表格）：



【圖 1.8 PDM 網圖】



【圖 1.9 ADM 網圖】

【表 1.4 對應圖 1.8 PDM 網圖之作業關係】

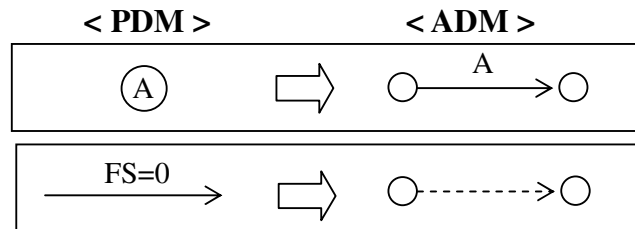
作業項目	後續作業	關係式
A	B	F.S=0
	C	F.S=0
B	D	F.S=0
	E	F.S=0
C	E	F.S=0
D	F	F.S=0
E	F	F.S=0
F	—	—

【表 1.5 對應圖 1.9 ADM 網圖之作業關係】

作業項目	先行作業	後續作業
A	—	B、C
B	A	D、E
C	A	E
D	B	F
E	B、C	F
F	D、E	—

比較結果：二者後續作業完全相同，施工邏輯並無差異，故證明二者具有相同的規劃條件。

再重新比對網圖 1.8 及 1.9，可進一步發現其轉換關係為：



【圖 1.10 PDM 與 ADM 之互換】

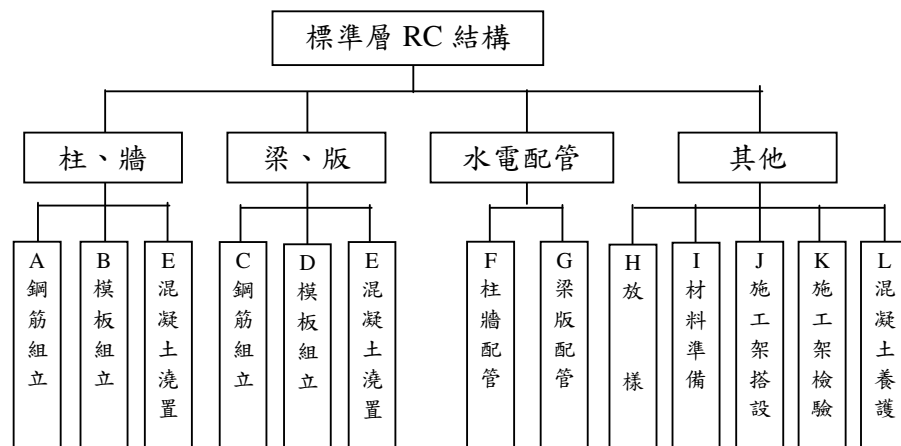
此種轉換關係有無通用之性質，實在值得進一步探討！因為繪製 PDM 網狀圖畢竟十分簡單，假使 ADM 網狀圖也能以 PDM 網狀圖轉換而得，如此對於 ADM 網狀圖的繪製就可增添一份助力。

毋庸置疑地，所有 PDM 網狀圖皆可進行轉換而成為 ADM 網狀圖，然而圖 1.9 虛業數量甚多，顯然並非最終規劃成果，因此在前述轉換之後，別忘了刪除「贅餘虛業」精簡網圖，是隨後必須進行的末端工作。

## 1.7 網狀圖繪製標準化

### 1.7.1 準備作業

1.工作分解：將一個工程依照規模、特性及管理組織型態，區分成便於管理之基本單元，該基本單元即稱之為作業(Activity)，此乃利用分工的原理將工程系統導入專業管理必經的途徑，通常可用一種圖表方式來表達，此種圖表稱為分工結構圖(Work Breakdown Structure 簡稱 W.B.S)，分工方法不一而足，但必須符合組織運作原則，便於管理為主要目的。



【圖 1.11 RC 結構之分工結構圖】

- 2.擬定作業計劃(Activity Planning)：由各分項作業管理人員，以其專業知識規劃單項作業計劃，計劃內容包括工法之選擇，及伴隨工法所需之資源(機具、材料、技工)、工期、成本等，以建立系統整合所需的基本資訊。
- 3.作業順序之安排：檢討各項作業關連性，決定其施工順序，利用表列方式將相鄰作業關係一一明示，俾進一步將之組合成一完整系統，進而檢討整體計劃情形。作業關係表示方法，在 ADM 網圖中常用下列兩種方式表示：

(a) 列表表示法：

【表 1.6 作業關係表示方法】

作業名稱	鄰接作業	
	先行作業	後續作業
A	—	B、C
B	A	D
C	A	E、F
D	B	F
E	C	—
F	C、D	—

(b) 矩陣表示法：

【表 1.7 矩陣關係表示方法】

作業名稱		後續作業					
		A	B	C	D	E	F
先行作業	A		●	●			
	B				●		
	C					●	●
	D						
	E						
	F						

【表 1.8 標準層 RC 結構工程作業關係實例】

作業項目	先行作業	後續作業
A. 柱牆鋼筋組立	I. 材料準備	B. 柱牆模板組立
B. 柱牆模板組立	A. 柱牆鋼筋組立 J. 施工架搭設	D. 樑版模板組立
C. 梁版鋼筋組立	D. 梁版模板組立	K. 施工檢查
D. 梁版模板組立	B. 牆模板組立 F. 柱牆配管	C. 梁版鋼筋組立 G. 梁版配管
E. 混凝土澆置	G. 梁版配管 K. 施工檢查	L. 混凝土養護
F. 柱牆配管	I. 材料準備	D. 梁版模板組立
G. 梁版配管	D. 梁版模板組立	E. 混凝土澆置
H. 放樣	—	I. 材料準備
I. 材料準備	H. 放樣	A. 柱牆鋼筋組立 F. 柱牆配管
J. 施工架搭設	—	B. 柱牆模板組立
K. 施工檢查	C. 梁版鋼筋組立	E. 混凝土澆置
L. 養護	E. 混凝土澆置	—



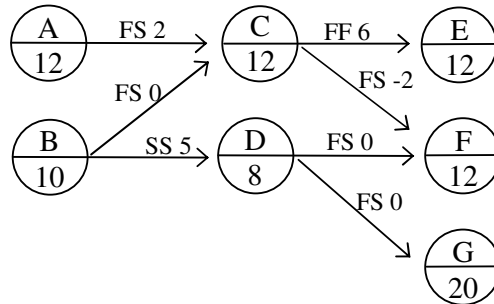
至於 PDM 網圖系統，表達作業關係時，應加註作業關係式，例如：

【表 1.9 PDM 作業關係範例】

作業項目	先行作業(關係式)			後續作業(關係式)		
A	I	FS	0	B	FS	0
B	A	FS	0	D	FS	0
	J	FS	0			
C	D	FS	0	K	FS	0
D	B	FS	0	C	FS	0
	F	FS	0	G	FS	0
E	G	FS	0	L	FS	0
	K	FS	0		FS	0
F	I	FS	0	D	FS	0
G	D	FS	0	E	FS	0
H	—			I	FS	0
I	H	FS	0	A	FS	0
				F	FS	0
J	—			B	FS	0
K	C	FS	0	E	FS	0
L	E	FS	0	—		

### 1.7.2 PDM 網圖繪製

繪製 PDM 網圖易學易懂，只要將所有作業毫不遺漏地，利用結點表示在圖上，再將已知之作業關係利用箭線連接並加註其關係式即可，唯一要注意的是儘可能在事前區分作業順序層次，依序由左向右排列，以維持圖面之條理性。



【圖 1.12 PDM 網圖範例】

另一個繪製 PDM 網圖的方法，是應用套裝軟體程式—目前普遍應用的 P3、Open Plan、PM（捷運局）及 Microsoft Project 等，只要將作業基本資料及作業關係式輸入電腦，便能享受自動化成果，迅速獲得 PDM 網圖及相關產出資訊，可謂十分便利。

### 1.7.3 ADM 網圖繪製

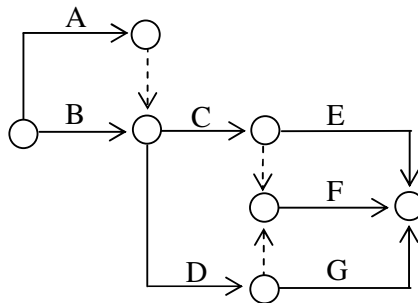
ADM 網圖繪製的關鍵在於如何安置適當的虛業，而虛業的多寡決定繪製的難易度；因此若能直接從作業關係式中，精準研判形成虛業的位置和數量，則 ADM 網圖即可謂垂手可得。

以下列作業關係表為例，簡單說明如何研判現有資訊與 ADM 網圖之關係：

作業項目	先行作業	後續作業
A	—	C, D
B	—	C, D
C	A, B	E, F
D	A, B	F, G
E	C	—
F	C, D	—
G	D	—

觀察「先行作業」欄位，判定 A、B 為「開工作業」。

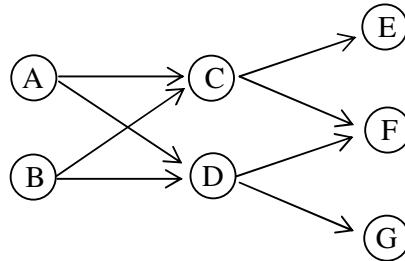
- (1) 觀察「後續作業」欄位，判定 E、F、G 為「完工作業」。
- (2) 觀察「後續作業」欄位，發現 A、B 有共同後續作業 C、D；故不須要使用虛業，且兩者會共用完成結點（參閱 1.5 節）。雖然就「施工邏輯」而言，不須使用虛業，但依照 ADM「繪圖規則」，因 A、B 為開工作業將共用開始結點，而形成「兩個結點同時表示兩個作業」，故最後結果在作業 A、B 中，必須介入一個虛業，才能符合繪圖規定。
- (3) 觀察「後續作業」欄位，C、D 之後續作業產生交集（F），故此處須運用二個虛業，以符合「施工邏輯」需求。
- (4) 本例 ADM 網狀圖繪製如下（合計使用三個虛業）：



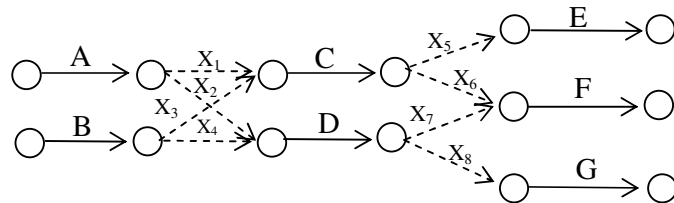
【圖 1.13 ADM 網圖繪製範例】

以直接判定虛業的方法，繪製 ADM 網圖是最簡捷的方式，但對於初學者卻不易執行。另外有一種方法是採用間接的方式，先繪製 PDM 網圖後，再轉換為 ADM 網圖，轉換過程中必須不斷檢討虛業的適用性及必要性，只要熟練，也不失為一個有效的方法，以前例說明如下：

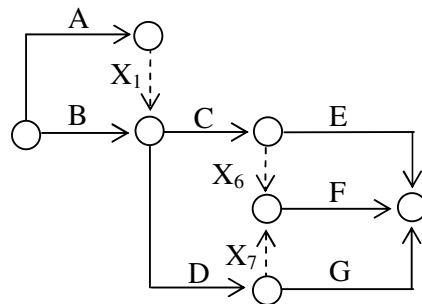
(1)先繪製 PDM 網狀圖。



(2)轉換為初始 ADM 網圖。



(3)檢討虛業的適用性與必要性，刪除不必要的虛業。



## 1.8 中繼結點法

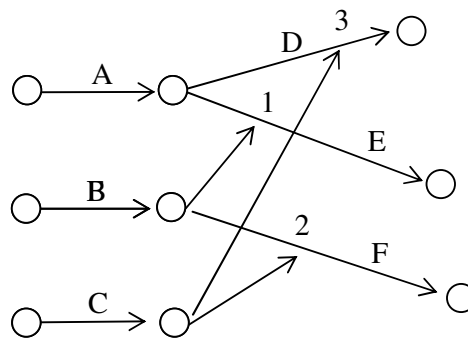
ADM 網狀圖產生虛業的根源，在於兩個作業其後續作業的交集狀況，1.5 節中曾說明有四種基本情況，會產生 0~2 個不等的虛業數量。本節將進一步發展一種可行方法，運用簡單的構想—設置「中繼結點」，以替代複雜的思考，而將虛業的配置，自然形成，

對於初學者而言，只要稍加練習，必可運用自如。茲舉一例，說明其操作步驟如下：

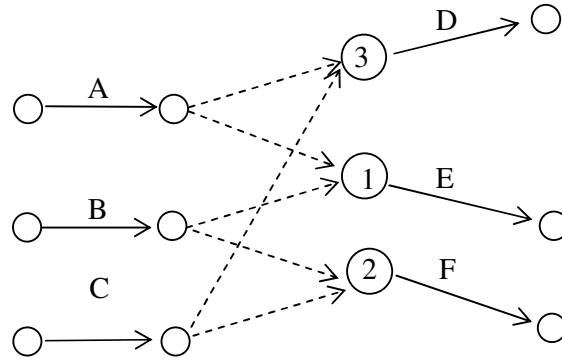
已知 A、B、C 為開工作業，D、E、F 為完工作業，其作業關係如下所示：

作業項目	先行作業	後續作業
A	—	D, E
B	—	E, F
C	—	F, D
D	A, C	—
E	A, B	—
F	B, C	—

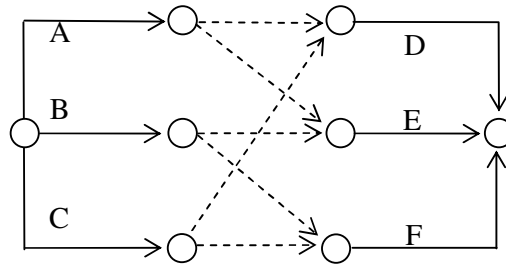
Step 1：依照作業項目依序畫出其後續作業，當產生共同後續作業時，若無適當結點可以連結，則如下圖設置「中繼結點」。



Step 2：以中繼結點分割該作業，匯入中繼結點前方以虛業表示，  
後方為原作業。



Step 3：將起點和終點整合為封閉系統，同時檢討圖中有無不必要之虛業。



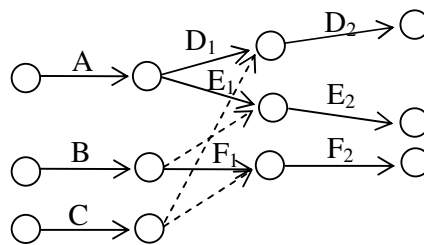
### 1.9 作業分割法

作業分割法與中繼結點法的原理相通，觀念一致。操作方法是將具有二個以上先行作業的項目，在繪圖前事先予以分割，其後再依照已知之作業關係尋找適合的連結結點，構成符合邏輯的 ADM 網狀圖。

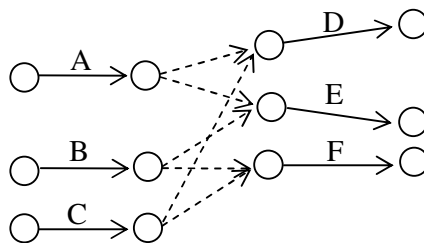
以前節相同例題，說明作業分割法操作步驟如下：

作業項目	先行作業	後續作業
A	—	D, E
B	—	E, F
C	—	F, D
D	A, C	—
E	A, B	—
F	B, C	—

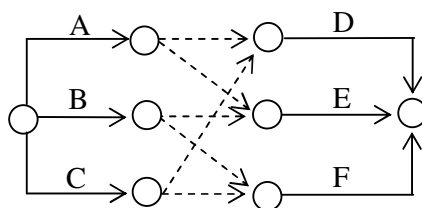
Step 1：事先將有二個以上先行作業之共同作業分割成若干小段，分段數依照先行作業數來決定，分段數的上限恰為該作業前方先行作業數量，就本例而言，D、E、F 作業各有二個先行作業，故其分段數為二，接著依照作業關係，由左而右依序連結合適之結點。



Step 2：將分割作業最終連結結點前方作業以虛業表示之，如 D、E、F，其後方作業合併為原作業以實線表示，即獲得與「中繼結點法」Step 2 相同之結果。



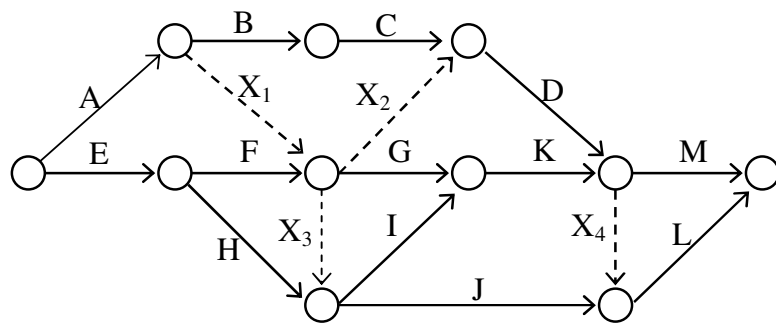
Step 3：最後整理網狀圖，刪除不必要的虛業，即得 ADM 網狀圖。





**\*\* 精選例題 \*\*****A0110**

ADM 網狀圖的系統概念



- 1.指出本工程(1)最早開工(2)第二早開工(3)最遲完工(4)第二遲完工的作業項目。
- 2.上圖中四個「虛作業」，其規劃用意為何？若將所有虛作業移除，則其前後網狀圖所表現之意義有何差異？

## &lt;解答&gt;

1.

(1)最早開工	(2)第二早開工	(3)最遲完工	(4)第二遲完工
A 或(且)E	E 或(且)B A 或(且)F、H	M 或(且)L	L 或(且)D、K M 或(且)J

2.規劃用意： $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  為 A、F、D、K 之後續作業，其作用為「銜接 A、F、D、K 與其實體後續作業(即 G、I、J、D、L)之橋引。」虛業移除前、後比較： $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  移除後，A、D、F、K 之後續作業隨之改變。

作業項目	移除前	移除後
	後續作業	後續作業
A	B、G、D、I、J	B
B	C	C
C	D	D
D	M、L	M
E	F、H	F、H
F	D、G、I、J	G
G	K	K
H	I、J	I、J
I	K	K
J	L	L
K	M、L	M
L	—	—
M	—	—

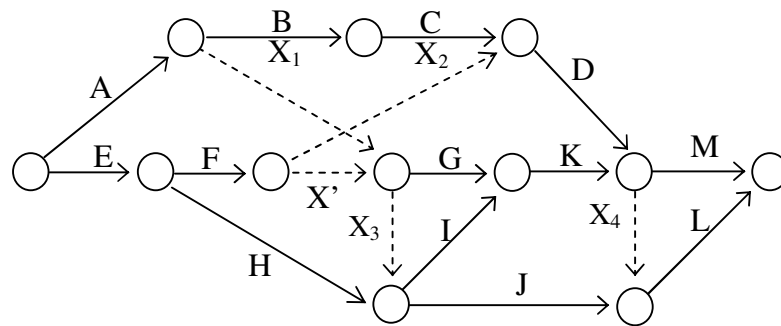
同理可證：在虛業  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  移除前後，其先行作業關係比較如下：（假使讀者注意觀察，可以發現被影響的作業與虛業  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  的完成結點有關）

作業項目	移除前	移除後
	先行作業	先行作業
A	—	—
B	A	A
C	B	B
D	A、C、F	C
E	—	—
F	E	E
G	A、F	F
H	E	E
I	A、F、H	H
J	A、F、H	H
K	G、I	G、I
L	D、K、J	J
M	D、K	D、K

※進一步思考：

B、D 具有先行與後續作業關係，但因  $X_1$ 、 $X_2$  之介入而同時成為 A 的後續作業，形成一個特殊現象；但是若將  $X_2$  予以剔除，則將切斷 F 與 D 之作業關係，不符合網圖規劃原意。

若將本網圖略加修改（如下圖），請讀者仔細觀察並進一步思考網圖邏輯意涵，修改前、後兩個網狀圖除了形貌改變之外，就時間分析的內涵而言，究竟有何差異？



## A0120

「先行作業」與「後續作業」

承上題，再回答下列各題：

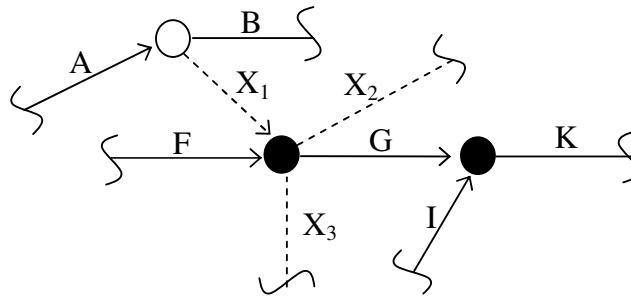
1. 列出作業 G、K 之「先行作業」與「後續作業」。
2. 假定作業 M 已完工，則在「最樂觀」和「最悲觀」的情況下，尚未完工之作業為何？
3. 列表表示本工程所有作業，其在「開工前」必須完成以及「完工後」才能施作的作業項目。
4. 列表表示本工程「先行作業」與「後續作業」之關係表。
5. 比較 3、4. 所得之解答，請予歸納出一個結論。

# <解答>

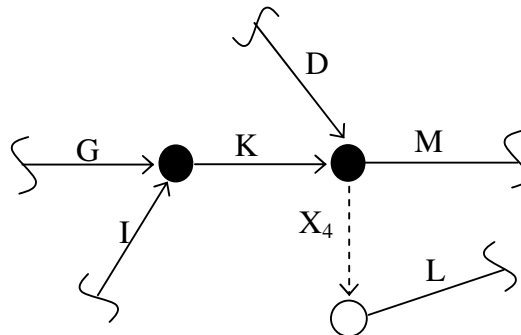
1.

作業項目	先行作業	後續作業
G	A、F	K
K	G、I	M、L

For G：



For K：



2.最樂觀：全部完工。

最悲觀：J、L 尚未完工（因為其他作業在 M 作業開始施作前必須完成）。

3.

作業項目	開工前必須完成	完工後才能施作
A	—	B、C、D、M、G、K、I、J、L
B	A	C、D、M、L
C	A、B	D、M、L
D	A、B、C、E、F	M、L
E	—	F、G、K、M、D、H、I、J、L
F	E	G、D、K、M、I、J、L
G	A、E、F	K、M、L
H	E	I、K、M、J、L
I	A、E、F、H	K、M、L
J	A、E、F、H	L
K	A、E、F、G、H、I	M、L
L	A、B、C、D、E、F、G、H、I、J、K	—
M	A、B、C、D、E、F、G、H、I、K	—

4.

作業項目	先行作業	後續作業
A	—	B、G、I、J
B	A	C
C	B	D
D	C、F	M、L
E	—	F、H
F	E	D、G、I、J
G	A、F	K
H	E	I、J
I	A、F、H	K
J	A、F、H	L
K	G、I	M、L
L	D、K、J	—
M	D、K	—

5. 「先行作業」是指緊接在前的作業，「後續作業」是指緊跟其後的作業；若求得先行作業後再持續往前追溯其先行作業，則其總成即為「開工前必須完成之作業」；而「完工後才能施作的作業」亦為「後續作業」往後延伸之結果。

歸納結論：3.、4.所得結果可以相通、互換，兩者可視為「廣義」與「狹義」之定義差異，而其所表達之網圖內涵則完全一致，故一般以「先行作業」與「後續作業」表達作業關係，非但簡潔同時也具備必要且充分之要件。



## A0130

「並行作業」與「同時施工」的關聯性

承上題，再回答下列各題：

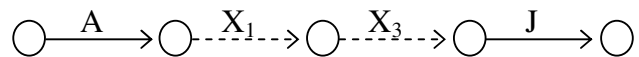
1. 何謂「並行作業」？在已規劃完成的網圖中，如何研判任意作業之並行作業項目？試以作業 A、B 為例，列出其並行作業。
2. 在何種情況下，作業 A、J 將會產生「同時施工」之情況？
3. 假設作業 K 目前施工進度達 25%，則本工程此時「至多」與「至少」已完工之作業有那些？

## &lt;解答&gt;

1. 並行作業：兩個作業之間不具有廣義的「先行作業」或「後續作業」關係者，即是「並行作業」。

作業項目	並行作業
A	E、F、H
B	E、F、G、K、H、I、J

2. A 為 J 之先行作業，故依現有規劃條件，二者並無「同時施工」之可能。



(只有「並行作業」才有「同時施工」的可能，但並非所有並行作業都會同時施工)

3. 「至少」：A、E、F、H、G、I(不包括並行作業 B、C、D、J)

「至多」：A、E、F、H、G、I 及 B、C、D、J (除了 M、L 以外)

**A0140**

「先行作業」與「後續作業」之轉換

作業項目	先行作業
A	C
B	A
C	—
D	C
E	D
F	A、E、H
G	—
H	D、G
I	D、G

1. 試將已知之「先行作業」關係，轉換為「後續作業」關係。
2. 再將前題所得結果，再還原為「先行作業」關係，並加以比較，以印證其正確性。

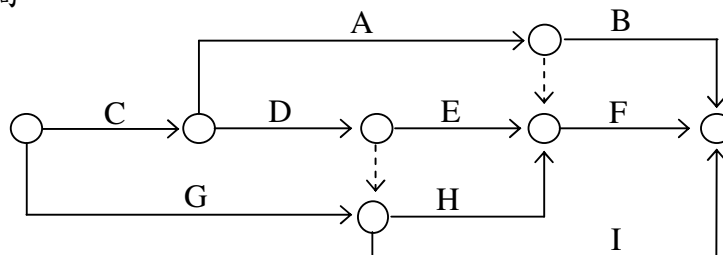
## &lt;解答&gt;

1.

作業項目	先行作業	後續作業
A	C	B、F
B	A	—
C	—	A、D
D	C	E、I、H
E	D	F
F	A、E、H	—
G	—	H、I
H	D、G	F
I	D、G	—

說明：「先行作業」與「後續作業」為成對出現且相互對應。因此 A 的先行作業有 C，即表示 C 的後續作業有 A；故欲決定 C 的後續作業項目，僅須瀏覽「先行作業欄位」中出現 C 的位置，在本例中計有兩處，其對應之「作業項目欄位」分別為 A 和 D，故 C 的「後續作業」為 A、D，依此類推。

另一個方法（如下）是依據已知之先行作業關係，繪出網狀圖後，再從圖中推導後續作業，不過此點對於初學者難度極高。

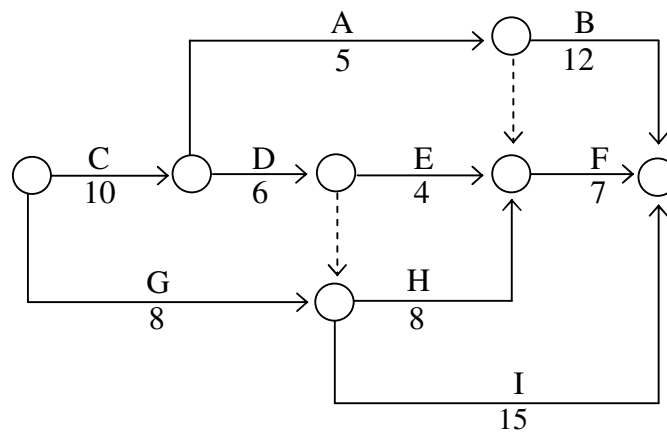


2.略（請自行練習）

## A0150

網狀圖與作業關係

工程網狀圖規劃完成如下，試還原列出所有作業之「先行作業」與「後續作業」。

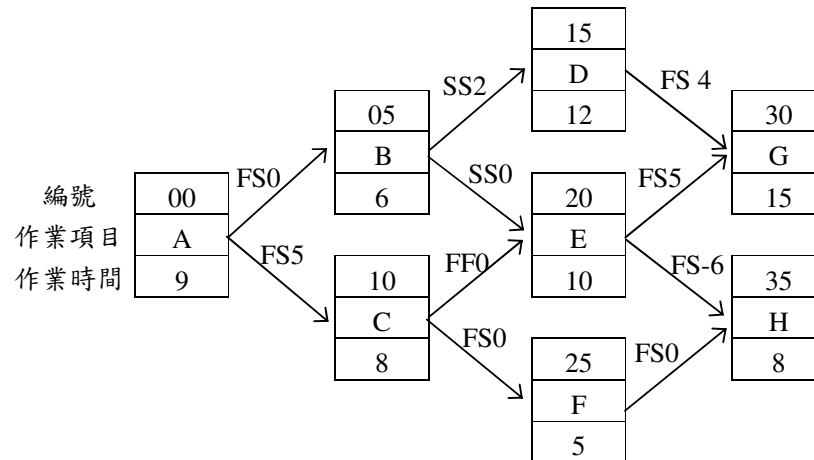


## &lt;解答&gt;

作業項目	先行作業	後續作業
A	C	B、F
B	A	—
C	—	A、D
D	C	E、H、I
E	D	F
F	A、E、H	—
G	—	H、I
H	D、G	F
I	D、G	—

## A0210

PDM 網狀圖的表現方式



1. 列表表示本工程之作業關係。
2. 本工程(1)最早開工(2)第二早開工(3)最遲完工(4)第二遲完工之作業項目為何？

## &lt;解答&gt;

1.

作業項目	先行作業－關係式	後續作業－關係式
A	—	B FS 0 C FS 5
B	A FS 0	D SS 2 E SS 0
C	A FS 5	E FF 0 F FS 0
D	B SS 2	G FS 4
E	B SS 0 C FF 0	G FS 5 H FS -6
F	C FS 0	H FS 0
G	D FS 4 E FS 5	—
H	E FS -6 F FS 0	—

2.

(1)最早開工	(2)第二早開工	(3)最遲完工	(4)第二 遲完工
A	B 或(且) C	H 或(且) G	G 或(且)F 或 H 或(且)D



## A0220

「並行作業」與「同時施工」的關聯性

承上題：

1. 列出本工程所有作業的「並行作業」。
2. 探討以下作業群組，同時施工的可能性？
  - (1) 作業 A 和 B。
  - (2) 作業 D 和 G。
  - (3) 作業 C 和 E。
  - (4) 作業 B 和 E。
  - (5) 作業 E 和 H。

## &lt;解答&gt;

1.

作業項目	並行作業
A	—
B	C、D、E、F
C	B、D、E
D	B、C、E、F、H
E	B、C、D、H
F	B、D、G
G	F、H
H	D、E、G

2.

- (1) 作業 A 和 B：不可能（A 為 B 的先行作業 FS 0）。
- (2) 作業 D 和 G：不可能（D 為 G 的先行作業 FS 4）。
- (3) 作業 C 和 E：可能（兩者為並行作業）。
- (4) 作業 B 和 E：可能（兩者為並行作業，因關係式為 SS 0）。
- (5) 作業 E 和 H：可能（兩者為並行作業，因關係式為 FS -6）。

**A0230**

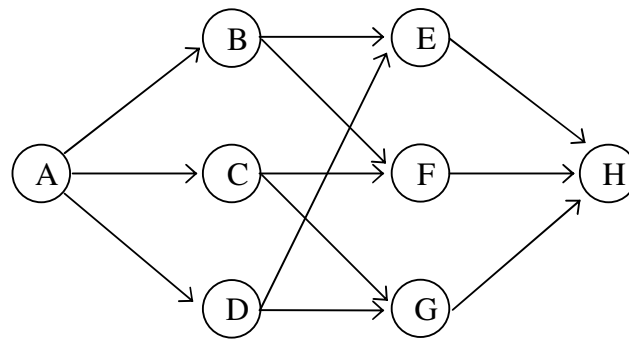
ADM 與 PDM 網狀圖

規劃條件如下，試繪製 ADM 與 PDM 網狀圖：

作業項目	先行作業	後續作業
A	—	B FS0 C FS0 D FS0
B	A FS0	E FS0 F FS0
C	A FS0	F FS0 G FS0
D	A FS0	E FS0 G FS0
E	B FS0 D FS0	H FS0
F	B FS0 C FS0	H FS0
G	C FS0 D FS0	H FS0
H	E FS0 F FS0 G FS0	—

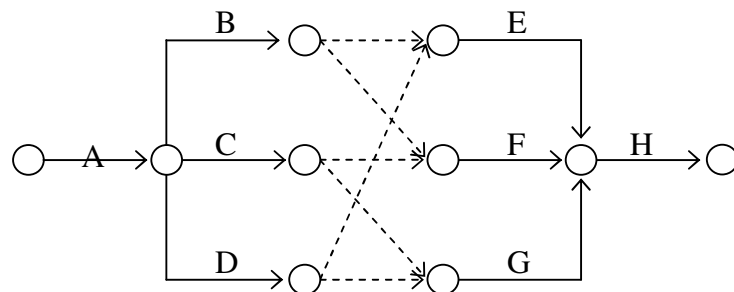
# <解答>

## 1. PMD 網狀圖：



(關係式全部為 FS 0)

## 2. ADM 網狀圖：

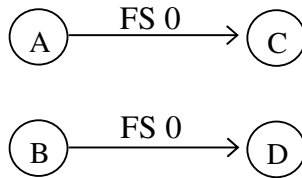


## A0310

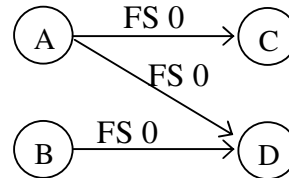
ADM 與 PDM 之互換

1. 將以下四個 PDM 網狀圖轉換為 ADM 網狀圖：

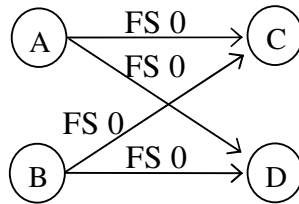
(1)



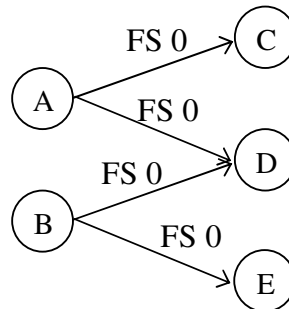
(2)



(3)



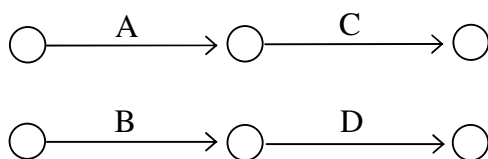
(4)



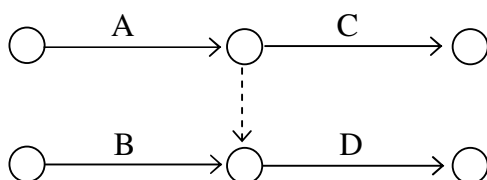
2. 進一步探討 ADM 網狀圖必須以「虛業」表達的原理何在？

# <解答>

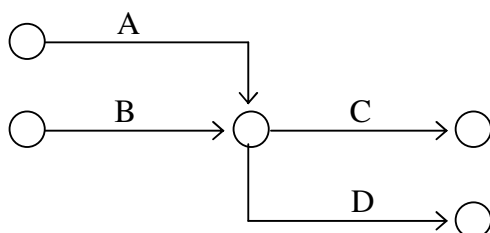
1.(1)



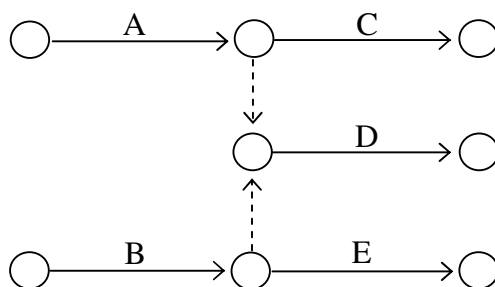
(2)




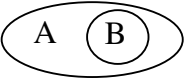
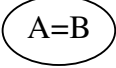

(3)



(4)



2.當兩個作業的後續作業產生不同交集狀況時，所需虛業的數量亦有不同，歸納前題所得結果如下：

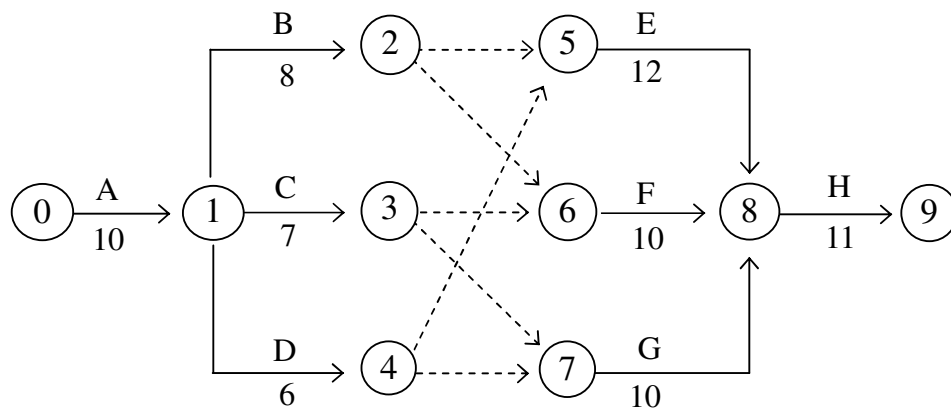
兩個作業的後續作業交集	虛業數量
	0
	1
	0
	2

因此介入虛業的主要目的，在於分割兩個作業合理區分其後續作業。「虛業」是一個虛擬的作業，藉以完整表達施工邏輯關係，但作業時間為零，就時間分析而言，虛業的功能只有引導方向，並不佔用任何時間。

## A0320

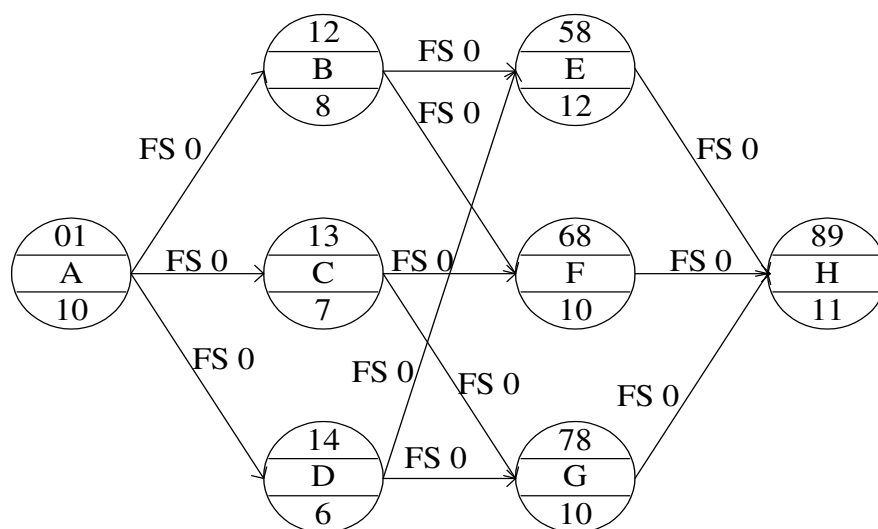
ADM 與 PDM 之互換

試將 ADM 網狀圖轉換為 PDM 網狀圖：





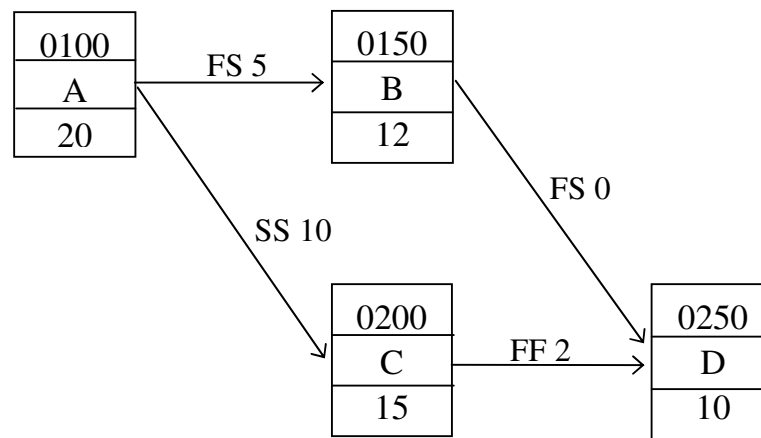
<解答>



**A0330**

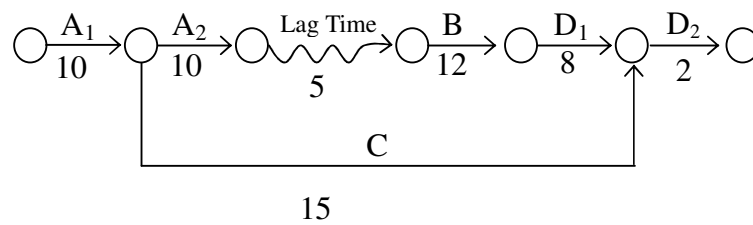
ADM 與 PDM 之互換

試將 PDM 網狀圖轉換為 ADM 網狀圖：

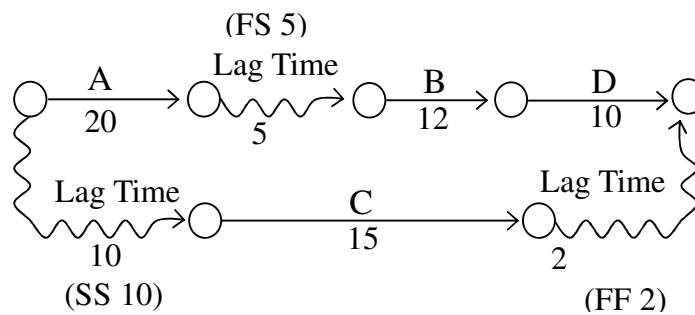


## <解答>

方法一：分割作業 A、D：

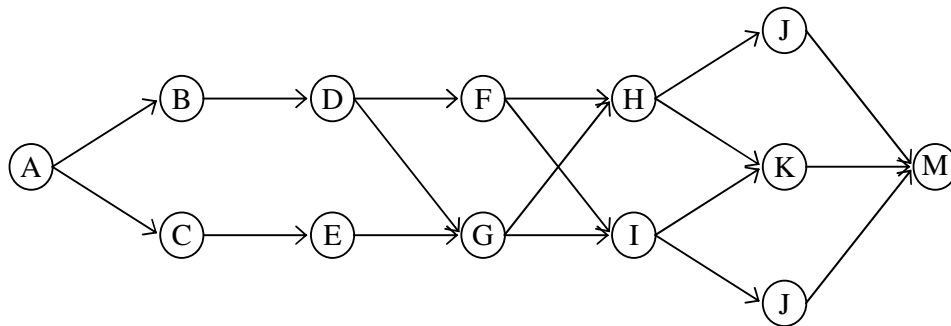


方法二：加入 Lag Time：



**A0340**

虛業數量之研判

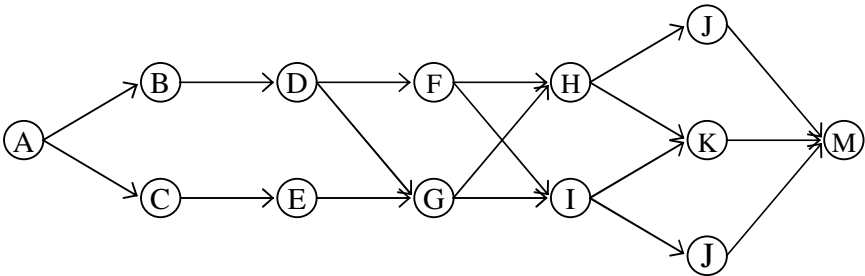


(PS：作業關係式全部為 FS 0)

1. 試就已知之 PDM 網狀圖直接研判，將之轉換為 ADM 網狀圖時，會出現虛業的位置所在。
2. 轉換為 ADM 網狀圖時，所須最少的虛業數量為何？
3. 繪製 ADM 網狀圖。

<解答>

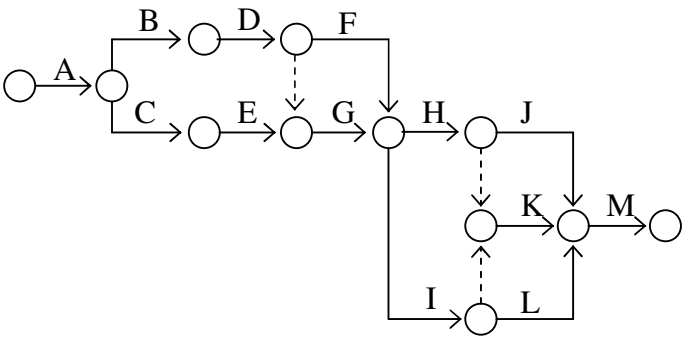
1. 計有 3 個虛業，出現在區間 3 和區間 5 的位置上（如下圖）：



虛業量	區間 1	區間 2	區間 3	區間 4	區間 5	區間 6
	A~B	B~D	D~F	F~H	H~I	I~M
	0	0	1	0	2	0

2. 最少 3 個虛業。

3.

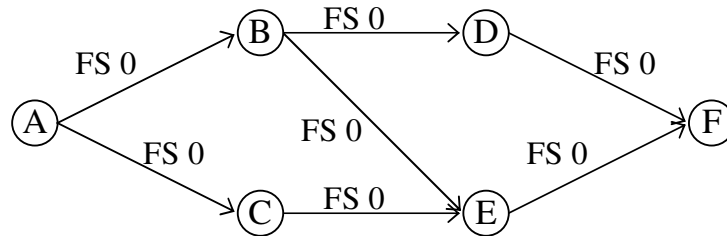


## A0350

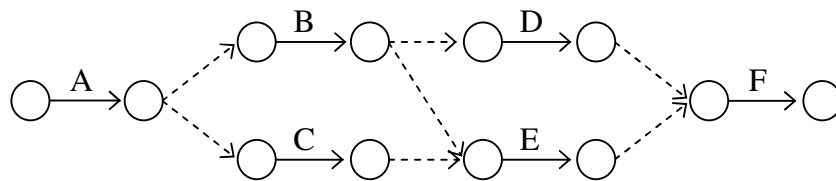
網狀圖與施工邏輯

比較以下三個網狀圖的施工邏輯有何差異？

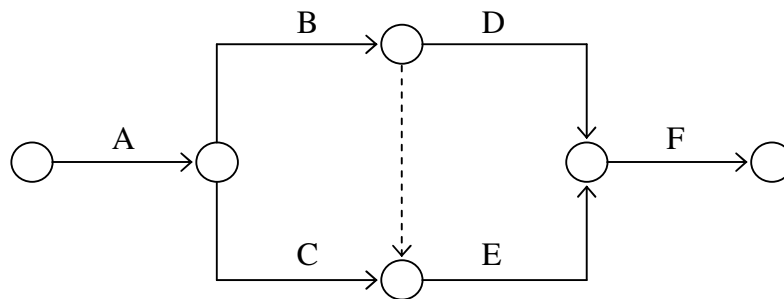
(1) PDM



(2) ADM



(3) ADM



**<解答>**

沒有差異，三個網圖邏輯皆相同，作業關係如下：

作業項目	先行作業	後續作業
A	—	B、C
B	A	D、E
C	A	E
D	B	F
E	B、C	F
F	D、E	—

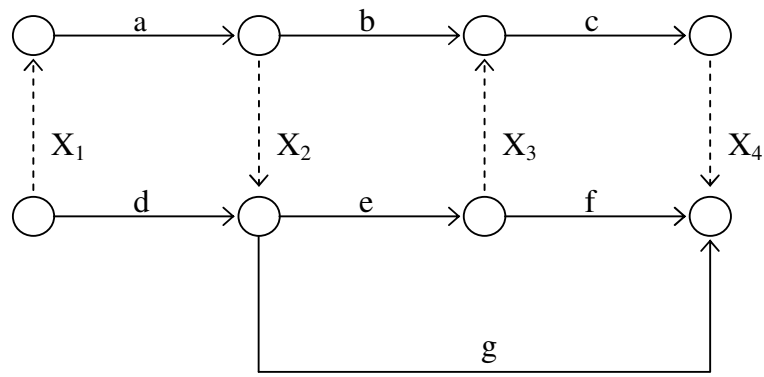
說明：

- 1.ADM 網圖中，中間結點所表達的意義為 FS 0。
- 2.ADM 網圖中，虛業所表達的意義亦為 FS 0，故圖(2)與圖(3)雖然虛業數量不同，但不影響二者所表現之網圖邏輯。

## A0410

贅餘虛業之判斷

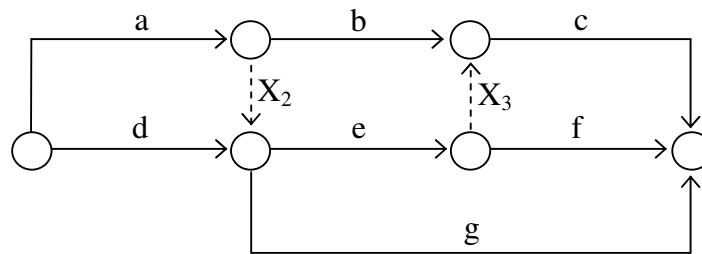
不改變原規劃條件，下列 ADM 網狀圖中非必要的虛業有幾個？並繪製簡化後的網狀圖。





## &lt;解答&gt;

$X_1$ 、 $X_4$  為非必要虛業，剔除  $X_1$ 、 $X_4$  後簡化網圖如下：

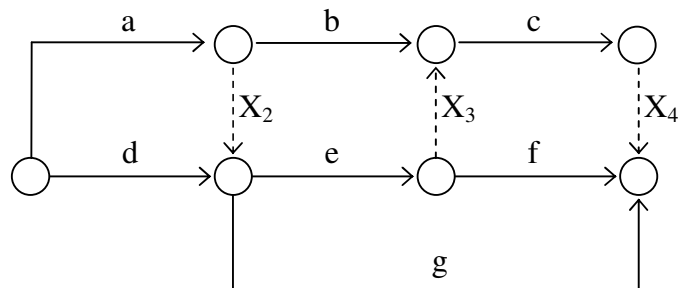


※如何研判虛業存在的必要性，以下提供三種方法，供作參考：

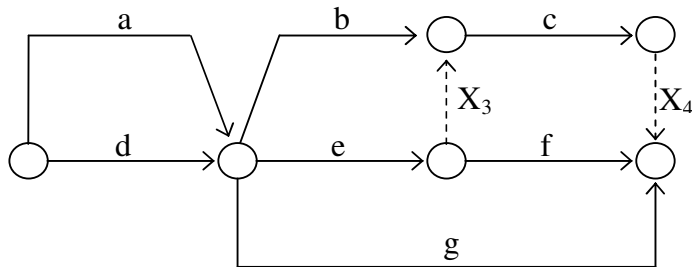
【第一種方法】在網圖上直接研判。

分別以  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  為探討對象，壓縮該虛業兩端結點，檢視原有網圖邏輯有無被改變，即可研判該虛業之「必要性」。

(1) 壓縮  $X_1$ ：網圖邏輯不變，故  $X_1$  為「非必要」。



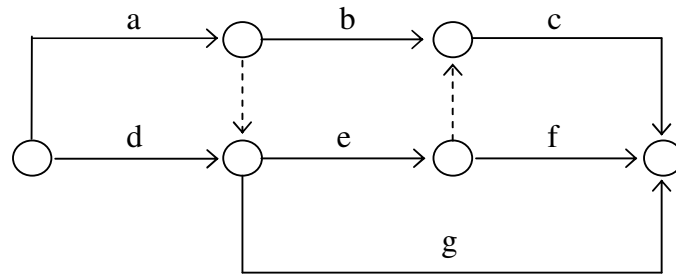
- (2) 壓縮  $X_2$ ：形成作業 a、d 共用開始與完成結點；  
且 b 作業成為 d 作業之後續作業，破壞原有邏輯，故  $X_2$  為必要。



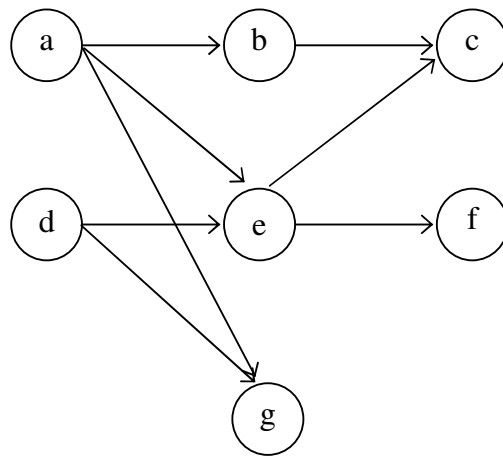
- (3) 同理進行壓縮  $X_3$ 、 $X_4$ ，請自行練習。

【第二種方法】列出作業關係後，重新繪製網狀圖，即可研判本題只須兩個虛業。

作業項目	後續作業
a	b、e、g
b	c
c	—
d	e、g
e	c、f
f	—
g	—



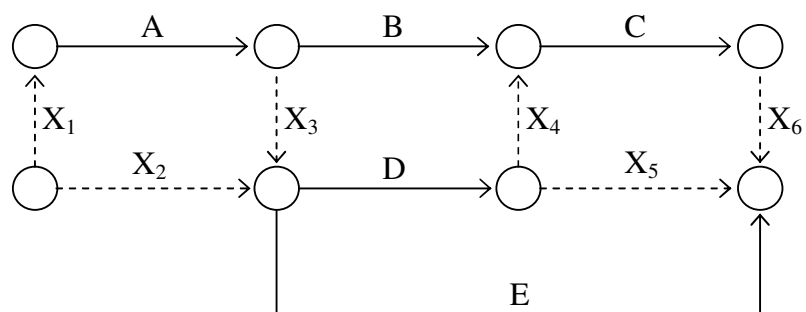
【第三種方法】先繪製 PDM 網狀圖後，直接研判虛業所在位置及數量（作業 a、d 及作業 b、e 兩組後續作業各須一個虛業）：可參閱 A0310。



## A0420

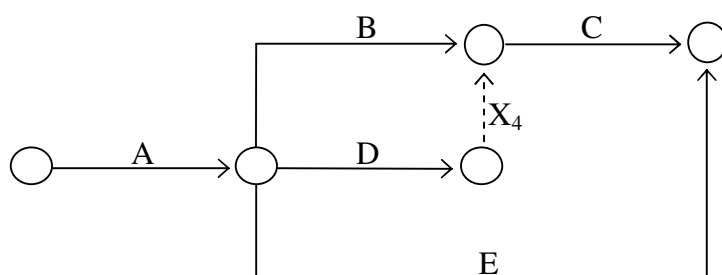
贅餘虛業之判斷

化簡 ADM 網狀圖：

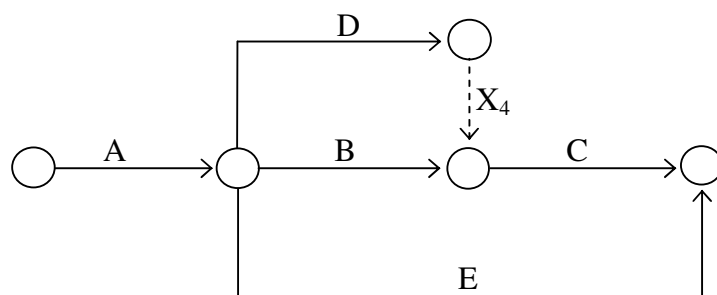


# <解答>

除  $X_4$  以外皆為不必要虛業，網圖化簡如下：



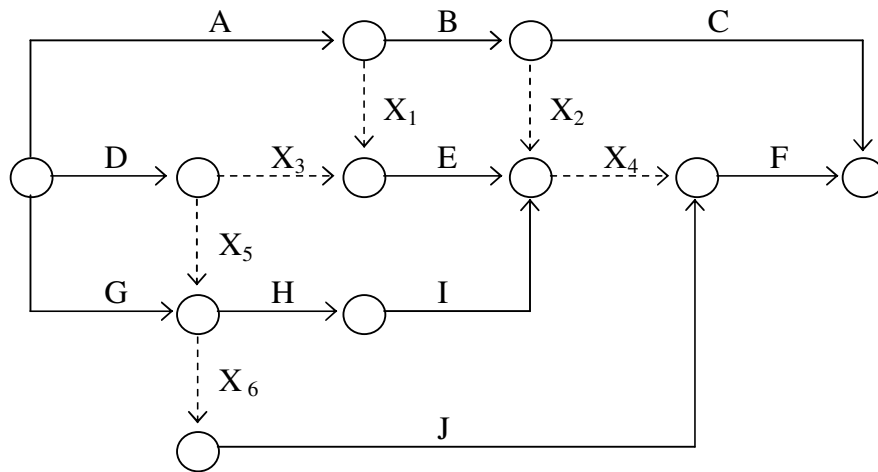
OR



## A0430

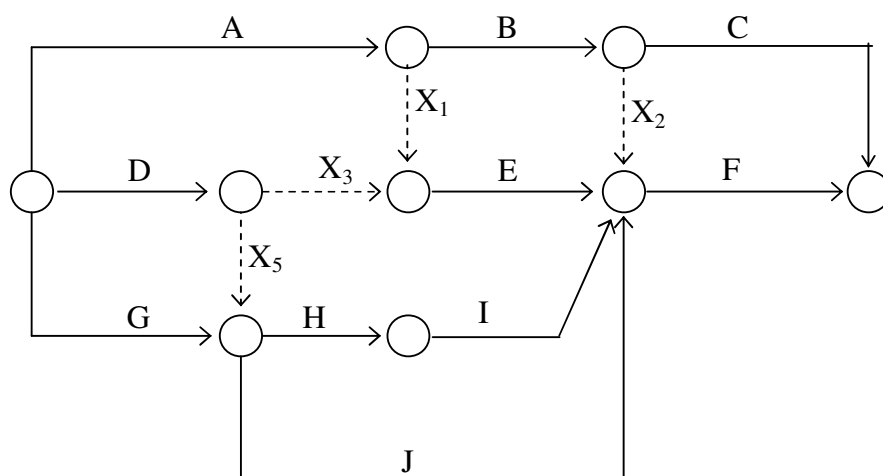
贅餘虛業之判斷

檢討下列網狀圖，刪除不必要的虛業：



# <解答>

$X_4$ 、 $X_6$ 可刪除，化簡網圖如下：

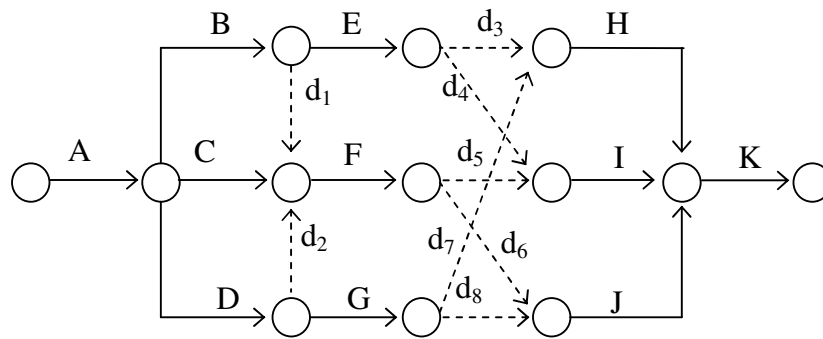


### A0440

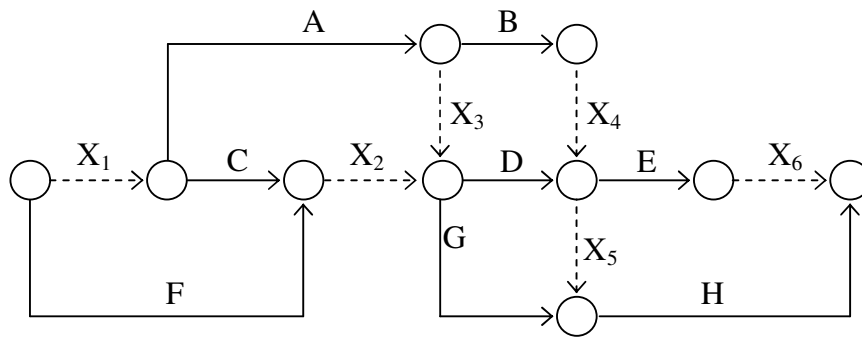
贅餘虛業之判斷與影響

檢討以下已繪製完成的網狀圖，其「虛業」配置是否適當？

1.



