

露天采矿定律

[苏]А·И·阿尔先捷夫 著 时裕谦 译

ЗАКОНЫ
ФОРМИРОВАНИЯ
РАБОЧЕЙ ЗОНЫ
КАРЬЕРА

中国矿业大学出版社

责任编辑：周立吾

封面设计：张蕴琪

TD804/A-296

ISBN 7-81021-520-5

TD·105 定价：2.10元

苏联俄罗斯苏维埃联邦
社会主义共和国高等和中等
专业教育部列宁格勒矿业学
院批准作为教学参考书

露天采矿定律

A. N. 阿尔先捷夫 著
时裕谦 译
杨荣新 校

中国矿业大学出版社

(苏)新登字第010号

简 要 说 明

作为教学参考书，本书收集了丰富的资料，供露天和地下开采专业的大学生使用。书中阐述了露天矿和矿井在时间上和空间上发展的规律，而侧重于对前者的阐述。

读者对象是：露天开采专业的大学生和高校采矿专业的教师等，但对于采矿工程师、科研人员、设计人员及生产工作者也是有所裨益的。

责任编辑 周立吾

技术设计 关湘雯

露天采矿定律

[苏] A. И. 阿尔先捷夫著

时裕谋 译

杨荣新 校

中国矿业大学出版社出版

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/32 印张1.875 字数43千字

1991年9月第一版 1991年9月第一次印刷

印数：1—1000册

ISBN 7-81021-520-5

TD·105

定价：2.10元

致中国读者

我和你们一样，正在为美好的、为人们非常需要的采矿科学的发展而工作着。本书试图对露天采矿工程在空间发展的基本规律作一归纳。将此书奉献给你们，作为苏中两国人民友谊和合作的巩固和发展的标志。

A. И. 阿尔先捷夫 教授

1988, 12, 15



A. И. 阿尔先捷夫教授近照

目 录

前言	(1)
第一章 工作面移动定律	(7)
第二章 开拓、准备和回采工程强度相关定律	(12)
第三章 矿山工程延深速度和工作台阶推进速度 相关定律	(18)
第四章 相邻工作台阶上矿山工程协调发展定律	(29)
第五章 矿山工程发展过程的周期性	(44)
参考文献	(48)

前 言

——做为开头，这就可以了！萨尔

台打断了她的话。——这里有关

困难的字眼已经够多了！

〔英〕刘易斯·凯洛尔

(1832—1898)

象其它学科一样，采矿科学也有自己的概念、规程、原理和定律。它们是由若干代从事生产的采矿工程师、设计师、学者提出来的，是采矿科学在漫长的道路上发展的必然结果。

М.В. 罗蒙诺索夫、И.А. 施拉捷夫、А.И. 乌札吉斯、Б.И. 博基、М.М. 普洛多吉亚柯夫、Н.И. 特鲁什柯夫、А.А. 斯科琴斯基、И.А. 库兹涅佐夫、Б.П. 鲍科留鲍夫、П.И. 科洛捷茨基、Н.А. 斯塔里科夫、Е.Ф. 舍什科、П.З. 祖尔科夫、В.Н. 谢麦夫斯基、Н.В. 缅里尼科夫、М.И. 阿戈什科夫及其他著名的俄罗斯学者对发展采矿科学的理论基础有着重要的贡献。

“采矿科学”这一术语，早在18世纪中叶，首先由伟大的学者 В.М. 罗蒙诺索夫提出，并确切地定义为：“采矿

科学是指导人们了解、寻找矿物，并能使其达到满足人类社会需要为目的的科学。” [19]

在发展的过程中，采矿科学自身也发生了变化，纳入了新的概念，功能也日趋复杂化，方法也日臻完善。在20世纪70年代，H.B. 緬里尼科夫院士认为，采矿科学的目的是：“……揭示采矿过程和发生现象的规律性，并作出科学解释，以期从根本上改善矿山生产的技术和经济” [21]。

采矿科学属于技术科学，按IO.C. 麦列申科的意见，技术科学是研究技术与其所作用的自然条件间相互作用的科学 [25]。

在现阶段，可以这样说，采矿科学是开采矿产资源的科学，是研究矿产资源开采过程中的技术和开采工艺与矿山岩石相互作用的规律。

很遗憾，时至今日，在我们的文献中，特别是在教科书中，对采矿科学一般理论问题的定义和论证还未引起足够的重视。更有甚者，目前还流传着采矿科学没有规律性的意见。导致在露天矿和矿井的设计、计划和生产的过程中，往往采取有悖于科学规律和导致生产无法进行的主观决定。

究其发展历程，采矿科学是矿工长期经验的总结，反映某一过程的现象，能表示过程的物理模型特性、过程的认识方法、以及某种活动形式的性质。 [11] 诸如可钻性、可爆破性、可挖掘性、裂隙度、粒度等等是描述采矿过程的物理本质的概念；剥采比、矿岩量、稳定性、岩石强度等等是表示认识手段的概念；开拓、开采方法、剥离工程、回采工程、工作帮、非工作帮、巷道掘进等等是反映矿井和露天矿活动的概念。

以下是规程、原理、定律的定义：

1. 规程(правило)——“在某些条件下容许或要求做什么或禁止做什么的条文。”(原文是苏联大百科全书第20卷474页)规程的一个根本特性是它的主观性。规程是可改变的，可随时审查修订。在特殊情况下，规程可以不执行。规程越严格、越重要，批准容许不执行此规程的部门的级别越高。如露天矿生产规程、保安规程、车辆运行规程、招生章程等即是。

2. 原理(принцип)(来自拉丁语 principium 一词，有基本理论、本源的意思)是基本道理、指导思想、行为和活动的基本准则。(原文见苏联外语词典521页，外文和民族词典出版社，1949年)众所周知，原理同样是主观性的，可以遵守，也可以不遵守。采矿科学的原理有最小剥采比或最小矿岩量原理，最低费用原理，最大利润原理，确定露天开采境界的原理等等。

3. 定律 列宁写道：“定律(закон)是人们对世界过程的唯一性、联系性、依存性和整体性认识的一个阶段”。他又写道：“定律是一种关系，本质的关系或本质间的关系”。〔2〕

苏联大百科全书给定律定义如下：“定律是现象间必然的、本质的、稳定的、可重复出现的关系。定律表达事物间的关系，事物构成要素间的关系，各物质性质间的关系，以及物质内部性质间的关系。联系可能是必然的或偶然的。定律是必然的联系。在自然界定律做为自然力在起作用。人类自觉活动形成的社会历史定律，是人类自身活动的规律，这些定律仅为人们所创造和实现。但是，社会定律的作用与自

然定律一样是客观的：历史发展过程的基础是生产方式的发展”。（原文见苏联大百科全书第9卷，305页）

恩格斯指出：“自然界的永恒定律，也越来越多地向历史定律转化。”又说：“我们所有公认的物理学、化学、生物学是仅以地球为中心的，仅在地球上适用。”〔1〕

换句话说，自然界的很多定律有其限定的作用范围。所以，定律也可分为总定律、共同定律、局部定律等。采矿科学定律属于局部性的定律。采矿科学定律是在与人类活动相联系的有限范围内起作用的，它建立在自然定律和人们开发地下矿藏的自觉活动规律相结合的基础上。

已经知道的许多科学定律：动态定律、统计定律、发展定律、作用定律、结构定律等。采矿科学定律主要是发展定律和作用定律，但也有其他形式的定律。

发现定律和开发其实际应用的方法，是所有科学的主要目的。

所有科学理论，其中也包括露天和地下开采的理论：是一个由定律构成的系统，其中定律是确立科学思想的最后完成的环节。定律的最本质性质是两个或更多变量间关系的恒定性。这些变量是实际对象或过程的某些性质的数量特征。定律必须具有普遍性，即能概括众多对象。定律所确定的关系不是具体对象或过程间的关系，而是它们的数量性质间的关系。

任何一个过程或现象本身就是一个复杂的、与很多通常事先未知其数量的因素有关的系统。因此，在定律的作用中，可能出现一些偶然的、在定律中未加考虑的偏差所引起的变化。〔16〕

伟大的学者 Д.И. 门捷列夫对科学定律的特点理解得非常清楚。他写道：“玛利奥特定律、道尔顿定律、盖留萨克定律等，并不十分准确，虽然这些定律接近真理。” [22]

在上述论证的基础上，我们可以确定更准确的“科学定律”的概念。

定律是两个或更多变量间本质的、稳定的、必然的、可重复出现的关系。这些变量是实际对象或过程的某些性质的数量特征。这个关系必须概括众多对象，即具有普遍性。定律始终只包含有限个数的基本变量，而它所描述的过程通常与很多因素有关，甚至事先不知道因素有多少。因此，定律在作用中会有某些由未加考虑的因素所引起的不大的变化。

科学定律与规程和原理的区别就在于：定律是客观存在的。定律的作用，不能忽视，不能改变，它们不听命于任何上级部门的指令。

采矿科学定律，象其它科学定律一样，是客观存在的，因为它们是很多世纪以来在开采矿产领域的理论和生产方法发展的结果。谁破坏和违背定律，谁就达不到预期目的，这样便不可避免地会导致计划产量下降，不能继续开采，完全破坏露天矿和矿井的正常安全生产。

很多著名的俄国和苏联学者对采矿科学的概念、原理和定律作过研究。但只有 И.А. 库兹涅佐夫在他的著作中把他发现的规律性称作定律 [7]。很遗憾，这一术语，在以后的文献中从未提及过。在大百科词典“矿业”中和矿业百科全书中，也无此术语。无论过去和现在这都导致降低采矿科学在其他科学体系中的作用，降低了采矿工程师的总体理论水平，其结果降低了采矿科学和采矿工程师的威信。

从岩体中开挖矿岩的工程特点通过以下两个特征表现出来：

1. 工艺设备的类型及其尺寸。

2. 上述设备的工作条件及环境：工作面的特征及结构；在时空尺度内工作面和工作线的推进；开采过程中在地壳内留下的空间形式及其发展。

第一个特征决定着工艺过程及其机械化方式。实际上，工艺过程实现从地壳中开采矿岩和将其运送到指定地点。

地下开采时，工艺过程的顺序如下：打眼和穿孔、装药、爆破、矿石运（放）到运输平巷、矿石运往井筒、箕斗或罐笼提升矿石、地面堆放。

露天开采时，工艺过程的顺序是：穿孔、装药、爆破、采装、矿石运至料堆或选矿厂的受料仓、岩石运往排土场、排土。

工艺过程是相互联系和相互依赖的。随着技术的发展和新的矿山机械设备的出现，矿岩的采掘和运输方式也随之发生变化，这是矿山工程中最活跃的因素（特征）。

矿山工程的第二个特征，与开拓方式、开采方法、露天矿（或矿井）采空区形成的特点及规律、矿床开采顺序、工作面及工作线的推进方向等因素有关。开拓开采参数与所采用的设备有关，而这些参数本身也影响设备的工作效率。这就是矿山工程较保守的特征，它是不易变动的，在新机器出现时，开拓和开采参数通常仅稍有变化，其基本特征并不消失。

本书讨论的是有关生产过程中露天矿和矿井空间形成和发展问题的定律，重点是露天矿。

第一章 工作面移动定律

物体的一切变化在于运动。

И.В.罗蒙洛索夫 (1711—1765)

开采固体矿产资源的特点之一是：从岩体中采出矿岩的工作面，在时间和空间上不断地移动；工作线推进、开采急倾斜矿床时露天矿的延深；掘进地下巷道时的工作面推进；煤矿矿井工作面的移动等。

上述特点的公式表达，即是工作面移动定律：

在采矿过程中，开采矿岩的工作面，在空间上的移动速度 V 与采掘设备的生产能力 Q 成正比，与工作面的面积 S 成反比，即

$$v = \frac{Q}{S} \quad (1)$$

上述定律既适用于露天开采又适用于地下开采。式(1)早已为人知晓，并为很多书籍所引用。A.И.乌札吉斯于1843年写道：“竖井的掘进速度除与岩石硬度有关外，还与工作面的断面面积和工作面的个数有关。”^[27] Б.И.博基在《采矿艺术分析教程》(1924)一书中也曾引用过推进速度这个概念。П.И.科洛捷茨基于1949年指出，回采工作面的生产能力与工作面的尺寸及其推进速度有关^[14]。1954年，Е.Ф.

