

网络计划技术

江景波等编著

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了一种计划管理的新方法——网络计划技术。

本书以六十年代中期以来英、美、日、苏、德等国家网络计划技术最新成就为基础，并反映了我国高等院校、科研机关和生产部门科学研究和生产实践的结果。

本书主要论述了双代号与单代号网络计划的绘制、计算、优化与调整的方法，重点介绍了网络计划技术的各种最优化理论、途径和方法，以及结合我国机型研制的有关网络计划技术软件的功能及其应用方法。

为了便于理解，本书除附有大量计算示例外，还附有住宅、厂房、办公楼和桥梁等网络计划实例。

本书可供从事土木工程计划、组织和管理工作的各级领导干部、科研人员、工程技术人员和计划人员参考，也可作为大专院校学生、研究生教学参考书和选修课程的教材。本书所述方法对编制工业、农业、国防和关系复杂的科研的生产（工作）计划同样适用，可供从事这类工作的人员参考。

网 络 计 划 技 术

江景波 等 编著

责任编辑 顾宝德

*

冶金工业出版社出版

（北京灯市口74号）

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 14 3/4 字数 350 千字

1983年 5 月第一版 1983年 5 月第一次印刷

印数00,001~7,500册

统一书号：15062·3830 定价1.60元

目 录

主要计算符号	1
上篇 双代号网络计划	2
第一章 网络图的绘制	2
第一节 基本概念	2
一、网络图	2
二、工 作	2
三、事 件	3
四、线 路	3
第二节 网络图的绘制	4
一、绘图规则	4
二、绘图技巧	6
三、事件编号	9
第三节 网络图实例	10
一、工程简介	10
二、基础工程网络图	10
三、住宅网络图	13
第四节 网络图的类型	13
一、简单的、中等复杂程度的和复杂的网络图	13
二、单目标与多目标网络图	13
三、有时间坐标的与没有时间坐标的网络图	17
四、基层网络图、局部网络图和综合网络图	18
五、总的网络图和年度计划、五年计划网络图	18
第五节 网络图编制步骤	19
一、确定目标与分工	19
二、综合网络图编制步骤	19
三、总的网络图编制步骤	24
第二章 网络图的计算	26
第一节 分析法	26
一、计算公式	26
二、计算示例	27
第二节 图算法	32
第三节 矩阵法	34
一、各工作关系矩阵表	34
二、矩阵表的计算方法	35
第四节 表算法	36

一、第一种形式	36
二、第二种形式	38
第五节 电算法	40
一、数据准备	40
二、基本原理	40
三、输出结果	43
四、电算示例	44
第六节 多目标网络图的计算	55
一、计算特点	55
二、计算示例	55
第七节 横道网络图	56
第三章 网络计划的优化	60
第一节 时间优化	60
一、缩短关键线路的持续时间	60
二、改变网络的逻辑关系	64
三、时间优化示例	64
第二节 资源优化 (一)	65
——资源有限, 工期最短	
一、资源强度固定	65
二、资源强度可变	82
第三节 资源优化 (二)	90
——工期规定, 资源最小	
一、使方差值为最小	91
二、使极差值为最小	96
第四节 资源优化电算示例	107
一、程序功能	108
二、优化示例	108
第五节 成本优化	115
一、渐近法	117
二、简化法	125
三、标记法	131
四、线性规划方法	139
第六节 工期—成本优化电算示例	143
一、主要功能	143
二、计算框图	143
三、计算示例	146
第四章 网络计划的控制	148
第一节 执行情况报告	148
一、报告格式	148

二、报告传递	148
第二节 报告的加工和分析	148
一、报告的加工	148
二、报告加工示例	150
第三节 计划的调度与管理	153
下篇 单代号网络计划	155
第五章 事件节点网络计划	155
第一节 主要特点	155
一、图形结构方面	155
二、时间参数方面	155
第二节 网络图的计算	158
一、数学模型	158
二、计算方法	159
第三节 电算示例	164
一、主要功能	164
二、粗框图	165
三、计算例题	166
第六章 工作(活动)节点网络计划	169
第一节 网络图的绘制	169
一、绘图符号	169
二、双代号与单代号对比	169
三、绘图步骤	169
第二节 网络图的计算	173
一、分析计算法	173
二、图上计算法	177
三、矩阵解法	179
四、表上计算法	181
第三节 电算示例	183
一、工程概况	183
二、输入数据	185
三、输出结果	185
第七章 搭接网络	186
第一节 基本概念	186
第二节 搭接关系	191
一、结束到开始的关系 (FTS)	191
二、开始到开始的关系 (STS)	191
三、结束到结束的关系 (FTF)	191
四、开始到结束的关系 (STF)	191
五、混合的连接关系	193

第三节 网络图的计算.....	193
一、数学模型	193
二、计算方法	194
第四节 电算示例.....	196
一、工程概况	198
二、输入数据	199
三、输出结果	199
第八章 决策网络.....	201
第一节 基本概念.....	201
第二节 绘图特点.....	203
第三节 计算与优化.....	203
一、手算	205
二、电算	205
第四节 计划的调整.....	208
习题（附部分答案）	211
专门术语.....	226
参考文献.....	228

