

工程网络技术

应用手册

李和笙 主编

 中国计划出版社

GONGCHENG WANGLUO JISHU YINGYONG SHOUCE



工程网络技术应用手册

李和笙 主编

中国计划出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

工程网络技术应用手册/李和笙主编. —北京: 中国计划出版社, 2007. 1

ISBN 978-7-80177-718-8

I. 工... II. 李... III. 网络计划技术—应用—建筑设计—技术手册 IV. TU2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 111574 号

工程网络技术应用手册

李和笙 主编

☆

中国计划出版社出版

(地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码: 100038 电话: 63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

787×1092 毫米 1/16 14.75 印张 284 千字

2007 年 1 月第一版 2007 年 1 月第一次印刷

印数 1—3000 册

☆

ISBN 978-7-80177-718-8

定价: 26.00 元

前 言

20 世纪 50 年代后期，国外已将网络技术应用于航天事业和军事工程。国内起步较晚，著名数学家华罗庚教授从 20 世纪 60 年代初期在我国大力推广“统筹法”，取得了显著成就。同时，中国科学院成立了运筹学研究室，为网络技术奠定了初步基础。

改革开放以来，我国科技工作者提出了用系统思想将运筹学和管理科学结合起来，应用于工程计划的协调与平衡、工业企业全面质量管理、人口控制计划以及军事装备的规划。全国各大学也相继成立了工程管理学院。工程网络的应用技术突飞猛进，但发展是不平衡的，在建筑业应用网络计划的施工单位还不太多。

根据“洋为中用”的原则，吸取国外先进管理的经验，编者结合建筑施工实际情况，以图表形式解释数学原理，文字力求通俗易懂。本书可作为企业培养管理人才之用，亦可作为大专院校建筑管理和工民建等专业参考教材。

由于水平有限，错误之处在所难免，抛砖引玉，敬请广大读者批评指正。

编者

2005 年 9 月

目 录

1 绪论	1
1.1 系统、网络	1
1.2 任务、作业、事项	2
1.3 事项和作业的表达方法	3
1.4 网络图的构成	3
2 双代号和单代号网络图	4
2.1 绘制双代号网络图的基本原则	4
2.1.1 虚箭杆的作用	4
2.1.2 各种逻辑关系	5
2.1.3 网络图的型式	8
2.1.4 网络图的画法技巧	8
2.1.5 网络图的绘制规则	12
2.1.6 绘图注意事项	12
2.1.7 节点编号	13
2.1.8 错误检查与改正方法	15
2.2 双代号网络图的实际应用	20
2.2.1 必备条件	20
2.2.2 排列形式	21
2.2.3 构图思路	22
2.2.4 作业持续时间	24
2.2.5 应用实例	27
2.3 单代号网络图	28
2.3.1 表示法	28
2.3.2 单代号网络图的逻辑关系	29
2.3.3 单代号网络图的画法规则与应用实例	30
2.3.4 单代号网络各种时间参数的计算	34
2.4 两种代号网络图的比较	38
2.4.1 双代号网络图的特点	38
2.4.2 单代号网络图的特点	38
2.4.3 两种代号网络图的实例	40
习题	43
3 网络时间参数	46
3.1 各种时间参数的定义	46

3.2	图上计算法的步骤	47
3.3	表上计算法的步骤	51
3.4	关键线路和时差分析	52
3.5	节点时间参数的计算	55
3.6	时标网络图	56
	习题	58
4	网络计划	60
4.1	网络计划的工期优化	60
4.1.1	资源有限、工期最短	60
4.1.2	优化程序和具体步骤	60
4.1.3	优化实例	61
4.1.4	增加资源、缩短工期	62
4.2	网络计划的资源调整	68
4.2.1	资源均匀问题	68
4.2.2	方差原理的应用	69
4.2.3	调整顺序和方法	70
4.2.4	调整步骤和实例	71
4.3	网络计划的成本调整	84
4.3.1	循环缩短工期法	84
4.3.2	逐步生长法的原理	89
4.3.3	最大流-最小树问题	91
4.3.4	应用实例	92
4.4	网络计划的实施与管理	97
4.4.1	管理内容	97
4.4.2	初始网络的编制	98
4.4.3	实施网络的检测	100
4.4.4	调整网络的修订	104
4.5	计划评审技术	106
4.5.1	概率的基本概念	107
4.5.2	正态分布曲线	107
4.5.3	三种估计时间的评价	109
4.5.4	正态分布函数表的使用	110
	习题	112
5	施工项目的可行性分析与控制	115
5.1	网络的缩短和延长	115

