

网络技术 在钻探工程管理上的应用

胡 浦 元

(山东省地质矿产局探矿处)

一、引 言

加强经济科学和管理科学的研究与应用,迅速提高我国探矿工程的管理水平,这是我国进入以经济建设为中心的新历史时期的客观要求。

网络技术是现代化科学管理方法的一种。钻探工程管理应用网络技术有利于克服计划管理和指挥调度的盲目性;有助于生产领导者及各级管理人员科学的、有预见性的从整体上把握全工程各工种各工序之间的相互关系,充分挖掘资源潜力,节约工程费用,缩短施工周期,获得最佳的经济效益。

本文就钻探工程管理如何应用网络技术发表一点探讨性的意见,供同志们在实践中参考。

二、网络技术的理论要点

(一) 网络技术的由来、实质及适用范围

网络技术是二十世纪五十年代后期发展起来的一种科学管理方法。它运用网络图(箭头图)的形式,对整个工程项目的各个环节进行统筹分析,在有限的条件下使之相互协调,以最短的时间,最少的费用,完成整个工程,达到获得最佳经济效果的目的。

网络技术着眼于整个系统,将系统中相互依存,相互制约的关系用简明的图形表示出来,使人们可以分析预见和估计项目进行过程中可能发生各种影响进度和资源利用的因素,并进行统筹规划和按排,从而保证整个项目按预定计划完成。

网络技术是一种计划管理应用技术。它主要适用于一次性的生产。钻探工程属一次性生产,所以适宜选用网络技术进行生产计划管理。

(二) 网络图的基本要素及构图原则

1. 基本要素

网络图是由事件(结点)、活动(箭线)和路线三个基本要素所组成。

事件:指某项工作的开始或结束,在网络图中一般以标有号码的“○”来表示。“○”通常是箭线的交接点,所以又称结点。结点不消耗资源,也不占用时间,只表示某项工作的开始或结束。事件(结点)按其在网络图中所处的位置可分为三种:(1)始点事件,指网

络图中第一个事件；(2) 终点事件，指网络图中最后一个事件，它表示整个工程就此完工；(3) 中间事件，它既表示前项工作的结束，又表示后项工作的开始。

活动：指一项工作或一项作业。如钻探工作中的钻进，安装等。活动需要消耗资源和占用时间。活动一般用箭线来表示，箭线上方可用文字或代号表示该项活动的名称。活动按其内容可分为实活动与虚活动两类。实活动用实箭线来表示；如“—→”表示非关键路线的实活动（实工序）；“⇨”表示关键路线的实活动（实工序）。虚活动用虚线来表示；如“---→”表示非关键路线的虚活动；“⇒”表示关键路线的虚活动。虚活动是指活动时间为零的活动。实际上虚活动只是为了消除网络中可能出现逻辑上的混乱而引入的一个符号，用它来表示一项活动的开始取决于另一项活动的结束。虚活动不消耗资源。

路线：指从网络图始点事件开始，顺着箭线的方向，到网络终点事件为止，由结点和箭线所组成的通道。一个复杂的网络会有很多通道。路线按其长短可分为两类：(1) 关键路线，它是网络中最长的路线，它影响着整个工程的施工周期。关键路线上的工序，称为关键工序。关键工序的任何延误都会影响整个计划的按时完成。关键路线上各结点的最早开始和最迟开始时间相同。(2) 非关键路线，网络图中，除了关键路线之外的其余路线均为非关键路线。非关键路线对于整个工程的工期来说，有一定的宽裕（机动）时间。

2. 构图原则

(1) 箭线方向不可指向左边；

(2) 箭线两端结点应予编号，编号原则是自左向右按号码顺序从小到大排列。可以连号也可以跳号，如①—→③—→⑥。跳号的目的在于适应优化时增添补充作业。但绝对不可重复编号。

(3) 在两结点间如有几条箭线时，除一条外，其余均以增加结点将其分开。新增结点与后继结点之间以虚线连接，表示该两结点间并无实际作业，如图1。虚线连接部分仅表示其先后顺序关系。

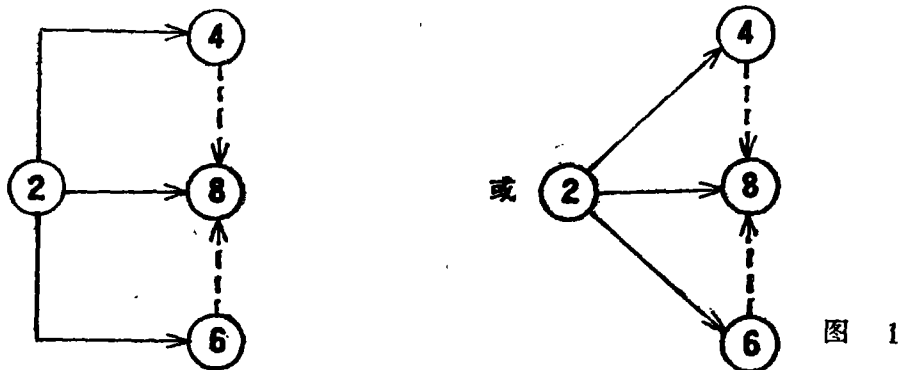


图 1

(4) 网络图的结构必须合乎实际工作程序。网络图中各项作业所表示的必须是先后关系或并行关系。例如某项工程以p为中心作业，首先应考虑在p作业前，必须先完成什么作业，如不需要任何准备就可开始，那么，可将作业p的箭尾编号列为最小，如0或1。如在p作业前尚需要完成作业A，则A为p的先行作业。此外，还要考虑哪些作业可以与p作业并行，哪些作业在p之后，然后按次序画出，如图2。