主要 计 算 符 号

- $D_{i-j} (D_{ij})$ —— $i-j$ 工作的持续时间;
 Q_{i-j} —— $i-j$ 工作的劳动力需要量 (工日);
 M_{i-j} —— $i-j$ 工作的机械需要量 (台班);
 N_{i-j}^w —— $i-j$ 工作的每日出勤工人人数;
 N_{i-j}^m —— $i-j$ 工作的每日出勤机械台数;
 n ——工作班数;
 a ——最乐观的估计时间;
 m ——最可能的估计时间;
 b ——最悲观的估计时间;
 $t_E(\bar{D})$ ——计算的期望时间;
 T_{E-i} —— i 事件的最早可能开始时间;
 T_{L-i} —— i 事件的最迟必须开始时间;
 $\lambda(T)$ ——整个网络计划 P 的完成时间;
 ES_{i-j} —— $i-j$ 工作的最早开始时间;
 LS_{i-j} —— $i-j$ 工作的最迟开始时间;
 EF_{i-j}^f —— $i-j$ 工作的最早完成时间;
 LF_{i-j} —— $i-j$ 工作的最迟完成时间;
 TF_{i-j} —— $i-j$ 工作的总时差;
 FF_{i-j} —— $i-j$ 工作的局部 (自由) 时差;
 IF_{i-j} —— $i-j$ 工作的相关时差;
 DF_{i-j} —— $i-j$ 工作的独立时差;
 d_{i-j} —— $i-j$ 工作的最短持续时间;
 R_{i-j} —— $i-j$ 工作的每天需要某种资源 (人力、财力、物力) 的数量;
 R_m ——物资资源需要量的平均值;
 M_{i-j} —— $i-j$ 工作在正常持续时间下的费用;
 m_{i-j} —— $i-j$ 工作在最短持续时间下的费用;
 C_{i-j} —— $i-j$ 工作的单位时间费用变化率;
 σ^2 ——方差;
 p ——实现概率;
 CP ——关键线路;
 LAG ——前面一项工作的最早可能结束至后面一项工作最早可能开始的时间间隔;
 $SS(STS)$ ——前面工作开始到后面工作开始的关系;
 $FS(FTS)$ ——前面工作结束到后面工作开始的关系;
 $FF(FTF)$ ——前面工作结束到后面工作结束的关系;
 $SF(STF)$ ——前面工作开始到后面工作结束的关系;
 LT ——时距。

上篇 双代号网络计划

第一章 网络图的绘制

第一节 基本概念

一、网络图

完成一项计划（工程）需要进行许多工作（活动、过程、工序）。我们用一个箭号表示一个工作。工作的名称写在箭杆上面，完成工作所需要的时间写在箭杆下面（小时、天、周），箭尾表示工作的开始，箭头表示工作的结束。箭尾和箭头处分别画上圆圈或方框，编上号码，前后两个圆圈中的号码代表这个工作名称。这种表示方法，通常叫做双代号表示法，如图1-1所示。

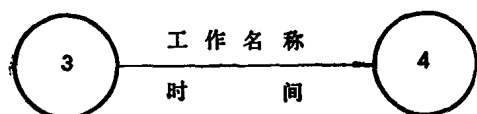


图 1-1 双代号表示法

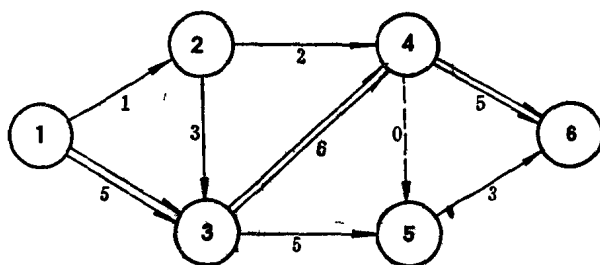


图 1-2 双代号（箭矢）网络图

把计划所要完成的全部工作根据先后顺序和相互关系，用上述方法，从左向右绘制而成的图形，就叫做双代号（箭矢）网络图，如图1-2所示。

图1-2表示，这个计划共有九项工作。1—2、1—3工作可以同时开始。1—2工作完成后才能进行2—3和2—4工作。1—3、2—3工作都完成后才能进行3—4和3—5工作。2—4、3—4工作都完成后才能进行4—5和4—6工作。3—5和4—5工作都完成后才能进行5—6工作。4—6和5—6工作的完成，意味着整个计划的实现。

二、工作

工作（活动、过程、工序）是网络图的组成部分，如前所述，通常用箭号来表示。一个箭号代表一项工作。各项工作通常有需要消耗时间和资源，或者只消耗时间，不消耗资源，以及既不消耗时间，也不消耗资源之分。

例如：浇筑基础、吊装墙板、安装设备和铺设屋面等就是既要消耗时间，又要消耗资源的工作；而混凝土养生、抹灰干燥之类由于技术原因而引起的间歇，就可以看作是一项只消耗时间而不消耗资源的工作；如果只说明一项工作和另外几项工作之间的约束关系，它不需要消耗时间和资源，通常称为“虚工作”，并以虚箭杆标以“0”来表示。如图1-2中，工作5—6的开始除了要等3—5工作结束之外，还要取决于2—4和3—4两项工作的结束，为此，我们将4—5用虚箭杆（0杆）连起来，表示一项虚工作，以反映这种约束关系。

