



露天开采工艺学

第8章 露天矿生产能力与采掘进度计划

主讲：胡建华 教授

露天矿生产能力与采掘进度计划

- 露天矿生产能力确定
- 露天矿采剥方法
- 露天矿采剥关系
- 露天矿采掘进度计划的编制

8.1 露天矿生产能力确定

- 露天矿生产目的是采出矿石，矿山的生产能力可以用每年采出的矿石量来表示，即矿石生产能力。
- 除采矿外还需要剥离相当数量的岩石，露天矿的矿石产量在生产剥采比一定的情况下，应有足够的矿岩采剥量来保证。
- 露天矿生产能力也可以用每年采剥总量来表示，即矿岩生产能力，露天矿山的人员和设备等都要按矿岩生产能

$$A = A_k(1 + n_s)$$

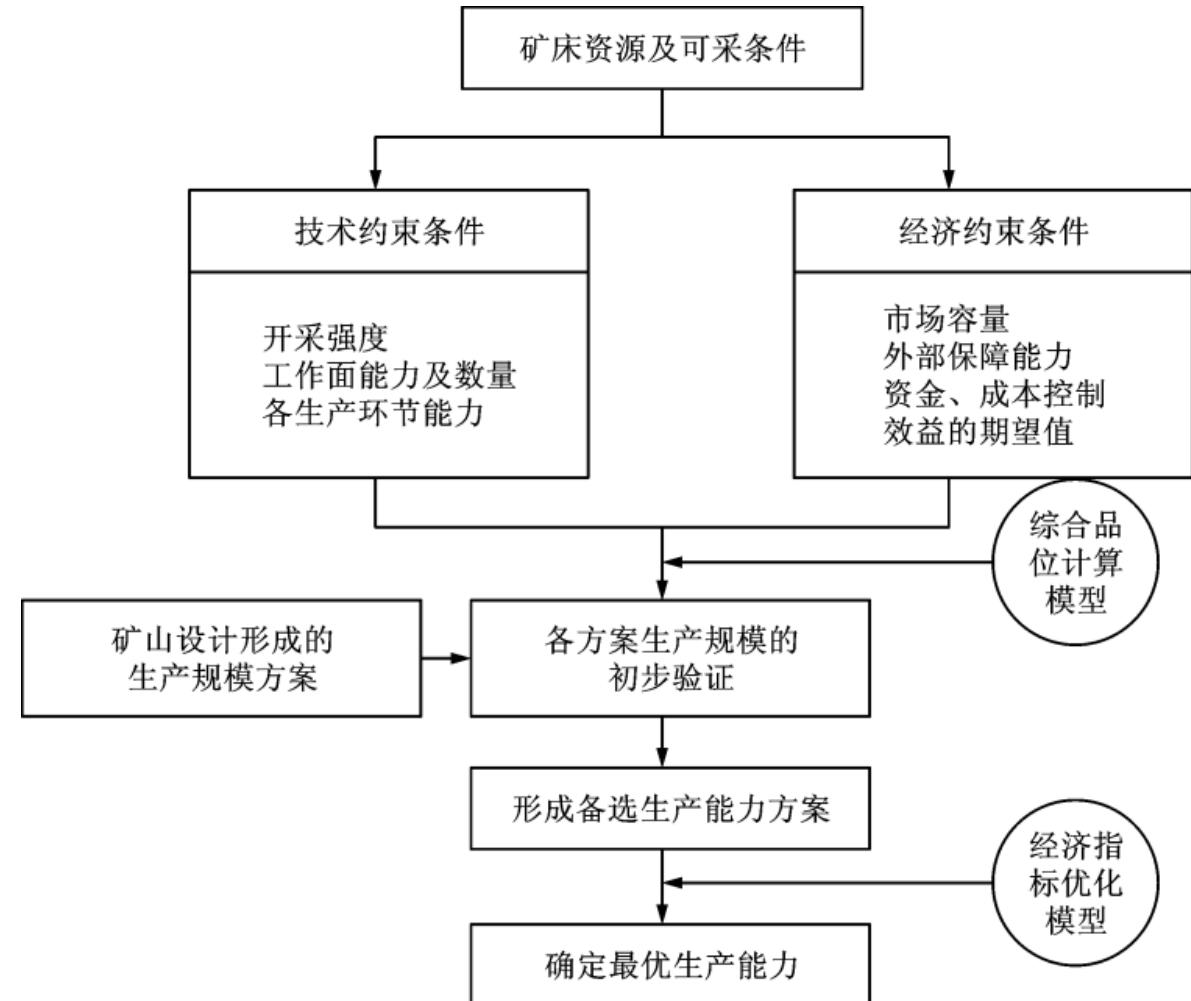
A ——矿岩生产能力，t/a；

A_k ——矿石生产能力，t/a；

n_s ——生产剥采比，t/t。

8.1 露天矿生产能力确定

- 矿山生产能力的确定是一个系统优化工程，涉及到矿区内部资源条件、矿区外部多种技术经济要素。
- 对于资源储量约束、生产技术约束和经济约束三个方面，只有在满足刚性约束的基础上，才能以效益最优化为目标，对露天矿山生产能力进行优化决策。