(5) 网络图中不能出现循环线路，如图3。

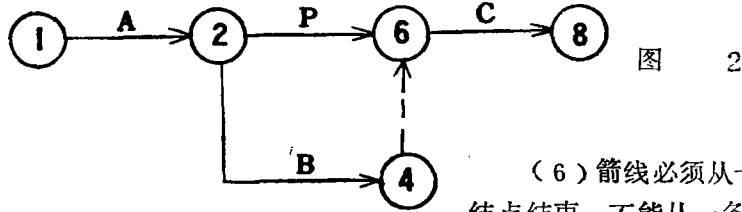


图 2

(6) 箭线必须从一个结点开始，到另一结点结束，不能从一条箭线中间引出另一条箭线，如图4。

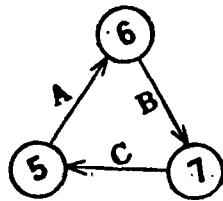


图 3 错误线路

(7) 进入某一结点的箭线可以有很多条，但在两个相邻结点之间只能有一条箭线。如果两个相邻结点有平行活动，除一项活动外，其余活动都应增设新结点，并用虚活动使之与原始终点连接，如图5。

(8) 每个网图都只能有一个始点事件和一个终点事件，即有始有终。

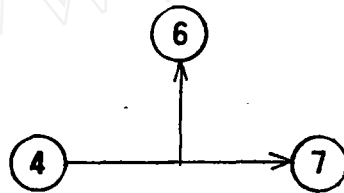


图 4

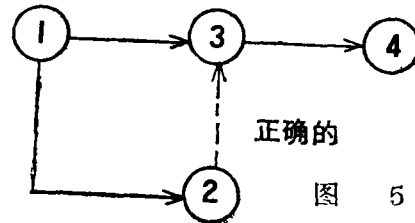
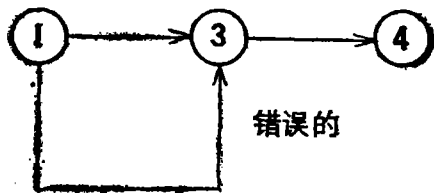


图 5

3. 结点编号及结点时间的标注方法

随着网络技术的发展，网络图中结点编号及结点时间的标注方法也不断演进。简便的标注方法如图6。

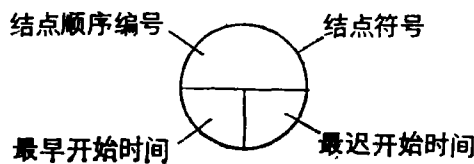


图 6

(三) 网络时间的计算

1. 结点时间的计算

(1) 结点最早开始时间的计算

某结点的最早开始时间,就是从始点开始经过各结点一直到该结点为止,所经过的最长时间,即该结点前各工序都能完成的时间。网络终点事件因无后续作业,所以它的开始时间也就是它的结束时间。

计算时,规定网络始点的最早开始时间为零。中间事件各结点的最早开始时间按公式(1)计算,取从左向右计算到该结点为止的各条路线的最大值。

$$tj_f = (tj_{f前} + t) \max \cdots \cdots (1)$$

式中: tj_f ——某结点的最早开始时间; t ——从前项结点到该结点为止的作业期望时间; $tj_{f前}$ ——前项结点的最早开始时间。

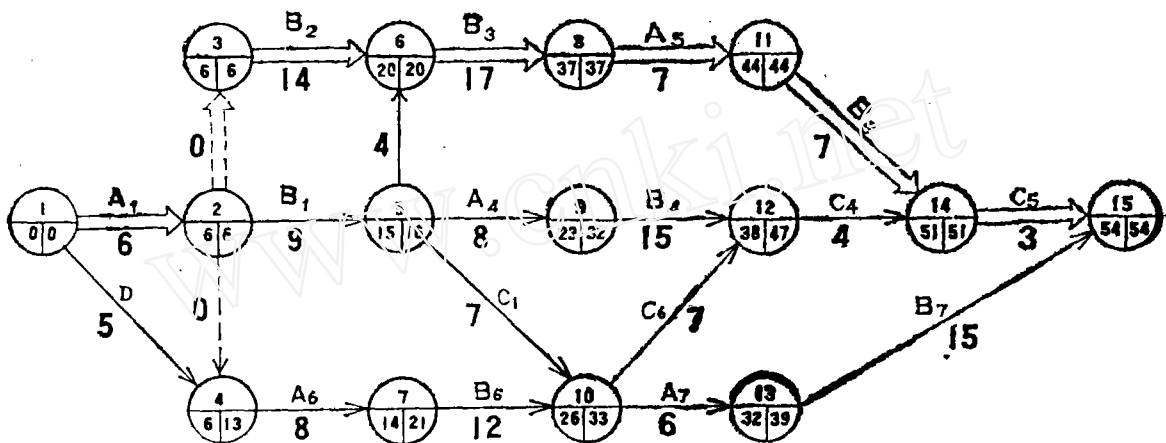


图 7

以图7结点⑩为例:结点⑩的最早开始时间是26,它是从结点⑩的前项结点算起,将各数据代入公式(1),取路线⑤→⑩及⑦→⑩的最大值获得的。路线⑤→⑩的时间为 $15 + 7 = 22$,路线⑦→⑩的时间为 $14 + 12 = 26$, $26 > 22$,故结点⑩的最早开始时间为26。另外,还有一种计算方法是从始点算起,由左向右计算,取到该结点⑩三条路线中的最大值,即:作业路线①→②→⑤→⑩的作业时间为 $6 + 9 + 7 = 22$;作业路线①→④→⑦→⑩的作业时间为 $5 + 8 + 12 = 25$;作业路线①→②→④→⑦→⑩的作业时间为 $6 + 0 + 8 + 12 = 26$,三条路线相比,路线①→②→④→⑦→⑩作业时间最长($26 > 25 > 22$),故结点⑩的最早开始时间为26。

(2) 结点最迟开始时间的计算

某结点最迟开始时间就是从终点开始,经过各结点直到该结点为止,所经过的最长时间。它是指在不致引起终端结点延迟的情况下,最迟必须开始的时间。结点最迟开始时间按公式(2)计算,取从右向左计算到该结点为止各条路线的最小值。

$$tj_l = (tj_{l后} - t_{后}) \min \cdots \cdots (2)$$

式中： t_{j1} ——某结点的最迟开始时间； $t_{j1后}$ ——后项结点的最迟开始时间； $t_{后}$ ——以该结点为起点的作业期望时间。

仍以图7结点⑩为例：按公式(2)计算，取结点⑫→⑩(47-7=40)及结点⑬→⑩(39-6=33)的最小值，得到结点⑩的最迟开始时间为33。

结点最迟开始时间的另一种计算方法是由右向左(由后向前)计算，取到该结点两条路线的最小值，即：作业路线⑮→⑬→⑩的作业时间为54-(15+6)=33；作业路线⑮→⑭→⑯→⑩的作业时间为54-(3+4+7)=40，33<40，故该结点的最迟开始时间为33。

