

双代号网络计划

2.2

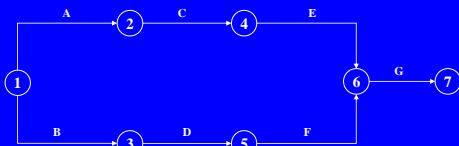
目录

- (一) 双代号网络图的构成与基本符号
- (二) 双代号网络图的绘制方法
- (三) 双代号网络图的时间参数
- (四) 按活动计算法计算时间参数
- (五) 按节点计算法计算时间参数
- (六) 双代号网络的关键活动和关键线路的确定

(一) 双代号网络图的构成与基本符号

● 双代号网络图

- 由若干箭线和节点组成
- 每一项活动用一根箭线和两个节点表示
 - 如活动1-2
 - 双代号的名称由此而来



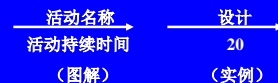
(1) 箭线

- 在双代号网络图中，一条箭线与其两端的节点表示一项活动（又称工作、作业、工序）
 - 活动可大可小，视情况而定
 - 活动要占用一定的时间，一般也要消耗一定资源。凡是占用一定时间的过程都应看作一项活动
- 在时无标的网络图中，箭线的长短并不反映活动占用时间的长短
- 箭线所指的方向表示活动进行的方向，箭尾表示活动的开始，箭头表示活动的结束，一条箭线表示了活动的全部内容

(讨论)

- 为什么活动可大可小？
- 活动的大小与什么因素有关？

- 活动名称标注在箭线的上方，活动的持续时间（也称作业时间）标注在下方

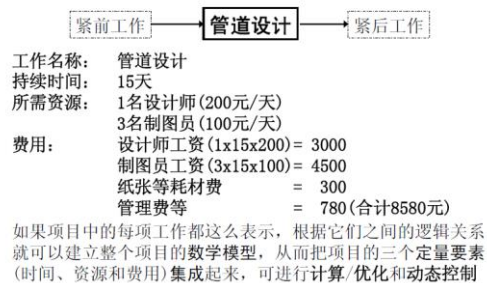


- 两项活动串联时，代表两项活动的箭线也串联；两项活动平时，箭线也平行
 - 紧前活动
 - 紧后活动
 - 平行活动

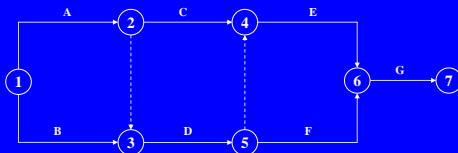
(讨论)

- 怎么理解紧前、紧后和平行？
- 活动模型应包括哪些要素？

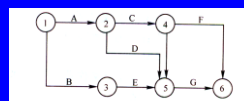
项目中一项工作的基本模型



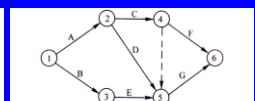
- 在双代号网络图中, 除了表示活动的实箭线, 还有表示虚活动的虚箭线
- 虚活动是虚拟的, 没有名称, 不占用时间, 不消耗资源, 主要作用是在网络图中解决活动之间的连接关系问题



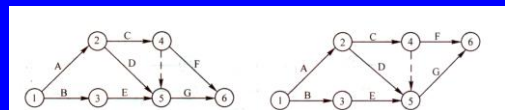
- 箭线可以是水平直线, 也可以是折线或斜线
- 在同一张网络图上, 箭线的画法要求统一, 图面要求整齐醒目



水平式网络图



对称式网络图



骨架式网络图

(2) 节点

- 在双代号网络图中, 节点用圆圈表示, 表示一项活动的开始或结束



- 节点分箭尾节点(开始节点)和箭头节点(结束节点)
- 节点只是一个时间点(“瞬间”), 既不消耗时间也不消耗资源
- 事件(Event)是满足一定条件的时间点。里程碑(Milestone)是一种事件, 是项目中的重大事件。

(讨论)

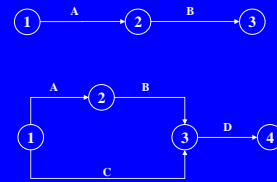
- 如何正确理解节点的含义？
- 如何正确理解事件？
- 里程碑这个概念有什么作用？

- 箭线可分为内向箭线（内向活动）和外向箭线（外向活动）



- 网络图中第一个节点叫起点节点，表示项目的开始；最后一个节点叫终点节点，表示项目的完成；其他节点叫中间节点

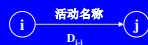
- 一项活动若只有一项紧前活动，则这项紧前活动结束的时刻，就是该活动的可能开始时刻；若该项活动有数项紧前活动，则要待全部紧前活动结束后，才有可能开始这项活动



（3）节点编号

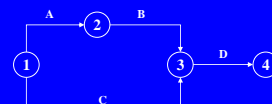
- 为了便于网络图的检查和计算，所有节点均应统一编号
- 箭尾节点的编号一般应小于箭头节点的编号
- 活动用其箭线前后两个节点的编号表示

（4）一项活动的完整表示方法



（5）线路

- 从起始节点开始，沿着箭线的方向连续通过一系列箭线与节点，最后到达终止节点的通路称为线路
- 每一条线路都有自己确定的完成时间（路长），等于该线路上各项活动的持续时间的总和



- 根据路长，线路可分为关键线路、次关键线路和非关键线路
 - 路长最长的线路称为关键线路，关键线路上的活动称为关键活动
 - 关键线路可能不止一条
 - 关键线路并不是一成不变的