8.1 露天矿生产能力确定

- 8.1.1 按资源储量约束计算生产能力
- 目标：在市场供不应求条件下，矿山的生产能力越大获取的价值就越大。
- 约束：矿山储量有限，生产能力越大，相应的开采年限就越短。开采年限过短造成矿山设施是无法迁移的，设施报废折旧成本高。反之，生产能力过低，则提前占有勘探资金和储量价值，资金成本高。
➤ 不同的矿种和矿山规模规定最短的服务年限

$$A'_{max} = \frac{Q}{T_{min}K}$$

A'_{max} ——满足规定的最短服务年限的矿山最大规模，万 t/a；
 Q ——可采储量，万 t；
 T_{min} ——规定的最短服务年限，a；
 K ——储量备用系数，一般取 1.1~1.3。

8.1 露天矿生产能力确定

- 8.1.1 按资源储量约束计算生产能力

- 目标：在市场供不应求条件下，矿山的生产能力越大获取的价值就越大。
- 约束：矿山储量有限，生产能力越大，相应的开采年限就越短。开采年限过短造成矿山设施是无法迁移的，设施报废折旧成本高。反之，生产能力过低，则提前占有勘探资金和储量价值，资金成本高。
- 不同的矿种和矿山规模规定最短的服务年限

$$A'_{max} = \frac{Q}{T_{min}K}$$

A'_{max} ——满足规定的最短服务年限的矿山最大规模，万 t/a；
 Q ——可采储量，万 t；
 T_{min} ——规定的最短服务年限，a；
 K ——储量备用系数，一般取 1.1~1.3。

8.1 露天矿生产能力确定

- 8.1.1 按资源储量约束计算生产能力

- 矿山规模和服务年限表

有色金属矿山露天开采规模分类

矿山类型	一类矿山	二类矿山	三类矿山
铜、钼、镍矿 (万t/a)	>150	30-150	<30
铅锌矿 (万t/a)	>100	30-100	<30
脉锡矿 (万t/a)	>65	10-65	<10
铝矿	采矿量 (万t/a)	>50	20-50
	剥离量 (万t/a)	>200	50-200
砂矿 (万t/a)	>200	100-200	<100

有色金属矿山露天开采矿山合理服务年限 (a)

矿山类型	一类矿山	二类矿山	三类矿山
铜、钼、镍矿	>25	>20	>10
铅锌矿	>25	15-25	>12
脉锡矿	>20	15-20	>12
铝矿	>25	>20	
砂矿	>15	10-15	8-10

8.1 露天矿生产能力确定

● 8.1.1 按资源储量约束计算生产能力

➤ 据矿业公司的经验，矿山的寿命最少应为10年，最大限度地平衡周期性的价格波动风险

➤ H·K·泰勒公式计算

$$T = 0.2 \times \sqrt[4]{Q}$$

$$A = \frac{Q}{T}$$

T ——矿山合理服务年限, a;

A ——矿山生产能力, t/a;

Q ——开采境界内设计可采储量, t_0

国内外部分露天矿用泰勒公式计算矿山生产能力与设计的生产能力对照

矿山名称	境界内矿量	设计		泰勒公式计算	
	(万吨)	生产能力 (万吨/年)	服务年限 (a)	生产能力 (万吨/年)	服务年限 (a)
双峰铜矿 (美国)	44700	1370		1536	29
卡罗尔铁矿 (加拿大)	200000	4900		4728	42
赖特山铁矿 (加拿大)	180000	4450		4369	41
纽曼山铁矿 (澳大利亚)	140000	4000		3618	39
南部采选公司 (苏联)	144500	3050	45	3705	39
英古列茨采选公司 (苏联)	115200	3000	45	3130	37
萨尔拜依矿 (苏联)	58030	1800	38	1872	31
米哈依洛夫矿 (苏联)	23370	1000	26	946	25
大孤山铁矿 (中国)	18000	600	30	776	23
齐大山铁矿 (中国)	76000	3200	25	2340	32
大石河铁矿 (中国)	1043	100	12	92	11
南芬铁矿 (中国)	34000	1000	35	1250	27
白云鄂博铁矿东矿 (中国)	17200	600	30	750	23

8.1 露天矿生产能力确定

- 8.1.2 按技术约束验算生产能力

- 露天矿的生产能力，受矿山具体技术条件及技术水平所限，验算应符合下列规定：

- 应按同时工作的采矿台阶上可能布置的挖掘机台数和单台挖掘机生产能力验算；
 - 应按年下降速度进行验算；
 - 改建、扩建或大型露天矿山，应验算运输线路咽喉地段的通过能力。

- 采矿技术条件约束

- 按可能布置的挖掘机工作而数目验证生产能力
 - 按矿山工程延深速度验证生产能力
 - 按设备合理配比验证生产能力

8.1 露天矿生产能力确定

● 8.1.2 按技术约束验算生产能力

- 按可能布置的挖掘机工作面数目验证生产能力
 - 挖掘机是露天矿主要生产设备，每个采区工作线布置一个挖掘机工作面。挖掘机选型后，露天矿的生产能力取决于可能布置的挖掘机工作面数，其中可能布置的采矿工作面数决定了矿石生产能力。

