

运筹帷幄之中



决胜千里之外

Introduction

网络计划



本章主要内容：

- (1) 网络图
- (2) 时间参数的计算
- (3) 网络计划的优化



网络计划

20世纪50年代

计划管理的新方法：

关键路线法（CPM）

计划评审方法（PERT）

——建立在网络模型基础上，称为网络计划技术

20世纪60年代初代

数学家华罗庚先生 统筹方法

网络计划

用网络分析的方法编制工程进度计划，也称统筹法。

基本原理：

用网络图表示各工序之间的相互关系及所需要的时间，通过网络分析计算它们的各种时间参数，并确定关键路线，制定工期、资源和成本的优化方案。

两种分析方法：

关键路线法 (CPM, Critical Path Method)

计划评审法 (PERT, Program Evaluation and Review Technique)

网络图

一项工程总是由若干相互独立的活动组成，称为工序，各道工序之间有一定的先后次序，可以用一个有向图来描述：

- (1) 一条有向边表示一道工序；
- (2) 一个节点表示一道或几道工序的开工或完工，称为事项（或事件）。

完成每道工序需要一定的作业时间（也称为工时），在有向图中表示为边的权。

网络图

一、网络图

网络图（箭头图）

——带箭头的线和节点组成

➤ 箭线：工作（或工序、活动） $a:(i,j)$

工作需要一定的时间与资源

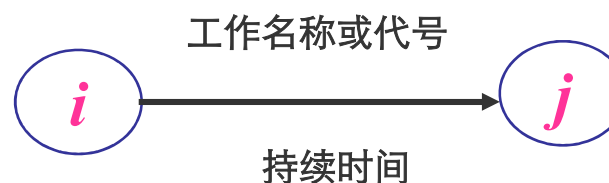
➤ 节点：事项 i, j

事项不需时间或很少（可忽略）

➤ 虚工作：.....➤

工时为零，不消耗任何资源