工作箭杆一般不按比例绘制，它的长度及方向原则上可以任意，但是在网络图上它们

必须按完成的先后顺序排列。

三、事件

在网络图中箭杆的出发和交汇处画上圆圈，用以标志前面（一个或若干个）工作的结束和允许后面（一个或若干个）工作的开始，我们把它叫做事件。

事件与工作不同，它是工作完成或开始的瞬间，具有承上启下把工作衔接起来的作用（例如建筑工程中砌墙工作完了，可以开始吊装楼板），它不需要消耗时间或资源。如前所述，在网络图中，任何工作可以用前后两个事件的编码来表示，例如图1-2中，从事件5出发，进入事件6的工作可以用5—6来表示。

箭杆出发的事件叫做起点（前面）事件，箭杆进入的事件叫做终点（后面）事件。所以同一事件（整个网络计划的原始事件与结束事件除外），既是前面工作的终点事件，又是后面工作的起点事件（如图1-3所示）。

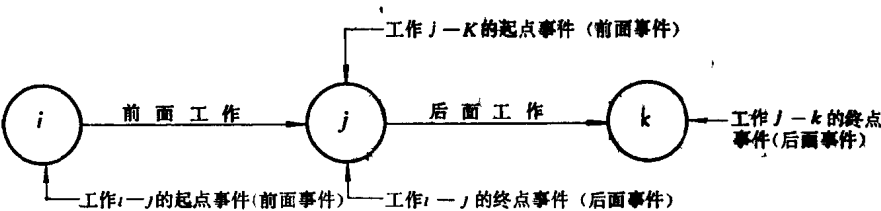


图 1-3 起点事件与终点事件

在网络图中，可以有許多工作通向同一事件。同样，也可以有許多工作由同一事件出发。我们把通向某事件的工作称为该事件的前导工作（或前面工作）；而把从某事件出发的工作，称为该事件的后续工作（或后面工作）。

表示整个计划开始的事件称为网络图的“原始事件”，整个计划最终完成的事件称为整个网络图的“结束事件”，其余事件都称为“中间事件”。

四、线路

从图1-2中可以看出，从原始事件沿箭头方向到结束事件之间有很多线路，其长度决定于该线路上各项工作持续时间的总和。通过分析和必要的计算，可以找到工期最长的线路，这就是关键线路（临界线路，主要矛盾线）。位于关键线路上的工作，称为关键工作。这些工作完成的快慢直接影响着整个计划（工程）完成的日期。通常关键工作在网络图上用黑粗线或双线箭杆表示（如图1-2所示）。

有时在一个网络图上也可能同时出现几条关键线路，即这几条线路上总的持续时间相同。

关键线路并不是一成不变的，在一定条件下，关键线路和非关键线路可以互相转化。当采取了一定的技术组织措施，缩短了关键线路上各个工作的持续时间，就有可能使关键线路发生转移，即原来的关键线路变成非关键线路，而原来的非关键线路变成关键线路。

短于关键线路，但接近关键线路长度的线路叫做次关键线路。其余线路叫做非关键线路，位于关键及次关键线路上的工作的总和叫做关键区域。

位于非关键线路上的工作，都有若干机动时间（富裕时间，时间储备），叫做时差。它意味着在不影响计划（工程）结束日期的前提下，工作及事件完成日期容许浮动的范围。

也就是说，非关键线路上的工作在时差范围内放慢完成，对整个计划的完成日期没有影响。

时差（机动时间）大小具有重大现实意义，因为我们可以时差范围内延长非关键工作的持续时间，而把部分人员和设备转移到关键工作上去，以加快关键工作的进行。

位于关键线路上的工作在网络图中所占比重往往不大，愈是复杂的网络计划，工作数量愈多，关键工作所占比重就愈小，这样就有可能使领导集中精力抓住主要环节，保证顺利完成任务。