舍什科改成挖掘机工作面的推进速度公式，并指出工作线的推进速度^[28]。H. B. 纳里尼科夫写道：矿业使人们不可避免地用自己的劳动工具深入地壳层内，使人们面临工作地点不断移动引起的危险条件……”^[21]。

我们在 1976 年就曾指出，式(1)是采矿科学定律之一^[11, 25]。该式表明了三个量之间的必然的、本质的、稳定的、可重复的关系。同时还具有普遍性，因为它概括了所有矿山企业——露天矿和矿井。

现在分析一下本定律在一些具体情况下的应用。如电铲（前装机、挖土机等）采装，则工作面移动速度 V_3 是：

$$v_3 = \frac{Q_3}{h a}$$

式中 Q_3 ——电铲生产能力， $m^3/\text{月}$ ；

h ——台阶高度， m ；

a ——采宽， m 。

很明显，电铲的采装过程和结果与很多因素有关。电铲能力 Q_3 值按实方岩石表示，电铲直接从岩体中铲挖非坚硬岩石。而对于硬岩则先进行破碎，然后电铲从爆堆中挖掘。根据测量计算岩体量，而电铲在岩体中的实际能力与岩石的破碎程度、大块率、回转角度、工作面高度及其它很难考虑到的因素有关。研究表明，电铲能力 Q_3 值近似于 β 函数分布规律。在计算电铲能力时，或者是按规定的标准选取（设计中），或者是在统计规律分布的基础上确定。此外，还有台阶高度 h 值和采宽 a 值的波动。

所有这些特点未影响到式(1)的本质，但在选择公式中各量的数值和评价所作决策的风险水平时，应考虑上述特

点[9.24]。

工作台阶的水平推进速度 v 为:

$$v = \frac{12Q_3 N}{h L_g} \quad (2)$$

或

$$v = \frac{12Q_3}{h L_0} \quad (3)$$

式中 N ——工作台阶的电铲数量, 台;

L ——工作台阶的工作线长度, m;

L_0 ——电铲工作线的长度 $\left(L_0 = \frac{L_g}{N} \right)$, m。

若采用铲运机或推土机进行倾斜分层开采时, 则:

$$v_3 = \frac{N_e Q_e}{h a_e} \quad (4)$$

式中 N_e ——在工作面进行生产的设备台数, 台;

Q_e ——铲运机(或推土机)的生产能力, m^3 /月;

a_e ——采宽, m。

若在限定采区内采用推土机(或铲运机)进行薄分层开采时, 工作面的垂直降深速度 h_3 为:

$$h_3 = \frac{N_e Q_e}{a b}$$

式中 b 为采区长度, m。

采区的开采时间 T_1 为

$$T_1 = \frac{h}{h_3},$$

在此条件下, 工作线的平均推进速度用式(4)表示。

工作面移动定律, 是初步确定金属矿井生产能力的方法

的基础。该方法是由 M.И.阿戈什科夫根据地下开采急倾斜矿体情况提出的^[3]，即

$$A_p = k_p S_p, \text{ m}^3/\text{a} \quad (5)$$

式中 k_p ——采矿工程的年降深速度， m/a ；

S_p ——矿体的水平面积（考虑贫化与损失的影响因素）， m^2 。

式（5）可用来确定具有延深速度的露天矿的生产能力（矿量）。

根据上述定律，可得出下述结论：

1. 矿山设备应具有可移动性，或自行，或借助辅助机械设备走行。

2. 采掘设备的生产能力，是工作机构或工作介质（如高压水）与矿岩相互作用的结果。随着采掘设备的移动，会遇到各种条件，这些条件在空间上随矿岩物理性质变化而变化。所采用的设备，应在所遇到的各种岩石性质下都能顺利地进行作业。为正确地设计和预测设备的生产能力，必须研究露天矿田（井田）范围内矿岩的物理性质。

3. 为了强化开采，希望增大矿山设备的生产能力，这通常要增大其线性尺寸。对于地下开采方法，使用较小型矿山设备而需要增大生产能力时，会遇到很多复杂的问题。对于地面开采方法，则此问题没有那么尖锐。但对于剥离量很大的露天矿，加大矿山设备的线性尺寸，必导致加大工作平台的宽度，因而增大了生产剥采比和采矿成本。

此外，还可作出其他较次要的结论。

值得指出的是，根据主要思路和表达式形式来看，工作面移动定律与其他的科学定律很相似。例如物理学中著名的

欧姆定律:

$$I = \frac{U}{R}$$

式中 I ——电流强度, A;
 U ——电压, V;
 R ——电阻, Ω 。

计算水通过矿岩的渗透速度 V 的达西定律:

$$v = KI_r$$

式中 K ——渗透系数, m/d;
 I_r ——压力梯度。

描述固体弹性形变的虎克定律:

$$\varepsilon = \frac{P}{ES}$$

式中 ε ——相对形变;
 P ——作用力, N;
 E ——比例系数(杨氏模量), H/m²;
 S ——试块断面面积, m²。

第二章 开拓、准备和回采 工程强度相关定律

我们生活的本质、即生活中最重要的是我们的行动。不是我们设想、计划期待着什么或打算做什么，而是把我们的思想、周密的谋划、甚至是不甚高明的打算付诸行动。

[美] 罗库艾尔·肯特(1882—1971)

开采矿产资源时，无论是露天开采方法或地下开采方法，都要完成开拓、准备和回采工程。在露天矿线路、工作台阶、井筒掘进、石门、平巷、横巷、开切及回采巷道掘进等经常移动的条件下，上述开拓、准备和回采工程，在露天矿（矿井）矿田的整个开采年限内，始终处于复杂而密切的相互联系中。

开拓、准备和回采工程应服从下述采矿科学定律：

在空间上，矿床开拓工程的速度 h_B 应大于或等于准备工程和开切工程的速度 h_{π} ，而后者应大于或等于回采速度 h_r ，即：

$$h_B \geq h_{\pi} \geq h_r \quad (6)$$

也可以用下述的方法表示：

矿井相邻阶段的开拓时间 t_0 应小于或等于阶段的准备时间 t_{II} ，而后者应小于或等于阶段的开采时间 t_0 除以同时开采的阶段 k ，即：

$$t_0 \leq t_{\text{II}} \leq \frac{t_0}{k} \quad (7)$$

除了满足式(6)、(7)的条件外，为了矿山工程的可靠性，必须形成和保持开拓、准备和回采富余储量。这些富余储量的大小一般由政府各部制度，或以研究结果为依据。

我们研究矿井井田内开拓、准备及回采工程的相互作用(图1a)。掘进竖井 OB 和掘进石门进行开拓，其速度 $h_m = \text{ctg} \alpha_m$ ，开拓的下降速度(直线 $O'G'$) $h_a = \text{ctg} \alpha_a$ ；然后各阶段的准备是：掘进平巷、顺槽和开切巷道(直线 CG)，准备的速度 $h_{\text{II}} = \text{ctg} \alpha_{\text{II}}$ ；最后是回采(直线 $C'F$)，速度是 $h_0 = \text{ctg} \alpha_0$ 。

在开采露天矿田时，情况几乎和开采井田时一样，但也具有若干自己的特点(图16)。

矿山工程的下降速度(开拓新水平，见线 OB)为 $h_a = \text{tg} \alpha_a$ 。工作台阶准备的速度(掘进开段沟，见直线 $O'B'$)为 $h_{\text{II}} = \text{ctg} \alpha'_{\text{II}}$ 。金属露天矿的延深方向，有时与矿体的延深方向不一致(图1)。准备速度(直线 CB')为 $h_{\text{II}} = \text{ctg} \alpha_{\text{II}}$ ，回采速度(直线 $C'F$)为 $h_0 = \text{ctg} \alpha_0$ 。

在这里，沿底帮岩石延深时，各水平的开拓时间比采矿开始延深时间超前 t_0 年。因为 $h_a \leq h_{\text{II}}$ ，故可以说部分遵守了定律，即：

$$h_{\text{II}} > h_a$$

或

$$t_{\text{II}} \leq \frac{t_0}{k}$$

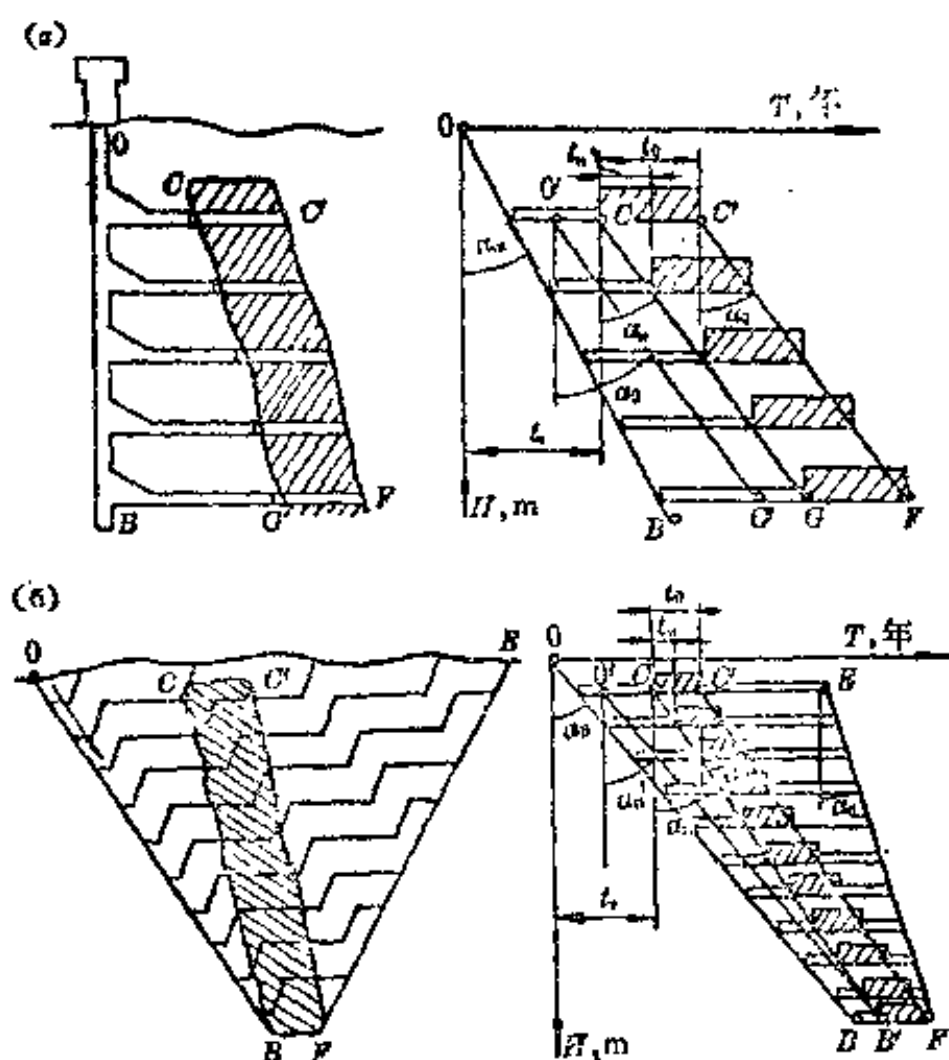


图1 矿山工程发展图

c—矿井井田(两个阶段同时开采),

6—露天矿田(两个工作台阶同时作业)。

非工作帮的形成见图16中的 EF 直线,其延深速度为
 $h_6 = ctg\alpha_6$ 。

矿山工程设计过程中,在选择开拓、采准和开切巷道的掘进机械化设备及进行矿山工程进度计划的计算中,应遵循式(6)和式(7)所揭示的规律。对于生产露天矿和生产矿井的进度计划的制定,上述定律也不会失去其指导意义。