2.

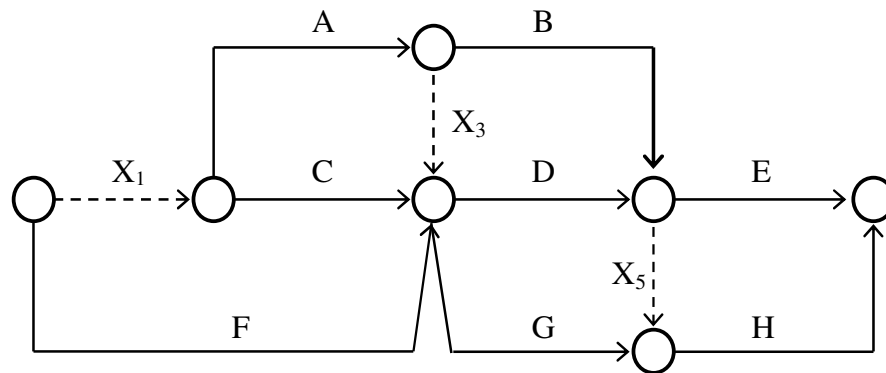


3. 贅餘虛業若不予剔除，對網狀圖有何影響？



## &lt;解答&gt;

1. 無贅餘虛業，該網圖已為最簡網圖。
2.  $X_2$ 、 $X_4$ 、 $X_6$  可剔除，化簡後網圖如下：



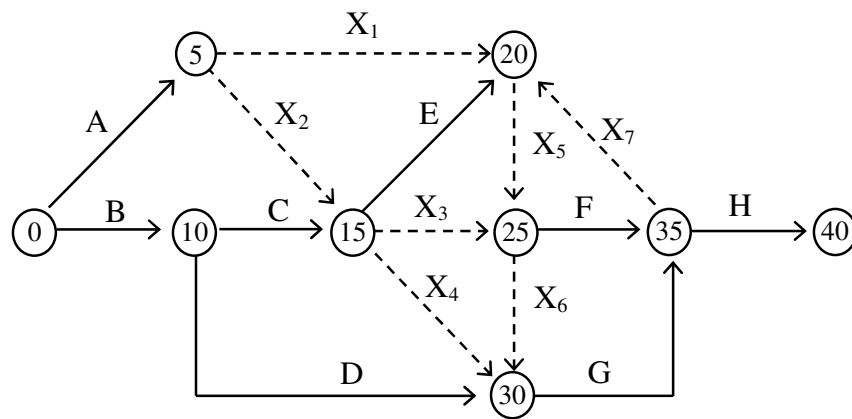
3. 贅餘虛業若不予剔除，則網狀圖會顯得較繁雜，因而影響觀瞻，閱圖不易，但對於時間分析與作業排程，其結果並不受影響。

## A0450

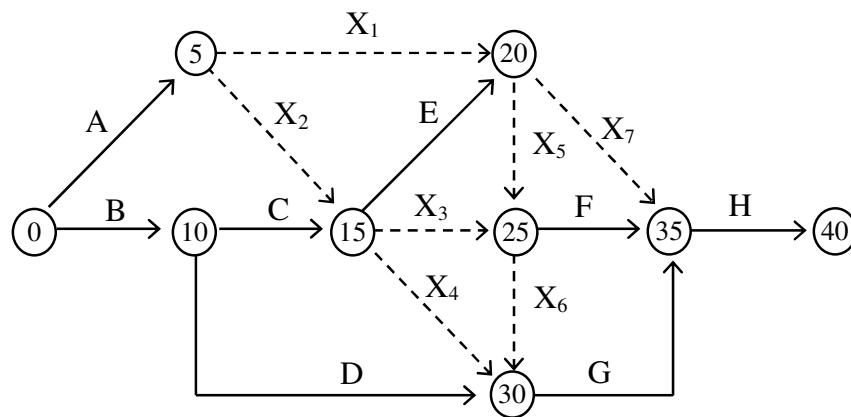
贅餘虛業之判斷

化簡以下工程網狀圖：

1.

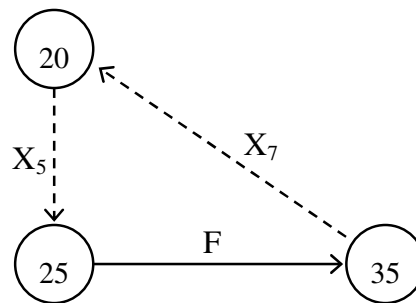


2.

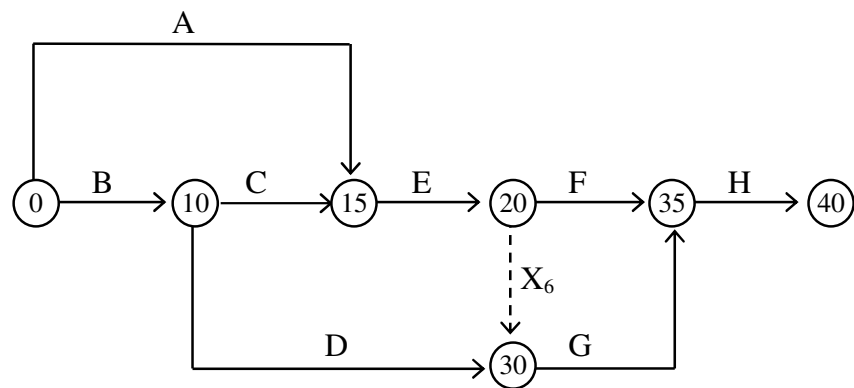


<解答>

1. 循環作業構成子網圖存在本網圖中，故本網圖為錯誤網圖，無法化簡。



2. 除  $X_6$  以外，皆為贅餘虛業可以刪除。

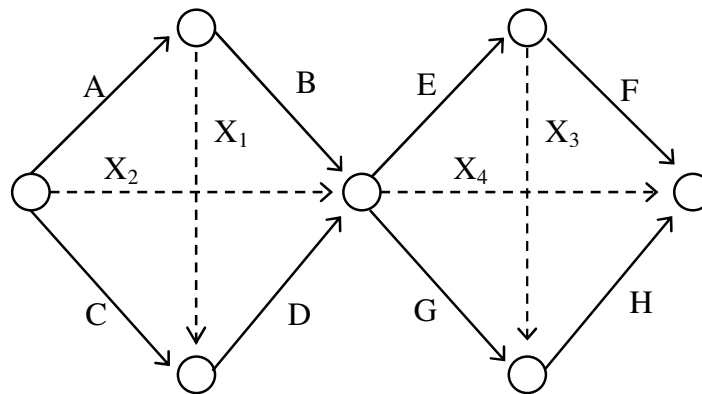


## A0460

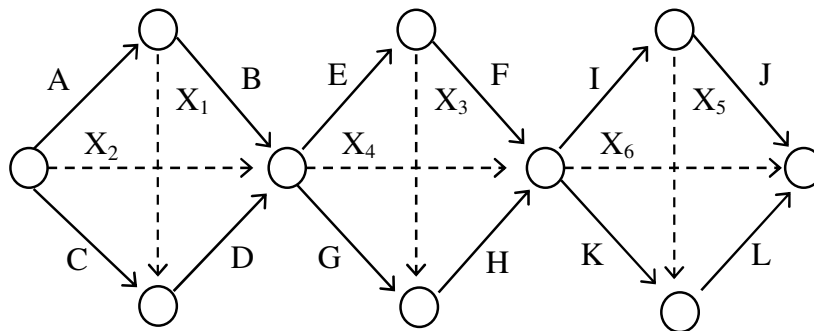
贅餘虛業之判斷

化簡以下網狀圖：

1.

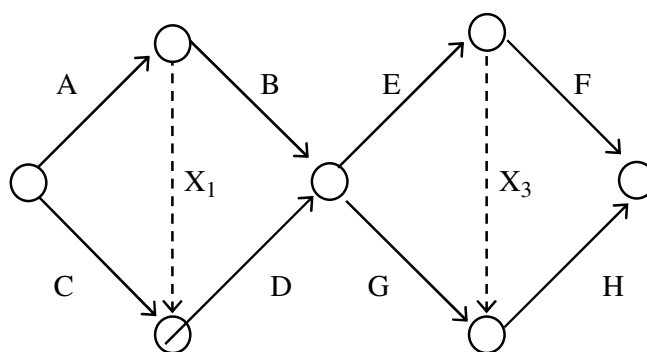


2.

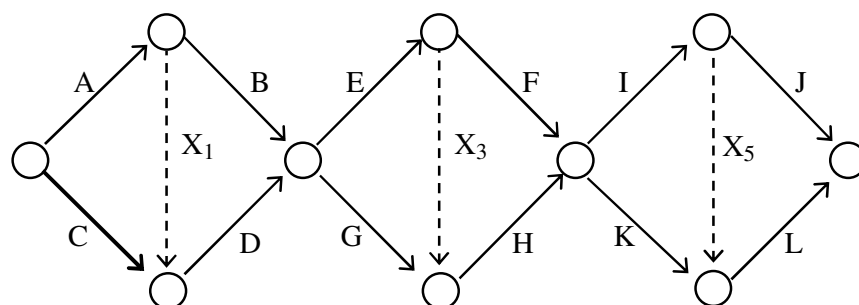


<解答>

1.



2.

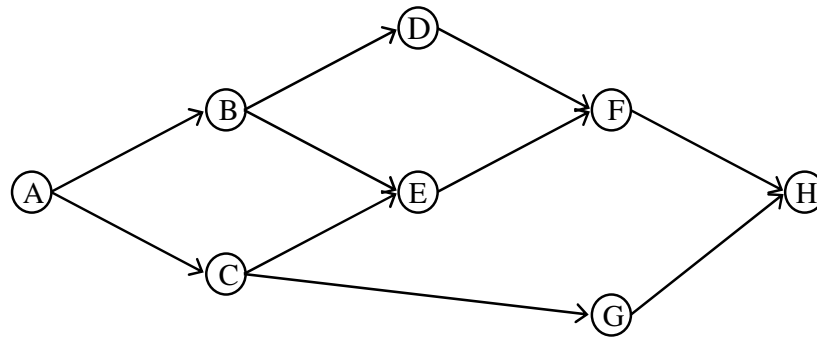


## A0510

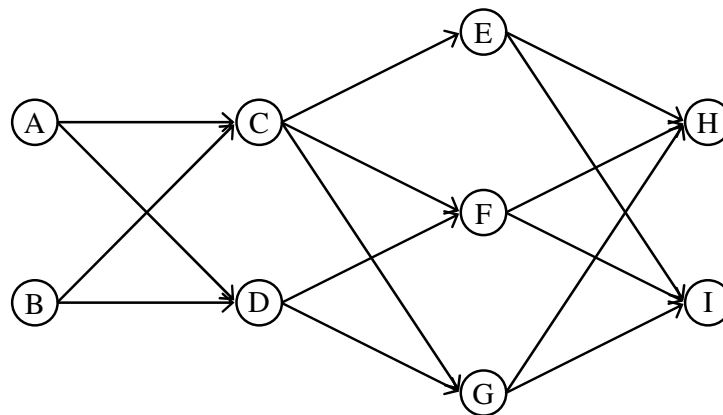
以虛業刪除法轉換網狀圖

試將下列 PDM 網狀圖，運用虛業刪除的方法轉換為 ADM 網狀圖：

1.

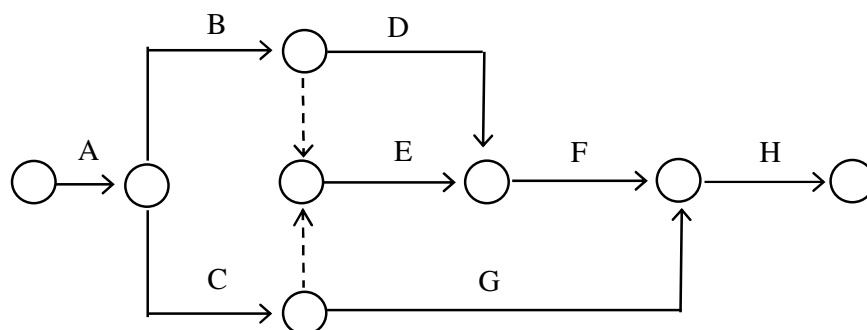
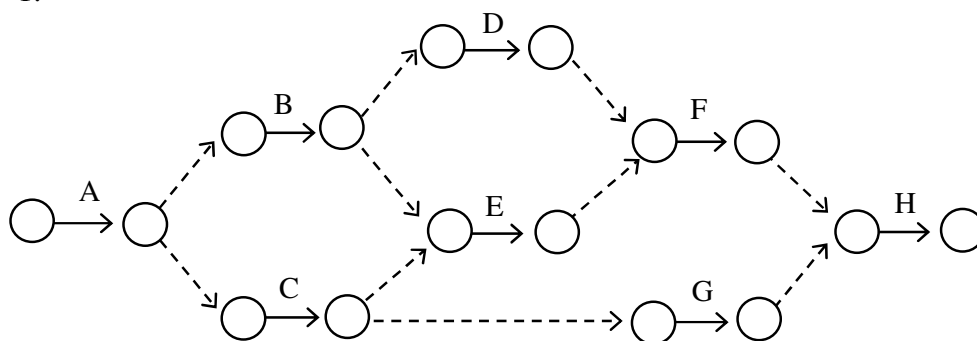


2.

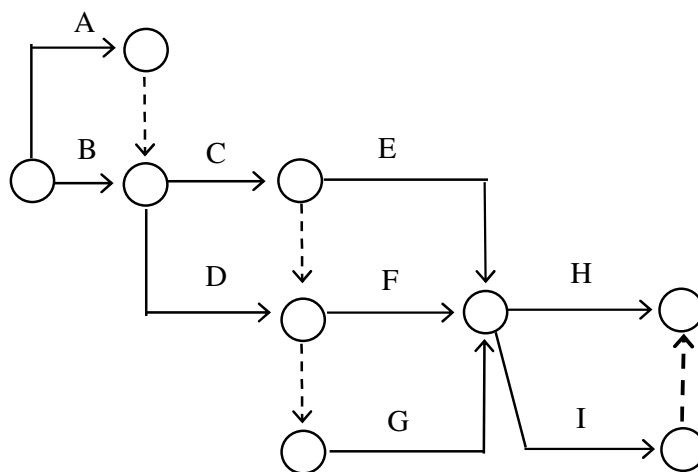
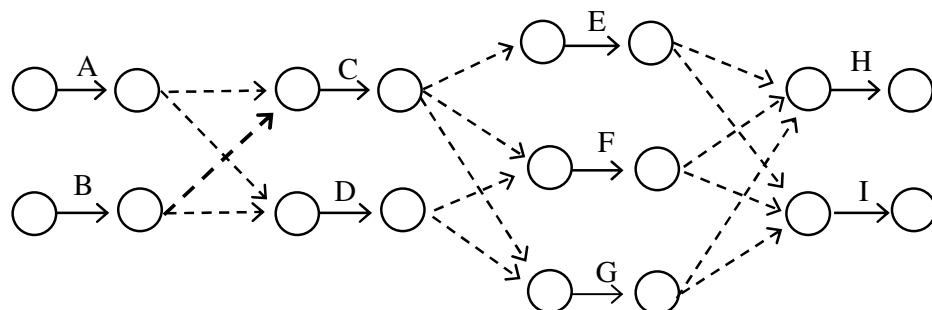


<解答>

1.



2.





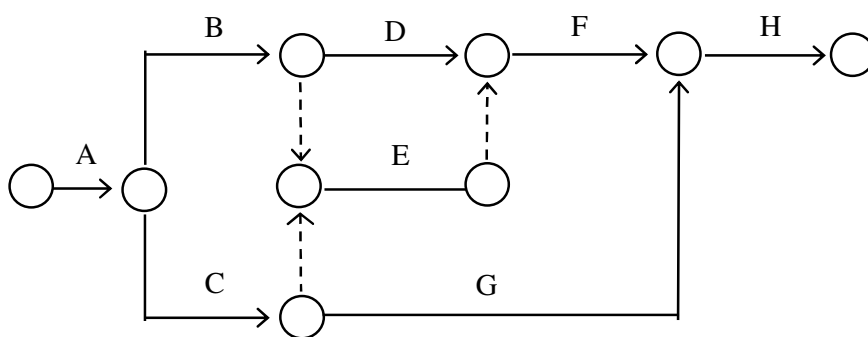
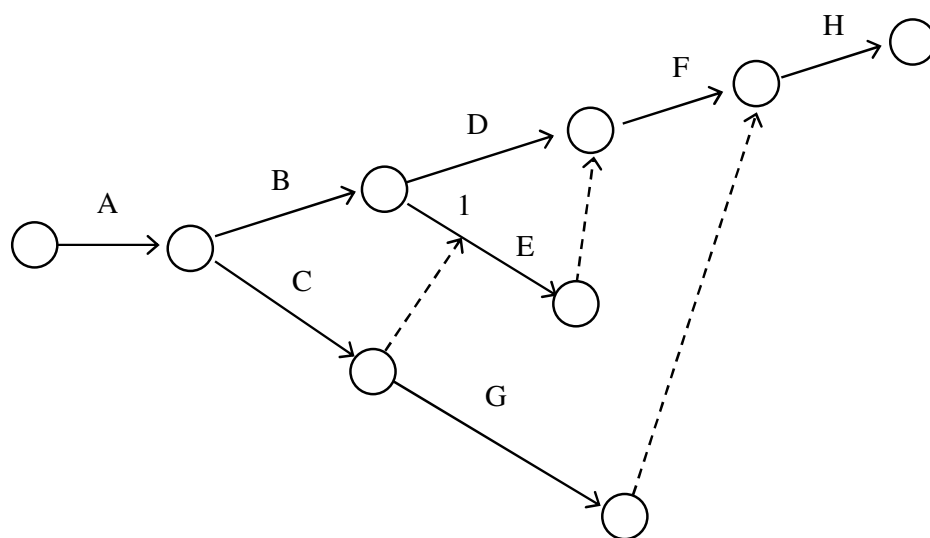
**A0520**

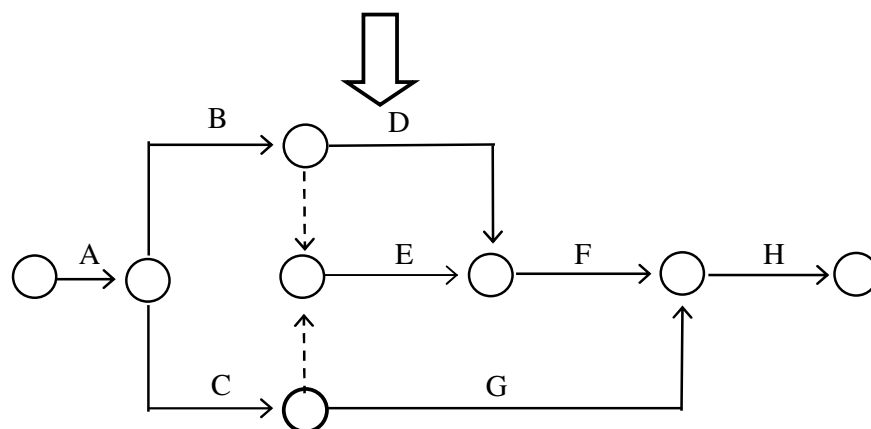
中繼結點法

運用「中繼結點法」繪製 ADM 網狀圖：

作業項目	後續作業
A	B、C
B	D、E
C	E、G
D	F
E	F
F	H
G	H
H	—

<解答>





**A0530**

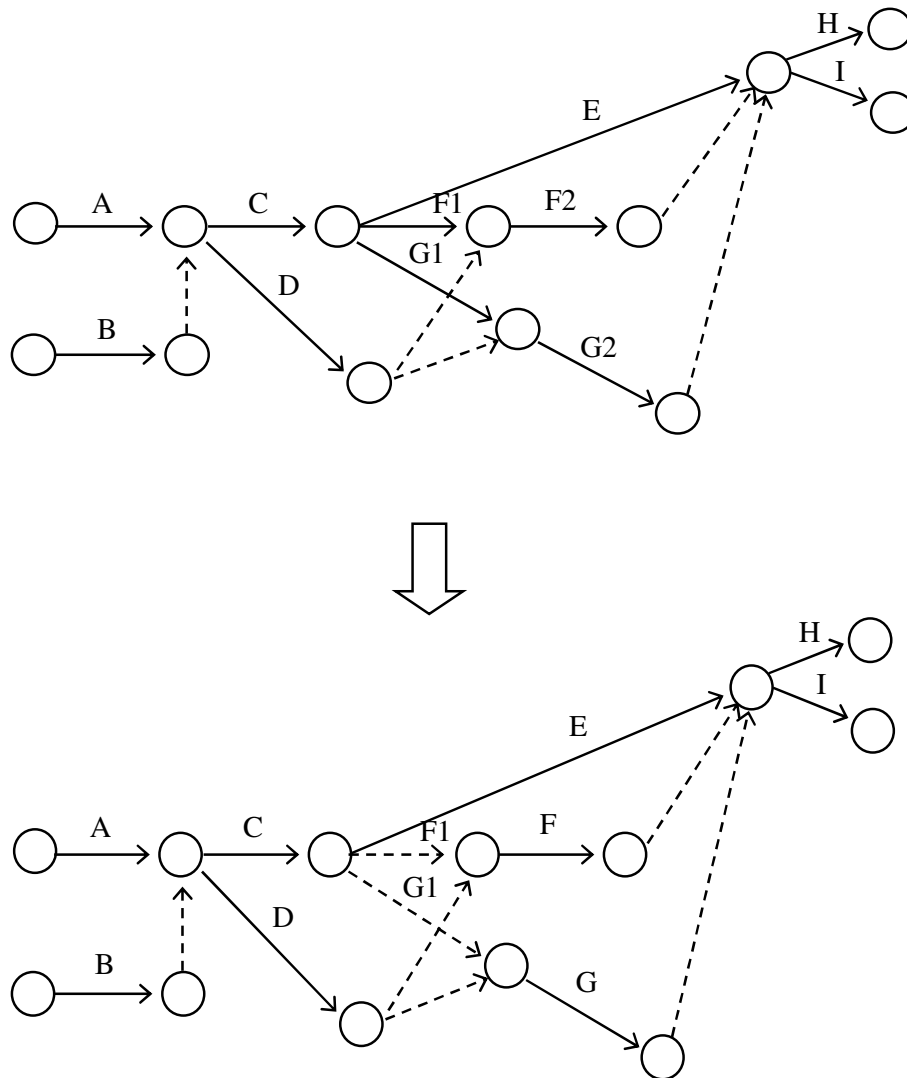
作業分割法

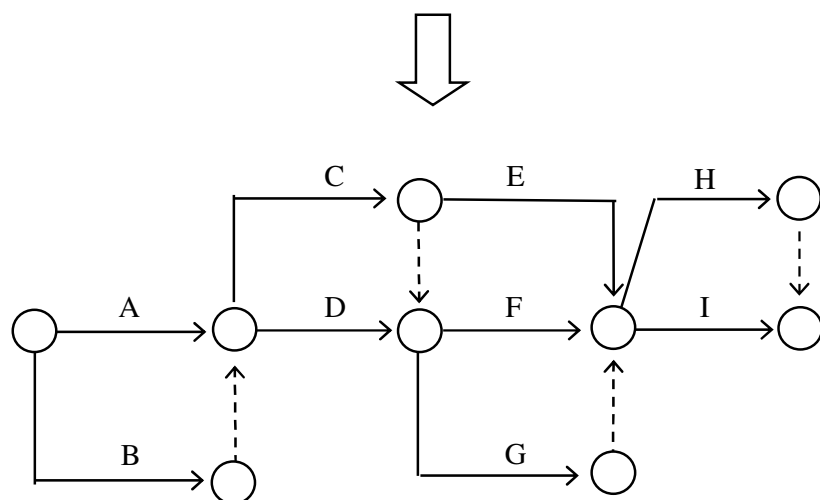
運用「作業分割法」繪製 ADM 網狀圖：

作業項目	後續作業
A（開工作業）	C、D
B（開工作業）	C、D
C	E、F、G
D	F、G
E	H、I
F	H、I

**<解答>**

由作業關係研判，只有 F、G 才有作業分割的需要，網圖繪製發展過程如下：





## 第二單元 網狀圖時間分析

- 2.1 時間分析的十個參數
- 2.2 前進計算法與後退計算法
- 2.3 排程分析
- 2.4 FF、IF 和 TF 之轉換
- 2.5 決定要徑的五個方法.
- 2.6 CPM&PETR
- 2.7 PDM 網圖時間運算

## 第二單元 網狀圖時間分析

### 2.1 時間分析的十個參數

在繪製完成之網狀圖進行時間運算，便能明瞭目前的規劃工期，以及各個作業施工緩急程度與單一作業對工期的影響情形。

網狀圖從起點到終點間有數條路徑，以 CPM 的觀念而言，在這些路徑中有一條（或一條以上）最長的路徑為決定工期的關鍵路線，該路徑稱為要徑（Critical Path），網狀圖時間運算的第一個目標就是要決定要徑之構成作業，在正常情況下，要徑作業的施工績效直接影響工期，通常在管理程序上列入最優先考慮的對象，要徑外作業在網圖運作之時，也有可能因並行作業控制過程中的互動關係，取代原要徑而成為新要徑，此時管理重點亦隨之改變。

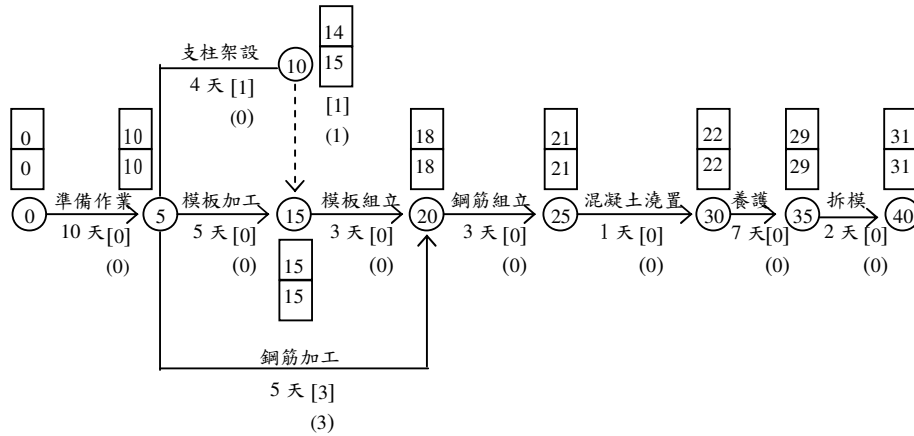
要徑法（Critical Path Method 簡稱 CPM）是以管制「即時要徑」作為工期管理的手段。而計劃評核術（Program Evaluation and Review Technique, 簡稱 PERT）則是引用統計方法，通盤分析網圖中所有路徑，以機率理論研判完工可行性，作為判定要徑及控制工期的方法。

網狀圖時間運算的第二個目標是：決定作業浮時（Float Time）。作業浮時大小可據以研判對整體工程影響程度之高低，浮時大小僅次於要徑者，稱為「次要徑」，次要徑具有潛在機會將取代要徑而成為新要徑，故作業浮時的監控也是工期管理中重要的一環。

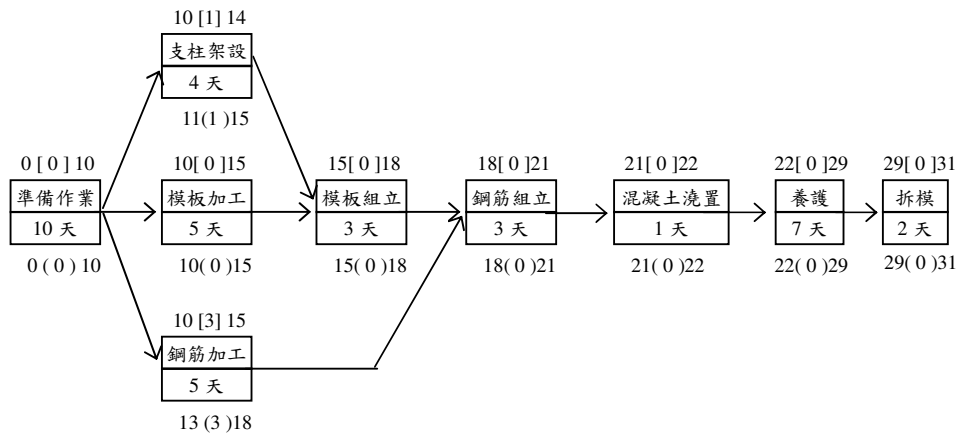
網狀圖時間運算的第三個目標是：建立執行計畫。具體而言，就是決定各項作業排程。除了要徑作業有明確的施工時程外，要徑外作業可以在最早開工計畫（ES plan）和最遲開工計畫（LS plan）之間彈性調度，故分析的目的就在於界定最早與最遲開工計畫之範圍，以協助決策者作成決定。



茲將網圖時間分析的十個參數，以 ADM 網圖系統歸納分類說明如下，同時提供圖 2.1 及圖 2.2，以 RC 建築工程標準層結構體施工網圖分析之成果，作為參考。



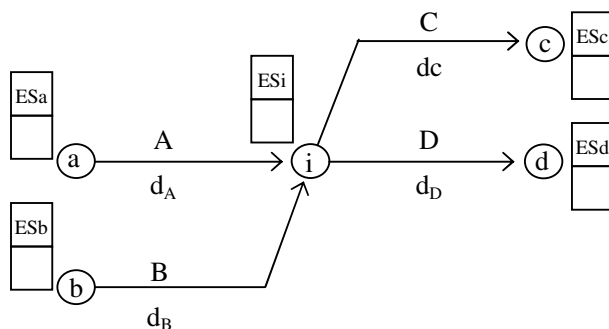
【圖 2.1 RC 建築工程標準層結構體施工網圖 (ADM)】



【圖 2.2 RC 建築工程標準層結構體施工網圖 (PDM)】

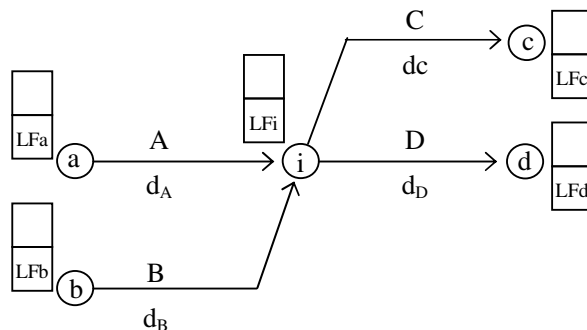
### 2.1.1 結點時間

1. 最早開始時間：網狀圖中結點可以開始執行的出發時間稱為結點最早開始時間（Earliest Start Time），以  $ES_i$  來表示。

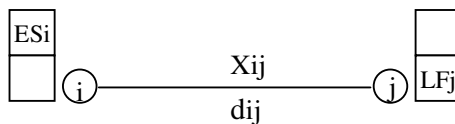


$ES_i$  是指  $i$  結點後方作業 C、D 的最早出發時間。

2. 最遲完成時間：為達成預定的工期目標，或為避免工程發生逾期，而進行推算求得每個結點的完成時限，稱為結點最遲完成時間（Latest Finish Time），以  $LF_i$  來表示。 $LF_i$  的意義是指  $i$  結點前方作業 A、B 最遲完成的時限。



對於任意作業  $i \rightarrow j$  而言，在結點時間計算上應掌握的數值為  $ES_i$  及  $LF_j$ （如圖示），這兩個結點時間在未來相關參數的解析過程中將扮演非常重要的角色。

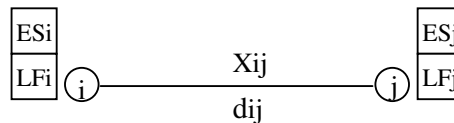


### 2.1.2 作業排程

作業排程是指一個「作業」排訂施工之時程，在網圖時間分析中，作業排程必介於最早開工計畫與最遲開工計畫之間，可視為決策者彈性調度之範圍，作業排程一經決定，便作為執行之依據，也是管理控制的基準。

通常，為決定各項作業之最適化排程，應先決定其臨界狀態，亦即確認攸關作業調度之數值，即（1）最早開始時間（2）最早完成時間（3）最遲開始時間（4）最遲完成時間。茲分述如下：

1. 最早開始時間：一個工程作業按照最早開工計畫執行的開始時間，以  $ES_{ij}$  表示。
2. 最早完成時間：一個工程作業以最早開始時間施工，依照原定作業時間推算之完成時間稱之，以  $EF_{ij}$  表示。
3. 最遲完成時間：一個工程作業按照最遲開工計畫之要求，最遲應予完成之時限稱之，以  $LF_{ij}$  表示。
4. 最遲開始時間：對應於最遲完成時間，依照原定作業時間反推，最遲應予開始之時間稱之，以  $LS_{ij}$  表示。



依照定義，可得下列關係式：

$$(1) ES_{ij} = ES_i$$

$$(2) EF_{ij} = ES_{ij} + d_{ij} = ES_i + d_{ij}$$

$$(3) LF_{ij} = LF_j$$

$$(4) LS_{ij} = LF_{ij} - d_{ij} = LF_j - d_{ij}$$

### 2.1.3 作業浮時

計算浮時的目的，主要在探討每一個作業對於整體工期或對後續作業的影響程度，並據以研判工程管理控制的重心。

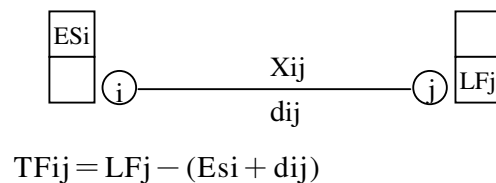
作業浮時有三種分類，即總浮時、自由浮時和干擾浮時；三種浮時有不同的意義，在應用時自有巧妙不同，須多加留意。

「浮時」泛指寬裕或容許延誤的時間，舉凡規劃階段的估計錯誤，或實際執行的控制偏差，都是造成作業排程或工期不能準確控制的可能因素，浮時可用以緩衝甚至包容這些失誤。因此，作業浮時的大小正足以反映其在工期管理之重要性，以及相關作業調度的彈性。

1. 總浮時 (Total Float Time) 係指不影響工期之條件下，作業時間控制之容許誤差，通常在網狀圖時間運算系統中，以「TF」表示之，總浮時在不同的工程條件或需求下，可為「+」或「-」，「+」表示容許之延誤時間，「-」表示必須趕工才能如期完工。依照定義，總浮時的大小，恰為一個作業最早開始時間與最遲開始時間的差距，或最早完成時間與最遲完成時間之差距，亦即：

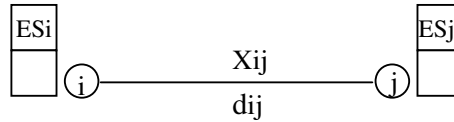
$$TF_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij} = (LS_{ij} + d_{ij}) - (ES_{ij} + d_{ij}) = LF_{ij} - EF_{ij}$$

在圖面計算時：



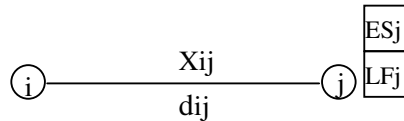
2. 自由浮時 (Free Float Time)：以進度管理的觀點而言，所有工程作業能夠愈早施工愈有利，因此，理想的狀況即依照最早開工計劃來進行；一個工程作業在不影響其後續作業，以最早開工

時間施工所存在的容許延誤時間稱為自由浮時，在網狀圖時間運算系統中以 (FF) 表示之，依照定義，自由浮時可以下式表示：



$$FF_{ij} = ES_j - EF_{ij} = ES_j - (ES_i + d_{ij})$$

3. 干擾浮時 (Interfering Float Time)：當一個作業自由浮時為零或自由浮時耗盡，仍存在著若干容許誤差時間而不致影響工期者稱為干擾浮時，以 IF 表示之；顯然在此種情況下，工程計畫已無法依最早開工計畫來實施，但只要在最遲開工計畫的範圍內，仍可如期或提前完工。IF 之值即是 TF 與 FF 之差，以下式表示：



$$\begin{aligned} IF_{ij} &= TF_{ij} - FF_{ij} \\ &= \{LF_j - (ES_i + d_{ij})\} - \{ES_j - (ES_i + d_{ij})\} \\ &= LF_j - ES_j \end{aligned}$$

#### 2.1.4 要徑

網狀圖中從起點到終點間，分佈許多路徑，其中最長的路徑，稱為要徑 (Critical Path)，要徑上的作業稱為要徑作業，要徑主宰工期，要徑作業為進度管理優先探討的對象。利用控制要徑以達成工期管理目的的方法，稱之為「要徑法」(Critical Path Method, CPM)。

由於工程期間長，且工程狀況瞬息萬變，導致工程要徑有隨時轉移的可能，因此，應用 CPM 執行進度與工期管理，應有掌握「即時要徑」(Current C.P.) 或「動態要徑」(Dynamic C.P.) 的正確觀念，才能有效發揮預期功能。

要徑具有下列基本性質：

- ① 路徑最長。
- ② 自由浮時為零（乃必要而非充分條件）。
- ③ 總浮時最小（可能為正或負）。
- ④ 要徑至少一條，但並非僅能有一條。
- ⑤ 控制過程中的變異，由於作業互動影響，要徑可能隨時改變。
- ⑥ 要徑上作業的總浮時必然相等。
- ⑦ 要徑外作業之總浮時與要徑作業之總浮時接近時，可視同要徑處理。
- ⑧ 資源調配時，要徑上作業毫無調度彈性可言。
- ⑨ 管理控制上的重點。
- ⑩ 縮短工期或趕工時為最優先著手的對象。
- ⑪ 縮短工期規劃時要徑數量會逐步增加。

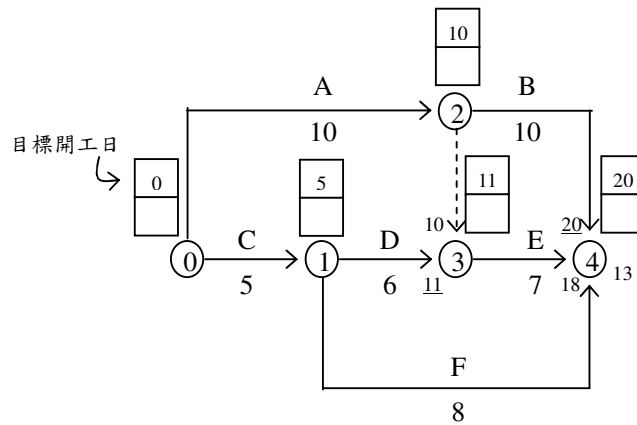
## 2.2 前進計算法與後退計算法

### 2.2.1 前進計算法

為決定 ADM 網圖中結點最早開始時間，所採用的計算方法稱為前進計算法。

顧名思義，前進計算法是朝著箭頭方向前進以進行計算，計算過程是以整體工程開工結點出發，按照路徑逐步推移至下一個結點，直至完成網圖所有結點之計算為止。

在前進計算的過程中，應先界定起算條件即確認開工結點之最早開始時間，此外若某結點前方有二條以上路徑匯集，則結點最早開始時間應取其中之「最大值」，以下圖為例，其起算條件為①結點之最早開始時間設定為 0，而③結點及④結點經取捨後，以最大值決定。



$$\text{實際工期} = ES_4 - ES_0 = 20 - 0 = 20$$

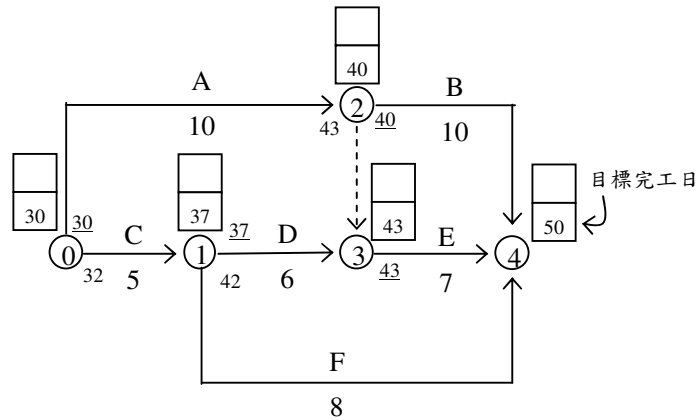
### 2.2.2 後退計算法

為決定 ADM 網圖中結點最遲完成時間，所採用的計算方法，稱為後退計算法。

後退計算法是由箭頭往箭尾方向，逆向推進以進行計算，計算過程是由整體工程完工結點為基礎，反向逆行推算至網圖所有結點。

推算過程中，必須先界定工程完工時間或目標工期，由最後一個結點逐步推算，當遇有某結點具有二個以上路徑以箭尾匯集時，必須取其最小值。

以下圖為例，目標完工日定為 50，②、①及③結點各有兩條路徑匯集，經取捨後以最小值決定其值，而實際工期為 50 與 ①結點之差值即  $LF_4 - LF_0 = 20$ 。



$$\text{實際工期} = LF_4 - LF_0 = 50 - 30 = 20$$

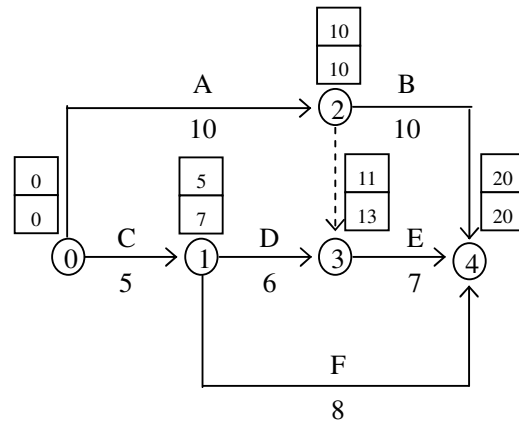
### 2.3 排程分析

排程分析的目的是為了確定各項作業的執行計畫，合理的作業排程介於最早開工計畫與最遲開工計畫兩個邊界範圍內，具體而言，任意作業排程的彈性與其總浮時大小有關。

要徑作業具有最小的總浮時，所以調度的彈性也最小，通常在進行排程計畫時會被列入優先考量。作業排程要考量的因素很多，事前應有充分的檢討，而一旦決定排程結果之後，便應加強落實，不再有輕重之分，因為「最適化」規劃若不能實踐，必定有所損失或損耗產生。

以下有關作業排程演練之實例，其中表列排程可用 Bar Chart 表現更易於理解。

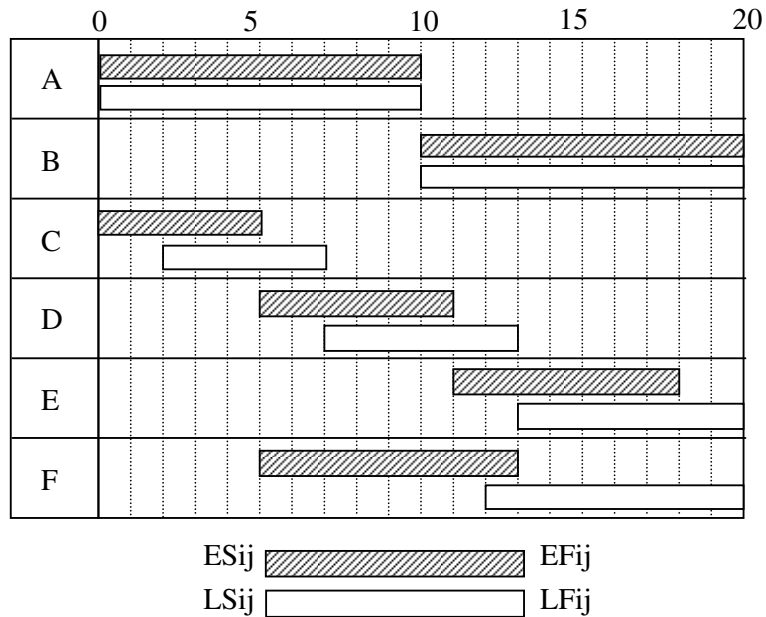




作業排程結果：

作業項目	ESij	EFij	LSij	LFij
A	0	10	0	10
B	10	20	10	20
C	0	5	2	7
D	5	11	7	13
E	11	18	13	20
F	5	13	12	20

以 Bar chart 表現之作業排程



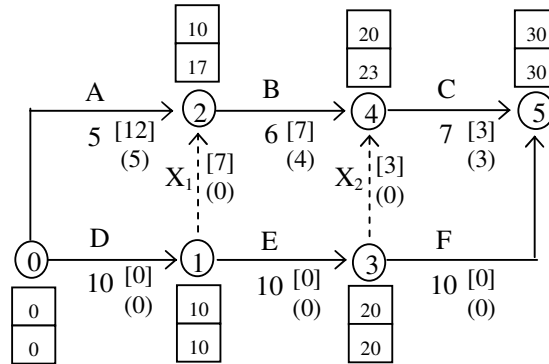
## 2.4 FF、IF 和 TF 之轉換

網圖分析中定義了三種浮時：自由浮時(FF)、干擾浮時(IF)和總浮時(TF)，浮時的關係式為  $TF = FF + IF$ ；因此，在已知兩種浮時的情況下，可以推導出第三種浮時的數值。

本節要進一步深入探討，三種浮時的相互關係與相通性，例如：

- 運用已知之 FF 可否推導 IF？
- 運用已知之 FF 可否推導 TF？
- 相同路徑上作業浮時的關聯性如何？
- 先行與後續作業之 FF 有無關聯？
- 先行與後續作業之 TF 有無相依性？

讓我們先觀察下面這個網圖，並請注意以下幾個細節：



$$(1) \quad TF_{X1} = TF_B \quad (\text{OR } TF_{12} = TF_{24})$$

$$(2) \quad TF_{X2} = TF_C$$

$$(3) \quad TF_B = FF_B + FF_C$$

$$(4) \quad TF_A = FF_A + FF_B + FF_C$$

$$(5) \quad TF_{X1} = FF_{X1} + FF_B + FF_C$$

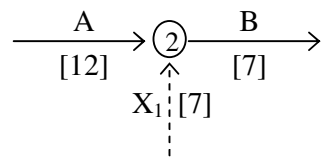
$$(6) \quad TF_{X2} = FF_{X2} + FF_C$$

$$(7) \quad TF_D = TF_E = TF_F$$

$$(8) \quad TF_D = FF_D + FF_E + FF_F$$

假如以上這些等式是”必然”成立，而非”巧合”的話，請繼續檢視以下推論：(參閱 3.3.3 節將有進一步的原理說明)

1. 兩路徑集合之處總浮時有如下關係：



$$TF_B = TF_A \quad \text{OR} \quad TF_{X1}$$

若  $TF_B = TF_{X1}$ ，則  $TF_A \geq TF_B$

推論：後續作業(B)的總浮時必由其先行作業  
(至少一個作業)繼承其總浮時。

$$2. TF_B = FF_B + FF_C$$

另依照定義  $TF_B = FF_B + IF_B = \gg IF_B = FF_C$

同理可證： $IF_A = FF_B + FF_C$

$$IF_{X1} = FF_B + FF_C = \gg IF_A = IF_{X1}$$

$$IF_{X2} = FF_C = FF_B$$

$$IF_D = (FF_E + FF_F, FF_{X1} + FF_B + FF_C, FF_E + FF_{X2} + FF_C)_{\min}$$

推論：任意作業的干擾浮時，為其後續路徑經歷作業自由浮時的總和，若有二條以上後續路徑時，取最小值。

$$3. TF_A = FF_A + FF_B + FF_C$$

$$= FF_A + FF_B + IF_B$$

$$= FF_A + TF_B = \gg IF_A = TF_B$$

同理可證： $TF_{X1} = FF_{X1} + TF_B = \gg IF_{X1} = TF_B$

$$TF_{X2} = FF_{X2} + TF_C = \gg IF_{X2} = TF_C$$

推論：任意作業的干擾浮時，為其後續作業之總浮時，若有二個以上後續作業時，取最小值。

4. 若一作業其後有兩條以上路徑時其 TF 應取最小值。例如：

$$TF_E = (FF_E + TF_{X2}, FF_E + TF_F)_{\min}$$

$$= (3, 0)_{\min}$$

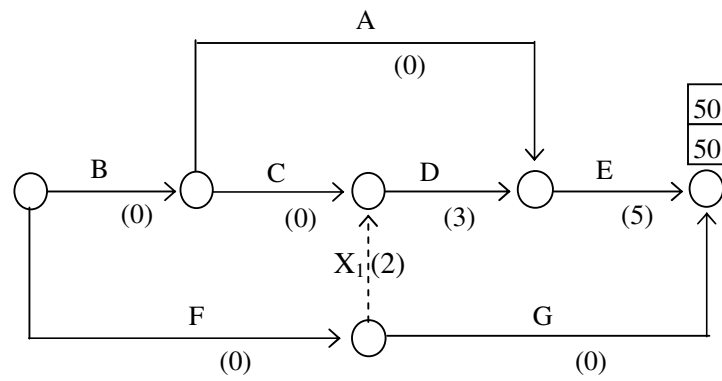
$$= 0$$

反之  $FF_E$  可推導如下：

$$FF_E = (TF_E - TF_{X2}, TF_E - TF_F)_{\max}$$

推論：任意作業的自由浮時，可用該作業與其後續作業之總浮時進行推導，若有二個以上路徑時，應取最大值。

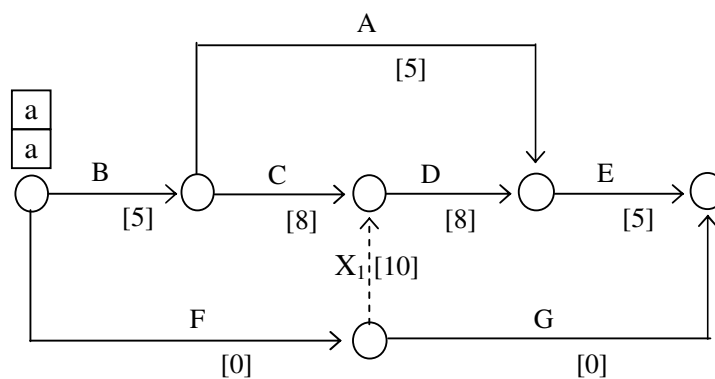
例題 2.1 已知自由浮時如下，求解 IFij



## &lt; 解答 &gt;

Item	FF	IF
A	0	$FF_E = 5$
B	0	$(\begin{matrix} FF_C + FF_D + FF_E = 8 \\ FF_A + FF_E = 5 \end{matrix})_{\min} = 5$
C	0	$FF_D + FF_E = 8$
D	3	$FF_E = 5$
E	5	0
F	0	$(\begin{matrix} FF_{X1} + FF_D + FF_E = 10 \\ FF_G = 0 \end{matrix})_{\min} = 0$
G	0	0
$X_1$	2	$FF_D + FF_E = 8$

