

# 2013中華民國營建工程學會第十一屆營建工程與 永續能源研討會

## 箭線圖法強化與應用

張清榮(Ching-Jung Chang)  
中華大學營建管理學系

張憲寬\*(Hsien-Kuan Chang)  
中華大學營建管理學系

### 摘要

要徑法(Critical Path Method, CPM)分為先行圖法(Precedence Diagram Method, PDM)與箭線圖法(Arrow Diagram Method, ADM)兩大主軸。依繪製特性，PDM又稱為節點法(Activity On Node, AON)而ADM又稱為箭線法(Activity On Arrow, AOA)。近年來商用軟體更是將桿狀圖(Bar Chart/Gantt Chart)也運用要徑計算而成為新的排程方法。雖然缺乏商用軟體支援的箭線圖法漸為業界所遺忘，然而經強化後的箭線圖法對專案的表達能力明顯提升。本研究在調整箭線圖法的部份要素及增加不同的表現元素後，以範例顯現增強成果，除提供對排程有興趣或有需要的從業人員另一種選擇外，同時希望營建工程業者能藉著本文的成果而對加強型(Enhanced)箭線圖法有簡易與實際應用的參考方向。

**關鍵詞：**排程、要徑法、箭線圖

## Application of Enhanced Arrow Diagram

### Method

#### Abstract

Critical Path Method(CPM) is divided into Precedence Diagram Method(PDM) and Arrow Diagram Method (ADM). In recent years, commercial software has used CPM in the concept of Bar Chart(Gantt Chart) as a new scheduling method. Without the support of commercial software, the ADM has gradually been forgotten by the industry. However, the ADM's function on project presentation has been improved significantly after it has been strengthened. After adjusted part of ADM's components and increased different elements on its performance, this study uses an example to show the results of change. In addition to offering the practitioners who are interested in scheduling method an alternative choice, this study also aims to provide the construction engineers a simple and practical reference through the using of enhanced ADM.

**Keywords :** scheduling,critical path method,arrow diagram method

## 一、前言

箭線圖法(Arrow Diagram Method ; ADM)或稱箭線法(Activity On Arrow ; AOA)是要徑法的一支，卻因缺乏商用軟體支援而漸為業界所遺忘。本研究在調整箭線圖法的部份要素及增加不同的表現元素後，以一小型預鑄混凝土橋範例[2]顯現成果，同時提供要徑法的另一支先行圖法(Precedence Diagram Method ; PDM)或稱節點法(Activity On Node ; AON)的圖型作比對。除一般專案外，並繪製重複性作業專案範例[1]供研究參考。

## 二、要徑法

要徑法(Critical Path Method ; CPM)之發展起始於1956至1958年間美國杜邦(Dupont)公司之工程師，利用網圖分析(network analysis)之原理，以施工網圖顯示施工構想之內容及流程，並以此為工期計算與進度分析之方法。計算過程包含前推法(Forward pass)、後推法(Backward pass)及浮時(Float time)計算。以總浮時(Total Float)為零之作業所連結之最長作業路徑為專案之要徑(Critical Path ; CP)，並將工程專案之進度管控焦點集中於要徑上之進度管理技術[3,4,5]。要徑法網圖又分為先行圖法與箭線圖法。受現有商業軟體限制，目前主流為先行圖法。箭線圖法主要元素包含：

1. 節點及編號。
2. 作業箭線及作業資訊。
3. 虛作業。
4. 浮時及要徑。

## 三、加強內容

在原始箭線圖法基礎下，參考現有文獻，整理及提出箭線圖法加強及簡化內容及目的如下：

1. 增加橫軸時間刻度：箭線長度即作業時間長度，易於判別。
2. 增加縱軸施作位置或施作單元資訊：增加表達內容。
3. 移除虛作業設定：簡化繪製流程及電腦化難易度。
4. 增加作業關係連結線：增強表達內容。
5. 以作業代號取代節點編號的功能：節省繪製及計算時間。
6. 增加專案模式選項：提供特殊計算模式。

## 四、繪製流程

加強型箭線圖法繪製流程如下

一、定義作業(Define Activities)：依據施工圖面及規範製作分工結構圖(Work Breakdown Structure；WBS)，分解時以施工法、施工位置及資源需求為依據，分解至每一個作業均代表一定數量的成品。