（讨论）

- 进度风险管理应着重考虑什么线路？
- 项目质量管理应着重考虑什么线路？
- 项目成本管理应着重考虑什么线路？

(二) 双代号网络图的绘制方法

(1) 双代号网络图逻辑关系的正确表示方法

● 逻辑关系

— 硬逻辑关系（活动之间的强制性依赖关系）

- 客观的、固有的，不能随意改变的关系
- 工艺要求



— 软逻辑关系（活动之间可自由处理的依赖关系）

- 人为安排的关系，是可以优化的
- 组织关系



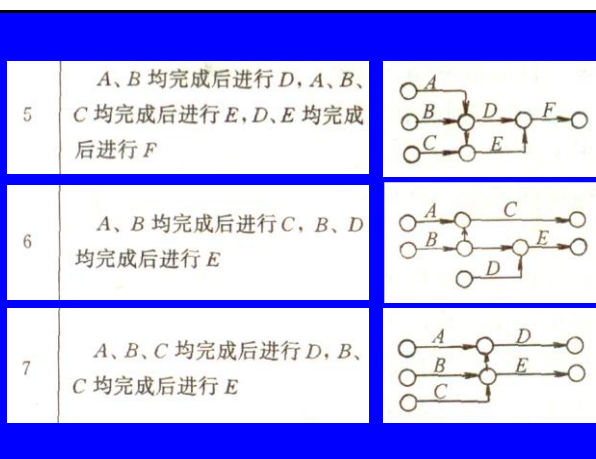
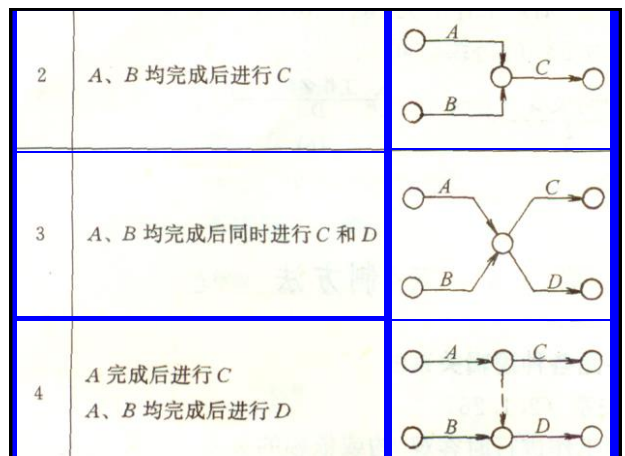
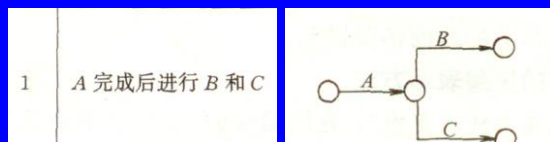
(讨论)

- 软逻辑关系对进度管理有什么用？

● 识别活动的逻辑关系

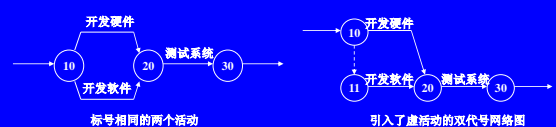
- 该活动必须在哪些活动之前进行？
- 该活动必须在哪些活动之后进行？
- 该活动可以与哪些活动平行进行？

● 常见逻辑关系的正确表示方法

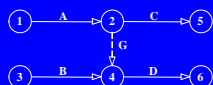


(2) 虚箭线在双代号网络图中的应用

- 情况一：多个活动有共同的开始节点和完成节点



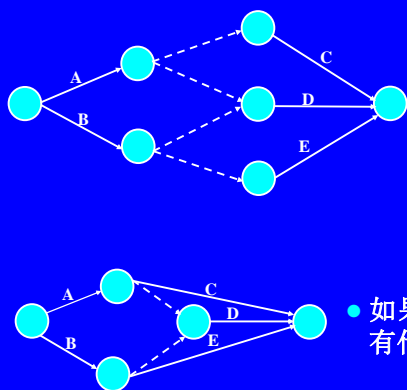
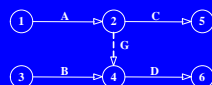
- 情况二：多个活动都有一个共同的紧后（或紧前）活动，同时这多个活动中的一个或几个活动还另有其他的紧后（或紧前）活动，这时需要添加虚活动



- 在绘制双代号网络图时，虚箭线的使用是非常重要的，但应以必不可少为限度

（思考）

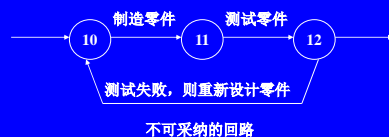
- 如果B还有自己的活动E，该如何处理？



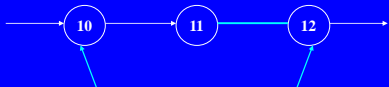
- 如果去掉E后，有什么问题？

（3）双代号网络图绘制的基本规则

- 双代号网络图必须正确表达已定的逻辑关系
- 双代号网络图中严禁出现回路



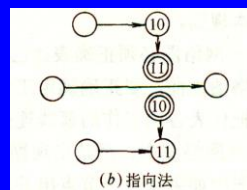
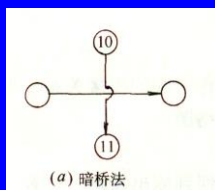
- 在双代号网络图中严禁出现带双箭头或无箭头的连线



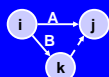
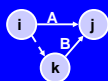
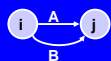
- 在双代号网络图中严禁出现没有箭头节点或没有箭尾节点的箭线



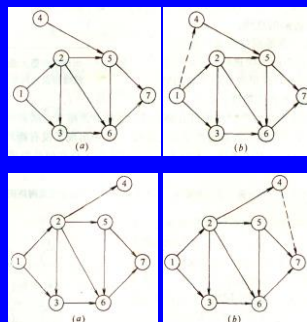
- 绘制网络图时，箭线不宜交叉，当交叉不可避免时，可用过桥法或指向法



- 两个相邻节点间只允许有一条箭线直接相连



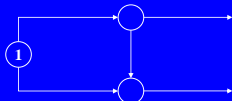
- 双代号网络图中应只有一个起始节点和一个终点节点



如何进一步简化?

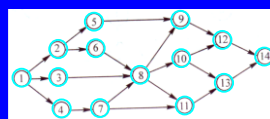
(4) 网络图的编号

- 节点编号的目的
 - 赋予每项活动一个代号
 - 便于网络图的时间参数计算
- 节点编号的规则
 - 编号不能重复
 - 考虑到网络图可能增添某些活动, 可采用不连续编号法, 如1、3、5……或1、5、10……
 - 活动开始节点号必须小于结束节点号

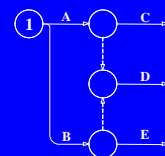


- 节点编号的方法

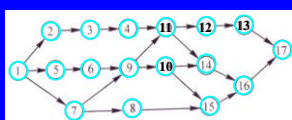
- 垂直编号法。自左至右逐列按垂直方向由上到下或由下到上对节点进行编号的方法。垂直箭头较多时, 不宜采用这种方法。



垂直编号法



- 水平编号法。自上而下逐行按水平方向从左到右对节点进行编号的方法。当遇到一个节点为多个活动的结束节点, 而这些活动的开始节点未全部编号时, 转另一水平线依同样方向进行编号。



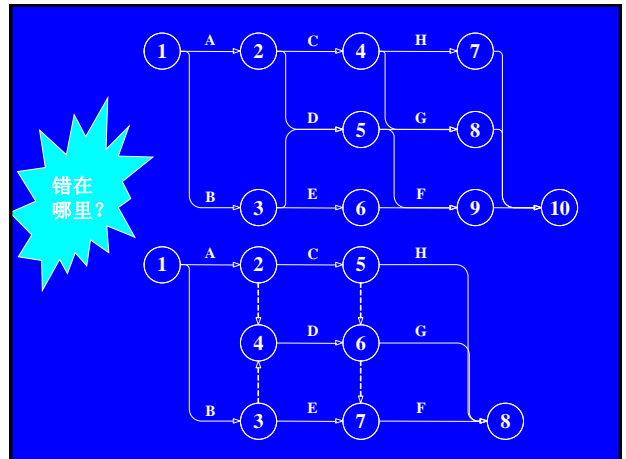
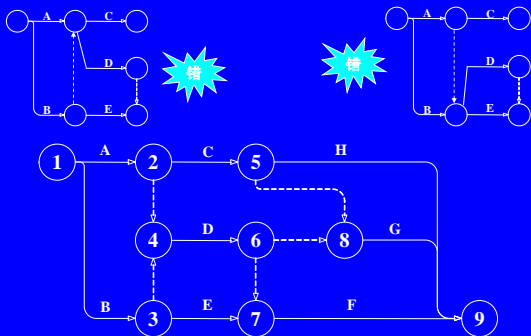
水平编号法