例題 2.2：已知總浮時如下，求解 FFij

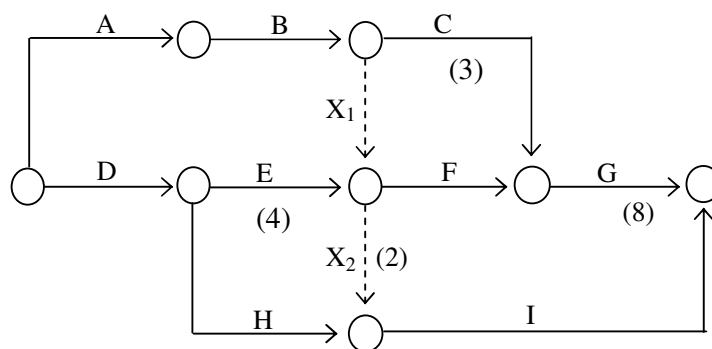


## &lt; 解答 &gt;

Item	TF	FF
A	5	$TF_A - TF_E = 0$
B	5	$(\begin{matrix} TF_B - TF_A = 0 \\ TF_B - TF_C = -3 \end{matrix})_{\max} = 0$
C	8	$TF_C - TF_D = 0$
D	8	$TF_D - TF_E = 3$
E	5	$FF_E = TF_E = 5$
F	0	$(\begin{matrix} TF_F - TF_{X_1} = -10 \\ TF_F - TF_G = 0 \end{matrix})_{\max} = 0$
G	0	$FF_G = TF_G = 0$
$X_1$	10	$TF_{X_1} - TF_D = 2$

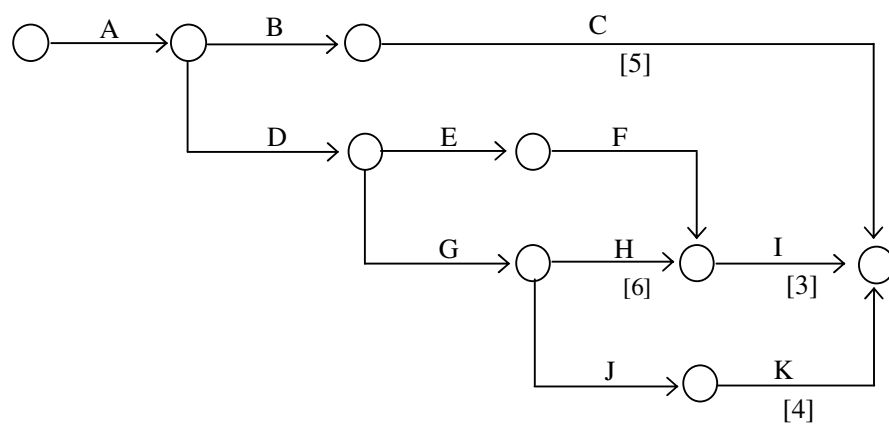


例如 2.3：已知部份 FF，求解全部 FF



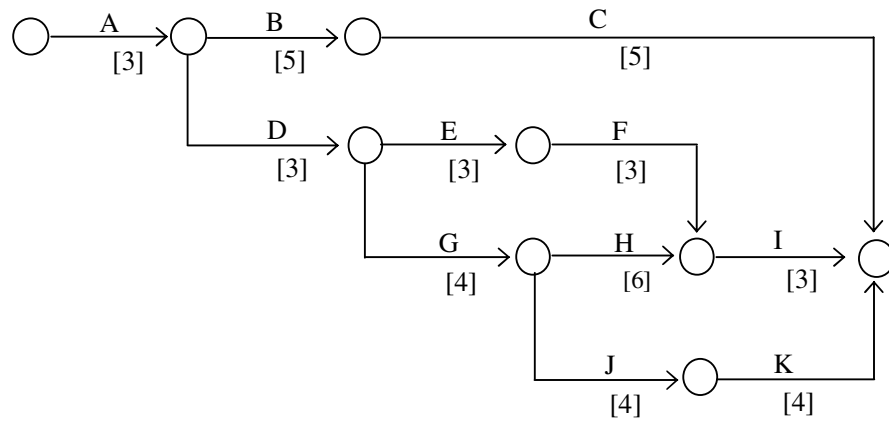


例題 2.4：已知部份 TF，求解全部 TF



< 解答 >

( 參閱 2.4 節原理說明 )

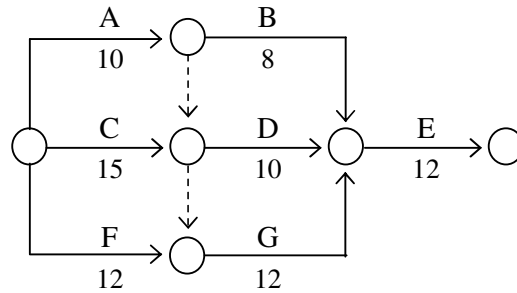


## 2.5 決定要徑的五個方法

要徑是網狀圖中最長的路徑，決定要徑的方法就在於證明何者為最長路徑，根據這樣的原則，發展以下五個決定要徑的方法，可供選擇與應用。

### 2.5.1 全部路徑直接比較法

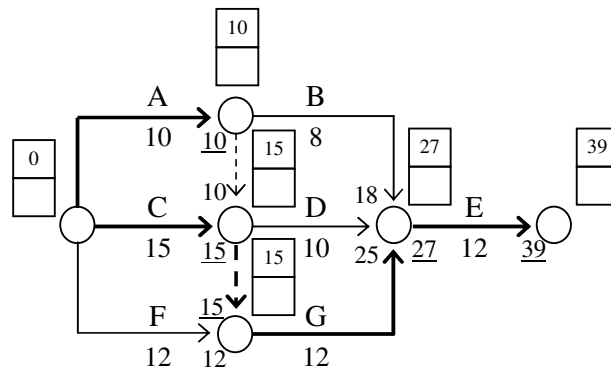
將網圖中所有路徑列出，計算路徑工期後直接比較，除了可以決定何者為要徑外，同時可以建立路徑總浮時的觀念，進而解析各作業之總浮時，在往後例題中將有詳細說明：



路徑	工期	總浮時
1.A-B-E	$10+8+12=30$	9
2.A-D-E	$10+10+12=32$	7
3.A-G-E	$10+12+12=34$	5
4.C-D-E	$15+10+12=37$	2
5.C-G-E	$15+12+12=39$	0 (要徑)
6.F-G-E	$12+12+12=36$	3

### 2.5.2 以前進計算法決定要徑

運用前進計算法在計算過程中，當結點前方有二個以上作業匯入時，即可判定何者為較長路徑，依此觀念由網圖完工結點逆推，便可決定要徑所在。

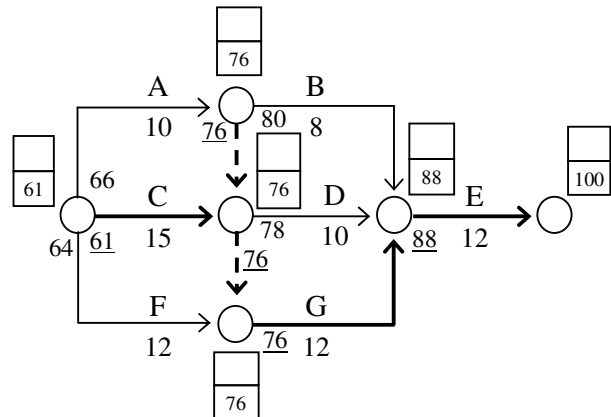


要徑為 C-G-E (較長路徑之連續)

※ 注意：A 不連續，故非屬要徑作業。

### 2.5.3 以後退計算法決定要徑

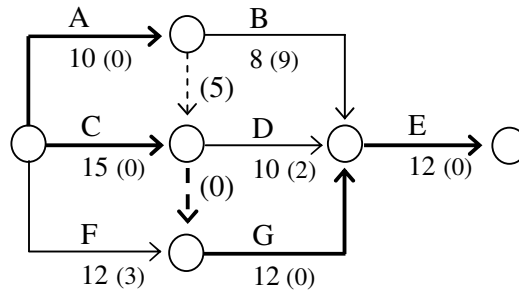
原理與 2.5.2 相似，不另贅述。



要徑作業：C-G-E (實際工期為  $100-61=39$ )

### 2.5.4 以自由浮時決定要徑

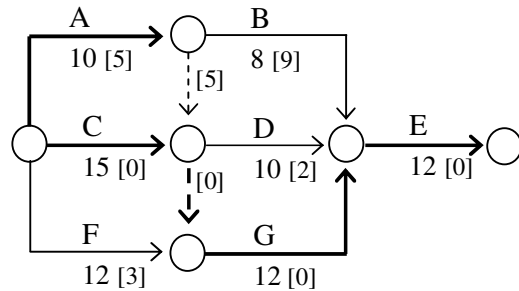
自由浮時為 0 的作業，表示在該作業完成點前方為最長之路徑，故當自由浮時為 0，且連續成一個路徑時必為網圖中之要徑。



要徑：C-G-E（連結自由浮時為 0 的作業所形成之連續路徑）

### 2.5.5 以總浮時決定要徑

路徑總浮時最小者為「要徑」，要徑上之作業稱為「要徑作業」，要徑作業總浮時必然相等，且任意網圖中有二條以上之要徑時，其要徑總浮時也必然相等。



要徑：C-G-E（作業總浮時為最小者構成之路徑）

※ 注意：作業總浮時為最小者必然為要徑作業，且會與其他要徑作業連結，形成連續的路徑。

## 2.6 CPM & PERT

### 2.6.1 要徑法 (CPM)

要徑法 (Critical Path Method, 簡稱 CPM) 係以網狀圖為基礎，經由網狀圖時間運算，決定網狀圖自起點到終點間不同路徑中最長的路徑 (最少一條)，此路徑為決定工期的關鍵路線，稱為要徑 (Critical Path)，利用管制要徑的觀念達到控制工期的目的。

營建工程中不確定性因素多且影響大，通常必須藉助許多經驗來協助處理問題，CPM 亦沿襲此一特性，首先在作業時間的估算方面，便完全摒棄了理想的統計理論基礎，而係憑藉經驗來進行估計；此外，在進度管理控制方面則由資深的專業工程師，以其工程閱歷和經驗，預測工程的發展趨勢，而加以管制；雖然 CPM 採用單時估計法來決定作業時間以及依靠累積經驗來從事進度管理控制工作，似乎缺乏嚴密的理論基礎，且不夠科學！然而事實證明，只要採取保守的心態仍不失為控制工進的有效工具。

### 2.6.2 計劃評核術 (PERT)

計劃評核術 (Program Evaluation and Review Technique, 簡稱 PERT)：計劃評核術和要徑法一樣，都是以網狀圖為基礎，同時計劃評核術也引用要徑的觀念來決定工期決策；不過，計劃評核術的研究精神卻與要徑法有截然區別。

PERT 在研究方法上的特色是以統計理論為基礎，它相信任何事件 (Event) 皆存在著偏差與變異 (Variance)，因此，PERT 採用三時估計法估算作業時間，運用統計學機率理論來決定各種工期的完工可能性，依此觀念引申，便不難理解路徑長度並非 PERT 探討的唯一重點，對於路徑的分佈範圍也應同等重視。



所謂「三時估計法」就是針對某一特定作業，根據過去的實績統計資料，估計三個作業時間：

- a. 樂觀時間 (Optimistic Time)：理想狀況下的作業所需時間。
- b. 最可能時間 (Most-Likely Time)：相同的作業在相同條件下反覆施作，其發生次數最多的作業時間。
- c. 悲觀時間 (Pessimistic Time)：惡劣狀況下的作業所需時間。

PERT 乃是將上述三種時間，利用統計方法，予以加權 (Weighting) 而決定其作業時間和偏差，作為網狀圖時間運算的基礎。

明顯地，PERT 期望以理性的態度掌握工程進度，並希望將工程實績回饋至爾後的工程計劃中；儘管 PERT 具有強力的理論基礎，以及正確的管制理念和理想，但不幸的是，營建工程內容日漸複雜，技術不斷革新，似乎很難取得充分的統計資料以提供分析研究；在缺乏完整數據資料的情況下，PERT 在營建工程上之應用，遂有其限制。

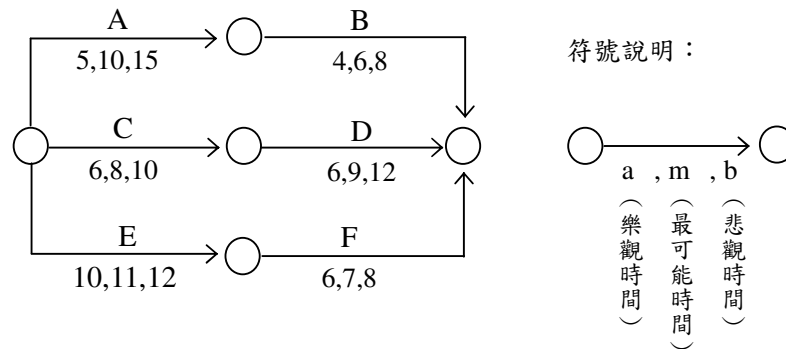
### 2.6.3 CPM 與 PERT 之比較

CPM 與 PERT 在時間運算方面有兩點不同之處，一個是作業時間之估算，另一個是工期的評估。

CPM 依賴經驗法則，對於作業時間之估計，假設為單一的確定值，工期之推算亦復如此；PERT 則以統計理論為基礎對於任何作業皆考慮三種臨界狀況即樂觀，最可能及悲觀三種狀態下的時間，再利用統計平均值方法求得作業時間，此種估計方法乃認同於每一種作業特性，先天具有潛在的變異不定性，真實的作業時間唯有事後才能確知，因此，在事前只能就作業時間分佈情形加以預測。此外，PERT 對於工期的評估並不以最長路徑為滿足，而係沿用統計觀念，考慮所有路徑在設定工期條件下評估其達成機率，其中機率最小者將被視為管理控制上特別強調的重點，其意義就如同在 CPM 中的要徑一般，此點與 CPM 的研究精神大異其趣。

儘管 CPM 與 PERT 之基本原理差別甚大，但是在實際運用時，兩者皆認同於計劃與實際必然有偏差產生的情形存在，因此無論應用何種技巧來執行管理，最重要的是抱持「計劃—執行—查核—處置」的管理精神，採取邊做邊修正計劃的態度，不斷地檢討，隨時置換新資訊，修正網狀圖，加以查核及處置，則任一技術的應用，都可發揮功效；反之，管理者若過度信賴原始計劃，一成不變奉守不疑，則再好的技術亦將淪失效用。

例題：2.5 試以 CPM 及 PERT 解析本工程工期及要徑



## &lt; 解答 &gt;

(I) 作業時間估算：

CPM：取最可能時間為作業時間估計值即單時估計法。

A=10，B=6，C=8

D=9，E=11，F=7

PERT：利用統計平均值決定作業時間即三時估計法。

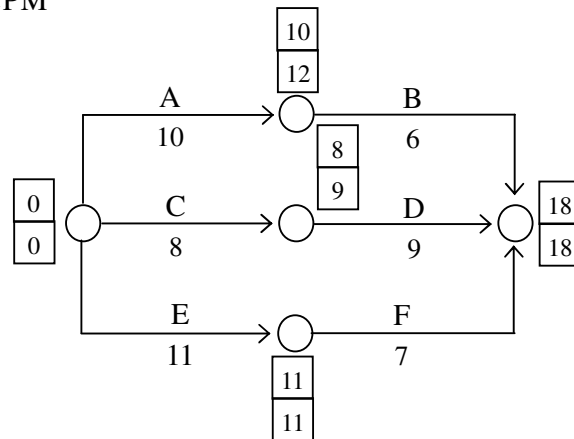
$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

$$\sigma_e = \frac{b - a}{6}$$

作業	$t_e$	$\sigma_e$
A	10	1.67
B	6	0.67
C	8	0.67
D	9	1.0
E	11	0.33
F	7	0.33

(II) 要徑與工期評估

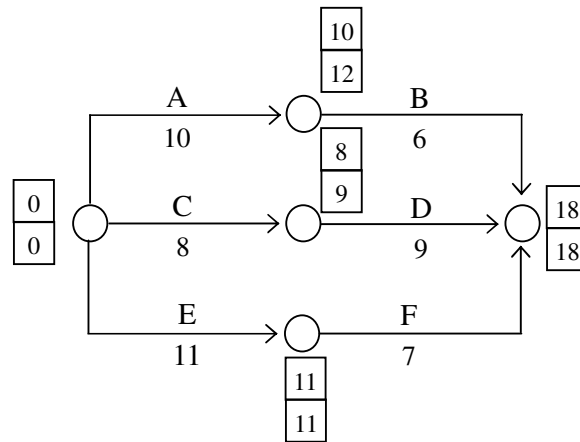
## 1. CPM



工期 = 18 天

要徑： ○ —<sup>E</sup>—<sub>11</sub>—○ —<sup>F</sup>—<sub>7</sub>—○

## 2. PERT



工期：T、 $\sigma$

$$\begin{aligned}
 &\text{○} \xrightarrow[\text{te}=10]{\text{A}} \text{○} \xrightarrow[\text{te}=6]{\text{B}} \text{○} \quad T_1 = 10 + 6 = 16, \\
 &\quad \sigma_e = 1.67 \quad \sigma_e = 0.67 \quad \sigma_1 = \sqrt{(1.67)^2 + (0.67)^2} = 1.80 \\
 &\text{○} \xrightarrow[\text{te}=9]{\text{C}} \text{○} \xrightarrow[\text{te}=9]{\text{D}} \text{○} \quad T_1 = 8 + 9 = 17, \\
 &\quad \sigma_e = 0.67 \quad \sigma_e = 1.00 \quad \sigma_2 = \sqrt{(0.67)^2 + (1.00)^2} = 1.20 \\
 &\text{○} \xrightarrow[\text{te}=11]{\text{E}} \text{○} \xrightarrow[\text{te}=7]{\text{F}} \text{○} \quad T_1 = 11 + 7 = 18, \\
 &\quad \sigma_e = 0.33 \quad \sigma_e = 0.33 \quad \sigma_3 = \sqrt{(0.33)^2 + (0.33)^2} = 0.47
 \end{aligned}$$

從網狀圖中得知三條路徑的工期分別為：

$$T_1 = 16, \sigma_1 = 1.80$$

$$T_2 = 17, \sigma_2 = 1.20$$

$$T_3 = 18, \sigma_3 = 0.47$$

對於特定工期之達成機率，可以利用常態分佈曲線性質加以評估  
(參閱表 2.1)

(1) 假定契約工期為 18 天

$$\text{a. } u_1 = \frac{18-16}{1.8} = 1.11 \quad , \quad P_1 = 50 + 36.65 = 86.65 \%$$

$$\text{b. } u_2 = \frac{18-17}{1.20} = 0.83 \quad , \quad P_2 = 50 + 29.67 = 79.67 \%$$

$$\text{c. } u_3 = \frac{18-18}{0.47} = 0 \quad , \quad P_3 = 50\%$$

管理控制的優先順序分別為  $T_3 > T_2 > T_1$

(2) 假定契約工期為 19 天

$$\text{a. } u_1 = \frac{19-16}{1.8} = 1.67 \quad , \quad P_1 = 50 + 45.25 = 95.25 \%$$

$$\text{b. } u_2 = \frac{19-17}{1.20} = 1.67 \quad , \quad P_2 = 50 + 45.25 = 95.25 \%$$

$$\text{c. } u_3 = \frac{19-18}{0.47} = 2.13 \quad , \quad P_3 = 50 + 48.34 = 98.34 \%$$

管理控制的優先順序分別為  $\begin{matrix} T_1 \\ T_2 \end{matrix} > T_3$

(3) 假定契約工期為 20 天

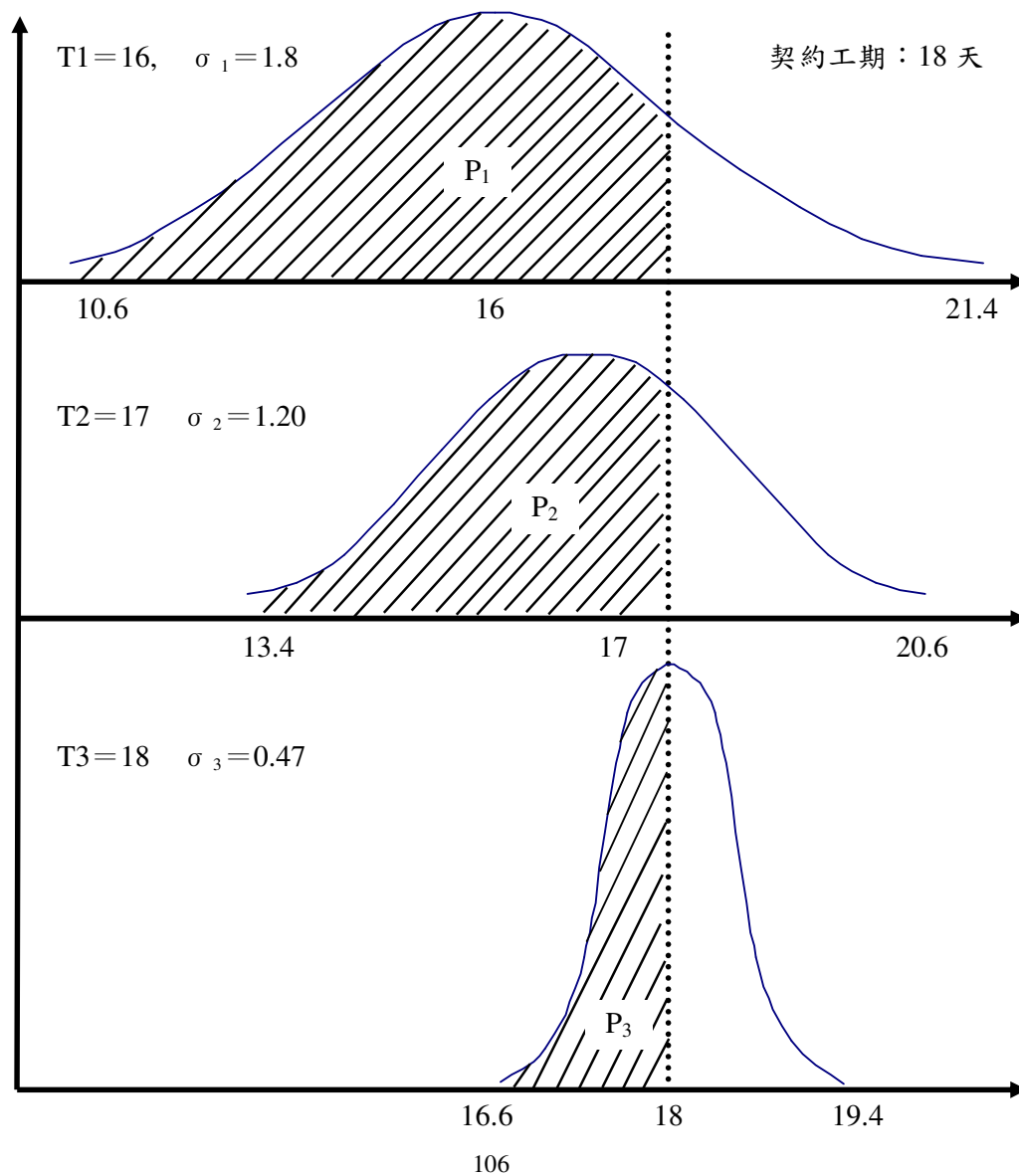
$$\text{a. } u_1 = \frac{20-16}{1.8} = 2.22 \quad , \quad P_1 = 50 + 48.65 = 98.68 \%$$

$$\text{b. } u_2 = \frac{20-17}{1.20} = 2.50 \quad , \quad P_2 = 50 + 49.38 = 99.38 \%$$

$$\text{c. } u_3 = \frac{20-18}{0.47} = 4.26 \quad , \quad P_3 = 100\%$$

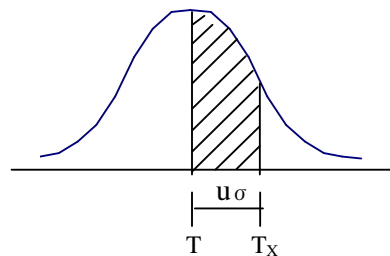
管理控制的優先順序分別為  $T_1 > T_2 > T_3$

由上可知，相應於不同的工程期限，管理控制重點亦伴隨著轉移。此點正說明了以 PERT 進行工期評估時，要徑的變化是決定於某種特定的條件，並不像 CPM 只考慮路徑長度比較，完全忽略各種變異之影響，而有其固定的管理對象，此乃基於不同的假設所產生的結果。



【表 2.1 常態分佈表（表中之數字表示曲線其部份之面積）】

u	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.00	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1199	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.14743	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1777	.1808	.2844	.1879
0.5	.1915	.1951	.1985	.2019	.2051	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2257	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2517	.2549
0.7	.2580	.2611	.2642	.2673	.2703	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2995	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4405	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4938	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4916
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4965	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4978	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990

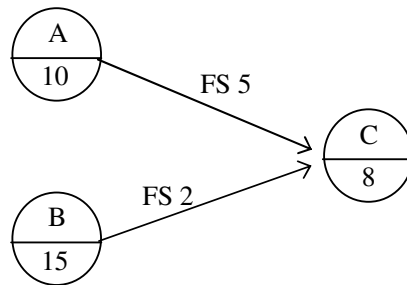


$$u = \frac{T_X - T}{\sigma}$$

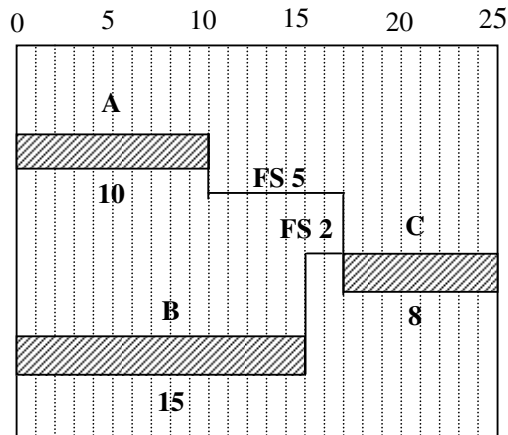
## 2.7 PDM 網圖時間運算

PDM 網圖之構成是以作業關係式為基礎，由作業開始或完成時間之相互關係進行繪圖，繪圖結果表示在時間豎格上，即已明確表達作業排程，故有關 PDM 網圖時間運算，實質上有如是以圖解方式簡化複雜的數值運算。不過，在繪圖過程中仍會遭遇若干問題，必須以合理的方法一一解決，所幸電腦套裝軟體實用多年，對於相關問題，已具備自動處理能力，操作者毋需庸人自擾，只要注意輸入資料的正確性即可，後續作業可以放心交由電腦代勞。

例題：2.6 試分析本工程作業排程



解答



$ES_C$  是由作業 B 來決定，計算過程如下：

$$\begin{aligned}
 ES_C &= ( \begin{matrix} EF_A + 5 \\ EF_B + 2 \end{matrix} )_{\max} \\
 &= ( \begin{matrix} 10 + 5 = 15 \\ 15 + 2 = 17 \end{matrix} )_{\max} = 17
 \end{aligned}$$

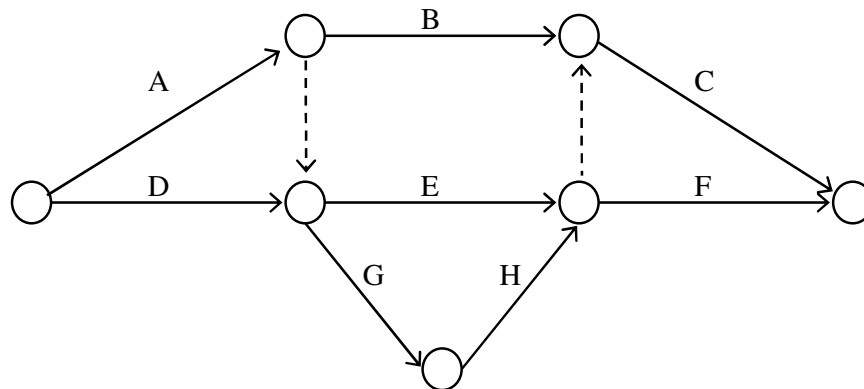
注意：在圖面上 FS 5 實際佔用 7 天時間。



## ＊ ＊精選例題＊ ＊

### B0110

路徑與要徑



1. 在上面網狀圖中「至多」與「至少」有幾條要徑？
2. 若本工程所有作業時間皆相同，則本工程要徑為何？要徑作業為何？

### 〈解答〉

#### 1. 至多九條（全部路徑皆要徑）

至少：一條

說明：本網圖中計有九條路徑：

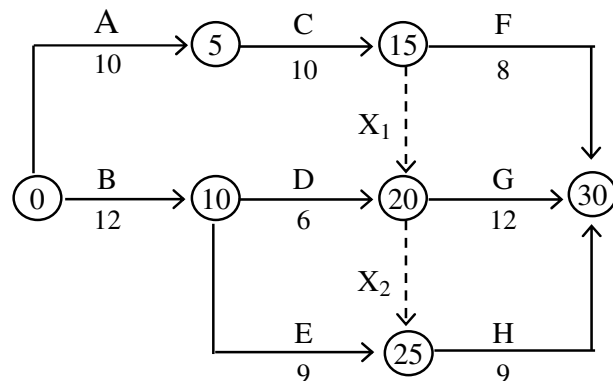
- |             |             |
|-------------|-------------|
| (1) A—B—C   | (6) D—E—C   |
| (2) A—E—C   | (7) D—E—F   |
| (3) A—E—F   | (8) D—G—H—C |
| (4) A—G—H—C | (9) D—G—H—F |
| (5) A—G—H—F |             |

2. 要徑：
- |             |
|-------------|
| (1) A—G—H—C |
| (2) A—G—H—F |
| (3) D—G—H—C |
| (4) D—G—H—F |

要徑作業：A、D、G、H、C、F

## B0120

網圖時間分析參數



1. 列出網圖時間分析參數和計算數量。
2. 列出本工程路徑及工期。
3. 本工程要徑為何？

## &lt;解答&gt;

1.	時間分析參數	計算數量
	(1)結點時間 (包括最早開始與最遲完成)	$7 \times 2 = 14$
	(2)作業時間 (包括最早開始/完成及最遲開始/完成)	$10 \times 4 = 40$ (包括八個實體作業 及二個虛業)
	(3)浮時 (包括自由浮時，干擾浮時、總浮時)	$10 \times 3 = 30$
	(4)要徑	1
	合計	85

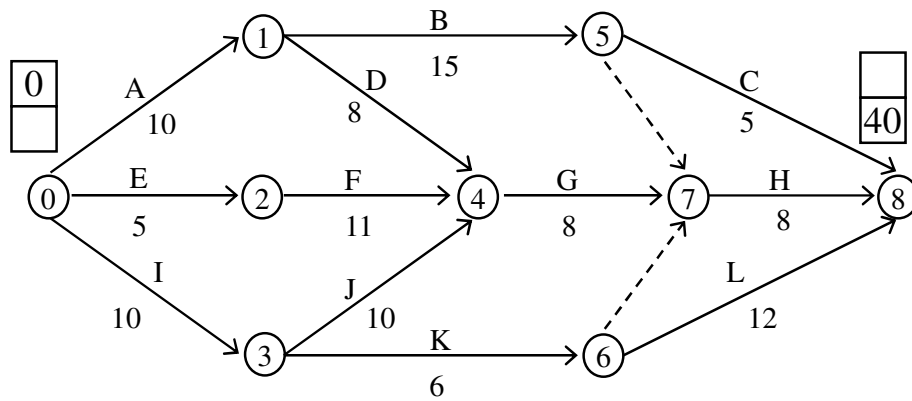
2. 路 徑 工 期

- |     |       |    |
|-----|-------|----|
| (1) | A—C—F | 28 |
| (2) | A—C—G | 32 |
| (3) | A—C—H | 29 |
| (4) | B—D—G | 30 |
| (5) | B—D—H | 27 |
| (6) | B—E—H | 30 |

3. 要徑為 A—C—G

**B0210**

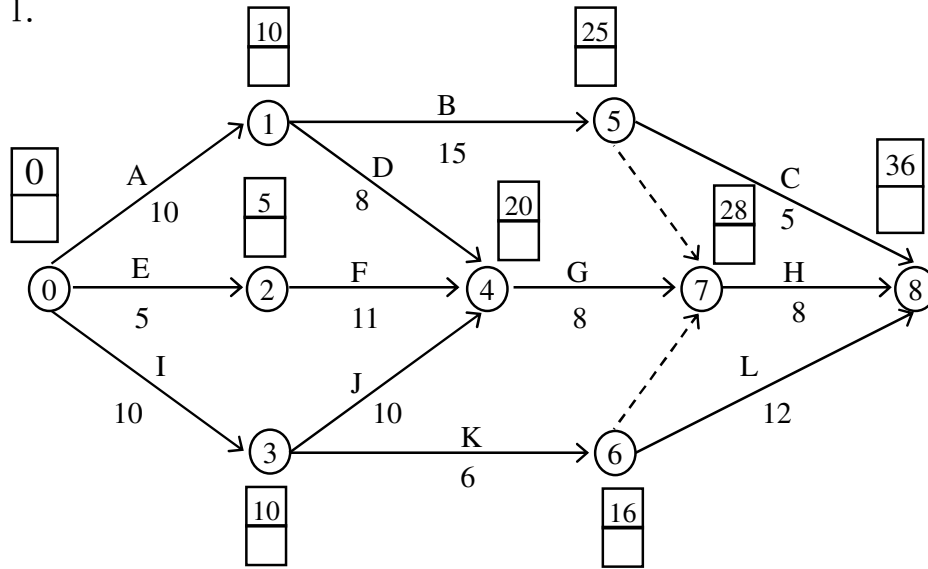
「前進計算」與「後退計算」



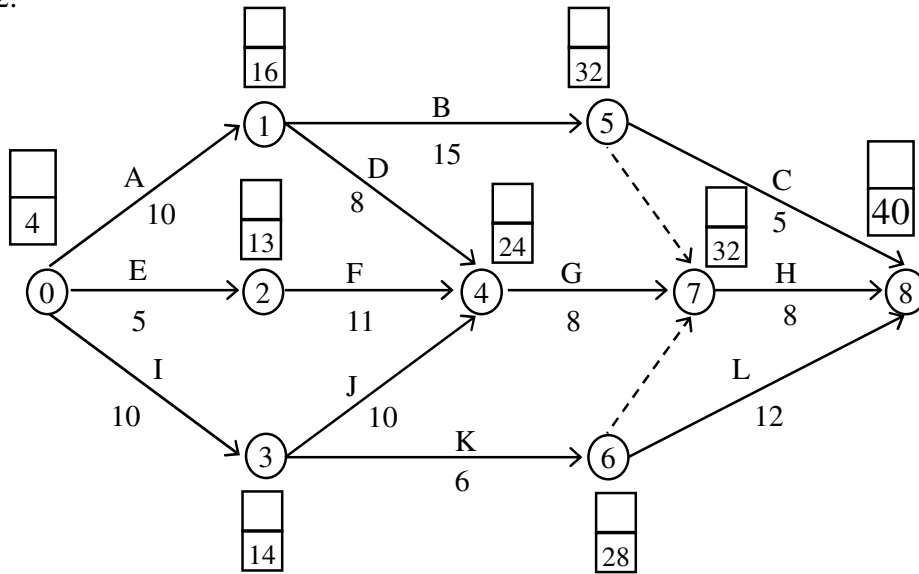
1. 以「前進計算法」完成結點時間分析。
2. 以「後退計算法」完成結點時間分析。
3. 若將網圖中「虛業」刪除，再重覆前述分析，試比較其結果有無差異？為什麼？

<解答>

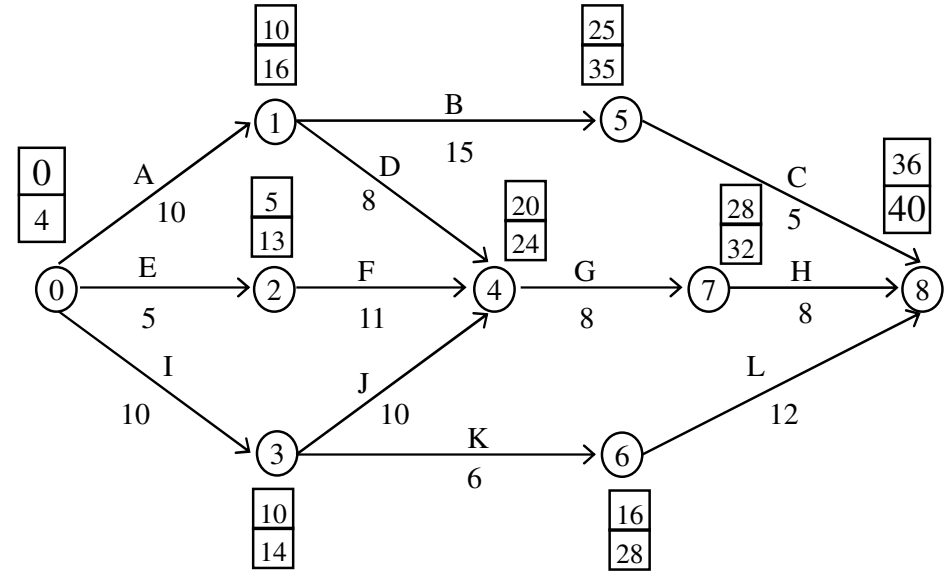
1.



2.



3.



(1) 虛業刪除後，可能產生的影響至多為  $LF_5$ 、 $LF_6$ 、 $ES_7$  和  $ES_8$ ，在本例中除了  $LF_5$  由原來 32 變為 35 外，其他數值未受影響。

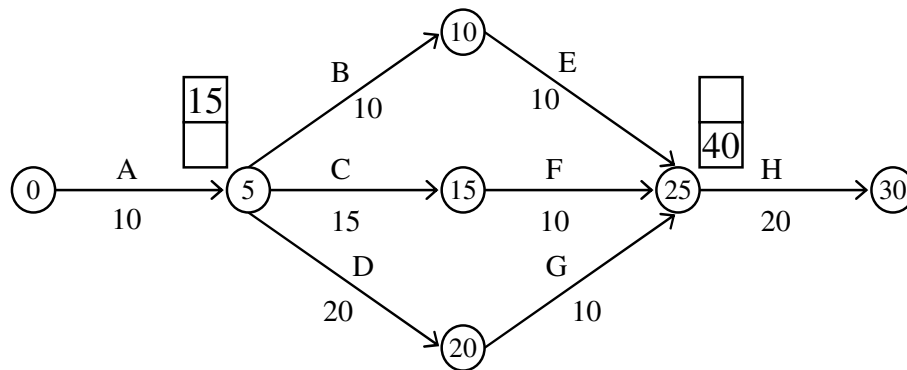
(2) 原因說明如下：

時間參數	說明
$LF_5$	$LF_5 = LF_8 - d_C$ 與原式 $LF_5 = LF_7$ 不同
$LF_6$	$LF_6 = LF_8 - d_L$ 與原式相同
$ES_7$	$ES_7 = ES_4 + d_G$ 與原式相同
$ES_8$	$ES_8 = ES_7 + d_H$ 與原式相同

## B0220

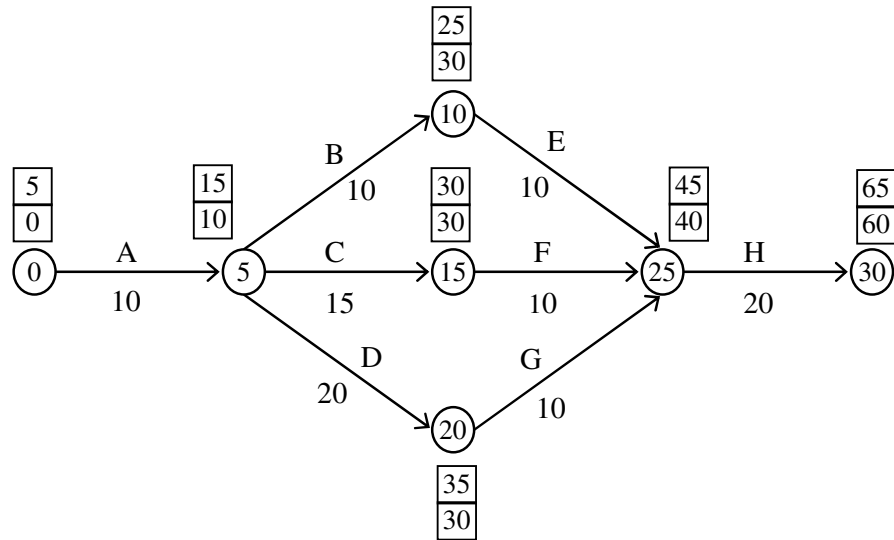
前進計算與後退計算

完成結點時間計算：





<解答>



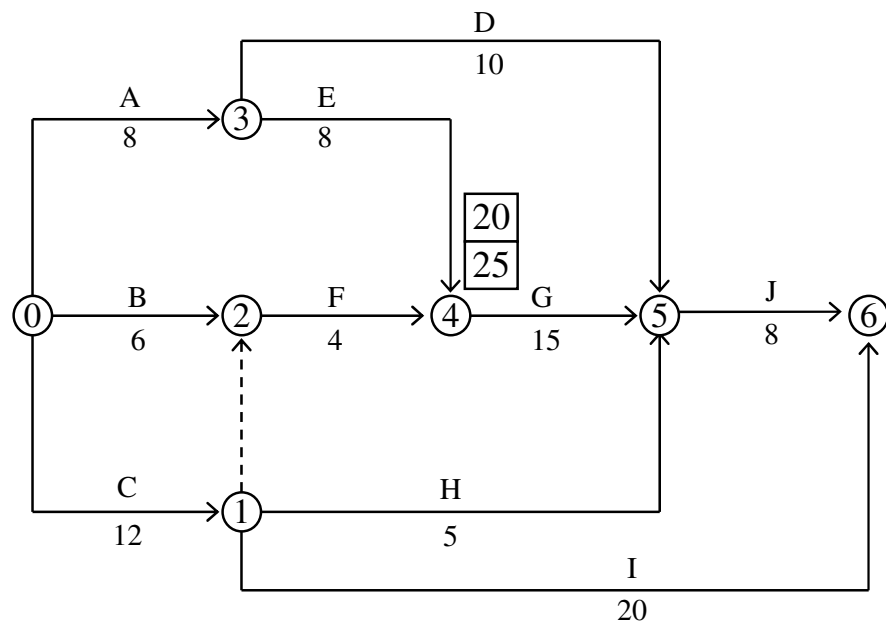
說明： $ES_0 = ES_5 - d_A = 15 - 10 = 5$

$LF_{30} = LF_{25} + d_H = 40 + 20 = 60$

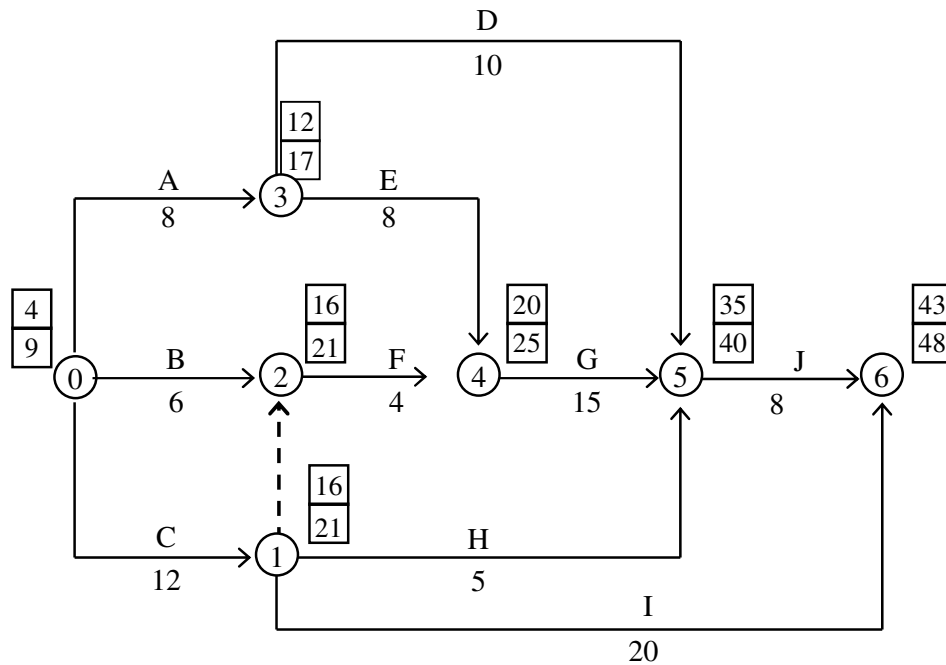
## B0230

結點時間分析

完成下圖結點時間分析：



## &lt;解答&gt;



說明：1.  $LF_5 = LF_4 + d_G = 25 + 15 = 40$

$$LF_6 = LF_5 + d_J = 40 + 8 = 48$$

$$2. ES_4 = ES_0 + (d_A + d_E, d_B + d_F, d_C + d_H) \max$$

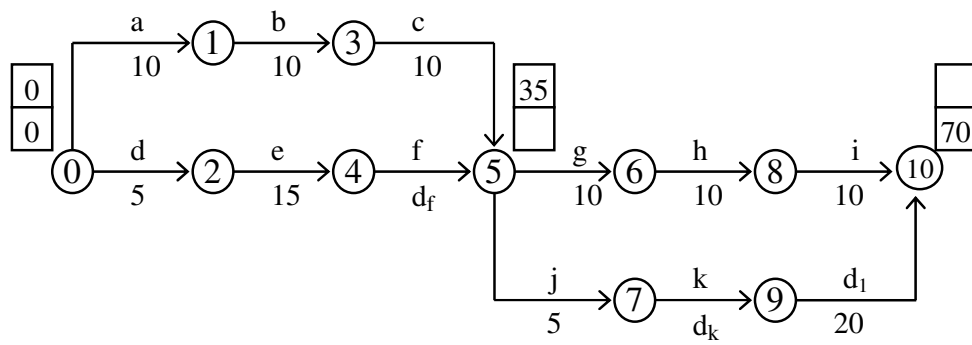
$$20 = ES_0 + 16, \therefore ES_0 = 4$$

3. 解得  $ES_0 = 4$  及  $LF_6 = 48$  後，以前進計算法與後退計算法，可求得所有結點時間數值（如圖）。

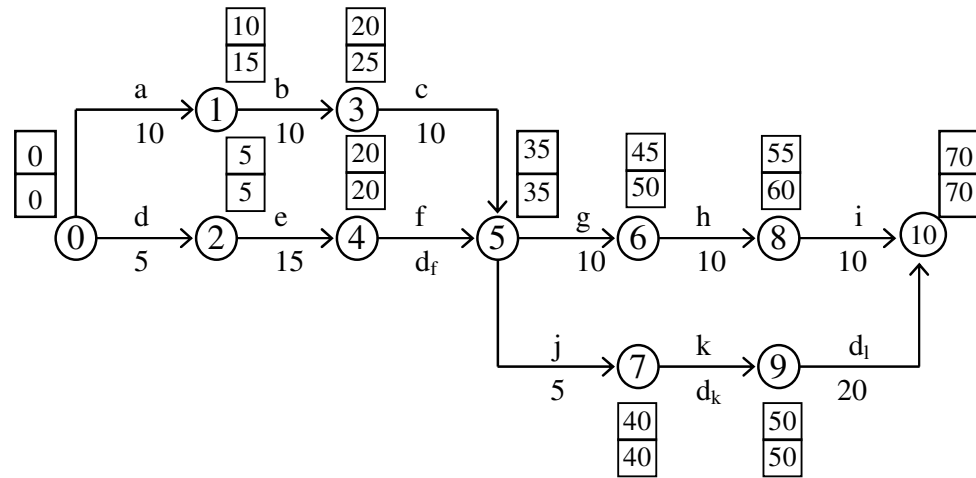
## B0240

結點時間分析

求解  $d_f$ 、 $d_k$  並完成結點時間計算。



## &lt;解答&gt;



說明：1. 由  $ES_0 = LF_0 = 0$  可推論  $LF_5 = ES_5 = 35$ ， $ES_{10} = LF_{10} = 70$

2. 因  $ES_5 \neq ES_0 + (d_a + d_b + d_c)$   $\therefore ES_5 = ES_0 + (d_d + d_e + d_f)$

$$35 = 0 + (5 + 15 + d_f) \quad \therefore d_f = 15$$

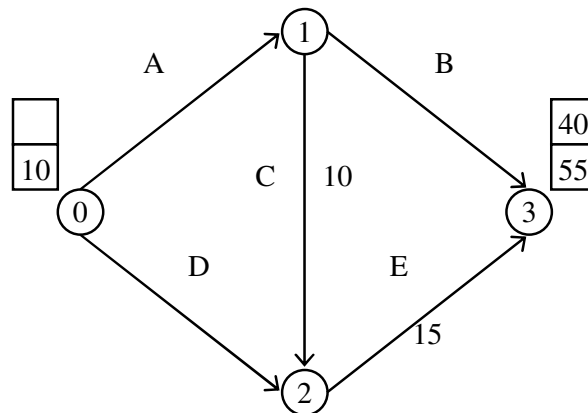
3. 因  $ES_{10} \neq ES_5 + (d_g + d_h + d_i)$   $\therefore ES_{10} = ES_5 + (d_j + d_k + d_l)$

$$70 = 35 + (5 + d_k + 20) \quad \therefore d_k = 10$$

4. 將  $d_f = 15$  及  $d_k = 10$  代入完成結點時間分析如圖。

**B0250**

結點時間之系統觀念



1. 本工程規劃工期為何？
2. 求解  $ES_0$  之值。
3. 以相同的網狀圖，假定已知  $ES_0=LF_0=0$  則  $ES_3$  及  $LF_3$  為何值？
4. 求解原條件下之  $d_A$ 、 $d_B$  及  $d_D$ 。

**<解答>**

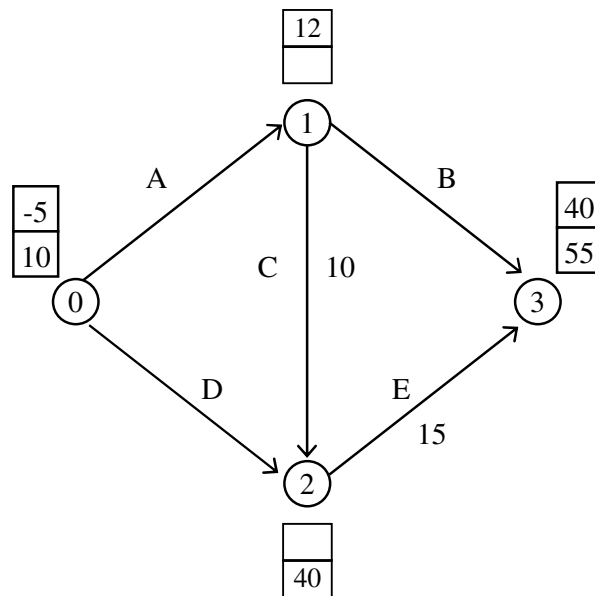
1. 規劃工期： $45$  ( $LF_3 - LF_0 = 55 - 10 = 45$ )

2.  $ES_0 = ES_3 - (LF_3 - LF_0) = 40 - (55 - 10) = -5$

3.  $ES_3 = ES_0 + \text{規劃工期} = 0 + 45 = 45$

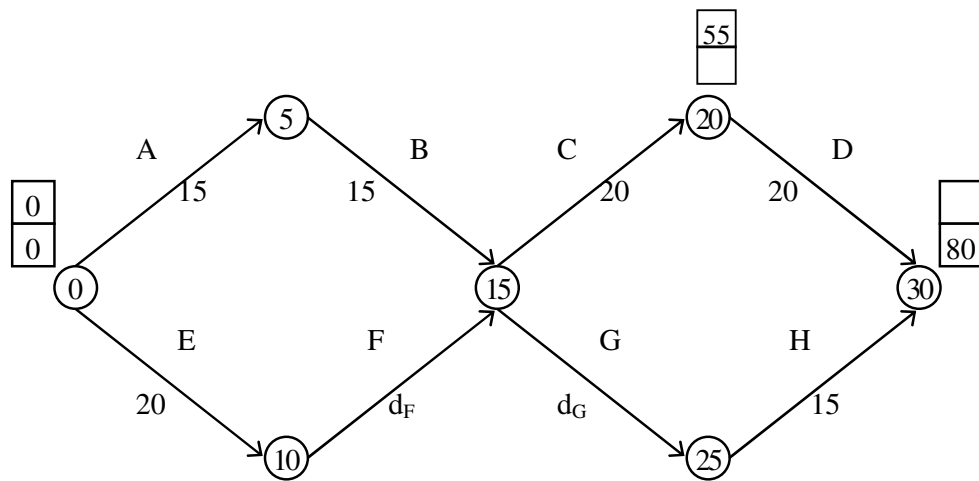
$LF_3 = LF_0 + \text{規劃工期} = 0 + 45 = 45$

4.  $d_A$ ,  $d_B$  及  $d_D$  因條件不足，無法求解。



**B0260**

結點時間與要徑

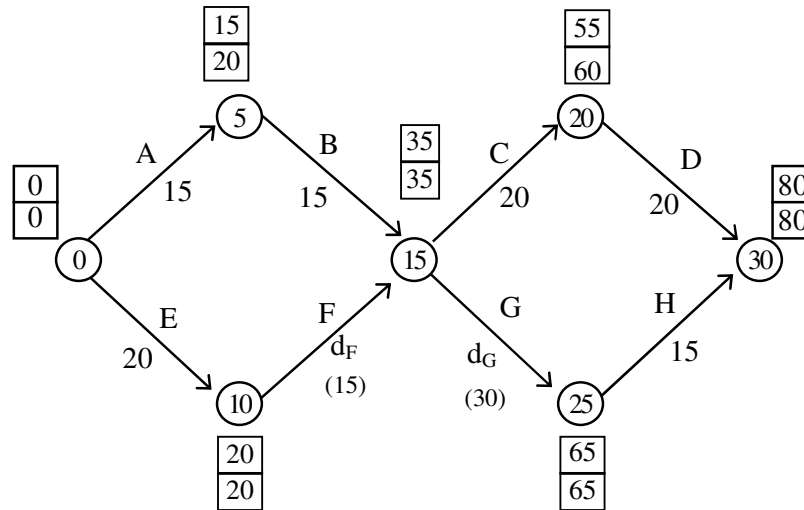


1. 求解  $d_F$  及  $d_G$ 。
2. 列出本工程所有路徑，並指出本工程之要徑為何？
3. 若  $LF_{30}$  變更為 85，請重新求解，並說明要徑、工期及結點時間計算結果與原解答有無差異？