工作、事件、线路是双代号网络图的三个要素。

第二节 网络图的绘制

一、绘图规则

网络图的科学性之一，就在于它能正确反映全部计划（工程）内容严密的逻辑关系。因此，绘制网络图就必须严格遵守一系列规则，现分述于下。

1. 必须正确表达各个工作之间的相互制约和相互依赖关系。

例如A、B、C三项工作依次完成时，其表示方法如图1-4所示。

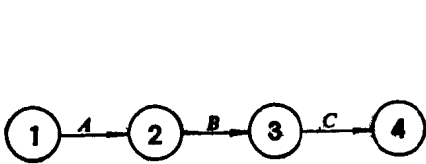


图 1-4

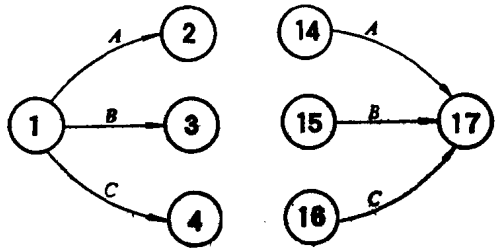


图 1-5

A、B、C三项工作同时开始或者同时结束可以画成如图1-5所示。

B、C在工作A完成后才能开始，应如图1-6表示。

A、B完成后才能开始C，应表示为图1-7。

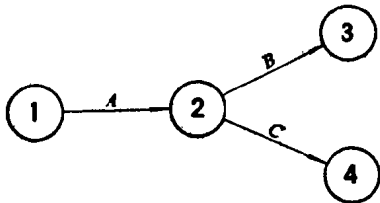


图 1-6

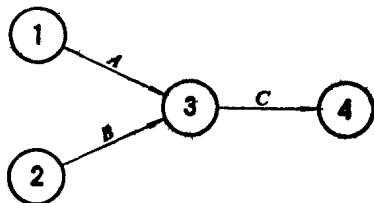


图 1-7

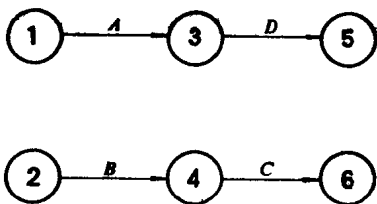


图 1-8

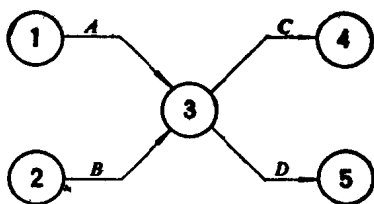


图 1-9

C随B后, D随A后进行, 其表示方法如图1-8所示。

C、D二者在A、B完成之后才能开始, 应如图1-9所示。

A、B在C之前, B又在D之前完成, 应引进一个逻辑连接(虚工作), 表示方法如图1-10所示。

A、B在C前, B在D前, E随A后进行, 同样应引进相应逻辑连接, 表示方法如图1-11所示。

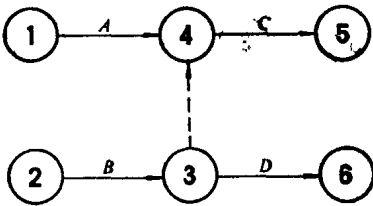


图 1-10

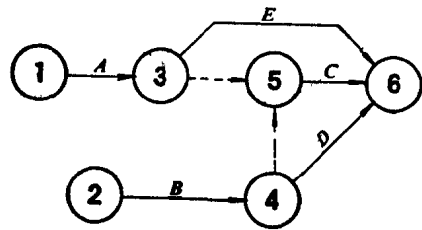


图 1-11

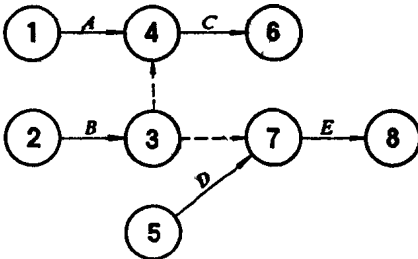


图 1-12

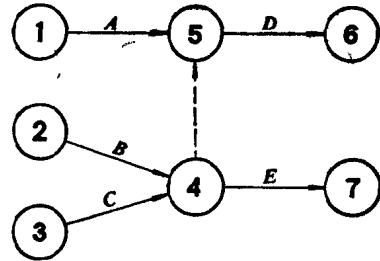


图 1-13

C随A、B之后, E随B、D之后完成, 其表示方法如图1-12所示。

A、B、C完成后, 才能做D, B、C完成后可以做E, 其表示方法如图1-13所示。

2. 在网络图中, 如果某些工作需要平行作业, 也就是不等某项工作全部结束, 另外几项工作就要开始, 这就要人为地将某项工作进行分段, 以便后面的工作可以与之相搭接。例如A、B两项工作需平行作业, 则将A、B分别划分为依次完成的若干工作段如 A_1 、 A_2 、 A_3 及 B_1 、 B_2 、 B_3 , 然后用虚箭杆来表示其相互间的平行搭接关系, 如图1-14所示。