5.1.1	时间与费用的关系	115
5.1.2	费用-时间曲线	115
5.1.3	加快时间举例	118
5.1.4	放慢作业时间	119
5.1.5	关键性原理及其应用	119
5.2	施工方案与项目费用	125
5.2.1	方案比较	125
5.2.2	环境因素	126
5.2.3	价值工程分析	128
5.2.4	时间研究	130
5.3	工程项目的反馈与控制	130
5.3.1	影响因素	130
5.3.2	控制方法	131
5.3.3	数据收集	132
5.3.4	进度报告	133
5.3.5	人工费用	133
5.3.6	设备费用	134
5.3.7	材料费用	134
5.3.8	其他费用	135
5.3.9	管理费用	135
5.3.10	变更通知	135
5.3.11	修正后的进度计划	135
5.3.12	生产会议制度	136
5.4	施工项目的成本控制	136
5.4.1	成本控制的意义	136
5.4.2	成本的事前控制	137
5.4.3	成本计划执行中的控制	140
5.4.4	成本分析常抓不懈	142
	习题	144
6	数学方法在施工中的应用	146
6.1	线性规划在施工网络中的应用	146
6.1.1	线性规划的模型	146
6.1.2	线性规划的解法	147
6.1.3	线性规划的实际应用	153
6.2	线性回归法在施工中的应用	159

6.2.1	定量预测	159
6.2.2	线性回归模型的建立和假设	160
6.2.3	应用模型进行预测的实例	160
6.2.4	分析预测结果的可信度	162
6.2.5	应用回归分析法注意事项	163
6.3	加权值统计进度及制定计划	163
6.3.1	加权值的概述	163
6.3.2	加权值数学模型的建立	164
6.3.3	加权值的计算	164
6.3.4	加权值进度统计	165
6.3.5	加权值目标计划、直方图及曲线	166
	习题	169
7	计算机在网络分析中的应用	170
7.1	使用计算机的必要性	170
7.2	计算机的基本程序	171
7.3	选择程序准则	172
7.4	计算机的运行	173
7.5	综合计算机系统	174
8	施工网络图设计实例	177
8.1	内浇外挂大模板施工网络	177
8.2	现浇框剪结构标准层施工网络	178
8.3	高层住宅普通装修施工网络图	180
9	搭接网络	183
9.1	双代号搭接网络的应用	183
9.1.1	搭接网络的表示方法	183
9.1.2	搭接网络的时间参数	183
9.1.3	搭接作业的原则	184
9.1.4	计算 ES_{i-j} 和 LS_{i-j}	184
9.1.5	双代号搭接网络图的绘制步骤	185
9.2	单代号搭接网络的计算方法及其应用	188
9.2.1	一般网络的计算方法	188
9.2.2	搭接网络的计算方法	189
9.2.3	流水网络的计算方法	192
9.2.4	单代号搭接网络的应用实例	193
附录	习题参考答案	197

1 绪 论

1.1 系统、网络

“系统”是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体，将这种极其复杂的研究对象，称为“系统”。系统作为一个概念既不是人类生来就有，也不是像有些外国人讲的那样，是20世纪40年代突然出现的東西。系统概念来源于古代人类社会实践经验。人类自有生产活动以来，无不在同自然系统打交道。战国时期李冰设计建造了伟大的都江堰工程，包括“鱼嘴”岷江分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水工程三大主体和120个附属渠堰工程，工程之间联系关系处理得恰到好处，一直保存到现在，是一个运转得非常协调的水利系统工程总体。近年来我们常将某个建设工地作为一个完整的系统工程进行管理。

“网络”这个名词已成为当今社会上的时尚术语，为系统工程管理的主要工具之一，在工程项目建设中工期、质量、安全和经济效益是四大技术经济指标，又是招标投标中双方共同关心的问题，也是社会效益最集中的表现。

20世纪50年代，工程进度表示的方法，大部分采用横条图计划法，这种方法比较直观，容易掌握，但缺点在于：

- (1) 没有将工程项目中每项作业的内在联系表示出来。
 - (2) 没有将影响工期的关键作业表现出来。
 - (3) 没有将每项作业的最早可能开始时间和最迟必须完成时间计算出来。
- 因此，当工程进度拖延时，无法估算对整个工程项目的影晌。
- (4) 没有将可利用的时差计算出来。
 - (5) 没有采用压缩工期、增加资源的各种优化方案。
 - (6) 没有将费用和工期联系起来，无法估算费用支出和工期的关系。