## &lt;解答&gt;

1.



$$(1) ES_{15} = ES_{20} - d_C = 55 - 20 = 35$$

$$\text{另 } ES_{15} = (ES_5 + d_B \text{ or } ES_{10} + d_F) \max = (15 + 15 \text{ or } 20 + d_F) \max$$

$$\therefore d_F = ES_{15} - ES_{10} = 35 - 20 = 15$$

$$(2) LF_{25} = LF_{30} - d_H = 80 - 15 = 65$$

$$ES_{30} = 80 = (ES_{25} + d_H \text{ or } ES_{20} + d_D) \max$$

$$= (ES_{25} + 15 \text{ or } 55 + 20) \max \quad \therefore ES_{25} = 80 - 15 = 65$$

$$ES_{25} = ES_{15} + d_G \quad \therefore d_G = ES_{25} - ES_{15} = 65 - 35 = 30$$

2. 本工程所有路徑計有：

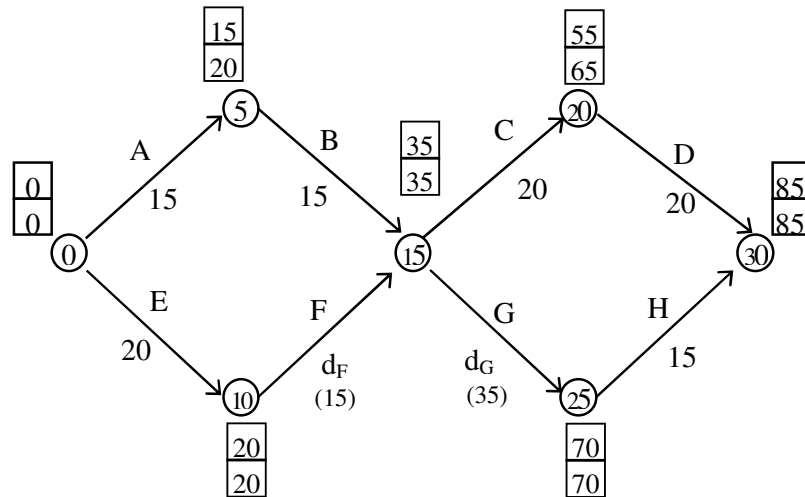
$$(1) A-B-C-D : 15 + 15 + 20 + 20 = 70$$

$$(2) A-B-G-H : 15 + 15 + 30 + 15 = 75$$

$$(3) E-F-C-D : 20 + 15 + 20 + 20 = 75$$

$$(4) E-F-G-H : 20 + 15 + 30 + 15 = 80$$

3. 當  $LF_{30}=85$  時，並不影響  $ES_{15}$  之計算，故  $d_F=15$  不變；另  $LF_{25}=85-15=70$ ，同理可推得  $d_G=35$ 。



(1) 要徑仍為 E—F—G—H

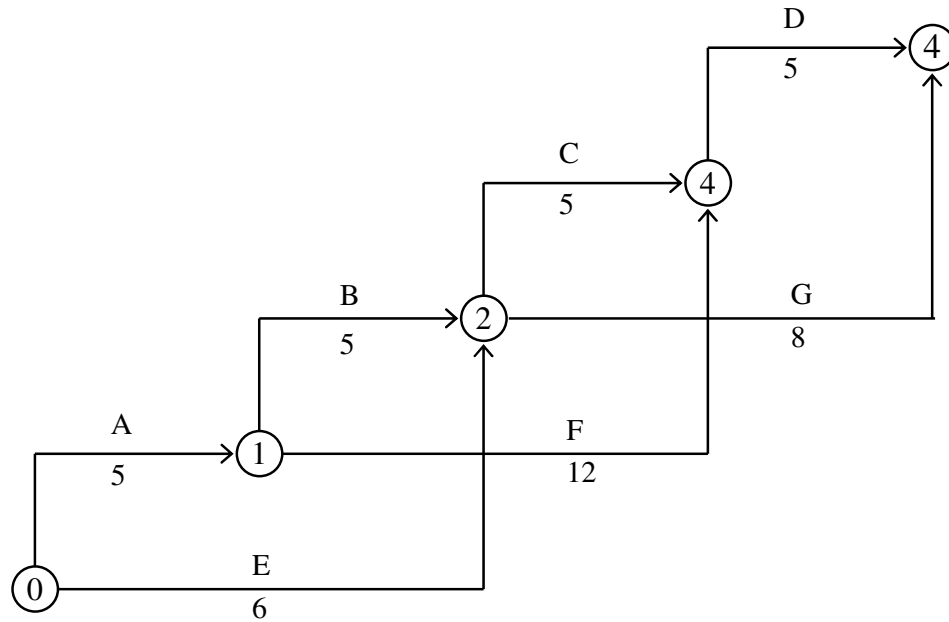
(2) 工期：85

(3) 結點時間有改變部份為  $LF_{30}=ES_{30}=85$

$ES_{25}=LF_{25}=75$ ， $LF_{20}=65$ ，其他不變。

# B0310

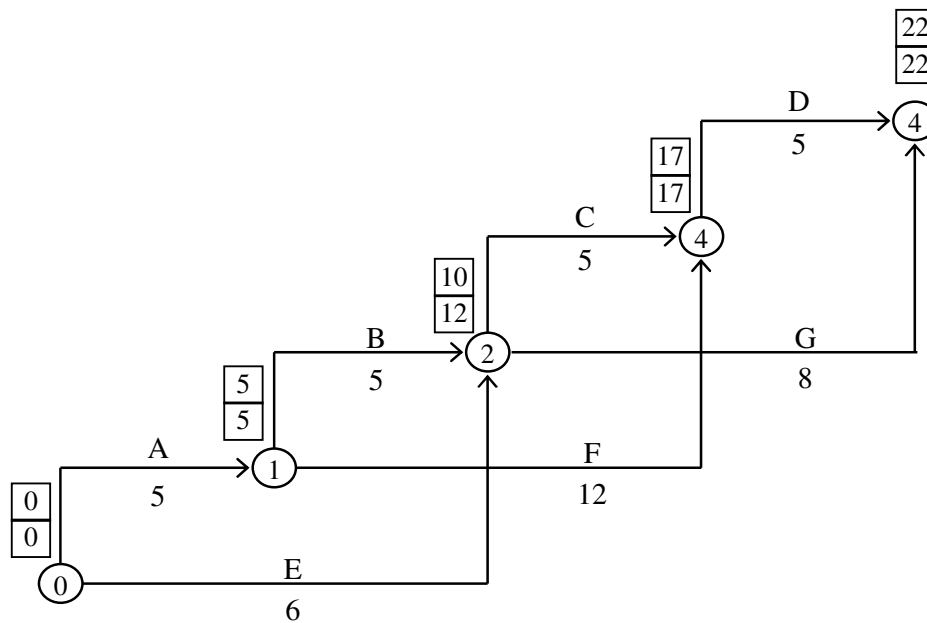
最早開工計劃



1. 運用時間分析技巧擬定最早開工計劃之作業排程。
2. 以 Bar Chart 表示排程結果。

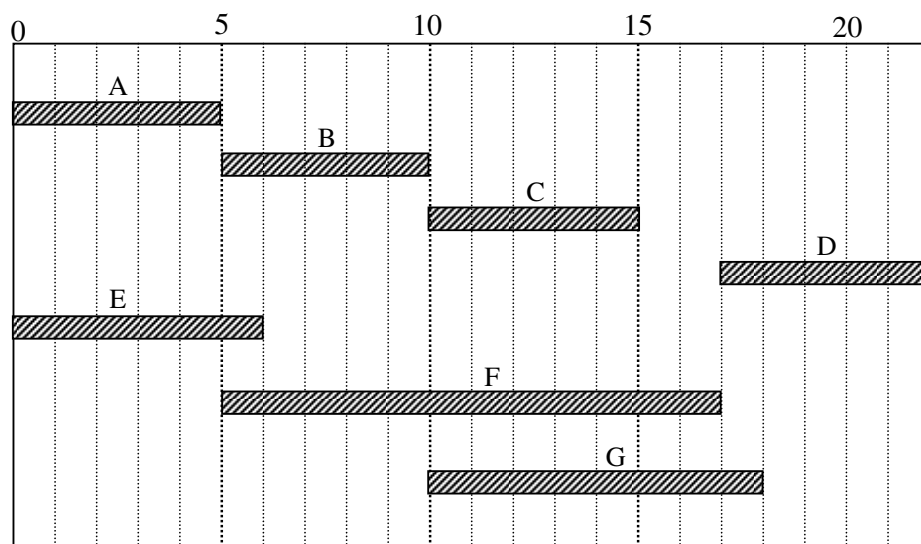
### <解答>

1.  $ES_{ij} = ES_i$  ,  $EF_{ij} = ES_i + dij$



作業項目	最早開工 $ES_{ij}$	最早完工 $EF_{ij}$
A	0	5
B	5	10
C	10	15
D	17	22
E	0	6
F	5	17
G	10	18

2.ES plan 之 Bar Chart：



## **B0320**

最早與最遲開工計畫

承上題：

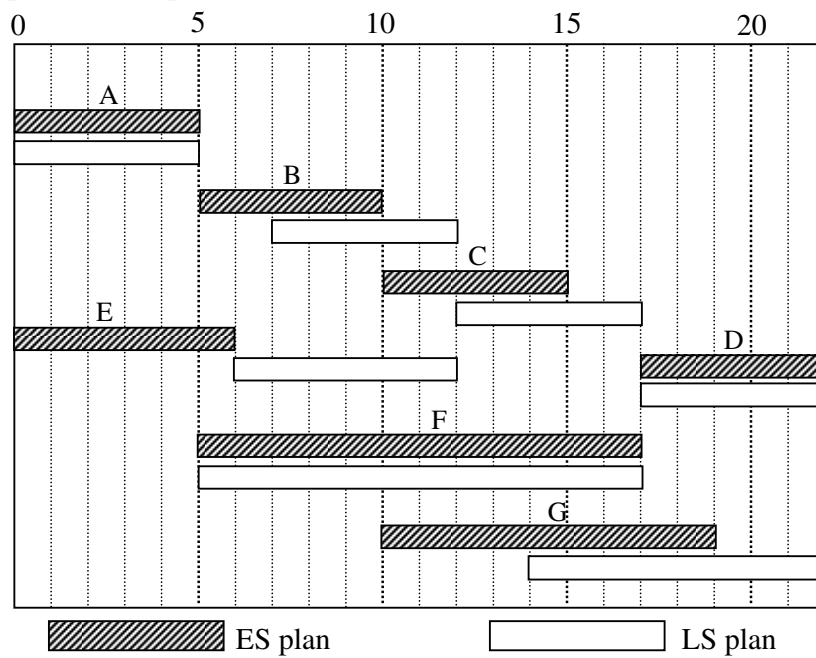
1. 擬定最遲開工計畫之作業排程。
2. 以 Bar Chart 表示排程結果。
3. 比較「最早」與「最遲」開工計畫之排程結果，說明差異之處。
4. 如何運用前述分析結果研判本工程之要徑與工期。

## &lt;解答&gt;

$$1. LF_{ij} = LF_j, \quad LS_{ij} = LF_j - d_{ij}$$

作業項目	最遲開工 $LS_{ij}$	最遲完工 $LF_{ij}$
A	0	5
B	7	12
C	12	17
D	17	22
E	6	12
F	5	17
G	14	22

2. ES plan 及 LS plan 並列如下：



3.A、F、D 在 ES plan 及 LS plan 之作業排程皆相同，其他作業則有差異：

Item	ESij	EFij	LSij	LFij
B	5	10	7	12
C	10	15	12	17
E	0	6	6	12
G	10	18	14	22

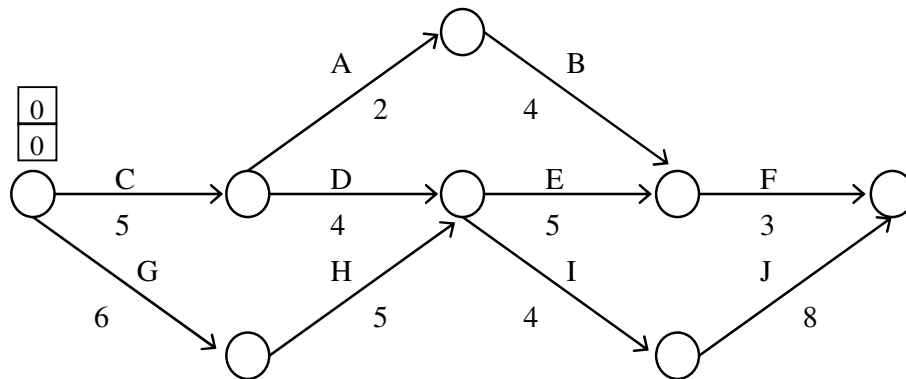
4.(1)當 ES plan 與 LS plan 之作業排程相同時，即為本工程要徑作業。故本工程要徑為 A—F—D。

(2)工期：22（由 Bar Chart 中最後排程位置研判）



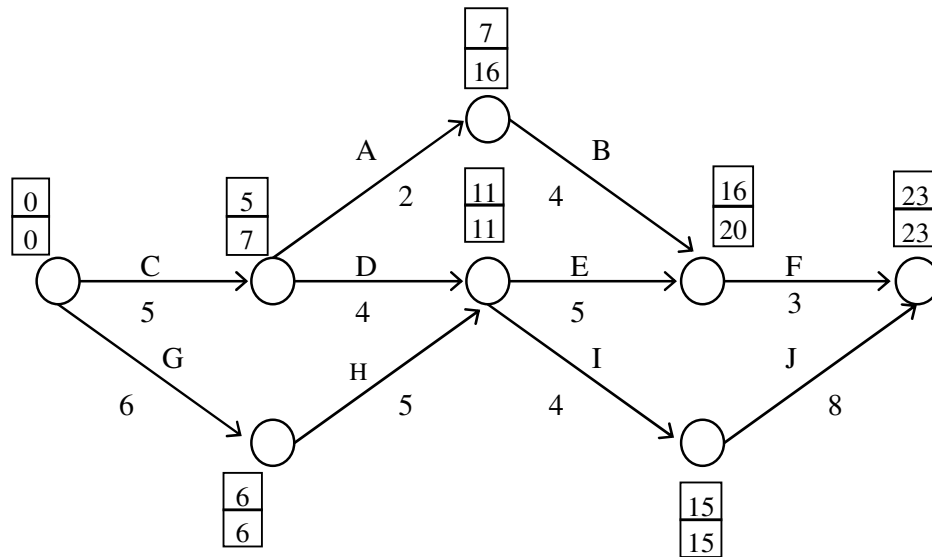
**B0330**

最早、最遲開工計劃與 S-Curve



1. 繪製「最早」與「最遲」開工計劃之作業排程（以 Bar Chart 表現）。
2. 本工程進度權重分配為：A (4%)、B (16%)、C (10%)、D (8%)、E (15%)、F (9%)、G (12%)、H (10%)、I (8%)、J (8%)，試繪製本工程累積進度曲線。
3. 比較「最早」與「最遲」開工計劃（ES 及 LS Plan）中整體工程開工日、完工日、工期及要徑有何差異？

## &lt;解答&gt;



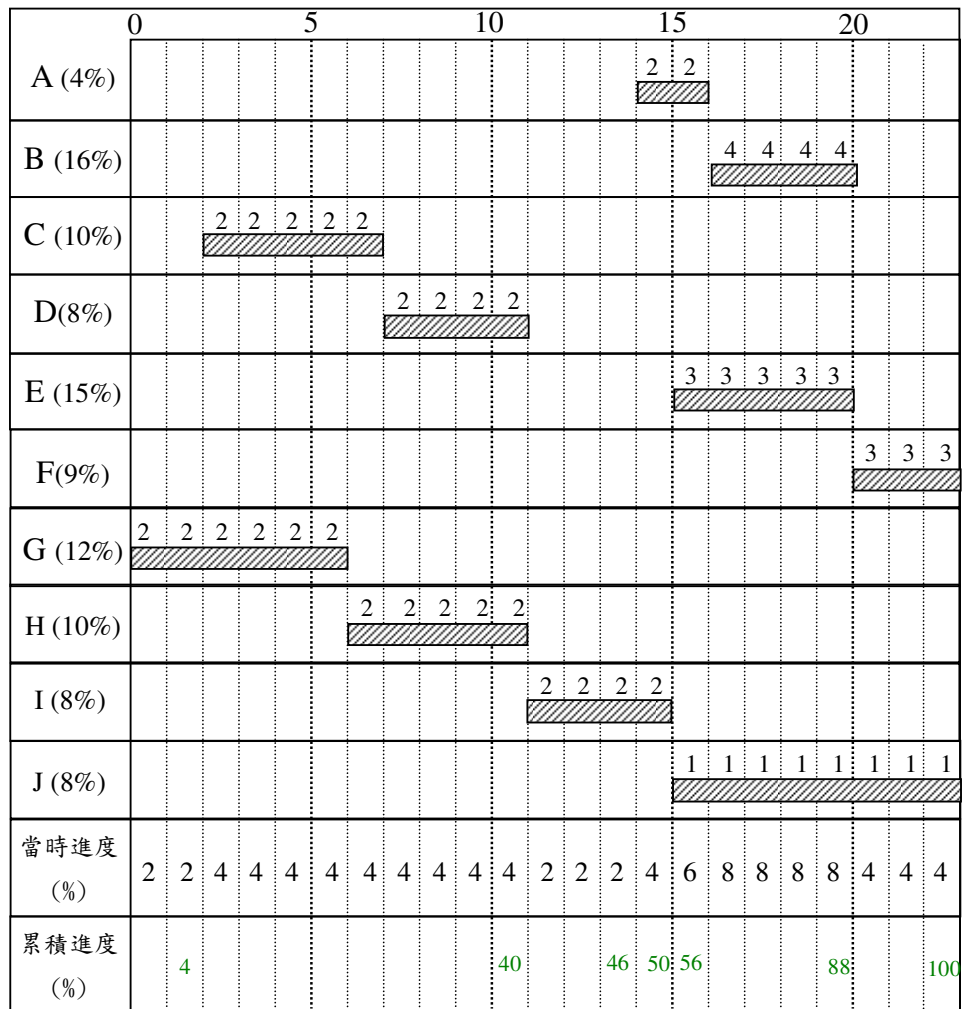
Item	ES <sub>ij</sub>	EF <sub>ij</sub>	LS <sub>ij</sub>	LF <sub>ij</sub>
A	5	7	14	16
B	7	11	16	20
C	0	5	2	7
D	5	9	7	11
E	11	16	15	20
F	16	19	20	23
G	0	6	0	6
H	6	11	6	11
I	11	15	11	15
J	15	23	15	23

2.

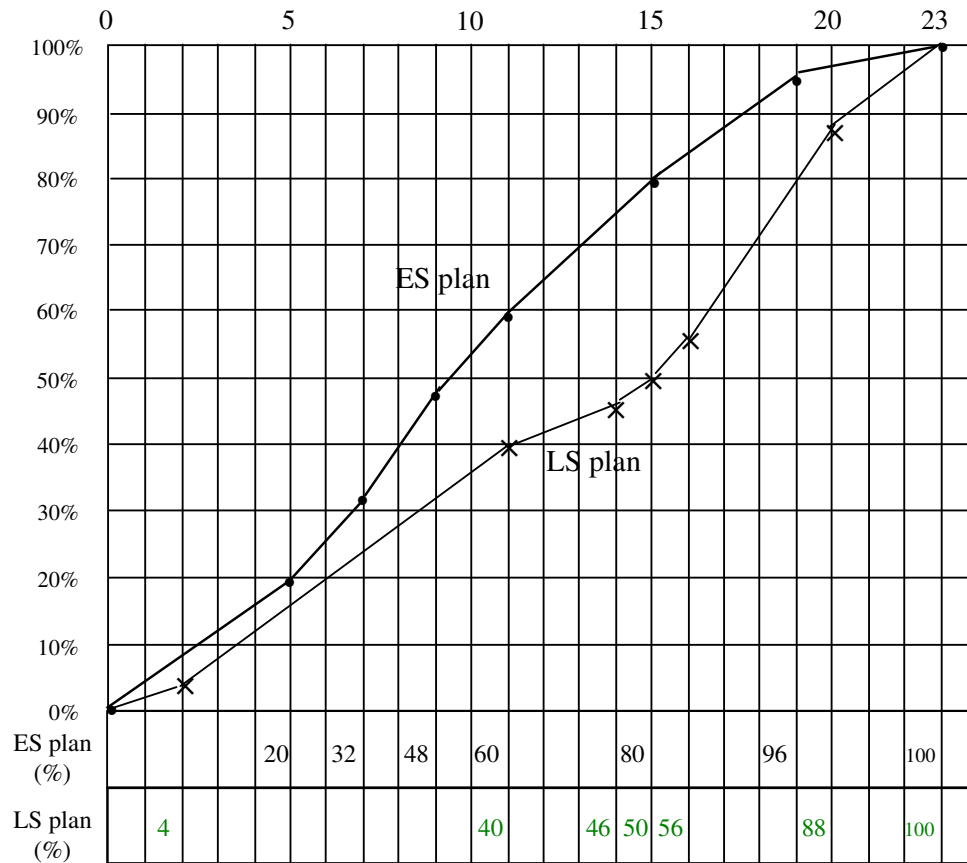
(1)for ES plan

	0				5				10				15				20			
A (4%)					2	2														
B (16%)							4	4	4	4										
C (10%)	2	2	2	2	2															
D(8%)					2	2	2	2												
E (15%)									3	3	3	3	3							
F(9%)														3	3	3				
G (12%)	2	2	2	2	2	2														
H (10%)						2	2	2	2	2										
I (8%)									2	2	2	2								
J (8%)														1	1	1	1	1	1	1
當時進度 (%)	4	4	4	4	4	6	6	8	8	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4	1
累積進度 (%)					20	32	48		60			80			96					100

(2)for LS plan



(3)繪製 ES 及 LS plan 之累積進度曲線

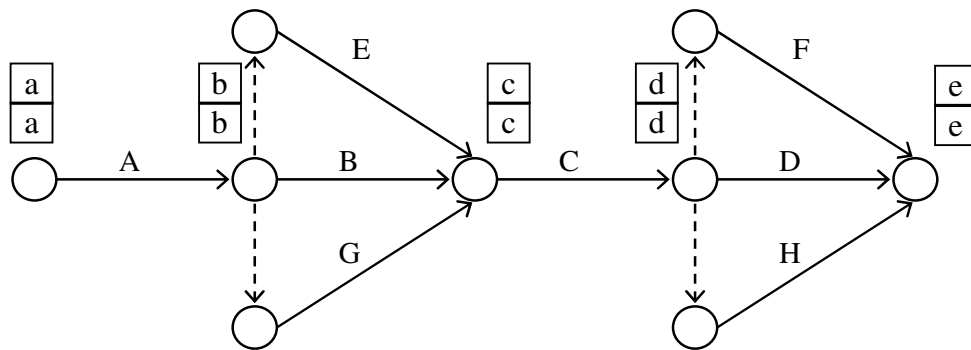


3.無差異。詳細比較如下表：

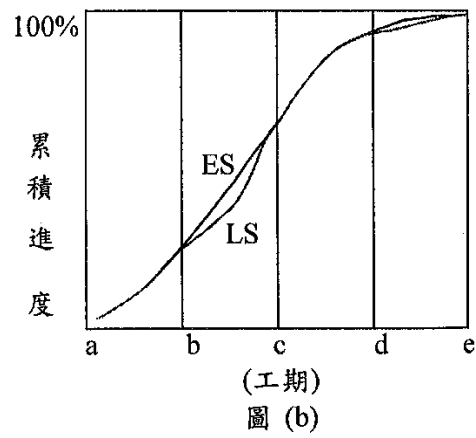
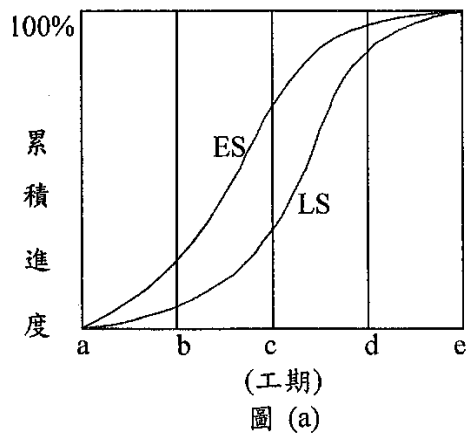
項目	ES plan	LS plan	比較
1.開工日	0	0	無差異
2.完工日	23	23	無差異
3.工期	23	23	無差異
4.要徑	G—H—I—J	G—H—I—J	無差異

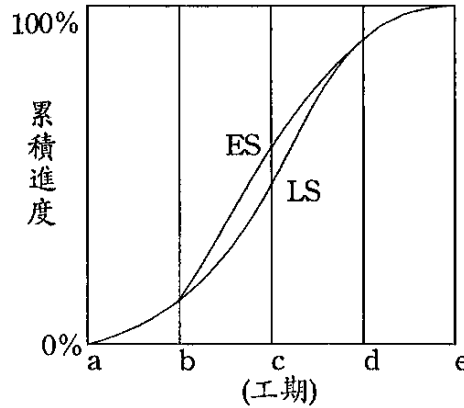
# B0340

S-Curve 軌跡的研判

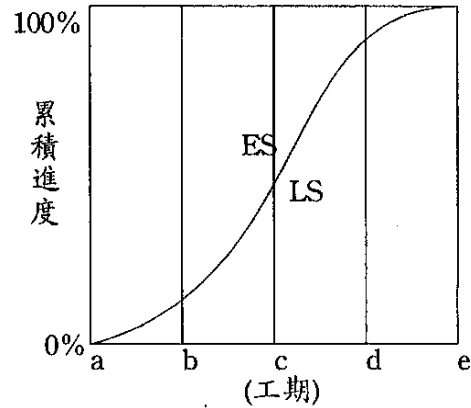


工程規劃結果如上，請據以研判下列何者符合該工程之累積進度曲線之軌跡：





圖(c)



圖(d)

### 〈解答〉

圖(a)及圖(c)不符合，圖(b)與圖(d)在適當條件下可符合。分別說明如下：

(1)圖(a)不符合。

因為在工期 a~b 及 c~d 時段，只有單一作業施工，故不論 ES 或 LS 均應為單一進度值。

(2)圖(b)：符合。

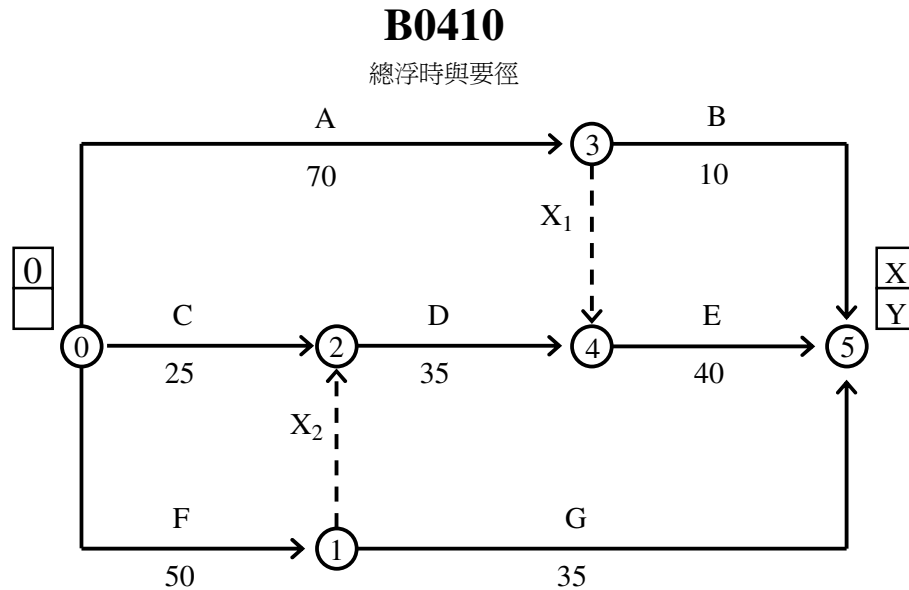
工期在 a~b 及 c~d 時段為單一進度值，而 b~c 及 d~e 時段因為非要徑作業具有浮時，而形成 ES 與 LS 產生不同之進度值。

(3)圖(c)：不符合。

在 d~e 時段若 F、D、H 同時為要徑，ES 與 LS 進度曲線可為單一值，但 c~d 時段僅有 c 作業施工，故不可能出現兩種進度值。

(4)圖(d)：符合。

當本工程所有作業皆為要徑作業時，則 ES plan 與 LS plan 之作業排程必然重疊，累積進度曲線自然整合為一。(具體條件為  $d_E = d_B = d_G$  及  $d_F = d_D = d_H$ )。



1. 列出本工程所有路徑，計算各路徑工期及路徑總浮時。
2. 當  $X=Y$  時，計算各作業總浮時。
3. 依據作業總浮時計算結果，研判本工程「要徑」所在，並說明判斷的方法為何？
4. 試比較 1、2 所得結果，探討路徑總浮時與作業總浮時有何關聯？
5. 若  $Y$  重新設定為 150，則作業總浮時將有何變化？要徑又將如何改變？

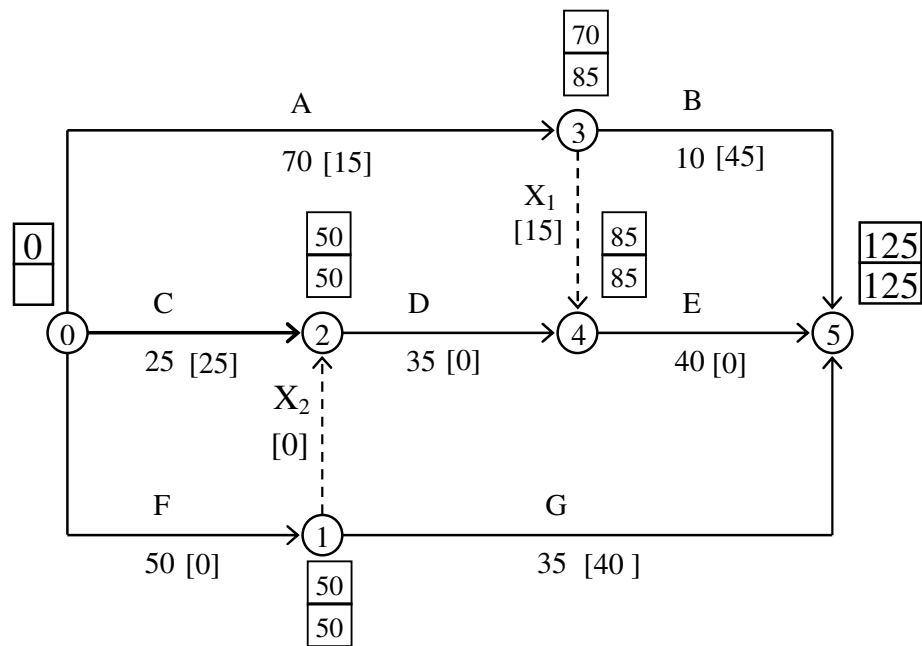


### 〈解答〉

1.

路徑	路徑工期	路徑總浮時
1. A-B	80	45
2. A-E	110	15
3. C-D-E	100	25
4. F-D-E	125	0
5. F-G	85	40

2.



說明：(1)由前進計算 得  $X=125$

(2)令  $Y=X=125$ ，代入  $TF_{ij}=LF_j - (ES_i + d_{ij})$  得總浮時解答如圖示

3. 當  $X=Y$  時，總浮時為 0 之路徑為要徑，故本例要徑為 F-D-E。

4. 作業總浮時為其經過路徑總浮時之最小值。比較如下：

作業說明	經過路徑	路徑總浮時	總浮時
A	A-B, A-E	45, 15	15
B	A-B	45	45
C	C-D-E	25	25
D	C-D-E, F-D-E	25, 0	0
E	A-E, C-D-E, F-D-E	15, 25, 0	0
F	F-D-E	0	0
G	F-G	40	40
$X_1$	A-E	15	15
$X_2$	F-D-E	0	0

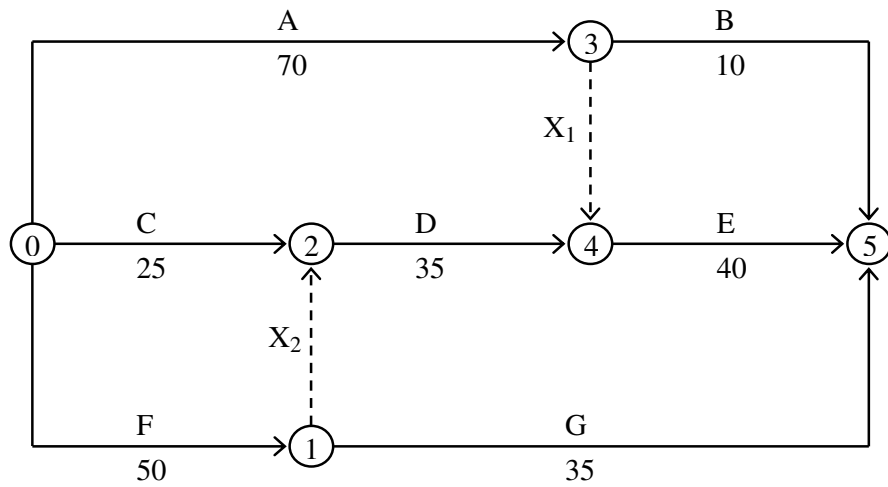
- 5.當 Y 設定為 150 時，要徑仍為 F-D-E（規劃工期維持 125 不變，但要徑總浮時為  $150-125=25$ ），此時路徑總浮時及作業總浮時全部增加 25（即  $150-125$ ）。

路徑	路徑工期	路徑總浮時
1. A-B	80	70
2. A-E	110	40
3. C-D-E	100	50
4. F-D-E	125	25
5. F-G	85	65

作業項目	總浮時
A	40
B	70
C	50
D	25
E	25
F	25
G	65
X <sub>1</sub>	40
X <sub>2</sub>	25

**B0420**

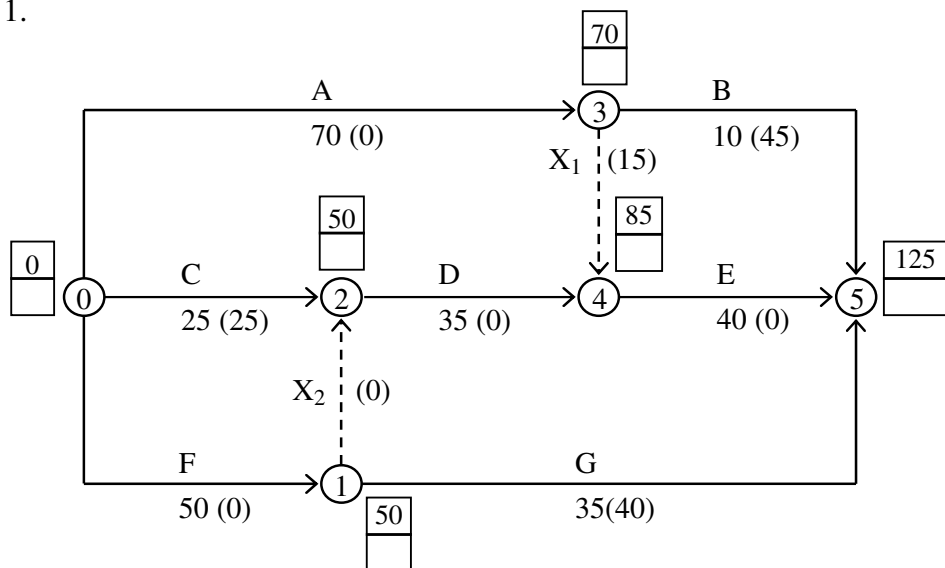
自由浮時



1. 計算各作業之自由浮時。
2. 列出自由浮時為 0 的項目，並據以指出本工程之要徑，並說明理由。
3. 下列敘述何者為真，試加以探討：
  - (1) 要徑作業之自由浮時必然為 0。
  - (2) 自由浮時為 0 的作業必然為要徑。

# <解答>

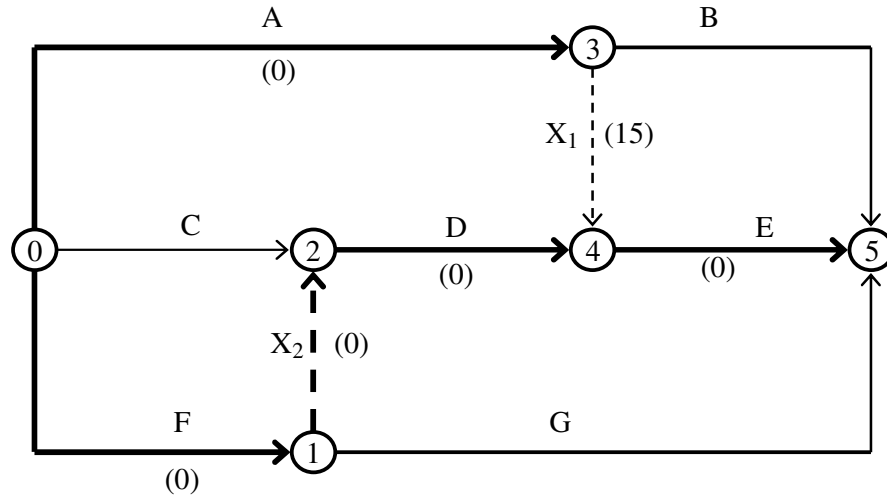
1.



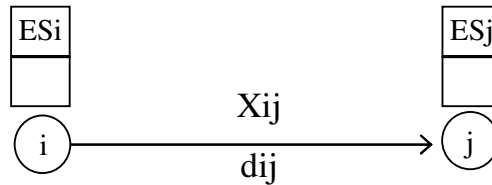
$$FF_{ij} = ES_j - (ES_i + d_{ij})$$

作業項目	自由浮時
A	0
B	45
C	25
D	0
E	0
F	0
G	40
X <sub>1</sub>	15
X <sub>2</sub>	0

2.自由浮時為 0 的項目有 A，D，E，F 及  $X_2$ 。圖示如下：



說明：自由浮時的計算公式為  $FF_{ij}=ES_j-(ES_i+d_{ij})$



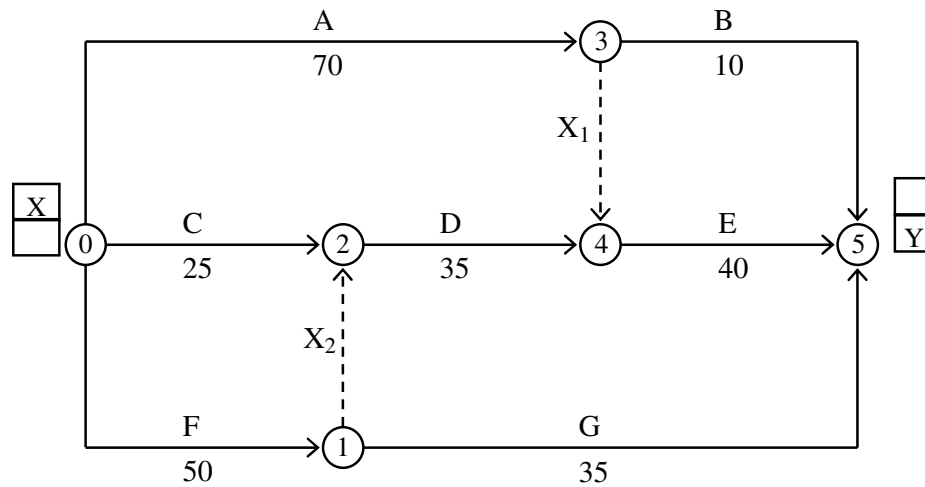
- (1) 當  $j$  前方只有一個作業匯入時，則  $ES_j=ES_i+d_{ij}$  此時該作業  $X_{ij}$  之  $FF_{ij}$  必然為 0。
- (2) 當  $j$  前方有二個以上作業匯入時，則  $ES_j$  必由當中最大值決定，而決定  $ES_j$  之路徑其自由浮時必然為 0。
- (3) 故從網圖完工結點反推，可知  $ES_5$  是由 E 決定 (因  $FF_E=0$ )，依此類推可得要徑為 F—D—E。

3.

- (1) 要徑為網圖中最長的路徑，故任何結點最早開始時間 ( $ES_j$ )，皆由要徑作業最早完成時間來決定，故要徑作業自由浮時必然為 0。
- (2) 自由浮時為 0 僅表示在該結點前方最長路徑，若非從開工結點至完工結點間，一直維持其特性，即非該網圖之最長路徑，故自由浮時為 0 是成為要徑的必要條件，而貫徹全程則為「充分條件」，缺一不可。

**B0430**

干擾浮時

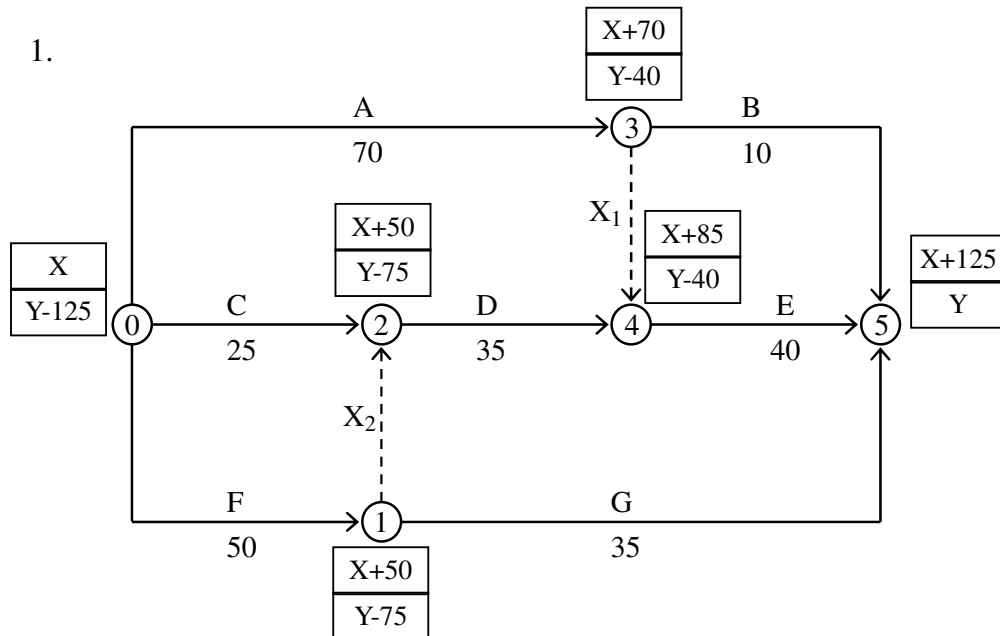


1. 在未進行計算之前，試證明  $IF_B = IF_E = IF_G$ 。
2. 計算各作業之「總浮時」、「自由浮時」和「干擾浮時」。
3. 試探討上述三種浮時其理論值之範圍。



### 〈解答〉

1.



$$TF_{ij} = LF_j - (ES_i + d_{ij})$$

$$FF_{ij} = ES_j - (ES_i + d_{ij})$$

$$\therefore IF_{ij} = TF_{ij} - FF_{ij} = LF_j - ES_j$$

$$\text{故 } IF_B = IF_E = IF_G = Y - (X + 125)$$

$\therefore$  不論  $X$ 、 $Y$  為任何數值， $IF_B = IF_E = IF_G$  皆成立。

2.列表計算如下：

作業項目	FFij	IFij	TFij
A	0	Y-X-110	Y-X-110
B	45	Y-X-125	Y-X-80
C	25	Y-X-125	Y-X-100
D	0	Y-X-125	Y-X-125
E	0	Y-X-125	Y-X-125
F	0	Y-X-125	Y-X-125
G	40	Y-X-125	Y-X-85
X1	15	Y-X-125	Y-X-110
X2	0	Y-X-125	Y-X-125

※ 注意自由浮時的計算與 X，Y 之大小無關。

※ 一般計算常採用  $X=0$  及  $Y=X+125=125$ ，代入上表，所得結果與 B0410 及 B0420 解答相同。

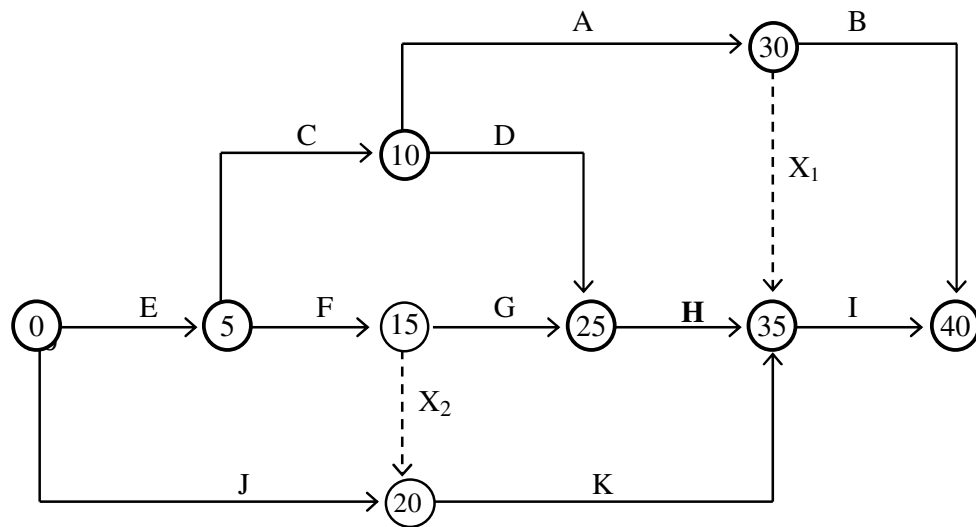
作業項目	FFij	IFij	TFij
A	0	15	15
B	45	0	45
C	25	0	25
D	0	0	0
E	0	0	0
F	0	0	0
G	40	0	40
X1	15	0	15
X2	0	0	0

3.三種浮時理論值之範圍為：

浮時種類	計算公式	理論值範圍
自由浮時 FFij	$FFij = ESj - (ESi + dij)$	FFi 大於 等於 0
干擾浮時 IFij	$IFij = LFj - ESj$	IFij 大於 等於 小於 0
總浮時 TFij	$TFij = LFj - (ESi + dij)$	TFij 大於 等於 小於 0

**B0440**

自由浮時之基本概念



1. 未經計算，以規劃網圖直接研判，本工程自由浮時必然為 0 的作業有那些（含虛業）？
2. 本工程自由浮時必然為 0 的作業，「至多」與「至少」有幾？
3. 當  $FF_{X_1}=FF_{X_2}=0$  時，其隱含之意義為何？

### 〈解答〉

1. 凡結點前方僅有一個作業匯入時，該作業自由浮時必然為 0，本例中此種作業依目視可得計有 E，C，F，A 四個作業。
2. 至多：13 個作業：(A，B，C，D，E，F，G，H，I，J，K，X<sub>1</sub>，X<sub>2</sub>)

至少：8 個作業

說明：(1) 當全部路徑皆為要徑時，所有作業皆是要徑作業，故至多有 13 個作業（含 2 個虛業），其自由浮時為 0。

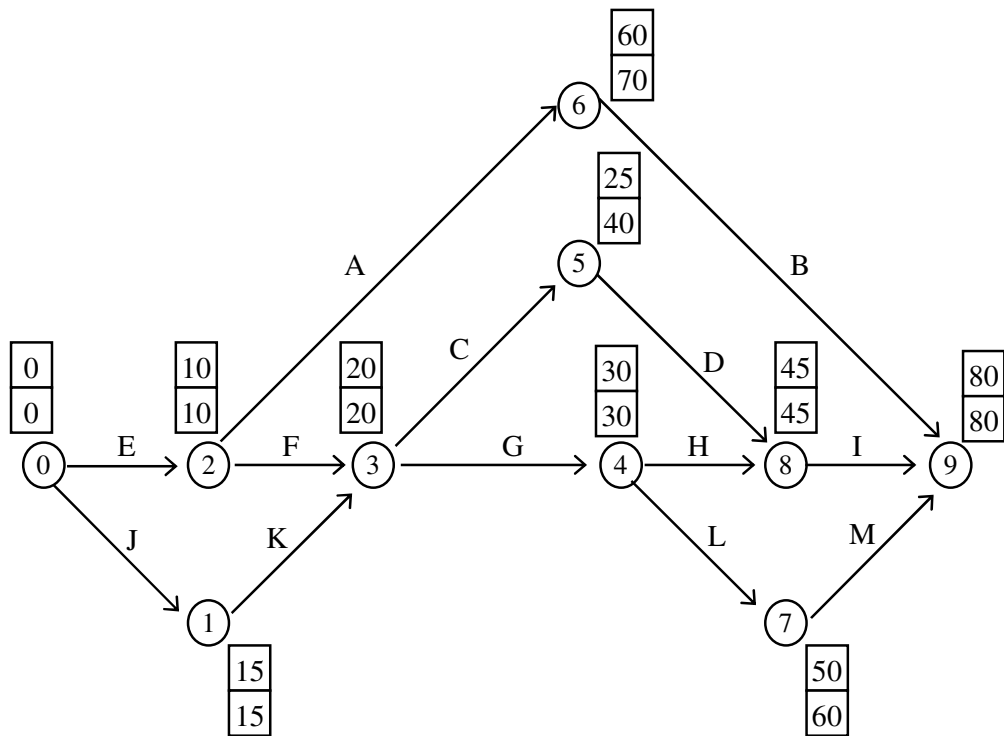
(2) 除開工結點外，任何結點其前方至少有一個自由浮時為 0 之作業（該作業之 ES<sub>ij</sub> 將決定 ES<sub>j</sub> 之數值，即 ES<sub>ij</sub>=ES<sub>j</sub>），故至少有 (5)、(10)、(15)、(20)、(25)、(30)、(35)、(40) 前方有八個 FF<sub>ij</sub>=0 之作業。

(3) 當 FF<sub>X1</sub>=0，係表示在 (0) 與 (35) 之間，E—C—A 之路徑長度將大於或等於其他路徑。

(4) 當 FF<sub>X2</sub>=0，係表示 E—F 路徑長度大於或等於 J 作業的時間。

## B0450

浮時整合運算



1. 計算各作業之「干擾浮時」。
2. 求解各作業時間，並計算「自由浮時」與「總浮時」。
3. 標示本工程之要徑。

**<解答>**

1.  $IF_{ij} = LF_j - ES_j$ ，計算結果列表如下：

作業項目	干擾浮時	作業項目	干擾浮時
A	10	H	0
B	0	I	0
C	15	J	0
D	0	K	0
E	0	L	10
F	0	M	0
G	0		

$$2. d_A = 60 - 10 = 50 \quad (ES_6 = ES_2 + d_A)$$

$$d_B = 80 - 70 = 10 \quad (LF_6 = LF_9 - d_B)$$

$$d_C = 25 - 20 = 5 \quad (ES_5 = ES_3 + d_C)$$

$$d_D = 45 - 40 = 5 \quad (LF_5 = LF_8 - d_D)$$

$$d_E = 10 - 0 = 10 \quad (ES_2 = ES_0 + d_E)$$

$$d_F = 20 - 10 = 10 \quad (LF_2 \neq LF_6 - d_A, \therefore LF_2 = LF_3 - d_F)$$

$$d_G = 30 - 20 = 10 \quad (ES_4 = ES_3 + d_G)$$

$$d_H = 45 - 30 = 15 \quad (ES_8 = ES_4 + d_H)$$

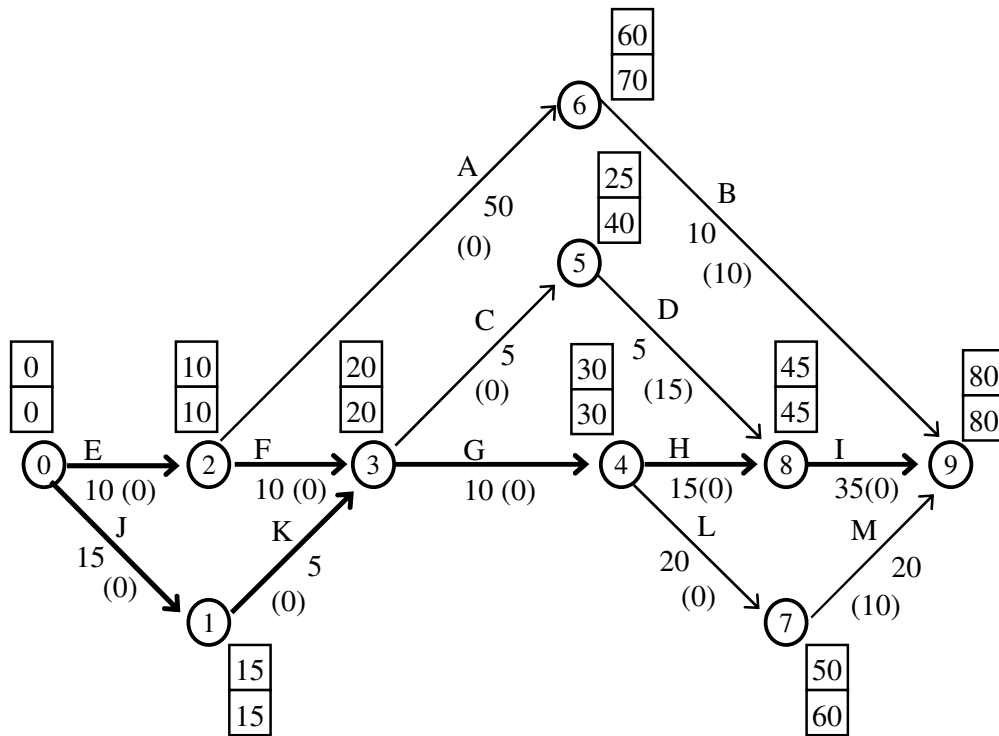
$$d_I = 80 - 45 = 35 \quad (LF_8 = LF_9 - d_I)$$

$$d_J = 15 - 0 = 15 \quad (ES_1 = ES_0 + d_J)$$

$$d_K = 20 - 15 = 5 \quad (LF_1 = LF_3 - d_K)$$

$$d_L = 50 - 30 = 20 \quad (ES_7 = ES_4 + d_L)$$

$$d_M = 80 - 60 = 20 \quad (LF_7 = LF_9 - d_M)$$





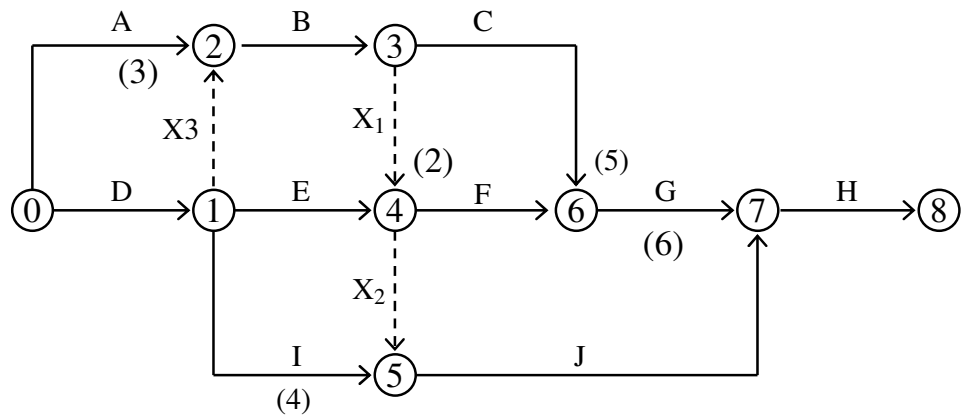
最終浮時計算結果列表如下：

作業項目	自由浮時	干擾浮時	總浮時
A	0	10	10
B	10	0	10
C	0	15	15
D	15	0	15
E	0	0	0
F	0	0	0
G	0	0	0
H	0	0	0
I	0	0	0
J	0	0	0
K	0	0	0
L	0	10	10
M	10	0	10