第一步，确定一个采矿台阶可能布置的挖掘机台数

$$N_{wk} = \frac{L_T}{L_C}$$

N_{wk} ——一个采矿台阶可布置的挖掘机数，台，对于铁路运输要求 $n_{wk} \leq 3$ ；
 L_T ——台阶工作线长度，m；
 L_C ——采区长度，即一台挖掘机正常工作线长度，m。

n_k ——可能同时采矿的台阶数；
 N_0 为工作帮坡线水平投影，m；
 M ——矿体水平厚度，m；
 B ——工作平盘宽度，m；
 h ——台阶高度，m；
 α ——工作台阶坡面角，°；
 γ ——矿体倾角，°；
 ψ ——工作帮坡角，°；±按推进方向取加或减，+用于由下盘向上盘推进，-用于由上盘向下盘推进。

第二步，计算可同时采矿的台阶数（较厚倾斜矿体为例）

$$M = N_0 \pm N_0 \tan \varphi \cot \gamma$$
$$n_k = N_0 / (B + h \cot \alpha) = M / [(1 \pm N_0 \tan \varphi \cot \gamma)(B + h \cot \alpha)]$$

8.1 露天矿生产能力确定

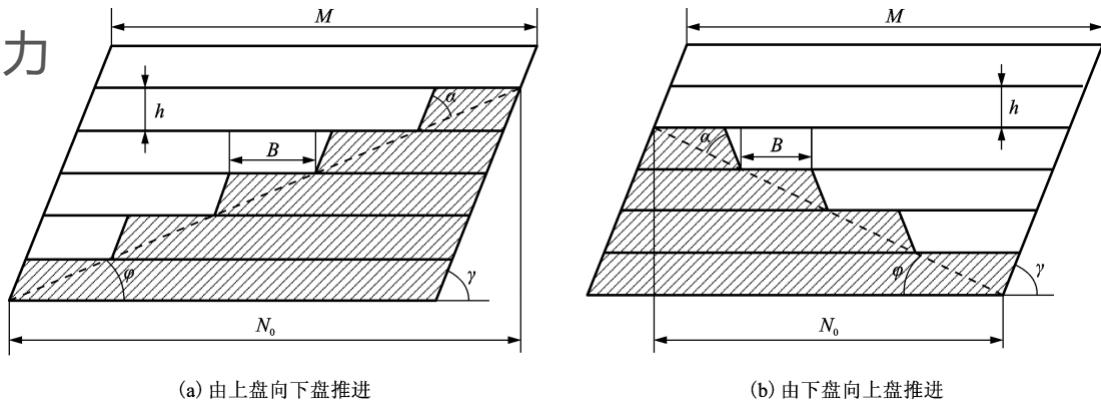
● 8.1.2 按技术约束验算生产能力

- 按可能布置的挖掘机工作而数目验证生产能力

第三步，计算整个露天矿可能的生产能力

$$A_K = N_{wk} n_K Q_{wk}$$

Q_{wk} ——采矿挖掘机平均生产能力，t/a，如表



(a) 由上盘向下盘推进

(b) 由下盘向上盘推进

运输方式	岩石类别		
	坚硬岩石	中硬岩石	表土或不需要破碎的岩石
汽车运输	15~18	18~21	21~24
铁路运输	12~15	15~18	18~21

8.1 露天矿生产能力确定

- 8.1.2 按技术约束验算生产能力
 - 按矿山工程延深速度验证生产能力
 - 露天矿在生产过程工作线不断往前推进，开采水平不断下降，直到最终境界，即矿山工程沿水平和向下两个方向发展。工作线水平推进速度和矿山工程延深速度两个指标来表示开采强度，开采强度越高，采出的矿石也越多。
 - 对于水平和近水平矿体，除了基建时间以外，一般不存在延深的问题，则露天矿生产能力主要取决于工作线水平推进速度。
 - 对倾斜和急倾斜矿体，延深速度快意味着采矿量大，这时工作线水平推进速度与矿山工程延深速度之间要满足一定的关系。