由于以上几种原因，横条图法已远远不能适应现代化建设的需要。

1956年美国杜邦(Du-Pont)公司的摩根·沃克(Morgan Walner)与雷明顿·兰法(Remington Rand)公司内部建筑计划小组的詹姆斯·克利(James Kelly)共同研究提出了关键线路法(Critical Path Method)，简称C. P. M.。

1958年美国海军部为了加速研制北极星导弹计划，一个拥有6万项作业和3800个主要承包商的工程项目，需要协调和统一管理的计划方法，称为计划评审技术（Program Evaluation and Review Technique，简称P.E.R.T.），后来又发展为图例评审技术（G.E.R.T.）。

目前使用最多的为P.E.R.T.和C.P.M.，这两种方法十分相似，互相取长补短，差异已经很小，所不同的只是多项作业持续时间的估量，在C.P.M.中为肯定型，而在P.E.R.T.中是随机型。

这两种方法的基本原理都是首先应用网络形式表达一项计划中的各项作业的先后顺序和相互关系。其次，通过计算找出计划的关键作业和关键线路，接着通过不断改善网络计划，选择最优方案付诸实施，然后在计划执行过程中进行有效的控制与监督，保证最合理地使用人力、财力、物力来完成任务，也就是工程建设中所需要研究的问题。

1.2 任务、作业、事项

建设一幢房屋、一条道路、一座水库等都称为“一项任务”。任何一项任务，不管其大小繁简，都有一个开端，又有一个结束。开端就是从各项准备工作就绪，正式开始施工，通常以开工报告中批准的时间为开始，结束就是经过竣工验收、交付使用，表示任务的完成。在工程施工过程中，包括许许多多人员和各式各样的工作和劳动，统称为“作业”。

某项作业完成以后，才能开始下一项作业，这种相互制约和相互依存的逻辑关系，称为“作业的连续特性”。前面要做的作业，称为“先行作业”，后面紧接着要做的作业，称为“后继作业”。

每项作业都有一个开始做的瞬时和一个标志完成的瞬时，瞬时是先行作业完成的标志；又是后继作业具备了先决条件，可以着手进行的标志。故此“瞬时”称为“事项”。

事项有三个特性：

（1）瞬时性——事项本身完成所需的周期和作业所需完成的周期相比，前者是短暂的，是可以忽略不计的瞬时。

（2）衔接性——指事项起着将有关作业衔接起来承上启下的交接作用。

（3）易检性——作业在进行过程中，比较难以检查，只有通过交接手续，才能更好地反映出来。事项是由各个从事先行作业的人或从事后继作业的人和从事本作业的人相互约定，协调配合才能完成的。在目前施工过程中，往往忽视“事项”的三性。

1.3 事项和作业的表达方法

每一事项用一个节点表示，每项作业用两个节点和一根箭杆来表示，故称为“双代号网络图表示法”，如图 1-1 所示。

在箭杆的箭尾节点 i 称为这个作业的开始事项，箭头节点 j 称为该项作业的结束事项。在箭杆的上面 D_{ij} 是该项作业的名称，箭杆的下面 t_{ij} 是该项作业的持续时间，箭杆的长短并不表示时间的长短。箭头指向表示作业进行的方向。

〔例题 1〕浇注混凝土这一作业，需要 3 天时间；在网络图中编号开始节点为⑦，结束节点为⑧，该项作业的代号为⑦→⑧，见图 1-2。

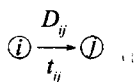


图 1-1 网络图中基本单元

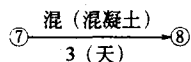


图 1-2 示例图

如果时间单位在网络图中全部相同，那么在图中只需用一个数字说明。

1.4 网络图的构成

由若干节点和若干箭杆来表示若干个作业，所有作业均有持续时间，作业之间有先后顺序和相互逻辑关系，组成一幅网络图。所以说，C. P. M. 网络实际上是一个工程项目的图示模型。