3. 除了整个网络图的结束事件外, 在网络图中不允许出现没有后续工作(即没有箭杆向外发出)的“尽头事件”(如图1-15中的④)。

4. 除了整个网络图的原始事件外, 在网络图中不允许出现没有前导工作(即没有箭杆指向圆圈)的“尾部事件”(如图1-15中的⑥)。

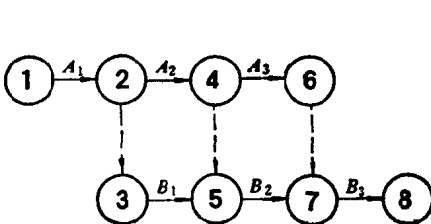


图 1-14

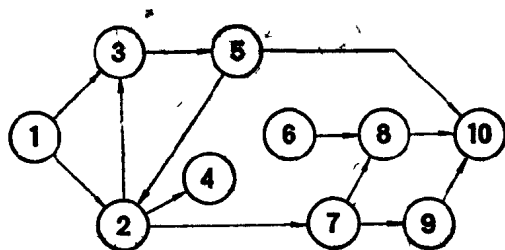


图 1-15

5. 在网络图中, 不允许出现闭合回路 (如图1-15中的2-3-5-2)。

6. 在网络图中, 不允许出现同样编号的事件或工作。

图1-16a中出现同样编号的工作, 因此是错误的。正确的表达方式 应如图 1-16b、c所示。

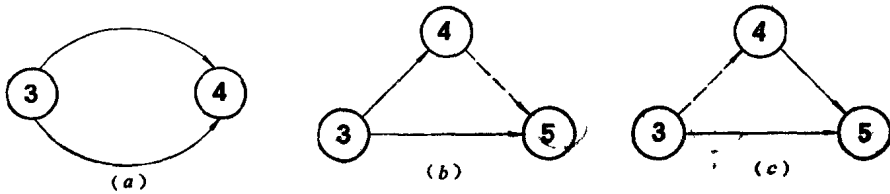


图 1-16
a—错误的; b、c—正确的

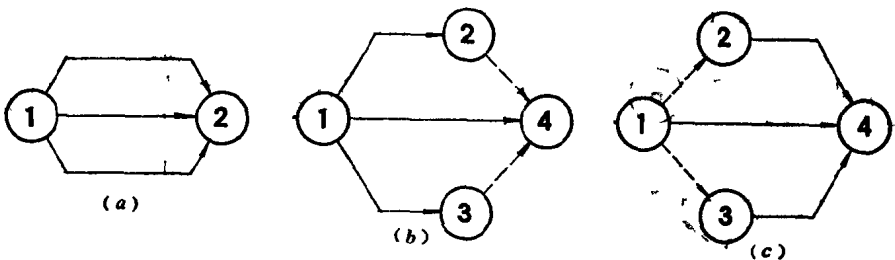


图 1-17
a—错误的; b、c—正确的

同样, 图1-17a是错误的, 应改为图1-17b或图1-17c。

二、绘图技巧

遵循上述绘图规则, 是保证网络图正确性的前提。为了使图面布局合理, 重点突出, 做到条理清楚, 层次分明, 还须讲究实际绘图技巧。一般说, 以下各项具体做法是可取的:

1. 先画草图, 然后加工整理, 安排成比较整齐的形式。例如图1-18a, 虽然逻辑上是合理的, 但显得杂乱无章, 经过整理后的图1-18b就条理清楚, 层次分明。

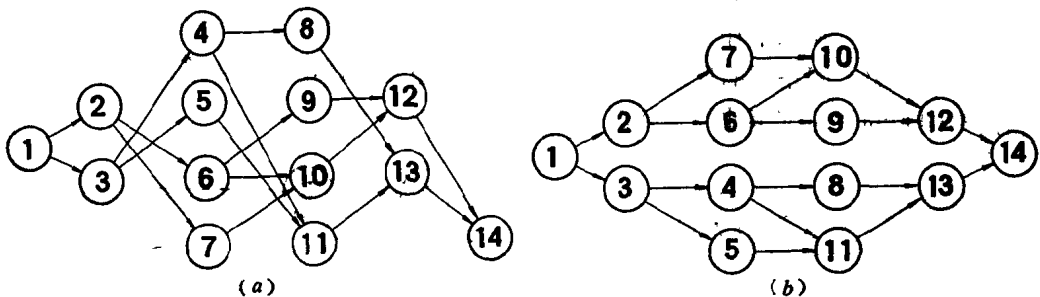


图 1-18 把网络图安排成比较整齐的形式

2. 注意构图方式。通常网络图工作箭杆的流向最好画成水平方式, 以便于阅读和计算 (如图1-19、1-20所示)。

在网络图中，应尽量避免画成任意直线形式（如图1-21所示），更不宜画成曲线形式（如图1-22、1-23所示）。

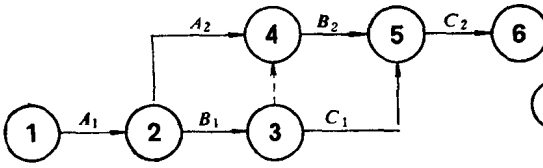


图 1-19 工作箭杆画成水平方式 (1)

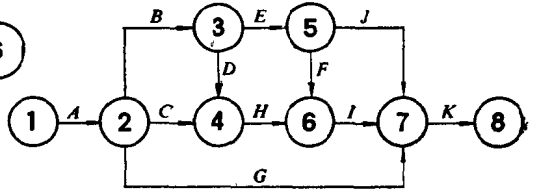


图 1-20 工作箭杆画成水平方式 (2)

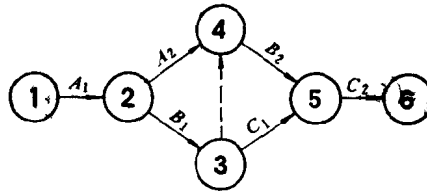


图 1-21 尽量避免画成任意直线形式

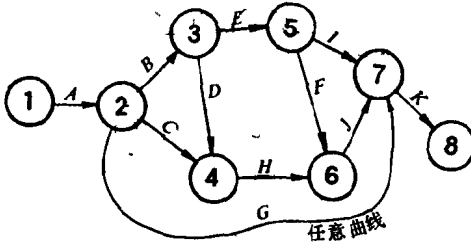


图 1-22 不宜画成曲线形式 (1)

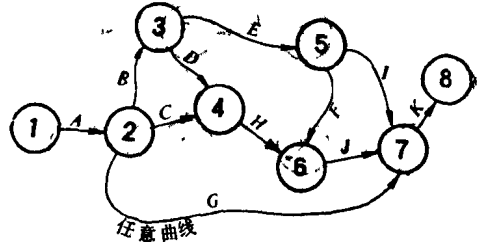


图 1-23 不宜画成曲线形式 (2)