(5) 网络图的绘制

- 顺推法
 - 从没有紧前活动的活动开始, 依次向后, 并将最后的的活动结束于一点, 形成一个终点节点
 - 利用逆推法检查
 - 节点编号
- 逆推法
- 示例

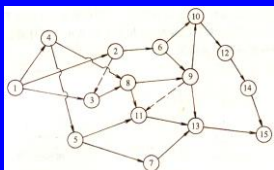
活动	A	B	C	D	E	F	G	H
紧前活动	—	—	A	AB	B	DE	CD	C
紧后活动	CD	DE	GH	FG	F	—	—	—

活动	A	B	C	D	E	F	G	H
紧前活动	—	—	A	AB	B	DE	CD	C
紧后活动	CD	DE	GH	FG	F	—	—	—

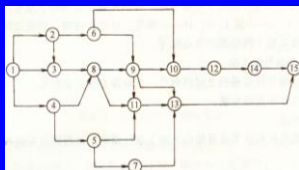


(6) 网络图的结构

- 网络图除了要符合逻辑，图面还必须清晰，要进行合理的布置
- 在正式绘制网络图之前，最好先绘成草图，然后再加整理



零乱的网络图

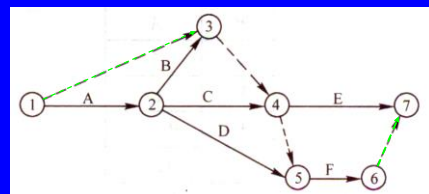


整理好的网络图

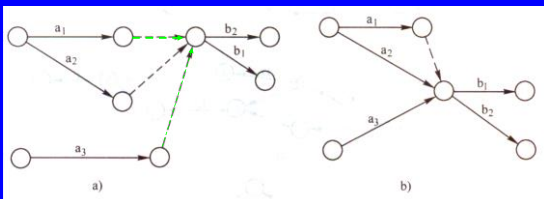
(7) 练习

- 指出下列网络图中的不当之处

活动	A	B	C	D	E	F
紧前活动	—	A	A	A	BC	BCD



- 指出下列网络图中的不当之处

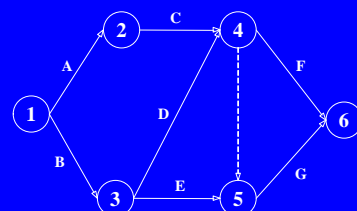


- 绘制双代号网络图

活动	A	B	C	D	E	F	G
紧前活动	—	—	A	B	B	CD	CDE

绘制双代号网络图答案

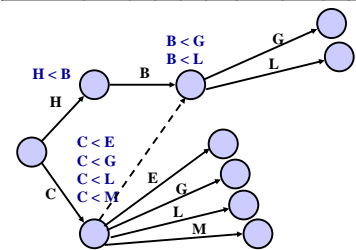
活动	A	B	C	D	E	F	G
紧前活动	—	—	A	B	B	CD	CDE
紧后活动	C	DE	FG	FG	G	—	—



(补充)

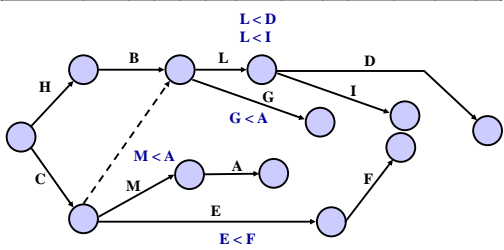
例. 某工程有12项活动, 关系如下表, 用顺推法绘制箭线型网络图。

活动	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M
紧前活动	GM	H	--	L	C	AE	BC	--	AL	FI	BC	C



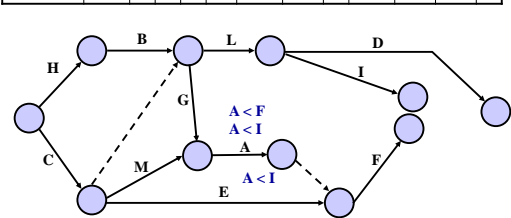
例. 某工程有12项活动, 关系如下表, 用顺推法绘制箭线型网络图。

活动	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M
紧前活动	GM	H	--	L	C	AE	BC	--	AL	FI	BC	C



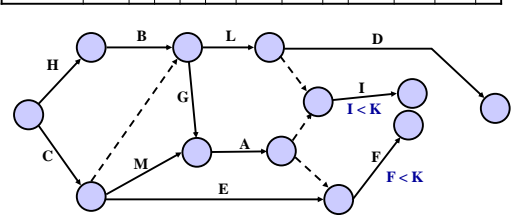
例. 某工程有12项活动, 关系如下表, 用顺推法绘制箭线型网络图。

活动	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M
紧前活动	GM	H	--	L	C	AE	BC	--	AL	FI	BC	C



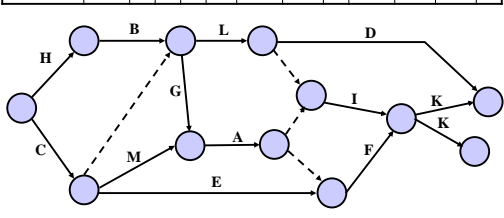
例. 某工程有12项活动, 关系如下表, 用顺推法绘制箭线型网络图。

活动	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M
紧前活动	GM	H	--	L	C	AE	BC	--	AL	FI	BC	C

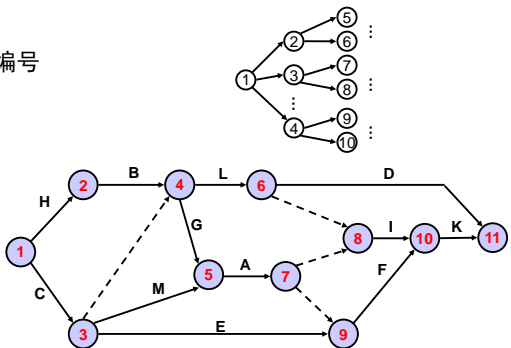


例. 某工程有12项活动, 关系如下表, 用顺推法绘制箭线型网络图。

活动	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M
紧前活动	GM	H	--	L	C	AE	BC	--	AL	FI	BC	C



编号



(三) 双代号网络图的时间参数

(1) 节点参数

● 节点最早时间

指该节点的内向活动可以完成的最早时刻，也是各外向活动可以开始的最早时刻

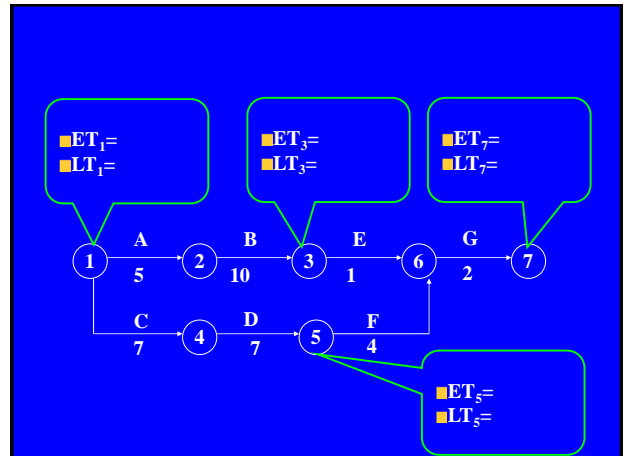
– ET_i (Earliest Event Time)