8.1 露天矿生产能力确定

● 8.1.2 按技术约束验算生产能力

- 按矿山工程延深速度验证生产能力
- 工作线水平推进速度与矿山工程延深速度之间关系

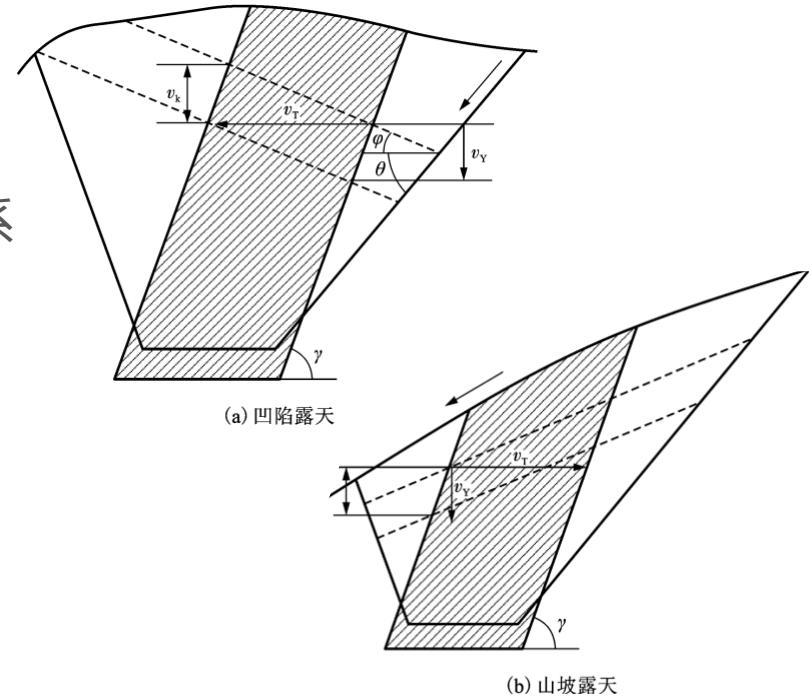
$$v_T = v_Y (\cot\theta + \cot\varphi)$$

v_T ——为工作线水平推进速度, m/a;

v_Y ——矿山工程延深速度, m/a;

φ ——工作帮坡角°;

θ ——延深角, 即延深方向和工作线水平推进方向的夹角°。



在 φ 、 θ 一定情况下, 欲加快延深速度, 必须相应地加快水平推进速度, 否则将影响延深, 出现采剥失调。

水平推进对山坡露天矿 ($\theta > 90^\circ$) 的延深制约较小, 对凹陷露天矿 ($\theta < 90^\circ$) 的制约较大。

8.1 露天矿生产能力确定

- 8.1.2 按技术约束验算生产能力
 - 按矿山工程延深速度验证生产能力
 - 延深速度：矿山工程延深速度和采矿工程延深速度
 - 矿山工程一般包括剥离工程、采矿工程和新水平准备，其中新水平准备是由掘沟工程和为保证下水平掘沟所需的扩帮工程组成。
 - 矿山工程延深速度是根据新水平的准备时间所完成延深的台阶高度折合每年下降的进尺(m/a)来计算 $v_Y = 12h/T_0$ h ——新水平台阶高度，m；
 T_0 ——新水平准备时间，月
 - 采矿工程延深速度是指露天矿境界内被开采矿体的水平面每年垂直下降的米数(m/a)

$$v_k = v_Y \frac{\cot\varphi + \cot\theta}{\cot\varphi + \cot\gamma} \quad v_k \text{——采矿工程延深速度, m/a。}$$

8.1 露天矿生产能力确定

● 8.1.2 按技术约束验算生产能力

- 按矿山工程延深速度验证生产能力
 - 露天矿按延深速度可能达到的生产能力

$$A_K = \frac{v_Y}{h} P \eta (1 + \rho)$$

P ——所选用的有代表性的水平分层矿量, t;

η ——矿石回收率, %;

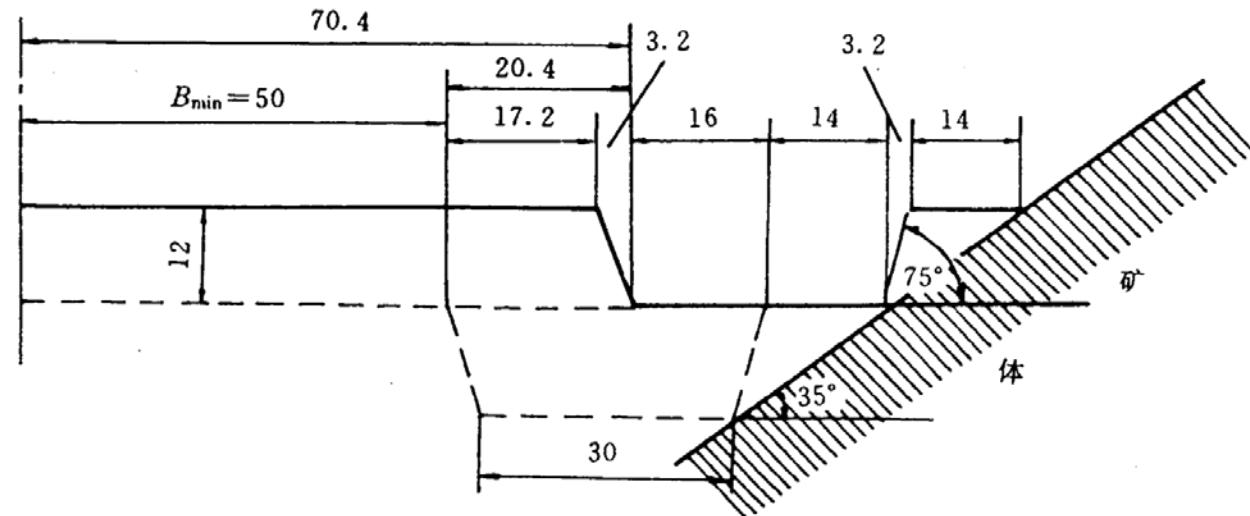
ρ ——废石混入率, %。

运输方式	类别	年下降速度m
汽车运输	山坡露天矿	24~36
	凹陷露天矿	18~30
铁路运输	山坡露天矿	12~15
	凹陷露天矿	8~12

- 按年下降速度验证露天采场生产能力时, 年下降速度宜符合上表规定。采用陡帮开采、分期开采或投产初期台阶矿量少下降速度快的矿山, 可按新水平准备时间确定下降速度。