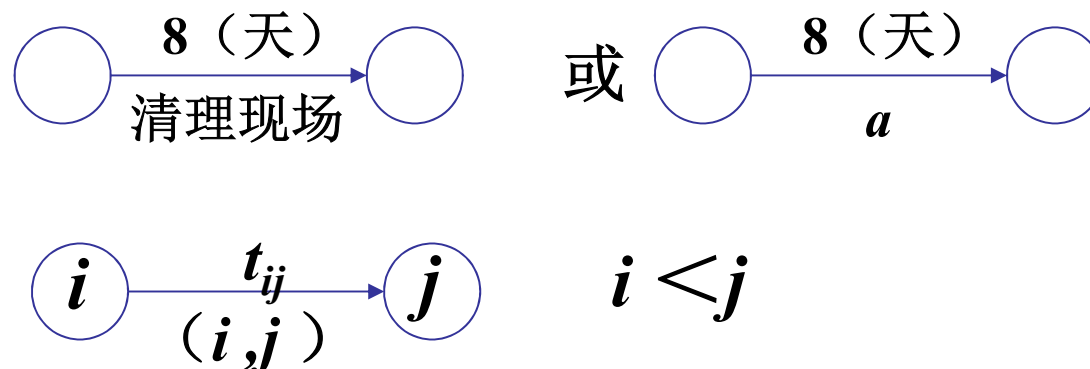
表明工作间的逻辑关系



网络图

❖画网络图的规则

双代号法（箭杆式）：

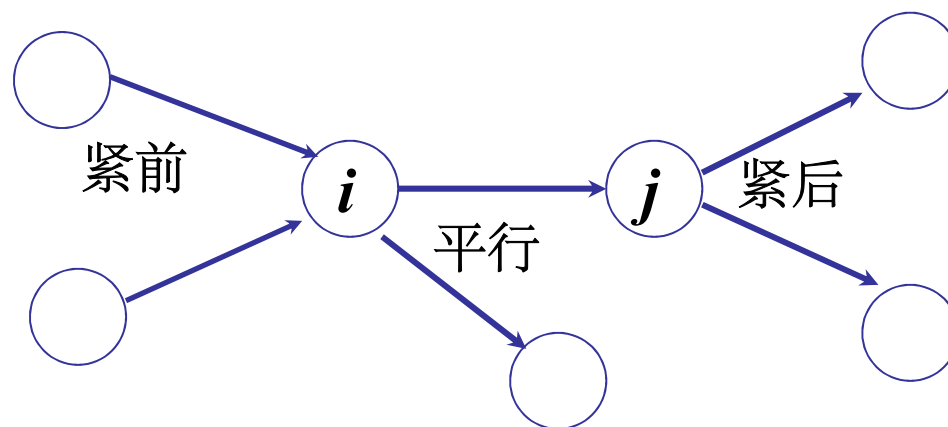


工作 a : (i, j) 事项: i, j

网络图

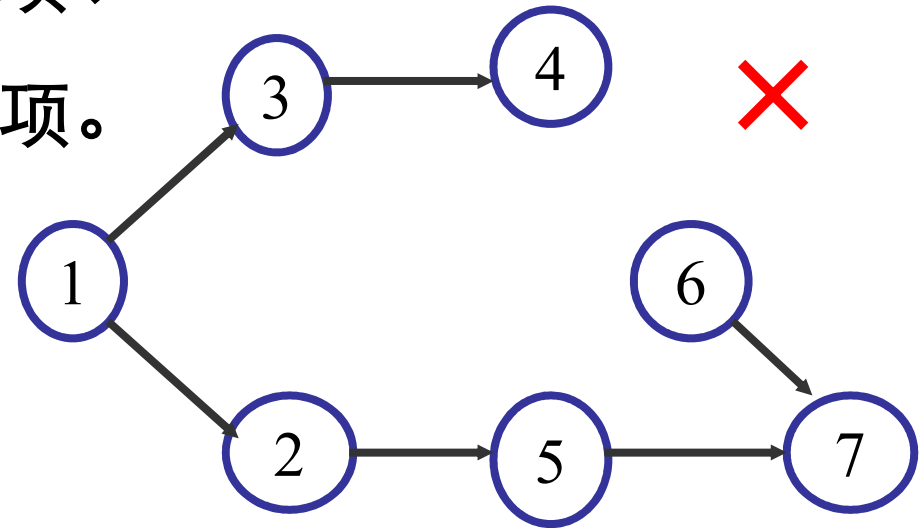
工作间的基本逻辑关系

对工作 (i, j) : 紧前工序、紧后工序、
平行工序。

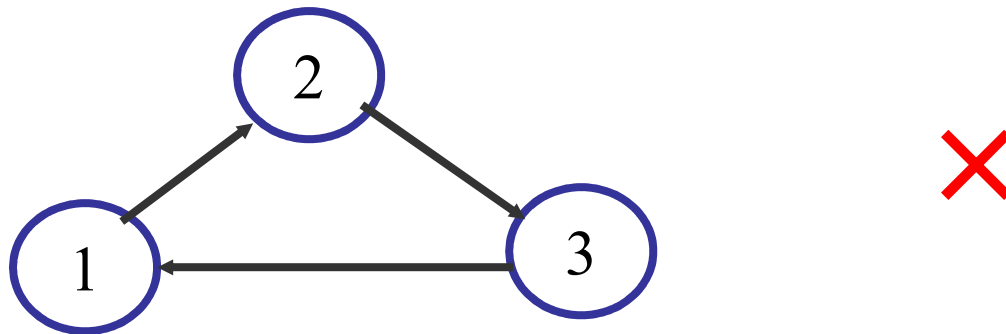


网络图

- 网络图：一个总起点事项、
一个总终点事项。

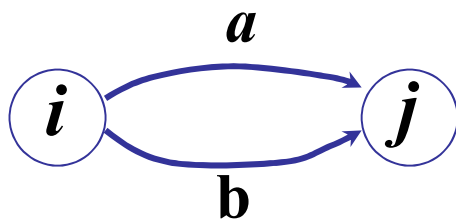


- 网络图是有向图，不允许有回路。

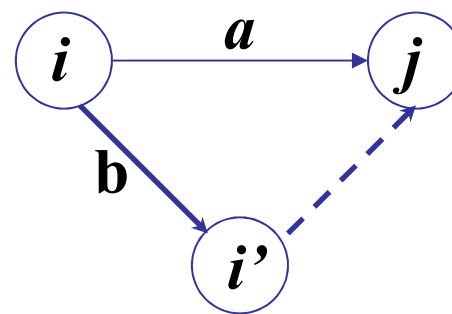


网络图

- 节点 i, j 之间不允许有两个或两个以上的工作。



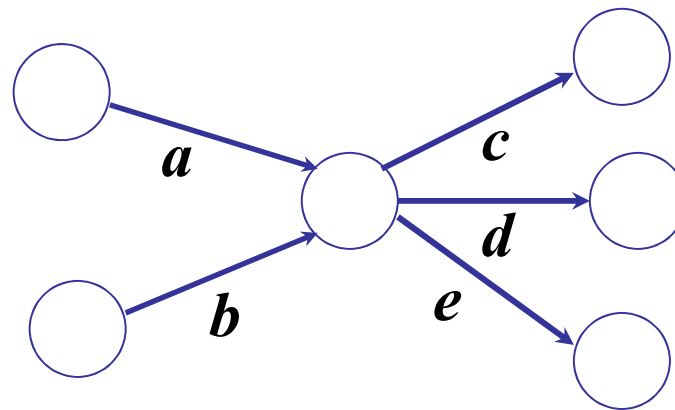
✗



✓

虚工序

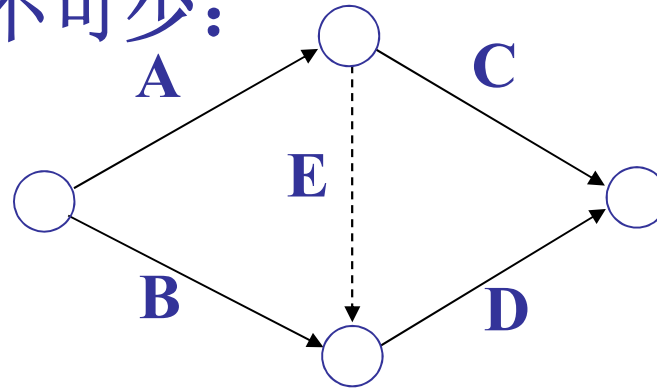
- 工序 c, d, e 是平行工序，它们的紧前工序都是 a 与 b 。



网络图

为了正确反映工序之间的逻辑关系，有时候也必须引入虚工序。

例如，某工程有 A、B、C、D 四道工序，工序 A 和 B 必须在 D 之前进行，工序 A 还必须在 C 之前进行，能正确反映工序之间逻辑关系的网络如下图所示，其中虚工序 E 必不可少：