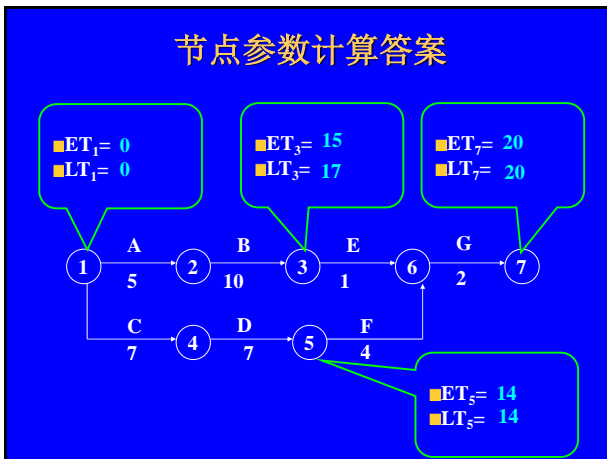
● 节点最迟时间

指在不影响总工期的前提下，该节点的内向活动必须完成的最迟时刻，也是各外向活动必须开始的最迟时刻

– LT_i (Latest Event Time)



节点参数计算答案



(2) 活动参数

1) 活动持续时间 (Duration)

● 用 $D_{i,j}$ 表示

2) 活动最早时间

● 活动最早开始时间

– 本活动可以开始的最早时刻，也就是其紧前活动可以结束的最早时刻

– $ES_{i,j}$ (Earliest Start Date)

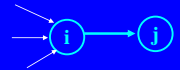
– 显然 $ES_{i,j} = ET_i$

● 活动最早完成时间

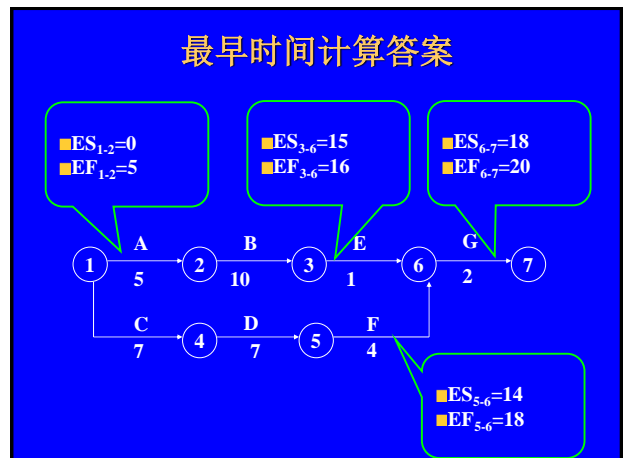
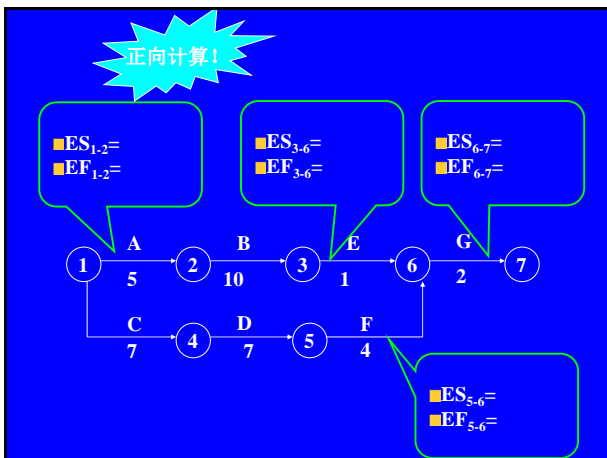
– 本活动可以完成的最早时刻

– $EF_{i,j}$ (Earliest Finish Time)

– $EF_{i,j} = ES_{i,j} + D_{i,j}$



最早时间计算答案



3) 活动最迟时间

● 活动最迟开始时间

- 指在不影响项目如期完工的前提下，本活动必须开始的最迟时刻

– LS_{i-j} (Latest Start Date)

● 活动最迟完成时间

- 指在不影响项目如期完工的前提下，本活动必须完成的最迟时刻，也就是其紧后活动必须开始的最迟时刻

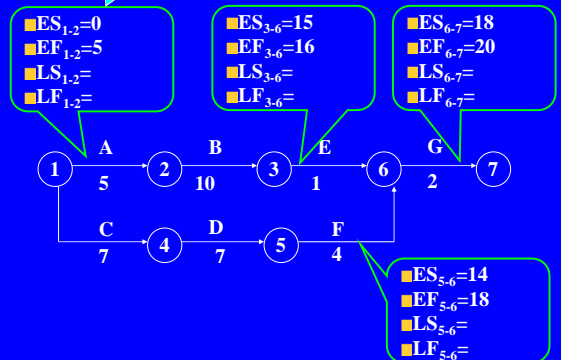
– LF_{i-j} (Latest Finish Date)

– $LF_{i-j} = LS_{i-j} + D_{i-j}$

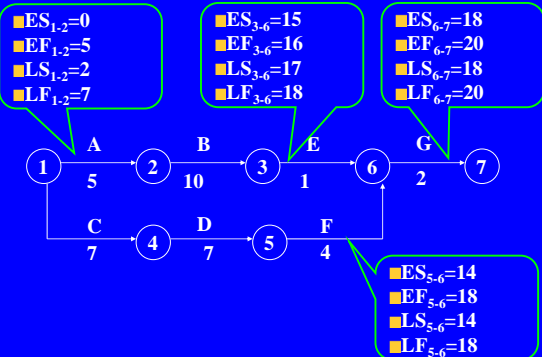
– 显然 $LF_{i-j} = LT_j$



反向计算!