8.1 露天矿生产能力确定

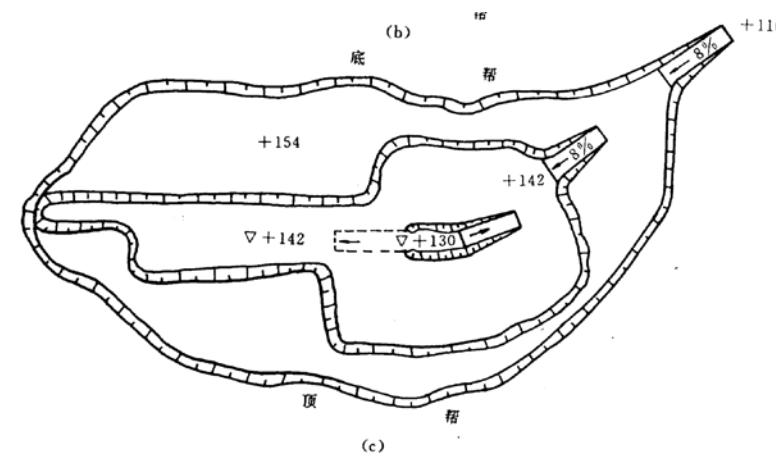
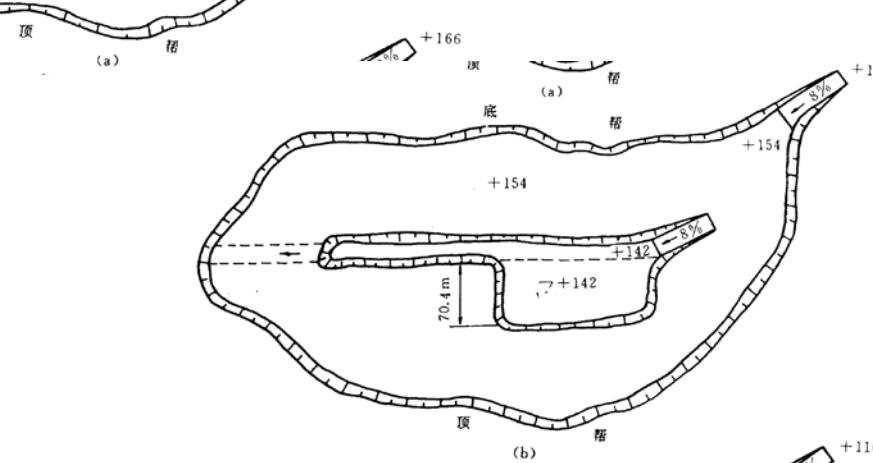
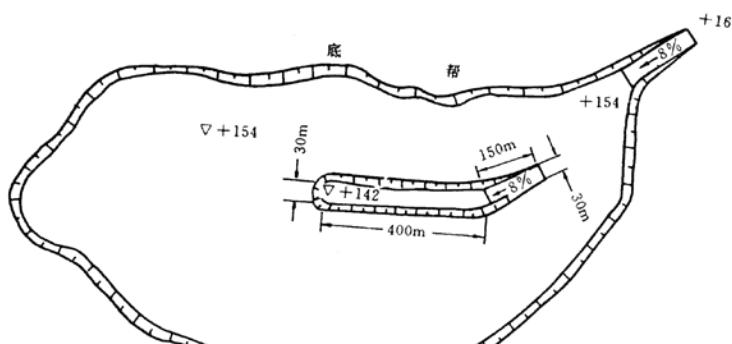
- 新水平准备时间
- 某矿设计采用载重 68t的汽车运输，7.6m³挖掘机采装，挖掘机效率为 120 ~ 130万 m³/台年。沿矿体上盘掘开段沟，向顶、底帮推进，移动坑线推至底帮成固定坑线，出入沟纵坡为8% ~ 10%，台阶高度12m，沟底宽度30m，最小工作平盘宽度50m。新水平准备工程当开段沟掘进400m后，边掘开段沟，边向顶帮扩帮。当扩帮宽度达71m后，又开始下一水平的掘沟工作。工程布置情况和各项工程的进度如下。



8.1 露天矿生产能力确定

- 新水平准备时间

编制新水平准备的计划



8.1 露天矿生产能力确定

- 新水平准备时间

编制新水平准备的计划

- ◆ 从表可以看出，新水平准备工程完成一个循环所需时间为7.6个月，台阶高度是12m，因此矿山工程延深速度为19m/a。
- ◆ 对于采用大型采掘设备的现代露天矿，技术上可能达到的生产能力主要取决于矿山工程延深速度。
- ◆ 因此，目前设计中通常依据计算的分层矿量和选定的矿山工程延深速度估算可能达到的生产能力。