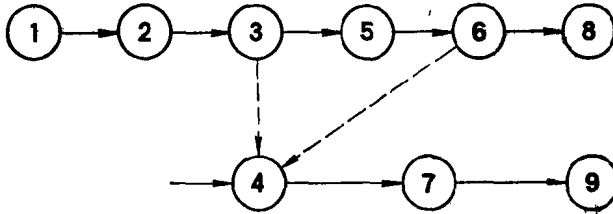


图 1-24 避免采用反向箭头

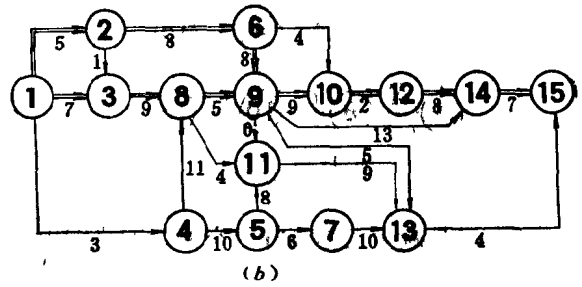
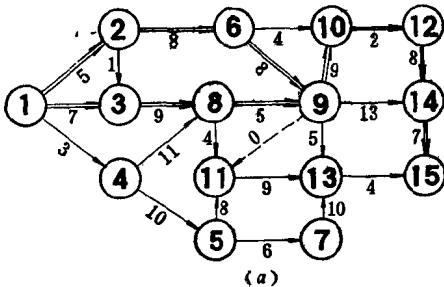


图 1-25 关键工作放在网络图的中心位置 (1)

此外，还应尽量避免采用反向箭头，因为反向箭头和整个网络箭头的流向相反，容易造成混乱和差错（如图1-24所示）。

为了突出重点, 可根据经验或试算, 尽可能将网络图中的关键工作放在图的中心位置, 如将图1-25a和1-26a分别改为图1-25b和1-26b。

3. 在绘制网络图时, 可采用“断路法”来排除不合理的逻辑连接。断路法分横向断路法与纵向断路法两种。横向断路法适用于无时间坐标的网络, 纵向断路法则适用于带时间坐标的网络, 具体表达方法如图1-27、1-28所示。

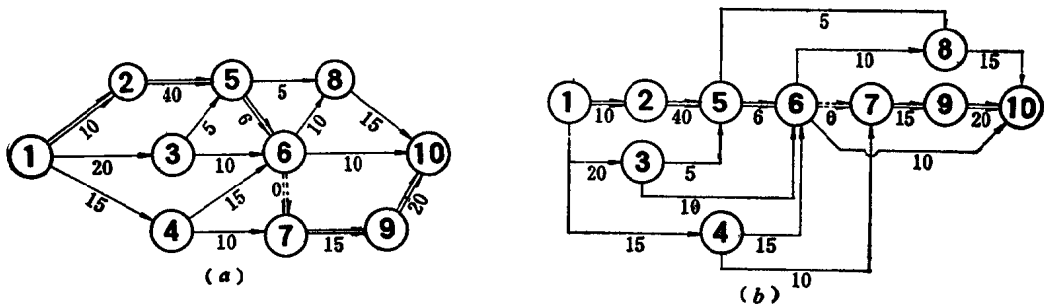


图 1-26 关键工作放在网络图的中心位置 (2)

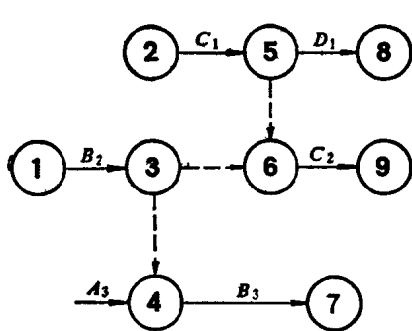


图 1-27 横向断路法

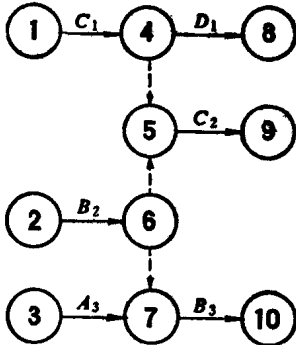


图 1-28 纵向断路法

4. 应力求减少不必要的箭杆和圆圈。图1-29只有九个工作, 但使用了八个虚箭杆。经过改进后, 只用了四个虚工作, 如图1-30所示。

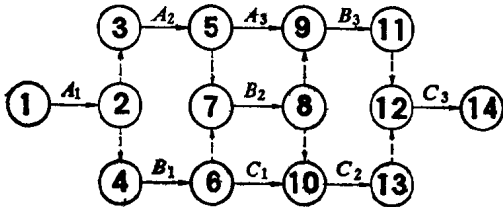


图 1-29

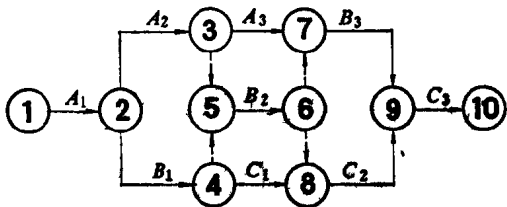


图 1-30 力求减少不必要的箭杆和圆圈

5. 尽量减少工作箭杆的交叉。网络图中箭号互相交叉是常有的, 但通过合理安排, 有时可以减少甚至消失, 如图1-31所示。当无法避免时, 可用图1-32所示方法表示。