最迟时间计算答案



4) 时差

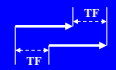
● 指活动可以机动使用的时间

● 活动总时差

- 在不影响总工期的前提下，本活动可以利用的机动时间

– TF_{i-j} (Total Float)

– $TF_{i-j} = LS_{i-j} - ES_{i-j} = LF_{i-j} - EF_{i-j}$



● 活动自由时差

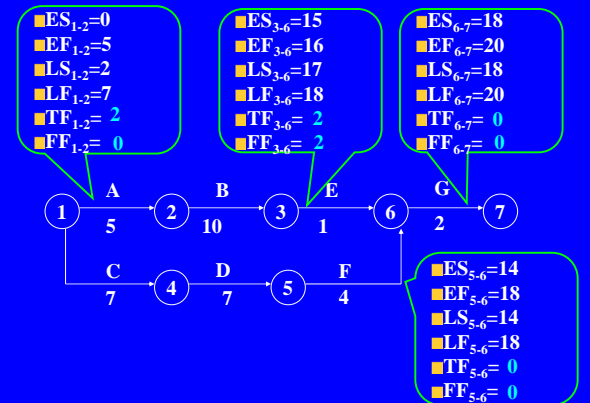
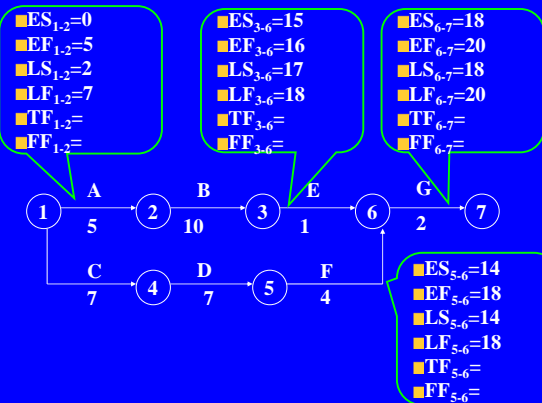
- 在不影响其紧后活动最早开始的前提下，本活动可以利用的机动时间

– FF_{i-j} (Free Float)

– $FF_{i-j} = ES_{j-k} - EF_{i-j}$, $j-k$ 为 $i-j$ 的紧后活动

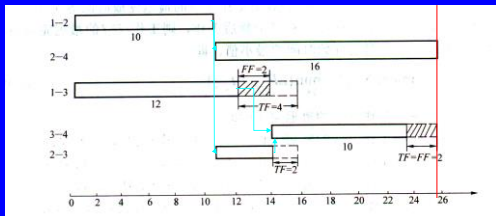


时差计算答案



● 看下图思考

- 自由时差是真实存在的吗？
- 总时差是真实存在的吗？
- 活动如何使用时差？
- 活动对时差是绝对拥有吗？



时差思考答案

- 自由时差是真实存在的，总时差是自由时差的复合
- 活动对时差的使用：活动结束时间的后移
 - 活动整体后移
 - 活动的持续时间拉长
 - 兼有
- 活动对时差的拥有
 - 不是绝对拥有，因此在项目执行中要不断更新时差数据

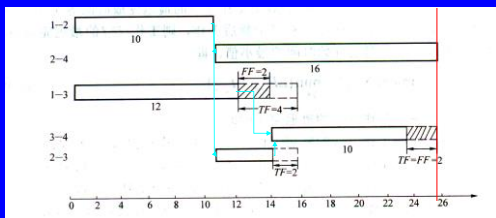
- 对任何工作，总有 $TF \geq FF$

- 思考：除了关键工作，什么条件下=也成立？

- 思考：证明 $TF_i = FF_i + \min\{TF_j\}$ (只适用于双代号网络图，不适用于单代号网络图)

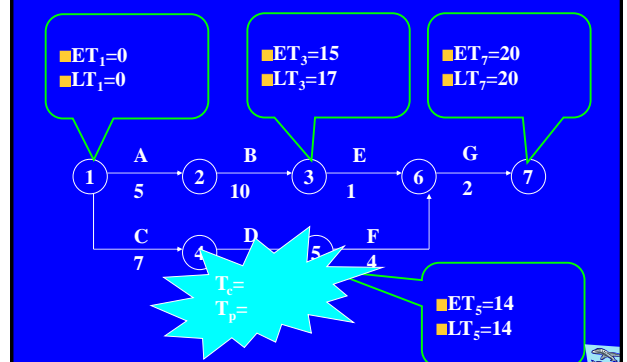
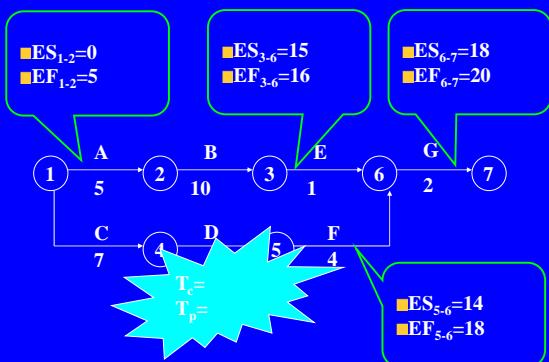
- 对前面问题：什么条件下 $TF=FF$ 的答案：

- 当一项工作的紧后工作是关键工作时(只适用于双代号网络图，不适用于单代号网络图)



(3) 线路参数

- 计算工期, T_c
 - $T_c = \max [EF_{m-n}]$ (n为终点节点)
 - $T_c = ET_n$
- 要求工期, T_r
- 计划工期, T_p
 - 规定了要求工期时, $T_p \leq T_r$
 - 未规定要求工期时, $T_p = T_c$



(四) 按活动计算法计算时间参数

- 按活动计算，双代号网络的时间参数的标注



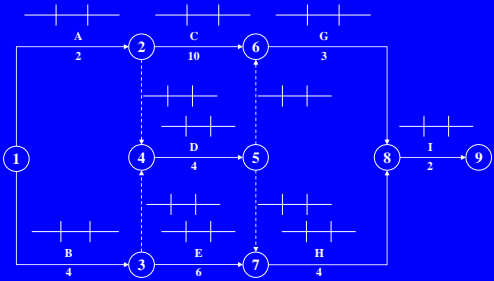
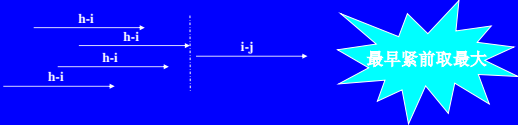
● 计算步骤

- 第一，以网络计划起点节点为开始节点的活动，其最早开始时间为0，再顺着箭线方向，依次计算各项活动的最早开始时间 $ES_{i,j}$ 和最早完成时间 $EF_{i,j}$
- 第二，确定网络计划的计算工期 T_c 和计划工期 T_p
- 第三，从网络计划的终点节点开始，逆着箭线方向，依次计算各项活动的最迟完成时间 $LF_{i,j}$ 和最迟开始时间 $LS_{i,j}$
- 第四，计算各项活动的总时差和自由时差

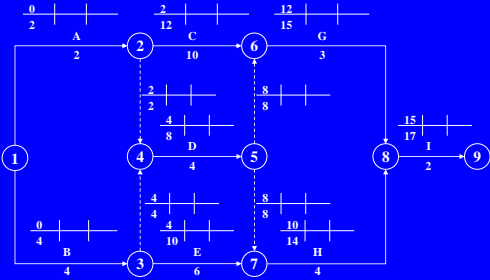
● 第一步

- 以网络计划起点节点为开始节点的活动，其最早开始时间为0，再顺着箭线方向，依次计算各项活动的最早开始时间 $ES_{i,j}$ 和最早完成时间 $EF_{i,j}$

时间参数	计算公式
活动最早开始时间 $ES_{i,j}$	$ES_{i,j} = \max [ES_{h,i} + D_{h,i}]$ ($h-i$ 为 <i>i-j</i> 的紧前活动) $ES_{1,1}=0$
活动最早完成时间 $EF_{i,j}$	$EF_{i,j} = ES_{i,j} + D_{i,j}$