3.本工程要徑為 E—F—G—H—I 及 J—K—G—H—I

## B0460

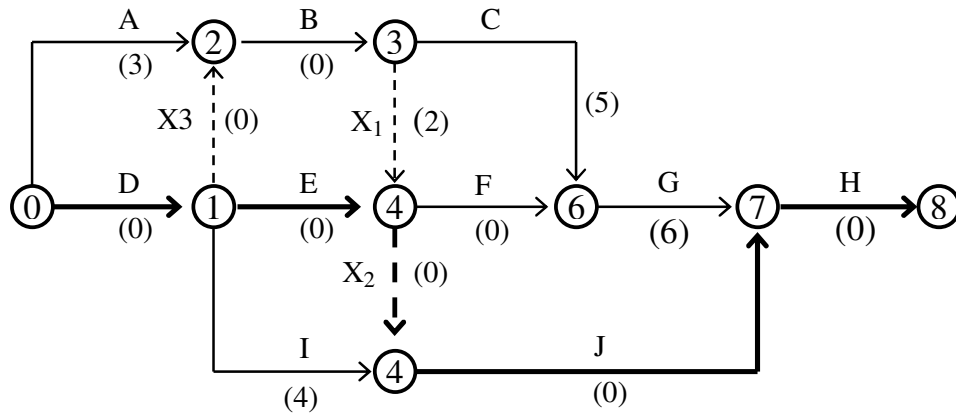
浮時整合運算



1. 計算各作業之「自由浮時」。
2. 標示本工程之要徑。
3. 計算各作業之「干擾浮時」與「總浮時」。

### 〈解答〉

1. 每個結點前方至少有一個作業其自由浮時為 0，故未標示自由浮時之作業，其  $FF_{ij}=0$ 。



2. 本工程要徑為 D—E—J—H（全程自由浮時皆為 0）標示如圖。

3.浮時計算結果列表如下：

作業項目	自由浮時	干擾浮時	總浮時
A	3	2	5
B	0	2	2
C	5	6	11
D	0	0	0
E	0	0	0
F	0	6	6
G	6	0	6
H	0	0	0
I	4	0	4
J	0	0	0
X <sub>1</sub>	2	0	2
X <sub>2</sub>	0	0	0
X <sub>3</sub>	0	2	2

說明：以作業 A 舉例說明  $IF_A$  之推算方法

- (1) 列出 A 作業完成結點（即②）至本工程完工結點（即⑧）間所有路徑：B—C—G—H，B—F—G—H 及 B—J—H 計三條。

- (2) 計算各路徑經過作業的自由浮時之總和

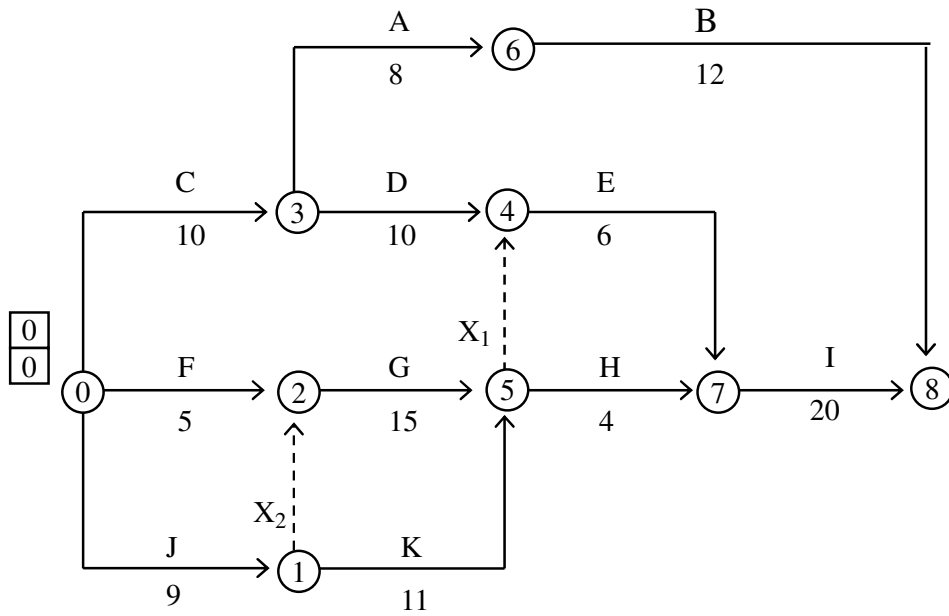
路徑	自由浮時總和
1.B—C—G—H	$0+5+6+0=11$
2.B—F—G—H	$0+2+0+6+0=8$ （含 X <sub>1</sub> ）
3.B—J—H	$0+2+0+0+0=2$ （含 X <sub>1</sub> 及 X <sub>2</sub> ）

- (3) 取自由浮時總和之最小值即為  $IF_A$ ，故  $IF_A=2$ 。

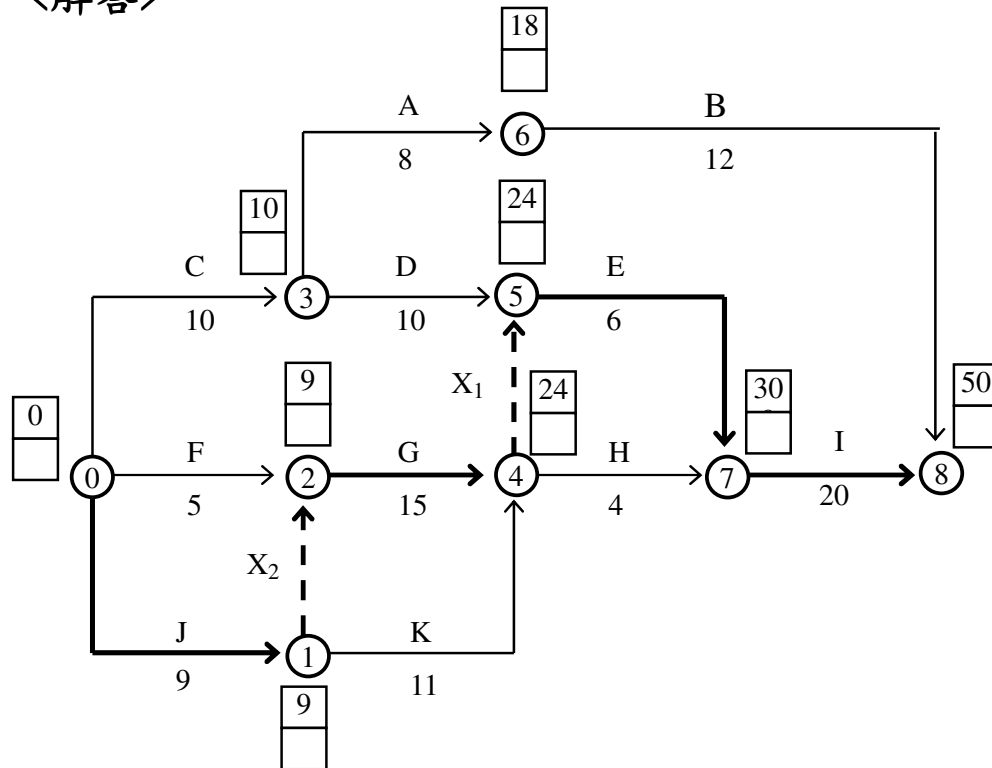
## B0510

前進計算法與要徑

以「前進計算法」決定要徑



## &lt;解答&gt;



說明：1. 以「前進計算法」決定結點最早開始時間（ESi），計算過程中遇有二個以上路徑時，以最大值來決定該結點 ESi 之數值。

2. 故當計算進行到最後一個結點時，即可利用逆向推演以獲得要徑所在。

3. 推演過程如下：ES<sub>8</sub> 由 I 決定 ⇨ ES<sub>7</sub> 由 E 決定。

⇨ ES<sub>5</sub> 由 X<sub>1</sub> 決定 ⇨ ES<sub>4</sub> 由 G 來決定。

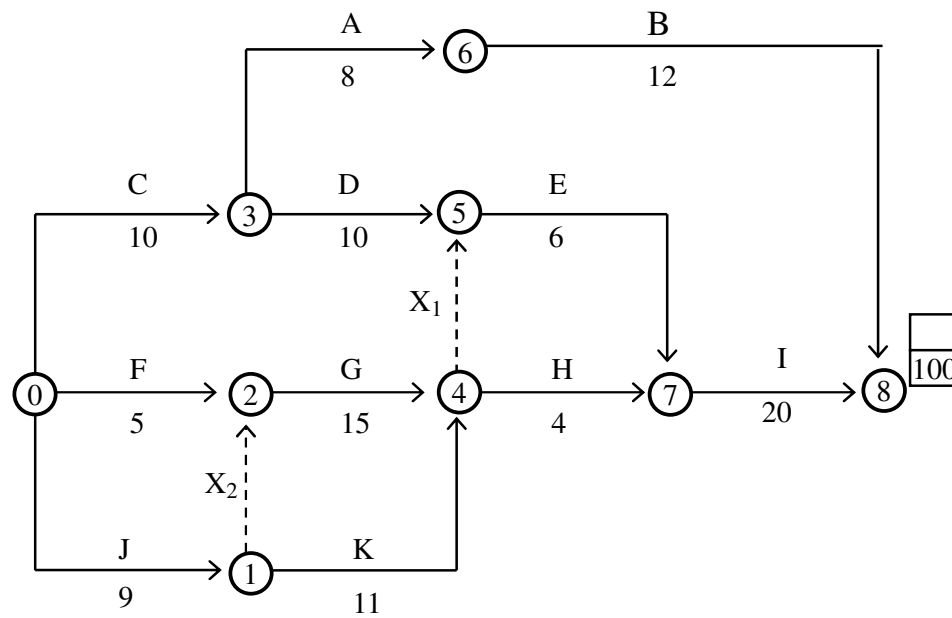
⇨ ES<sub>2</sub> 由 X<sub>2</sub> 決定 ⇨ ES<sub>1</sub> 由 J 決定。

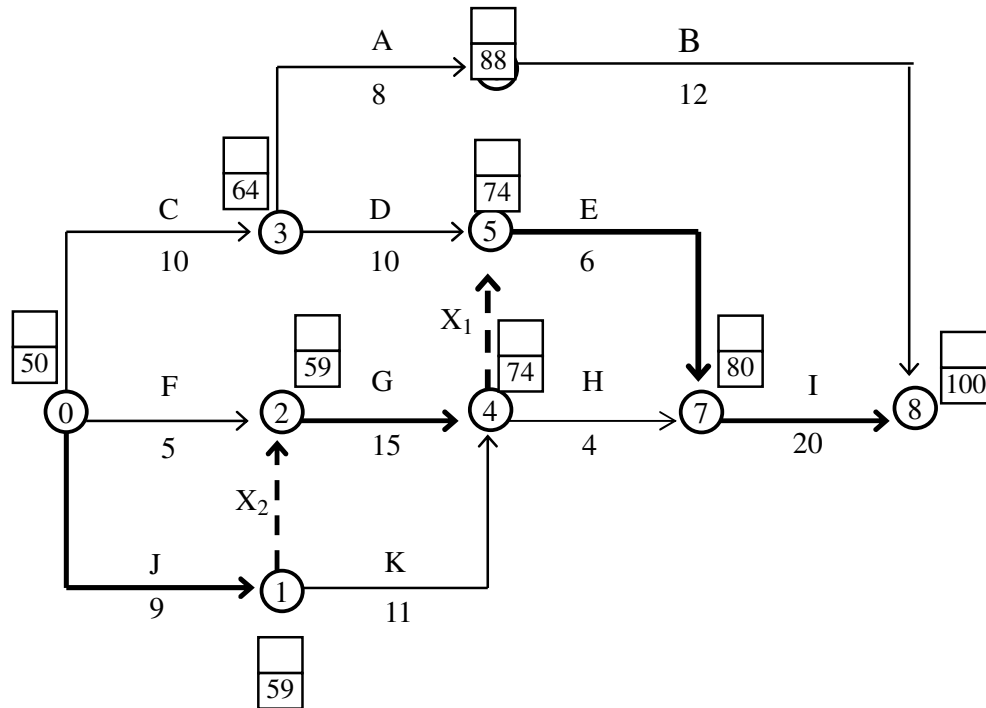
4. 故要徑為 J—G—E—I，工期為 50 天。

## B0520

後退計算法與要徑

以「後退計算法」決定要徑



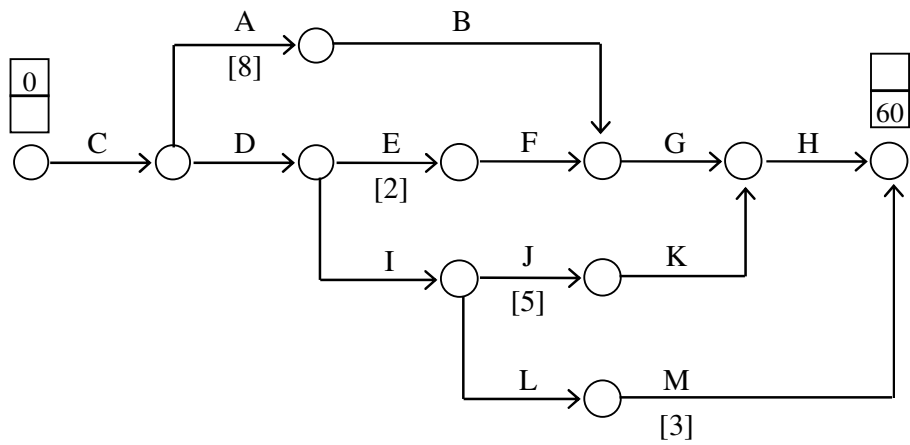
**<解答>**

- 說明：1. 「後退計算法」是用來求算結點最遲完成時間 (LFj)，計算過程中遇有二個以上路徑時，以最小值來決定該結點 LFj 之數值。
2. 故以前題原理相同，當計算完成後，即可以開工結點向前追溯推演要徑的所在位置。
3. 推演過程：LF<sub>0</sub> 由 J 決定 ⇨ LF<sub>1</sub> 由 X<sub>2</sub> 決定  
⇨ LF<sub>2</sub> 由 G 決定 ⇨ LF<sub>4</sub> 由 X<sub>1</sub> 來決定  
⇨ LF<sub>5</sub> 由 E 來決定 ⇨ LF<sub>7</sub> 由 I 決定
4. 故要徑為 J—G—E—I，實際工期為 50 天（即 100-50）。



**B0530**

網狀圖整合運算



1. 已知  $TF_A=8$ ， $TF_E=2$ ， $TF_J=5$ ， $TF_M=3$ （如圖示），試求算各作業之總浮時。
2. 本工程要徑及工期為何？

## &lt;解答&gt;

1.

(1) 同一條路徑內之作業總浮時必然相等

$$TF_B = TF_A = 8$$

$$TF_F = TF_E = 2$$

$$TF_K = TF_J = 5$$

$$TF_L = TF_M = 3$$

(2) 二條以上路徑交會之作業總浮時，應取小值。

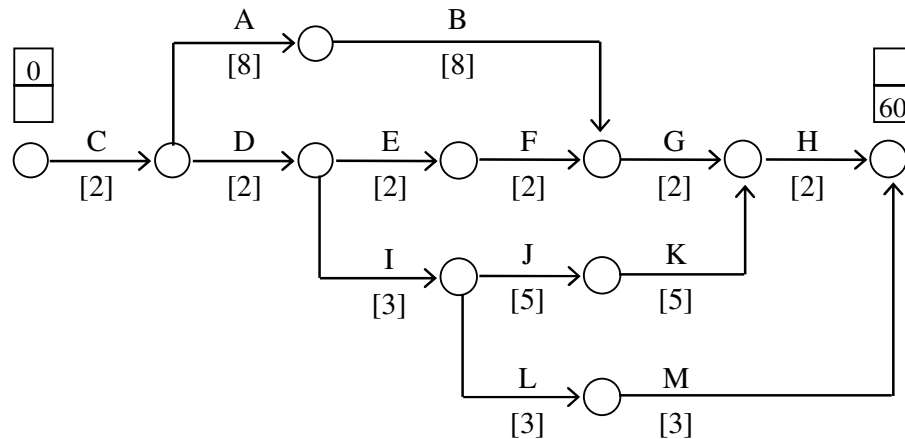
$$TF_I = (TF_J, TF_L) \min = (5, 3) \min = 3$$

$$TF_D = (TF_E, TF_I) \min = (2, 3) \min = 2$$

$$TF_C = (TF_A, TF_D) \min = (8, 2) \min = 2$$

$$TF_G = (TF_B, TF_F) \min = (8, 2) \min = 2$$

$$TF_H = (TF_G, TF_K) \min = (2, 5) \min = 2$$

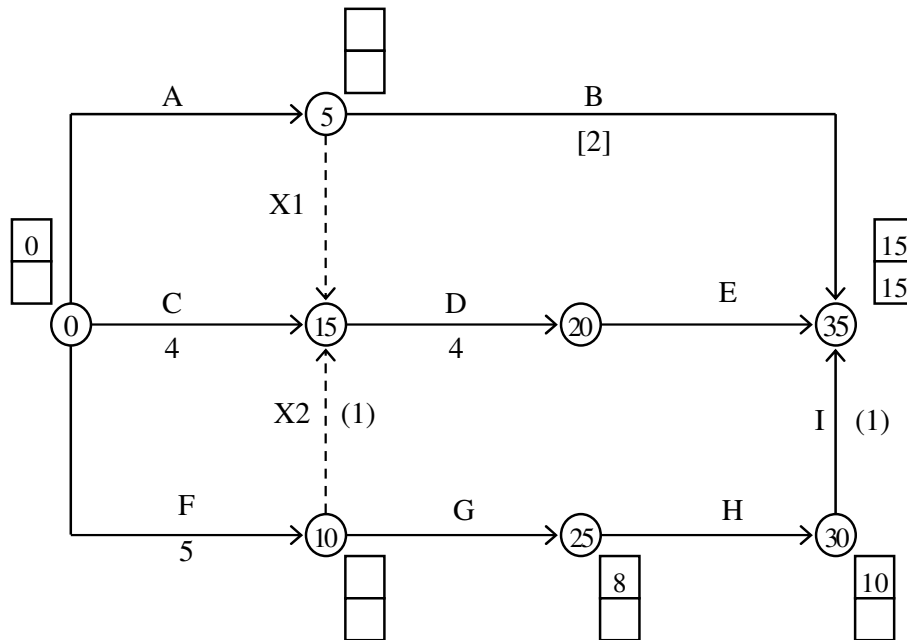


2. 要徑為 C—D—E—F—G—H，

$$\text{工期} = 60 - 2 = 58$$

**B0540**

網狀圖時間整合分析



1. 未經計算，本工程要徑之總浮時為何？
2. 計算本工程工期並列出要徑。
3. 完成圖面計算，決定相關參數。
4. 假定  $LF_{35}$  變更為 16，則下列數值是否會產生變更：
  - (1)  $TF_{c.p.}$
  - (2)  $FF_{c.p.}$
  - (3) 其他作業之  $TF_{ij}$  與  $FF_{ij}$
  - (4) 求所有作業之干擾浮時  $IF_{ij}$
  - (5) 作業時間  $d_A$ 、 $d_B$ 、 $d_E$ 、 $d_G$ 、 $d_H$ 、 $d_I$ 。

## &lt;解答&gt;

$$1. TF_{C,P} = LF_{35} - ES_{35} = 15 - 15 = 0$$

$$2. (1) \text{ 要徑之工期} = ES_{35} - ES_0 = 15 - 0 = 15$$

(2) 要徑：A—D—E

推導過程說明：

(i) 由  $FF_1 = 1$ ，知 G、H、I 並非要徑作業。

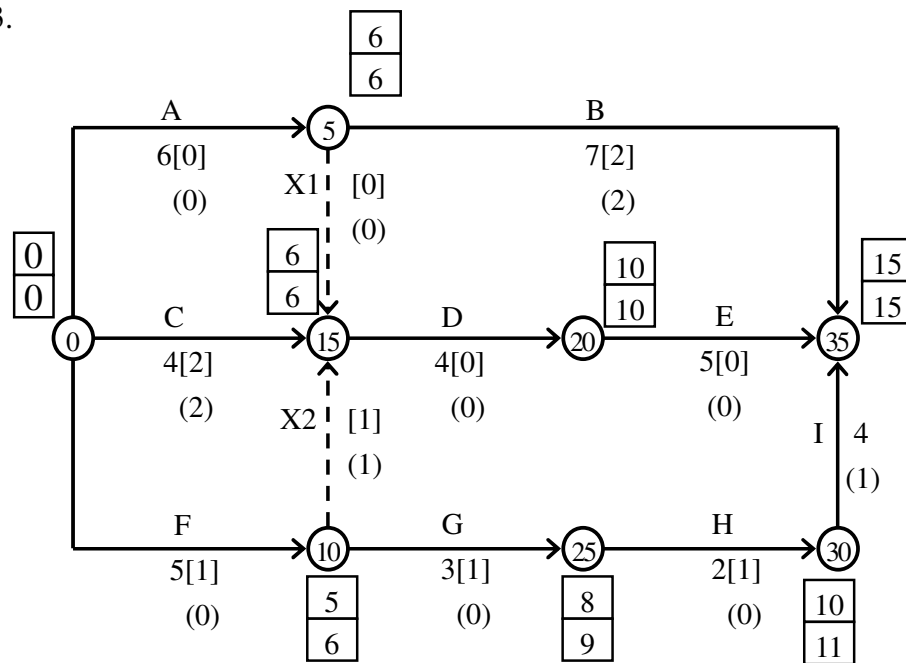
(ii) 由  $TF_B = 2$  知 B 為非要徑作業。

(iii) 由  $FF_{X2} = 1$  知 F 為非要徑作業。

(iv) 由  $ES_{15}$  知 C 為非要徑作業。

(v) 故本工程要徑作業為 A，D，E。

3.



推導過程說明：

$$(1) ES_{15} = ES_{10} + 1 = 5 + 1 = 6, \text{ 得 } ES_5 = 6 \text{ 及 } d_A = 6。$$

$$(2) TF_B = LF_{35} - (ES_5 + d_B), 2 = 15 - (6 + d_B),$$

$$\text{得 } d_B = 7$$

$$(3) d_G = ES_{25} - ES_{10} = 8 - 5 = 3$$

$$(4) d_H = ES_{30} - ES_{25} = 10 - 8 = 2$$

$$(5) FF_I = ES_{35} - (ES_{30} + d_I)$$

$$1 = 15 - (10 + d_I), \text{ 得 } d_I = 4$$

$$(6) d_E = ES_{35} - ES_{20} = 15 - 10 = 5$$

(7) 將以上  $d_A, d_B, d_E, d_G, d_H, d_I$  代入，即可依一般運算方法求解（如圖）

4.  $LF_{35}$  由 15 變更為 16 時，將造成所有結點最遲完成時間 ( $LF_j$ ) 變動，全部增加 1， $d_B = 8$ ，其他不變。

$$(1) TF_{CP} = 1$$

(2)  $FF_{CP}$  不變 ( $FF_{CP} = 0$ ，因  $FF_{ij}$  之計算與  $LF_j$  無關)

(3) 其他作業之  $TF_{ij}$  除了  $TF_B = 2$  為已知條件不變外，其餘皆增加 1；而  $FF_{ij}$  除了  $FF_B = 1$  有變動外，其餘皆不變。

(4) 所有作業干擾浮時全部增加 1（因  $IF_{ij} = LF_j - ES_j$ ）

(5) 作業時間：除了  $d_B$  外皆不受影響。

$$d_A = 6 \text{ (不變)}$$

$$d_B = 16 - (6 + 2) = 8$$

$$d_E = 5 \text{ (不變)}$$

$$d_G = 3 \text{ (不變)}$$

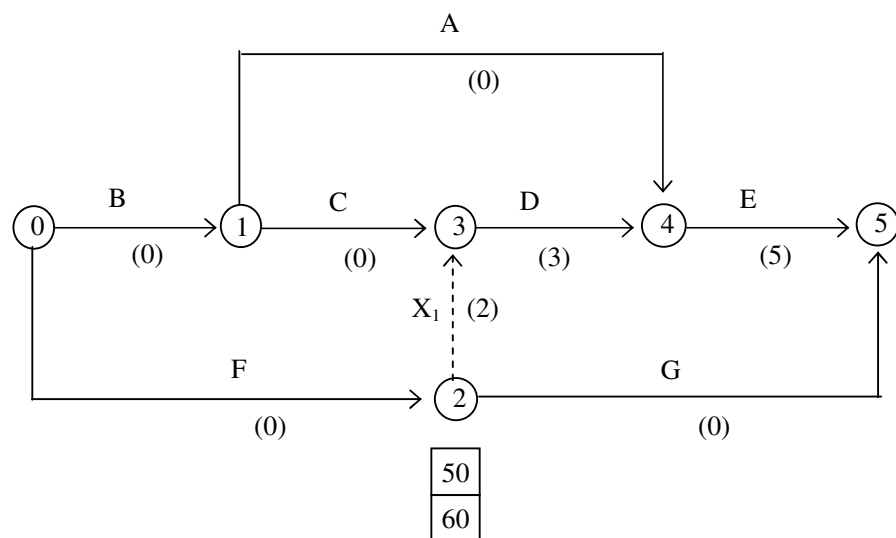
$$d_H = 2 \text{ (不變)}$$

$$d_I = 4 \text{ (不變)}$$

## B0550

網狀圖時間整合分析

計算 IFij 及 TFij



**<解答>**

1. 由  $LF_2 - ES_2 = 60 - 50 = 10$

可推論：

$$LF_5 - ES_5 = LF_0 - ES_0 = 10$$

故要徑總浮時為 10

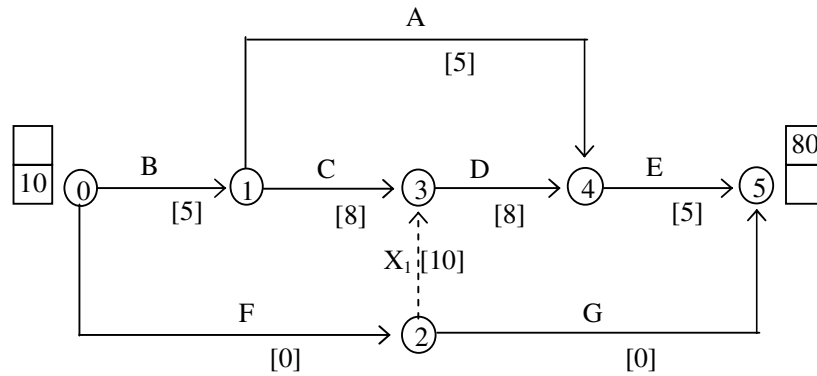
(因 F-G 為要徑，故  $LF_5 - ES_5 = LF_2 - ES_2 = LF_0 - ES_0$ )

2.

Item	FF	IF	TF
A	0	$5 + 10 = 15$	15
B	0	$5 + 10 = 15$	15
C	0	$8 + 10 = 18$	18
D	3	$5 + 10 = 15$	18
E	5	$0 + 10 = 10$	15
F	0	$0 + 10 = 10$	10
G	0	$0 + 10 = 10$	10
X <sub>1</sub>	2	$8 + 10 = 18$	20

## B0560

網狀圖時間整合分析



1. 指出本工程要徑並計算工期。
2. 推導 FFij。



## &lt;解答&gt;

1. 由圖面可判定要徑為 F—G。

$$\text{因 } TF_F = TF_G = 0$$

$$\text{故 } LF_5 = ES_5 = 80$$

$$ES_0 = LF_0 = 10$$

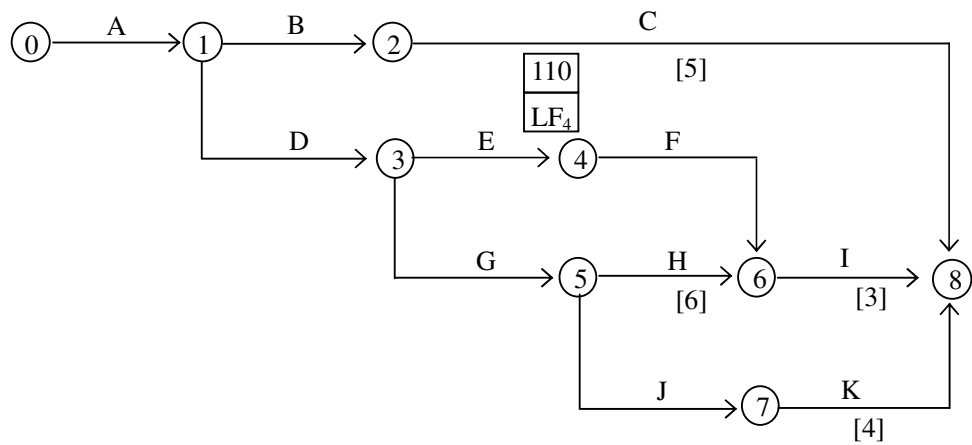
$$\therefore \text{工期} = 80 - 10 = 70$$

2.

Item	TF	FF
A	5	$TF_A - TF_E = 0$
B	5	$(\begin{matrix} TF_B - TF_A = 0 \\ TF_B - TF_C = -3 \end{matrix})_{\max} = 0$
C	8	$TF_C - TF_D = 0$
D	8	$TF_D - TF_E = 3$
E	5	$FF_E = TF_E = 5$
F	0	$(\begin{matrix} TF_F - TF_{X1} = -10 \\ TF_F - TF_G = 0 \end{matrix})_{\max} = 0$
G	0	$FF_G = TF_G = 0$
X <sub>1</sub>	10	$TF_{X1} - TF_D = 2$

**B0570**

網狀圖時間整合分析

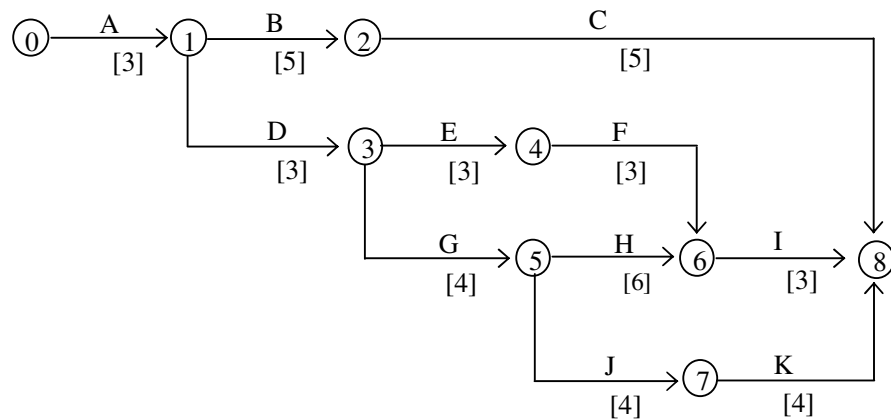


已知路徑 A—B—C 工期為 100 天，試求算：

1.  $TF_{ij}$ 。
2. 本工程要徑及工期。
3.  $LF_4$  之值。

## &lt;解答&gt;

1. TFij :



2.

(1) 要徑為 A—D—E—F—I

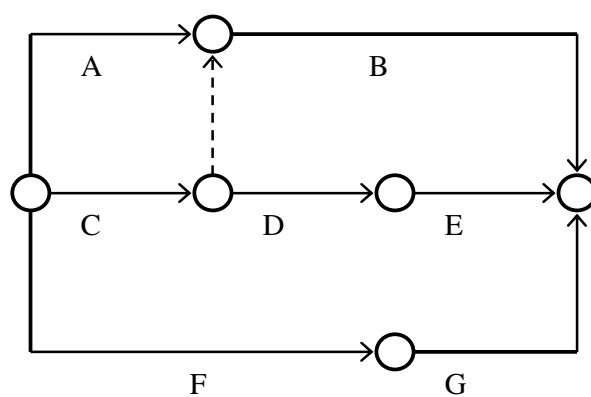
(2) 工期計算：

路徑 A—B—C，總浮時為 5，

故目標工期 =  $100 + 5 = 105$  天。實際工期 =  $105 - 3(TF_{CP}) = 102$  天(3)  $LF_4 = ES_4 + TF_{CP} = 110 + 3 = 113$ (注意：ES<sub>4</sub> = 110 是否合理？請進一步推敲。)

# B0610

## PERT 與要徑分析



項目	作業時間		
	樂觀 (a)	最可能 (m)	悲觀 (b)
A	10	13	16
B	15	20	25
C	7	10	11
D	14	15	16
E	7	11	13
F	16	18	20
G	11	16	21

1. 計算各作業所需時間。
2. 列出本工程所有路徑及工期參數。
3. 試就以下目標工期，判定本工程之要徑及如期完工之可行性：
  - (1) 40 天
  - (2) 35 天
  - (3) 30 天
4. 路徑 C-D-E 恰好在 33 天完工（工期超過 32 天但不滿 33 天）的機率若干。

## &lt;解答&gt;

1.

$$1. te = \frac{a + 4m + b}{6} \quad , \quad \sigma e = \frac{b - a}{6}$$

Item	te	$\sigma e$
A	13	1.0
B	20	1.67
C	9.7	0.67
D	15	0.33
E	10.7	1.0
F	18	0.67
G	16	1.67

$$2. T = \sum te \quad , \quad \sigma_T = \sqrt{\sum \sigma e^2}$$

path	T	$\sigma_T$
1.A—B	33	1.95
2.C—B	29.7	1.8
3.C—D—E	35.4	1.25
4.F—G	34	1.80

3.完工機率可行性分析： $T_x = T + u\sigma$ 

路徑 機率 工期	$T_1 = 33$ $\sigma_1 = 1.95$	$T_2 = 29.7$ $\sigma_2 = 1.80$	$T_3 = 35.4$ $\sigma_3 = 1.25$	$T_4 = 34$ $\sigma_4 = 1.80$
(1) 40 天	$u = 3.59$ $P_u \doteq 100\%$	$u = 5.72$ $P_u \doteq 100\%$	$u = 3.68$ $P_u \doteq 100\%$	$u = 3.33$ $P_u \doteq 100\%$
(2) 35 天	$u = 1.03$ $P_u \doteq 84.85\%$	$u = 2.94$ $P_u \doteq 99.84\%$	$u = -0.32$ $P_u \doteq 37.45\%$	$u = 0.56$ $P_u \doteq 71.23\%$
(3) 30 天	$u = -1.54$ $P_u \doteq 6.18\%$	$u = 0.17$ $P_u \doteq 56.75\%$	$u = -4.32$ $P_u \doteq 0\%$	$u = -2.22$ $P_u \doteq 1.32\%$

結論：完工機率最低者，視為「要徑」

工期	要徑
(1) 40 天	$T_4 : (F-G)$
(2) 35 天	$T_3 : (C-D-E)$
(3) 30 天	$T_3 : (C-D-E)$

$$4. \text{令 } T_x = 33, u = \frac{33 - 35.4}{1.25} = -1.92, P(u) = 2.74\%$$

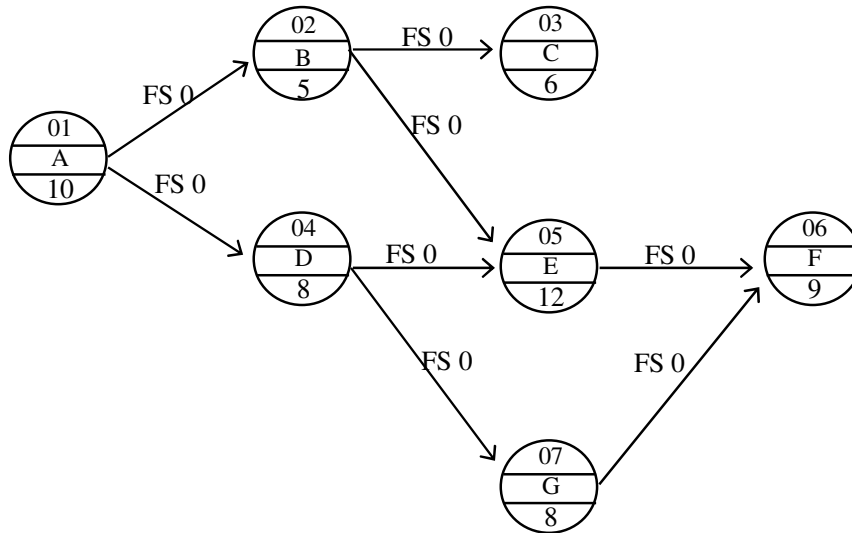
$$\text{令 } T_x = 32, u = \frac{32 - 35.4}{1.25} = -2.72, P(u) = 0.33\%$$

$\therefore C-D-E$  恰好在 33 天完工之機率為 2.41% (即 2.74% - 0.33% 之差)

## B0620

PDM 網圖時間分析

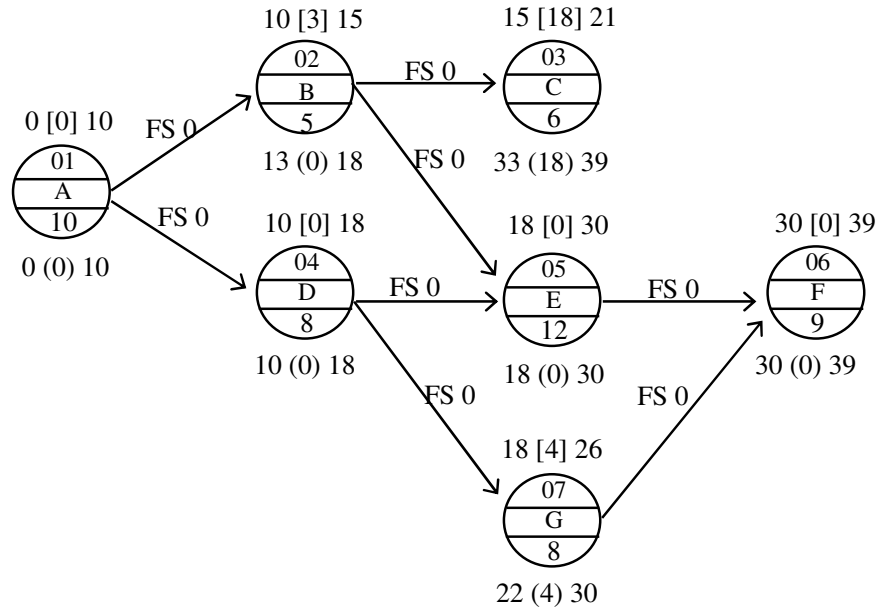
進行時間分析後標示要徑：



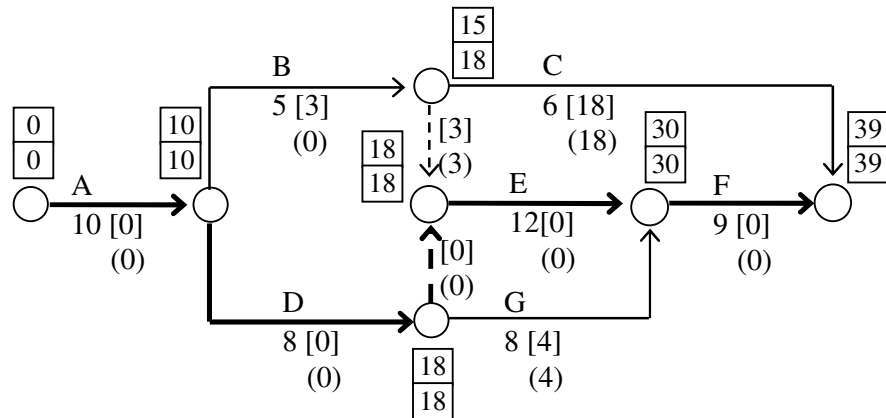


## 〈解答〉

【第一種方法】：直接計算，結點上可同時表示 ESij、EFij、LSij、LFij 之計算值，同時可推算 FFij 及 TFij（如圖所示）

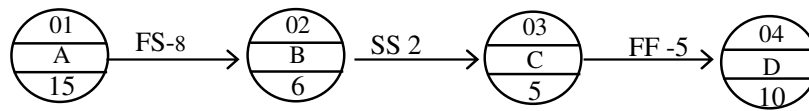


【第二種方法】：先將 PDM 轉換 ADM 網圖後再予分析。



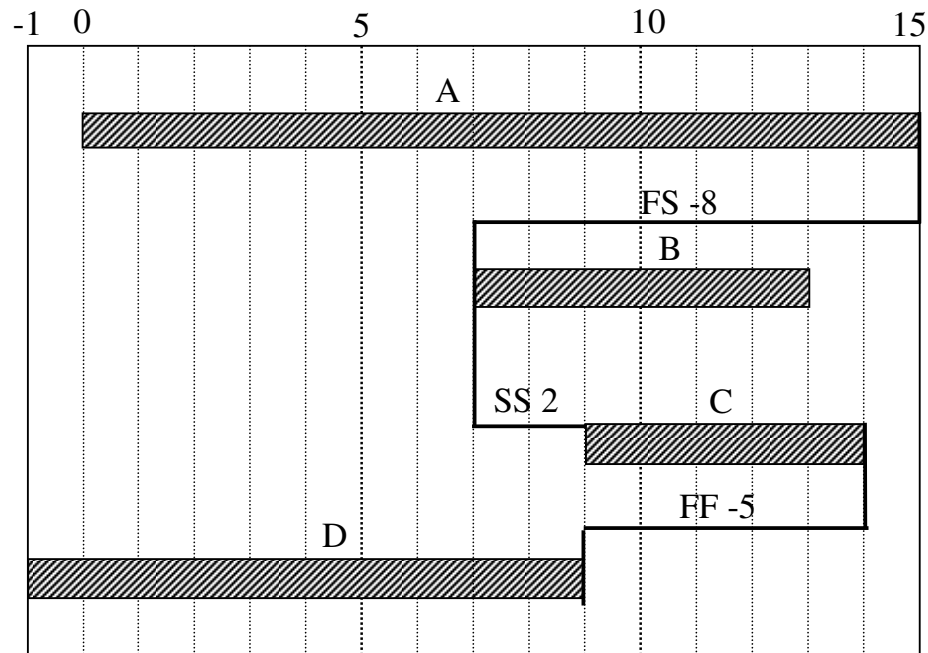
## B0630

PDM 網圖時間分析



1. 推算本工程規劃工期。
2. 繪製 ES plan 之 Bar Chart

## &lt;解答&gt;



1. 本工程規劃工期為  $15 - (-1) = 16$

2. ES plan 之 Bar Chart 如上圖所示。

說明：(1) 本例未設定目標工期，故無法推算 LS plan 之各項參數。

(2) C 與 D 之關係式為 FF-5 (C 為先行作業，D 為後續作業)，宜更改為 D 為先行，C 為後續，關係式 FF 5，應較為妥當。

## 第三單元 時間豎格網狀圖

### 3.1 時間豎格

### 3.2 最早與最遲開工之時間豎格網狀圖

### 3.3 時間豎格網狀圖之應用

#### 3.3.1 作業排程分析.

#### 3.3.2 資源調配

#### 3.3.3 浮時分析

#### 3.3.4 界限工期之研判

### 第三單元 時間豎格網狀圖

#### 3.1 時間豎格

以時間豎格（Time Scale）為工作底稿，將網狀圖依照既定的繪圖規則描繪其上，所得圖形稱為時間豎格網狀圖。

時間豎格網狀圖有兩種基本分類：「最早開工」時間豎格網狀圖與「最遲開工」時間豎格網狀圖。繪圖規則簡要說明如下：

- 1. 時間豎格係依照時間比例來繪製，採用的時間單位應予標示。
- 2. 兩結點間的箭線由「實線」和「虛線」構成，實線的部份表示該作業時間的長度比例，不足的部份以虛線補足。
- 3. 虛業全部以虛線表示。

時間豎格可採用任意時間單位，一般工程網狀圖以採用「天」、「週」、「月」最為常見；時間豎格有兩種表現方式「相對時間」與「絕對時間」。「相對時間」是以 0 為起點，按序標示；「絕對時間」是依照合約規定，事先剔除「不工作的時程」（或稱休假日）後，以實際日曆時程標示於時間豎格上方。

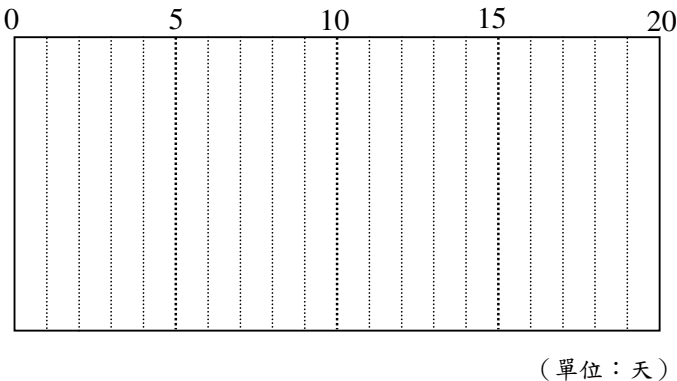


圖 3.1 以「相對時間」表示之時間豎格

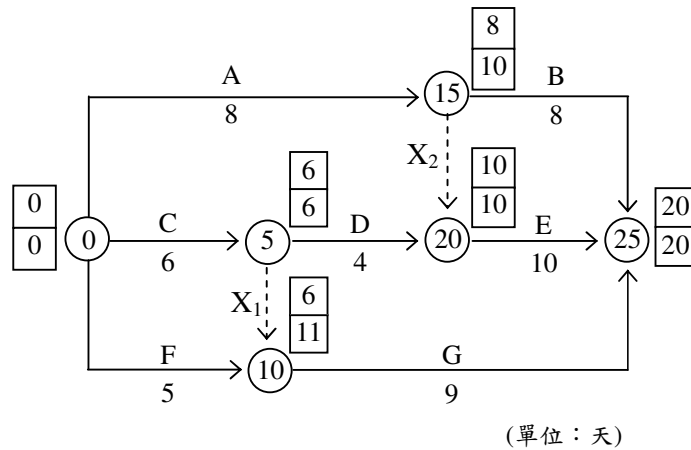
5/17	18	20	21	22	23	24	25	27	28	29	30	31	6/1	3	4	5	6	7	9
(五)	(六)	(一)	(二)	(三)	(四)	(五)	(六)	(一)	(二)	(三)	(四)	(五)	(六)	(一)	(二)	(三)	(四)	(五)	(六)

圖 3.2 以「絕對時間」表示之時間豎格（本例為星期日不施工）

3.2 最早與最遲開工之時間豎格網狀圖

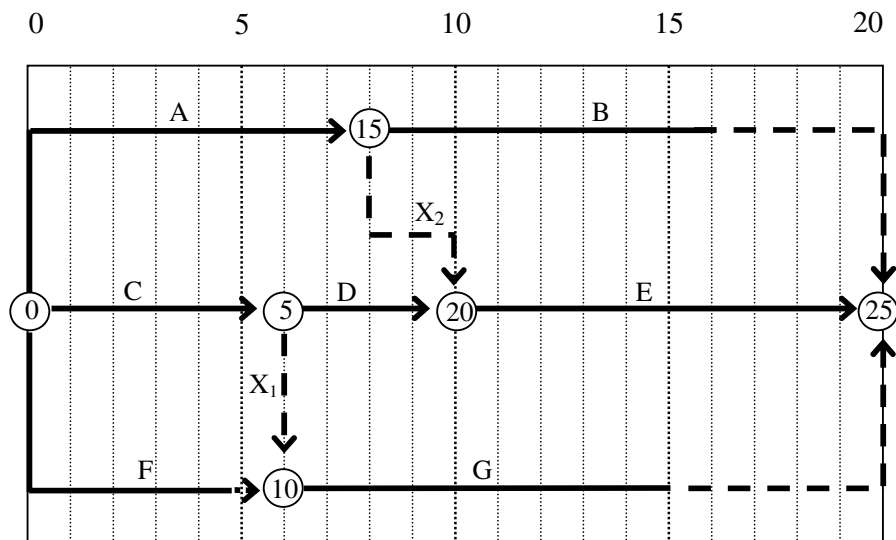
運用網狀圖時間分析結果，以結點最早開始時間與最遲完成時間，先行標定結點在時間豎格上之位置後，再依序按照作業時間比例長度，繪製箭線之實線和虛線部份，即可獲得兩種狀態下之時間豎格網狀圖。茲舉一例描繪如下：

例題 3.1 繪製 ES 及 LS 時間豎格網狀圖



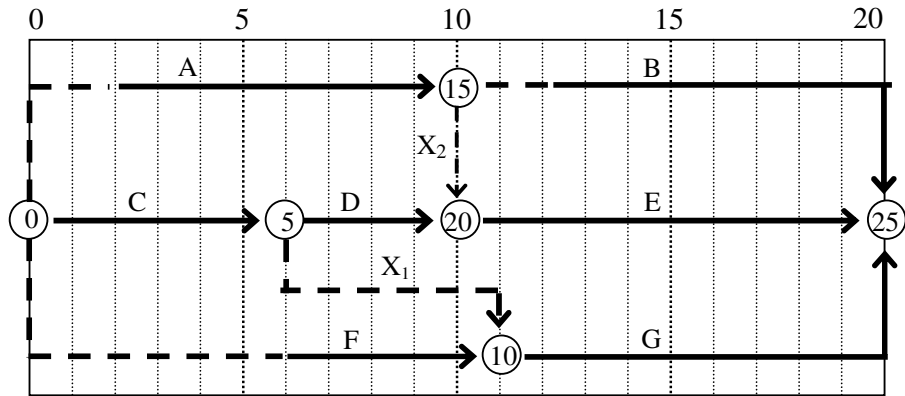
解答：

1. ES 時間豎格網狀圖



(可直接讀取  $ES_i$ 、 $ES_{ij}$ 、 $EF_{ij}$ 、 $FF_{ij}$ 、C.P.)

2.LS 時間豎格網狀圖



(可直接讀取  $LF_j$ 、 $LS_{ij}$ 、 $LF_{ij}$ 、C.P.)