关于本定律,过去很多学者都阐述过。如Б.И.博基在

1922 年就指出：“需要使准备工程的适应回采工程的发展，只有当采区的准备速度等于回采速度时，才能做到这一点……[13]。

1932 年 И.А.库兹涅佐夫曾提到：“准备储量的富余量与回采速度和准备速度定律[17]”。在他的著作[18]中对此定律表述如下：准备速度 h_{π} 应等于或大于回采速度 h_0 ，即：

$$h_{\pi} \geq h_0 \quad \text{或} \quad t_{\pi} \leq t_0 \quad (8)$$

式中 h_{π} ——准备速度，m/a；

h_0 ——沿垂直方向的回采速度，m/a；

t_{π} ——满足阶段中回采工程全面发展所需要的阶段的准备时间，a；

t_0 ——阶段的回采时间，a。

一般表达式为：

$$t_0 = \omega t_{\pi}$$

式中 ω 为准备工程的超前系数。

1948 年，М.И.阿戈什科夫给出了在井田一翼保持准备储量的固定富余量的条件[3]。他在一本书中这样写道：“必须做到开拓工程超前于准备工程、准备工程超前于开切和回采工程[4]。

1949 年，П.И.科洛捷茨基指出：“……，矿山企业正常活动的重要条件之一是：准备新储量工程的总进度要与回采工程的进度相一致，以补充采出的量。”[14]

1968 年，В.И.谢麦夫斯基写道，为维持金属矿山不间断地进行生产，要求遵循下述关系：

$$t_0 = t_{\pi} + t_p$$

式中 t_p ——时间富余量。

开采急倾斜矿体时，矿山工程的年延深速度应满足下述条件^[26]：

$$h_r = \frac{h}{t_{\pi} + t_p}$$

式中 h ——阶段高度，m。

式（6）和式（7）具有定律的全部特征，对于维持矿山企业的正常生产具有重要的意义。在这个定律的基础上，在时间和空间上，安排相互联系的开拓、准备和回采工程。该定律可调控矿山工程的动态过程，可正确地按矿山工程形式分配所需的劳力和设备。

不遵守这个定律，会导致采矿计划中断、破坏工程的正常程序、降低产量甚至停产。由于备有富余量，矿山企业可能在一段时间内不遵循该定律。很遗憾的是，此情况往往为一些领导者所利用。远在1932年，И.А.库兹涅佐夫就写道：“明白这个定律，对下述企业显得尤为重要：一种是经常撤换某矿或生产部门技术领导的；另一种企业，在那里，常常出现这种现象，这个或那个工程师……，催促着加紧完成产量，完全忘记了准备储量规律的存在”^[17]。

这里，提出了这样一个问题：谁是该定律的第一个倡导者？不禁让人想起了Д.И.门捷列夫所说过的：“公正要求把最高的科学荣誉给予那些善于使他们相信真理，证明其永恒性，并在科学中付诸应用的人，而不是给予第一个提出真理的人”^[22]。

Б.И.博基于1922年首先提出了此定律。

1932年И.А.库兹涅佐夫称此制约关系为采矿科学的定律，并给出了露天矿和矿井都能应用该定律的方法（式8）。

很明显，定律（式 6 和 7）理所当然地称为“博基—库兹涅佐夫定律”。

第三章 矿山工程延深速度和工作 台阶推进速度相关定律

——听者，让我们说定了吧！耶季诺罗格说。你要相信我，我也相信你！行吗？——好！阿丽萨回答说。
〔英〕刘易斯·凯罗尔(1832—1898)

露天开采急倾斜矿床时，矿山工程沿垂直方向和沿水平方向同时发展，完成露天矿延深。结果一是露天坑底和回采工程的不断延深，一是逐渐形成了非工作帮（图16）。为方便计，延深速度不按矿山工程夹角为 β 的实际延深方向 O_1O_2 （图2），而按垂直投影的方向来度量，即 $h_r = \overline{O_1O_2} \sin\beta$ 。

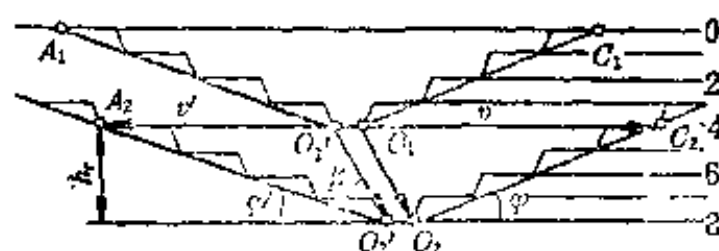


图2 露天矿工作带年位移图

1956年，我们曾确立了矿山工程的相互关系。随着露天矿延深，在露天矿空间形成的过程中，存在矿山工程延深速

度与工作台水平推进速度的相关定律，

矿山工程的垂直延深速度 h ，与工作台水平推进速度 v 成正比，与工作帮坡角 φ 的余切 $\text{ctg}\varphi$ 和延深方向与平面夹角 β 的余切 $\text{ctg}\beta$ 的代数和 $(\text{ctg}\varphi \pm \text{ctg}\beta)$ 成反比，即，

$$h_1 = \frac{v}{\text{ctg}\varphi \pm \text{ctg}\beta} \quad (9)$$

式(9)可变换为以下的形式：

1. 代入式(2)，则为：

$$h_1 \leq \frac{NQ}{hL_6(\text{ctg}\varphi \pm \text{ctg}\beta)}$$

2. 代入式(3)，则为：

$$h_1 \leq \frac{Q}{hL_6(\text{ctg}\varphi \pm \text{ctg}\beta)}$$

3. 因为

$$\text{ctg}\varphi \pm \text{ctg}\beta = \frac{\cos\varphi\sin\beta \pm \cos\beta\sin\varphi}{\sin\varphi\sin\beta}$$

则

$$h_1 \leq \frac{v\sin\varphi\sin\beta}{\cos\varphi\sin\beta \pm \cos\beta\sin\varphi}$$

或

$$h_1 \leq \frac{Q\sin\varphi\sin\beta}{hL_6(\cos\varphi\sin\beta \pm \cos\beta\sin\varphi)}$$

4. 因为

$$\text{ctg}\varphi = \frac{B + h\text{ctg}\alpha}{h}$$

式中 B ——工作平台宽度, m;
 α ——工作台阶坡面角, ($^{\circ}$)。

则

$$h_i \leq \frac{Q}{L_0(B + h \operatorname{ctg} \alpha \pm h \operatorname{ctg} \beta)}$$

$$h_i \leq \frac{v}{\frac{B}{h} + \operatorname{ctg} \alpha \pm \operatorname{ctg} \beta}$$

以下分析一下关系式 (9) 的一些情况。

矿山工程 (露天坑底) 的延深速度与工作台阶水平推进速度 [5, 7, 14] 的相关定律如下:

露天矿延深 (矿山工程) 下降速度 h_r 与工作台阶水平推进速度 v 成正比, 与工作帮坡角 φ 的余切 $\operatorname{ctg} \varphi$ 和露天矿的延深角 β 的余切 $\operatorname{ctg} \beta$ 的代数和成反比, 即:

$$h_r \leq \frac{v}{\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \beta} \quad (10)$$

$$h'_r \leq \frac{v'}{\operatorname{ctg} \varphi' - \operatorname{ctg} \beta} \quad (11)$$

图 2 表明了, 在年初露天坑底在 O_1 点的位置。在第二年初, 坑底已移动到 O_2 点的位置。为保持工作平台的宽度, 使 O_1 点标高上的工作台阶向右需移动到 C_2 点的位置, 向左则到 A_2 点。

如前所述 [5, 7], 可在绘制和分析 $v = f(T)$ 图的基础上确定延深工程的合理组织和延深速度。可能的延深速度可按下列式近似确定:

$$h_r = 12Q_s / [hL_0 (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\beta) + \frac{1}{c}(L_0 + L_B + l_n + l_{\text{。}})(b + h\operatorname{ctg}\alpha)] \quad (12)$$

式中 L_B —— 出入沟长度, m;
 l_n —— 联络平台长度, m;
 $l_{\text{。}}$ —— 电铲间的 (掘沟电铲与扩采电铲间的) 允许距离, m;
 b —— 开段沟底宽, m;
 c —— 掘沟电铲能力下降系数;
 φ —— 深部两个工作台阶的工作边帮角, ($^{\circ}$)

式 (12) 举例:

1. 露天矿采用汽车运输和 $\Theta K \Gamma - 8$ 型电铲。参数取为: $Q_s = 80000 \text{ m}^3/\text{月}$, $h = 15 \text{ m}$, $L_0 = 350 \text{ m}$, $L_B = 250 \text{ m}$, $l_n = 40 \text{ m}$, $l_{\text{。}} = 50 \text{ m}$, $b = 20 \text{ m}$, $c = 0.8$, $\varphi = 12^{\circ}$; $\operatorname{ctg}\varphi = 4.71$; $\beta = 35^{\circ}$; $\operatorname{ctg}\beta = 1.43$; $\alpha = 60^{\circ}$; $\operatorname{ctg}\alpha = 0.58$ 。得出 $h_r = 16.9 \text{ m/a}$ 。

2. 露天矿采用铁道运输, 电铲型号同上。参数取为: $Q_s = 66700 \text{ m}^3/\text{月}$, $L_0 = 500 \text{ m}$, $L_B = 375 \text{ m}$, $l_n = 100 \text{ m}$, $l_{\text{。}} = 80 \text{ m}$, $c = 0.7$; 其他同上。