2. 作业时间的计算

(1) 作业期望时间的计算

作业期望时间亦称作业平均时间，用公式(3)进行计算。

$$t = \frac{a + b + 4c}{6} \dots\dots\dots (3)$$

式中： t ——作业期望时间； a ——作业最乐观时间，指完成某项作业所需要的最短时间，它只在一切顺利的情况下能达到； b ——作业最保守时间(悲观时间)，指预计完成某项作业所需的最长时间，它是在一切都很不顺利的情况下需要的最长时间； c ——作业最可能时间，指在正常情况下预计完成某项作业所需的时间，通常用比定额稍宽裕一点的生产时间来估算。

(2) 作业期望时间准确性的计算

各项作业的期望时间 t 的准确性，可用该项作业的均方差大小来确定：

$$\delta = \frac{b - a}{6} \dots\dots\dots (4)$$

式中： δ ——作业的均方差； a ——作业的最乐观时间； b ——作业的最保守时间。均方差愈小，表明估算的数值离散程度愈小，期望时间值的代表性就愈大；相反，均方差愈大，期望时间值的代表性就愈小。

(3) 全工程期望时间(总工期)及均方差的计算

在计算出各项作业的期望时间及均方差之后，运用公式(5)计算全工程的期望时间；运用公式(6)计算全工程的均方差：

$$T = \sum tc \dots\dots\dots (5)$$

式中： T ——全工程的期望时间(总工期)； tc ——关键路线上各项作业的期望时间。公式(5)也可写成 $T = tc_1 + tc_2 + tc_3 + \dots\dots tc_n$ 。

$$M = \sqrt{\sum \delta c^2} \dots\dots\dots (6)$$

式中： M ——全工程的均方差； δc^2 ——关键路线上的各项作业的时间方差。

(4) 作业最早开始时间的计算

$$t_f = t_{jf} \dots\dots (7)$$

式中： t_f ——作业最早开始时间； t_{jf} ——以某结点为起点开始作业的结点最早开始时间。

(5) 作业最早结束时间的计算

$$t_e = t_f + t \dots \dots (8)$$

式中： t_e ——作业最早结束时间； t_f ——作业最早开始时间； t ——作业期望时间。

(6) 作业最迟开始时间和的计算

$$t_{kf} = t_k - t \dots \dots (9)$$

式中： t_{kf} ——作业最迟开始时间； t_k ——作业的最迟结束时间； t ——作业期望时间。

(7) 作业最迟结束时间的计算

$$t_k = t_{jl} \dots \dots (10)$$

式中： t_k ——作业最迟结束时间； t_{jl} ——以某结点为终止的各项作业最迟都能完成的时间，即某结点的最迟开始时间。

3. 时差的计算

(1) 结点时差

结点时差，指该结点的最迟开始时间与最早开始时间之差。它表示该结点可以机动的时间。结点时差等于零时，表示该结点为关键结点。

$$j = t_{jl} - t_{jf} \dots \dots (11)$$

式中： j ——结点时差； t_{jl} ——该结点的最迟开始时间； t_{jf} ——该结点的最早开始时间。

(2) 作业时差

作业时差，指以某结点为终点的各项作业都能完成的最迟结束时间与该作业的最早开始时间加上作业时间之差。它表示在不影响任务完成的情况下，各项作业都能完成，该项作业可以机动延迟的最大时间。

$$q = t_k - (t_f + t) \dots \dots (12)$$

式中： q ——作业时差； t_k ——到某结点为止各项作业的最迟结束时间； t_f ——该项作业的最早开始时间； t ——作业期望时间。

作业时差，实际上就是作业的机动时间。

4. 关键路线延续时间的计算

关键路线的延续时间等于关键路线的期望时间（总工期）。它是关键路线上各项关键作业期望时间的总和。如公式（5）。

(四) 关键作业（工序）和关键路线的确定

作业时差等于零的作业称为关键作业。连接关键作业而成的路线就是关键路线。它是网络中最长的路线。

因为关键路线上的所有作业都没有作业时差，即没有机动时间，所以整条关键路线也没有任何机动时间。由此可见，掌握关键路线，对于组织和指挥生产来说是非常重要的。它可以使管理人员密切注视关键路线各作业的进度，集中主要力量加强关键作业，以确保整个工程任务的准时完工。

有时在复杂庞大的网络中，会出现多条关键路线，这说明各项工作都很紧张。计划日程安排得愈紧，多条关键路线出现的可能性就会愈多。这就必须更加注意管理，严格控制，以保证整个工程任务的按期完成。

（五）网络图的优化

网络图优化的目的在于获得最佳经济效益。优化的基本方法是利用时差，调整作业。优化按其内容的不同可分为三个主要方面。

1. 时间优化

时间优化，就是在人、财、物等资源条件有保证的前提下，寻求最短的作业时间、生产周期和全工程的期望时间。优化的方法和主要措施是：

（1）在关键路线上寻求最有利的工序来压缩作业时间；

（2）在不压缩工序作业时间的条件下，改变作业的衔接关系，组织平行作业、交叉作业来压缩生产周期；

（3）利用时差，从非关键路线上抽调人、财、物力，集中于关键路线上，以缩短关键路线时间。

2. 时间——资源优化

时间——资源优化，就是在一定的资源条件下，寻求最短的生产周期，或在一定的周期条件下，使投入的资源量最小。既节约人、财、物力，又保证任务的完成，同时使生产均衡发展。由于钻探生产的某些特殊性，经常出现在一定时间内集中投入大量的人、财、物力现象，这不但造成了劳力的浪费，也增加了工地建筑和生产设施。因此，特别需要搞好时间——资源的优化工作。