6. 对于工作数量大的网络图可以分成几块绘制。通常可以选择箭杆和节点少的位置或按工程部位、日历时间分块、如图1-33所示。

7. 如果要在网络开始和结束处引出和汇集许多箭杆, 通常可采用图1-34的表示方法。

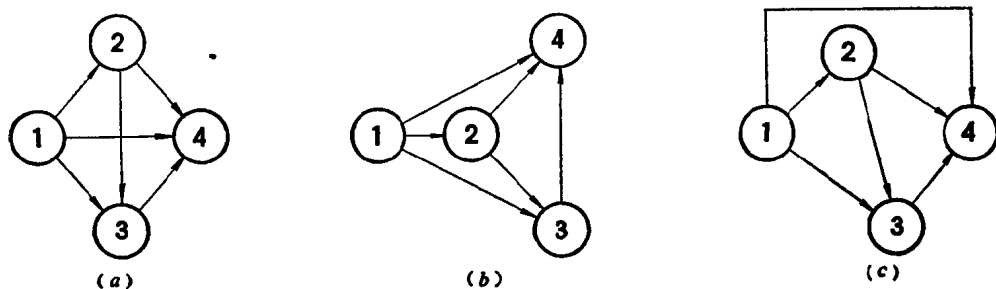


图 1-31 尽量减少工作箭杆的交叉
a—不建议的；b、c—建议的

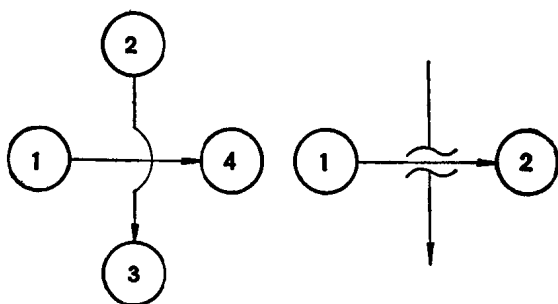


图 1-32

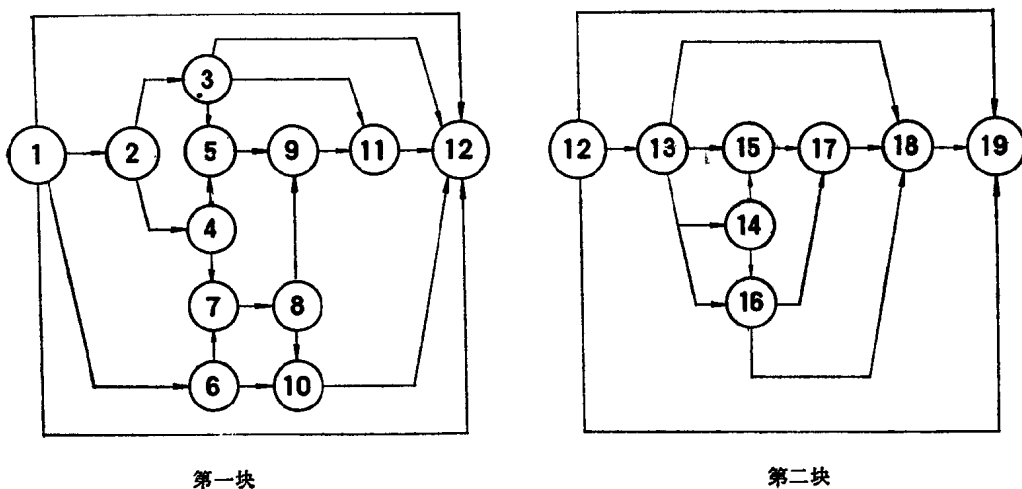


图 1-33 网络图分块

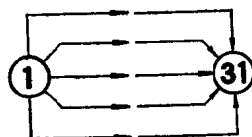


图 1-34 网络开始和结束处引出和汇集许多箭杆的表示法

三、事件编号

网络图中各个圆圈（事件）的编号，从理论上讲，只要不重复，就可以任意编号。但在实际使用中，为了便于计算和检查有无回路，习惯上多采用由小到大的顺序进行编号。

每个箭杆的箭尾编号要比箭头的号小。对于不甚复杂的网络图，可以采用三位数或两位数编号。考虑到今后增添工作的需要，编号要留有余地。

编号可以沿水平方向或垂直方向从左到右逐个圆圈进行（如图1-35，1-36所示）。

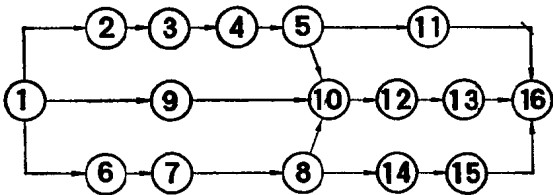


图 1-35 水平编号

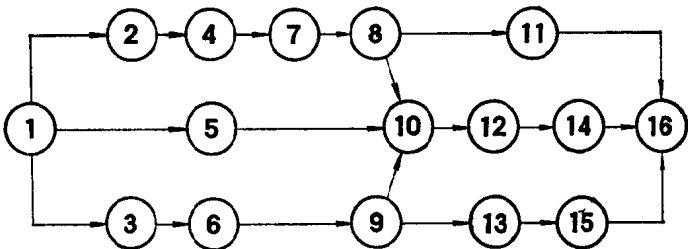


图 1-36 垂直编号

第三节 网络图实例

一、工程简介

某五层两单元混合结构职工住宅，建筑面积为1961.25米²，平均层高为2.8米，檐口标高为14.000米，室内外地面高差为0.45米。它的结构特征是：混凝土垫层；钢筋混凝土条形基础，砖墙基和钢筋混凝土防水带；硅酸盐砌块承重墙；多孔砖内隔墙；钢筋混凝土圈梁；楼板为预应力混凝土多孔板上做水泥面层；屋顶为预应力混凝土多孔板上做找平层和二毡三油防水层；屋顶上设有两个10吨钢筋混凝土水箱；钢窗木门和内外墙抹灰。