二、確認成品數量(Determine Activity product Quantities)：依據圖面作業代表成品數量統計。

三、計算作業工期(Calculate Activity Durations)：將作業當作小型專案並製作分工結構圖，分解日常管理工項。建立次網路，利用要徑法計算作業最小工期作為作業工期。

四、排序及建立作業關係(Order Activities and Establish Activity Relationships)：依據作業施工位置及資源需求建立作業先後關係及因規範或施工介面需求之延時(lag time)。

五、時間計算(Calculate Early and Late Start/Finish times)：利用要徑法計算表格計算出各作業最早開始/結束、最遲開始/結束、總浮時及自由浮時等時間。以總浮時為0的作業為要徑。

六、網圖繪製(draw network diagram)：計算特殊結點，並依計算的最早開始時間、最早完成時間、延時、及特殊結點將作業按工期比例繪製網圖。繪置時結點位置可依要徑、施工位置或資源需求定位。

## 五、應用範例

範例(一)為一般小型預鑄混凝土橋專案，其作業定義如表1所示，作業施作位置如表2所示，作業關係如表3所示。經前推及後推計算成果如表4所示，箭線圖繪製成果如圖1所示，相同專案之先行圖如圖2所示。

六作業項目及重複六個單元之重複性作業專案箭線圖繪製成果如圖3所示。

表 1 作業定義

作業編號	作業代號	作業順序	作業名稱	作業工期	作業類型	作業起點
1	A	0	Mobilize	5	CPM	1
2	B	0	Clearing and Grubbing	5	CPM	1
3	C	0	Prefab Concrete Beams	35	CPM	5
4	D	0	Prefab Concrete Slabs	35	CPM	6
5	E	0	Fundction N	10	CPM	2
6	F	0	Fundction S	10	CPM	4
7	G	0	Abutment N	15	CPM	2
8	H	0	Abutment S	15	CPM	4
9	I	0	Place Concrete Beams	5	CPM	3
10	J	0	Place Concrete Slabs	5	CPM	3
11	K	0	Paving and Traffic Marking	5	CPM	3
12	L	0	Cleanup and Demobilize	5	CPM	1

表 2 施作位置

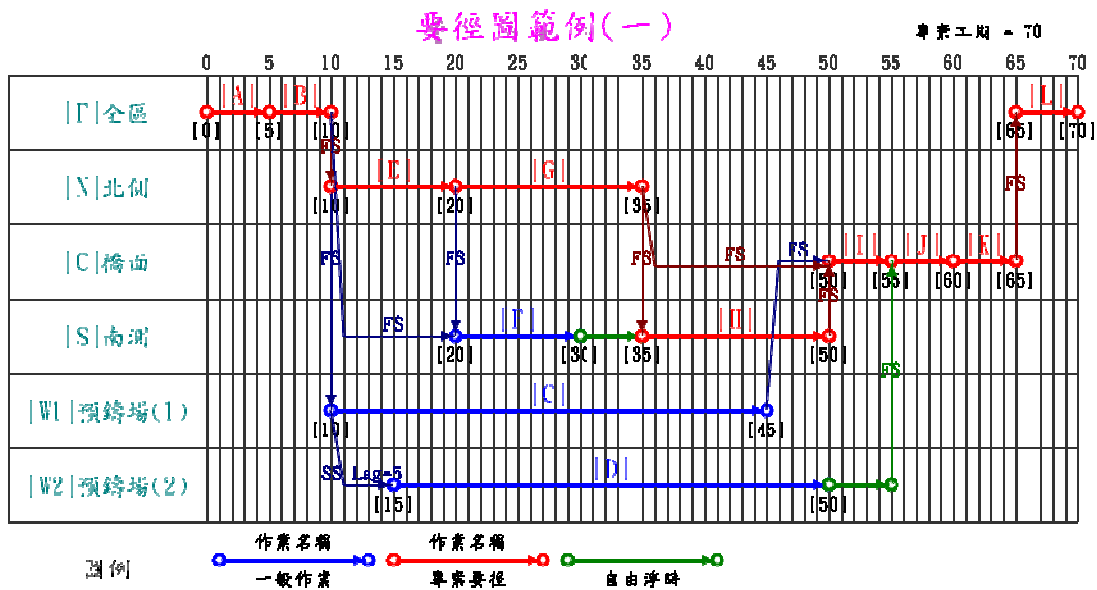
編號	代號	
1	F	全區
2	N	北側
3	C	橋面
4	S	南側
5	W1	預鑄場(1)
6	W2	預鑄場(2)