仔細觀察 ES 及 LS 時間豎格網狀圖，除了結點時間參數以外，尚有作業排程、浮時與要徑資訊，皆可直接讀取或經簡單換算間接取得。有關時間豎格網狀圖之應用方法將在 3.3 節中詳細說明。

繪製 ES 或 LS 時間豎格網狀圖時，最好將要徑設定在圖面中央位置，主要理由是要徑在 ES 與 LS 條件下其繪圖結果不變，更重要的是可以建立一個比較標準，藉以觀察並行路徑在互動狀況下之變動情形。

繪製時間豎格網狀圖，不需高深的技巧，但若欲求精通，則可自我測試以下二項作業能力：

1. 逕自原始網圖（未經時間分析）直接繪製時間豎格網狀圖。
2. 對於 ES 及 LS 時間豎格網狀圖能互換自如。

任何一個工程最終規劃成果，幾乎不採用 ES 或 LS 其中之一的規劃方案，主要原因是前者是以「早起步」的方式執行工程，未充分運用浮時賦予工程的彈性與利益；而後者是將浮時消耗後，以「晚起步」方式執行工程，此時，工程中所有作業都將成為要徑，



導致工程管理欠缺重心，且不再容許發生任何偏差（一旦發生便產生逾期效果）。

合理的規劃結果必然介於 ES 與 LS 方案之間，時間豎格網狀圖剛好提供一個思考的基礎，以圖形方式協助規劃人員在兩者之間，模擬種種可行的方案，最後作成最佳的決策。

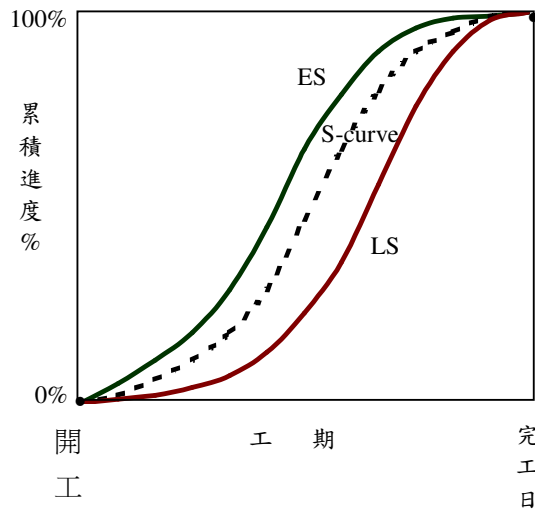


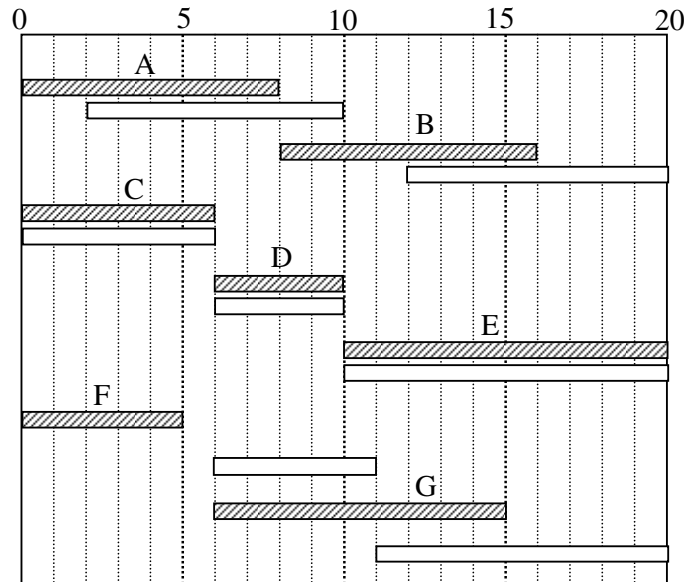
圖 3.3 S-curve 與 ES/LS 方案之關聯性

### 3.3 時間豎格網狀圖之應用

#### 3.3.1 作業排程分析

在 ES 及 LS 時間豎格網狀圖上，專注於「箭線」之實線部份，可以直接讀取作業排程的相關資訊：最早開始時間  $ES_{ij}$ 、最早完成時間  $EF_{ij}$ 、最遲開始時間  $LS_{ij}$  和最遲完成時間  $LF_{ij}$ 。

以例題 3.1 為例，其作業排程分析以橫線圖表示如下：



以上作業排程結果，有兩項值得注意之處：

1. 要徑作業 C，D，E，在 ES 及 LS 兩種方案的排程結果相同。  
(要徑作業只有一個排程結果，沒有任何彈性可言)
2. 任何作業的總浮時  $TF_{ij}$ ，可以由圖上  $ES_{ij}$  與  $LS_{ij}$  之差或  $EF_{ij}$  與  $LF_{ij}$  之差直接觀察而得。(例如  $TF_A=2$ ， $TF_B=4$ ， $TF_F=6$ ， $TF_G=5$ ，另  $TF_C=TF_D=TF_E=0$ )。

### 3.3.2 資源調配

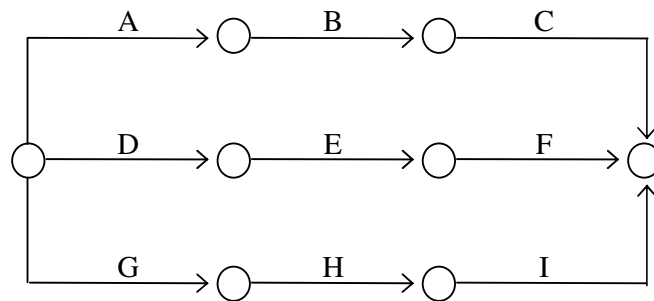
工程資源可區分為(1)技術工人(Men)、(2)施工機械、設備(Machines)(3)工程材料(Materials)三種基本分類。如何有效統籌資源的分配與利用，必須在事前有良好的規劃安排。

譬如相同資源的各種作業，是否考量集中或連續施工？其次，各種資源聚集於工區內同步施工，對於空間使用效率和施工動線的影響如何？皆有待規劃時充分考量。

資源調配（Resource Allocation）的困難之處，在於幾乎每個作業皆使用多重資源（至少二種以上），且工程中涵蓋作業項目動輒數百、數千項，故欲求有效整合，純就數值分析的角度而言，採用電子計算機可以在短時間內得到精確解答；但以實務觀點而言，資源參數之選用必須依賴經驗，而營建工程具有工期長且變數複雜的特性，都將導致資源調配工作的困難度提高，實用價值有限。

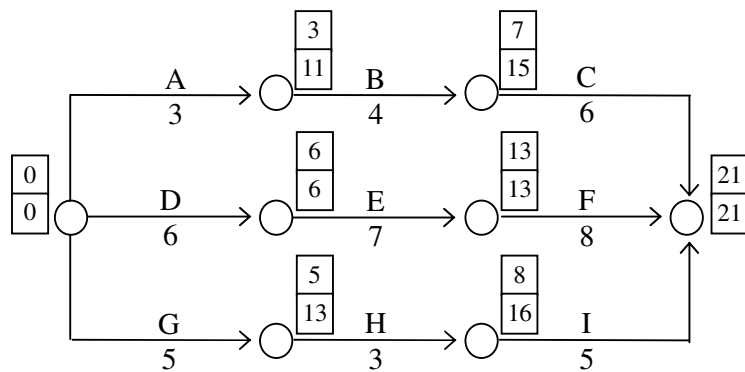
資源調配使用於短期（約一個月內）工作排程時，基於工作目標與工程條件明確，且所涉資源範圍較少，相對容易進行，因而適當引用，應可發揮相當功能。

例題 3.2 依據下列條件，進行資源調配



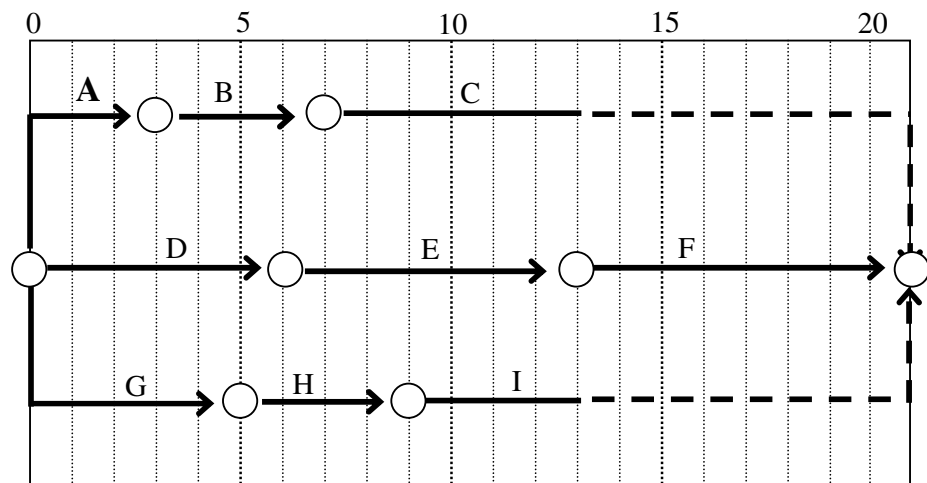
作業項目	作業時間（天）	資源數
A	3	4
B	4	2
C	6	4
D	6	4
E	7	6
F	8	8
G	5	8
H	3	5
I	5	2

解答：1.網圖時間分析：

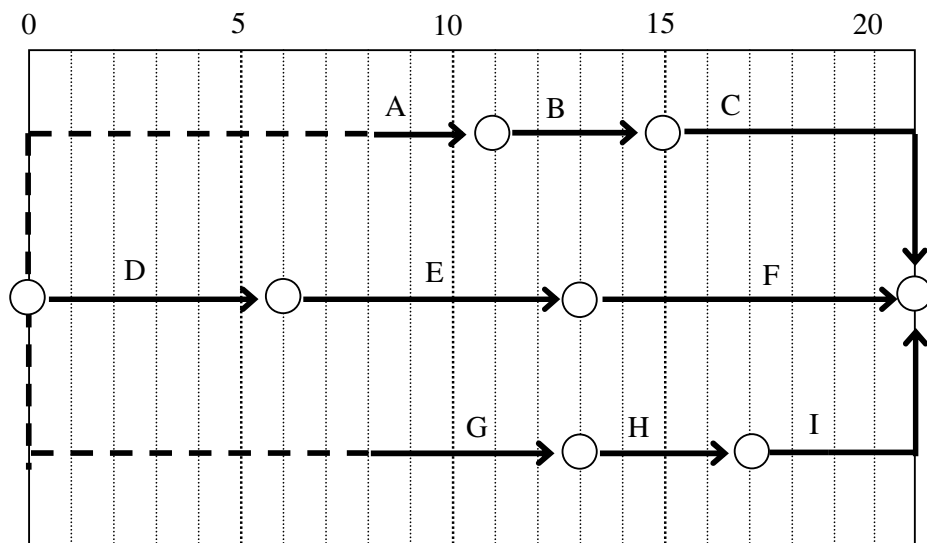


2.繪製 ES 及 LS 時間豎格網狀圖：

< ES 方案 >

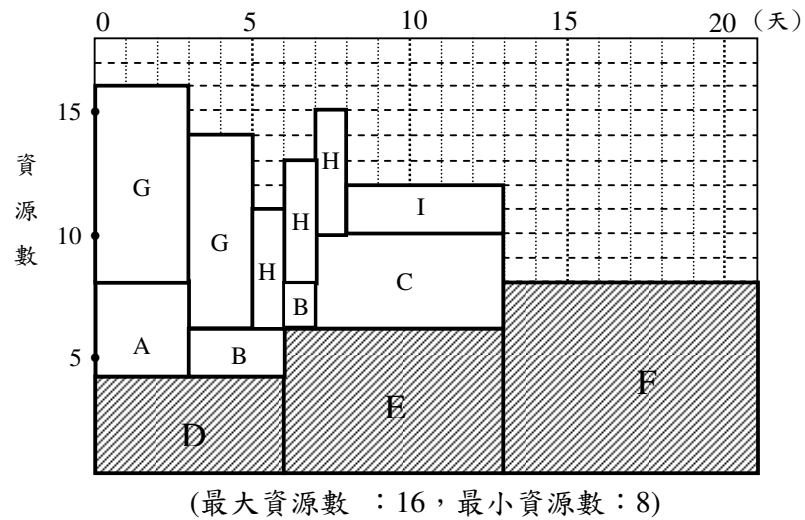


< LS 方案 >

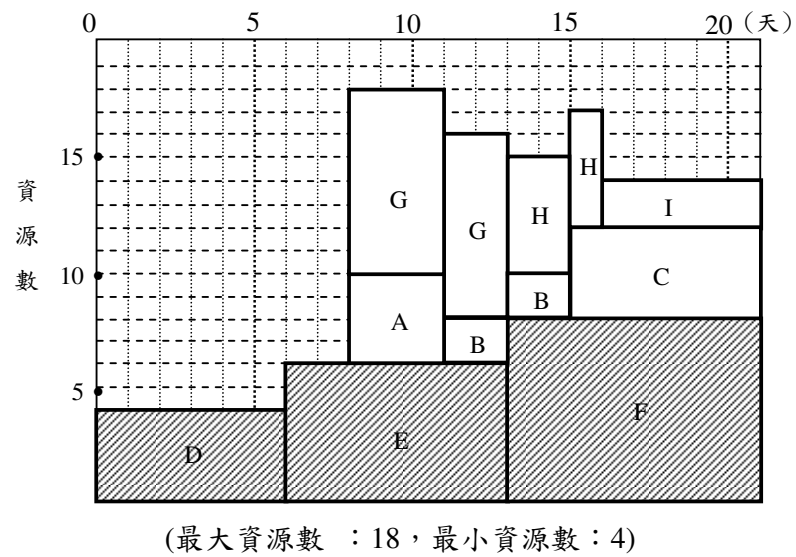


### 3.繪製資源山積圖：

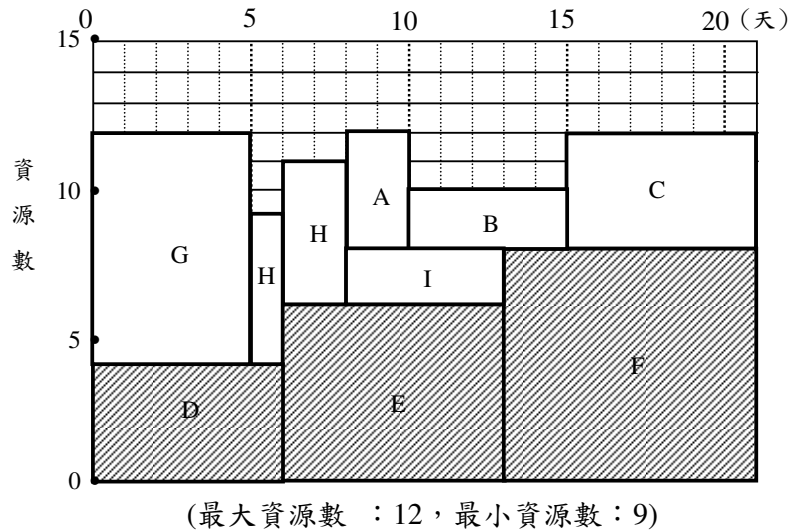
#### < ES 方案 >



#### < LS 方案 >



## 4. 實施資源拉平：



## 5. 結論：

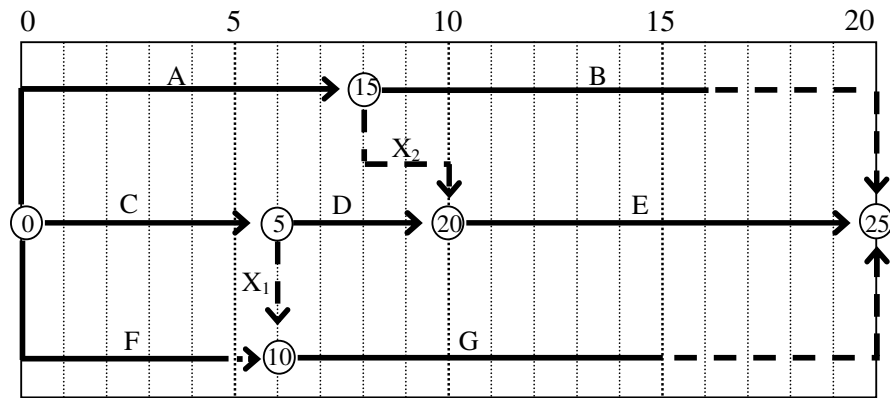
- (1) 繪製資源山積圖時應先行繪製要徑作業，並繪於底部位置。
- (2) 山積圖有 ES 及 LS 兩種方案，兩者之特性為分別向左或向右囤積資源。
- (3) 實施拉平過程，必須不斷測試，直到最佳結果呈現為止。將資源總數÷工期為理想目標值，通常只能做到近似，少有完全拉平之情形出現。

## 3.3.3 浮時分析

在 ES 時間豎格網狀圖上，所有結點標定於「最早開始」時間位置，箭線「實線」的部份表示該作業的「最早開始時間」與「最早完成時間」，「虛線」的部份為該作業最早完成時間與後續結點的最早開始時間之間的寬裕時間，也就是浮時定義中的「自由浮時」(FFij)。

以例題 3.1 所見之 ES 時間豎格網狀圖，可讀取各作業之自由浮時分別為：

1.  $FF_C = FF_D = FF_E = 0$  (要徑作業)
2.  $FF_A = FF_{X1} = 0$  (完成結點前方之最長路徑)
3.  $FF_B = 4$ ,  $FF_F = 1$ ,  $FF_G = 5$ ,  $FF_{X2} = 2$  (該作業「虛線」的長度比例)



假定其他條件不變，若 F 作業施工延誤 1 天，則「實線」長度將向前延伸一個時間單位，此時「虛線」部份將會消失，亦即 F 作業的自由浮時被消耗殆盡，結點⑩的位置仍不受影響。(自由浮時的定義)

假使 F 作業繼續發生延誤，此時「實線」部份將持續向前延伸，結點⑩也將產生連動，每當 F 作業多延誤一天，結點⑩也會隨之向後推移一天；當 F 作業較原定時間延後 6 天完成時，產生的變動計有：

1. F 作業實際施工天數 11 天 (實線長度比例)。
2. F 作業「虛線」消失 (即自由浮時耗盡)
3. 結點⑩右移至第 11 天位置
4. G 作業平移 5 天，「實線」長度不變，「虛線」消失。
5. 虛業  $X_1$  變形為梯階狀 (形狀如同  $X_2$ )，自由浮時為 5 天。



6. F—G 路徑工期與原要徑 C—D—E 相同，第二條要徑於焉產生。

當 F 作業自由浮時耗盡後，再繼續延誤 5 天，仍將不致影響原定工期，但會連動影響後續結點位置，同時消耗後續作業的自由浮時。在本例中因 F 作業延誤導致後續作業（G）自由浮時的消耗，在不影響原定工期的前提下，G 作業所容許的延誤天數 5 天，即 F 作業的干擾浮時之大小（干擾浮時的定義）。

依照前面的推演，在 ES 時間豎格網狀圖上，可以讀取每個作業的自由浮時與干擾浮時，因此運用 ES 時間豎格網狀圖進行浮時分析，是網圖分析的一個選項，不失為一個好的方法。

此外，值得一提的是，F 作業在網圖中只經歷一個路徑（即 F—G），所以計算上也比較單純。若所探討的作業後續有二條以上路徑時，其計算方法就要更加注意。以 A 作業為例，在計算其干擾浮時之時，後續有二條路徑，計算結果為  $IF_A = FF_B = 4$  及  $IF_A = FF_{X2} + FF_E = 2$ ，此時應取最小值即  $IF_A = 2$ 。

### 3.3.4 界限工期之研判

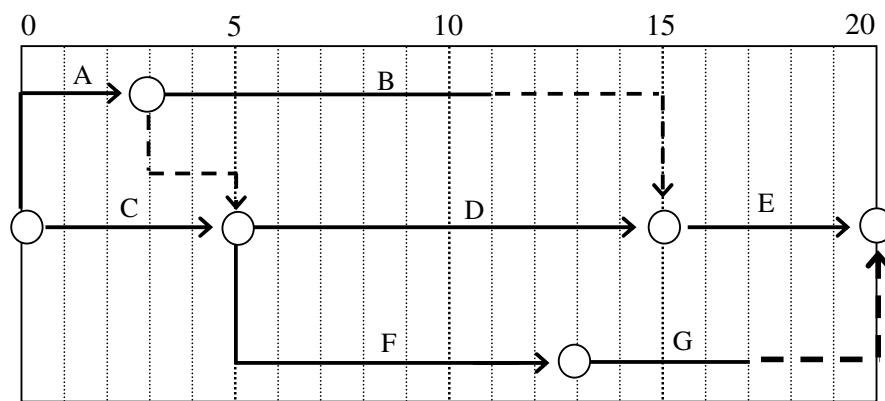
時間豎格網狀圖中，「實線」相連的路徑為要徑，其完工結點的時間座標即為該工程的工期。而當所規劃的工期不符合期望或超出合約工期規定時，就必須考量以趕工方式縮短工期。

在時間豎格網狀圖上，操作「工期縮短」，應將目光集中在當時的要徑，從要徑作業中選擇趕工的對象。任何一個作業經過趕工而縮短工期，在時間豎格網狀圖上，為「開始結點」固定不動，箭線縮短而將「完成結點」向「開始結點」方向退縮，在此同時，並行路徑的浮時將被逐漸消化，因而新要徑在工期縮短的過程中，會持續增加。

研判一個工程的界限工期，最簡單的方式就是進行全面趕工，但「全趕工」狀態造成的經濟損失最大，通常不予採用。

應用 ES 時間豎格網狀圖，可以快速研判界限工期，同時藉由浮時的認知，可據以擬定必要而經濟的趕工方案，對規劃者和決策者而言，正好提供一個良好的溝通工具。

例題 3.3 試依據下述條件，研判界限工期。



作業項目	可縮短天數
A	0
B	4
C	3
D	3
E	3
F	5
G	0

### < 解答 >

1. 現行要徑為 C—D—E，工期 20 天。

初步研判界限工期之極限為：

現行要徑－可縮短天數＝ $20 - (3 + 3 + 3) = 11$  天

2. 分析並行路徑配合趕工情形

(1) A—B 路徑浮時 4 天，當 C—D 縮短 6 天工期時，A—B 須配合縮短 2 天工期，已知 B 可縮短 4 天時間，故屬可行。

(2) F—G 路徑浮時 3 天，當 D—E 縮短 6 天工期時，F—G 須配合縮短 3 天工期，已知 F，G 共可縮短 5 天時間，故屬可行。

(3) 檢視作業 A 和 C 之並行施工關係，發現當 C 縮短 3 天時間，A 須配合縮短 1 天時間，但因 A 作業無趕工方案，故 C 作業的趕工極限將減為 2 天。

3. 結論：

(1) 綜合以上分析，本工程界限工期為： $20 - (2 + 3 + 3) = 12$  天。

(2) 界限工期之經濟趕工方案為：

① 要徑部份：C < 2 >，D < 3 >，E < 3 >。

② 非要徑部份：A < 0 >，B < 1 >，F < 3 >，G < 0 >。

(3) 界限工期情況下之要徑計有：(工期皆為 12 天)

① C—D—E

② A—D—E

③ A—B—E

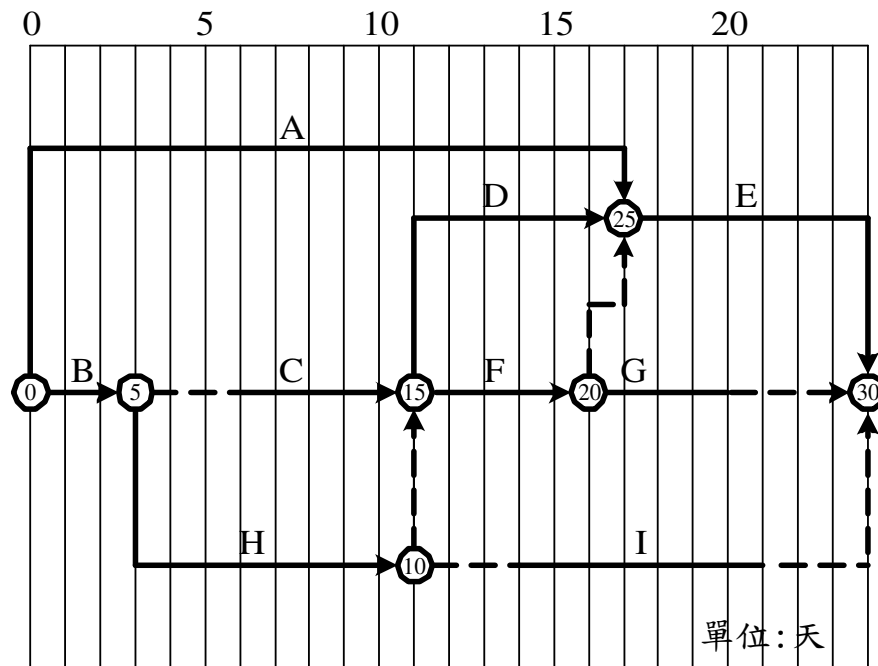
④ A—F—G

⑤ C—F—G

## \*\*精選例題\*\*

## C0110

時間豎格網狀圖概念



1. 時間豎格網狀圖如上，回答以下各問題：

- (1) 本工程工期為何？
- (2) 列出要徑並說明如何在時間豎格網狀圖上，直接研判要徑？
- (3) 本工程共有幾個虛業？又當虛業形狀不同時，所代表意義有何差別？

2. 將上圖還原為原始網狀圖。

## &lt;解答&gt;

1.(1)工期：24 天

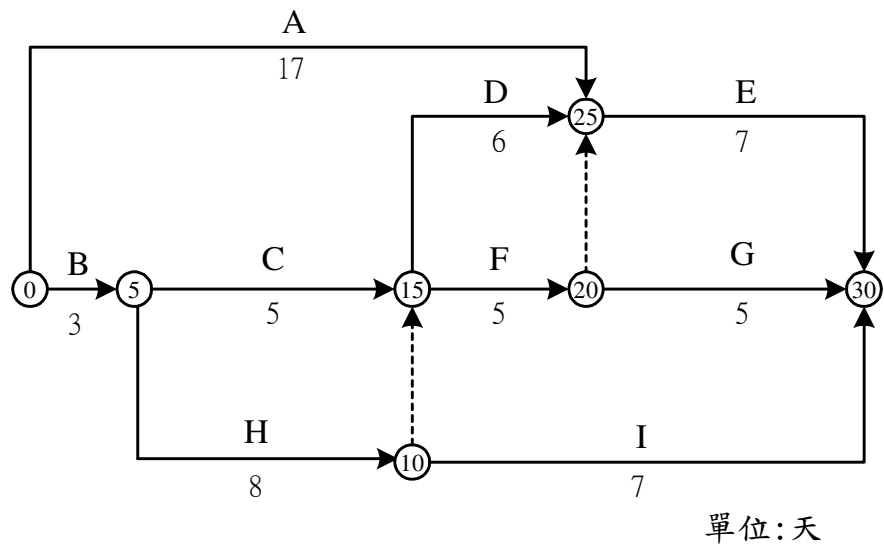
(2)要徑有二條：A—E 及 B—H—D—E

研判方法：路徑無浮時或浮時最少者，即為要徑。

(3)本工程有二個虛業即 ⑩--->⑮及 ⑳--->㉕

而後者具有浮時（浮時大小為橫線之長度）

2.

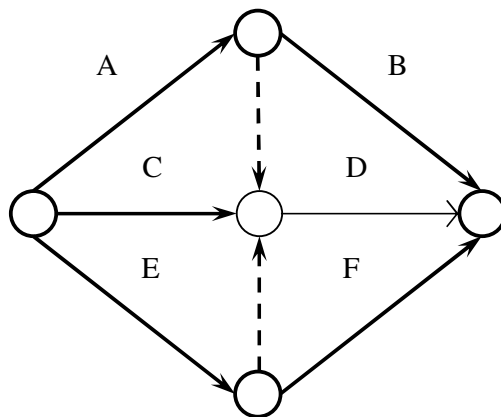


## C0120

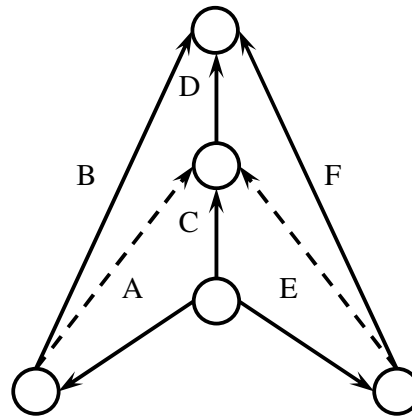
時間豎格網狀圖之繪製

繪製下列網狀圖之時間豎格網狀圖(所有作業時間皆為 2d)：

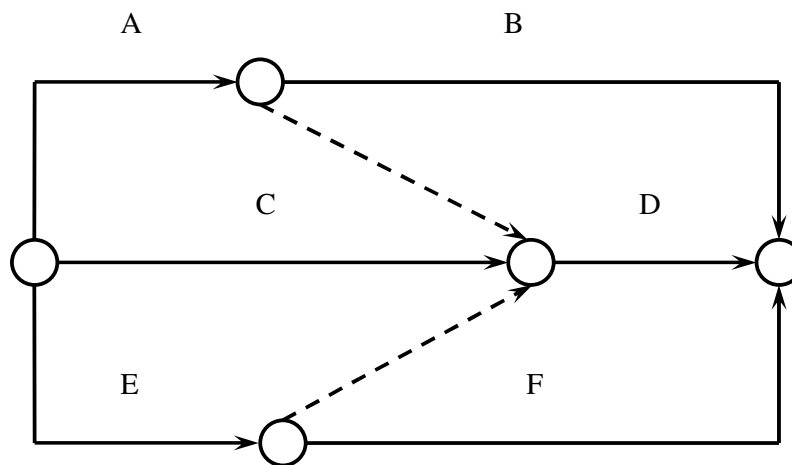
1.



2.



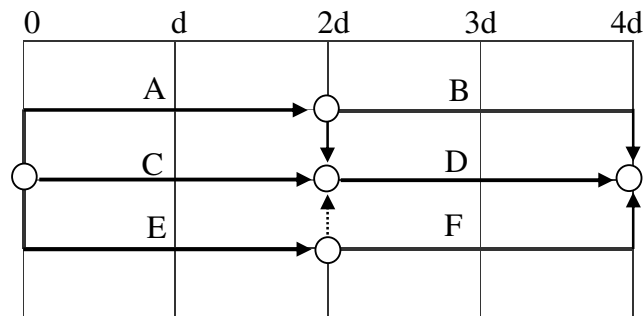
3.



4. 列出以上圖形之要徑，並計算工期。

<解答>

1.



2. 同上

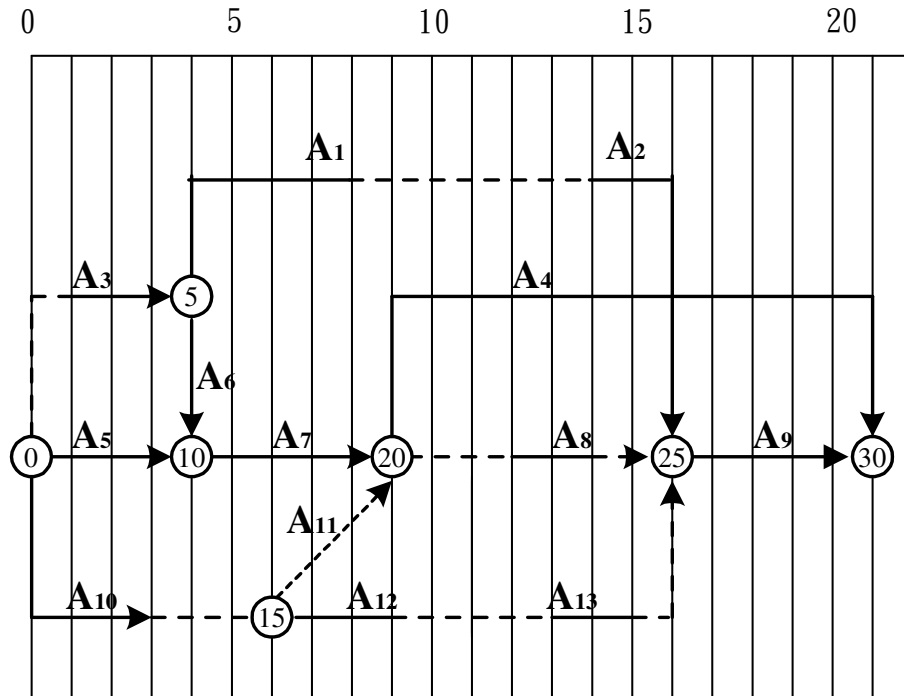
3. 同上

4. 要徑有五條:①A-B,②A-D,③C-D,④E-D,⑤E-F

工期=4d

# C0130

時間豎格網狀圖繪製方法



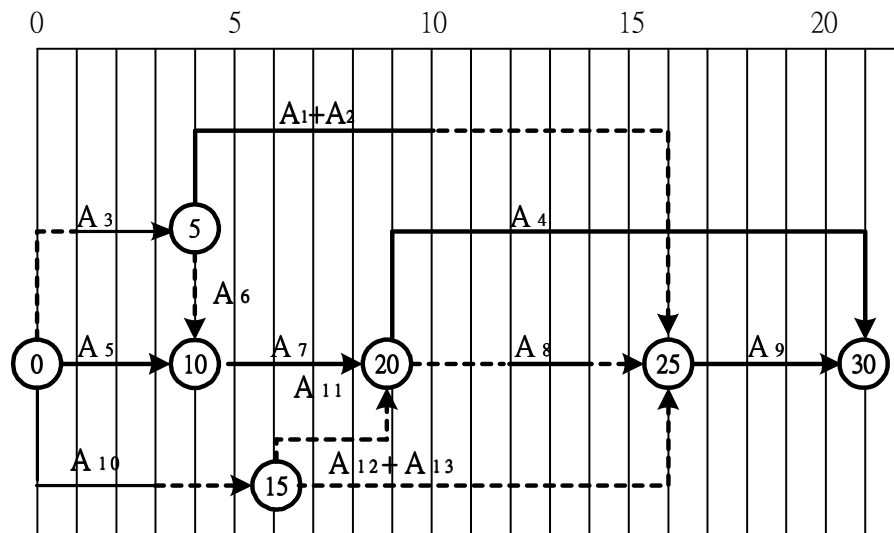
1. 指出上列時間豎格網狀圖繪製錯誤之處。
2. 繪製正確的時間豎格網狀圖。
3. 繪製上圖所對應之原始網狀圖。



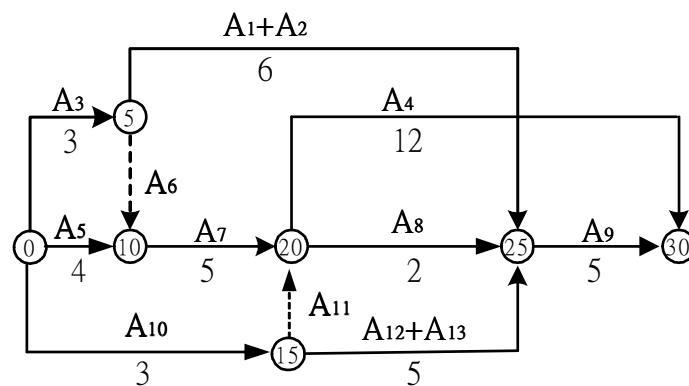
### <解答>

1. (1) A1 與 A2 應合併為一
- (2) A6 應為虛業
- (3) A10 箭線位置應向後移動
- (4) A11 應以梯階方式表現
- (5) A12 與 A13 應合併為一

2.

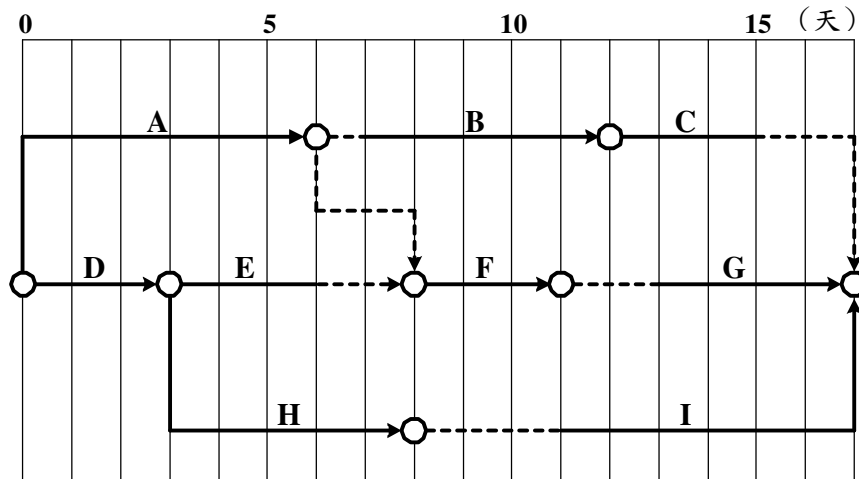


3.



**C0140**

解讀時間豎格網狀圖



1. 依現有規劃，作業 B、H 之作業時間與排程為何？
2. 本工程要徑及工期為何？
3. 本工程消除要徑作業浮時後，重新繪圖，則規劃工期及要徑有無改變？
4. 假設本工程所有作業皆可縮短一天作業時間，則本工程最短工期又為何？要徑會不會改變？

## &lt;解答&gt;

1.時間： $d_B=5, d_H=5$

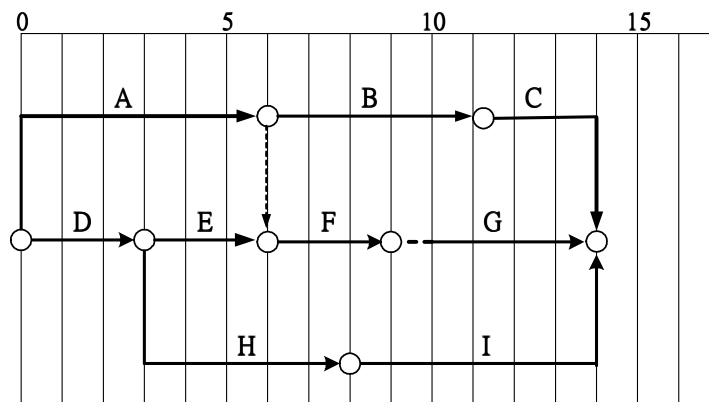
作業排程：

作業項目	開始時間	完成時間
B	7	12
H	3	8

2.要徑：A-B-C 及 D-H-I

工期：17 天（但要徑有 3 天總浮時，實際工期為 14 天。）

3.



規劃工期：14 天

要徑：不變（A-B-C 及 D-H-I，但要徑已無浮時）

4.本工程所有路徑可縮短工期如下：

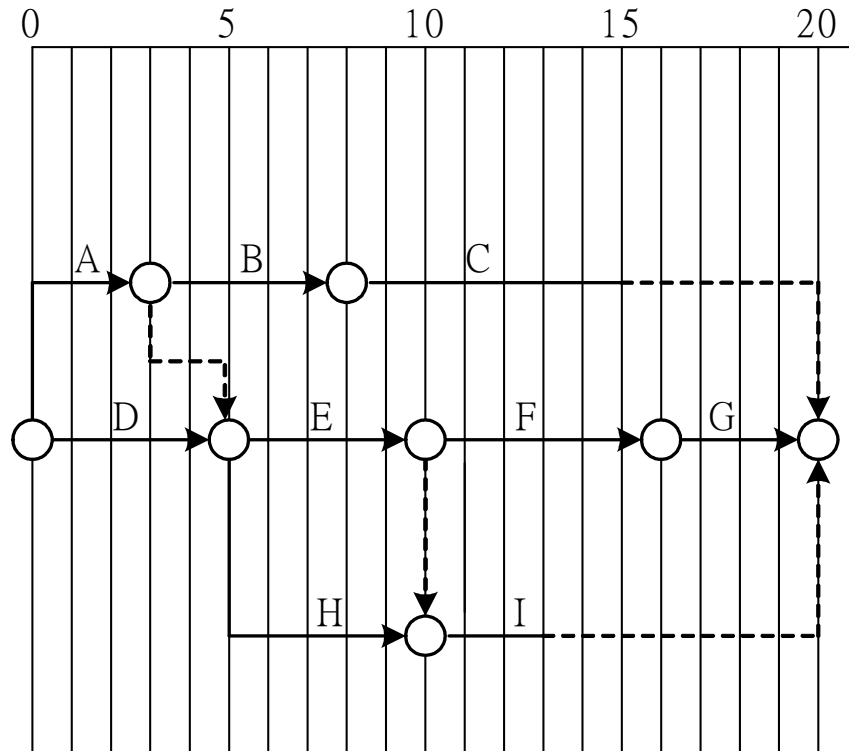
路 徑	可縮短天數
1. A-B-C	3
2. A-F-G	3
3. D-E-F-G	4
4. D-H-I	3

最短工期：14-3=11 天

要徑：原要徑不變但會增加其他新要徑。（在最短工期情況下，全部皆要徑。）

# C0210

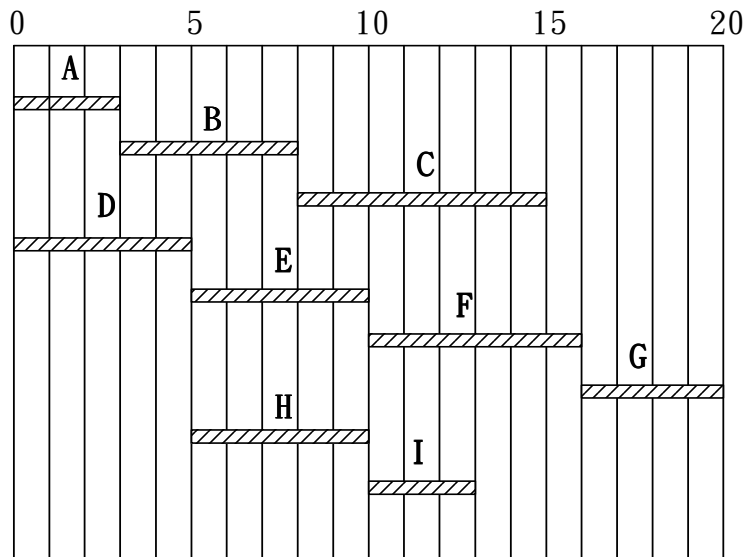
ES 時間豎格網狀圖



1. 列出各項作業最早開工及最早完工時間，並繪製 ES Plan 之橫線圖。
2. 列出各項作業之自由浮時。
3. 本工程工期及要徑為何？
4. 將上圖還原為原始網圖，並檢核上述計算結果。

### <解答>

#### 1. ES plan 之橫線圖

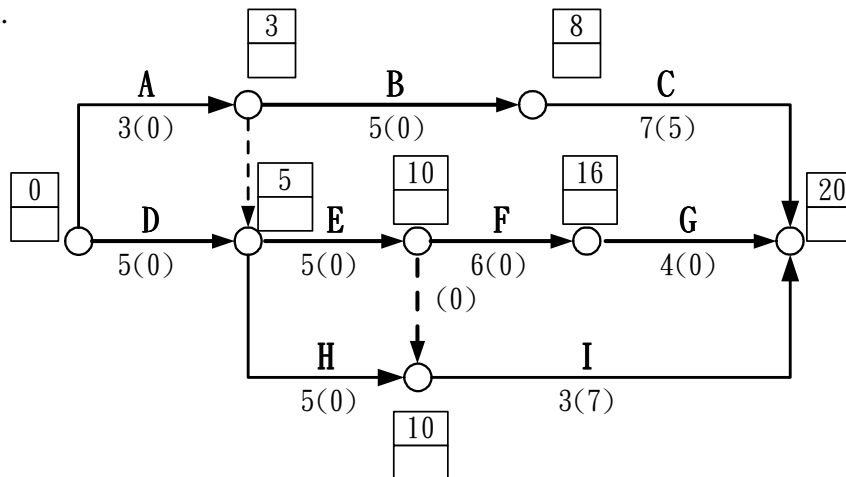


2. A (0) , B (0) , C (5) , D (0) , E (0) , F (0) , G (0) , H (0) , I (7) 。

3. 工期：20

要徑：D-E-F-G

4.



## C0220

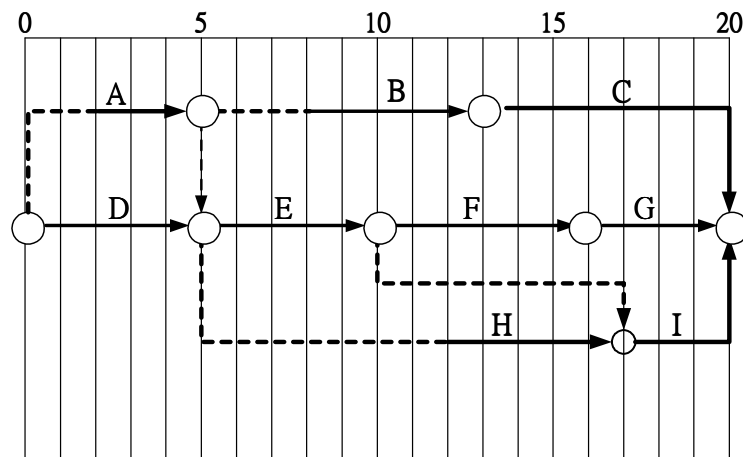
ES 與 LS 時間豎格網狀圖之互換

承上題：

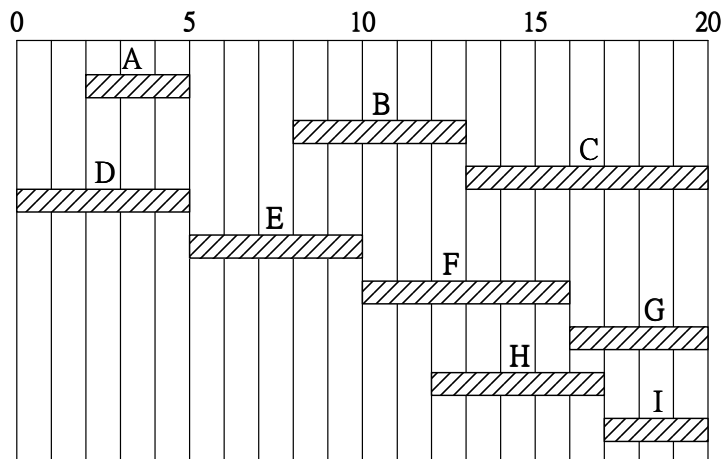
1. 繪製本工程 LS Plan 之時間豎格網狀圖。
2. 列出各項作業之最遲開工與最遲完工時間，並繪製橫線圖。

### <解答>

1. 直接以 ES 時豎格網狀圖推移即可。

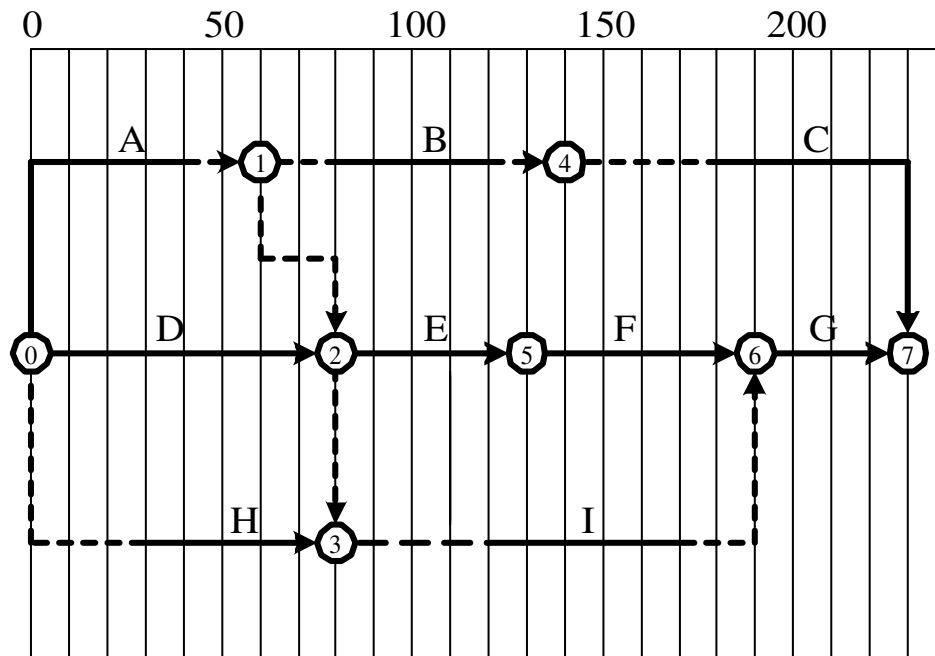


2. LS plan 之橫線圖



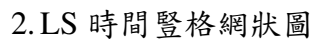
**C0230**

ES 及 LS 時間豎格網狀圖



1. 繪製 ES 時間豎格網狀圖並標示要徑。
2. 繪製 LS 時間豎格網狀圖並標示要徑。
3. 列表表示各項作業時間  $d_{ij}$  及排程。
4. 繪製本工程 ES 及 LS plan 之橫線圖。

### 1. ES 時間豎格網狀圖

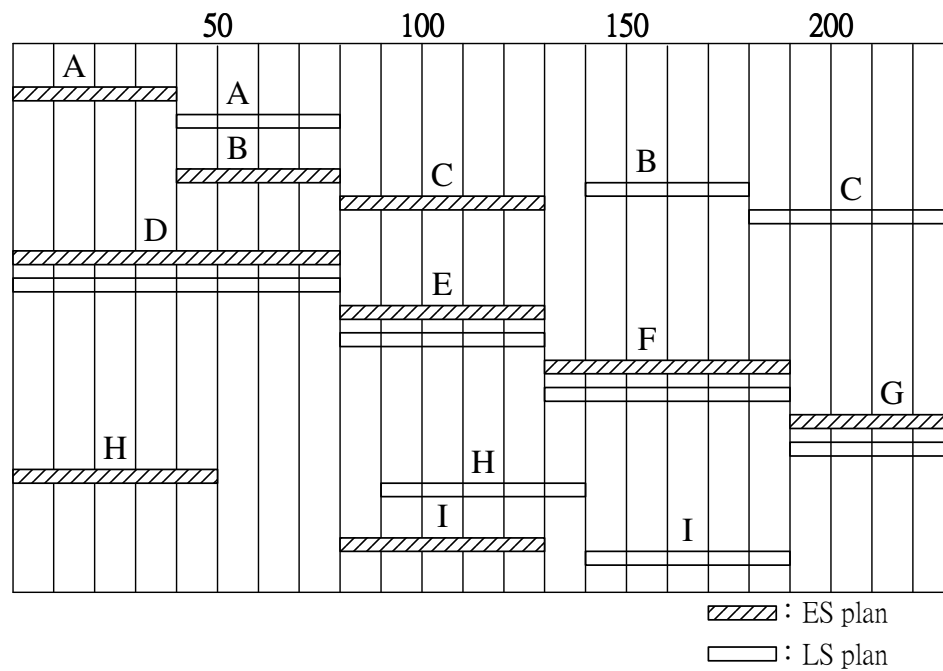




3.

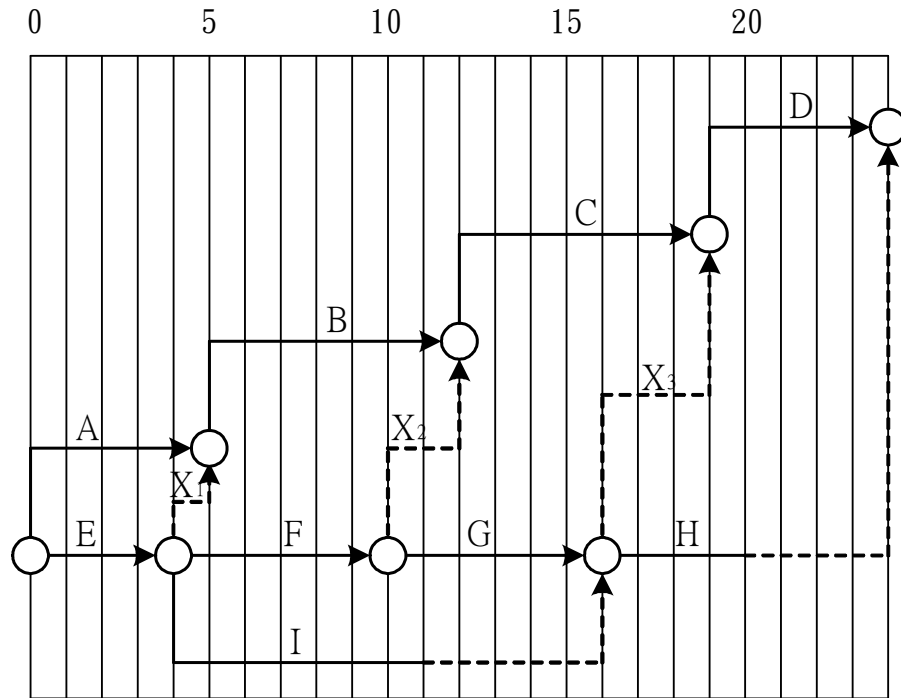
Item	dij	ESij	EFij	LSij	LFij
A	40	0	40	40	80
B	40	40	80	140	180
C	50	80	130	180	230
D	80	0	80	0	80
E	50	80	130	80	130
F	60	130	190	130	190
G	40	190	230	190	230
H	50	0	50	90	140
I	50	80	130	140	190

4.



# C0310

時間豎格網狀圖與浮時



1. 列出本工程所有路徑，並計算該路徑之總浮時。
2. 指出本工程要徑及工期。
3. 列表計算各作業浮時(含  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  虛業)。

## &lt;解答&gt;

1.

路徑	路徑總浮時
1.A-B-C-D	$0+0+0+0=0$
2.E-B-C-D	$0+1+0+0+0=1$
3.E-F-C-D	$0+0+2+0+0=2$
4.E-F-G-D	$0+0+0+3+0=3$
5.E-F-G-H	$0+0+0+4=4$
6.E-I-D	$0+5+3+0=8$
7.E-I-H	$0+5+4=9$

2.本工程要徑：A-B-C-D

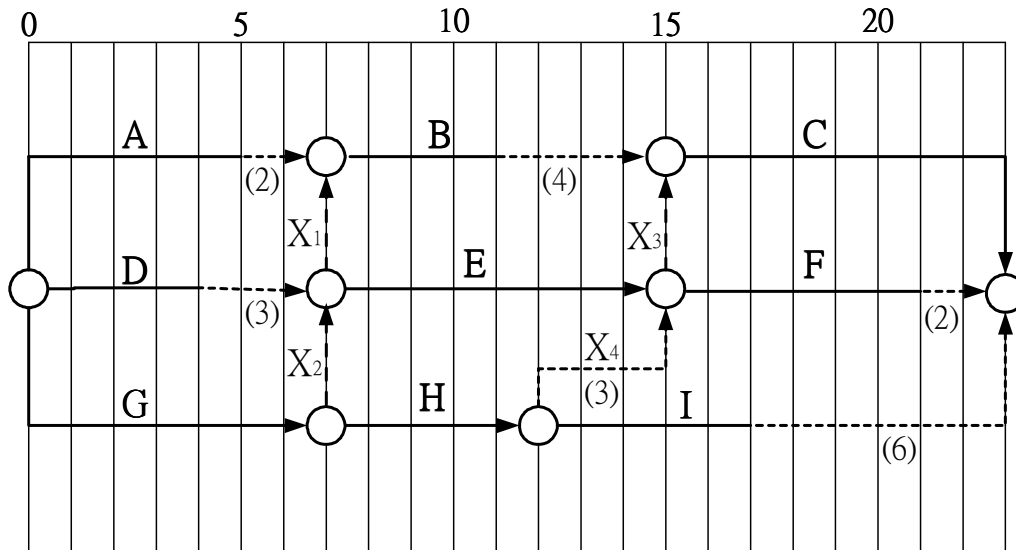
工期：24

3.