双代号按活动第一步答案

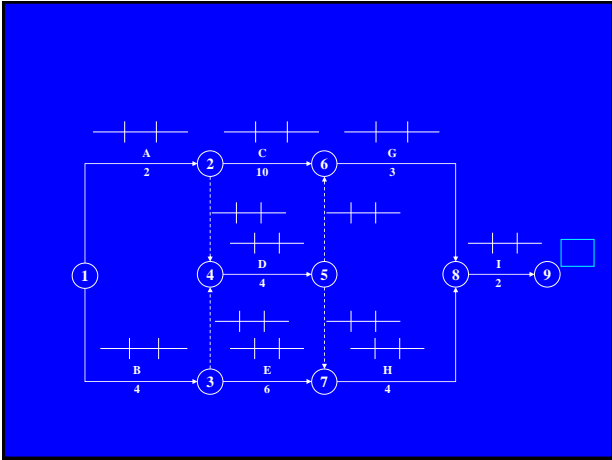


● 第二步

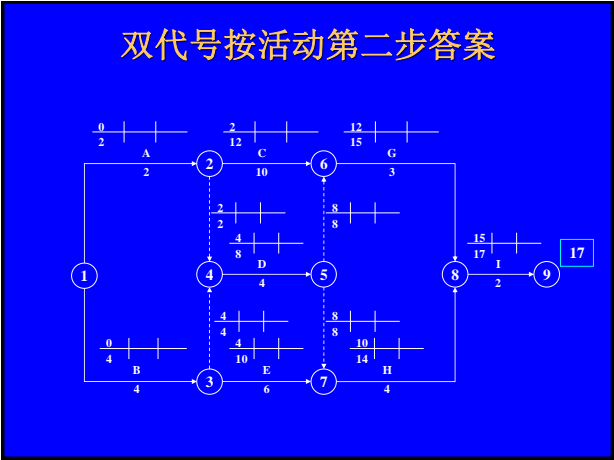
- 确定网络计划的计算工期 T_c 和计划工期 T_p

时间参数	计算公式
网络计划的计算工期 T_c	$T_c = \max [EF_{n,n}]$ (n 为终点节点)
计划工期 T_p	规定了要求工期时, $T_p \leq T_c$ 未规定要求工期时, $T_p = T_c$





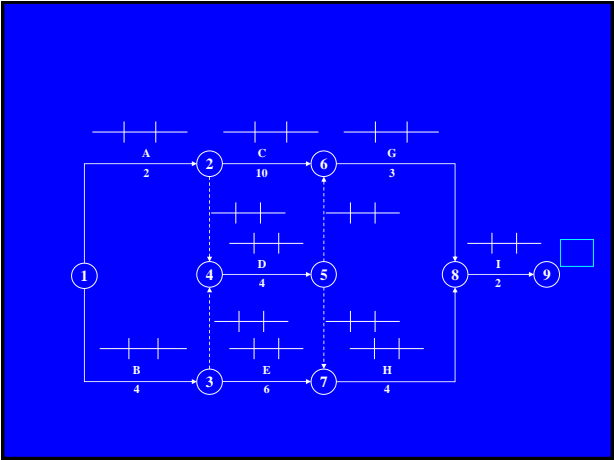
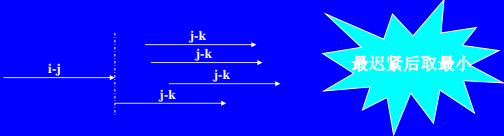
双代号按活动第二步答案



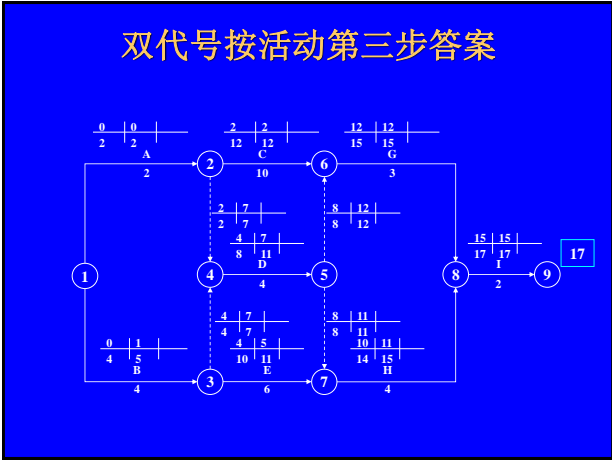
第三步

- 从网络计划的终点节点开始，逆着箭线方向，依次计算各项活动的最迟完成时间 $LF_{i,j}$ 和最迟开始时间 $LS_{i,j}$

时间参数	计算公式
活动最迟完成时间 $LF_{i,j}$	$LF_{m,n} = T_p$ (n为终点节点) $LF_{i,j} = \min [LF_{j,k} - D_{i,j}] = \min [LS_{j,k}]$ (j-k 为i-j 的紧后活动)
活动最迟开始时间 $LS_{i,j}$	$LS_{i,j} = LF_{i,j} - D_{i,j}$



双代号按活动第三步答案



第四步

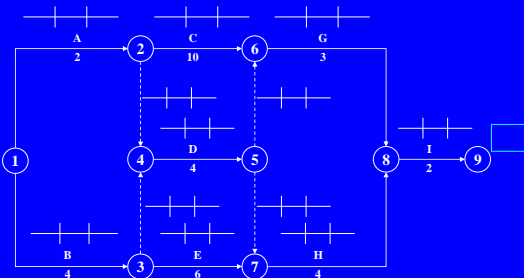
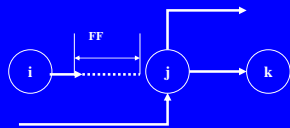
- 计算各项活动的总时差和自由时差

时间参数	计算公式
活动总时差 $TF_{i,j}$	$TF_{i,j} = LS_{i,j} - ES_{i,j} = LF_{i,j} - EF_{i,j}$
活动自由时差 $FF_{i,j}$	$FF_{i,j} = ES_{j,k} - EF_{i,j}$ (j-k 为i-j 的紧后活动) $FF_{m,n} = T_p - EF_{m,n}$ (n为终点节点)

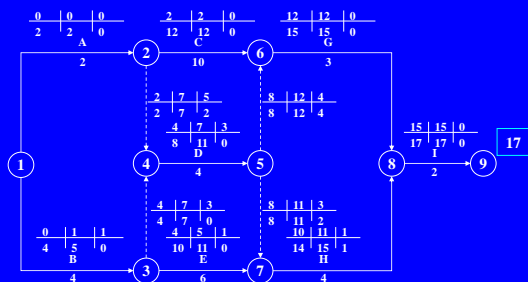


(问题)

- 如果活动i-j有多个紧后活动，其自由时差 FF_{i-j} ($FF_{i-j} = ES_{j-k} - EF_{i-j}$) 该怎么计算？
 - $ES_{i-j} = ET_i$

