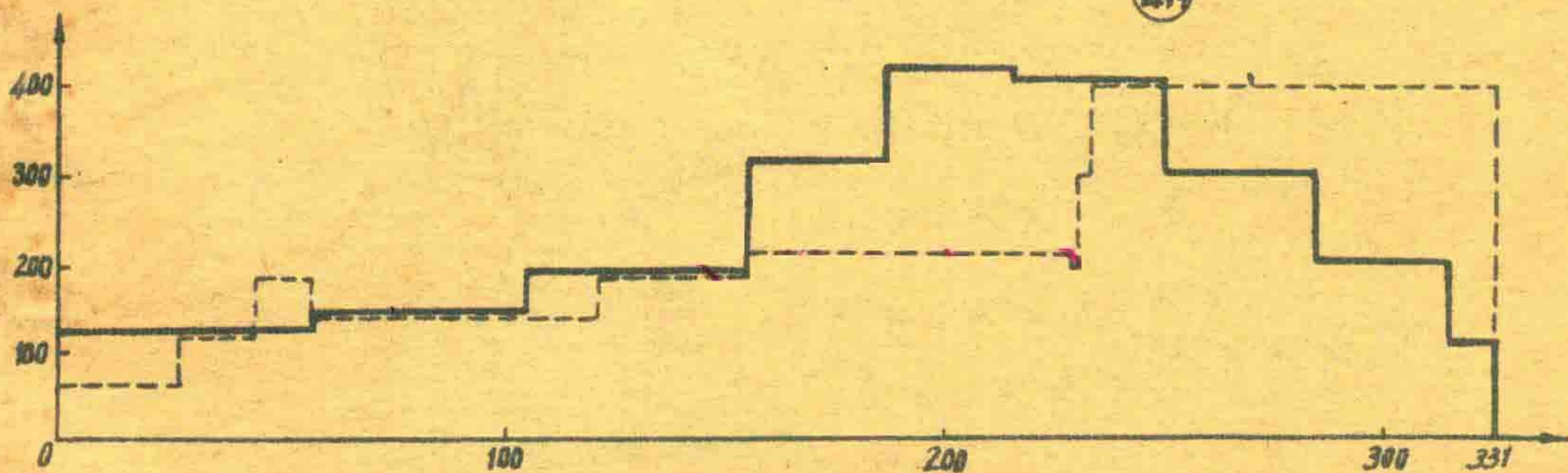
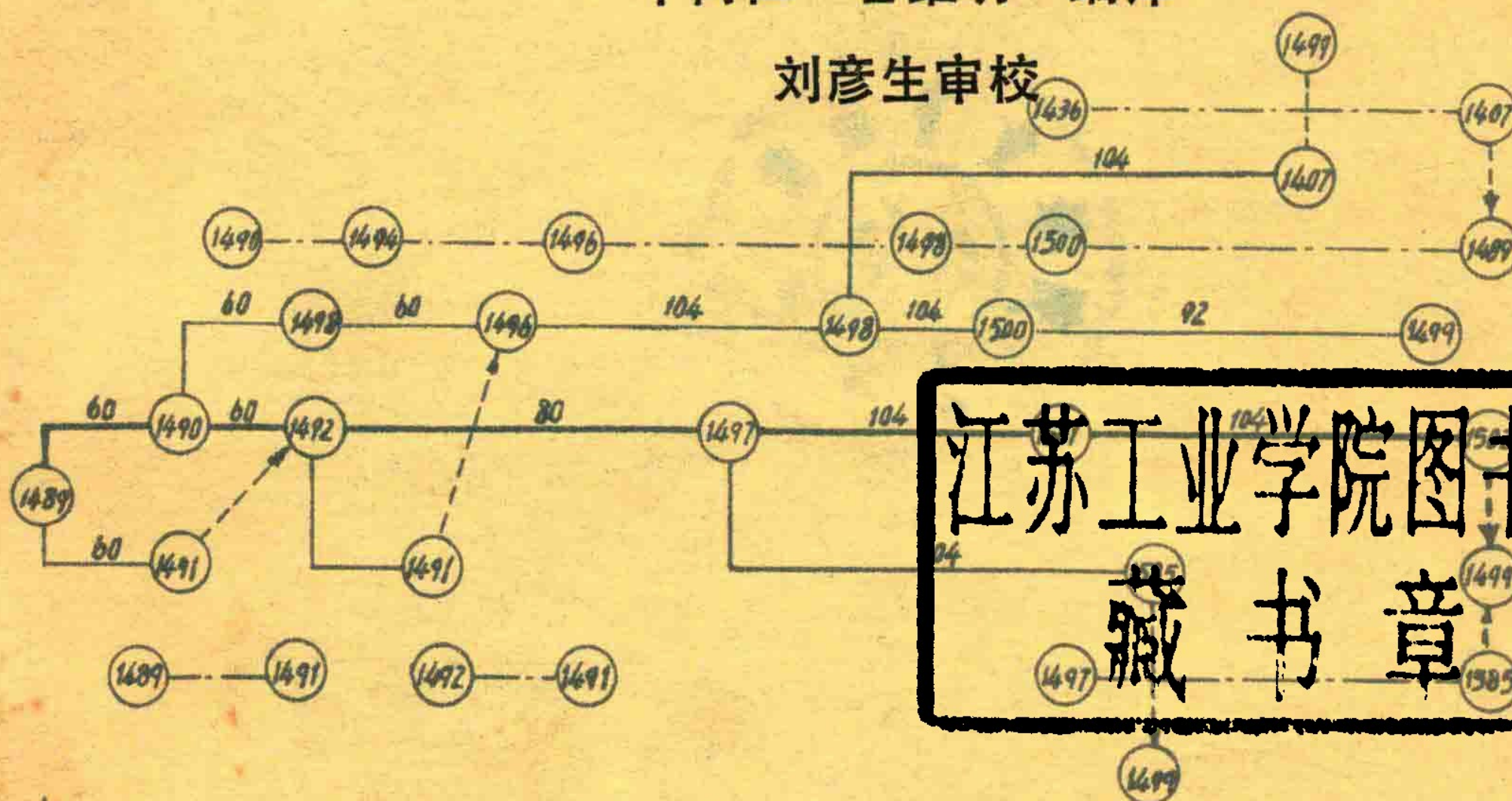