从上述工程内容看，要建成这幢职工住宅，应包括挖土、做垫层、浇捣钢筋混凝土条形基础、砌墙基、浇捣钢筋混凝土防水带、回填土、安装砌块和圈梁、浇捣钢筋混凝土圈梁的接头、安装楼（屋面）板、楼（屋面）板嵌缝、安装门窗框、砌筑内隔墙、浇捣钢筋混凝土水箱、做屋面找平层和屋面防水层、做楼地面面层，进行内外粉刷、安装门扇、涂刷油漆、安装玻璃和明沟台阶等施工过程。

这些施工过程的施工顺序之间存在着互相衔接，互相配合，前后交叉，平行流水等关系，需要一一考虑，认真安排。

二、基础工程网络图

如前所述，把所有施工过程根据施工顺序和相互衔接关系用箭号从左向右绘制网络图。

图1-37就是职工住宅基础工程的网络图。

它正确地反映了基础工程各个施工过程的施工顺序及其相互间的关系，从逻辑上看，这完全是合理的。但是，由于它是一个施工过程全部完成之后，才能进行另一个施工过

程，因此工期较长。为了缩短工期，也可将建筑物分为两段施工，其网络计划就如图1-38所示。



图 1-37 基础工程网络图

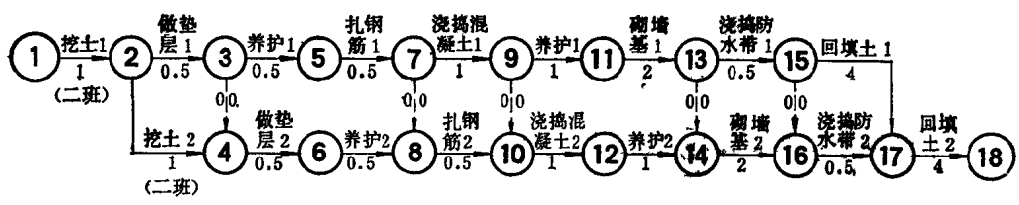


图 1-38 两段施工时的网络图

图1-38中出现了没有工作名称且时间为零的箭号，如前所述，这称为虚工作。它仅表示两个施工过程之间工艺的或组织的顺序关系，并不占工作时间，所以箭杆旁的数字为零。在网络计划中引入虚箭头可以表达施工过程之间的顺序关系，图1-38中如果没有虚工作，就无法正确表达基础分两段施工的顺序。

从图1-38中可以看出，当第1段砌墙基完成后，接着浇捣钢筋混凝土防水带，而泥工就转到第2段去砌墙基；第1段浇捣钢筋混凝土防水带完成后，接着回填土，这时，第2段开始浇捣钢筋混凝土防水带。同时也可看出，进行浇捣钢筋混凝土防水带2，只有在完成浇捣钢筋混凝土防水带1和砌墙基2之后才能开始；进行回填土2，只有在完成回填土1和浇捣钢筋混凝土防水带2之后才能开始等。这就在计划中反映出施工过程之间的相互制约和相互依赖关系，因此逻辑上是合理的。

但当该建筑物分为三段施工时，并将网络图画成图1-39所示的形式，则施工过程之间的顺序关系就不合乎逻辑。例如浇捣钢筋混凝土防水带3，只需要完成浇捣钢筋混凝土防水带2和砌墙基3之后就可开始。但是图1-39中除了必须完成上述两个施工过程外，还需要完成回填土1，而回填土1和浇捣钢筋混凝土防水带3两个施工过程彼此之间不存在相互制约和相互依赖关系。因此当建筑物分为三个施工段时，网络图的正确画法应该如图1-40、图1-41及图1-42所示。

图1-40、图1-41及图1-42，说明了只要施工顺序合乎逻辑关系，同一工程的网络图可以有各种不同的表现形式。

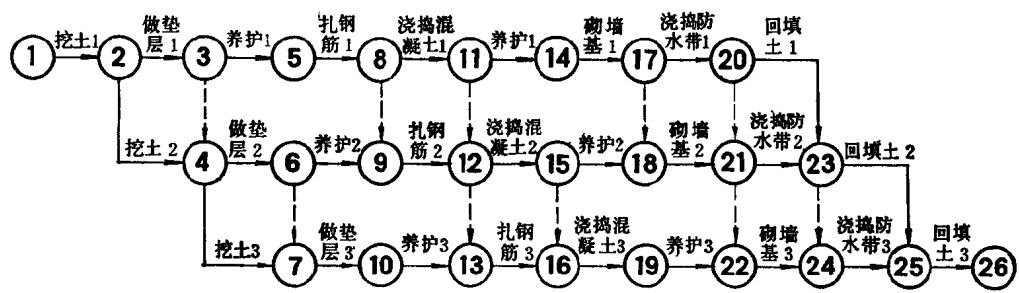


图 1-39 三段施工时不合逻辑的网络图