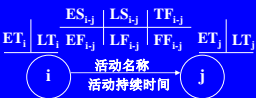


双代号按活动第四步答案



(五) 按节点计算法计算时间参数

- 按节点计算，双代号网络的时间参数的标注



计算步骤

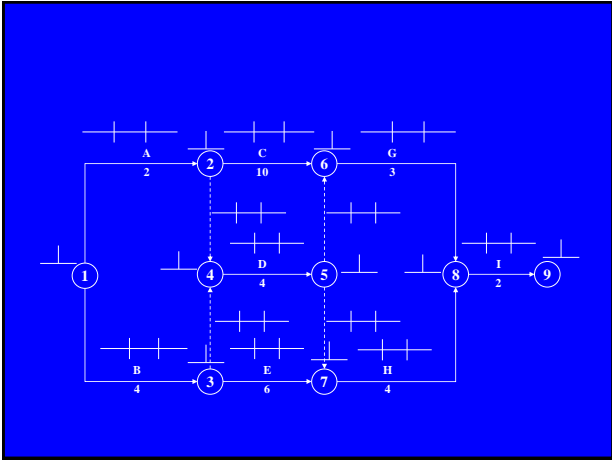
- 第一，顺着箭线方向，依次计算各节点的最早时间 ET_i ，网络计划起点节点的最早时间为0
- 第二，确定网络计划的计算工期 T_c 和计划工期 T_p
- 第三，逆着箭线方向，依次计算各节点的最迟时间 LT_i ，网络计划的终点节点的最迟时间为 T_p
- 第四，计算各项活动的时间参数

第一步

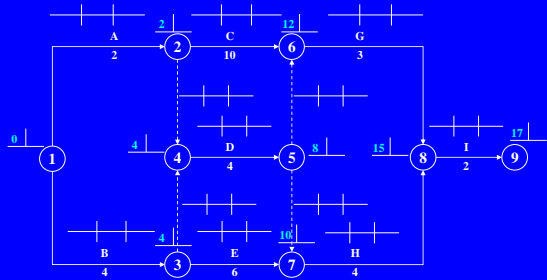
- 顺着箭线方向，依次计算各节点的最早时间 ET_i ，网络计划起点节点的最早时间为0

时间参数	计算公式	说明
节点最早时间 ET_i	$ET_i = 0$ $ET_i = \max [ET_h + D_{h-i}]$	h 为 i 的紧前节点， $h-i$ 为节点 i 的内向活动





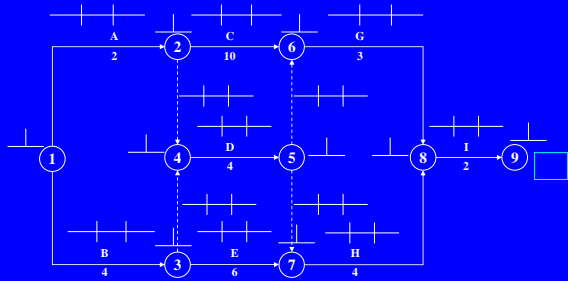
双代号按节点第一步答案



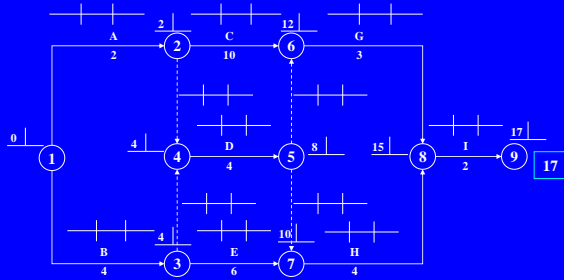
第二步

确定网络计划的计算工期 T_c 和计划工期 T_p

时间参数	计算公式	说明
网络计划的计算工期 T_c	$T_c = ET_n$	n 为终点节点
计划工期 T_p	规定了要求工期时, $T_p \leq T_r$ 未规定要求工期时, $T_p = T_c$	



双代号按节点第二步答案

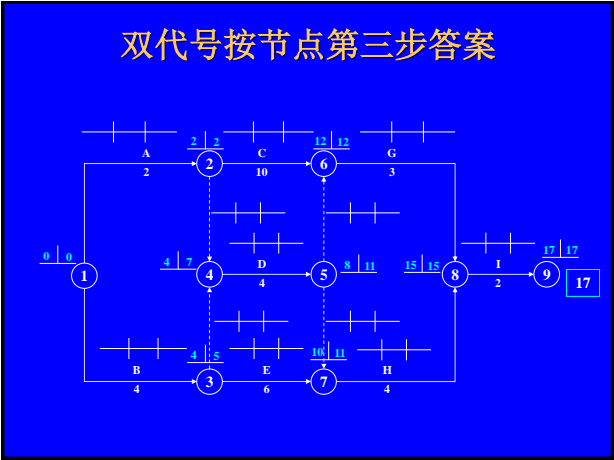
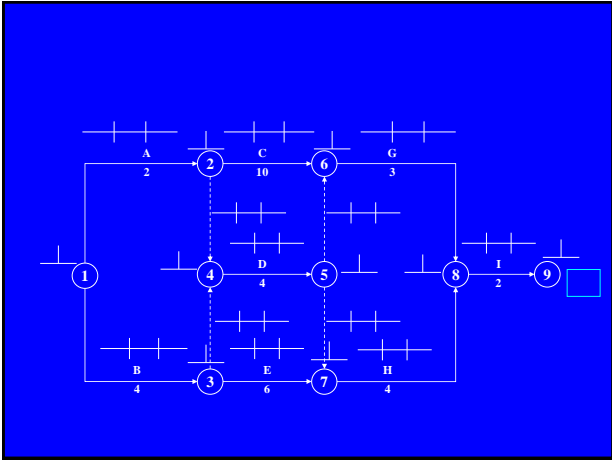


第三步

逆着箭线方向, 依次计算各节点的最迟时间 LT_j , 网络计划的终点节点的最迟时间为 T_p

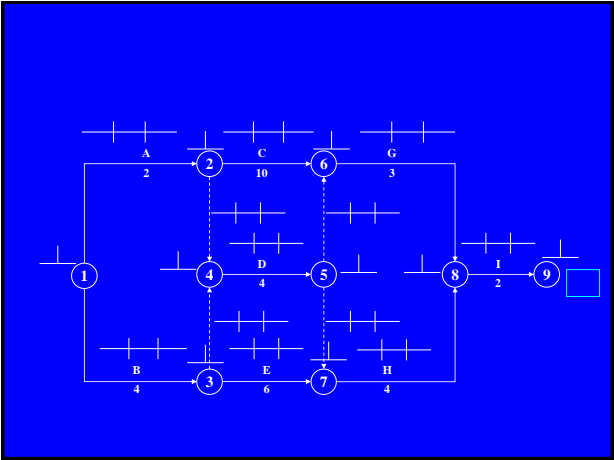
时间参数	计算公式	说明
节点最迟时间 LT_j	$LT_j = \min [LT_k - D_{j,k}]$	k 为 j 的紧后节点, $j-k$ 为节点 j 的外向活动
	$LT_n = T_p$	n 为终点节点