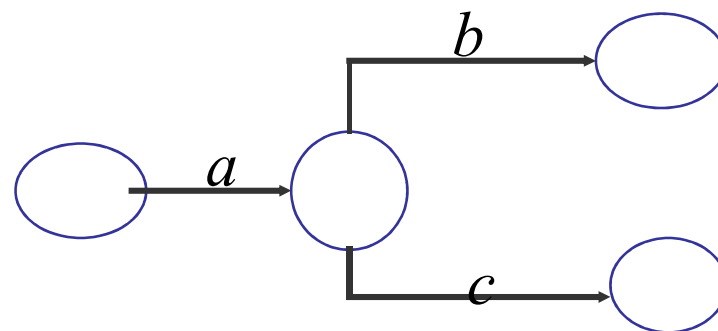


适当引入虚工序还可以简化计划网络的绘制过程。

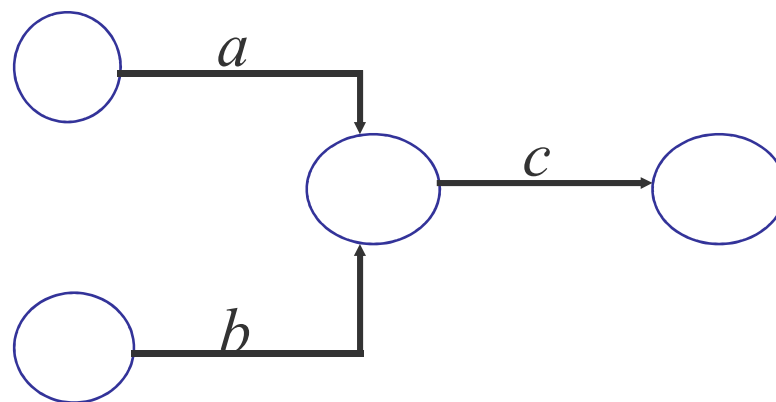
网络图

➤ 需正确表示工序之间的前行后继关系，工序之间的逻辑关系的分解图归纳如下：

(1) a 完成后进行 b 和 c

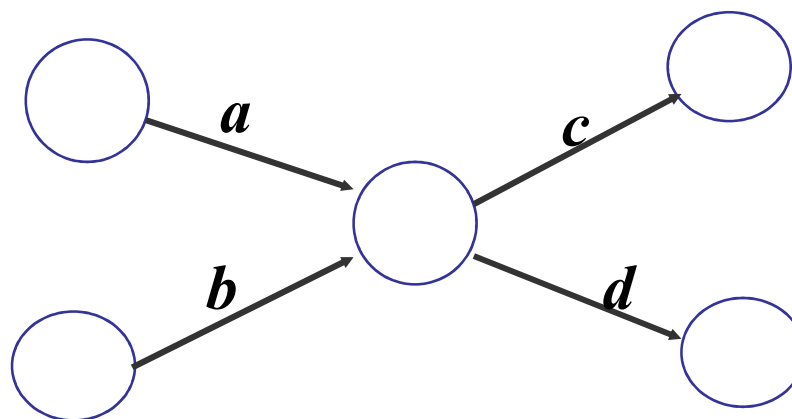


(2) a, b 均完成后进行 c

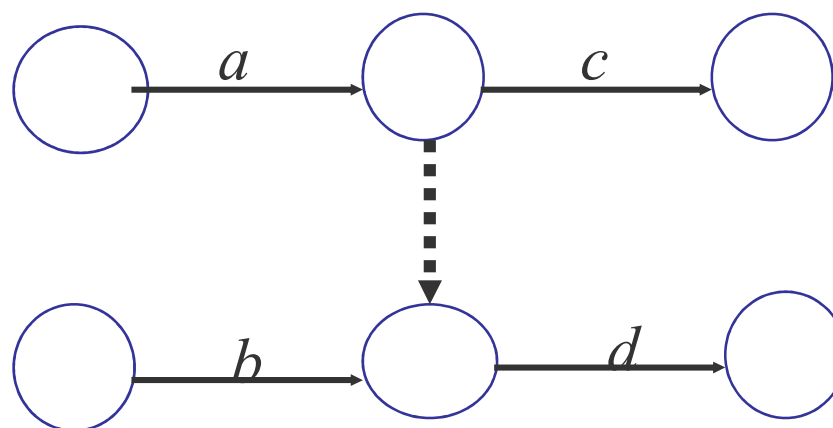


网络图

(3) a, b 均完成后进行 c 和 d

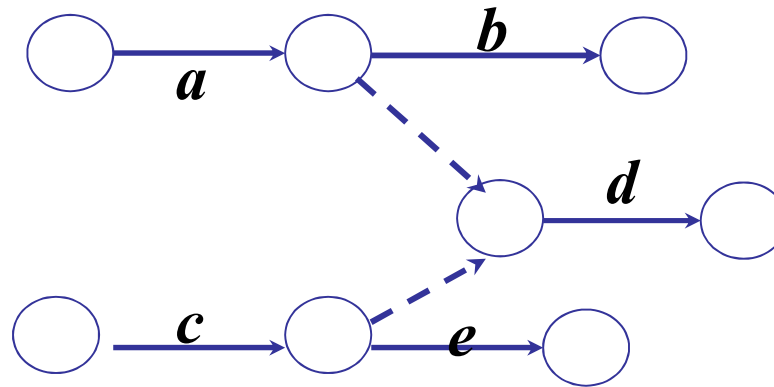