8.1 露天矿生产能力确定

- 8.1.2 按技术约束验算生产能力
 - 按设备合理配比验证生产能力：露天矿的生产能力不但要从技术上的可能性与经济上的合理性加以论证，而且还要有相应的工艺装备为保证。以露天矿的工艺联系，即设备选型配套、设备配比、生产组织、工艺参数选择等问题，都与生产能力有关。
 - 首先，工艺联系要研究确定生产工艺设备的最优先型配套问题
 - 其次，工艺联系要研究各生产环节间设备数量的比例，借以提高露天矿的生产能力、提高设备利用率以及降低成本。 $A_{CB} = A_W = A_Y = A_{PX} = A$
整个露天矿的生产能力受其中最薄弱环节的限制
 - 最后，生产活动中合理的生产组织与调度。

8.1 露天矿生产能力确定

● 8.1.3 按经济约束计算生产能力

➤ 市场规模

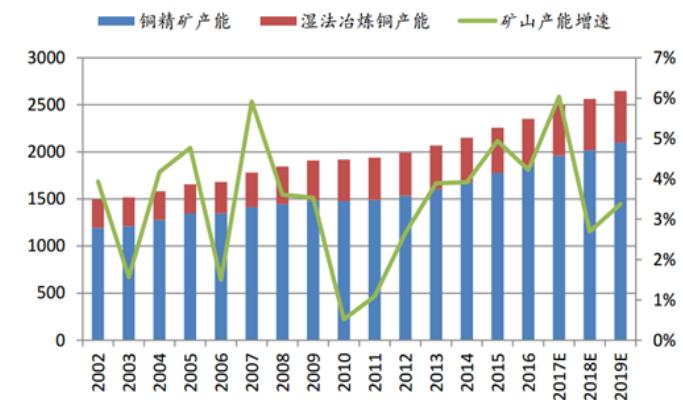
- 市场需求量是影响矿山生产规模的最关键因素，在确定规模之前，必须对市场供求关系进行详细调查和预测，弄清矿石产品市场和份额、了解质量要求等等。

➤ 投资规模

- 矿山规模往往受到资金条件的制约，必须计算矿山偿还本息的能力。

➤ 边际效益

- 矿山的生产成本可分为固定成本和可变成本，前者在一定范围内与产量无关，后者与产量成比例关系，矿山的边际效益应该盈利或至少不亏损



8.2 露天矿采剥方法

- 概述

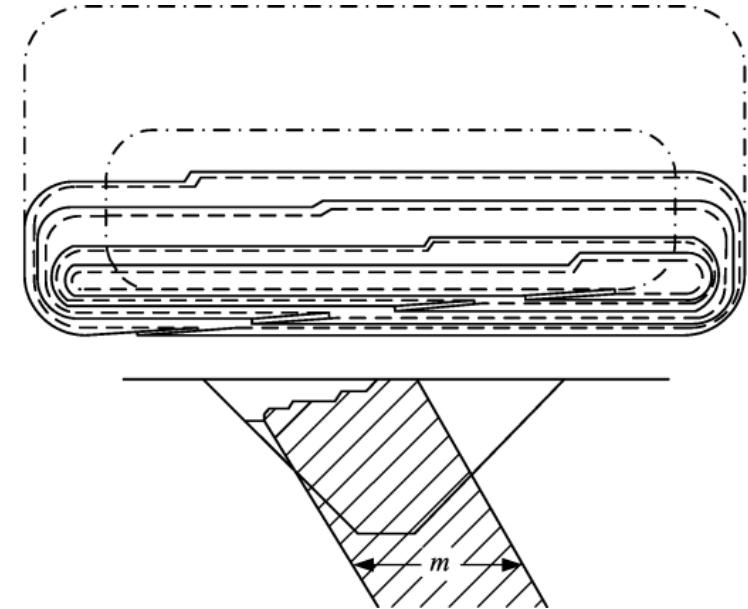
- 露天矿采剥方法：研究露天开采中的采准(即掘沟工程)、剥离和采矿工序的开采程序及其之间的时空关系。
- 露天矿采剥方法
- 按工作线的布置形式分为
 - ①工作线纵向布置的采剥方法；
 - ②工作线横向布置的采剥方法；
 - ③工作线扇形布置的采剥方法；
 - ④工作线环形布置的采剥方法。
- 按工作台阶开采方式分为
 - ①台阶全面开采方法，主要指缓帮开采；
 - ②台阶轮流开采方法，主要指陡帮开采。

8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.1 露天矿采剥方法

- 工作线纵向布置的采剥方法

- 纵向采剥时，工作线沿矿体走向布置，垂直矿体走向移动。
 - 开段沟沿矿体走向布置，位置：顶帮，底帮；多采用底帮固定坑线。
 - 应用：铁路运输矿山、长宽接近矿山
 - 优缺点：（1）平行推进，纵向开采工作线采掘带宽度不变，设备效率高，同时工作台阶数少；（2）上盘布开段沟并垂直矿体走向推进，有利于减少矿石损失、贫化和剔除走向夹石。（3）矿岩的内部运距(与横向比)较大；工作线从下盘向上盘推进时，矿岩分采比较困难，贫损较大；基建剥岩量较大。