得出 $h_r = 9.0 \text{ m/a}$ 。

若给出要求达到的延深速度为 h_r , 通过式 (10) 或式 (11), 可求出要求达到的工作帮水平推进速度 v_H 和电铲采区工作线的平均长度 L_{0H} 。利用上述实例中的计算结果, 可知: 采用汽车运输时, 按式 (10) 可求出 $v_H = 16.9 \times (4.71 + 1.43) = 103.8 \text{ m/a}$;

$$L_{6H} = \frac{12 \times 80000}{15 \times 103.8} = 617 \text{ m}, \quad \frac{L_{6H}}{L_6} = \frac{617}{350} = 1.76.$$

采用铁道运输时, $V_H = 9.0 \times (4.71 + 1.43) = 55.3 \text{ m/a}$,

$$L_{6H} = \frac{12 \times 66700}{15 \times 55.3} = 965 \text{ m}, \quad \frac{L_{6H}}{L_6} = \frac{965}{500} = 1.93 \text{ m}.$$

上面计算结果表明, 在露天矿延深的过程中, 扩采深部开段沟时的电铲工作线长度与常规工作台阶的电铲工作线长度相比, 大大地缩短了 (缩短了 1.76~1.93 倍)。

E、Φ、舍什科提到两个速度 V 和 h_H 的相互关系, 1950 年他写道, “露天开采的强度, 可用三个相互制约的指标描述: 即工作面的移动速度; 工作线的推进速度; 露天矿的延深速度。” [28] 但是, 他当时未能揭示出这一相关的本质。

回采工程的延深速度与工作台阶水平的推进速度的相关定律如下:

露天矿回采工程的垂直延深速度 h_0 与工作台阶水平推进速度 V 成正比关系, 与工作帮坡角 φ 的余切 $\text{ctg}\varphi$ 和矿体倾角 δ 的余切 $\text{ctg}\delta$ 的代数和 ($\text{ctg}\varphi \pm \text{ctg}\delta$) 成反比, 即:

$$h_0 = \frac{V}{\text{ctg}\varphi \pm \text{ctg}\delta} \quad (13)$$

或

$$h_0 = \frac{h_r (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\beta)}{\text{ctg}\varphi \pm \text{ctg}\delta} \quad (14)$$

因 $\delta \geq \beta$, 故 $h_0 \geq h_r$ 。

公式中的 “+” 号表示由顶板向底板推进 (图 3^a);

“-”号表示由底板向顶板推进。

露天坑底在一年内从 O 点延深到 O_1 点，回采工程沿直线 CC_1 延深。

由式(14)可知，回采工程的延深速度 h_0 大于露天矿的延深速度 h_r 。若沿矿体方向延深，则 $h_0 = h_r$ 。例如：当 $\varphi = 15^\circ$ 、 $\beta = 40^\circ$ 和 $\delta = 70^\circ$ 时，沿底帮延深时的 $h_0 = 1.2h_r$ ，沿顶帮延深时的 $h_0 = 1.46h_r$ 。在设计露天矿时，应考虑此因素。

假定按计划要求，露天矿每年需以 $h_r = 10\text{m/a}$ 的速度延深，在式(10)的基础上（其中 $\varphi = 15^\circ$ ， $\beta = 40^\circ$ ）可计算出 $v_H = 49.2\text{m/a}$ 。为维持该水平推进速度，在台阶高度 $h = 15\text{m}$ 的条件下，电铲工作线的长度不得大于 1000m ，则 $Q_0 \geq 49.2 \times 15 \times 1000 = 73800\text{m}^3/\text{a} = 61500\text{m}^3/\text{月}$ 。

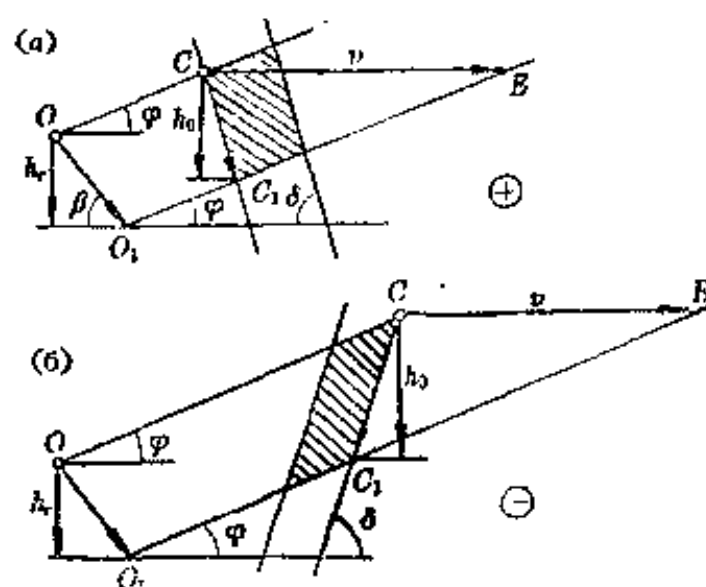


图3 三个速度参量 h_r 、 h_0 、 v 的相互关系图

a—沿底帮岩石延深时；b—沿顶帮岩石延深时

近年来，露天矿的发展有增加台阶高度的趋势。预期

矿床开采，强度要加大。为使该强度不致下降，需遵守以下条件：

$$\frac{Q_2}{h_2 L_{62} (\operatorname{ctg} \varphi_2 + \operatorname{ctg} \beta)} \geq \frac{Q_1}{h_1 L_{61} (\operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{ctg} \beta)} \quad (15)$$

式中 Q_1, Q_2 ——相应为开采低台阶和高台阶时的电铲能力， m^3/a ；

h_1, h_2 ——台阶高度， m ；

L_{61}, L_{62} ——电铲工作线长度， m 。

比如，台阶高度由 $h_1 = 15\text{m}$ 增加到 $h_2 = 20\text{m}$ ，如果 $\varphi = 15^\circ$ ， $\varphi_2 = 18^\circ$ ， $\beta = 35^\circ$ ， $L_{61} = L_{62} = 1000\text{m}$ ，则 $Q_2 \geq 1.17Q_1$ 。意思是：抑或是电铲能力增加 17%，抑或是缩短电铲工作线长度 14%（ $Q_1 = Q_2$ 时），和增加电铲台数。

多排孔爆破优于单排孔爆破。但实现多排孔爆破的条件是增加工作平台的宽度，即减小工作帮坡角。这种情况，必反映到开采强度上来，例如：单排孔爆破时，工作平台宽度 40~50m（ $\varphi_1 = 17^\circ$ ）足可；三排孔时，需增加到 60~70m（ $\varphi = 12^\circ$ ）。单排孔爆破时，满足露天矿每年 10m/a 延深速度，所需的水平排进速度为 $v_1 = 10 (3.27 + 1.43) = 47 \text{ m/a}$ ；三排孔时， $v_2 = 10 (4.71 + 1.43) = 61.4 \text{ m/a}$ ，即增大 30% 以上。除此之外，还增大了生产剥采比。选用穿爆方法时，上述情况易被忽略。

非工作帮的形成速度与工作台阶水平推进速度 [5-7] 的相关定律：

露天矿的非工作帮的垂直形成速度 h_6 与工作台阶水平推进速度 V 成正比，与工作帮坡角 φ 角的余切 $\operatorname{ctg} \varphi$ 和非工作帮坡角 γ 角的余切 $\operatorname{ctg} \gamma$ 的差（ $\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \gamma$ ）成反比，即：

$$h_6 = \frac{v}{\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \gamma} \quad (16)$$

或

$$h_6 = \frac{h_r (\operatorname{ctg} \varphi \pm \operatorname{ctg} \beta)}{\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \gamma} \quad (17)$$

“+”号与“-”号的选取方法,见图4。在一年内,露天坑底由 O 点延深到 O_1 点,形成的右边帮见直线 FF_1 ,左边帮见直线 NN_1 。

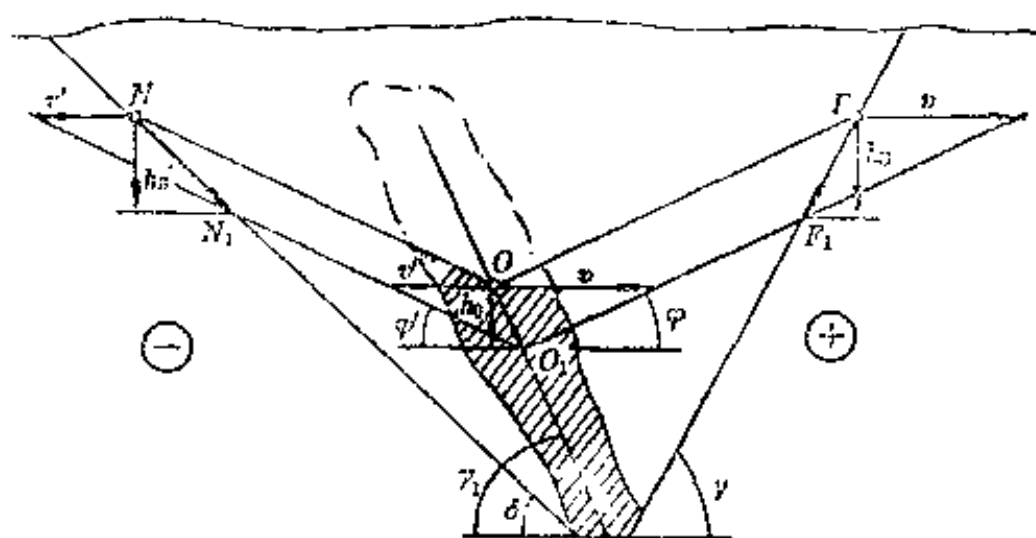


图4 工作台阶的水平推进速度 v 、 v' ,回采工程的延深速度 h_0 ,露天矿非工作帮的形成速度 h_6 、 h_6^* 的相互关系图

在露天矿的设计与生产的实践中,分期开采被广泛采用,为此形成了临时非工作帮。这样可以降低剥采量的不平衡性,加大最终采深^[23]。但矿山工程并不总是合乎情理地发展,临时工作帮的效果常要重新评价。

如开采急倾斜矿体时,分两期进行开采,形成临时非

工作帮 KO_3 (图 5)。矿山工程沿 $O_1O_2O_3$ 的方向延深过程中, 从采深 H_1 开始, 即形成了临时非工作帮。其形成的过程在图 $H=f(T)$ 中用直线 KO_3 表示。

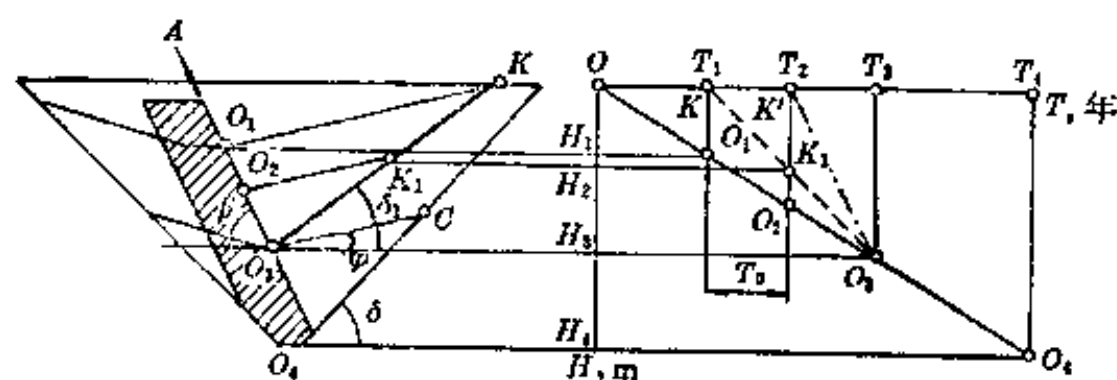


图5 存在临时非工作帮 KO_3 条件下的矿山工程发展图

临时非工作帮的垂直形成速度按式 (16) 确定。若取 $\beta = 50^\circ$, $\delta_1 = 32^\circ$, $\varphi = 15^\circ$, 则 $h_6 = 2.15h_r$ 。