(4) a 完成后进行 c , a, b 完成后进行 d



网络图

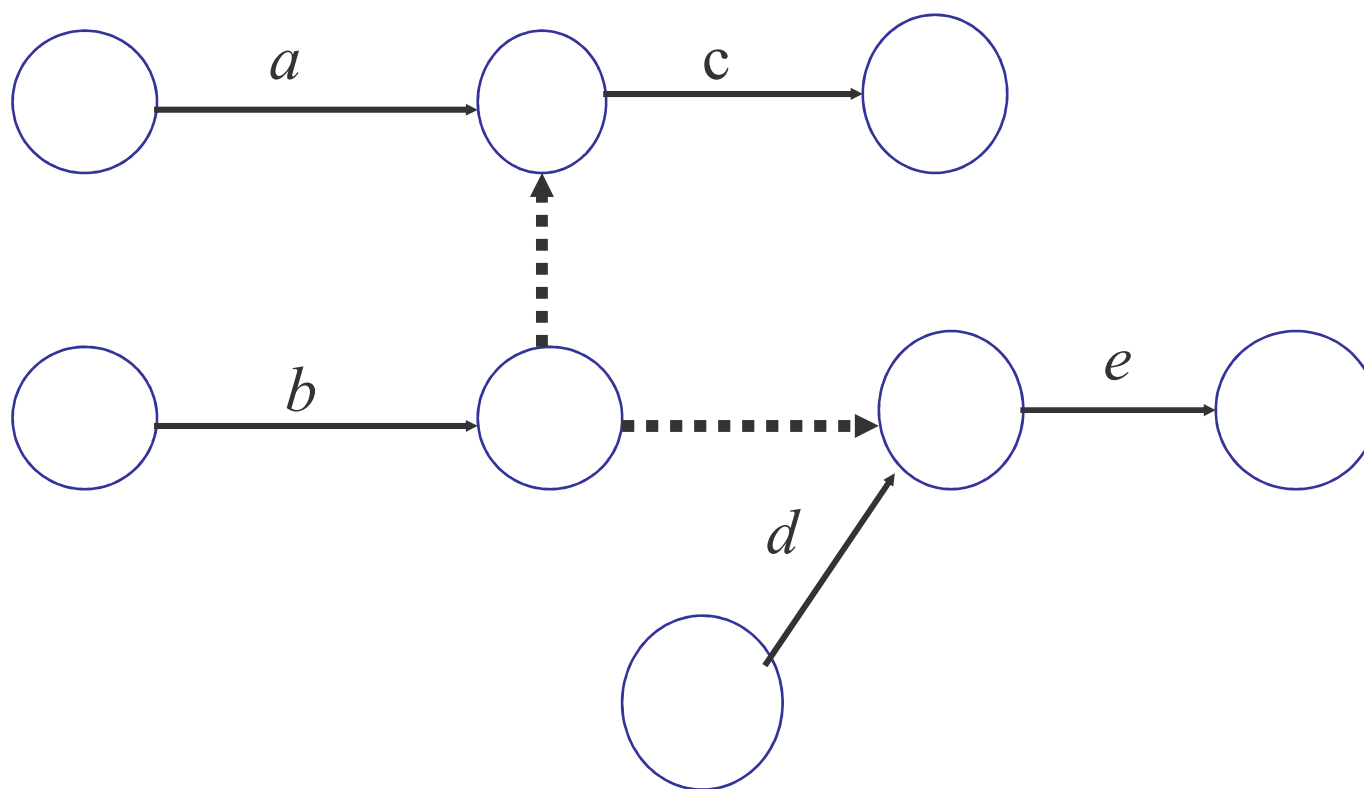
(5) a 完成后进行 b ， c 完成后进行 e ； a,c 完成后进行 d



虚工序：只表示相邻工作之间的逻辑关系，不占用资源的虚设工序。

网络图

(6) a, b 均完成后进行 c ; b, d 均完成后进行 e



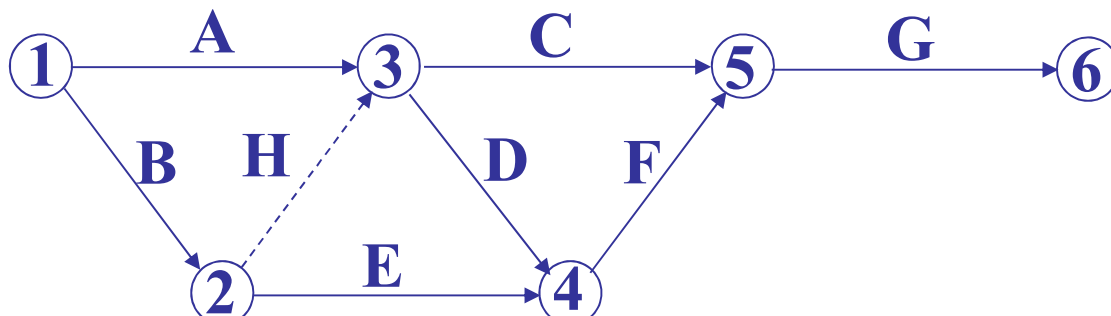
网络图

网络图的节点编号原则

按各节点代表的事项发生的时间顺序编号，编号通常从 1（或 0）开始。

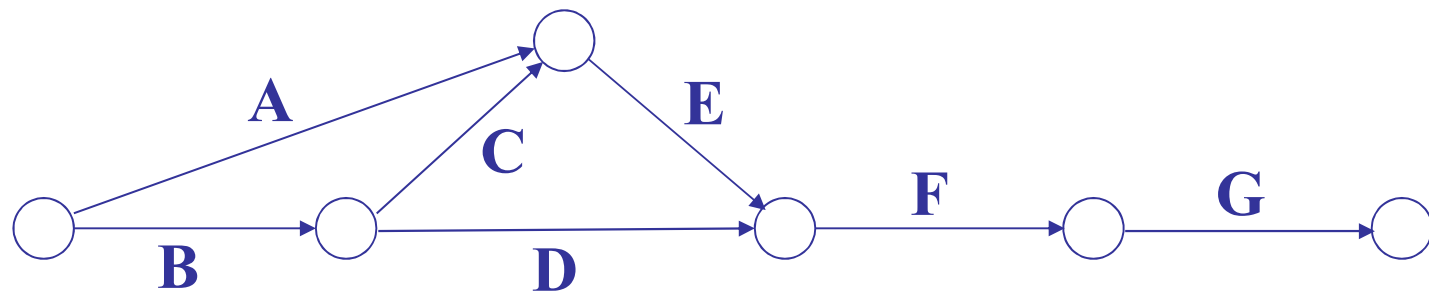
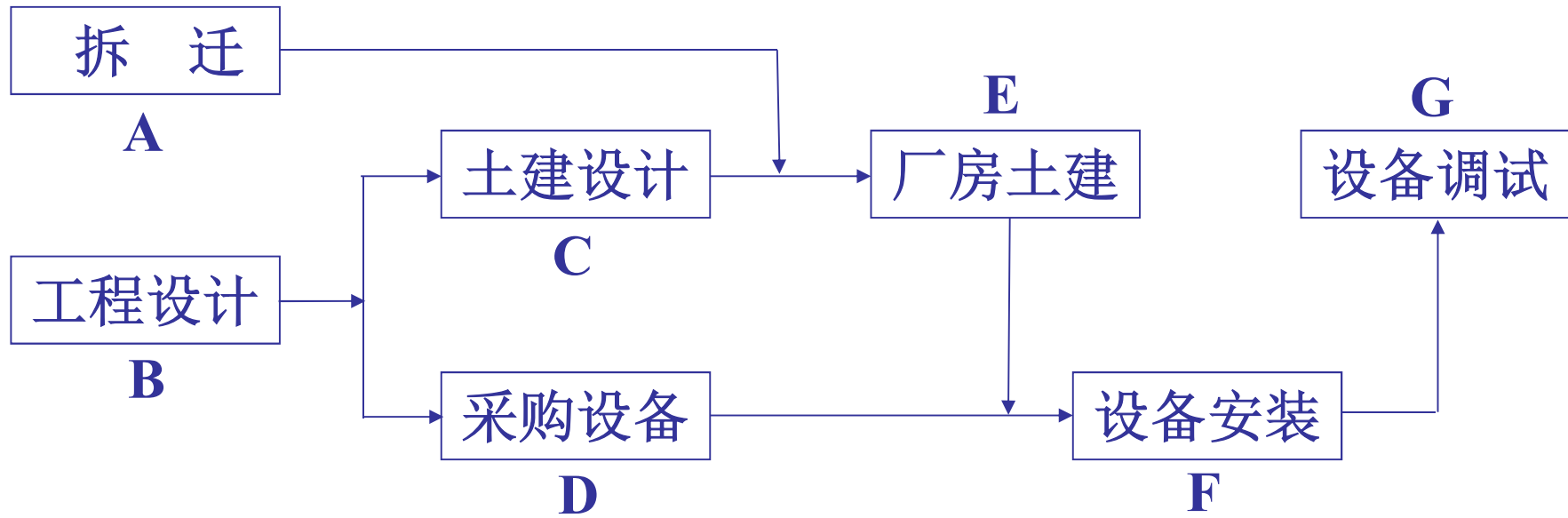
例.