时间——资源优化的实质是进行人、财、物的平衡调配。优化的基本方法是：

（1）根据规定的期限和工作量，计算每一道工序，每一项作业所需要的资源数量，并按计划规定的时间作出日程安排；

（2）合理调配资源，将资源优先分配给关键作业和时差较小的作业。尽量使资源均衡地、连续地投入，避免骤增骤减；

（3）必要时调整完工期限，以缓和资源紧张，保证资源的合理利用。

3. 时间——成本优化

时间——成本优化，就是根据计划规定的时间期限，寻求最低成本，或根据最低成本的要求，寻求最佳周期。

时间——成本优化的原理是利用直接成本或间接成本与生产周期的关系，要使生产周期缩短，就会引起直接费用增加，间接费用相对减少；反之，生产周期的延长，就会导致间接费用的增加，直接费用的相对减少。通过先固定一个参数，优选另一个参数的方法，反复优选，寻求出最佳调整方案，达到既使总费用支出最小，又使生产周期相对最短的目的。优化的主要方法是：

（1）根据规定的期限，调整成本，使之达到相对合理的最低数额；

（2）根据最低成本要求，调整生产周期，使之达到相对最短的期限。

（六）预测完成任务的把握性（可能性）

求测完成任务的把握性,常用概率系数查表求算法。把握性的读值 p 愈大,把握性就愈大。

1.已知全工程的期望时间(完工天数),求在限定或给定时间内的把握性概率

$$\lambda = \frac{T_a - T}{M} \dots\dots\dots (13)$$

式中: λ ——概率系数; T_a ——限定或给定的完工时间; T ——全工程的期望时间; M ——全工程期望时间的均方差。

根据概率系数 λ ,查概率函数表,就可得到完成任务把握性(可能性)的读值 p 。

2.已知把握性读值 p ,求所需完成任务时间 T_a

$$T_a = T + \lambda \cdot M \dots\dots (14)$$

根据已知把握性读值 p 查表,查得概率系数 λ 值,再将 λ 值代入公式(14),即可求得完成任务时间 T_a 。

(七) 目标实施的检查与监督

优化工作结束之后,即可清绘网络图,并编制相应说明及图表交付实施。

实施中要随时检查、监督各项作业的预期完成时间,尤其是关键路线上各项作业的完成时间。要根据实际变化情况,及时采取措施调整资源力量,确保总工期的按时完成。

目标实施情况的检查与监督,是生产领导者、计划管理人员、生产管理人员的责任,是保证网络统筹计划全面完成的关键环节。

三、应用网络技术安排生产计划、进行调度管理的

基本方法和步骤

(一) 确定目标

确定目标,主要是指确定完成任务的时间和主要任务指标。为了做好这项工作,必须充分做好相应的准备工作。就钻探生产而言,要做的准备工作主要是了解任务的特点,地质要求、施工条件以及本单位可以投入的人力、设备等。紧急的任务,要多从时间上加以考虑,一般任务则可多从劳力均衡、降低成本等方面多加考虑。地质设计要求必须先施工的钻孔,就要安排在前面进行。

(二) 进行任务分解、草拟施工方案并估算出作业延续时间

任务分解,主要是分解作业项目和工序,列出全部作业或工序的明细表,包括作业时间、人数、施工单位等。

任务分解时,应根据不同情况,宜粗则粗,宜细则细。大型工程可以把作业划得粗一些,便于计划安排,但要抓住关键。小的工程可以细一些,例如可把安装工作划分为平整地基、搬迁、立塔、安装设备、铺设水管等,这样能使各项工作更明确,更有利于安排平行作业,缩短时间。任务分解后,还要进一步确定各项作业的延续时间、先后顺序的相互关系。钻探工程施工,在估计作业延续时间时,要特别注意考虑天然因素的影响,如地层、地形、气候等的影响。先后顺序的安排,一定要符合钻探施工的逻辑关系。特别要注意地质设计部

门的要求。施工顺序未经地质设计部门同意，不可轻易改变。因某些施工条件的限制，必须改变时，应预先与设计部门协商，征得同意后再改动。在安排平行作业时，应考虑本单位的生产能力，包括辅助生产工作是否能跟得上，如供水、运输、机修等。

（三）绘制网络草图

绘制方法有两种：

1. 顺推法

从始点事件开始，为每项作业确定衔接的后续作业，直到终点事件为止。此种方法比较多用。

2. 逆推法

从终点事件开始，为每项作业确定衔接的先行作业，直到始点事件为止。此种方法不多用。

（四）计算网络时间

有了草图和估计的作业时间之后，就可计算其他网络时间。一般常先计算结点时间，后计算作业时间。计算结果，应及时填在网络图上，并列入作业时间表中。

（五）确定关键路线，并计算出完成任务的时间。

（六）进行综合平衡和网络优化

对网络草图进行综合分析，寻求缩短关键路线时间的办法、探讨改变衔接关系以后缩短工期的可能性。在进行时间优化之后，再进一步进行时间—资源优化和时间—成本优化。优化后，重新计算出网络时间。

（七）正理出优化后的作业明细表预测完成整个工程任务的把握性，计算把握性读值P。

（八）正式绘制网络施工图（网络计划图），并编写相应的说明书。

（九）实施中加强检查、监督，搞好生产调度工作。

四、应用举例

某钻探工程队向某地质队承包了一项金矿普查钻探工程。该项工程共有五个钻孔，工作量1650米，其平面位置及钻孔深度如图8。

由于该工程是普查钻探，故要求必须按下列顺序进行施工： $zk_1 \rightarrow zk_2 \rightarrow zk_3$ ； $zk_4 \rightarrow zk_5$ 。 zk_1 与 zk_4 孔可同时施工。