主编 刘彦生

## 计划管理网络方法 在矿井建设中的应用

牛树仁 石维明 编译

刘彦生审校



阜新矿业学院情报资料室

1982.6

# 目 录

|                           |       |    |
|---------------------------|-------|----|
| 序 言                       | ----- | 3  |
| 第一章 网络方法的基本概念             | ----- | 6  |
| §1-1 概述                   | ----- | 6  |
| §1-2 网络方法的基本概念            | ----- | 7  |
| §1-3 各参数的计算               | ----- | 8  |
| §1-4 网络计划的优化              | ----- | 11 |
| §1-5 各种网络方法简介             | ----- | 15 |
| §1-6 应用网络方法的局限性           | ----- | 17 |
| 第二章 矿井建设网络系统概述            | ----- | 19 |
| §2-1 矿井建设网络系统概述           | ----- | 19 |
| §2-2 矿井建设网络系统的组成          | ----- | 25 |
| §2-3 系统的结构                | ----- | 31 |
| §2-4 工作的结构分析 (CAP)        | ----- | 32 |
| 第三章 矿井建设网络模型              | ----- | 38 |
| §3-1 矿井建设组织               | ----- | 38 |
| §3-2 网络模型制定的阶段            | ----- | 42 |
| §3-3 初步设计阶段施工组织设计或分网络模型编制 | ----- | 42 |
| §3-4 总体的合并的网络图编制          | ----- | 43 |
| §3-5 建设阶段工程施工设计内容中网络模型的编制 | ----- | 67 |

第四章 在矿井巷道网络计划管理系统中的数学

方法及电子计算机的应用 ----- 80

§4-1 概述 ----- 80

§4-2 按时间计划的网络系统 ----- 82

§4-3 具有资源的计划考虑的按时间计划的网络系统 ----- 98

§4-4 具有资源分配最优化的按时间计划的网络系统 ----- 101

§4-5 对矿井巷道的网络系统中机口程序的主要要求 ----- 130

§4-6 在设计任务阶段研制初始计划时网络分析及最优化的程序 ----- 131

§4-7 在业务计划管理阶段网络分析及最优化的程序 ----- 132

## 编者的话

近十年来在国际上系统已成为一门非常热门的学科。国际性的系统工程会议多次召开，有关的论文、专著和杂志陆续出版发行。许多大学、研究所纷纷设置相应的专业。国外许多现代化的大工程、大企业往往喜欢说，自己的成就是系统工程师的杰作。美国北极星导弹的研制，原定计划六年完成，结果提前二年完成了。组织研制的单位把提前完成的原因，首先归之于采用了系统工程的结果，更有许多人评论说：“阿波罗——11号登月成功是美国系统工程的胜利。”

我国近二、三年来，在著名科学家钱学森同志倡导下，也开始重视了对系统工程的研究和应用。所取得的成果也证明了系统工程的有效性。有许多系统工程方面的论文、专著开始问世，关于去年11月在北京成立了《中国系统工程学会》共会刊《系统工程的理论与实践》也于今年出版。许多单位编印了有关运筹学、系统工程、技术经济和管理现代化方面的资料，对传播普及这方面的知识，提高我国经济建设的效果，促进我国管理工作的现代化起到积极的作用。也弥补了当前我国出版力量的某些不足。但是在矿业工程中应用运筹学与系统工程及管理现代化方法的文章与书刊却很少见。为了加速我国采矿工业管理的现代化，提高其技术经济效果，就需要对运筹学系统工程等新学科在矿山中的应用问题进行研究。因此我们组织了一批有志于从事这方面工作的同志，首先从资料入手，编印一批有关运筹学、系统工程及其他新兴学科在矿山的生产建设、科学研究、组织管理等方面应用的资料。这套内部资料暂定名为《矿业系统工程丛书》，拟编印十五册左右，其中主要是：《计划管理网络方法在矿山中的应用》，《矿业网络技术，方法原理及应用》，《线性规划在矿山中的应用》，《排队论在矿山中的应用》，《矿井建设组织的模拟》，《矿井建设中推进工作集约化的效果》，《矿山企业这套系统的计划和模拟》，《矿山过程的模拟和最优化》等。该书可供从事矿山生产、建设设计、科研等部门工程技术人员、管理干部阅读，也可供大专院校师生做为教学参考书。在当前知识老化加快，工程技术人员知识急需更新的情况下，也可以有选择地用这套丛书

做为各类进修班，研究班，短训班的教材。

这是一门新的学科，正因为其新所以有许多概念、名词都没有来得及统一。加之我们水平很低，又多是业余时间搞的，仓促成文，错误不当之处一定不少。我们希望看过本丛书的同志能来信和我们取得联系，指出我们的错误，提出对内容取舍的意见并推荐选题，讨论一些具体问题。