工序	A	B	C	D	E	F	G
紧前工序	--	--	A,B	A,B	B	D,E	C,F
工时	15	10	14	10	5	5	20



网络图

例. 某工厂的建设分 7 道工序：



网络图

❖ 实例

由工序、事项及标有完成各道工序所需时间等参数所构成的图称为**网络图**（又称为工序流程图）。一般地，建立网络图分三步。

第一步，任务的分解(建立工序明细表)；

第二步，绘制网络图；

第三步，顺序编号。

网络图

例7.1 建造一座汽车库及引道的工程项目，从施工开始到全部结束需要多少时间？

1. 把整个工程分解成若干个环节-----工作；
2. 估算出每个环节所需要的时间-----工时；
3. 确定各个环节之间的相互联系，先做什么，后做什么，哪些可以同时施工-----紧前、紧后、平行关系；
4. 汇总上述各点予以具体分析，计算，得总工期。

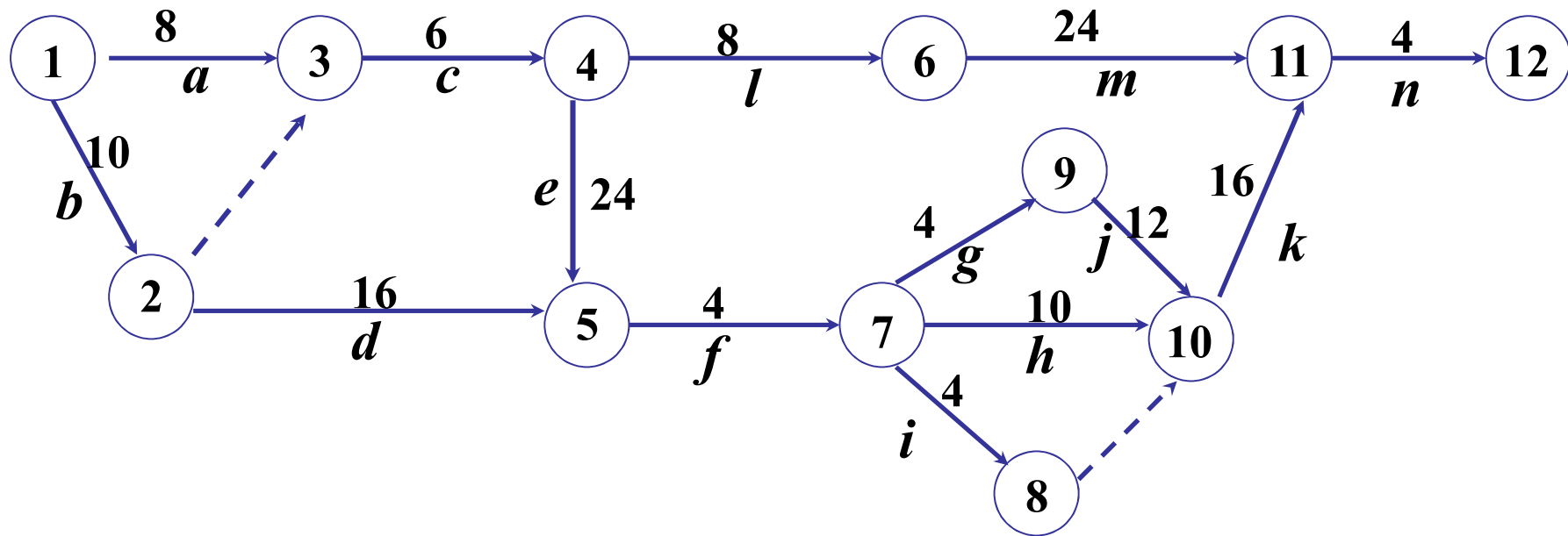
将工作及所需要时间、各工作之间的关系整理成表----工作清单。

第一步工作，需要熟悉工程的人员与统筹工作人员一道才能完成，不在本书的讨论之列。下面举例说明后两步工作。

网络图

代号	工序名称	工时（天）	紧前工序
a	清理现场	8	---
b	备料	10	----
c	车库地面施工	6	a , b
d	预制墙及房顶的桁架	16	b
e	车库混凝土地面保养	24	c
f	立墙架	4	d , e
g	立房顶桁架	4	f
h	装窗及边墙	10	f
i	装门	4	f
j	装天花板	12	g
k	油漆	16	h , i , j
l	引道混凝土施工	8	c
m	引道混凝土保养	24	l
n	清理现场，交工验收	4	k ,m