● 第四步
— 计算各项活动的时间参数

时间参数	计算公式	说明
活动最早开始时间 ES_{ij}	$ES_{ij} = ET_i$	
活动最早完成时间 EF_{ij}	$EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij}$	
活动最迟完成时间 LF_{ij}	$LF_{ij} = LT_j$	
活动最迟开始时间 LS_{ij}	$LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij}$	
	$LS_{m-n} = T_p - D_{m-n}$	n为终点节点
活动总时差 TF_{ij}	$TF_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij} = LT_j - ET_i - D_{ij}$	
活动自由时差 FF_{ij}	$FF_{ij} = ES_{j-k} - EF_{ij} = ET_j - ET_i - D_{ij}$	j-k 为i-j的紧后活动



双代号按节点第四步答

计算公式

$ES_{ij} = ET_i$

$EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij}$

$LF_{ij} = LT_j$

$LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij}$

$LS_{m-n} = T_p - D_{m-n}$

$TF_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij} = LT_j - ET_i - D_{ij}$

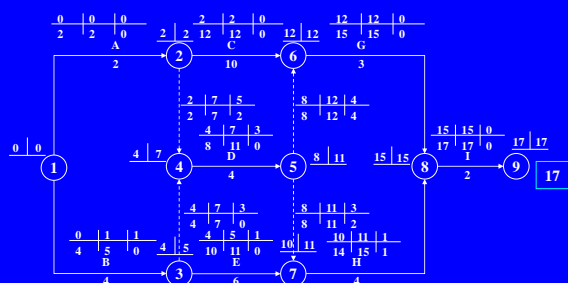
$FF_{ij} = ES_{j-k} - EF_{ij} = ET_j - ET_i - D_{ij}$

(六) 双代号网络的关键活动和关键线路的确定

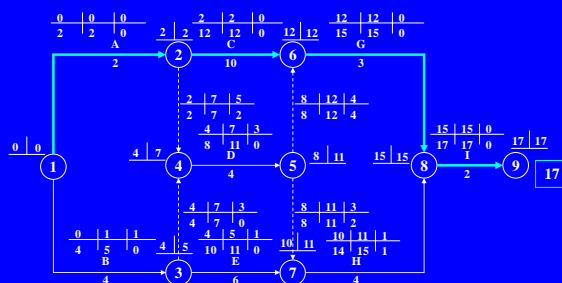
(1) 关键活动的确定

- 关键活动是网络计划中总时差最小的活动
 - 当计划工期等于计算工期时，这个“最小值”为0
 - 当计划工期大于计算工期时，这个“最小值”为正
 - 当计划工期小于计算工期时，这个“最小值”为负
- 关键活动在网络图中应用粗线或双线或彩色线标出

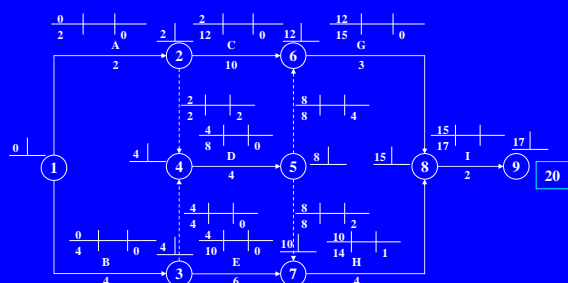
● 计划工期等于计算工期，确定关键活动



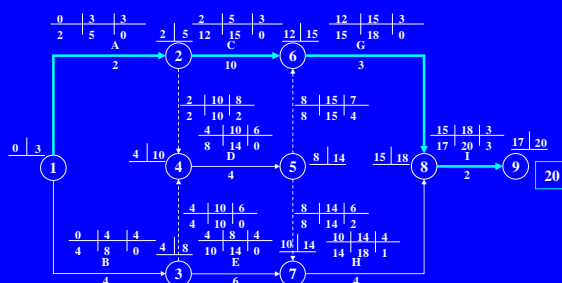
计划工期等于计算工期关键活动答案



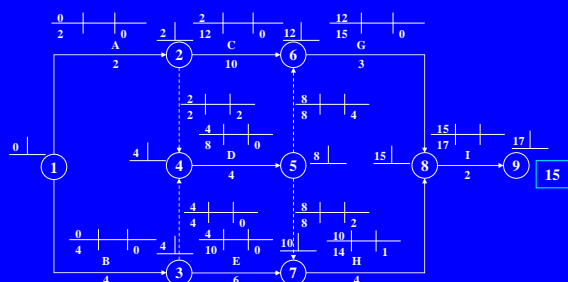
● 计划工期大于计算工期，确定关键活动



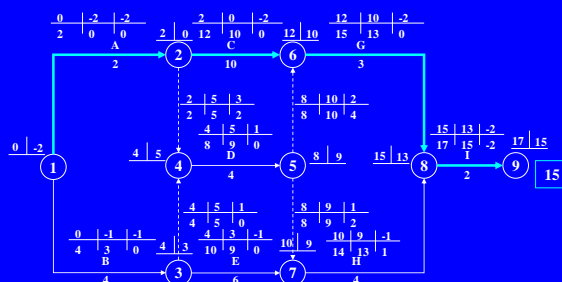
计划工期大于计算工期关键活动答案



● 计划工期小于计算工期，确定关键活动



计划工期小于计算工期关键活动答案



(2) 关键线路的确定

- 关键线路是自始至终全部由关键活动组成的线路
- 关键线路特点
 - 关键线路上的活动是总时差最小的活动
 - 关键线路是网络图中耗时最长的路径
 - 关键线路的耗时是可以完成项目的最短的时间量
 - 一个网络计划中，至少有一条关键线路（一定存在），也可能有多条关键线路，条条长度都相等
 - 关键线路上所有活动的持续时间加起来就是项目的工期，要想缩短项目的工期，必须在关键线路上想办法
 - 对于搭接网络，关键线路的持续时间一般并不等于该线路上所有活动的持续时间之和

● 关键线路法（Critical Path Method, CPM）

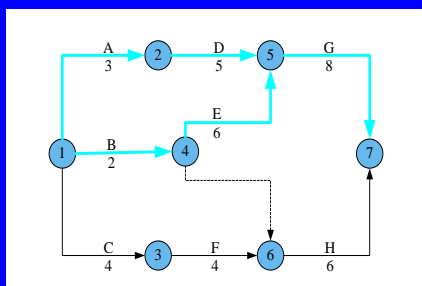
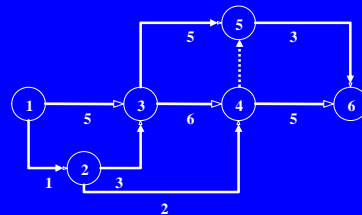
- 该方法依赖于项目网络图和活动持续时间估计，通过正推法计算活动的最早时间，通过逆推法计算活动的最迟时间，在此基础上确定关键线路，并对关键线路进行调整和优化，从而使项目工期最短，使项目进度计划最优。
- 关键线路法的关键是确定项目网络图的关键线路。

● 关键线路的确定

- 从网络图起点开始到终点，活动总时差为零或为最小值的关键活动串联起来，即为关键线路
- 从网络图起点开始到终点为止，工期最长的线路即为关键线路

● 在项目网络的时间参数未知时确定关键线路的常用的方法有：

- 破圈法：



– 标号法：