整个工程限定在110天内完成。工程包价16万元。推迟10天罚款0.5万元，推迟20天以上罚款2—5万元。

第一步：确定目标

地质设计单位已明确要求，这项工程要在110天内完成，而且施工顺序不得改变，钻孔质量必须满足地质设计要求。

在110天内保质保量按承包的工程价款及内部计划节约额完成全项工程任务即为该项工程施工的计划目标。

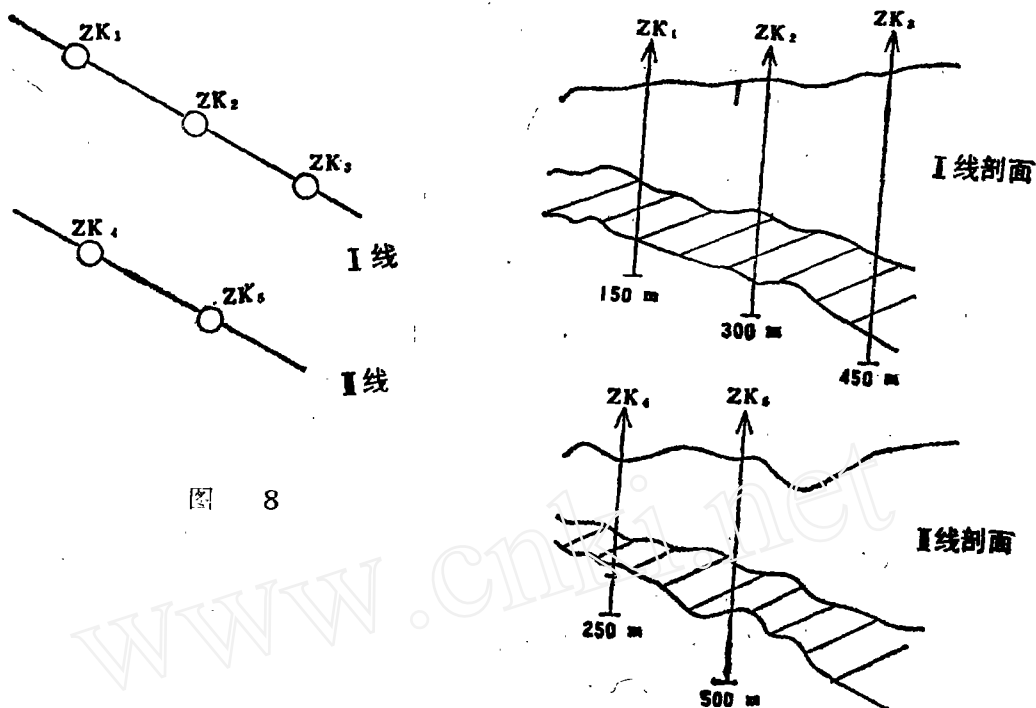


图 8

第二步：进行任务分解，草拟施工方案并估算出各项作业的延续时间

按照网络技术的实施要求，首先把五个钻孔的全部作业粗略地分解为搬迁安装、拆迁安装和钻进三种作业。然后依照定额，根据公式(3)和公式(5)，分别计算出每项作业和完成全工程所需要的时间。

计算时，考虑到地质条件及其他客观条件的影响，把估算的时间较定额规定的时间稍放宽裕一些，如定额规定钻进6级岩石500米以内的钻孔，台月进尺为380米，那么，钻进一个150米的钻孔，则需要 $150 \div 380 = 0.4$ 台月(12天)，按比定额稍宽裕一点时间估算，可把最乐观时间估为10天，最保守时间估为18天，最可能时间估为16天，代入公式(3)：

$$t = \frac{a + b + 4c}{6} = \frac{10 + 18 + 4 \times 16}{6} = 15 \text{天}.$$

即钻进一个150米的钻孔，钻进作业期望时间为15天。

依照此法，将计算出的各钻孔安装和钻进时间以及所需人员列入明细表1。

根据表1列出的各项工作与作业时间，进一步草拟施工方案，并计算出延续时间。

第一方案：用两台钻机人员(每机27人)，两套设备、自安自打组织施工。计算结果，一号钻机的施工工期为 $8 + 15 + 12 + 30 + 12 + 45 = 122$ 天；二号钻机的施工工期为 $8 + 25 + 12 + 50 = 95$ 天。显然，一号钻机保证不了在110天内完工的要求。

第二方案：用两台钻机另加一个安装组的人员(15人)，使用四套设备，由安装组负责

表1 钻探施工作业明细表

作业代号	作业名称、内容	作业时间	需要人数	施工单位
A ₁	搬迁安装ZK ₁ 孔设备	8	27	一号钻机
A ₄	“ “ “ “ ZK ₄ “ “ “	8	27	二号 “ “
B ₁	ZK ₁ 孔钻进	15	27	一号 “ “
B ₄	ZK ₄ “ “ “	25	27	二号 “ “
Aa ₂	拆迁ZK ₁ 孔设备到ZK ₂ 孔安装	12	27	一号 “ “
B ₂	ZK ₂ 孔钻进	30	27	一号 “ “
Aa ₅	拆迁ZK ₄ 孔设备到ZK ₅ 孔安装	12	27	二号 “ “
B ₅	ZK ₅ 孔钻进	50	27	二号 “ “
Aa ₃	拆迁ZK ₃ 孔设备到ZK ₃ 孔安装	12	27	一号 “ “
B ₃	ZK ₃ 孔钻进	45	27	一号 “ “

安装两个孔的钻机，其作业时间经过估算列入明细表2。

表2 增加安装组后的作业明细表

作业代号	作业名称、内容	作业时间	需要人数	施工单位
A ₁	搬迁安装ZK ₁ 孔设备	8	27	一号钻机
B ₁	ZK ₁ 孔钻进	15	27	一号 “ “
A ₂	搬迁安装ZK ₂ 孔设备	14	15	安装组
B ₂	ZK ₂ 孔钻进	30	27	一号钻机
Aa ₃	拆迁ZK ₁ 孔设备到ZK ₃ 孔安装	18	15	安装组
B ₃	ZK ₃ 孔钻进	45	27	一号钻机
A ₄	搬迁安装ZK ₄ 孔设备	8	27	二号钻机
B ₄	ZK ₄ 孔钻进	25	27	二号 “ “
Aa ₅	拆迁ZK ₄ 孔设备到ZK ₅ 孔安装	12	27	二号 “ “
B ₅	ZK ₅ 孔钻进	50	27	二号 “ “

根据表2列出的作业时间,计算结果,一号钻机施工工期为 $8+15+30+45=98$ 天;二号钻机的施工工期为 $8+25+12+50=95$ 天;安装组的施工时间为 $14+18=32$ 天。按第二方案施工可以保证110天内完工。