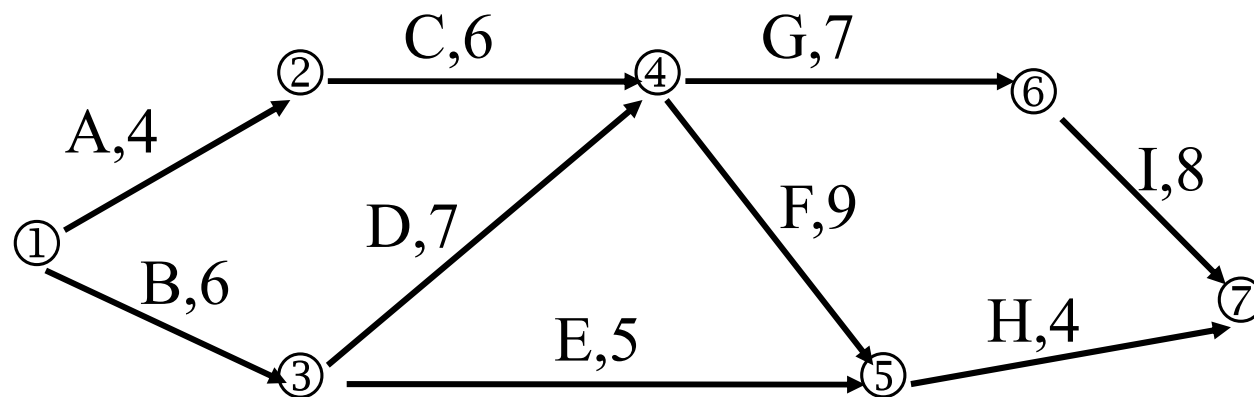
网络图



网络图

例7.2 工序明细表如下图：

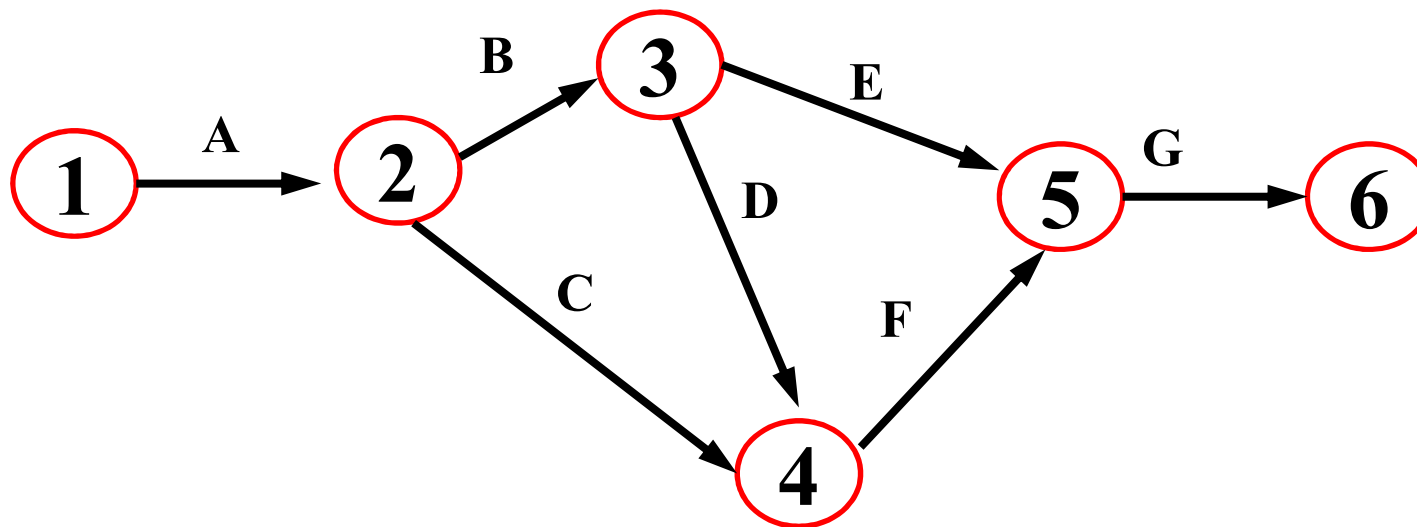
工 序	A	B	C	D	E	F	G	H	I
紧前工序	--	--	A	B	B	C、D	C、D	E、F	G
工序时间	4	6	6	7	5	9	7	4	8



网络图

例7.3 工序明细表如下图：

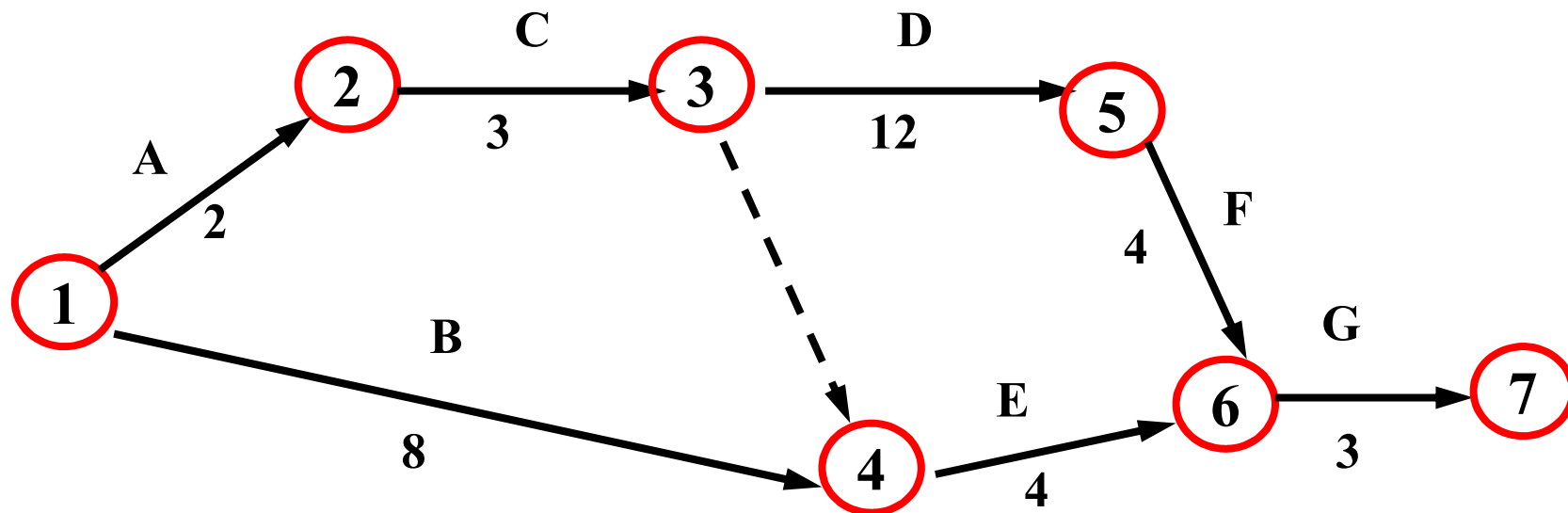
作业代号	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>C</i>	<i>F</i>	<i>G</i>
后续作业	<i>BC</i>	<i>DE</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	--



网络图

例7.4 工序明细表如下图：

代码	A	B	C	D	E	F	G
紧前工作	-	-	A	C	BC	D	EF



网络图

❖ 网络图分类

按工时估计的性质分类：

➤ 确定型网络图

——每一工作的工时估计一个值

➤ 概率型网络图

——每一工作的工时估计三个值：最快可能完成工时、最可能完成工时、最慢可能完成工时

网络图

按网络图的综合程度分：

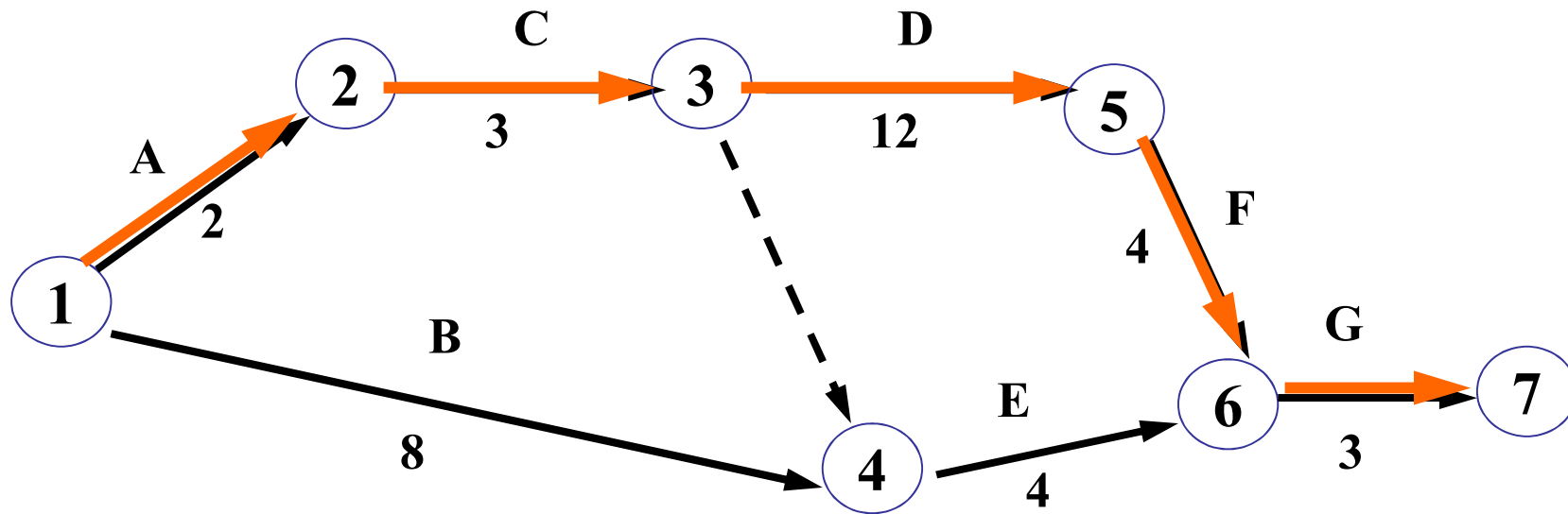
- 总网络图
- 多级网络图
- 其它
- 有时间坐标网络图
- 无时间坐标网络图