Item	FF	IF	TF
A	0	0	0
B	0	0	0
C	0	0	0
D	0	0	0
E	0	1	1
F	0	2	2
G	0	3	3
H	4	0	4
I	5	3	8
X1	1	0	1
X2	2	0	2
X3	3	0	3

# C0320

自由浮時的妙用



1. 指出本工程之要徑與工期。
2. 列出各作業之自由浮時，並計算干擾浮時與總浮時。

## &lt;解答&gt;

1. 要徑：G-E-C，工期：23。

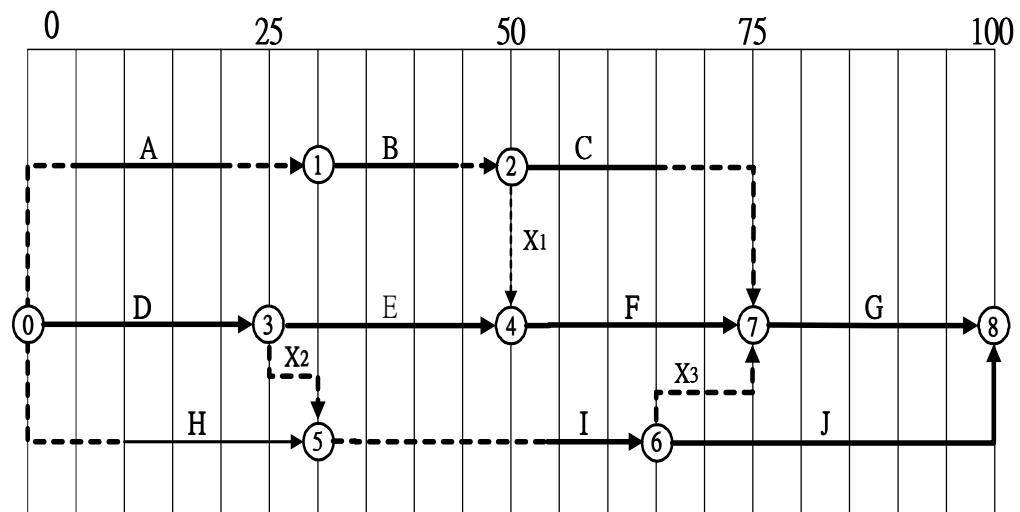
2. FF,IF 和 TF 之計算

Item	FF	IF	TF
A	2	$4+0=4$	6
B	4	0	4
C	0	0	0
D	3	$\left\{ \begin{array}{l} 0+4+0 \\ 0+0+0 \\ 0+2 \end{array} \right\}_{\min} = 0$	3
E	0	$\left\{ \begin{array}{l} 0+0 \\ 2 \end{array} \right\}_{\min} = 0$	0
F	2	0	2
G	0	$\left\{ \begin{array}{l} 0+0+4+0 \\ 0+0+0+0 \\ 0+0+2 \\ 0+3+0+0 \\ 0+3+2 \\ 0+6 \end{array} \right\}_{\min} = 0$	0
H	0	$\left\{ \begin{array}{l} 3+0+0 \\ 3+2 \\ 6 \end{array} \right\}_{\min} = 3$	3
I	6	0	6
X1	0	$4+0=4$	4
X2	0	$\left\{ \begin{array}{l} 0+4+0 \\ 0+0+0 \\ 0+0+2 \end{array} \right\}_{\min} = 0$	0
X3	0	0	0
X4	3	$\left\{ \begin{array}{l} 0+0 \\ 0+2 \end{array} \right\}_{\min} = 0$	3

# C0330

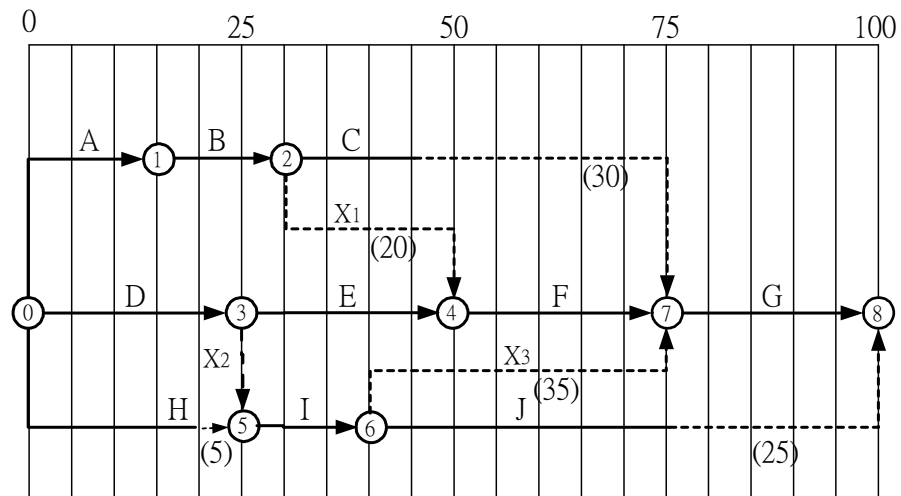
時間豎格網狀圖與浮時

計算本工程各作業浮時：



## &lt;解答&gt;

1. 先將已知之時間豎格網狀圖，調整成 ES plan 狀態，以便直接讀取各作業之自由浮時。



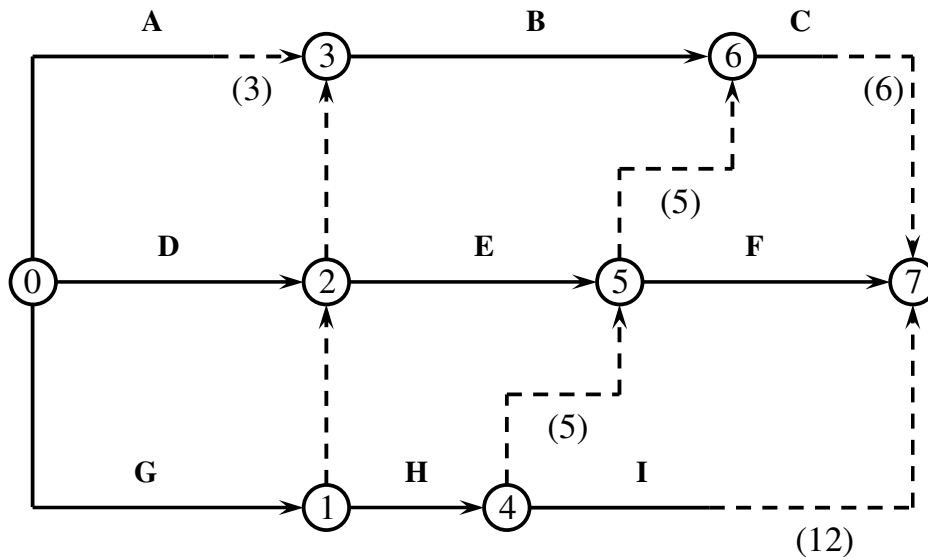
2. 列表先填入 FF 後，逐步推算 IF 和 TF。

Item	FF	IF	TF
A	0	20	20
B	0	20	20
C	30	0	30
D	0	0	0
E	0	0	0
F	0	0	0
G	0	0	0
H	5	25	30
I	0	25	25
J	25	0	25
X1	20	0	20
X2	0	25	25
X3	35	0	35

**C0340**

時間豎格網狀圖之簡化與應用

時間豎格網狀圖經簡化如下，另已知  $d_B=25$ ， $d_F=20$   $d_G=12$ ；試回答以下各題：



1. 計算本工程工期並指出要徑。
2. 計算各作業浮時。
3. 推導各作業時間。
4. 繪製本工程之原始網狀圖。



## &lt;解答&gt;

1. 工期：12+ (25-5) +20=52 (G-E-F 之工期)

要徑：D-E-F 及 G-E-F

2. 以自由浮時推導各作業浮時如下：

Item	FF	IF	TF
A	3	6	9
B	0	6	6
C	6	0	6
D	0	0	0
E	0	0	0
F	0	0	0
G	0	0	0
H	0	5	5
I	12	0	12

3.  $d_A = d_G - 3 = 9$

$d_B = 25$  (已知)

$d_C = 52 - (d_A + 3) - d_B - 6 = 9$

$d_D = d_G = 12$

$d_E = d_B - 5 = 20$

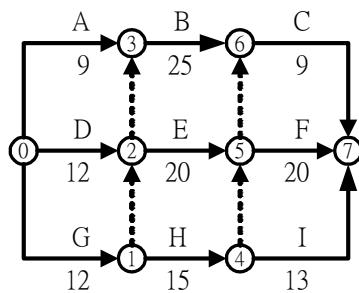
$d_F = 20$  (已知)

$d_G = 12$  (已知)

$d_H = d_E - 5 = 15$

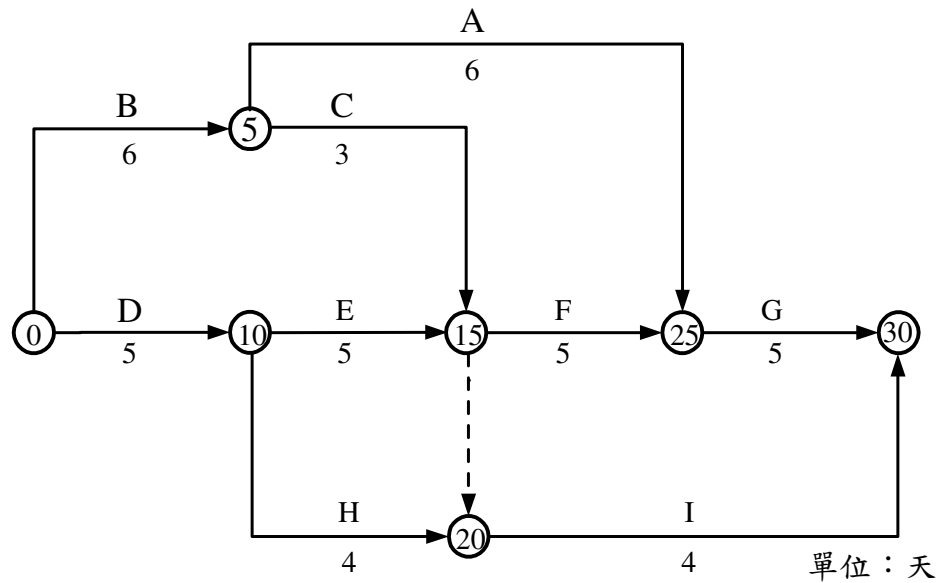
$d_I = 52 - d_G - d_H - 12 = 13$

4.



**C0410**

以時間豎格網狀圖解析工期



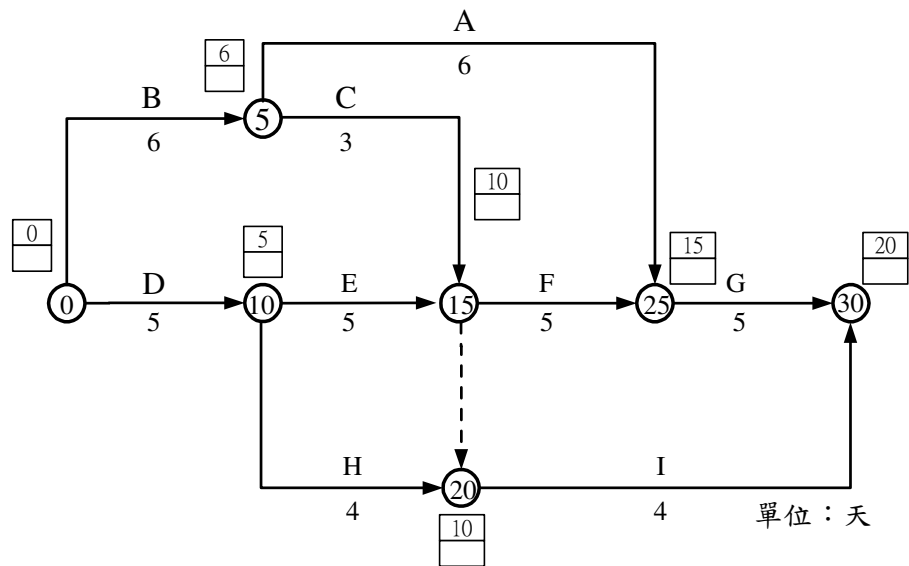
- 繪製 ES 時間豎格網狀圖，標示本工程要徑
- 假定各作業可縮短作業天數如下所示，試問本工程最短工期為何：

項目	可縮短天數	項目	可縮短天數
A	1	F	2
B	2	G	2
C	0	H	3
D	2	I	1
E	2		

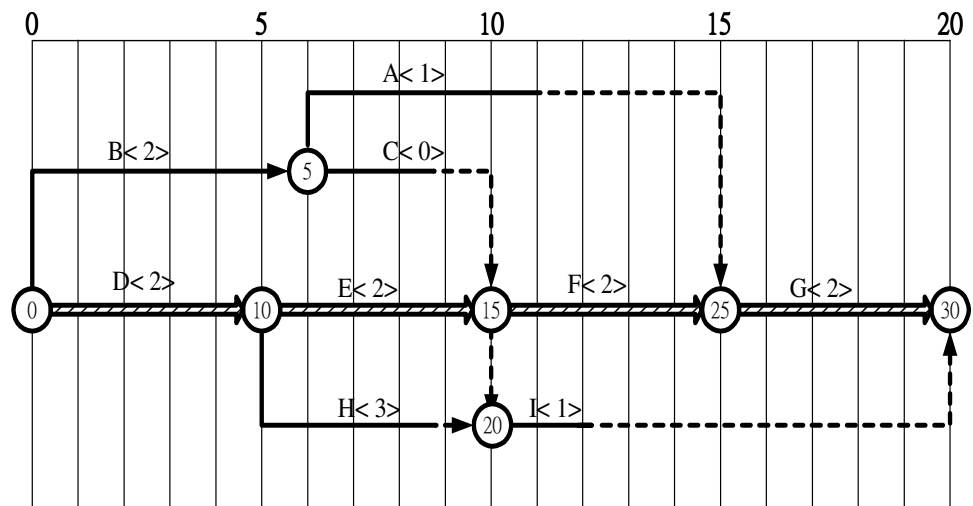
- 本工程工期目標設定為 19 天時，則其對應方案為何？
- 本工程以最短工期為目標時，其規劃方案為何？

# <解答>

## 1. (1) 網圖 ESi 時間分析：



## (2) 繪製 ES 時間豎格網狀圖



2. 將各作業可縮短天數標示於上圖，本工程要徑為 D-E-F-G，規劃工期為 20 天。

要徑作業最多可縮短 8 天工期。

- (1) 經檢視①-⑩-⑮之並行路徑①-⑤-⑮，原要徑 D-E 可縮短 4 天工期，但限於 B-C 數至多只能縮短 3 天工期。

- (2) 另檢視 B-A、B-C 及 H-I 路徑均可容許要徑之趕工，而其中 H、I 作業將永遠沒有趕工之必要。

- (3) 故本工程最短工期為  $20-7=13$  天

3. 本工程若工期目標設定為 19 天時，則須自要徑作業進行趕工，縮短 1 天（即  $20-19=1$ ）之工期。

則趕工方案有四：D<1>或 E<1>或 F<1>或 G<1>。

4. 以最短工期為目標時，現有要徑須縮短 7 天工期，同時並行作業 B 將成為新增要徑作業，須配合同步趕工，最後趕工方案為：

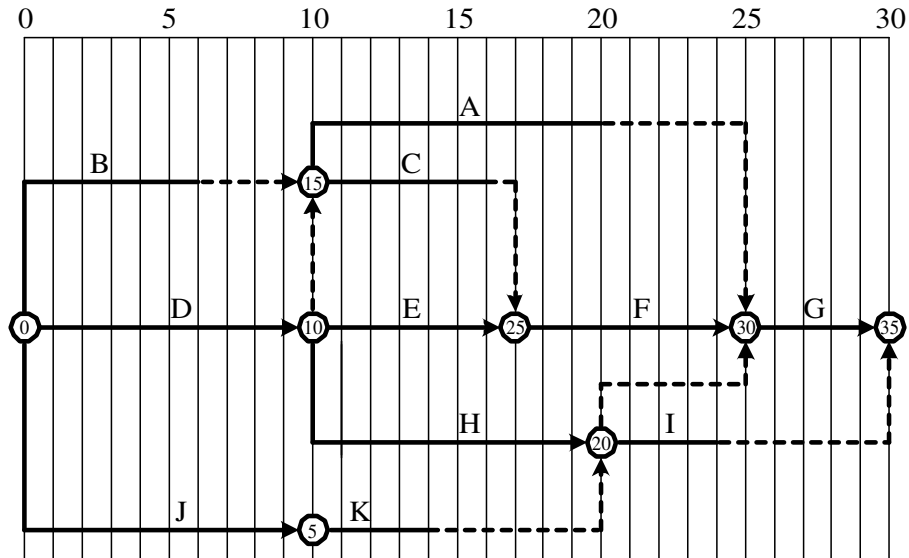
- (1) D<2>, E<1>, F<2>, G<2>, B<2>

- (2) D<1>, E<2>, F<2>, G<2>, B<2>

本作業 A,C,H,I 與趕工計畫無關。

**C0420**

時間豎格網狀圖與趕工計畫

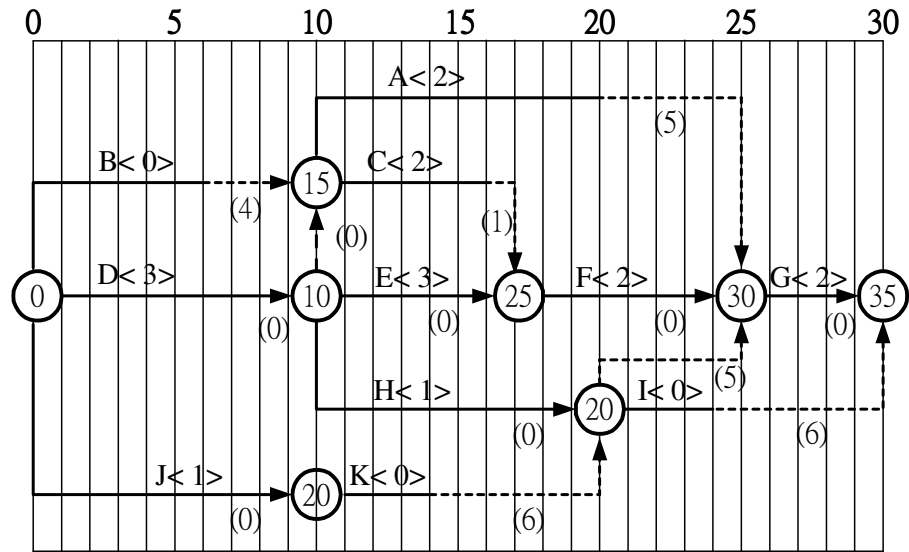


各作業可縮短天數為：

項目	可縮短天數	項目	可縮短天數
A	2	G	2
B	0	H	1
C	2	I	0
D	3	J	1
E	3	K	0
F	2		

1. 計算本工程各作業之自由浮時與總浮時。
2. 本工程界限工期、施工方案及其要徑為何？
3. 本工程原規劃工期為 30 天，在不同工期目標下進行壓縮工期的過程中，有那些作業不須配合縮短作業時間？又有那些作業必須有條件配合縮短作業時間？

## &lt;解答&gt;



1.浮時計算列表如下：

Item	FF	IF	TF
A	5	0	5
B	4	1	5
C	1	0	1
D	0	0	0
E	0	0	0
F	0	0	0
G	0	0	0
H	0	5	5
I	6	0	6
J	0	11	11
K	6	5	11

2.本工程界限期：

(1) 原要徑之最短工期： $30 - (3+3+2+2) = 20$

(2) 檢視其他並行路徑：C 須配合縮短 2 天工期。

H 須配合縮短 1 天工期。

(3) 結論：原要徑最短工期可行，故本工程界限工期為 20 天。

3. (1) 不須進行趕工之作業：A, J (因為當要徑達到界限工期時，A 恰好成為新要徑，而 J 仍具有浮時)。另 B, I, K 沒有趕工方案不得列入趕工安排。

(2) 必須有條件配合趕工之作業：

① C 作業在 E 作業縮短 1 天時間後，須同步配合趕工。

② H 作業在 E-F-G 路徑工期縮短至第 6 天時成為新要徑，在第 7 天時須同步配合縮短 1 天時間。

## 第四單元 縮短工期與趕工計畫

- 4.1 進度績效與工期評估
- 4.2 縮短工期的基本原理
- 4.3 作業時間－成本分析
- 4.4 直接成本與間接成本.
- 4.5 總成本曲線與最佳工期.
- 4.6 趕工計畫之模擬



#### 4.1 進度績效與工期評估

在既定工期下，依照進度權重，可以計算任何時點的工程進度數值，如前所述，所有規劃都將在兩種界限狀態（ES 和 LS 方案）中，尋求最佳整合結果—S-curve。

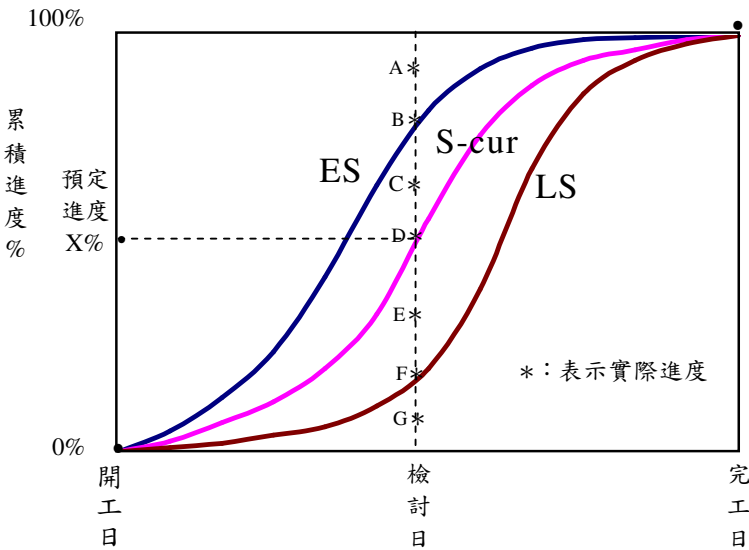
S-curve 就是累積預定進度曲線，是工程執行的目標與根據，在工程執行期間，通常採用定期的方式進行檢討評估，以便決定執行計劃有無更新的必要。

進度計劃之檢討，包括「進度績效」與「工期」的評估，前者是為監控目前施工節奏，後者是評估在原定工期內有無完工之可能，兩項檢討評估工作都非常重要。

##### 4.1.1 進度績效評估

進度績效評估是以目前的「實際進度」與「預定進度」作比較，評估結果有三種：「超前」、「平」、「落後」。通常以「+」「-」及附帶百分比的方式來表達，譬如：+3% 表示進度超前三個百分比。

進度績效評估結果，表現當時進度執行狀態究處樂觀或悲觀，同時也可以用來概略估計該工程能否如期完工；但不可用來推論完工之確實期程，理由很簡單，因為工期是由要徑決定，惟有確實掌握要徑作業的施工績效，才足以證明工期的可行性。



【圖 4.1 S-curve 與進度績效評估】

以圖 4.1 為例，S-curve 為該工程規劃之累積預定進度曲線，至檢討日應完成之累積預定進度為  $X\%$ ，假定工程實際進度為圖中 A、B、C、D、E、F、G 各種狀況時，則其評估結果可歸納如表 4.1。

表 4.1 以 S-curve 評估進度績效與工期

實際進度 方 案	進度績效	工期評估
A	$+(d_A - X)$	超出 ES 方案,故評定為「很可能提前完工」
B	$+(d_B - X)$	位於 ES 方案,故評定為「可能提前完工」
C	$+(d_C - X)$	在 ES 與 LS 範圍內略有超前，故評定為「可能如期完工」
D	$\pm 0\%$	平預定進度,故評定為「可能如期完工」
E	$-(X - d_E)$	在 ES 與 LS 範圍內,略有落後,故評定為「可能如期完工」
F	$-(X - d_F)$	位於 LS 方案,故評定為「可能逾期完工」
G	$-(X - d_G)$	落後 LS 方案故評定為「很可能逾期完工」

注意，進度績效與工期長短必然有其相關性，但僅憑進度數值卻無法精確計算確實的完工工期；同時企圖採用「曲線配適」或「線性外插」方法，預測完工日的做法，恐怕欠缺說服力，因為工期是要徑的專利，要徑所佔進度權重的大小，才能真正主宰前項預測的準確性；換個角度來看，要徑作業之早做或晚做，對於進度績效的實際影響，在不同工程中可能產生的結果，不一而足，故絕對不可過度武斷臆測工期，以免造成誤導。

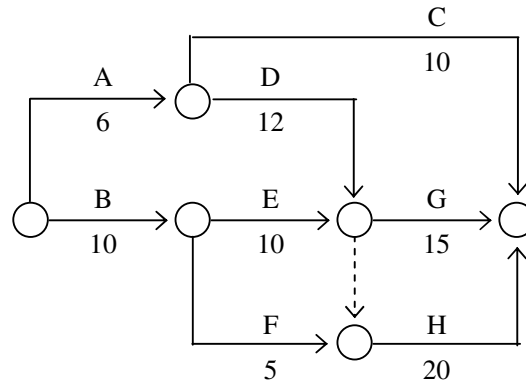
#### 4.1.2 工期評估

工程執行期間，工期可分為兩個部份：「已發生工期」和「未發生工期」。「已發生工期」是指在當時已經耗用的工期總和，「未發生工期」是指未施工或已施工但未完工的施工項目，將來所需要的工期。

工期評估的重點，顯然是以「未發生的工期」為對象。具體而言，工程途中工程網圖將被分割成「已執行」與「未執行」兩個部份，對於已執行部份可統稱為「施工實績」而成為歷史記錄；另外對於「未執行」部份，必須重新檢討各項資料的正確性與可行程度，包括網圖程序合理性、有無新增項目，以及作業時間的再估計與更新的必要性等，進而依據新組成的網圖重新計算所需工期，如此才能精確估計如期完工的可能性。

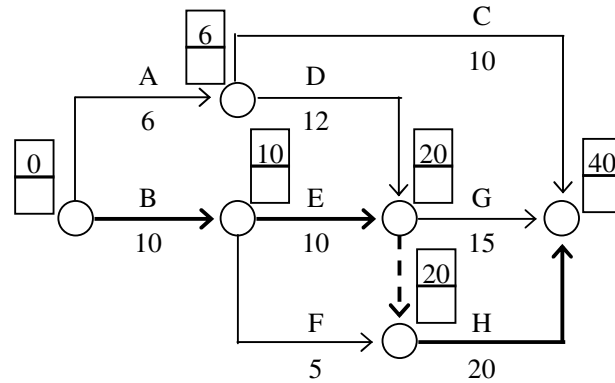
工期評估必須是一項持續性的活動，才能確實掌握工期的變化，同時更重要的是，對於可能逾期應該提出有效對策，如此才能藉由「工期評估」的手段，達成「控制工期」的目標。

例題 4.1：工程規劃網圖及開工後 12 天其最新施工動態如下所示，試推估本工程所需工期。

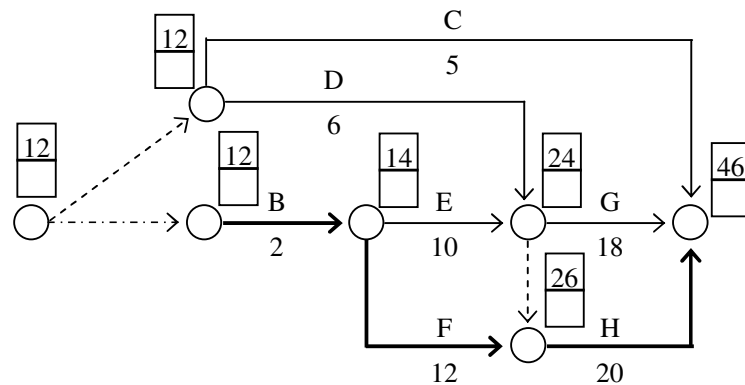


作業項目	最新施工動態
A	已完成
B	完成 80%
C	完成 50%
D	完成 50%
E	尚未施工
F	尚未施工，作業時間經檢討重估為 12 天
G	尚未施工，作業時間經檢討重估為 18 天
H	尚未施工

解答：1.計算原規劃工期：40 天(要徑 B—E—H)



2.依最新動態更新網圖：計算目前規劃工期 46 天。(要徑 B—F—H)



3.結論：(1)本工程原定 40 天完工，依最新動態評估預測工期為 46 天其中已耗用工期 12 天，尚未施工之工期 34 天。

(2)原要徑為 B—E—H，目前已轉移至 B—F—H。

## 4.2 縮短工期的基本原理

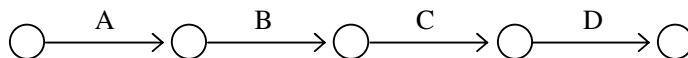
網圖中最長的路徑稱為要徑，因此工期縮短的基本前提就是縮短要徑的長度。

要徑是由數個要徑作業所構成，縮短要徑的方法，便是在要徑作業中思考如何進行趕工；而當要徑作業趕工之同時，將造成其他並行路徑之浮時消化，結果將導致新增要徑一一浮現，此時再執行工期縮短方案時，就必須將所有併存的新、舊要徑同步趕工，才能達到縮短工期的效果。簡言之，在縮短工期的過程中，要徑是具有動態變化的，任何趕工時機所要考量的趕工對象，一定要掌握當時的要徑，這就是「即時要徑」的觀念。

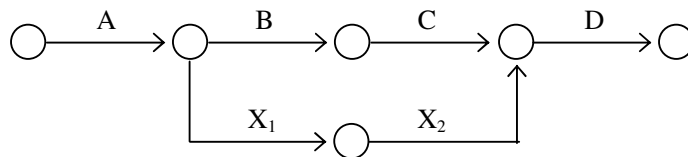
縮短工期的基本原理，可歸納摘述如下：

- 1.縮短工期必須從要徑著手，要徑作業為趕工所探討的對象。
- 2.縮短要徑將造成並行路徑浮時的消化，導致新增要徑產生。
- 3.新、舊要徑要同時趕工，才能達到縮短工期的目的，因此縮短工期的天數愈多，趕工方案將愈複雜。
- 4.只有要徑作業趕工，才有縮短工期的效果，應避免無意義的趕工安排。

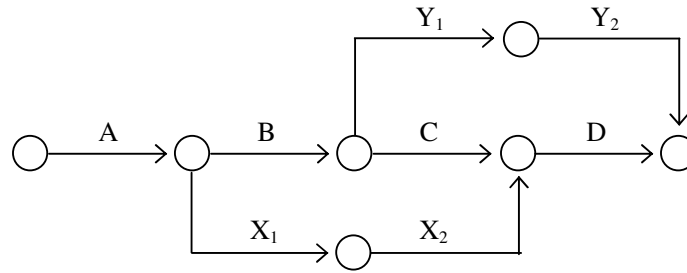
(1) 單一路徑趕工：選擇成本斜率最低者優先進行。



(2) 並行路徑趕工：在共同作業（A，D）趕工，可達到二條路徑同時縮短工期的效果，否則 B—C 與 X<sub>1</sub>—X<sub>2</sub> 必須有相同的縮短天數。

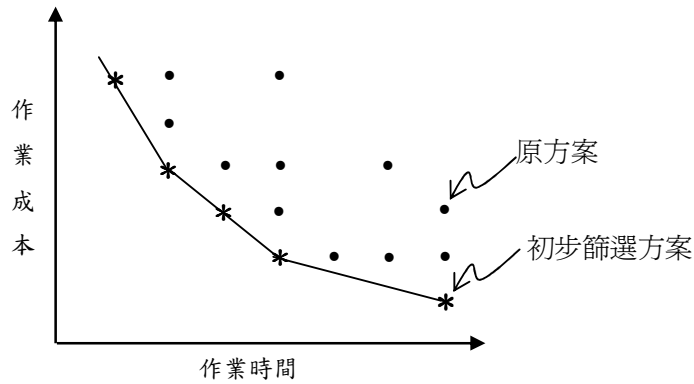


- (3) 二條以上並行路徑之趕工：作業 C 趕工時須連帶考慮路徑  $X_1-X_2$ 、 $Y_1-Y_2$  同步趕工，才能真正達到縮短工期的目的。（作業 B 趕工，則僅須參考  $X_1-X_2$  趕工）



### 4.3 作業時間－成本分析

每一項工程作業在擬定作業計畫時（參閱 1.7.1 節），將發展出各種可能的執行方案，這些方案對應不同的作業時間與成本，規劃者的首要之務係就現有方案進行篩選（譬如：相同作業時間者取成本較低，或相同作業成本取作業時間較短者），其次為選定網圖規劃時之初選方案（爾後再視情況選擇替代方案），以便進行工程系統的模擬測試。初步遴選到最後工程規劃定案，所有作業計畫方案將經過漫長的反覆模擬組合與測試，直到最後定案為止。此時，除了被選定的方案以外，其他方案將暫時擱置備用，作為未來施工期間替補上場的「替代方案」。



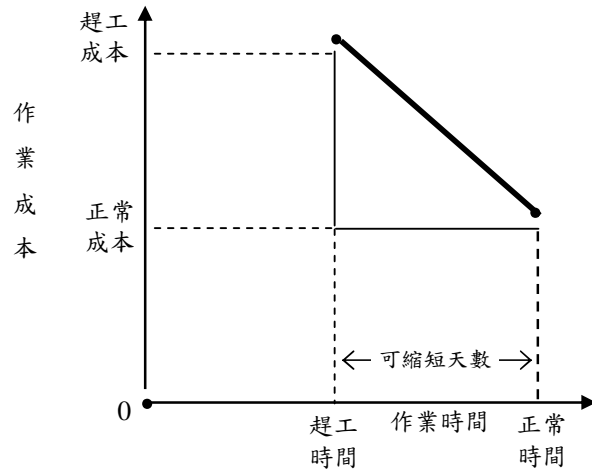
【圖 4.2 作業時間－成本曲線】

參閱圖 4.2，原作業計劃擬定該項作業計有 16 個施工方案，經初步篩選後具有優勢之方案為 A、B、C、D、E，以此五個方案連線構成了本項作業時間－成本之關聯曲線。（其他方案與這五個方案比較，若非時間較長，便是成本過高，在規劃時已不具備採納的價值。）

在實務環境下，作業時間－成本曲線未必為連續性的平滑曲線，有時可能為一點（只有一個施工方案）、二點（只有二個施工方案）或不連續曲線（並非連續工期都有對應方案）。在模擬趕工計畫時，必須注意到每個作業的特性，適當運用相關數值。

有一種簡化分析的方法，在闡述模擬趕工計畫時常被採用，有關其實際運用價值則不得而知；所謂「簡化」是假設所有作業時間－成本為連續的線性關係，而其兩端分別以「正常時間－成本點」與「趕工時間－成本點」定義，藉此可計算每個作業的「可縮短的天數」以及「成本斜率」等有關趕工計畫的參數。





【圖 4.3 作業時間—成本之簡化曲線】

$$(1) \text{作業可縮短天數} = \text{正常時間} - \text{趕工時間}$$

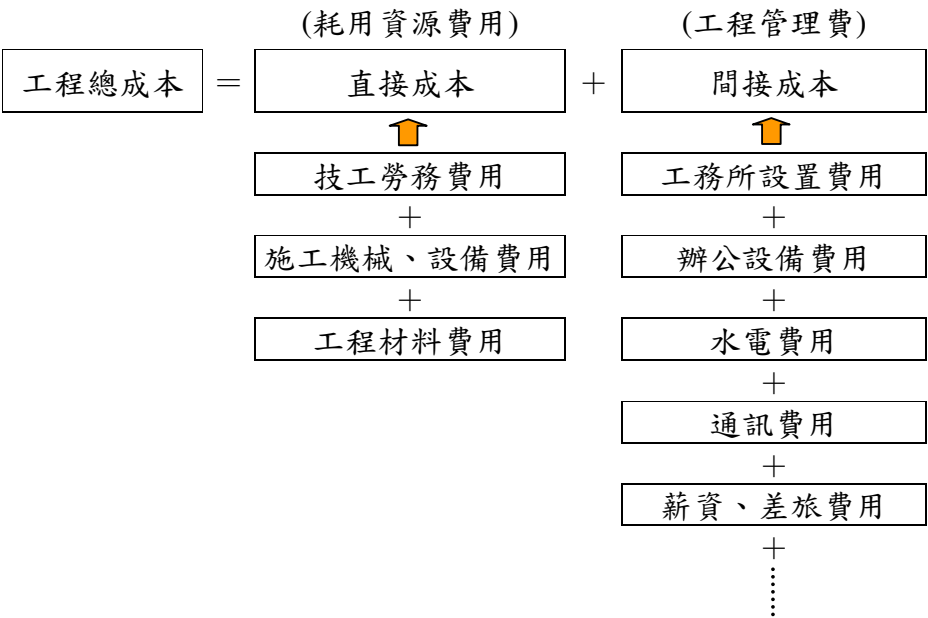
$$(2) \text{作業成本斜率} = \frac{\text{趕工成本} - \text{正常成本}}{\text{正常時間} - \text{趕工時間}}$$

#### 4.4 直接成本與間接成本

「直接成本」是指耗用工程資源（技工、施工機械、設備、工程材料）所需之費用，「間接成本」則為直接成本以外之其他開銷，一般可簡稱為工程管理所需的一切費用之總和，例如設置工地事務所，辦公設備、水電、通訊費用、人事薪資、差旅、交通運輸、文具……等等非屬直接成本之必要開銷、皆屬「間接成本」之範疇。

經營一個工程所需的成本稱為「總成本」；總成本為「直接成本」與「間接成本」之總和。直接成本為所有工程作業耗用之工程資源費用，在計算時必須逐項加總而得；而間接成本是以工程規模和派用的人力組織，以工程整體需要考量所需費用，一般常以直接成本的百分比表示，或以工期內每

月平均分攤費用來表示。間接成本的計算不能夠分配到每項工程作業之中，逐項去進行成本控制，當然也不可能從單項作業內涵去推算整體工程所需的間接成本。

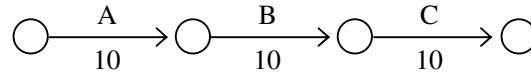


### 4.5 總成本曲線與最佳工期

#### 1. 直接成本曲線

一個工程原始的直接成本為各項作業正常成本的總和，當工程進入趕工狀態時，必須就現行要徑（或即時要徑）上之要徑作業，模擬最佳之趕工方案，由於要徑作業趕工將增加作業成本，連帶也將造成工程直接成本的增加。而對應於不同工期，將產生若干趕工方案，所對應的直接成本變動也會有高低之分，若以經濟性趕工考量，則直接成本曲線之變動，如例題 4.2 所示，初期趕工將採用「低增量」方案，隨著工期持續縮短，將被迫採用「高增量」方案，最終甚至可能形成「全趕工」之狀態。

例題 4.2 規劃條件如下，試繪製本工程直接成本曲線



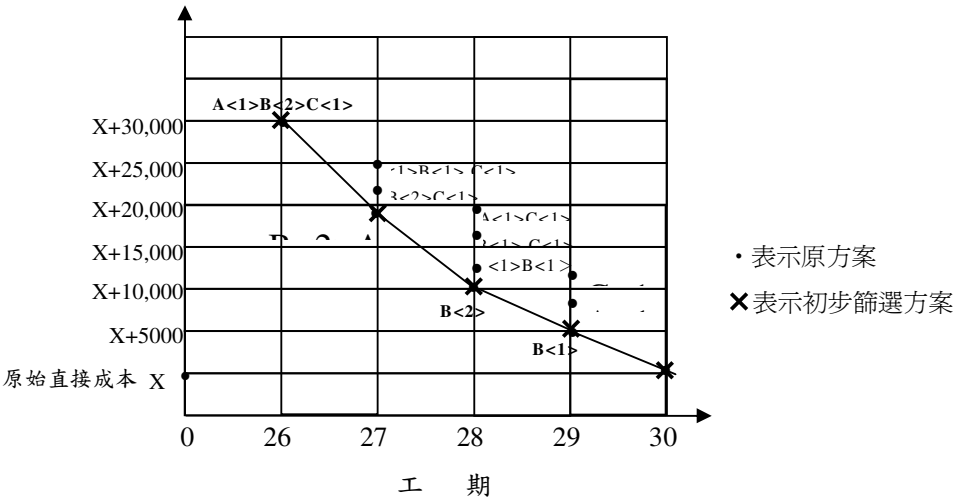
作業項目	可縮短天數	成本斜率(元/天)
A	1	8,000
B	2	5,000
C	1	12,000

解答：

- (1) 規劃工期：10+10+10=30 天
- (2) 界限工期：30-(1+2+1)=26 天
- (3) 趕工方案與經濟趕工方案：

工期	趕工方案	經濟 趕工方案	直接成本 之增量	相鄰工期 增加值
30	—	—	—	—
29	① A<1> ② B<1> ③ C<1>	B<1>	+5,000	5,000
28	① B<2> ② A<1> B<1> ③ A<1>C<1> ④ B<1>C<1>	B<2>	+10,000	5,000
27	① B<2>A<1> ② B<2> C<1> ③ A<1>B<1> C<1>	B<2>A<1>	+18,000	8,000
26	① A<1>B<2> C<1>	A<1>B<2>C<1>	+30,000	12,000

(4)繪製直接成本曲線：

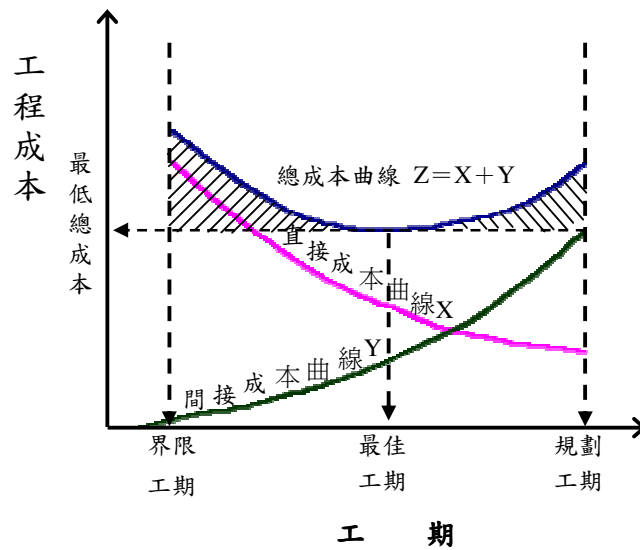


2.間接成本曲線

間接成本通常以一式估算其總和，並以每月平均分攤金額作為控制標準，因此，間接成本曲線可描繪為一線性曲線，隨著工期增加而增加，在趕工計畫執行階段，因工期縮短時會相對減縮間接成本，因而獲得趕工利益。

3.總成本曲線與最佳工期

總成本曲線可由直接成本曲線與間接成本曲線疊加而得。若以原始規劃工期所對應之總成本為比較基礎，在工期遞減過程中直接成本會產生增量效果，間接成本會產生減量效果，兩者增減之淨值稱為「趕工淨效益」；對應不同工期的趕工淨效益數值，將造成總成本曲線軌跡的變動，其中總成本曲線的底部頂點或趕工淨效益之極大值，表示總成本最低的位置，該對應工期稱為「最佳工期」。



【圖 4.4 總成本曲線與最佳工期示意圖】

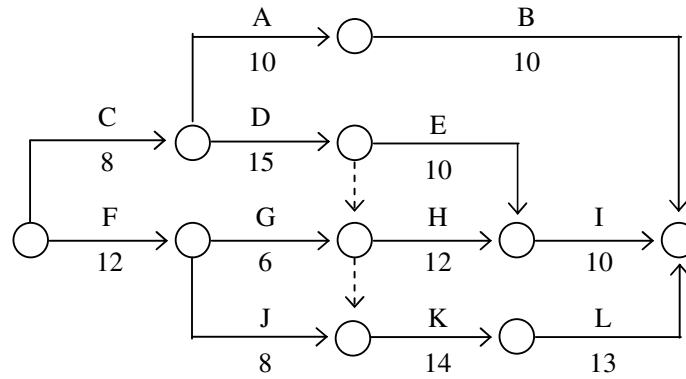
## 4.6 趕工計畫之模擬

### 4.6.1 確認趕工對象

當規劃工期不能滿足目標工期的要求，或規劃工期超出合約工期之外，此時，模擬趕工計畫作為因應是一種積極而必要的作為。

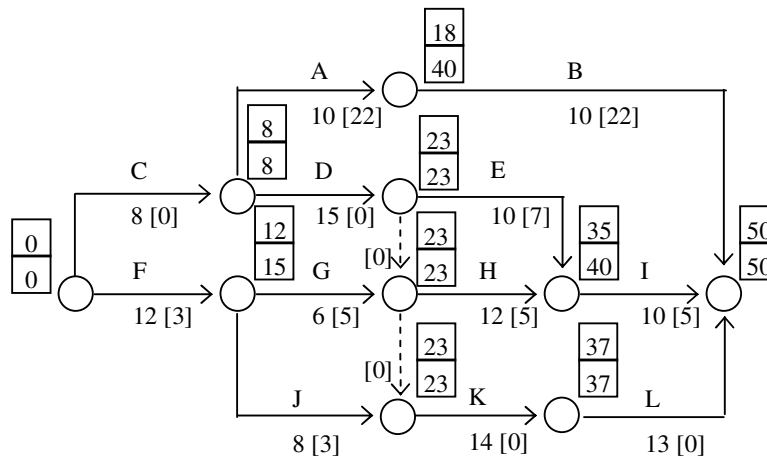
模擬趕工計畫的第一步，在於確認「趕工對象」。採用網圖分析方法，以界定各種情況下必須趕工的作業項目，是一個簡易而有效的方式；操作的方法很簡單，只要計算出各種工期狀態下之總浮時，利用總浮時之數值進行研判，即可確認「趕工對象」之所在。

例題 4.3 解析網圖中各作業項目之趕工時機



解答：

1. 網圖分析，計算各作業總浮時



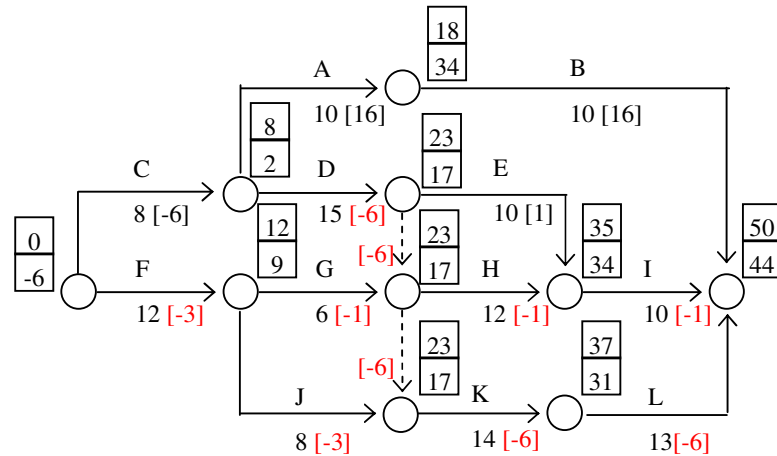
2. 列出各作業總浮時，推算趕工時機：規劃工期－（總浮時＋1）。

作業項目	總浮時	趕工時機	作業項目	總浮時	趕工時機
A	22	$50-(22+1)=27$	G	5	$50-(5+1)=44$
B	22	$50-(22+1)=27$	H	5	$50-(5+1)=44$
C	0	$50-(0+1)=49$	I	5	$50-(5+1)=44$
D	0	$50-(0+1)=49$	J	3	$50-(3+1)=46$
E	7	$50-(7+1)=42$	K	0	$50-(0+1)=49$
F	3	$50-(3+1)=46$	L	0	$50-(0+1)=49$

3. 結論：

- (1) 目前要徑為 C－D－K－L，工期為 50 天，當目標工期為 49 天時，C－D－K－L 列為趕工對象，須自要徑作業中選定一個作業進行趕工，故並非列入趕工對象，就一定要趕工。（只要該路徑能達到縮短工期之效果即可）。
- (2) 每個作業總浮時不相等，係表示該作業經過路徑與要徑工期之差距，故運用總浮時數值就可以推算各作業的趕工時機。（總浮時為負值才有趕工的必要）

(3)若欲探討在特定工期狀態下，確認趕工對象時，可將該特定工期填入完工結點最遲完成時間內，進行網圖分析，當作業總浮時為負值時，即可確認為趕工對象，以特定工期 44 天為例，分析如下：



在特定工期為 44 天的情況下，確認趕工之路徑及趕工對象為：

- C—D—K—L 須趕工縮短 6 天工期
- F—G—K—L 須趕工縮短 1 天工期
- F—J—K—L 須趕工縮短 3 天工期
- C—D—H—I 須趕工縮短 1 天工期

#### 4.6.2 擬定趕工方案

總浮時分析可以界定趕工路徑，確認趕工對象，但是在同一路徑中，只要縮短其中任意一個作業時間，就可以達到縮短路徑工期的目的，因此趕工對象是提供趕工的「選項」，並不意味「必須趕工」。

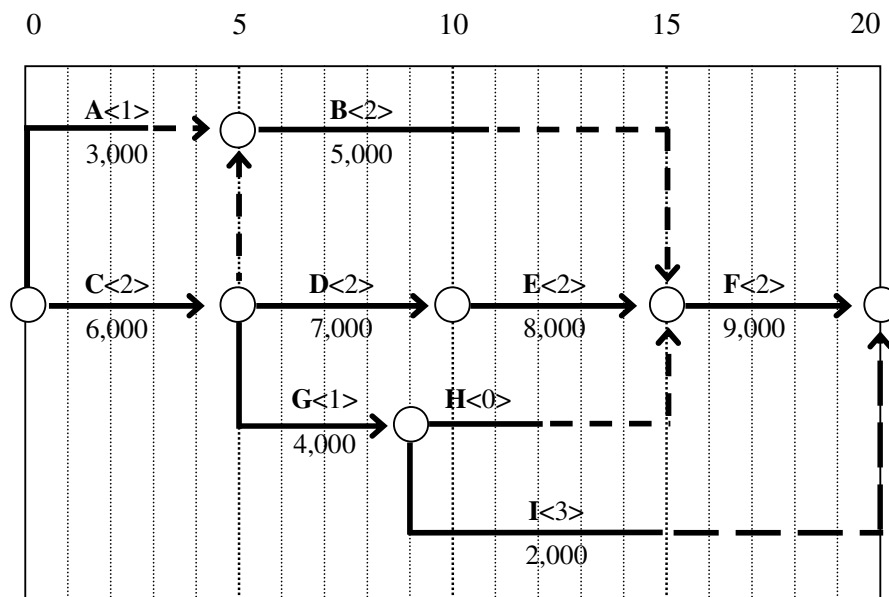
換言之，趕工對象既經確認，就據以發展趕工方案，然後在各種趕工方案中進行決策。在一般情況下，方案的選擇是以經濟性為主要考量，也就是說，最後選定的方案為「經濟趕工方案」。



在例題 4.3 中僅就直接成本進行分析及方案遴選，而實際趕工效益應再併入間接成本的影響，也就是各種趕工方案的比較，是以總成本為比較基礎。因此，在擬定趕工方案時，應將相關的成本分析一併顯示，以供決策者充分考量。

另外一種擬定趕工方案的方法，是採用時間豎格網狀圖，以圖解方式進行構思，尤其對於原始要徑與並行路徑之互動更能精確掌握，在操作的過程中，可以迅速剔除不相關的趕工路徑，而集中注意力於相關的趕工對象，同時若將各作業的成本斜率一併標示，則將有助於趕工方案之擬定與比較，其視覺效果遠勝於其他方法，值得推廣。

#### 例題 4.4 解析各項作業之趕工時機



解答：

(1) 原始要徑 C—D—E—F，規劃工期為 20 天

界限工期： $20 - (2 + 2 + 2 + 2) = 12$  天

(2)界限工期狀態下，須配合趕工之路徑分析：

- ① 作業 A,B 不須配合趕工（因界限工期狀態時，A,B 恰好成為要徑）
- ② 作業 G 在 D—E 縮短第 4 天工期時須配合趕工。
- ③ 作業 I 不須配合趕工（因 D—E—F 縮短 6 天工期時，作業 G 已配合縮短 1 天時間，作業 I 浮時消化 5 天，使 I 作業恰好成為新要徑作業，尚不須配合趕工）。

(3)趕工方案擬定如下：

工期	縮短 工期	經濟趕工方案	直接成本 之增量	產生 新要徑
20	0	—	—	—
19	1	C<1>	6,000	—
18	2	C<2>	12,000	A
17	3	C<2>,D<1>	19,000	
16	4	C<2>, D<2>	26,000	
15	5	C<2>, D<2>,E<1>	34,000	G—H
14	6	C<2>, D<2>,E<1>,F<1>	43,000	
13	7	C<2>, D<2>,E<1>,F<2>	52,000	G—I
12	8	C<2>, D<2>,E<2>,F<2>,G<1>	64,000	A—B

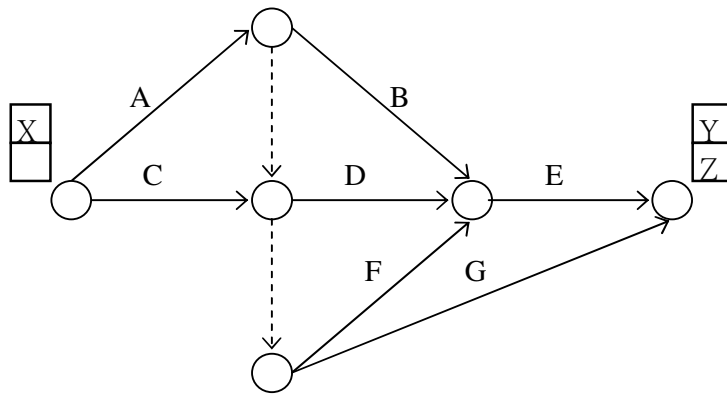
#### 4.6.3 趕工效益分析與決策

依據趕工方案，計算直接成本與間接成本之增減量，得到各對應工期之趕工淨效益，趕工淨效益為趕工方案總成本與原始工程總成本之差值，可用來研判最佳工期的位置所在。

假定合約工期大於規劃工期，在此種情況下，最佳工期將成為最後的決策。若合約工期少於規劃工期時，則應考慮逾期罰款對工程的影響，在決定工期決策時務必加入此項考量，才能謀求最高的工程利益，作出正確的決策。

# D0110

總浮時與趕工計畫



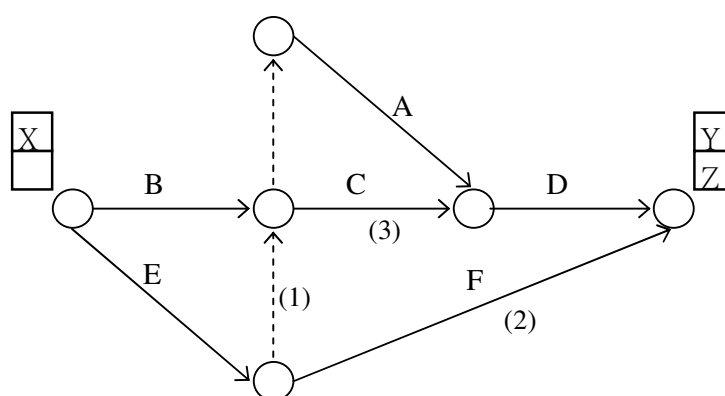
- (2) 已知本工程要徑作業計有 A、D、E、F，則要徑之總浮時為何值？
- (3) 以 X、Y、Z 之大小關係，論述本工程在何種情況下必須執行趕工計畫。
- (4) 當 X 增加  $\Delta X$ ，而 Z 減少  $\Delta Z$  時，則各項作業之總浮時將有何變化？

### <解答>

1. 要徑總浮時 $=Z-Y$
2. 當  $Z<Y$  時，表示目標工期少於規劃工期須執行趕工計畫。(實際工期 $=Y-X$ )
3. (1) 當  $X>X+\Delta X$  時，則  $Y>Y+\Delta X$   
(2) 當  $Z>Z-\Delta Z$  時，  
要徑作業總浮時 $=(Z-\Delta Z)-(Y+\Delta X)=(Z-Y)-(\Delta X+\Delta Z)$   
全部作業總浮時均將較原有總浮時減少 $(\Delta X+\Delta Z)$

## D0120

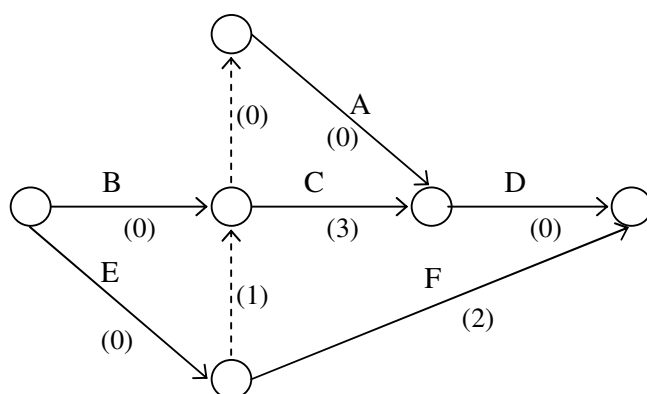
自由浮時與趕工計畫



1. 計算作業浮時，決定本工程要徑。
2. 當  $Z-Y$  之值為 -1、-2、-3 時，則當中有哪些作業需考量趕工？

# <解答>

要徑：B－A－D。



Item	FF	IF1	IF2	TF
A	0	$Z - Y$	0	$Z - Y$
B	0	$Z - Y$	0	$Z - Y$
C	3	$Z - Y$	0	$Z - Y + 3$
D	0	$Z - Y$	0	$Z - Y$
E	0	$Z - Y$	1	$Z - Y + 1$
F	2	$Z - Y$	0	$Z - Y + 2$

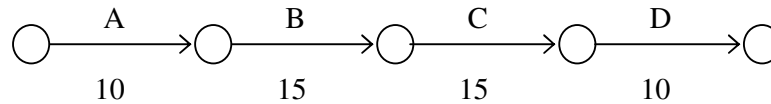
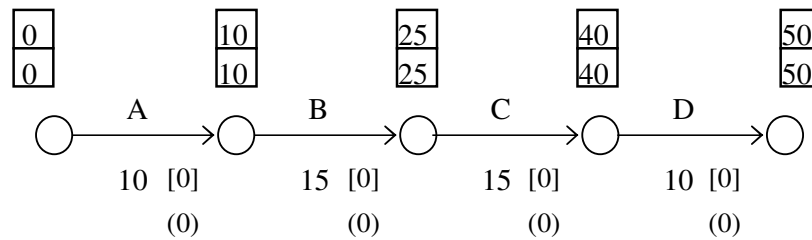
代入  $Z-Y$  為 -1、-2、-3 之值，得各作業之總浮時歸納如下，表中 TF 為負值之作業項目，必須考量趕工計畫。

Item	TF		
	$Z-Y=-1$	$Z-Y=-2$	$Z-Y=-3$
A	-1	-2	-3
B	-1	-2	-3
C	2	1	0
D	-1	-2	-3
E	0	-1	-2
F	1	0	-1
應考量趕工之項目	A、B、D	A、B、D、E	A、B、D、E、F

**D0130**

模擬趕工方案

規劃網圖如下，試就目標工期為(1)49 天(2)48 天(3)47 天擬定可行之趕工計畫方案：

**<解答>**

工期	縮短天數	趕 工 方 案
49 天	1 天	(1) A<1> (2) B<1> (3) C<1> (4) D<1>
48 天	2 天	(1) A<2> (2) B<2> (3) C<2> (4) D<2> (5) A<1>B<1> (6) A<1>C<1> (7) A<1>D<1> (8) B<1>C<1> (9) B<1>D<1> (10) C<1>D<1>
47 天	3 天	(1) A<3> (2) B<3> (3) C<3> (4) D<3> (5) A<2>B<1>(6) A<2>C<1> (7) A<2>D<1> (8) B<2>A<1> (9) B<2>C<1> (10) B<2>D<1> (11)C<2>A<1>(12)C<2>B<1>(13)C<2>D<1> (14)D<2>A<1>(15)D<2>B<1>(16)D<2>C<1> (17)A<1>B<1>C<1>(18)A<1>B<1>D<1> (19)A<1>C<1>D<1>(20)B<1>C<1>D<1>



**D0140**

## 判讀趕工計畫

某工程趕工計畫擬定如下表，試加以研讀後回答下列問題：

工期	縮短天數(天)	經濟趕工方案
$T_n$	0	—
⋮	⋮	⋮
$T_{n-3}$	3	B<2> C<1>
⋮	⋮	⋮
$T_{n-5}$	5	B<2> C<2> E<1> F<1>
⋮	⋮	⋮
$T_{n-8}$	8	B<2> C<2> E<4> F<2> G<1> I<1> H<1>

1. 本工程原始要徑為 B-C-E，試比較三個要徑作業成本斜率之大小。
2. 寫出  $T_{n-1}$  之趕工方案。
3. 本工程何時產生第二條新要徑？新增之要徑作業為何？
4. 本工程縮短 8 天工期之趕工方案中，當時之要徑作業項目為何？

### 〈解答〉

1. 比較  $T_{n-3}$  及  $T_{n-5}$  可知趕工之優先順序： $B \rightarrow C \rightarrow E$

故成本斜率之大小為： $E > C > B$

2.  $B < 1 >$ 。(因要徑為  $B-C-E$ ，其中作業  $B$  成本斜率最低)

3.  $T_{n-4}$  的可能方案為 (1)  $B < 2 >$ ， $C < 1 >$ ， $E < 1 >$ ，或 (2)  $B < 2 >$ ，

$C < 2 >$ ， $F < 1 >$ ，故本工程最快於  $T_{n-3}$  產生第二條新要徑，最慢於  $T_{n-4}$  產生第二條新要徑，新增要徑作業皆為  $F$ 。

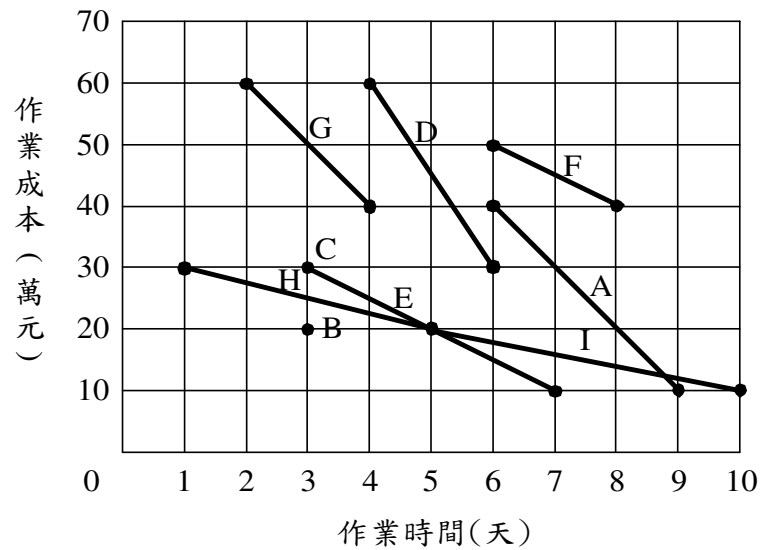
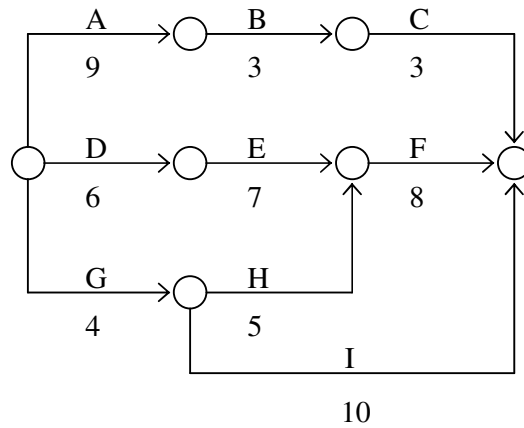
4. 至少包括  $B$ 、 $C$ 、 $E$ 、 $F$ 、 $G$ 、 $I$ 、 $H$  等作業。

此外(1)剛好成為新要徑尚不須趕工之項目，以及(2)雖然是要徑作業但無法縮短工期之作業項目等；並不會呈現在趕工方案之中，故除了趕工項目外，無法研判其他要徑作業。

**D0210**

成本斜率與趕工成本

某工程規劃條件如下：



1. 計算各項作業成本斜率及可縮短天數。
2. 求算本工程規劃工期與全趕工狀態所需之工程成本 (間接成本為 60,000 元/天)。
3. 求算界限工期之經濟趕工方案及所需工程成本。

## &lt;解答&gt;

1.