我们力量有限，编印这套《矿业系统工程丛书》只表示我们愿为在矿业工程中，开拓发开这一新领域尽一莫微力，起到抛砖引玉的作用，从和有志从事这一工作的同志共勉。

本丛书之五主要取材自 H. B. 依季格佐和 M. M. 拉波波尔特所著之《计划管理网络方法在矿井建设中的应用》一书。关于网络方法的原理，计划，优化等基本概念在本丛书之一中已有介绍，故在本书之五中不再重复。但考虑到阅读本册书的读者手头不一定有本丛书之一。还是本册中加了一章“计划管理网络方法之基本概念”，对网络方法之基本概念作一简要介绍。本书所谈内容虽为六十年代末期苏联开始应用网络方法的一些情况，但目前我国在矿井建设中应用网络方法尚处于开始阶段，有些内容尚有一定的参考价值。至于电子计算机优化问题，改虑问题的方法，要求等尚可参改，其计划程序本身显然是陈旧了，希读者注意。

编者

一九八二年

## 序 言

矿井建设的特殊是在整个未投产时期需要大量的设备，所以在国家工业建设的总系统中最繁重的，具有巨大费用的工程。

缩短矿井建设的工期和成本可保证大大地提高基建投资的效果。

矿井建设的有效管理要求：连续合理的计划，管理机构对建设工作的有效作用，对采用方案实现的明确地监督，以及及时充分地分析每个组织及建设施工总进程的的工作结果。

要想实现这些要求，必须收集、加工及分析大量信息。采用目前的计划及管理方法是不大有效的，因为需要大批人员从事长期的工作。

把数学方法及电子计算机技术应用于计划及管理，可从改善矿井建设的管理。

从反映被建设工作的状态及动态的，研制过程模拟为基础的计划的及管理控制论系统，近年来在苏联及国外获得了广泛的应用。

最有效的是所谓网络模型，包括网络模型及计划与管理的网系统(СПН)。

网络模型，它们的形式及分析，以及在管理进程中被采用的解法的特性要考虑到生产的特殊。

矿井建设工作特殊是：

长时间的占用着必须的资源（劳动力、货币、材料）。

矿建工作必须具有确定的顺序；

矿井建设时间取决于最繁重的矿建工作时间，而不取决于土建工作时间；

随着巷道的掘进或者工程项目的完成程度而使工作地点不断地变动；

采用专用的矿山掘进机；

井下工人的特殊劳动条件取决于提升工作、通风工作、其他辅助车间的工作，以及随着工作面的推进矿山地质条件及生产条件的变化；

在矿井建设中，在立井掘进完之后只有一过渡时期，用来准备掘进井底车场巷道及其他水平巷道；

由于矿山地质条件形形色色，所以进行标准设计比较复杂。

除了按计划管理复杂化的这些特点之外，也存在着促进运用新管理方法的某些条件，这些条件如下：

具有工作定额（CH及M及EHB及P）；

有确定的工程（包括建设过程）组织和工人，

在工作队与个别执行者之间工作顺序分配明确；

人材专门化。

网络系统用来编制计划，分析最终目的可达到的方案，选择最好方案，以及对在整个时期工作完成的进程进行监督管理。

网络系统的特点是，研究建设时，考虑到施工场地上个别过程之间的内部联系，并考虑到与分承包合同组织、设计组织及供货人的外部联系。

在煤炭工业中，在下列条件下采用网络系统：

1) 煤炭工业企业的建设——对矿井，露天矿及选矿厂的建设研制网络系统（在设计课题组成中及在生产设计组成中）；为了降低建设成本和缩短建设期限，按网络查对建设进行计划管理；资源——拨款，材料及设备等的最优分配；按方针的基本建设投资的最优计划；

2) 科研工作的计划和实现——在设计研究院中进行计划管理，从设计处煤炭工业的新的企业及改造现有企业；研制灶田发已设计的综合系统；研制新矿床开发的综合设计；利用科研工作计划管理；研制新技术的创造及运用的系统；

3) 矿井及露天矿的生产——矿山工作发已的计划管理；研制处理事故的计划；修理工作的计划；综合机械化和自动化的计划；计划的经济论据。

在网络系统的基础上，可能创造及运用有关采煤及建设进行的的信息的收集、传送和加工的自动系统。

应用网络系统也可使管理及行政劳动实行机械化和自动化，可以在电子计算机上计算周计划，月计划、季度计划及年度计划。

到目前为止所积累的网络系统的总工业应用的实际经验表明，它们的运用在经济上是有利的，并且是有效的。在建设过程中，这种系统的应用可以缩短工作完成期限10—30%，而由于加快建设以及很好地利用材料资源和

人力资说，所以经济效果为建设安装工作的予称价值的1-2%。

考虑到此矿建设期限大，地超过标准期限，为了保证标准期限，而且可能极其现实地缩短此期限，而应用网络系统。

近年来，对于矿井及选矿厂的建设，虽已研制出大于几十个项目的网络图，但是其应用仍带有试验性质。

因此，从1968年开始，在建设复杂矿井，选矿厂及露天矿的综合网络图的基础上，网络计划管理系统的应用是必须的，矿井建设组织的领导者应当很好地了解网络理论，并且善于把它应用于实际中。