时间参数的计算

关键路线

——网络图中需时最长的路

图中用红线或粗线、双线画出



关键工作 关键路线上的工作

时间参数的计算

二、时间参数的计算

时间参数：

- 工作所需时间
- 事项最早、最迟时间
- 工作的最早、最迟时间及时差等

时间参数的计算

❖ 工作时间 $t(i,j)$ 的确定

确定型：

根据定额资料或统计资料确定工时

概率型：三点时间估计法

a — 最快可能完成时间（最乐观时间）

m — 最可能完成时间

b — 最慢可能完成时间（最悲观时间）

估计

$$t(i, j) = \frac{a + 4m + b}{6}$$

方差 $\sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2$

时间参数的计算

- 确定型：以前多次执行过的、有可靠的生产定额值的，可以一个确定的时间作为它的工时
- 概率型：初次执行，无资料可循

时间参数的计算

❖ 事项时间参数

● 事项的最早时间

$$\begin{cases} t_E(1) = 0 \\ t_E(j) = \max_i \{t_E(i) + t(i, j)\} \end{cases}$$

$t_E(n)$ = 总最早完工期

$t_E(i)$ —与事项*j*相邻的各紧前事项的最早时间

● 事项的最迟时间

$$\begin{cases} t_L(n) = \text{总工期 (或 } t_E(n)) \\ t_L(i) = \min_j \{t_L(j) - t(i, j)\} \end{cases}$$

$t_L(j)$ —与事项*i*相邻的各紧后事项的最迟时间

时间参数的计算

❖ 工作的时间参数

- 工作的最早可能开工时间、最早可能完工时间

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{ES}(1, j) = 0 \\ t_{ES}(i, j) = \max_k \{t_{ES}(k, i) + t(k, i)\} \\ t_{EF}(i, j) = t_{ES}(i, j) + t(i, j) \end{array} \right.$$

时间参数的计算

- 工作的最迟必须开工时间、
最迟必须完工时间

$$t_{LF}(i, n) = \text{总完工期 (或 } t_{EF}(i, n))$$

$$t_{LS}(i, j) = \min_k \{t_{LS}(j, k) - t(i, j)\}$$

$$t_{LF}(i, j) = t_{LS}(i, j) + t(i, j)$$

时间参数的计算

❖ 时差

➤ 时差：工作的机动时间或富裕时间

● 工作的总时差

在不影响其紧后工作最迟必须开工时间的前提下，本工作可以推迟的时间

$$\begin{aligned} R(i, j) &= t_{LF}(i, j) - t_{EF}(i, j) \\ &= t_{LS}(i, j) - t_{ES}(i, j) \end{aligned}$$

时间参数的计算

●工作的单时差

在不影响其紧后工作最早可能开工时间的前提下，本工作可以推迟的时间

$$r(i, j) = t_{ES}(j, k) - t_{EF}(i, j)$$

时间参数的计算

❖ 时间参数的表上计算法

工序	i	j	t(i,j)	ES	EF	LS	LF	R	r
A	①	②	4	0	4	3	7	3	0
B	①	③	6	0	6	0	6	0	0
C	②	④	6	4	10	7	13	3	3
D	③	④	7	6	13	6	13	0	0
E	③	⑤	5	6	11	19	24	13	11
F	④	⑤	9	13	22	15	24	2	0
G	④	⑥	7	13	20	13	20	0	0
H	⑤	⑦	4	22	26	24	28	2	2
I	⑥	⑦	8	20	28	20	28	0	0

网络计划的优化

三、网络计划的优化

优化方法

把串联工作改为平行工作或平行交叉工作

利用时差

有限资源的合理分配

最低成本日程

自学

3. 网络计划的优化问题

(1) 赶工问题（工期优化）

要缩短工程的总工期，必须压缩关键工序的作业时间，称为赶工。 工序的作业时间有一个压缩限度，称为赶工工时（极限工时）。 每压缩工序的作业时间一个单位所需要付出的代价，称为赶工成本。