经过 $T_0 = T_2 - T_1$ 时间后 (图 5), 应开始对临时工作帮进行削帮, 以便露天坑底延深到 H_3 (点 O_3) 深度时, 临时非工作帮废除和形成工作帮 O_3C , 此过程用 $H=f(T)$ 图上的直线 $K'O_3$ 表示。

临时非工作帮可能的削帮速度按式 (16) 确定。很明显, 为形成储备时间 T_0 , 必须以比临时边帮形成速度更快的速度进行削帮。其途径是: 进行临时非工作帮削帮时, 提高电铲的生产能力, 降低电铲采区的长度及压缩工作平台的宽度。临时非工作帮存在的可能时间 T_0 (见图 5) 为:

$$T_0 = \frac{H_3(h_p\delta - h_6)}{h_p\delta h_6}$$

式中 H_3 — 露天矿一期采深, m;

$h_{\phi 6}$ ——临时非工作的削帮速度, m/a。

例如, 取: $H_3 = 150\text{m}$, $h_r = 15\text{m/a}$, $h_6 = 32.3\text{m/a}$ 。
我们将削帮速度提高 1.5 倍, 即达到 $h_{\phi 6} = 1.5h_6 = 1.5 \times 32.3 = 48.5\text{m/a}$ 时, 临时工作帮可能存在的时间

$$T_0 = \frac{150 \times (48.5 - 32.3)}{48.5 \times 32.3} = 1.55\text{a}$$

如不能维持临时工作帮削帮计算时间, 不可避免地会导致回采工程的停顿和完全停产。

这些年来, 有很多深露天矿向汽车—胶带输送机联合运输的方式过度。胶带输送机的布置方式有两种: 布置在斜井内和布置在露天矿非工作帮上。但往往忽略了削帮的影响这一微妙因素。

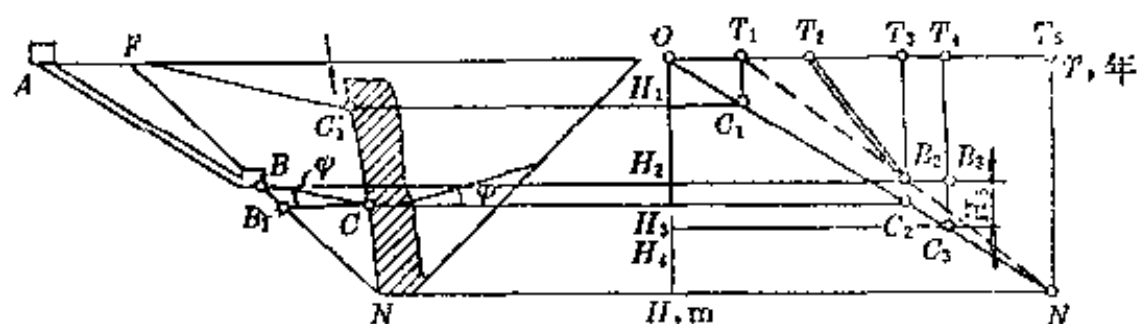


图6 露天矿过渡到汽车—胶带输送机联合运输方式的
矿山工程发展示意图

若胶带输送机的服务深度为 H_2 (图6), 并在那里安装了破碎装置。若露天矿沿矿体 (沿直线 CC_1 方向) 延深, 该延深过程在 $H = f(T)$ 图中用直线 $OC_1C_2C_3N$ 来表示。由深度 H_1 始, 经过 T_1 时间, 开始形成非工作帮 FN 。其形成过程用虚线 T_1B_2N 表示。掘进斜井的可能时间是 T_3 , 因为在此时间段内, 在采深 H_2 处将形成非工作帮。而沿边帮掘进

露天陡沟的时间是 $T_T = T_3 - T_1$ ，即等于形成非工作帮 FB 的时间)。斜井出口(露天陡沟)与露天矿打通的位置在 B_2 点。当打通时，露天矿已延深到 $H_3 > H_2$ (C_2 点)。然后，用 $T_4 - T_3$ 的时间来安装设备。俟安装工作结束后，露天矿已延深到 H_4 处。当胶带输送机启用时，汽车卸载平台与露天矿底盘的标高差已达 $H_5 = H_4 - H_2$ 。例如：当奥列涅戈尔斯克露天矿胶带输送机启用时，深度差已达 70~80m。

为避免此深度差，必须在胶带机与露天矿打通处的出口地段，强化其延深工程[23]，形成辅助的延深区。斜井的出口处不应在 B 点，而应在 B_1 点或更深的部位(见图 6)。另外还要考虑到，在打通出口和安装设备时，非工作帮运输联络的中断和复杂化。

第四章 相邻工作台阶上矿山 工程的协调发展定律

自然界的一切就象数学那样准确和确定；
虽然我们有时怀疑这种准确性，但我们的
无知丝毫不影响它的存在；即使全世界都
不相信 2 乘 2 等于 4，可是在所有怀疑者
面前 2 乘 2 得出的仍是 4。

M. B. 罗蒙诺索夫 (1711—1765)

在露天矿的生产过程中，由若干工作台阶组成的工作带不断地发展。这些台阶上的工程相互影响，其开采强度也相互关联[6, 7, 10, 24]。

现研究由三个工作台阶组成的工作带（图 7）。每个台阶电铲以纵向采掘带采掘，台阶的推进量见 $L = f(T)$ 图：第一个台阶的推进为 $C_1 C'_1$ ；第二个为 $C_2 C'_2$ ；第三个为 $C_3 C'_3$ 。为满足设备正常生产的要求，每一个台阶相应有一工作平台，其宽度不应小于最小工作平台的宽度，即：

$$B_i \geq B_{i, \min} + h_{i+1} \operatorname{ctg} \gamma_{i+1} = B_0;$$

式中 $B_{i, \min}$ ——第 i 个台阶的最小工作平台宽度, m;

h_{i+1} ——第 $i+1$ 个台阶的高度, m;

γ_{i+1} ——第 $i+1$ 个台阶的坡面角, ($^\circ$)。

从图中可以看出：第三个台阶的平均推进速度为 $V_3 = \text{ctg } \alpha_3$ ；第二个台阶在其推进过程中应始终保持工作平台宽度 $B_2 \geq B_{02}$ ，为此需从直线 $C_3C'_1$ 处向右增加一直线 B_{02} （用点划线表示）。第二个台阶的推进线 $C_2C'_2$ 不应侵入图中的阴影部分。第一个台阶亦然，其推进以直线 $C_1C'_1$ 表示。

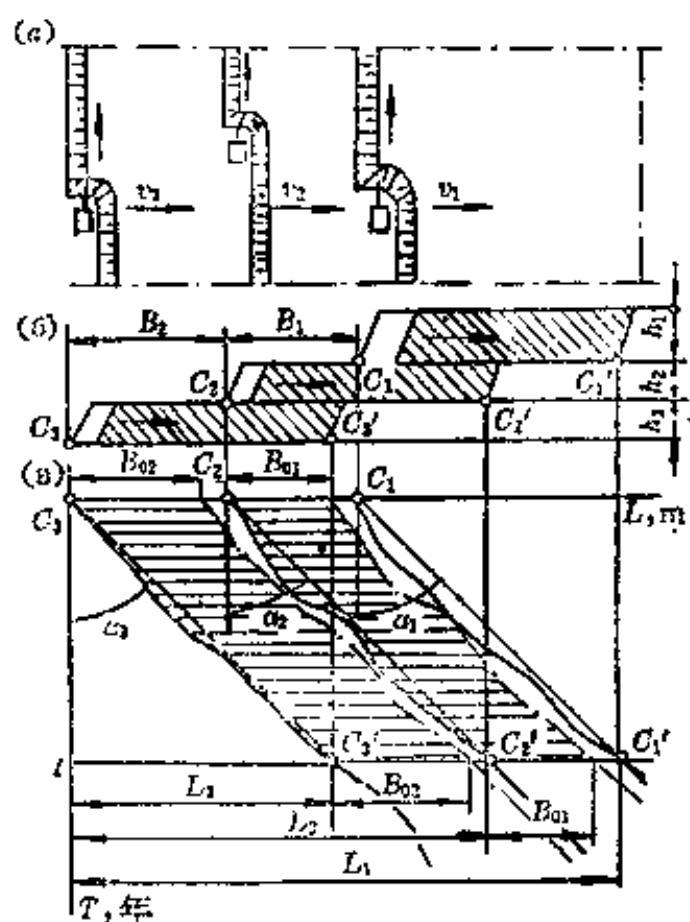


图7 露天矿工作帮的发展图

(c—平面图；b—剖面图；c— $L = f(T)$ 图)

现研究时间 t 后的工作台阶位置 C'_3, C'_2, C'_1 ，遵守以下关系：

$$L_3 = v_3 t$$

$$L_2 = B_2 + v_2 t$$

$$L_1 = B_1 + B_2 + v_1 t$$

由 $L = f(T)$ 图可知:

$$L_1 - L_2 \geq B_{0,1}; \quad L_2 - L_3 \geq B_0$$

或 $B_1 + (v_1 - v_2) t \geq B_{0,1};$

$$B_2 + (v_2 - v_3) t \geq B_{0,2}$$

一般表达式为:

$$B_i + (v_i - v_{i+1}) t \geq B_{0,i}$$

或 $v_i \geq v_{i+1} - \frac{1}{t} (B_i - B_{0,i}) \quad (18)$

式中 v_i, v_{i+1} 分别为第 i 个、第 $i+1$ 个工作台阶的年推进速度, m/a;

B_i 第 i 个台阶的工作平台宽度, m;

$B_{0,i}$ ——第 i 个台阶的最小工作平台宽度, m;

t ——工作台阶推进的时间, a。

式 (18) 是相邻台阶上矿山工程协调发展定律的一般解析式。此式发表于 1973 年^[8], 和以后的其他著作中^[7, 8, 10, 11]。此定律可表达如下:

工作台阶的水平推进速度 v_i 应大于或等于下部相邻工作台阶的水平推进速度 v_{i+1} 减去工作平台宽度的富余量 $B_i - B_{0,i}$ 与一定时间 t 的商, 时间 t 为达到 $B_i = B_{0,i}$ 所需的时间。

此定律最常见的形式如下:

1. 若所有的工作台阶以相同的水平推进速度推进时, 即 $v_i = v_{i+1}$, 则在露天矿开采过程中, 工作台阶推进应使所有工作台阶保持的工作平台宽度 B_i 不小于计算的最小平台宽度 $B_{0,i}$ 即:

$$B_i \geq B_{i+1} \quad (19)$$

式 (19) 已纳入露天矿生产规范中的第 25 条^[25]。

如果 $B_i > B_{i+1}$ ，则上部台阶的推进速度可以放慢或停顿的时间 t 为：

$$t \geq \frac{B_i - B_{i+1}}{v_{i+1} - v_i}$$

2. 如果所有的工作水平都保持计算的最小平台宽度，即 $B_i = B_{i+1}$ ，那么上部工作台阶的水平推进速度应大于或等于其下部相邻工作台阶的水平推进速度，即：

$$v_i \geq v_{i+1} \quad (20)$$

式 (20) 是开采方法计算的一个主要公式，其展开式为：

$$\frac{Q_i N_i}{h_i L_i} \geq \frac{Q_{i+1} N_{i+1}}{h_{i+1} L_{i+1}}$$

式中 Q_i 、 Q_{i+1} ——第 i 个和第 $i+1$ 个台阶的电铲生产能力， m^3/a ；

N_i 、 N_{i+1} ——同上，电铲台数，台；

h_i 、 h_{i+1} ——同上，台阶高度， m ；

L_i 、 L_{i+1} ——同上，工作线长度， m 。

在文献中，一些作者谈到公式 (20) 的重要性。文献^[18]建议所有工作台阶按同一速度推进。

1934 年，E.H. 巴尔鲍特—德—玛尔尼写道：每一上部台阶都以推进为其下部台阶腾出作业的地盘^[12]。

1949 年，П.И. 戈洛捷茨基指出，在深露天矿中，相邻台阶推进的相互关系具有特别重要的意义^[14]。

1953年,关于露天矿工作台阶矿山工程的匹配原则 II.3. 朱尔科夫写道:开采方法这个词的意思,就是应当保证“露天矿剥离和回采工程的匹配发展” [15]。

显然,上述诸作者并未导出在各种平台宽度条件下,工作台阶推进的一般分析关系 [18],而限于用公式 (20) 表示定律的局部情况。

违背本定律,会导致开采强度下降,露天矿矿石储量减少,露天矿最终采深减小及其他不利的结果。

假定露天矿上部若干台阶停留在 CE' 位置 (图 8),也就是露天坑底处在 N 点位置时, C 点以上的台阶已形成了非工作帮 CE' 。很明显,工作台阶推进到 CE 直线的位置时,亦将变为非工作帮。当新形成的非工作帮下降到 E 点时,回采工程被迫停止。此后,若试图对形成的边帮 EE' 进行削帮,则需降低露天矿的延深速度,即降低其生产能力。

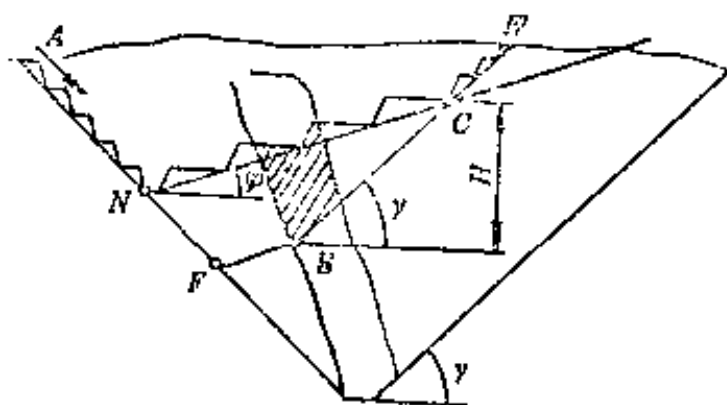


图8 露天矿上部工作台阶停止推进对矿山工程发展的影响

在 E 点回采工程的停留时间可以计算,即:从图上找出相应的采深 H ,由式 (16) 确定非工作帮 CE 的延深速度 $h\delta$,则:

$$T_{\pi} = \frac{H}{h_{\delta}} = \frac{H(\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \gamma)}{v}$$

由于违背此定律，很多露天矿的生产能力都下降了，苏联有色金属工业部所属的一些露天矿都重新考虑了其采深减小的问题。

开采急倾斜矿体时，会出现露天矿延深工程和工作帮推进的相互制约的问题。在工作台阶很多又必须调动电铲的深露天矿中，对此特别难以管理。

假设给定了露天矿的生产能力，满足此生产能力的延深速度为 h_r ，则必须先提供下述条件：

1. 应适当组织深部的两个台阶的新水平开拓准备工程，以实现给定的延深速度 h_r 。
2. 工作帮所有工作台阶水平推进 能保证 延深速度的需求。

在露天矿生产过程中，在时间上和空间上工作平台宽度的波动范围很大^[7]，因而工作帮坡面的形状亦随之变化。在某些时期，在断面上的工作帮坡面是平形的、其他时期则形成凸形、凹形或波形。

露天矿工作帮形状的变化反映了各工作台阶和整个工作帮的水平推进速度，也意味着影响露天矿延深速度。图 9 表明了满足式 (19) 的几种工作帮坡面的形状。工作帮水平推进的平均速度为：

$$v_{\phi} = \frac{12QN}{hL\phi}$$

式中 N —— 布置在工作帮的电铲数量，台；

L_{ϕ} ——工作帮上的工作线总长度, m。

随着露天矿的延深,使以下参数发生变化:工作平台宽、工作台阶个数、工作线长度、保证延深所需的电铲台数等。

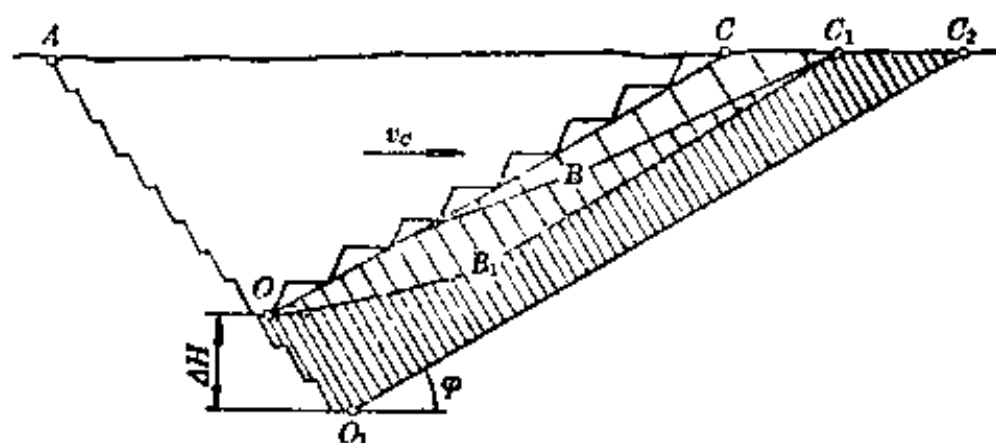


图 9 露天矿工作帮断面的几种形状

若露天坑底在 0 点 (图 9), 工作帮具有计算的工作平台宽度和最大的工作帮坡角 (与直线 OC 的夹角), 工作帮为过渡到 O_1C_2 的状况, 需采出在断面上面积为 $OCC_1O_2O_1$ (阴影部位) 的剥离量。若工作面的坡面为凸形的 (OBC_1), 则上述剥离量较小; 若为凹面的 (OB_1C_1), 则更小。

从另一方面来说,露天坑底从 A 点延深到 O 点,保持最大的工作帮坡角 OC 时,采出的矿岩量小,即降低了剥离量。

这样，工作帮形态的变化，为矿山设备的调动和矿岩量调配提供可能性，也可均衡剥采比。

根据形成露天矿空间的相关定律，确定每个工作台阶的电铲数量和采掘量的程序如下：

1. 在给定露天矿生产能力的前提下, 确定必须的延深

速度 h_r ;

2. 在以最小工作平台宽度 B_{0i} 进行生产的条件下, 确定工作台阶的水平推进速度 v_H ;

$$v_H = h_r (\operatorname{ctg} \varphi_{m, x} + \operatorname{ctg} \beta) \quad (21)$$

若露天矿双侧开采, 则另一侧的推进速度为:

$$v'_H = h_r (\operatorname{ctg} \varphi'_{m, x} - \operatorname{ctg} \beta)$$

3. 按式 (18) 从下向上确定每个工作台阶的水平推进速度;

4. 按式 (2) 确定每个工作台阶所需的电铲台数;

5. 计算需要电铲总台数的最小值 (在最下台阶进行的电铲台数不计入) 及总的剥采量。

现举一例: 金属露天矿 (图 9) 在年初有 9 个工作台阶; $h_r = 15 \text{ m/a}$; $Q = 960000 \text{ m}^3/\text{a}$; 矿体走向长 1.5 km ; $B_{0i} = 50 \text{ m}$; $\beta = 40^\circ$; $\operatorname{ctg} \beta = 1.19$; $h = 15 \text{ m}$; $\varphi = 13^\circ$; $\operatorname{ctg} \varphi = 4.33$; $\varphi_{m, x} = 14.6^\circ$; $\operatorname{ctg} \varphi_{m, x} = 3.84$ 。

代入式 (21), 可求出额定速度为:

$$v_H = 15 \times (3.84 + 1.19) = 75.5 \text{ m/a}$$

所需电铲数量的确定方法有好多种, 现举其中的两种:

1. 在年末, 保持 $\varphi = 13^\circ$, 所有工作台阶的水平推进速度均为 $v_H = 15 \times (4.33 + 1.19) = 82.8 \text{ m/a}$;

2. 或者在年末, 所有的工作水均为最小平台宽度 $B_{0i} = 50 \text{ m}$, 保持 $\varphi_{m, x} = 14.6^\circ$ 。

计算结果列入表 1 中。第一方案: 为保持工作帮现有情况, 要求在 10 个工作台阶上布置不少于 23 台电铲, 年剥离总量为 $23 \times 0.96 = 22.08 \text{ Mm}^3/\text{a}$; 第二方案: 为工作帮保持最小工作平台宽度, 年内 15 台电铲就行, 年剥离量为 15×0.96

$= 14.4 \text{ Mm}^3/\text{a}$ ；但是，在翌年，为保持最小工作平台宽度 B_1 ，需在 9 个工作台阶上布置不少于 21 台电铲，若计入第 10 个台阶的一台电铲，电铲总台数为 22 台，年剥离总量为 $22 \times 0.96 = 21.12 \text{ Mm}/\text{a}$ 。

工作帮的平均水平推进速度：第一方案为 $82.8 \text{ m}/\text{a}$ ，第二个方案为 $53.07 \text{ Mm}/\text{a}$ 。两种方案均考虑到了电铲的调动影响。为补偿时间的损失，还考虑工作平台宽度的波动，规定电铲要有富余量，富余量可按系数 $1.05 \sim 1.10$ 确定或专门研究确定。

表 1 确定工作台阶要求的推进速度和电铲数量

工作台阶	B_i m	L_y m	第一方案	第二方案		
			N_i (当 $v_i = 82.2 \text{ m}/\text{a}$ 和 $\varphi = 13^\circ$ 时) 台	第一年		翌年
				$\varphi_{\text{max}} = 14.8^\circ$ $v_i, \text{m}/\text{a}$	$N_i, \text{台}$	N_y (当 $v_i = 75.5 \text{ m}/\text{a}$ 时), 台
1	60	2900	2.90	22.5	0.81	2.71
2	65	2200	2.86	32.6	1.12	2.60
3	60	2100	2.73	47.5	1.56	2.48
4	50	2000	2.60	57.5	1.80	2.36
5	52	1900	2.47	57.5	1.71	2.24
6	60	1800	2.34	59.5	1.67	2.12
7	56	1700	2.21	69.5	1.85	2.01
8	50	1600	2.08	75.5	1.89	1.89
9	—	1500	1.95	75.5	1.77	1.77
小计		17100	22.23	53.07	14.18	20.18