本书中叙述用于矿井建设的网络系统的基本理论原理，并且阐明其研制及运用于矿井及选矿厂建设的经济。

## 第一章 网络方法的基本概念

### §1-1 概述

计划管理的网络方法(也称统筹方法或计划协调技术,以下简称网络方法)是一种关于组织计划和管理科学方法,也是系统工程中经常应用的一种方法。

在现代化的科学技术高度发展和大规模工业生产条件下,生产活动、基本建设、科学研究、军事斗争的特质是:规模越来越大、各环节之间的制约关系错综复杂、参加的人员和单位之多、耗费的资金数量之大都是前所未有的。如何最合理地组织好、管理好,做到全面规划统筹安排;以便将各个环节相互在一定条件下使整个系统处于最优状态下工作。要做到这一靠过去的传统方法,单凭经验或稍加思索是解决不了的。而每一个管理决策上的失误都会造成重大的经济损失和时间上的拖延。因此就需要有一个对各项“活动”进行最优计划,合理安排,最优管理的科学方法。网络方法就是适应这种需要而产生的。

1956年美国杜邦公司开始研究关键路线法。它是网络方法中的一种重要方法,简称CPM方法(Critical path method)。1958年美国海军武工局开始研究计划协调技术,即所说的PERT方法(Program Evaluation and Review technique),并把这一方法应用于北极星导弹的研制,因此使导弹的研制时间缩短了二年。此后这类方法就迅速地在世界各地得到广泛应用并取得良好效果,并且越是头绪繁多的、复杂的、调子频繁的、时间紧迫的任务采用这种方法收到的效益就越大。

国外煤炭工业中应用网络方法始于六十年代。美国、苏联、英国、西德、日本、波兰、捷克等国家,都先后在煤炭工业中应用了网络方法。其应用的范围十分广泛,从综采工作面的搬迁到矿井的采掘平衡计划,从设备的安装与大修到新水平的开拓与准备工作等方面都取得良好效果。特别是在大规模的矿井建设工程中,应用网络工作系统效果更为显著。如苏联在建设年产900万吨的“雷沙尼亚”页岩矿和年产400万吨的“克拉斯诺阿米尔-卡彼塔里”火矿中就成功地应用了时间-资源的计划管理网络工作系统。

### §1-2 网络方法的基本概念

网络方法是一种从任务（一项工程或一项科研任务）的总进度着眼，针对任务的组织计划；任务的实施过程及其指挥调度，而把任务完成过程中所采取的技术上和组织上的设想及其内在联系定务地描述出来，通过分析计划，通过建立严格的岗位责任制，以求对技术、对人、财、物等资源需要和可御之间不断加以协调平衡的组织管理方法。由于这种方法是新兴的一种科学方法，对方法中的名词术语的概念我国尚无统一的规定。因此把方法中的基本概念和同一概念的不同术语说明一下。

1. 任务：是指我们要进行的一项科学研究任务或一项生产建设任务。如综采机组的研制，新水平的准备等。任何一项任务不管其大小简繁，都有一个开端和一个结束。

2. 工序：也称工作或活动，是一项有具体活动内容，需要消耗一定人力、物力，经过一定时间才能完成的劳动过程。例如巷边支护、绞车安装等。通常在网络图上我们用一箭头来代表一个工序。

(1) 等待：指一个不消耗原料、设备，但是需要一定时间的过程。如混凝土浇灌后的养护等也应该看做是一个工序。

(2) 虚工序：是指虚设的，不需要消耗人力和物力，也不需要时间，而是通过这虚设的工序表示几个工序之间的相互依存和制约关系。虚工序用虚箭头来表示。

3. 事项：也称事件或节头，在网络图上用圆圈或方框来表示。事项表明其以前的一项或几项工序的完成并表明以后的一项或几项工序可以开始。它表示工序的开始结束或达到某一目的，因而没有时间上的延续，也不消耗资源，它决的是一种状态而不是一个过程。

4. 网络图：也称工序流程图或流程图。一项任务总是由许多工序组成的，各工序之间存在着一定联系和相互制约关系。用箭头来表示工序，圆圈表示事项。依照工序之间的制约关系，按先后顺序从左至右地排列起来画在图上，就是一张网络图，如着1-1所示。在图上各事项均编上号码，箭头上标数字表示完成该工序所需时间。

5. 路：也称线，是指从最初事项开始顺着箭头方向，连续不断的到

达最终事项的一条路线。一个网络图中有许多条路，每条路都有路长，路的长度就是路上各工序时间之和。

6. 关键路线：也称主要矛盾线或紧急线。经过时路长的比较就可以找出一条所需时间最长的路线，称为关键路线。关键路线的长度就是工程任务完工的总工期。要想缩短总工期，必须缩短处于关键路线上的工序时间，否则是不卸奏效的。如右所示之网络图关键路线为：①→③→④→⑤→⑦→⑧。