工序在正常情况下的作业时间称为正常工时。

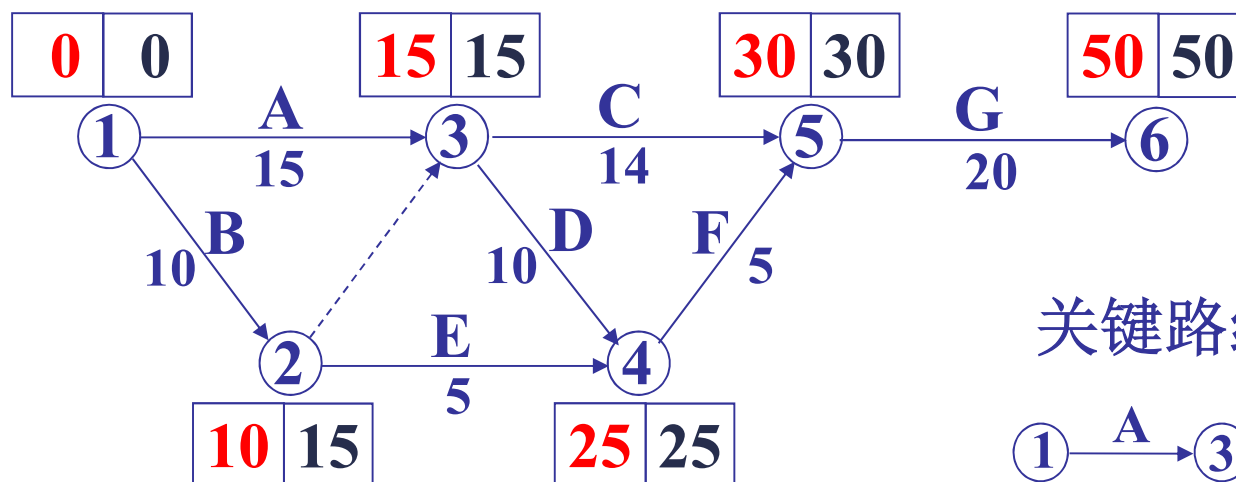
赶工问题： 在限定总工期不超过给定值的前提下，求总赶工成本最省的作业方案。



续上例，限定总工期不超过 42，求赶工成本最省的作业方案，其中各工序的赶工工时和赶工成本如下：

工序	A	B	C	D	E	F	G
正常工时	15	10	14	10	5	5	20
赶工工时	12	7	10	7	4	3	15
赶工成本	4	2	2	2	2	4	5

正常工时下总工期为 50

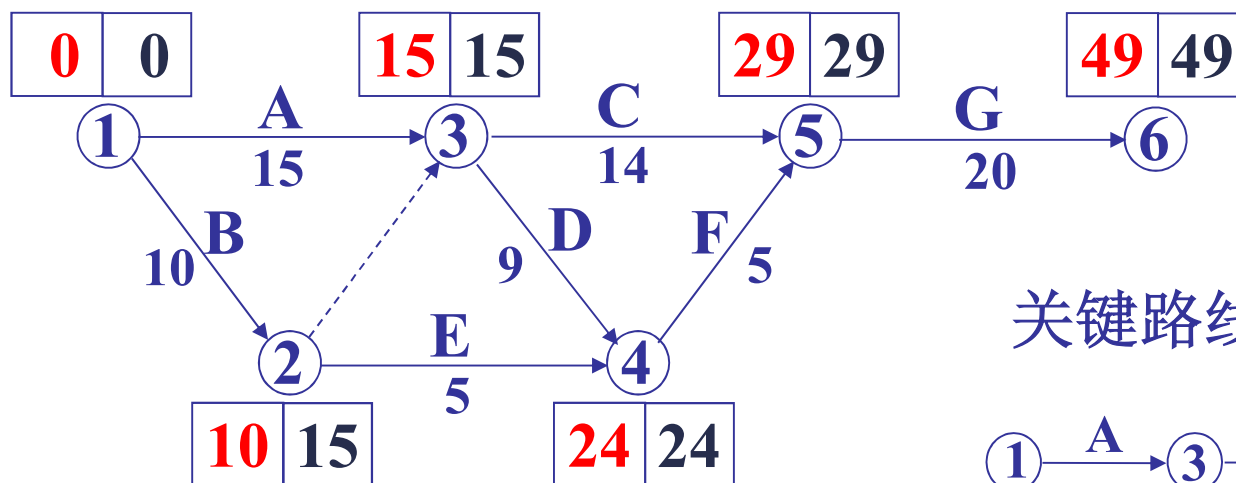


关键路线：



工序	A	B	C	D	E	F	G
正常工时	15	10	14	10	5	5	20
赶工工时	12	7	10	7	4	3	15
赶工成本	4	2	2	2	2	4	5

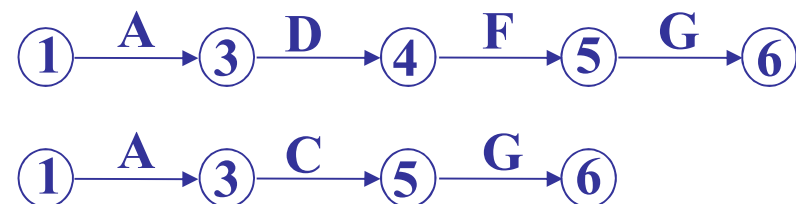
压缩 D 的作业时间一个单位:



4 种赶工方案:

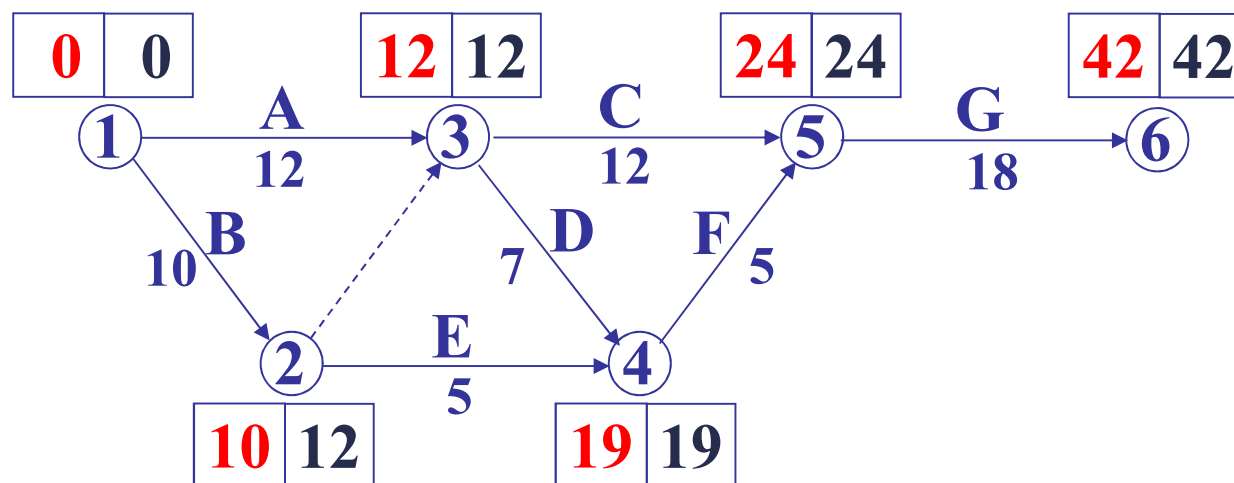
压缩 A
压缩 C、D
压缩 C、F
压缩 G

关键路线:



工序	A	B	C	D	E	F	G
正常工时	15	10	14	10	5	5	20
赶工工时	12	7	10	7	4	3	15
赶工成本	4	2	2	2	2	4	5

压缩 A 三个单位, C、D 各二个单位, G 二个单位:



总赶工成本 $2 \times 1 + 4 \times 3 + 4 \times 2 + 5 \times 2 = 32$