〔例题 2〕某个项目基础工程，根据施工方案的说明：基坑开挖无需抽水、支撑等技术措施。但浇注混凝土，必须分两块进行。经过计算，结果见表 1-1。

表 1-1 某项基础工程作业持续时间表

作业名称	挖土	支模 (1、2)	扎钢筋 (1、2)	浇混凝土 (1)	浇混凝土 (2)
持续时间 (天)	5.0	各 2.0	各 3.0	4.5	4.0

有了上述资料，可以绘制网络图（见图 1-3）。

图 1-3 共有 7 个节点，7 根箭杆，另外还有 1 根虚箭杆，关于虚箭杆的作用，见 2.1.1 节。

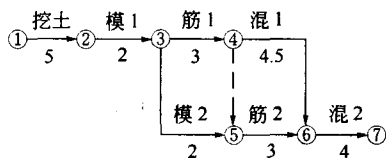


图 1-3 混凝土基础工程网络图

2 双代号和单代号网络图

2.1 绘制双代号网络图的基本原则

2.1.1 虚箭杆的作用

虚箭杆又称虚作业，所谓虚作业是虚设的，它仅表示作业上的逻辑关系，而不是正式作业，既没有名称，也不占用时间，持续时间为零，故又称零箭杆。虚作业虽不耗用任何资源和费用，但在双代号网络图中运用虚箭杆是个十分重要的问题，必须首先明确，其作用如下：

(1) 正确地表达网络图中作业之间相互制约的逻辑关系。仍以 1.4 节某个项目基础工程为例，见图 2-1。

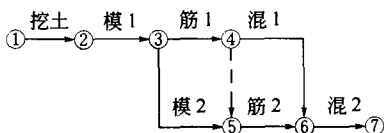
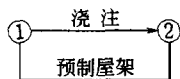


图 2-1 采用虚箭杆构图

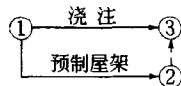
说明：作业 5—7（筋 2）的先行作业有两项 3—4（筋 1）和 3—5（模 2）完成后才能进行。

同理作业 6—7（混 2）的先行作业有两项 4—6（混 1）和 5—7（筋 2）。所以必须加虚箭杆解决。

(2) 两项作业同时开始，并且同时完成，必须引入虚作业一项，不但要增加一个虚箭杆，同时又要增加一个节点。如果图 2-2 (a) 中用两个节点、两根箭杆代表浇注和预制屋架两项作业同时进行，则不符合双代号网络定义，是错误的画法。只能用增加一根虚箭杆和一个节点的方法解决，正确的画法如图 2-2 (b) 所示。



(a) 错误的画法



(b) 正确的画法

图 2-2 虚箭杆作用图

同理，多项作业同时开始，并同时结束（平行作业）时，也要引入虚作业，见图 2-3。

(3) 分楼层流水作业、立体交叉作业要用虚箭杆断开，以正确地表示段与段之间和楼层与楼层之间的作业顺序关系，见图 2-4 (a)。正确的画法，不但在

层与层之间增加两道虚箭杆，而且在第二层两道作业横向之间前后增加一道虚箭杆。错误的画法见图 2-4 (b)，主要错在一层抹灰与三层砌墙建立不正确的连接关系，少画了在二层中的一根横虚箭杆。

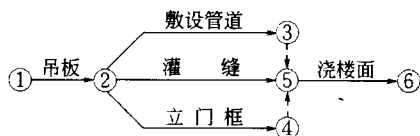


图 2-3 虚箭杆作用图

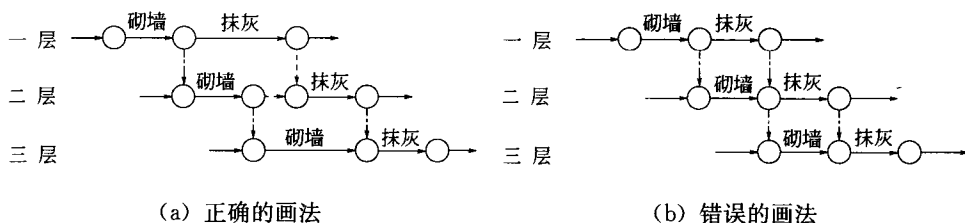


图 2-4 分层流水作业图

(4) 群体建筑工程同时施工时，不同栋号之间，有些作业之间有相互关系时，要用虚箭杆联系。如栋号乙在某项作业开始前使用栋号甲撤下来的机械，或栋号甲某项作业需要栋号乙的某项作业完成后下来的工人去做，这种联系作业就靠虚箭杆去建立，见图 2-5 所示。