表 3 作業關係

作業編號	作業代號	作業名稱	前置編號	前置代號	前置名稱	作業關係	延遲時間
2	B	Clearing and Grubbing	1	A	Mobilize	FS	0
3	C	Prefab Concrete Beams	2	B	Clearing and Grubbing	FS	0
4	D	Prefab Concrete Slabs	3	C	Prefab Concrete Beams	SS	5
5	E	Fundction N	2	B	Clearing and Grubbing	FS	0
6	F	Fundction S	2	B	Clearing and Grubbing	FS	0
6	F	Fundction S	5	E	Fundction N	FS	0
7	G	Abutment N	5	E	Fundction N	FS	0
8	H	Abutment S	7	G	Abutment N	FS	0
8	H	Abutment S	6	F	Fundction S	FS	0
9	I	Place Concrete Beams	3	C	Prefab Concrete Beams	FS	0
9	I	Place Concrete Beams	7	G	Abutment N	FS	0
9	I	Place Concrete Beams	8	H	Abutment S	FS	0
10	J	Place Concrete Slabs	4	D	Prefab Concrete Slabs	FS	0
10	J	Place Concrete Slabs	9	I	Place Concrete Beams	FS	0
11	K	Paving and Traffic Marking	10	J	Place Concrete Slabs	FS	0
12	L	Cleanup and Demobilize	11	K	Paving and Traffic Marking	FS	0

表 4 計算成果

編號	代號	名稱	順序	橫向	縱向	E.S.	E.F.	L.S.	L.F.	T.F.	F.F.
1	A	Mobilize	0	1	1	0	5	0	5	0	0
2	B	Clearing and Grubbing	0	2	1	5	10	5	10	0	0
3	C	Prefab Concrete Beams	0	3	1	10	45	15	50	5	0
4	D	Prefab Concrete Slabs	0	4	1	15	50	20	55	5	5
5	E	Fundction N	0	3	2	10	20	10	20	0	0
6	F	Fundction S	0	4	2	20	30	25	35	5	5
7	G	Abutment N	0	4	3	20	35	20	35	0	0
8	H	Abutment S	0	5	1	35	50	35	50	0	0
9	I	Place Concrete Beams	0	6	1	50	55	50	55	0	0
10	J	Place Concrete Slabs	0	7	1	55	60	55	60	0	0
11	K	Paving and Traffic Marking	0	8	1	60	65	60	65	0	0
12	L	Cleanup and Demobilize	0	9	1	65	70	65	70	0	0