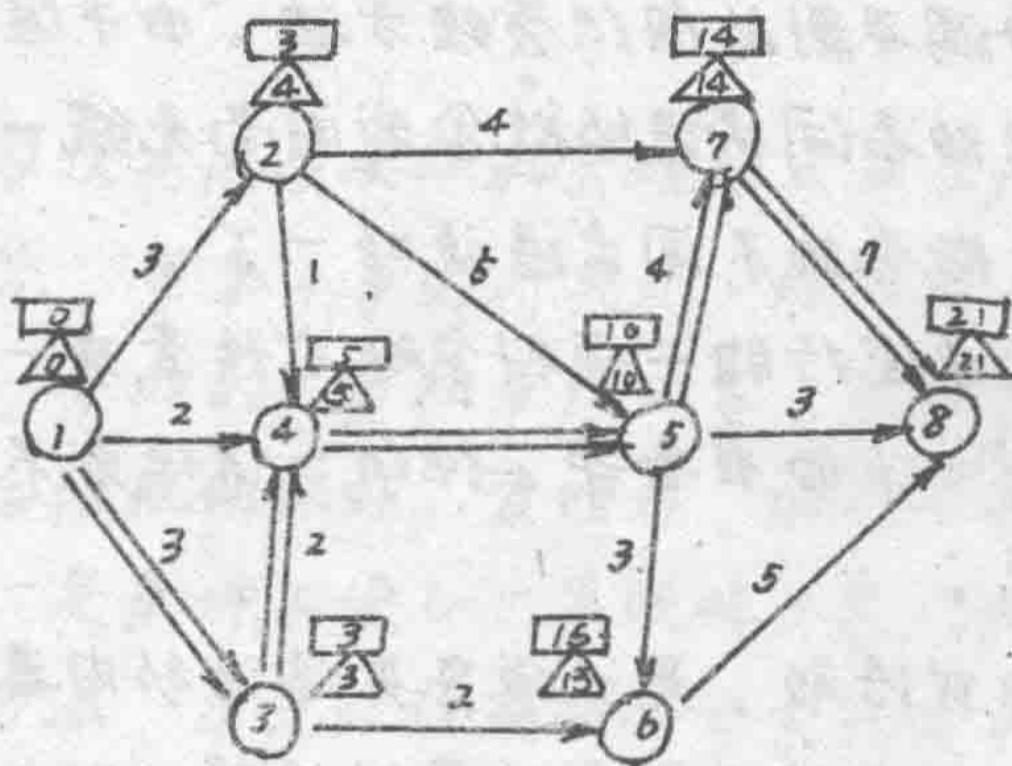


图1-1 网络图

### § 1-3 各参数的计算

#### 1. 事项的最早时间 $t_E(i)$ :

一个事项的最早可能开始时间，是指从始末起到本事项的最长路的时间，在这之前该事项是不能开始的。一个事项开始的最早时间是由它的箭尾事项的最早时间和工序的工时（箭杆上的时间）之和来决定的。若该事项同时有几个箭尾事项，则取其时间和中之最大者。可用下式公式来表示：

$$t_E(j) = \max \{ t_E(i) + t_{E(ij)} \} \quad (1)$$

式中： $t_E(j)$ ——任意中间事项的最早时间；

$t_{E(ij)}$ —— $ij$ 工序时间；

$$i = 1, 2, 3 \dots m$$

$$j = 2, 3, 4 \dots n$$

$$i < j$$

## 网络方法在矿井建设中的应用

$t_E(i)$  — 箭尾事项的 earliest 时间

最初事项 earliest 时间等于零，即

$$t_E(1) = 0 \quad (2)$$

事项的 earliest 时间由最初事项开始，自左向右逐一事项向前计算，直至最终事项为止。

2. 事项的最迟时间  $t_L(i)$ ：

一个事项的最迟完成时间，是指在这个时间里事项若不完成，就要影响之后工序按时开工，从而导致总工期的延长。

一个箭尾事项的最迟时间是由它的箭头事项的最迟时间减去工序时间决定的。若此箭尾事项同时发出几支箭头，应选择箭头事项最迟时间与工序时间之差的最小者。

最终事项的 earliest 时间就是它的最迟时间，即

$$t_E(n) = t_L(n) \quad (3)$$

$$t_L(i) = \min\{t_L(j) - t_E(ij)\} \quad (4)$$

式中  $i = n-1, n-2, \dots, n-(n-1)$

事项最迟时间的计算是从最终事项开始，自右向左逐一倒退计算，直到最初事项为止。

3. 工序的最早可能开工时间  $t_{ES}(ij)$ ：

一个工序必须等到它前面的工序完成之后才能开工，在这之前是不具备开工条件的。

工序的最早可能开工时间，就是它的箭尾事项的 earliest 时间，即：

$$t_{ES}(ij) = t_E(i) \quad (5)$$

4. 工序最迟必须开工时间  $t_{LS}(ij)$ ：

如果晚于这一时间开工，必将导致总工期延长。工序的最迟必须开工时间等于它的箭头事项的最迟时间减去本工序的延续时间，即：

$$t_{LS}(ij) = t_L(j) - t_E(ij) \quad (6)$$

5. 工序最早可能完工时间  $t_{EF}(ij)$ ：

工序最早可能完工时间，就是它的最早可能开工时间再加上完成本工序所需的时间。

$$t_{EF}(ij) = t_{ES}(ij) + t_E(ij) \quad (7)$$

6. 工序的最迟必须完工时间  $t_{LF}(ij)$  :

工序的最迟必须完工时间, 就是它的最迟必须开工时间再加上完成本工序所需时间。

$$t_{LF}(ij) = t_{LS}(ij) + t_E(ij) \quad (8)$$

7. 工序的时差:

也称机动时间, 充裕时间或时间储备。

工序的总时差  $R(ij)$  :

表示该工序的完工期可以推迟多少时间, 而不致于影响整个工程的总工期, 也就是工序的最迟必须完工时间与最早可能完工时间之差。

$$R(ij) = t_{LF}(ij) - t_{EF}(ij) \quad (9)$$

或表示为最迟必须开工时间与最早可能开工时间之差。

$$R(ij) = t_{LS}(ij) - t_{ES}(ij) \quad (10)$$

工序的单时差  $\gamma(ij)$  :