这个问题可以用其他方法来解决。露天坑底年初在 0 点，工作帮 OC (图 10) 由各种平台宽度所构成。在翌年初，

露天坑底应延深至 O_1 点，延深速度为 h_r 。

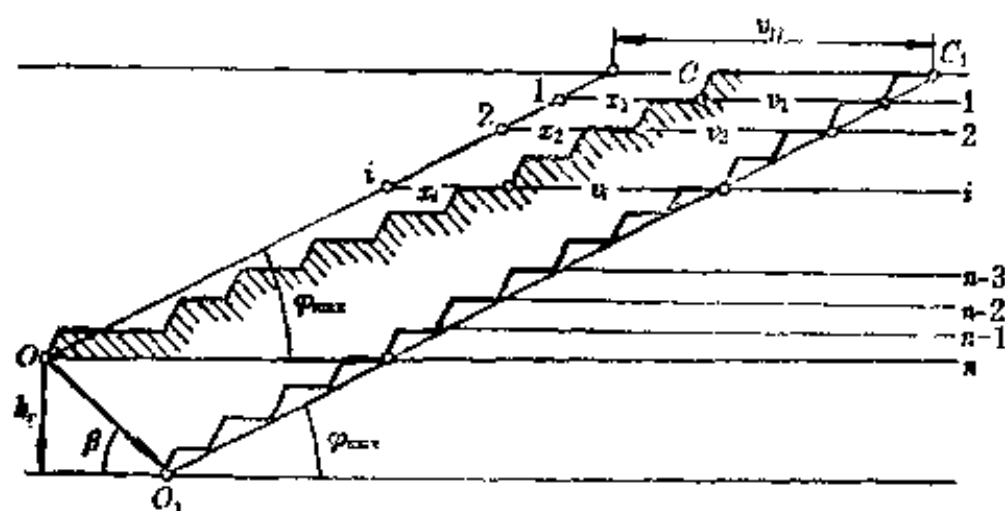


图10 露天矿以延深速度 h_r 过程中
工作帮的水平推进图

现在研究一下，为使在翌年初形成最小的平台宽度和最大工作帮坡面的工作帮 O_1C_1 ，工作台阶最小的推进速度应取多大？

1、2、 i 、…… n 个工作台阶必需的最小推进速度分别为： $v_1 = v_H - x_1$ ； $v_2 = v_H - x_2$ ； $v_i = v_H - x_i$ ； $v_n = v_H$ （图10）。

需确定 x_i 值：

对于第 n 个台阶： $x_n = 0$ ；

对于第 $(n-1)$ 个台阶： $x_{n-1} = B_{n-1} - B_{0(n-1)}$ ；

对于第 $(n-2)$ 个台阶： $x_{n-2} = [B_{n-1} + B_{n-2}] - [B_{0(n-1)} + B_{0(n-2)}]$ 。

对于第 i 个台阶的一般式为：

$$x_i = \sum_{n=1}^i B_n - \sum_{n=1}^i B_{0(n)}$$

如果不只是在平面上而需在整体上确定工程量时（图

11)，则需在露天矿的平面图上量出各工作平台的面积 S_i （见图11的阴影部位）和工作线长度 L_i ，之后再确定工作平台宽度的平均值：

$$B_i = \frac{S_i}{L_i}$$

举例：露天矿工作帮由 12 个台阶构成； $h = 15\text{m}$ ； $h_r = 12\text{m/a}$ ； $B_{0i} = 50\text{m}$ ； $\varphi_{max} = 14.6^\circ$ ； $\text{ctg}\varphi_{max} = 3.84$ ； $\beta = 36^\circ$ ； $\text{ctg}\beta = 1.38$ ，下部台阶的工作线长 $L_n = 1150\text{m}$ ； $Q = 960000\text{m}^3/\text{a}$ ，可求出：

$$v_H = 12 \times (3.84 + 1.38) = 63\text{m/a}$$

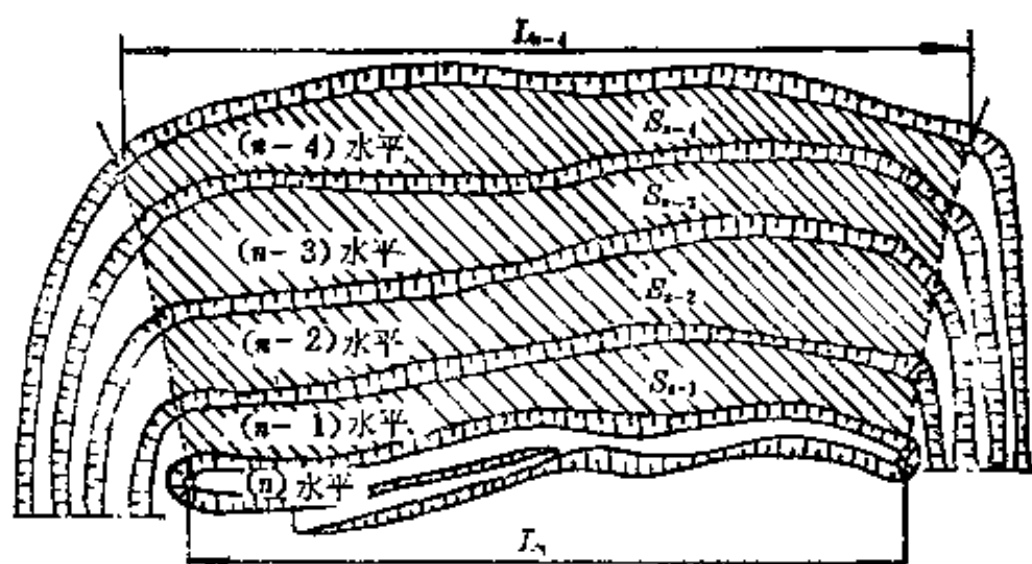


图11 露天矿工作帮的平面图

计算结果见表 2。为保证延深速度 12m/a 和年末保持最大工作帮坡角 14.6° 条件下，在 12 个工作台阶上至少需 9 台电铲，保证工作帮的平均水平推进速度 41.3m/a 。但在翌年，需平均推进速度达 63m/a 。在 12 个工作台阶上布置不少于 17 台电铲。此外，还需要用于新水平开拓和准备电铲。得出的结果可以较内行地作出露天矿开采过程中电铲需

要量和布置的最终决定。

在设计露天矿和编制进度计划过程中，将发生电铲布置及其要求的台数问题。

假定在露天矿设计过程中确定露天矿的生产能力为 $3.2\text{Mm}^3/\text{a}$ （或 $10\text{Mt}/\text{a}$ ），为达到此产量，沿边帮 AB （图 12）延深。按文献^[5]中阐述的方法得出第一期均衡生产剥采比 $n = 6.6\text{m}^3/\text{m}^3$ 。又设定：露天矿以标准的工作平台宽度 $B_n = 55\text{m}$ 进行生产，此时的工作台阶数为 10 个（当露天坑底在 C 点时）。

表 2 确定电铲的最小需要量

工作台阶	L_i	S_i	B_i	$\sum_{n=1}^i B_i$	$\sum_{n=1}^i B_{oi}$	x_i	v_i	N_E (当 v_i 为以下两个值时)	
	m	m ²	m	m	m	m	m/a	38.9	69
								m/a	m/a
1	1770	105492	59.6	632.2	550	82.2	-19.2	0	1.21
2	1705	104617	61.2	672.6	500	72.6	-9.6	0	1.42
3	1645	116315	70.1	611.3	450	61.3	1.70	0.01	1.62
4	1585	71800	43.9	441.2	100	41.2	21.80	0.54	1.56
5	1530	85166	42.6	395.9	35	43.9	17.19	0.41	1.51
6	1475	80003	51.3	333.7	300	33.7	29.30	0.68	1.45
7	1420	99968	70.4	279.4	250	29.4	33.60	0.78	1.40
8	1385	83265	61.0	209.0	200	9.0	54.00	1.11	1.34
9	1345	65090	49.0	148.0	150	-2.0	65.00	1.34	1.29
10	1260	60480	48.0	98.5	100	-1.5	64.50	1.27	1.24
11	1200	60600	59.5	60.5	50	0.5	62.50	1.17	1.18
12	1150	—	—	—	—	—	63.00	1.13	1.13
小计	17420	911786	54.1				41.3	8.48	16.36

在 $B_H = 55\text{m}$ ($\varphi = 13^\circ$, $\text{ctg}\varphi_H = 4.33$) 和延深角 $\beta = 42^\circ$ ($\text{ctg}\beta = 1.11$) 的条件下, 工作台阶水平推进的标准速度为 $v_H = 15 \times (4.33 + 1.11) = 81.6\text{m/a}$ 。

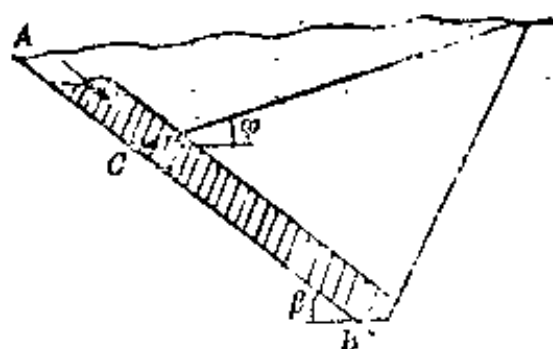


图12 金属露天矿延深示意图

若 3KΠ—8И 型电铲的剥离能力为 $960000\text{m}^3/\text{a}$,

则工作线的长度应为 $L_6 = \frac{Q}{v_H h} = \frac{960000}{81.6 \times 15} = 785\text{m}$ 。

众所周知, 露天矿的矿岩生产能力为:

$$\begin{aligned} A &= A_p(1 + n_1) \\ &= 3.2 \times (1 + 6.6) \\ &= 24.32\text{Mm}^3/\text{a} \end{aligned}$$

若 3KΠ—8И 型电铲的采矿能力为 $Q_\pi = 800000\text{m}^3/\text{a}$, 电铲的台数应为:

$$N_\pi = \frac{A_p}{Q_\pi} = \frac{3200000}{800000} = 4 \text{ 台}$$

剥离电铲的台数为:

$$N_B = \frac{n_1 A_p}{960000} = \frac{21120000}{960000} = 22 \text{ 台}$$

有趣和重要的是, 均衡生产剥采比的工作限制了剥离工作线长度。对于本例, 在单侧开采的条件下, 剥离工作线的长度为:

$$L_B = N_B L_6 = 22 \times 785 = 17270\text{m}$$

如果剥离工作线长度超过该值 L_B , 则导致工作台阶水

平推进速度的下降，进而不能保证必要的延深速度。

现在研究一下，露天矿以最多工作台阶（10个）推进时的延深方案。根据工作台阶的工作线长度计算要求的电铲数量，见表3。得出剥离工作线总长19430m。需剥离电铲25台。

表3 剥离电铲台数表 ($v_1 = 81.6\text{m/a}^*$)