第三步:绘制网络草图

根据上述方案画出网络草图(图9)。

第四步:计算网络时间并填在网络草图上(图10)。

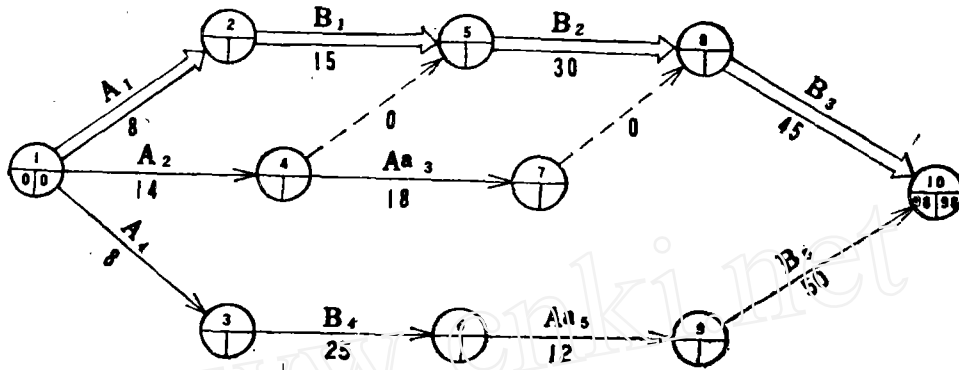


图 9

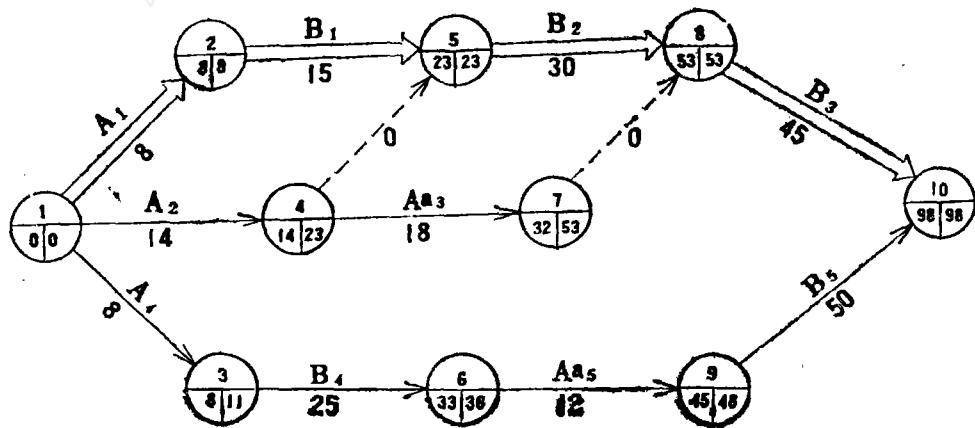


图 10

1. 计算结点时间

(1) 首先计算各结点的最早开始时间

采用自左而右从前向后计算方法。结点①是始点,所以结点①的最早开始时间等于零;结点②只有一个先行作业,按公式(1)计算 $0+8=8$,取最大值仍为8,所以结点②的最早开始时间为8;结点⑤有两个先行作业,按公式(1)计算 $\left. \begin{matrix} 8+15=23 \\ 14+0=14 \end{matrix} \right\}$ 取最大值为23,因此,结点⑤的最早开始时间为23。同理,结点⑧的最早开始时间为53;结点④的最早开始时间为14;结点⑦的最早开始时间为32;结点③的最早开始时间为8;结点⑥的最早开始时间为33;结点⑨的最早时间为45。

(2) 计算各结点的最迟开始时间

采用自右而左从后向前计算方法按公式(2)计算。结点⑩因无后续作业，所以它的最早开始时间98，也就是它的最迟开始时间。结点⑨因只有一条路线，所以它的最迟开始时间为 $98 - 50 = 48$ ，取最小值仍为48；结点⑧的最早迟开始时间为 $98 - 45 = 53$ ，取最小值仍为53；结点⑦的最迟开始时间为 $53 - 0 = 53$ ，取最小值仍为53；结点④有两条路线，它的最迟开始时间为 $\{53 - (30 + 0) = 23, 53 - (18 + 0) = 35\}$ （或 $\{23 - 0 = 23, 53 - 18 = 35\}$ ），取最小值为23；同理：结点⑤的最迟开始时间为23；结点⑥的最迟开始时间为36；结点③的最迟开始时间为11；结点②的最迟开始时间为8。

2. 计算作业时间

各项作业的最早开始、最早结束和最迟开始、最迟结束时间，按公式(7)、(8)、(9)、(10)计算，其结果如表3。

表3 作业时间表

作业代号	作业时间	作业最早开始和结束时间		作业最迟开始和结束时间	
		开始	结束	开始	结束
A ₁	8	0	8	0	8
B ₁	15	8	23	8	23
A ₂	14	0	14	9	23
B ₂	30	23	53	23	53
Aa ₃	18	14	32	35	53
B ₃	45	53	98	53	98
A ₄	8	0	8	3	11
B ₄	25	8	33	11	36
Aa ₅	12	33	45	36	48
B ₅	50	45	95	48	98

3. 计算时差

(1) 计算结点时差

结点时差，按公式(11)计算。图10结点③的时差 $j = 11 - 8 = 3$ ；结点⑥的时差 $j = 36 - 33 = 3$ ；结点⑩的时差 $j = 98 - 98 = 0$ 。

(2) 计算作业时差

作业时差，按公式(12)计算。图10作业A₁的作业时差 $q = 8 - (0 + 8) = 0$ ；作业B₄的

作业时差 $q = 36 - (8 + 25) = 3$ 。照此方法将各项作业时差及结点时差全部计算出来之后，列入表4。

表4 各结点及各项作业时差表

结 点	结点时差	作 业	作业时差	是否关键
①	0	$A_1 \text{①} \rightarrow \text{②}$	0	✓
②	0	$A_2 \text{①} \rightarrow \text{④}$	9	
③	3	$A_4 \text{①} \rightarrow \text{③}$	3	
④	9	$B_1 \text{②} \rightarrow \text{⑤}$	0	✓
⑤	0	$Aa_3 \text{④} \rightarrow \text{⑦}$	21	
⑥	3	$B_4 \text{③} \rightarrow \text{⑥}$	3	
⑦	21	$B_2 \text{⑤} \rightarrow \text{⑧}$	0	✓
⑧	0	$Aa_5 \text{⑥} \rightarrow \text{⑩}$	3	
⑨	3	$B_3 \text{⑧} \rightarrow \text{⑩}$	0	✓
⑩	0	$B_5 \text{⑨} \rightarrow \text{⑩}$	3	