也称自由时间储备或局部机动时间。是指在不影响下一个工序最早开工期的情况下, 该工序的完工期可以有多大的机动时间。用该工序的箭头事项  $j$  和箭尾事项  $i$  的最早时间之差再减去本工序的时间来确定。

$$\gamma(ij) = t_E(j) - t_E(i) - t_E(ij) \quad (11)$$

8. 事项的时差  $R(i)$  :

事项的时差是指它的最迟时间与最早时间之差。

$$R(i) = t_L(i) - t_E(i) \quad (12)$$

9. 关键工序与关键事项:

时差为零的工序为关键工序。时差为零的事项为关键事项。所以计算中只要把时差为零的工序或事项从始至终串联起来即是求得的关键路线。

在根据上述基本公式进行计算时, 由于计算方法不同可分为图上计算法、表上计算法、矩阵法、三角阵法和电子计算机计算等方法

图上计算法就是直接在网络上进行计算, 并把计算所得的最早时间写在□号中, 最迟时间写在△号中, 直接标注在事项与工序上, 然后在图上标出关键路线如图1-1所示。

表上计算法是首先列出如表1-1所示的表格, 并添上原始数据, 然后从上向下逐项计算各工序的最早时间, 再从下向上计算各工序的最迟时

## 网络方法在矿井建设中的应用

时，最后计算时差并标出关键路线。

表 1-1

| 工<br>序<br>i | 序<br>j | 工序工时<br>t | 最早开工<br>t <sub>LS</sub> | 最早完工<br>t <sub>EF</sub> | 最迟开工<br>t <sub>LS</sub> | 最迟完工<br>t <sub>LF</sub> | 总时差<br>R | 单时差<br>γ | 关键工序 |
|-------------|--------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|----------|------|
| 1           | 2      | 3         | 4                       | 5                       | 6                       | 7                       | 8        | 9        | 10   |
| ①           | ②      | 3         | 0                       | 3                       | 1                       | 4                       | 1        | 0        |      |
| ①           | ③      | 3         | 0                       | 3                       | 0                       | 3                       | 0        | 0        | ①→③  |
| ①           | ④      | 2         | 0                       | 2                       | 3                       | 5                       | 3        | 3        |      |
| ②           | ④      | 1         | 3                       | 4                       | 4                       | 5                       | 1        | 1        |      |
| ②           | ⑤      | 5         | 3                       | 8                       | 5                       | 10                      | 2        | 2        |      |
| ②           | ⑦      | 4         | 3                       | 7                       | 10                      | 14                      | 7        | 7        |      |
| ③           | ④      | 2         | 3                       | 5                       | 3                       | 5                       | 0        | 0        | ③→④  |
| ③           | ⑥      | 2         | 3                       | 5                       | 14                      | 7                       | 2        | 8        |      |
| ④           | ⑤      | 5         | 5                       | 10                      | 5                       | 10                      | 0        | 0        | ④→⑤  |
| ⑤           | ⑥      | 3         | 10                      | 13                      | 13                      | 18                      | 3        | 0        |      |
| ⑤           | ⑦      | 4         | 10                      | 14                      | 10                      | 14                      | 0        | 0        | ⑤→⑦  |
| ⑤           | ⑧      | 3         | 10                      | 13                      | 18                      | 21                      | 8        | 8        |      |
| ⑧           | ⑧      | 5         | 13                      | 18                      | 16                      | 21                      | 3        | 3        |      |
| ⑦           | ⑧      | 7         | 14                      | 21                      | 14                      | 21                      | 0        | 0        | ⑦→⑧  |

矩阵法和三角阵法类似于表上计算法，按照一定规则把一些数字填入方形及三角形的表格中进行计算。限于篇幅不再赘述。

大型复杂网络课题的解算主要是使用数字电子计算机。它具有算法和程序的灵活性，可以解算大规模（达6万个工序）的网络课题，并具有广泛的算法程序组合能力，能解算实际上提出的任意网络课题。

### § 1-4 网络计划的优化

经过计算的网络计划可能在工期上或各种资源需要量上不能满足要求，这就需要对网络计划进行修改与调整，使其能在指定的工期内完工，并在现有资源（人力、设备、材料、资金等）限制条件下，均衡地使用各种资源，也就是尽量做到以最小的资源消耗取得最好的经济效益。对网络计划

逐步调正改善的过程就叫做网络计划的最优化或优化过程。

### 1. 时间优化

初始网络计划的关键路线长度如果小于规定工期，意味着还有些机动时间可供利用，这些时间可以用来增加关键路线上个别工序的时间，以降低资源需要量的“峰值”，并减少单位时间资源需要强度以降低工程费用。

比较多的情况是关键路线长度大于规定工期，这就要采取措施缩短关键路线上各工序的时间。其主要措施是：增加各关键工序上的人力、物力。

如改一班作业为两班作业、改单机作业为双机作业；尽量采用平行交叉作业；在关键工序上革新挖潜，尽量采用先进设备和工艺；把非关键工序上的人力、物力抽调一部分去支援关键工序等。

### 2. 时间—资源优化

在进行网络计划的时间优化计算时，往往是从完成工程所需的资源不受限制这一类出发的，即按照网络逻辑在某一时刻可以开始的工序都同时开始（或至少所有关键工序都同时开始）。实际上在现代化的大工程中，不受人力、设备、材料、资金、环境等条件限制的工程是不存在的。另一个问题是初始网络计划所需各项资源在时间上的分布极不均衡，因而给工程造成很多困难并增加了成本，因此对网络计划进行时间—资源优化是很必要的。