工作台阶	第一方案		第二方案	
	L_i, m	N_i (当 $N_0 = 785\text{m}$ 时), 台	N_i , 台	L_i, m
1	2310	2.94	—	—
2	2230	2.84	3.13	2230
3	2140	2.73	2.73	2140
4	2050	2.61	2.61	2050
5	1970	2.51	2.51	1970
6	1890	2.41	2.41	1890
7	1810	2.31	2.31	1810
8	1730	2.20	2.20	1730
9	1650	2.10	2.10	1650
10	1570	2.00	2.00	1570
小计	19430	24.65	22.00	17040

* 第二方案的第2个台阶的 $v_1 = 89.8\text{m/a}$ 。

但是，确定和均衡生产剥采比时，表明利用22台电铲进行剥离是可行的。就是说，需要早投入这22台电铲，以便进行计算时，上部第一个工作台阶已经采完，这时才能保证必要的开采强度（表3，第二方案）。此时剥离工作线长17040m，即小于可能的长度17270m。在继续延深时（图12，C点以下），剥离工作线开始缩短。

引述的实例表明，在编制和实现矿山工程进度计划过程

中，必须严格遵守矿山工程延深速度和工作台阶推进速度相关定律及相邻工作台阶矿山工程协调发展定律。只有这样，露天矿才能正常生产。

第五章 矿山工程发展 过程的周期性

然而，她没有去哪儿，没有打消念头，

每次，她毫无办法，又重新回到了家里。

〔英〕刘易斯·凯洛尔（1832—1898）

我们生活在世界上，这个世界充满了周期性和波动过程。这些过程有：地球围绕太阳转（一年），地球自转（一昼夜），潮起潮落，地震，动植物的生命周期，机器、车间、工厂的工艺循环，矿井阶段和露天矿开采水平的开拓准备周期等等。周期性的存在，是发展科学知识和实践知识的财富。周期性是现象的重复。周期性提供了对现象的多次观测、归纳、预测的可能性。若某一过程不具有重复现象，研究它就十分困难，或者根本不可能。

现揭示露天矿工作带发展的若干周期性过程。

电铲采装或其他采装设备的采装是露天矿的主要生产过程。单斗机械铲或拉铲都是周期作业。电铲每一旋转周期向装载点装一斗岩石。若装入汽车，一般是经过相等的时间段向汽车卸载一次。循环周期的构成（图13）为：

$$t_0 \approx N_K t_{\Pi} + t_0$$

式中 N_K ——向汽车装载的斗数，次；

t_{Π} ——电铲周期时间；

t_0 ——汽车入换时间。

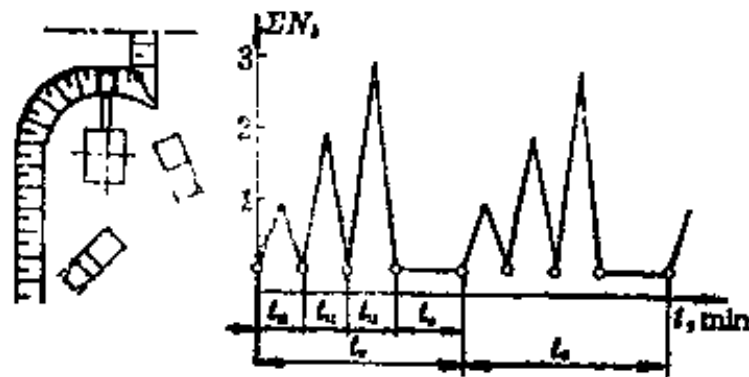


图13 汽车装载周期

在工作台阶上，电铲一般采掘一定长度的工作线，称为电铲采区。电铲采完一个采宽后，再采另一个。如观测工作帮的一个区段，则工作线以一个采宽周期性地作跳跃推进（图14），该周期为：

$$t_3 = \frac{L_6}{v_3} = \frac{L_6 h_a}{Q}$$

如果没有明确划分电铲采区，则

$$t_3] = \frac{L_y h_a}{N_y Q}$$

当然，每个周期的持续时间，都是波动的。但是，保持了周期的主要规律性。

开采厚度稳定的急倾斜矿体时，回采带的周期是：

$$t_{\Pi 3} = \frac{M}{v} = \frac{M h L_6}{Q}$$

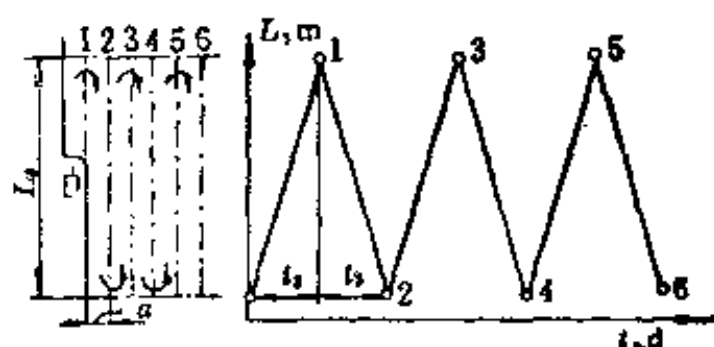


图14 电铲采掘带的循环周期

式中 M ——矿体的水平厚度，m。

回采台阶投入的周期为：

$$t_{\pi} = \frac{t_{\pi 3}}{K_{\pi 3}}$$

式中 $K_{\pi 3}$ ——同时采掘的回采台阶个数。

为恢复工作线，必须周期性地开拓和准备新水平，这个过程也是周期性的。新水平准备的时间可在分析 $L = f(T)$ 图[5、6、8]或式(12)的基础上确定。投入新工作台阶的周期时间为：

$$t_{\pi} = \frac{h}{h_r}$$

若给定了露天矿的生产能力，就是给出回采工程延深所需的速度 h_r ，则可按式(14)确定露天矿要求的延深速度和新水平开拓、准备的周期时间(图15)，即：

$$t_{\pi} = \frac{h(\operatorname{ctg} \varphi \pm \operatorname{ctg} \beta)}{h_r(\operatorname{ctg} \varphi \pm \operatorname{ctg} \delta)}$$

在露天矿的生产过程中，必须分析工程的周期，完善影

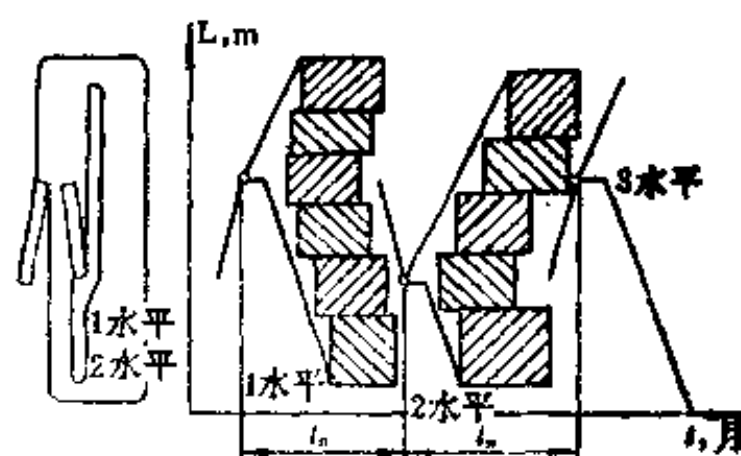


图15 新水平开拓、准备的循环周期

响周期的各种因素的相互影响，以保证取得更大效果和必要时达到较高的开采强度。

井工开采时，同样具有很多的周期过程，这些周期有：巷道的掘进周期，采区的准备和开切周期，阶段的准备周期，阶段的开拓周期等等。

主要参考文献

1. Энгельс ф. Диалектика природы. М., Политиздат, 1982.
2. Ленин В.И. Конспект книги Гегеля "Наука логики". - Полн. собр. соч., т.29.
3. Агошков М.И. Определение производительности рудника. М., Metallurgizdat, 1948.
4. Агошков М.И., Борисов С.С., Боярский В.А. Разработка рудных и россыпных месторождений. М., Госгортехиздат, 1962.
5. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров. М., Госгортехиздат, 1961.
6. Арсентьев А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей. Л., изд. ЛГИ, 1973.
7. Арсентьев А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей. М., Недра, 1981.
8. Арсентьев А.И. Некоторые законы горной науки, применяемые при проектировании вскрытия и систем разработки. - В кн.: Проектирование открытой и подводной разработки месторождений. Межвуз. сб. Л., изд. ЛГИ,

1982.

9. Арсентьев А.И. Принятие решений о параметрах карьера. Л., изд. ЛГИ, 1982.

10. Арсентьев А.И. Значение законов горной науки при развитии горных работ в карьере. - В кн.: Проектирование открытой разработки месторождений. Межвуз. сб. Л., изд. ЛГИ, 1984.

11. Арсентьев А.И., Падуков В.А. Беседы о горной науке. Л., Наука, 1981.

12. Барбот-де-Марши Е.Н. Разработка месторождений полезных ископаемых открытыми работами. М.-Л., Горгеонефтеиздат, 1934.

13. Бокий Б.И. Практический курс горного искусства. Петроград, Госиздат, 1922. Т.1. Основы горного искусства.

14. Городенкий П.И. Проектирование горнорудных предприятий. М., Metallургиздат, 1949.

15. Зурков П.Э. Разработка рудных месторождений открытым способом. М., Metallургиздат, 1953.

16. Карпович В.Н. Проблема, гипотеза, закон. Новосибирск, Наука, 1980.

17. Кузнецов И.А. Разработка рудных месторождений. М.-Л., Госгориздат, 1932. Т.1.

Вскрытие месторождений.

18. Кузнецов И.А. Основные расчеты при разработке рудных месторождений. М.-Л., Горгеолгиз, 1932. Часть 1, 2.

19. Ломоносов М.В. Первые основания горной науки. - Полн. собр. соч. М. -Л., Изд-во АН СССР, 1954. Т.5.

20. Мелешенко Ю.С. Техника и закономерности ее развития. Л., Лениздат, 1970.

21. Мельников Н.В. Горные инженеры выдающиеся деятели горной науки и техники. 3-е изд. М., Наука, 1981.

22. Менделеев Д.И. Основы химия. Спб, 1906.

23. Овощенко Б.К. Аршинов С.С. Временные нерабочие борты в карьерах. Л., Наука, 1977.

24. Определение главных параметров карьера/А.И.Арсентьев, О.В.Щляяский, Г.П.Константинов, В.Л.Бложе. М., Недра, 1976.

25. Правила технической эксплуатации для предприятий, разрабатывающих месторождения открытым способом. М., Недра, 1964.

26. Семевский В.Н. Основы проектирования рудников. М., Недра, 1968.

27. Узатис А.И. Курс горного искусства.
• 50 •

Спб, 1843.

28. Шешко Е.Ф. Основы проектирования угольных карьеров. М.-Л., Углетехиздат, 1950.

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名= 露天采矿定律

作者=

页数= 5 1

S S 号= 0

出版日期=

V s s 号= 5 5 9 3 7 0 0 8

封面	页
书名	页
版权	页
前言	页
目录	页
前言	
第一章	工作面移动定律
第二章	开拓、准备和回采工程强度相关定律
第三章	矿山工程延深速度和工作台阶推进速度相关定律
第四章	相邻工作台阶上矿山工程协调发展定律
第五章	矿山工程发展过程的周期性
参考文献	
附录	页