作業項目	可縮短天數(天)	成本斜率(萬元/天)
A	3	10
B	—	—
C	—	—
D	2	15
E	4	5
F	2	5
G	2	10
H	4	2.5
I	5	2

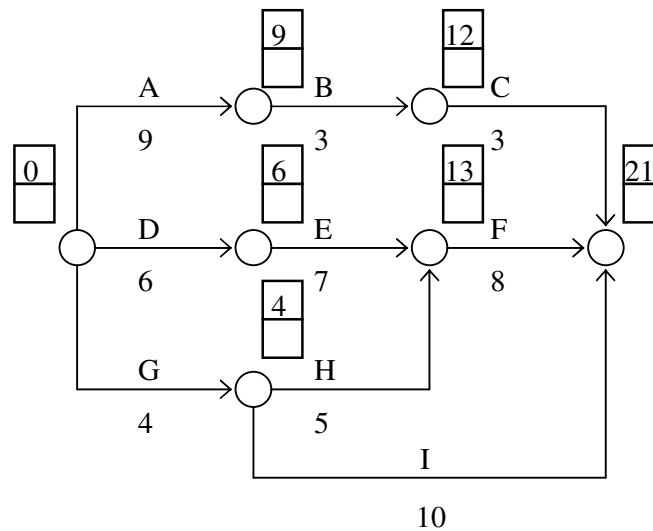
2.

(1) 規劃工期：21 天

直接成本：10+20+30+30+10+40+40+20+10=210 萬元

間接成本：6×21=126 萬元

工程總成本=210+126=336 萬元



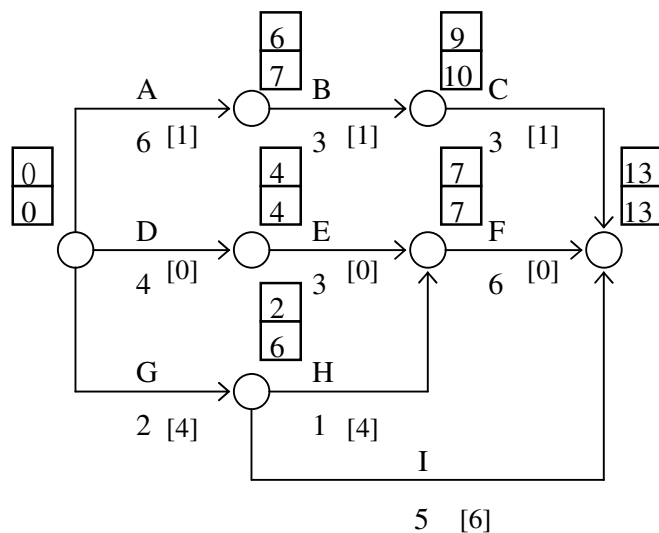
## (2) 全趕工狀態：

界限工期：13 天(全趕工狀態必為界限工期，但隱含不經濟之趕工內涵)

直接成本：40+20+30+60+30+50+60+30+20=340 萬元

間接成本：6×13=78 萬元

工程總成本：340+78=418 萬元



3. 參閱上圖分析可知界限工期下應檢討之不必要趕工作業計有：

(1) A—B—C 路徑可減少 1 天趕工。

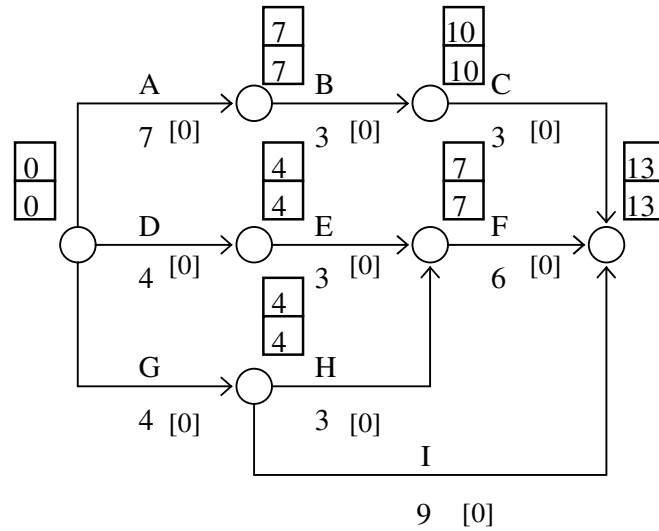
(2) G—H 路徑可減少 4 天趕工。

(3) G—I 路徑可減少 6 天趕工。

經比較成本斜率後調整作業時間如下：

作業項目	全趕工狀態 (天)	經濟趕工狀態 (天)
A	6	7
G	2	4
H	1	3
I	5	9

依經濟趕工方案，再分析網圖如下：全部作業皆成為要徑。



故經濟趕工方案：

直接成本： $340 - 10 \times 1 - 10 \times 2 - 2.5 \times 2 - 2 \times 4 = 297$  萬元

間接成本： $6 \times 13 = 78$  萬元

工程總成本：375 萬元

**D0220**

總成本曲線

某工程作業基本資料如下：

項目	正常時間 (天)	趕工時間 (天)	正常成本 (萬元)	趕工成本 (萬元)	後續作業
A	5	3	30	50	B、D
B	5	—	25	—	C
C	4	2	32	40	F
D	4	3	16	18	E
E	4	2	80	100	F
F	5	4	48	50	G
G	3	2	20	25	—

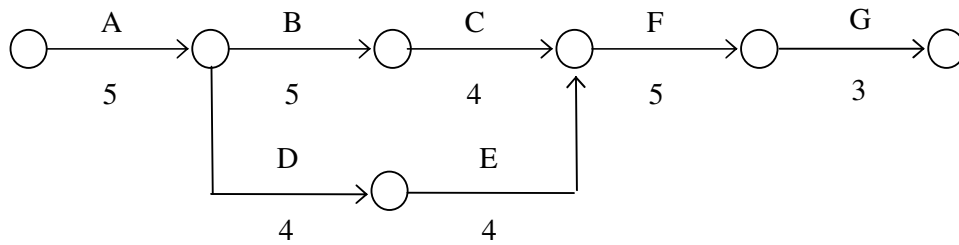
1. 分析各作業成本斜率及可縮短天數。
2. 繪製本工程之工期-成本曲線(間接成本為 70,000 元/天)

## &lt;解答&gt;

1.

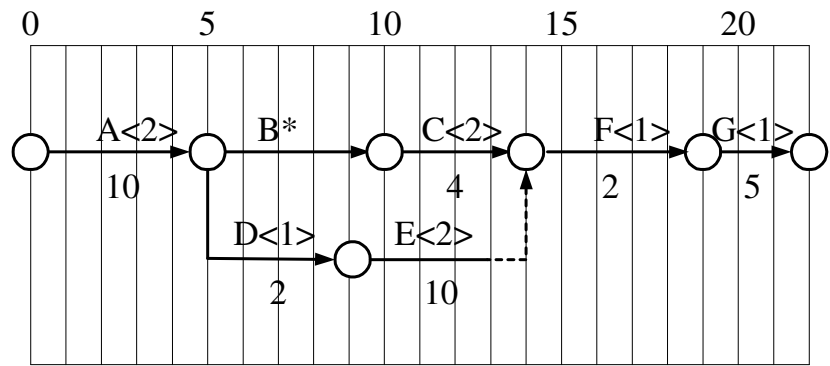
作業項目	可縮短天數(天)	成本斜率(萬元/天)
A	2	10
B	—	—
C	2	4
D	1	2
E	2	10
F	1	2
G	1	5

2. (1) 繪製工程網狀圖





(2) 繪製 ES Plan 時間豎格網狀圖：



- ①本工程規劃工期：22 天
- ②界限工期：16 天(由規劃工期扣除要徑可縮短工期並檢視 D－E 未影響要徑工期之縮短天數，而確認最短工期為 16 天)

(3) 擬定經濟趕工方案並計算成本：

工期	經濟趕工方案	直接成本變動值	間接成本變動值	趕工淨效益
22	—	—	—	—
21	F<1>	+2	-7	-5
20	F<1>C<1>	+6	-14	-8
19	F<1>C<1> G<1>	+11	-21	-10
18	F<1>C<2> G<1>D<1>	+17	-28	-11
17	F<1>C<2> G<1>D<1> A<1>	+27	-35	-8
16	F<1>C<2> G<1>D<1> A<2>	+37	-42	-5

(4) 繪製總成本曲線：

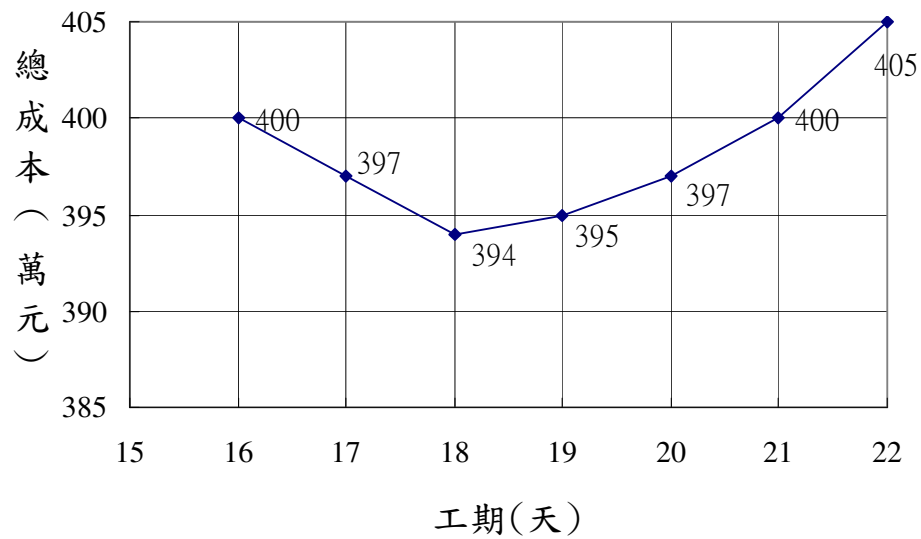
① 規劃工期：22 天

直接成本 =  $30 + 25 + 32 + 16 + 80 + 48 + 20 = 251$  萬元

間接成本 =  $7 \times 22 = 154$  萬元

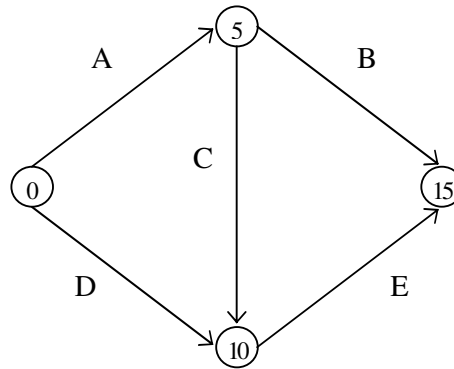
總成本 =  $251 + 154 = 405$  萬元

② 繪製總成本曲線：(直接成本及間接成本曲線繪製請讀者自行練習)



**D0230**

擬定趕工方案

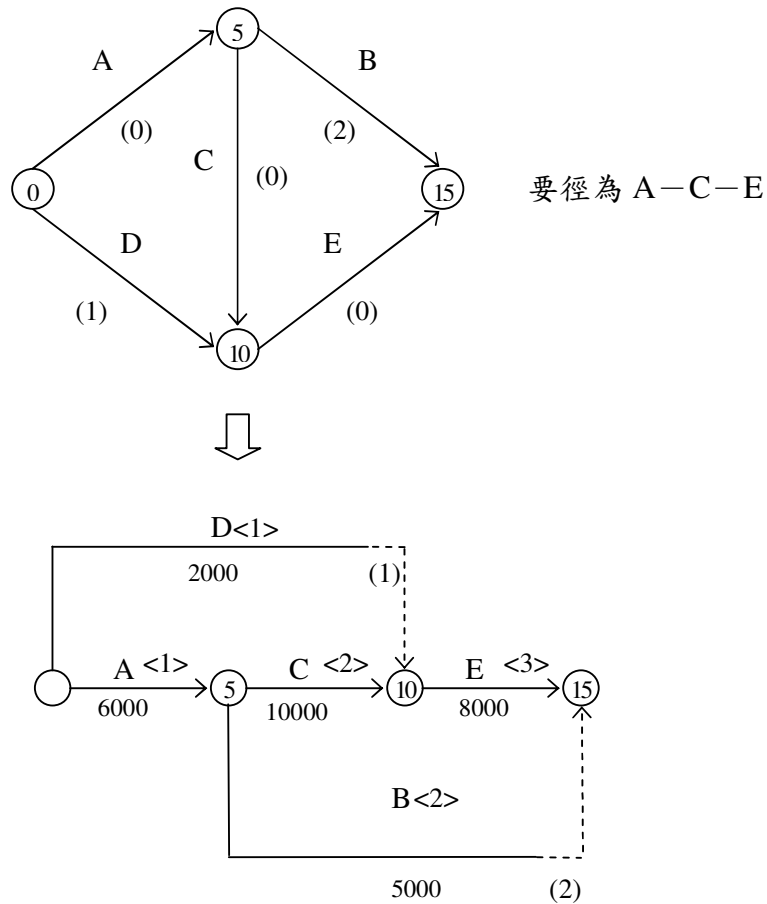
已知  $FF_D=1$ ， $FF_B=2$ ，另趕工條件如附表所示：

項目	可縮短天數(天)	成本斜率(元/天)
A	1	6,000
B	2	5,000
C	2	10,000
D	1	2,000
E	3	8,000

1. 本工程至多可縮短幾天工期？
2. 試擬定對應不同工期之趕工方案，同時表示當時之要徑。

# <解答>

1.



本工程最多可縮短 5 天工期。

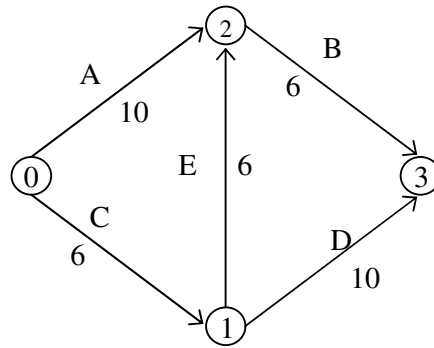
說明：要徑可縮短工期為 6 天，但受作業 D 的限制在結點①~⑩之間最多只能縮短 2 天工期，同時受作業 B 的限制在結點⑤~⑮之間最多只能縮短 4 天工期，故整體工程最多可縮短工期計 5 天。

2.

工期	經濟趕工方案	直接成本變動量	當時要徑
原工期	—	—	A—C—E
縮短 1 天	A<1>	+ 6000	A—C—E， D—E
縮短 2 天	A<1>E<1>	+ 14000	A—C—E， D—E
縮短 3 天	A<1>E<2>	+ 22000	A—C—E， D—E， A—B
縮短 4 天	A<1>E<3>B<1>	+ 35000	A—C—E， D—E， A—B
縮短 5 天	A<1>E<3>C<1> B<2>D<1>	+ 52000	A—C—E， D—E， A—B

**D0240**

擬定趕工方案

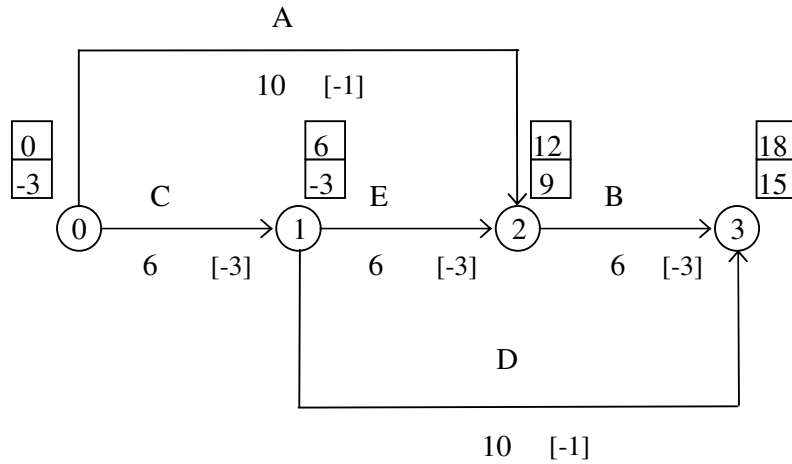


項目	可縮短天數(天)	成本斜率(元/天)
A	2	15,000
B	1	20,000
C	1	15,000
D	3	12,000
E	1	10,000

1. 當目標工期為 15 天時，試擬定最經濟之趕工方案。
2. 上述趕工方案對於原規劃方案工程成本之影響如何？  
(間接成本以 15000 元/天計算)

## &lt;解答&gt;

1.



(1) 須考量趕工之路徑有：①C—E—B：3 天

②A—B：1 天

③C—D：1 天

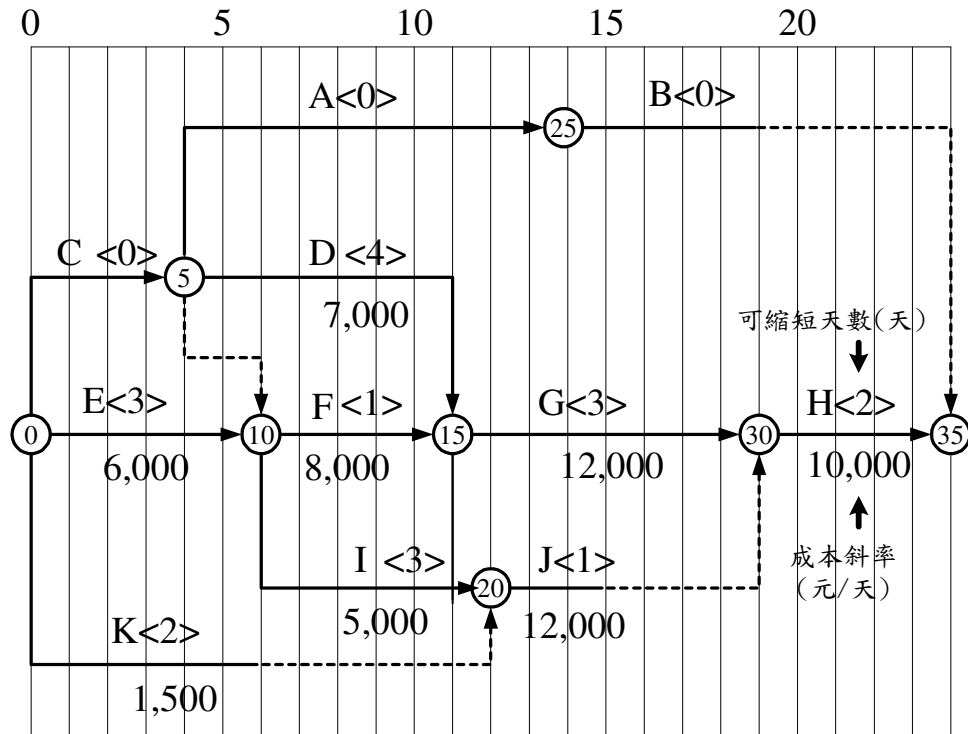
(2) 經濟趕工之方案：C&lt;1&gt;、E&lt;1&gt;、B&lt;1&gt;

2. 直接成本較原工期(18)天增加： $15,000 + 10,000 + 20,000 = 45,000$  元間接成本較原工期減少： $15,000 \times 3 = 45,000$  元故本趕工方案之淨效益： $45,000 - 45,000 = 0$  元

(與原工期成本相等)

**D0310**

界限工期之趕工計畫

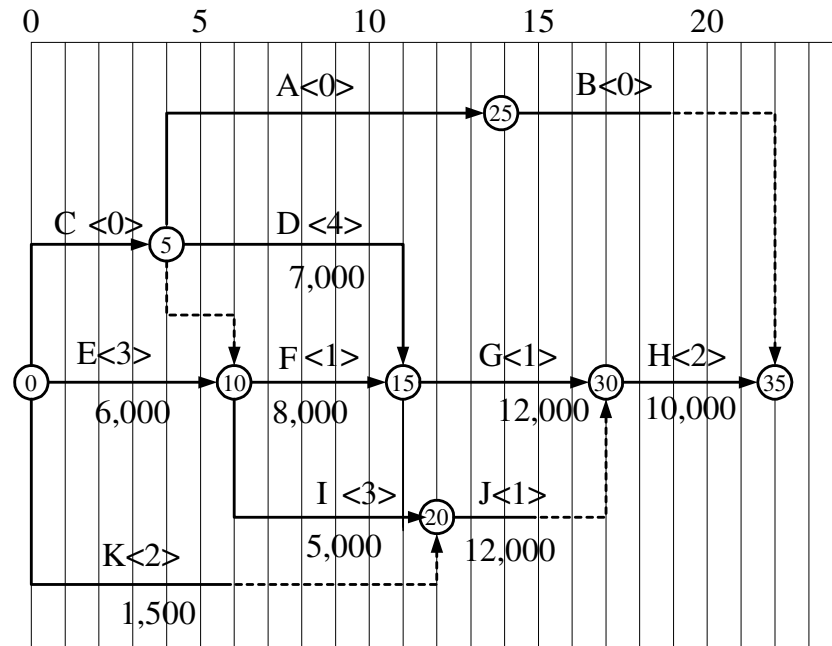


1. 以 G 作業縮短 2 天時間，重新繪圖並說明對本工程有何影響？
2. 擬定界限工期下之經濟趕工方案。



## &lt;解答&gt;

1.



(1)G 作業縮短 2 天時間，表示⑮結點不動，而③〇結點退回 2 天。

(2)③⁵結點隨著③〇結點退回 2 天，故工期減少為 22 天

(3)造成 B 作業自由時減少 2 天

(4)造成 J 作業自由時減少 2 天

2.

(1)原要徑有 C—D—G—H 及 E—F—G—H，工期為 24 天

(2)原要徑全趕工之工期為 C—D—G—H(15 天)及 E—F—G—H(15 天)

(3)但 C—A—B 最短工期為 19 天，C—F—G—H 最短工期為 16 天，故本例界限工期是由路徑 C—A—B 決定。

(4)界限工期為 19 天；經濟趕工方案：H<2>，G<3>直接成本增加 56000 元。

**D0320**

推演最佳工期

承上題：

1. 擬定對應各種工期之經濟趕工方案。
2. 間接成本為 11000 元/天，試決定本工程之最佳工期。

**<解答>**

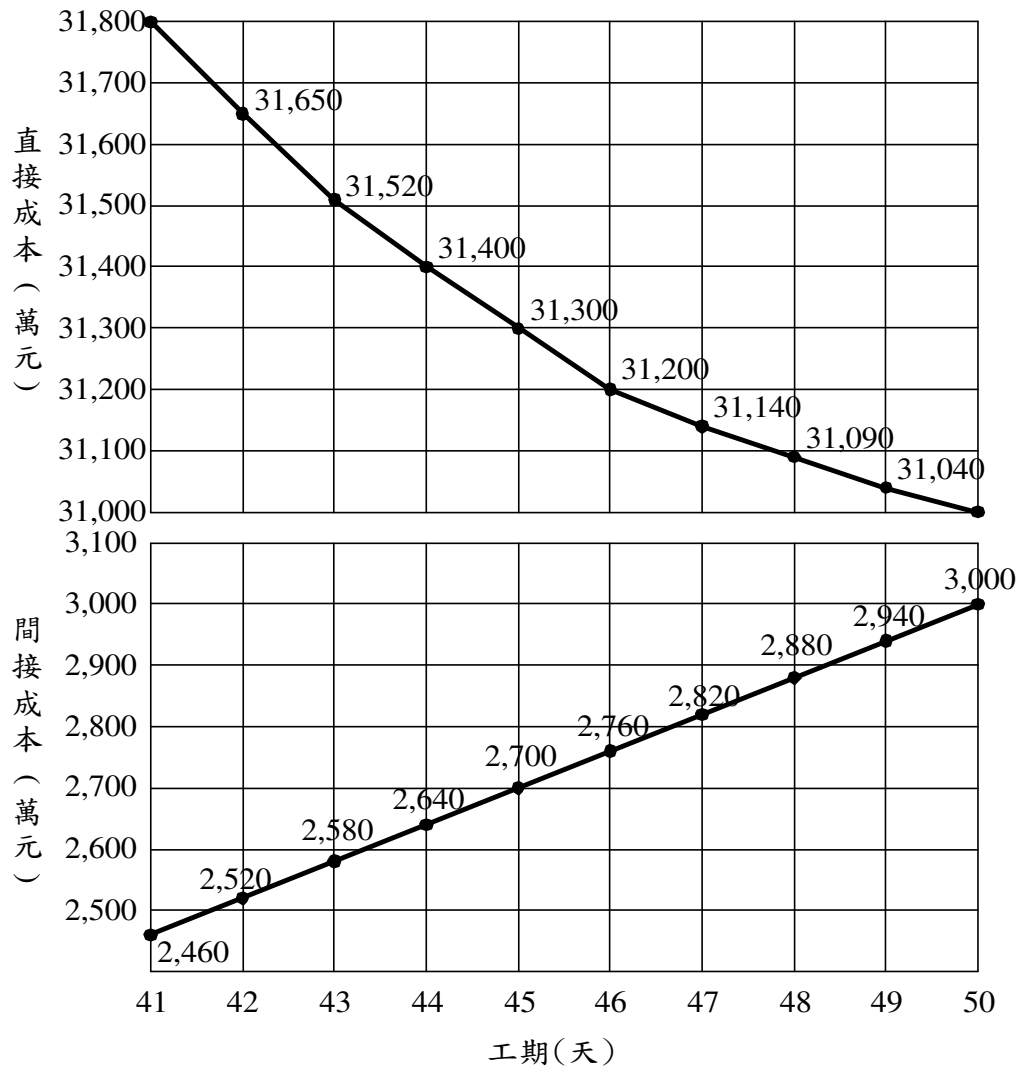
1.

工期	經濟趕工方案	直接成本變動量	間接成本變動量	趕工淨效率
24	—	—	—	—
23	H<1>	+10000	-11000	-1000
22	H<2>	+20000	-22000	-2000
21	H<2>G<1>	+32000	-33000	-1000
20	H<2>G<2>	+44000	-44000	0
19	H<2>G<3>	+56000	-55000	+1000

2. 最佳工期：22 天，趕工淨效益可節省工程成本 2000 元

**D0330**

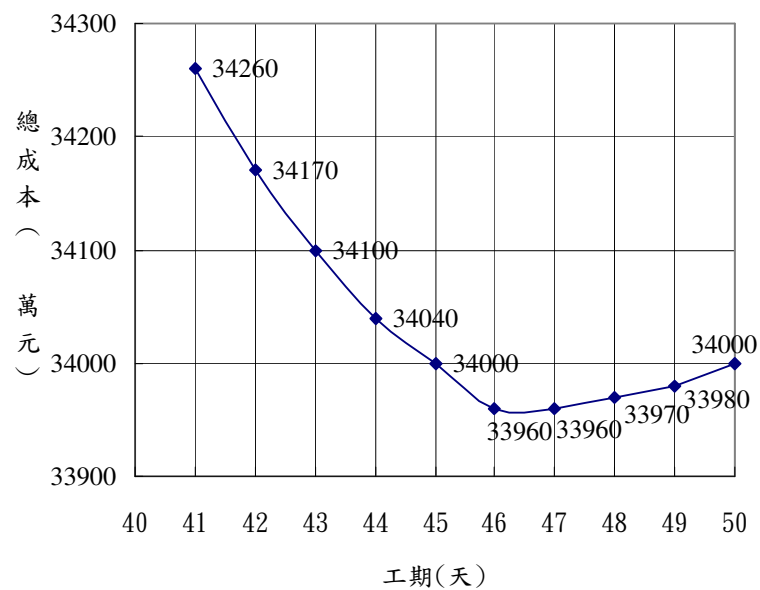
最佳工期之決策



1. 繪製本工程總成本曲線，標示最佳工期。
2. 若本工程合約工期為 60 天，則本工程最後之工期決策為何？

## &lt;解答&gt;

工期	直接成本（萬元）	間接成本（萬元）	總成本（萬元）
50	31000	3000	34000
49	31040	2940	33980
48	31090	2880	33970
47	31140	2820	33960
46	31200	2760	33960
45	31300	2700	34000
44	31400	2640	34040
43	31520	2580	34100
42	31650	2520	34170
41	31800	2460	34260

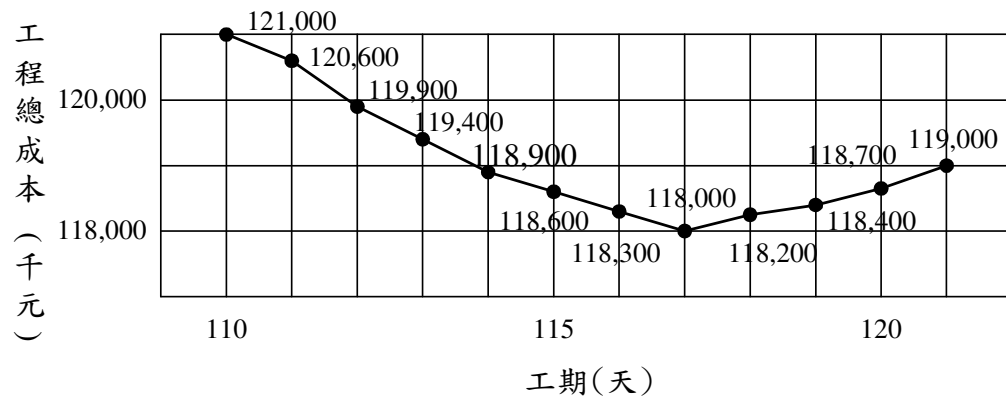


最佳工期 46 天(工期 46 天及 47 天工程總成本相同且最低，取 46 天最有利)。

**D0340**

獎懲條款與最佳工期決策

工程總成本曲線描繪如下：



假定本工程合約總價 128,000,000 元，合約工期 120 天。合約規定如期完工獎金 50 萬元，提前完工獎金為每日 15 萬元，逾期完工罰款為每日 25 萬元。

試決定本工程最佳工期之決策。

**<解答>**

合約工期：120 天

單位：千元

工期	工程總成本	如期完工獎金	提前完工獎金	逾期罰款	最後總成本
121	119,000	—	—	+250	119,250
120	118,700	—500	—	—	118,200
119	118,400	—500	—150	—	117,750
118	118,200	—500	—300	—	117,400
117	118,000	—500	—450	—	117,050
116	118,300	—500	—600	—	117,200
115	118,600	—500	—750	—	117,350
114	118,900	—500	—900	—	117,500
113	119,400	—500	—1050	—	117,850
112	119,900	—500	—1200	—	118,200
111	120,600	—500	—1350	—	118,750
110	121,000	—500	—1500	—	119,000

最佳工期：117 天(本工程最低總成本 117,050 千元)

**D0350**

獎懲條款與最佳工期決策

承上題：

假定將合約工期變更為 115 天，但其他條件不變，試再分析本案，提出最佳工期之決策。

**<解答>**

合約工期：115 天

單位：千元

工期	工程總成本	如期完工獎金	提前完工獎金	逾期罰款	最後總成本
121	119,000	—	—	+1500	120,500
120	118,700	—	—	+1250	119,950
119	118,400	—	—	+1000	119,400
118	118,200	—	—	+750	118,950
117	118,000	—	—	+500	118,500
116	118,300	—	—	+250	118,550
115	118,600	—500	—	—	118,100
114	118,900	—500	—150	—	118,250
113	119,400	—500	—300	—	118,600
112	119,900	—500	—450	—	118,950
111	120,600	—500	—600	—	119,500
110	121,000	—500	—750	—	119,750

最佳工期：115 天(最低總成本為 118,100 千元)

※注意：導入合約工期獎懲條款後，總成本曲線會隨之變動，有時會產生不規則變化，依本例而言，總成本曲線出現雙頂點之情況，故研判最佳工期時，應全面比較所有頂點的數值，再作決定。

## 附錄一 網圖規劃之標準作業程序 (SOP)

### 一、前言

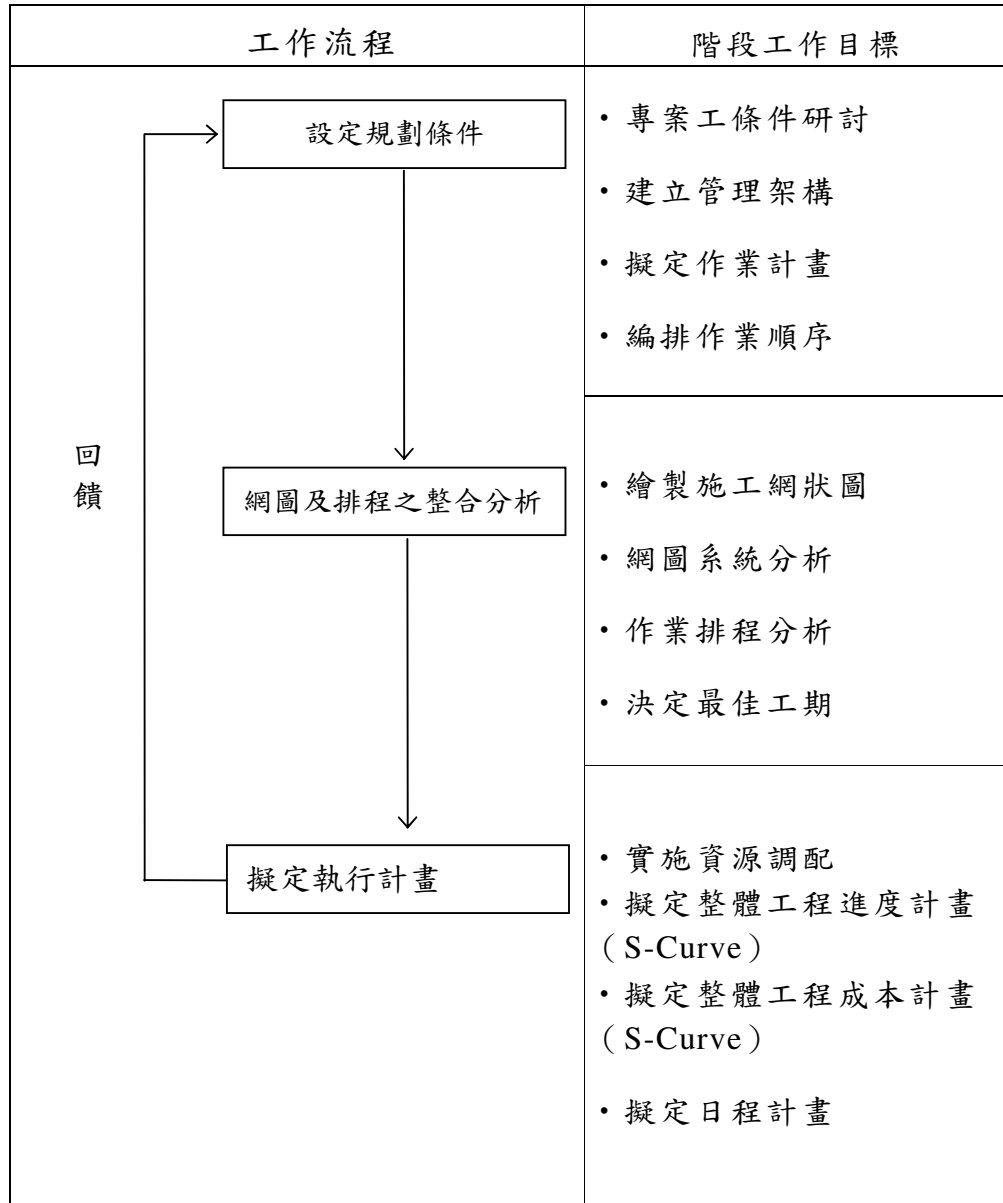
標準作業程序 (Standard Operation Procedure, SOP) 係建構於既定的工作流程，並以流程為主軸逐次發展相關程序，釐訂工作步驟、方法及提示各階段之管理重點所在。

營建工程的本質，具有潛在不確定性，工程變數多且複雜，故專案工程宜採行 SOP 進行計畫管制，以期強化工程管理系统，條理各項專案執行作業，可收化繁為簡、事半功倍之效。

以下將探討運用網狀圖於專案工程規劃作業，所涉及之工作流程與細部作業程序，同時將進一步整合各階段網圖運用的方式，試圖提供一個完整的網圖規劃套裝模式，做為個案工程採用之參考。



## 二、專案工程規劃流程



## 三、各階段相關作業程序與要點

階段	工作流程	相關程序及重點摘要
(一) 設定 規劃 條件	<pre> graph TD     A[專案條件研討] --&gt; B[建立管理架構]     B --&gt; C[擬定作業計畫]     B --&gt; D[編排作業順序]           </pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 設計圖說、規範研讀</li> <li>• 合約文件研討</li> <li>• 現場調查</li> <li>• 擬定經管方針、策略</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 工程系統之分工</li> <li>• 訂定工程管理項目</li> <li>• 建立管理架構與管轄幅度</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 工法研究與可行性分析</li> <li>• 預估資源需求量</li> <li>• 作業時間與成本之估計</li> <li>• 作業順序探討</li> <li>• 模擬及編排作業順序</li> </ul>

階段	工作流程	相關程序及重點摘要
(二) 網圖及排程之整合分析	<pre> graph TD     A[繪製施工網狀圖] --&gt; B[網圖系統分析]     A --&gt; C[作業排程分析]     B --&gt; D[決定最佳工期]     C --&gt; D           </pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>繪製 ADM 網狀圖</li> <li>繪製 PDM 網狀圖</li> <li>標示工程要徑</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>網圖參數分析</li> <li>工期可行性分析</li> <li>日曆天與工作天之換算</li> <li>作業排程及浮時分析</li> <li>作業時間-成本之取捨</li> <li>工期-成本之折衝與調整</li> <li>直接成本與間接成本之計算</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>替代方案與趕工模擬</li> <li>各種工期方案之成本分析、比較</li> <li>總成本曲線之擬定</li> <li>決定最佳工期</li> </ul>

階段	工作流程	相關程序及重點摘要
(三) 擬定執行計畫	<pre> graph TD     A[實施資源調配] --&gt; B[繪製進度 S-Curve]     A --&gt; C[繪製成本 S-Curve]     B --&gt; D[擬定日程計畫]     C --&gt; D           </pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 確認各項資源需求</li> <li>• 繪製 Bar chart</li> <li>• 資源配當與拉平計算</li> <li>• 決定最適化排程</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 進度之定義</li> <li>• 最早與最遲開工計畫之模擬</li> <li>• 繪製累積進度曲線 (S-curve)</li> <li>• 繪製累積成本收入-支出曲線 (S-curve)</li> <li>• 工期週轉金需求之推算</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 確認最佳工期與作業排程</li> <li>• 發展細部計畫 (進度/成本/品質/資源調配/工務行政作業)</li> </ul>

## 附錄二 網圖規劃作業備忘錄

### 一、前置作業

項目	摘要	備註
1. 工程分工	• 分工的廣度和深度必須符合管理構想。	
	• 採用 WBS( Work Breakdown Structure )，可以有系統完成工作分解，建立明確的從屬關係。	參閱 1.7 節及圖 1.11RC 結構之分工結構圖
2. 作業計劃	• 計劃內涵應包括(1)工作範圍(2)施工方法(3)勞務(4)機械/設備(5)材料(6)施工效率(7)作業時間(8)作業成本等基本資料。	
	• 每個作業計劃應有二個以上施工方案，以供儲備替選。	
3. 施工順序之整合	• 確認施工邏輯，並事先建立團隊共識。	
	• 採用列表方式，顯示先行作業與後續作業。	參閱 1.7 節及表 1.6 作業關係表示方法。

項目	摘要	備註
	• 採用矩陣表格，顯示先行作業與後續作業。	參閱 1.7 節及表 1.7 矩陣關係表示方法
	• 以 PDM 網圖表現時，要特別注意「關係式」與「延滯時間」之設定。	參閱 1.6 節、1.7 節及圖 1.12PDM 網圖範例。
4. 虛業之研判	• 只有 ADM 網圖才會有虛業產生。	
	• 兩個以上作業，其後續作業產生部份交集，將會產生一個以上的虛業。	參閱 1.5 節及表 1.3 虛業的原理
	• 兩個以上作業同時共用開始及完成結點時，應使用虛業將之隔離。	
	• 贅餘虛業不致影響網圖分析成果。	

## 二、網圖參數與排程解析

項目	摘要	備註
1. 工期	• 列舉網圖中所有路徑，分別計算路徑工期，取其中最長路徑之工期。	參閱 2.5.1 節
	• 在「前進計算法」中，取開工結點與完工結點，兩者最早開始時間之差值即是。	參閱 2.2.1 節
	• 在「後退計算法」中，取開工結點與完工結點，兩者最遲完成時間之差值即是。	參閱 2.2.2 節
2. 要徑	• 列舉網圖中所有路徑，分別計算路徑工期，其中最長路徑即是。	參閱 2.5.1 節
	• 在「前進計算法」中，決定每個結點最早開始時間（ESi）的經過作業，並自開工至完工連貫而成之作業，即為要徑作業。	參閱 2.5.2 節
	• 在「後退計算法」中，決定每個結點最遲完成時間的經過作業，並自開工至完工連貫而成之作業，即為要徑作業。	參閱 2.5.3 節
	• 自由浮時為零，且自開工至完工前後連貫的作業路徑。	參閱 2.5.4 節
	• 總浮時最小且相等的作業，即為要徑作業。	參閱 2.5.5 節

項目	摘要	備註
3. 自由浮時	• 除了開工結點外，在每個結點前方至少會有一個自由浮時為 0 的作業。	參閱精選例題 B0420 及 B0440
	• $FF_{ij} = ES_j - (ES_i + d_{ij})$	
	• $FF_{ij} = TF_{ij} - IF_{ij}$	
	• 運用已知之總浮時可以推算自由浮時 ( $FF_{ij} = TF_{ij} - TF_{jk}$ )	參閱例題 2.2 及精選例題 B0560
4. 干擾浮時	• $IF_{ij} = LF_j - ES_j$	參閱精選例題 B0430
	• $IF_{ij} = TF_{ij} - FF_{ij}$	
	• 干擾浮時之數值可為正或為負。	
	• 自由浮時已知時，得運用自由浮時直接推算。	參閱例題 2.1
5. 總浮時	• 任意作業的總浮時，與其經過路徑中，最小的路徑總浮時等值。	參閱精選例題 B0410
	• 單一路徑（無分叉）中所有作業的總浮時必然相等。	參閱例題 2.4
	• $TF_{ij} = LF_j - (ES_i + d_{ij})$	



項目	摘要	備註
	• $TF_{ij} = FF_{ij} + IF_{ij}$	
	• $TF_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij}$ $= LS_{ij} - ES_{ij}$	
	• 自由浮時已知時，得運用自由浮時直接推算。	參閱精選例題 B0460、B0550 及 C0320
	• 總浮時最小，表示路徑最長，故該路徑為要徑。	
6. 作業排程	• $ES_{ij} = ES_i$	
	• $EF_{ij} = ES_i + d_{ij}$	
	• $LS_{ij} = LF_j - d_{ij}$	
	• $LF_{ij} = LF_j$	
	• 採用橫線圖（Bar chart）表現作業排程，效果最佳。	參閱精選例題 B0310 及 B0320
	• 最早開工計畫與 $ES_{ij}$ 及 $EF_{ij}$ 相關。	
	• 最遲開工計畫與 $LS_{ij}$ 及 $LF_{ij}$ 相關。	
7. 資源調配	• 工程資源調配以勞務、機械/設備及材料之調度為主。	參閱 3.3.2 節

項目	摘要	備註
	• 不同資源對象，其資源調配結果不同，最終將面臨抉擇與取捨。	
	• 山積圖是以 ES plan 或 LS Plan 為基礎實施資源配當的結果。	參閱例題 3.2
	• 資源為拉平後，作業排程應介於 ES plan 與 LS plan 之間。	參閱例題 3.2
8. 時間豎格網狀圖	• 時間豎格 (Time Scale) 的格寬表示特定的時間比例。	參閱 3.1 節
	• 最早開工時間豎格網狀圖，可以直接讀取 $ES_i, ES_{ij}, EF_{ij}$ ，並可推算 $FF_{ij}, IF_{ij}, TF_{ij}$ ，研判要徑與工期。	參閱 3.2 節及精選例題 C0210
	• 最遲開工時間豎格網狀圖，可以直接讀取 $LF_j, LS_{ij}, LF_{ij}$ 以及研判要徑與工期。	參閱 3.2 節及精選例題 C0230

項目	摘要	備註
	<ul style="list-style-type: none"> <li>趕工計畫模擬應採用最早開工時間豎格網狀圖，直接進行推演。</li> </ul>	參閱精選例題 C0420 及 D0220
9. 趕工計畫	<ul style="list-style-type: none"> <li>成本斜率通常係簡化作業時間與成本之關係，而採用單一斜率進行分析。  <math display="block">\text{成本斜率} = \frac{\text{趕工成本} - \text{正常成本}}{\text{正常時間} - \text{趕工時間}}</math> </li> </ul>	參閱 4.3 節及圖 4.2 作業時間-成本曲線及圖 4.3 作業時間-成本簡化曲線
	<ul style="list-style-type: none"> <li>當設定任意目標工期時，所有 <math>TF_{ij} &lt; 0</math> 者，應列入趕工的潛在對象。</li> </ul>	參閱 4.6.1 節及例題 4.3
	<ul style="list-style-type: none"> <li>趕工方案應就趕工對象和可縮短天數進行模擬。</li> </ul>	參閱精選例題 D0130
	<ul style="list-style-type: none"> <li>依成本斜率和縮短天數，比較各趕工方案增加之直接成本。</li> </ul>	參閱精選例題 D0220
	<ul style="list-style-type: none"> <li>趕工淨效益為直接成本增量與間接成本減量之總和。</li> </ul>	參閱 4.5 節及精選例題 D0220
	<ul style="list-style-type: none"> <li>選定總成本最低或趕工淨效益最高者為最佳工期。</li> </ul>	參閱 4.5 節及精選例題 D0330
	<ul style="list-style-type: none"> <li>影響合約工期之趕工計畫，應將合約獎懲納入工程總成本合併計算。</li> </ul>	參閱精選例題 D0340

## 二、執行計畫

項目	摘要	備註
1. 累積進度曲線 (S-Curve)	• 慎選進度定義的方式，應符合專案工程特性和管理需求。	參閱 2.5.1 節
	• 進度權重分配 (Weighting) 前應建立共識。	參閱 2.2.1 節
	• 公共工程是以工程價值 (亦即工程標單對應之價格) 為進度定義的唯一方式。	
	• 網圖規劃成果，界定 ES plan 及 LS plan 兩個邊界，執行計畫將依照作業排程結果決定目標進度曲線 (S-Curve) 之位置。	
	• S-Curve 作為施工期間進度績效評核的基礎，但必須注意進度績效並不能主宰工期，應配合網圖要徑分析交叉運用。	

項目	摘要	備註
2. 累積成本收支曲線 (S-Curve)	• 成本收支牽涉兩個不同的成本會計系統，其中收入與契約承攬價格有關，支出則與施工預算有關。	
	• 工程成本收支通常以「月」為統計單位，當月收支淨值即為當期之工程週轉金需求。	
	• 收支曲線未考慮「貨幣時間價值」，故實際盈虧情形應輔以「現金流量分析表」進行分析。	
3. 日程計畫	• 日程計畫為細部執行計畫之相關作業排程（每日施工安排、資源調配，材料送審及施工查驗等）皆可適用。	
	• 採用橫線圖（Bar-Chart）可以明確表示日程計畫的內容，效果良好。	參閱精選例題 B0310,B0320 及 B0330