在进行时间—资源优化时通常把资源分为两类。一类是可存贮资源，是指那些在某一时刻多余的资源不会消失，可以贮存起来，待到另一时刻该种资源缺乏时可以用而不失效的资源。如一些不因贮存而损失的材料和货币等；另一类是不可存贮资源，即在某一时刻多余的资源余额将会自行消失，不能入帐贮存留待以后再行用。如机械设备的工作能力和人力等。因此在进行时间—资源优化时对不可贮存资源的平衡问题要十分注意。现以劳动力平衡为例来介绍一种时间资源优化的方法。设某工程网络计划如图1-2所示，各工序所需工人数标在箭杆上方的括号内，箭杆下方的数字是该工序所需的天数。关键路线是①→③，③→④，④→⑥，总工期为16天。

首先绘制如图1-3所示之日历线条图(a)和劳动力调正图(b)，线条上方所标数字为该工序每日所需之劳动力人数。

## 网络方法在矿井建设中的应用

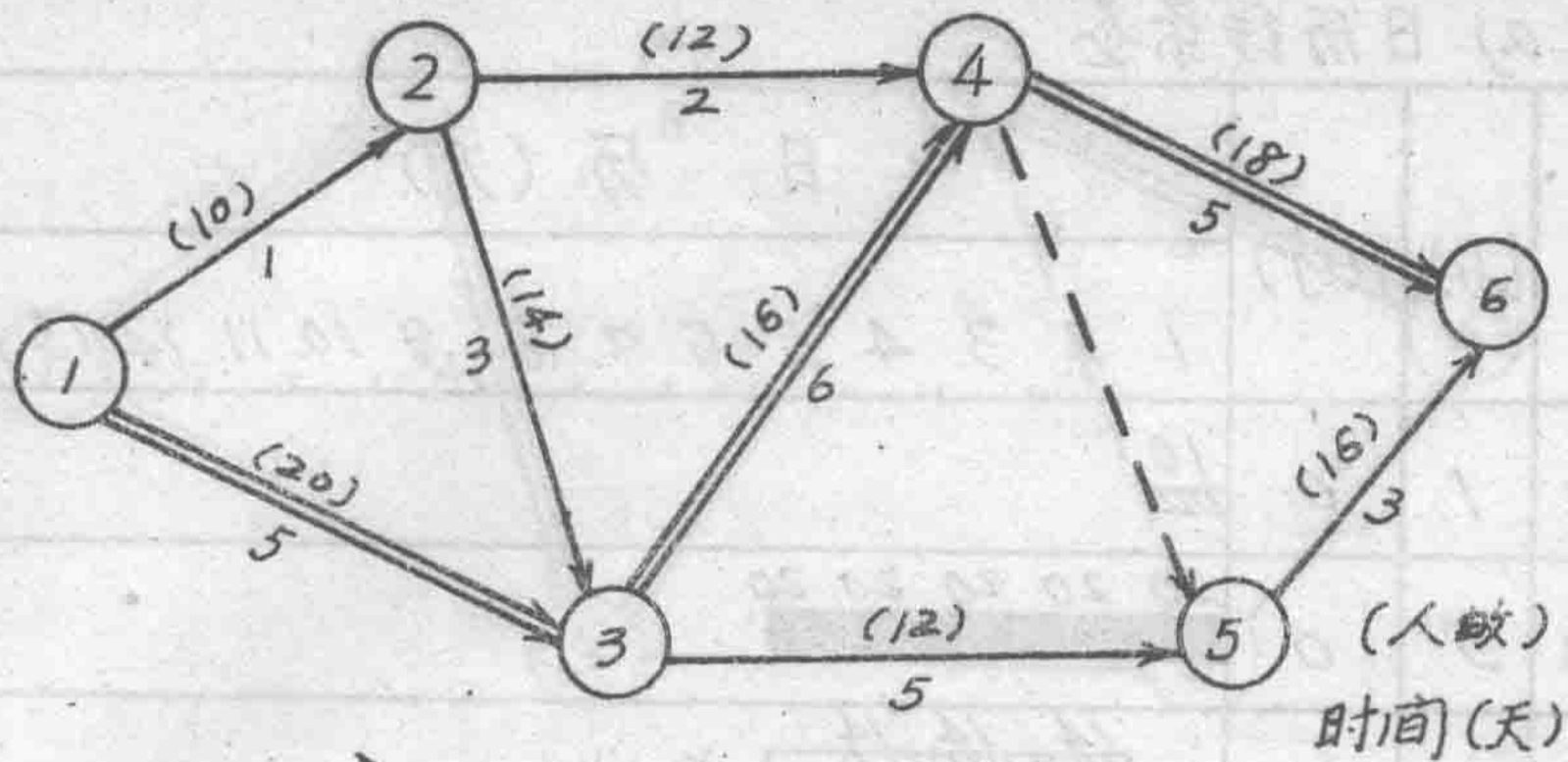


图1—2 时间—资源优化初始网络图

从图1—3(b)中可以看出每日所需工人数波动很大，最多为46人，最少时为16人。必须根据上级有关部门可能提供该工程的劳动力和完工期等约束进行优化。假设可能提供给该工程的工人为30名，根据这一条件进行优化。