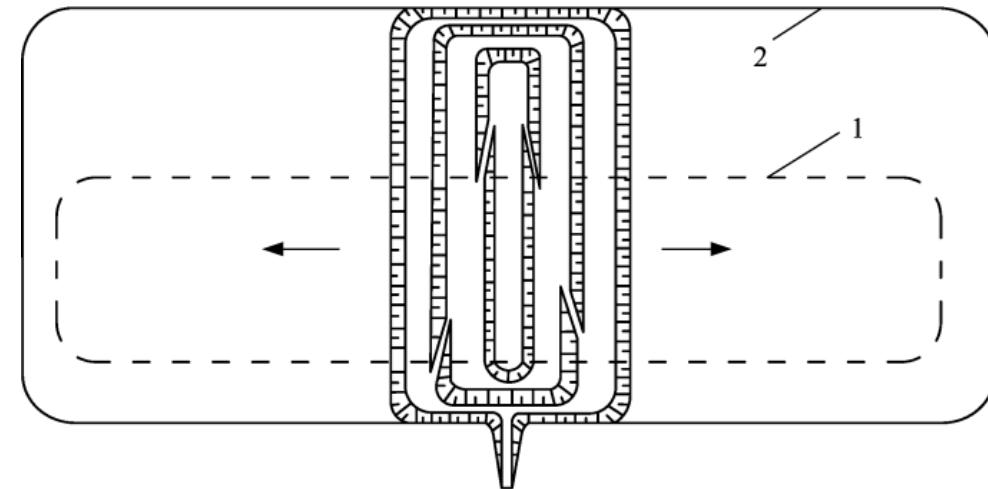


8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.1 露天矿采剥方法

- 工作线横向布置的采剥方法

- 横向采剥时，工作线垂直矿体走向布置，沿矿体走向移动。
 - 开段沟垂直矿体走向布置，位置：端部，中部
 - 应用：汽车运输矿山、长宽比大矿山
 - 优缺点：减少露天矿的基建工程量，减少采场内部运距和掘沟工程量等。 采矿作业台阶多，采掘设备上下调动频繁，影响其生产能力；生产组织和管理比较复杂，采剥容易失调。

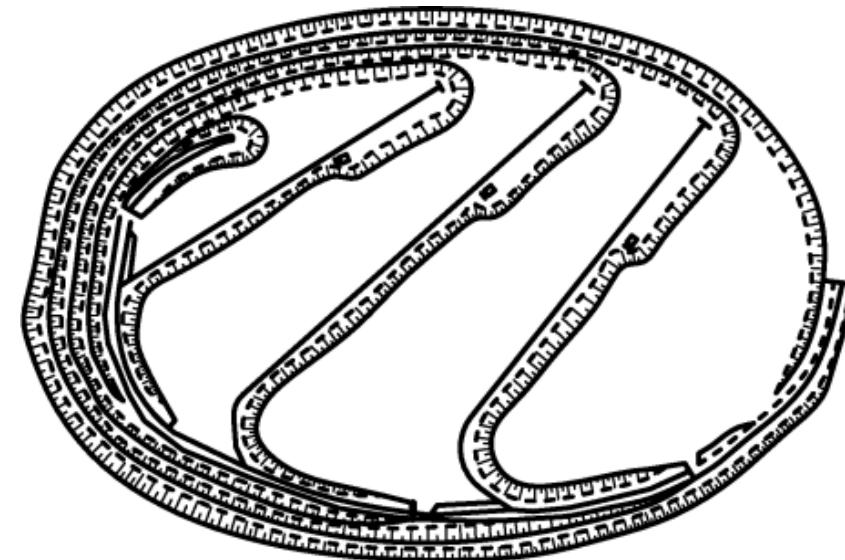
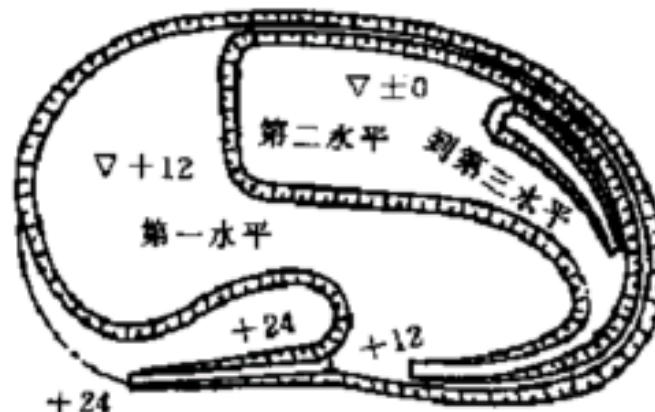