Date = 2013-08-05

圖 1 一般專案箭線圖

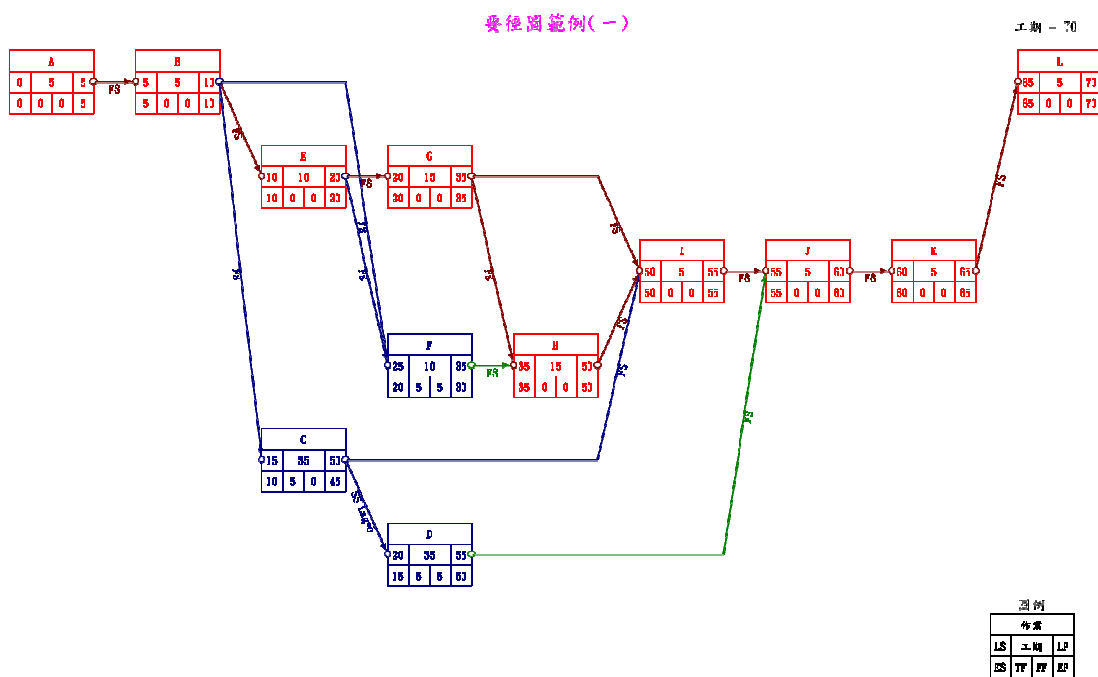


圖 2 一般專案先行圖

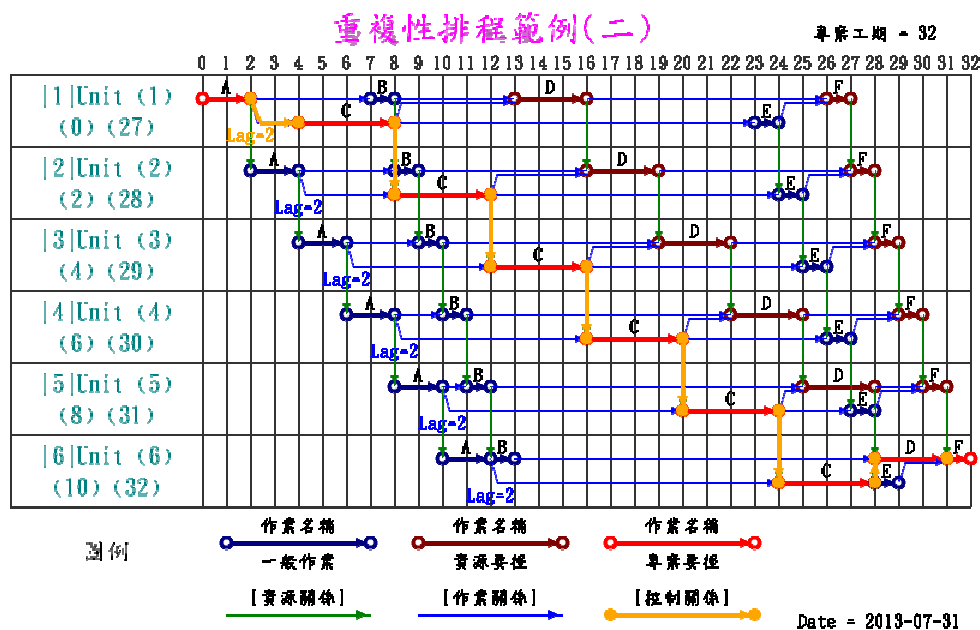


圖 3 重複性作業箭線圖

## 六、結論與建議

箭線圖法已使用半世紀，營建施工及管理人員基本都接受過相關訓練，而任何工具均有其優缺點，改良後的ADM可以解決PDM的缺點，經過制式規劃方法分解工作後，其成果較新式排程法更有效率也更容易追蹤使用。

電腦程式化代表易用性、更新難易度及繪製時間等原本箭線圖較不易為從業人員與一般排程規劃的初學者所能快速了解使用的缺點可完全排除。次網路的概念加上改良式箭線圖的完整理論若能實現於商用軟體的開發上，配合學校教學的推廣，對營建工程管理應有更大的幫助。

## 七、參考文獻

1. Robert B. Harris and Phot G. Ioannou, "Scheduling Project with Repeating Activity", J. Constr. Eng. Manage., ASCE, 124(4), pp.269-278, 1998.
2. René A. Yamín and David J. Harmelink, "Comparison of Linear Scheduling Model (LSM) and Critical Path Method (CPM)", J. Constr. Eng. Manage., ASCE, 127(5), pp.374-381, 2001.
3. Jimmie W. Hinze, "Construction Planning and scheduling", Fourth Edition, PEARSON, 2012.
4. 蘇文彬, 「進度管理技術彙整之研究」, 碩士論文, 國立交通大學, 2006。
5. 張清榮, 「不同類型營建專案排程實務之適用性探討(上)(下)」, 現代營建, 380期 pp.55-64, 381期 pp.53-61, 2011。