主要是利用非关键工序的时差，改变某一工序的完成时间，或在其时差范围之内前后移动其开工和完工时间，从而达到30名工人工作均衡这一要求。

把工序②—③的时间改为4天，人数可从14人降为10人，把工序②—④的时间改为6天，工人数从12人降为4人，并将工期向后推迟4天。工序③—⑤的时间改为6天，工人数从12人减为10人。把工序⑤—⑥的时间从3天改为4天，人数从16人降到12人。经调整后，每日所需工人数均衡地稳定在30人这一数字上。重新绘制优化后的网络图(如图1—4)并进行时间参数计算。经优化后的网络图有两条关键路线即：①—③—④—⑥和①—②—③—④—⑥，总工期为16天，即保证了按原定工期完工，又均衡了劳动力需要量。需要注意的是②—③工序初始网络图上工作量为 $3 \times 14 = 42$ 人·班，优化后改为 $4 \times 10 = 40$ 人·班。因此要采取措施使劳动生产率提高5%才能完成任务。

当工序很多或多种资源的优化时，其解标复杂且计算工作量很大，在这种情况下最好利用电子计算机进行计算。

任何一项工程建设或生产研究活动，既要求使工程在规定的工期内完成，又要使其所花费用最少，这就是时间—成本优化所要研究的问题。限于篇幅，这部分内容从略。

a) 日历线条表

| 工<br>序<br>号 | $t_E(ij)$                                       | $\gamma(ij)$ | 日 历 (天)  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|-------------|---|--------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
|             |   |              | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1-2         | 1   | 0            | 10   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 1-3         | 5   | 0            | 20 20 20 20 20                                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 2-3         | 3   | 1            | 14 14 14<br>10 10 10 10 $\gamma=1$               |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 2-4         | 2   | 8            | 12 12 4 4 4 4 4 4 $\gamma=8$                     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 3-4         | 6   | 0            | 16 16 16 16 16 16                                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 3-5         | 5   | 1            | 12 12 12 12 12<br>10 10 10 10 10 10 $\gamma=1$   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 4-5         | 0   | 0            |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 4-6         | 5   | 0            | 18 18 18 18 18                                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 5-6         | 3   | 2            | 16 16 16<br>12 12 12 12 $\gamma=2$<br>$\gamma=0$ |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 调正前人数       | 30 46 46 34 20 28 28 28 28 28 16 34 34 34 18 18 |              |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 调正后人数       | 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 18 |              |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |

b) 劳动加调正表

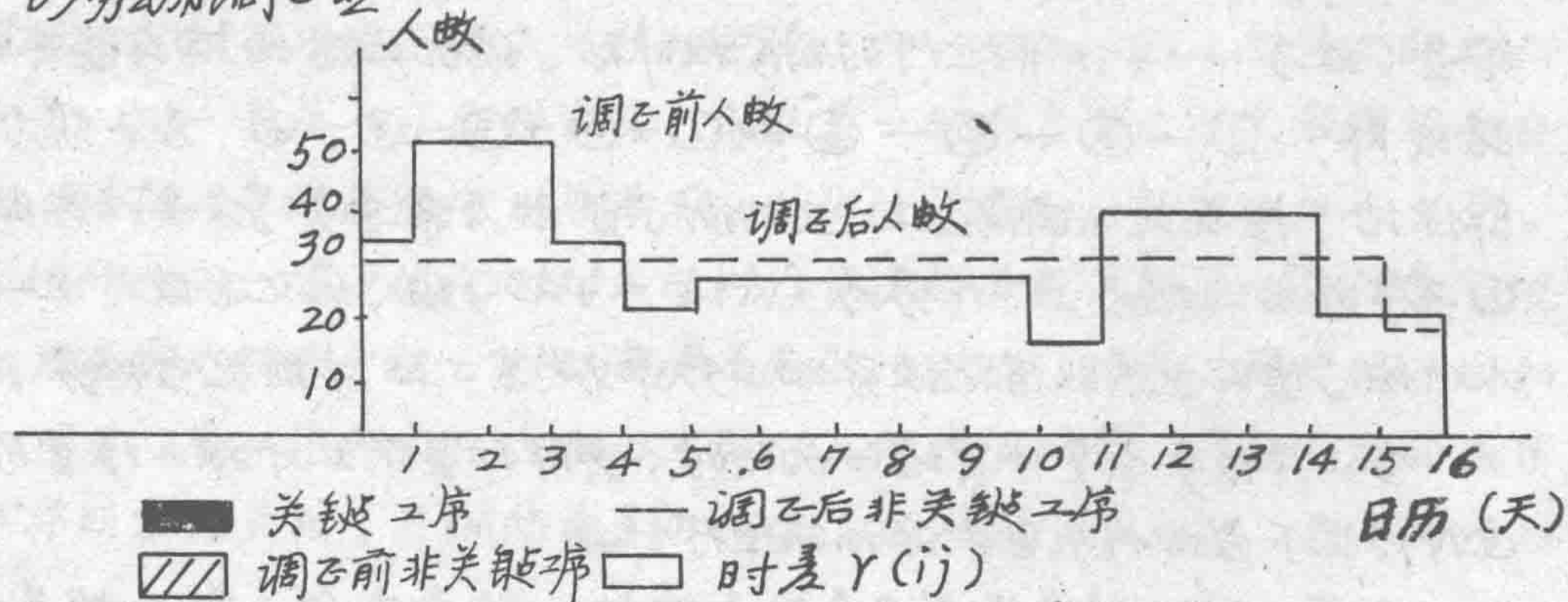


表1-3 时间-资源优化的日历线条表