(5) 多目标开始或多目标结束的网络图，要增加虚箭杆，将多目标变为单目标，以表示整个计划的开始和结束，见图 2-6。

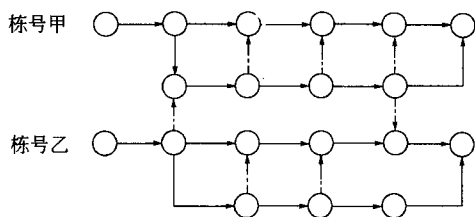


图 2-5 群体工程网络图

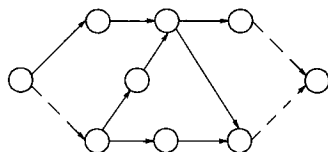


图 2-6 多目标工程网络图

2.1.2 各种逻辑关系

逻辑关系是根据生产工艺和施工组织设计的要求，在作业进行时，客观存在着的一种先后顺序和相互信赖、制约的关系。如砖混结构作业，砌墙完成后才能吊装预制板，吊装完成后要进行灌板缝、铺设预埋管道，而这两项平行作业都完成后，才能浇楼面。首先列出作业顺序表（见表 2-1）。

表 2-1 砖混结构作业顺序表

本 作 业	后 继 作 业
砌 墙	吊 板
吊 板	灌板缝、预埋管道
灌板缝	浇楼面
预埋管道	浇楼面
浇楼面	—

根据作业顺序表绘制网络图（见图 2-7）。

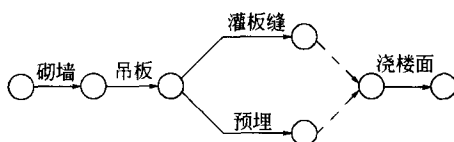


图 2-7 砖混结构网络图

各种逻辑关系的表示方法，见表 2-2。

表 2-2 各种逻辑关系表

序 号	逻 辑 关 系	表 示 方 法						
1	A、B、C 三项是连续作业 <table> <tr> <th>先行</th> <th>后继</th> </tr> <tr> <td>A</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>C</td> </tr> </table>	先行	后继	A	B	B	C	
先行	后继							
A	B							
B	C							
2	B、C 在 A 完成后开始 <table> <tr> <th>先行</th> <th>后继</th> </tr> <tr> <td>A</td> <td>B、C</td> </tr> </table>	先行	后继	A	B、C			
先行	后继							
A	B、C							
3	A、B 完成后进行 C <table> <tr> <th>先行</th> <th>后继</th> </tr> <tr> <td>A、B</td> <td>C</td> </tr> </table>	先行	后继	A、B	C			
先行	后继							
A、B	C							
4	C 接在 B 工作后面 D 接在 A 工作后面 <table> <tr> <th>先行</th> <th>后继</th> </tr> <tr> <td>B</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>D</td> </tr> </table>	先行	后继	B	C	A	D	
先行	后继							
B	C							
A	D							

续表 2-2

序 号	逻辑 关 系	表 示 方 法								
5	C、D 要在 A、B 两项作业完成后才开始 <table><tr><th>先行</th><th>后继</th></tr><tr><td>A、B</td><td>C、D</td></tr></table>	先行	后继	A、B	C、D	<pre>graph LR; A((A)) --> J(()); B((B)) --> J; J --> C((C)); J --> D((D));</pre>				
先行	后继									
A、B	C、D									
6	A 完成后进行 C 作业，A、B 完成后进行 D <table><tr><th>先行</th><th>后继</th></tr><tr><td>A</td><td>C、D</td></tr><tr><td>B</td><td>D</td></tr></table>	先行	后继	A	C、D	B	D	<pre>graph LR; A((A)) --> C((C)); A((A)) --> D(()); B((B)) --> D; D --> E(());</pre>		
先行	后继									
A	C、D									
B	D									
7	A 完成后做 B B 完成后做 C D 完成后做 C <table><tr><th>先行</th><th>后继</th></tr><tr><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>B</td><td>C</td></tr><tr><td>D</td><td>C</td></tr></table>	先行	后继	A	B	B	C	D	C	<pre>graph LR; A((A)) --> B((B)); B --> C((C)); D((D)) --> C;</pre>
先行	后继									
A	B									
B	C									
D	C									
8	A 完成后进行 C、D B 完成后进行 D、E <table><tr><th>先行</th><th>后继</th></tr><tr><td>A</td><td>C、D</td></tr><tr><td>B</td><td>D、E</td></tr></table>	先行	后继	A	C、D	B	D、E	<pre>graph LR; A((A)) --> C((C)); A --> D(()); B((B)) --> D; B --> E((E));</pre>		
先行	后继									
A	C、D									
B	D、E									
9	A、B、C 完成后做 D B、C 完成后做 E <table><tr><th>先行</th><th>后继</th></tr><tr><td>A、B、C</td><td>D</td></tr><tr><td>B、C</td><td>E</td></tr></table>	先行	后继	A、B、C	D	B、C	E	<pre>graph LR; A((A)) --> D(()); B((B)) --> D; C((C)) --> D; B --> E(()); C --> E;</pre>		
先行	后继									
A、B、C	D									
B、C	E									
10	A、B 完成后做 D C 完成后做 E D、E 完成后做 F <table><tr><th>先行</th><th>后继</th></tr><tr><td>A、B</td><td>D</td></tr><tr><td>C</td><td>E</td></tr><tr><td>D、E</td><td>F</td></tr></table>	先行	后继	A、B	D	C	E	D、E	F	<pre>graph LR; A((A)) --> D(()); B((B)) --> D; C((C)) --> E(()); D --> F(()); E --> F;</pre>
先行	后继									
A、B	D									
C	E									
D、E	F									