第五步：确定关键路线并计算出完成任务的时间

从网络草图10可看出，自始点起到终点止，共有四条路线。路线①→②→⑤→⑧→⑩总长为 $8 + 15 + 30 + 45 = 98$ ；路线①→④→⑤→⑧→⑩总长为 $14 + 0 + 30 + 45 = 89$ ；路线①→④→⑦→⑧→⑩总长为 $14 + 18 + 0 + 45 = 77$ ；路线①→③→⑥→⑨→⑩总长为 $8 + 25 + 12 + 50 = 95$ 。上述四条路线中最长的98天，它不超过限定的工期110天要求。这条最长的路线就是该项工程施工的关键路线。关键路线上的最早完工期限即完成任务时间，用公式(5)求算。它等于各项关键作业时间的总和(98天)。

第六步：进行综合平衡、网络优化

1. 时间优化

从时间优化可以采取的三条主要措施来看，要想采取调整钻孔施工顺序以缩短作业时间，或利用时差从非关键路线上抽调人力、物力，集中加强关键路线，这已是不可能的了。因为施工顺序不可能做大的改变。若加强关键路线，一个钻孔又不可能同时用两台钻机进行施工，但在关键路线上设法压缩第一个施工钻孔的安装时间则是有可能的。这只要适当调配人力就能做到。对于这一条可以结合时间—资源优化一并考虑。

2. 时间—资源优化

按照时间——资源优化的方法，根据网络草图的初步安排，把安装组的一部分人（如5个人），抽调到Zk₁孔位上，让安装组配合一号钻机先把Zk₁孔安装好。这就缩短了关键路线上A₁的作业时间。预计增加5个安装人员后，zk₁孔有6天就可安装完，这就节约了两天时间。这样调整后，A₂作业由于人员减少，作业时间要延长3天，即Zk₂孔的安装工作由原来需要14天延长到需要17天。

3. 时间——成本优化

时间——成本优化，涉及到生产周期与直接费用和间接费用的关系。考虑到此项工程比较简单，事实上时间——成本优化已无多大潜力。

优化的结果，在设备、资金和人员都不增加的条件下，把完成任务的时间缩短了两天，即总工期缩短了两天。优化后的网络图如图11。

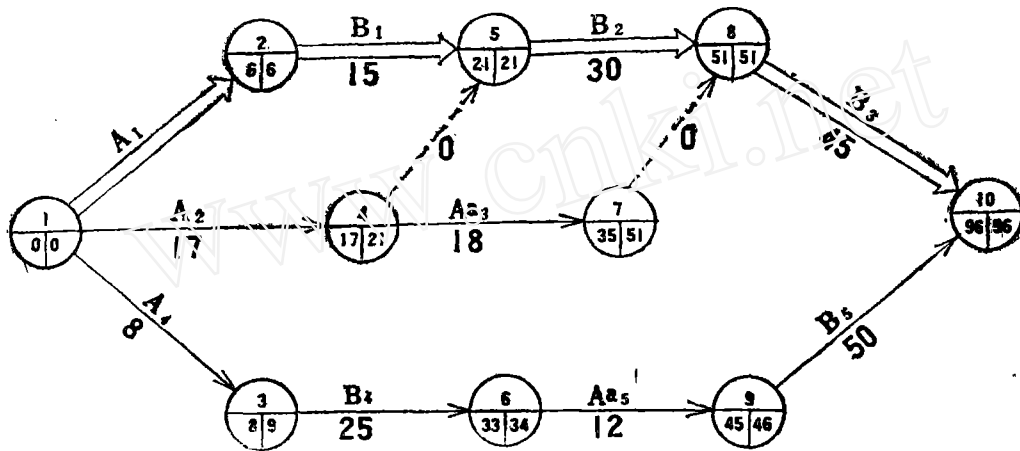


图 11

优化工作完成后，经过重新计算整理，将整个工程所需的作业人数及作业时间等列入表5。

表5 优化后全工程需要的作业时间及人员表

作业代号	作业名称、内容	作业时间(天)	作业最早开始和结束时间		作业最迟开始和结束时间		作业总时差	需要人数	是否关键
			开始	结束	开始	结束			
A ₁	搬迁安装ZK ₁ 孔设备	6	0	6	0	6	0	32	✓
B ₁	ZK ₁ 孔钻进	15	6	21	6	21	0	27	✓
A ₂	搬迁安装ZK ₂ 孔设备	17	0	17	4	21	4	10—15	
B ₂	ZK ₂ 孔钻进	30	21	51	21	51	0	27	✓
A ₃	拆迁ZK ₁ 孔设备到ZK ₃ 孔安装	18	17	35	33	51	16	15	
B ₃	ZK ₃ 孔钻进	45	51	96	51	96	0	27	✓
A ₄	搬迁安装ZK ₄ 孔设备	8	0	8	1	9	1	27	
B ₄	ZK ₄ 孔钻进	25	8	33	9	34	1	27	
A ₅	拆迁ZK ₄ 孔设备到ZK ₅ 孔安装	12	33	45	34	46	1	27	
B ₅	ZK ₅ 孔钻进	50	45	95	46	96	1	27	

这里需要说明的是此例因工程条件简单,初拟方案较合理,所以优化后的网络图形与优化前的草图没有什么变化,只是作业时间和所用人教有些改动。倘若此项工程比较庞大复杂,那么优化后图形将会发生很大的变化。