续表 2-2

序 号	逻 辑 关 系	表 示 方 法
11	有两组连续作业 A、B、C 和 x、y、z, A, x 是起始作业, C、z 是终止作业	
12	在上例中, 若再增加一项作业 M, 从起点开始, 在 C 和 y 开始前结束	

2.1.3 网络图的型式

双代号网络图分为六种型式:

- (1) 依次型 (见图 2-8)。
- (2) 多出型 (见图 2-9)。

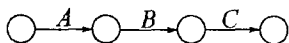


图 2-8 依次型

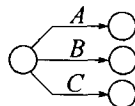


图 2-9 多出型

- (3) 多进型 (见图 2-10)。
- (4) 多进少出型 (见图 2-11)。

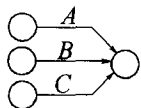


图 2-10 多进型

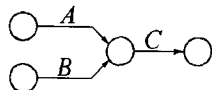


图 2-11 多进少出型

- (5) 多出少进型 (见图 2-12)。
- (6) 多进多出型 (见图 2-13)。

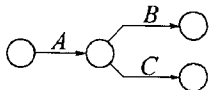


图 2-12 多出少进型

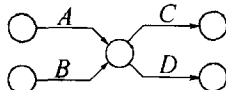


图 2-13 多进多出型

2.1.4 网络图的画法技巧

技巧一 当一个网络中有多项作业时, 选择其中只有一项先行作业或后继作业, 首先用实线将此两项作业直接连接起来, 其余作业由虚箭杆去处理, 此

法运用于多进少出型或多出少进型。

【例题 1】 A 的后继作业有 C、D 两项作业，B 的后继作业有 E、D 两项，试绘制逻辑关系图。

表 2-3 逻辑关系表

先行	后继
A	C、D
B	E、D

解：

① A、B、C、D、E 五项作业中，A、B 是先行，放在前面，C、D、E 是后继，放在后面。见表 2-3。

② 其中 C 只有一项先行作业 A，E 只有一项先行作业 B，首先将这两项作业分别用直线连接起来，见图 2-14。

③ D 的先行作业有两项 A 和 B，因此必须将 D 单独画，最好排列在 A、C 和 B、E 之间。

④ 最后将 A、B 和 D 的关系用虚线连在一起，见图 2-15。

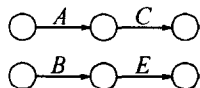


图 2-14 解例题 1②图

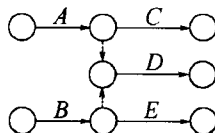


图 2-15 解例题 1③、④图

【例题 2】 A、B、C 的后继作业有 D，B、C 的后继作业有 E，试绘制逻辑关系图。

表 2-4 解题分析 2 图

先行	后继
A、B、C	D
B、C	E

解：

① 先将其逻辑关系列表，见表 2-4。

② 其中 A 的后继作业只有一项 D，用直线连接，见图 2-16。

③ B、C 的后继作业有 D 和 E 两项，B 和 C 同时并列，因此两项作业的结束节点可合并成一个，见图 2-17。

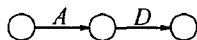


图 2-16 解例题 2②图

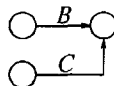


图 2-17 解例题 2③图

④ 因 E 的先行作业有两项为 B 和 C，因此 E 的开始节点就是 B、C 两项作业的结束节点，见图 2-18。

⑤ B、C 的后继作业有两项，除 E 外尚有 D，根据技巧一的说明，应用虚线连接，即图 2-16 和图 2-18 合并，见图 2-19。