分析表5看出,整个工程只有作业Aa3有16天较大的机动余地。为了使用资金合理还可进一步考虑将作业Aa3的人员适当减少。

第七步:预测完成工程任务的把握性

根据公式(4)首先计算出关键路线上各项作业的均方差,列入表6。然后按公式(5)和(6)计算出整个工程的期望时间(总工期)T及均方差M。

$$T = \sum tc = 6 + 15 + 30 + 45 = 96 \text{天。}$$

$$M = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} = \sqrt{0.3^2 + 1.3^2 + 2.7^2 + 2.4^2} \approx 3.85$$

表6 各项作业的期望时间及均方差表

作业代号	三种估计时间			作业期望时间 $t = \frac{a+b+4c}{6}$	作业均方差 $\sigma = \frac{b-a}{6}$
	a	b	c		
A ₁	5	7	6	$t = \frac{5+7+4 \times 6}{6} = 6$	$\sigma_1 = \frac{7-5}{6} \approx 0.3$
B ₁	10	18	16	$t = \frac{10+18+4 \times 16}{6} = 15$	$\sigma_2 = \frac{18-10}{6} \approx 1.3$
B ₂	26	42	28	$t = \frac{26+42+4 \times 28}{6} = 30$	$\sigma_3 = \frac{42-26}{6} \approx 2.7$
B ₃	40	54	44	$t = \frac{40+54+4 \times 44}{6} = 45$	$\sigma_4 = \frac{54-40}{6} \approx 2.4$

将T值及M值代入公式(13),最后计算出给定或限定时间内完成任务的把握性读值P。

例如:

1.求给定时间Ta等于工程期望时间(总工期)时的把握性读值P

给定Ta=96;已知T=96,M=3.85,代入公式(13),求得概率系数

$$\lambda = \frac{T_a - T}{M} = \frac{96 - 96}{3.85} = 0,$$

查概率函数表(表7),得知,当 $\lambda = 0$ 时, $P = 50\%$,说明当Ta=96天时,完成任务只有50%的把握。

2.求给定时间Ta等于工程期望时间与限定时间之间的任意时间(如Ta=107天)时的把握性读值P

给定Ta=107;已知T=96,M=3.85,代入公式(13),求得概率系数 $\lambda = \frac{107 - 96}{3.85} \approx 3,$

查概率函数表,得知,当 $\lambda = 3$ 时, $P = 99.9\%$,说明当Ta=107天时,完成任务有99.9%的

把握。

3. 求限定时间 $T_a = 110$ 天时的把握性读值 P

限定 $T_a = 110$, 已知 $T = 96$, $M = 3.85$, 代入公式 (13), 求得概率系数 $\lambda = \frac{110 - 96}{3.85} \approx 3.6$,

查概率函数表, 得知, $\lambda > 3$, 故可知在 110 天内完成任务是有把握的。

表7 概率函数表

入	概率% (P)	入	概率% (P)	入	概率% (P)	入	概率% (P)
-0.0	50.0	-1.7	4.5	0.0	50	1.7	95.5
-0.1	46.0	-1.8	3.6	0.1	54	1.8	96.5
-0.2	42.0	-1.9	2.9	0.2	57.9	1.9	97.1
-0.3	38.2	-2.0	2.3	0.3	61.8	2.0	97.7
-0.4	34.5	-2.1	1.8	0.4	65.5	2.1	98.2
-0.5	30.8	-2.2	1.4	0.5	69.1	2.2	98.6
-0.6	27.4	-2.3	1.0	0.6	72.6	2.3	98.9
-0.7	24.2	-2.4	0.8	0.7	75.8	2.4	99.2
-0.8	21.2	-2.5	0.6	0.8	78.8	2.5	99.4
-0.9	18.4	-2.6	0.5	0.9	81.6	2.6	99.5
-1.0	15.9	-2.7	0.4	1.0	84.1	2.7	99.6
-1.1	13.5	-2.8	0.3	1.1	86.4	2.8	99.6
-1.2	11.5	-2.9	0.2	1.2	88.5	2.9	99.8
-1.3	9.7	-3.0	0.1	1.3	90.3	3.0	99.9
-1.4	8.0			1.4	91.9		
-1.5	6.7			1.5	93.3		
-1.6	5.5			1.6	94.5		

第八步：绘制正式网络计划施工图并编写有关说明

画出优选后的正式网络图；列出各项作业的正式时间表及施工单位所用的人力、设备

等；说明如何抓好关键路线及非关键路线各项作业的施工；如何进行相应的资源调配等。

第九步：进行施工中的检查、监督管理

施工中要指定计划及探矿等有关部门和专门的管理人员，随时掌握工程进度，及时进行资源的平衡调整，以确保每一项作业的按期完成。

五、结束语

网络技术是一门现代化的管理科学。在钻探工程管理上应用网络技术，目前在地矿部系统还处在学习和试用阶段。要用好这项技术，需要很好的学习和研究，并在实践中认真总结经验，不断提高应用水平。

本文错误之处，请批评指正。

参 考 文 献

- 〔1〕吴德厚等，1984，地质勘查单位管理基础，地质出版社。
- 〔2〕中国科学院计算中心概率统计组，1983，概率统计计算，科学出版社。

www.cnki.net

APPLICATION OF NETWORK TECHNIQUE TO THE MANAGEMENT OF CORE--DRILLING ENGINEERING

Hu Puyuan

*(The Exploration Engineering Division, Shandong Bureau of
Geology and Mineral Resources)*

Abstract

The paper gives an exposition of the main points of the network technique and discusses the possibility of its application to the management of core drilling operation, the essentials, steps and measures of the network technique, the calculations involved in the network node timing and the time lapse of operation and the time difference. A simple and convenient method for calculating the first and the last starting point time of network nodes is proposed, that is:

$$t_{j\ell} = (t_{j\ell\ell} + t)_{\max}$$

and

$$t_{j\ell} = (t_{j\ell\ell} + t)_{\min}$$

where $t_{j\ell}$ is the first starting point time of a given network node, $t_{j\ell\ell}$ is the first starting point time of the node that precede and t is the time lapse of a certain operation, taking the maximum value among those selected in several different paths from the nodes that precede to a given node; $t_{j\ell}$ is the last starting point time of the given node, $t_{j\ell\ell}$ is the last starting point time of the node that follows and t is the operation time from the given node to the node(s) that follows, taking the minimum value among those from the given node to the nodes that follow.