8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.1 露天矿采剥方法

- 工作线扇形布置的采剥方法

- 围绕某点的工作线上的推进速度不一致
 - 应用：矿体特殊的矿山、大型矿体、对损失贫化无要求矿山
 - 特点：
 - 设备效率低；
 - 损失贫化大。

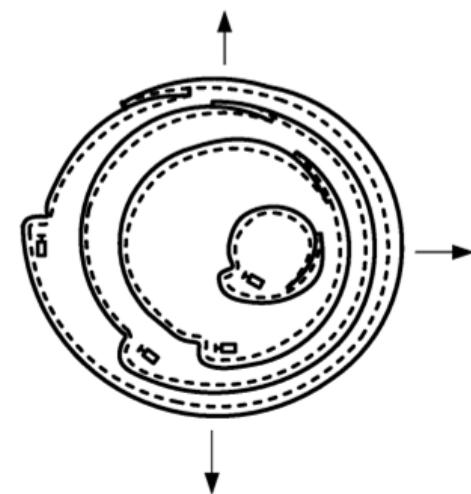


8.2 露天矿采剥方法

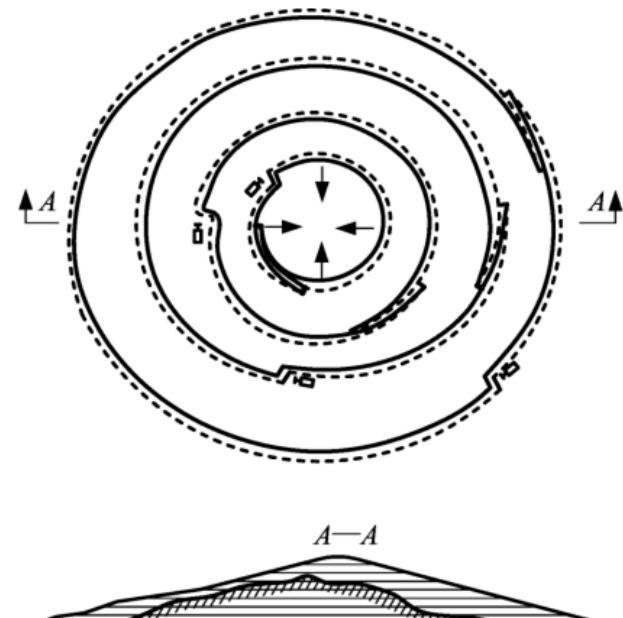
● 8.2.1 露天矿采剥方法

➤ 工作线环形布置的采剥方法

- 环形采剥时，采场的工作线向四周发展。
- 凹陷露天矿，工作线自里向外扩展 ←
- 孤立山峰型露天矿时，工作线自外向里扩展
- 特点：
 - 基建工程量小，使用比较灵活



(a) 工作线自里向外扩展



(b) 工作线自外向里扩展

8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.2 露天矿陡帮开采

➤ 陡帮开采：在工作帮上部分台阶作业，部分台阶暂不作业，使工作帮坡角加陡，以推迟部分岩石剥离。

- 露天矿根据工作帮坡角的大小，分为缓帮 ($\varphi = 8^\circ \sim 15^\circ$) 和陡帮 ($\varphi = 16^\circ \sim 35^\circ$)。

➤ 陡帮开采作业方式

- 工作帮台阶依次轮流开采；
- 工作帮台阶分组轮流开采；
- 台阶(挖掘机)尾随开采；
- 并段爆破，分段采装作业。



8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.2 露天矿陡帮开采

- 陡帮开采作业方式

- 工作帮台阶依次轮流开采

- 方式：自上而下轮流循环开采

- 特点：仅有1台阶作业；能最大限度加大工作帮坡角；工作帮坡角： $\geq 25^\circ \sim 35^\circ$

- 条件：

$$Q \geq \frac{B_s H_T L'}{T'} = \frac{B_s N h L'}{T'}$$

Q ——一台或一组(两台)挖掘机生产能力, m^3/a ;

B_s ——剥岩条带宽度(或称爆破进尺), m ;

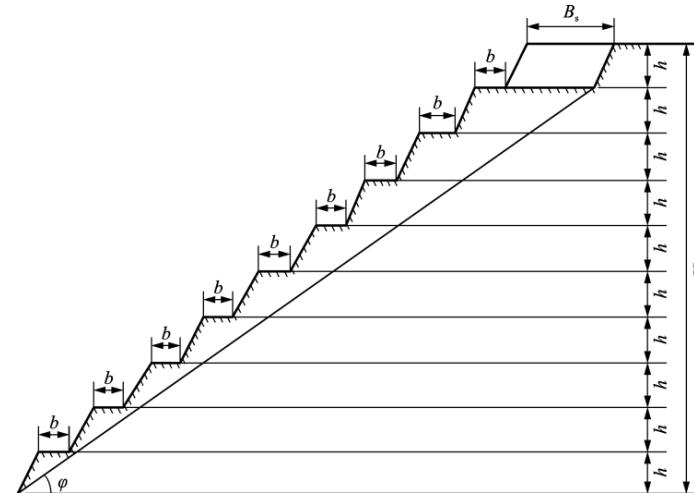
H_T ——剥岩帮高度, m ;

L' ——露天矿的走向长度或剥岩区的长度, m ;

T' ——剥岩周期, a ;

N ——剥岩帮上的台阶数目, 个;

h ——台阶高度, m 。

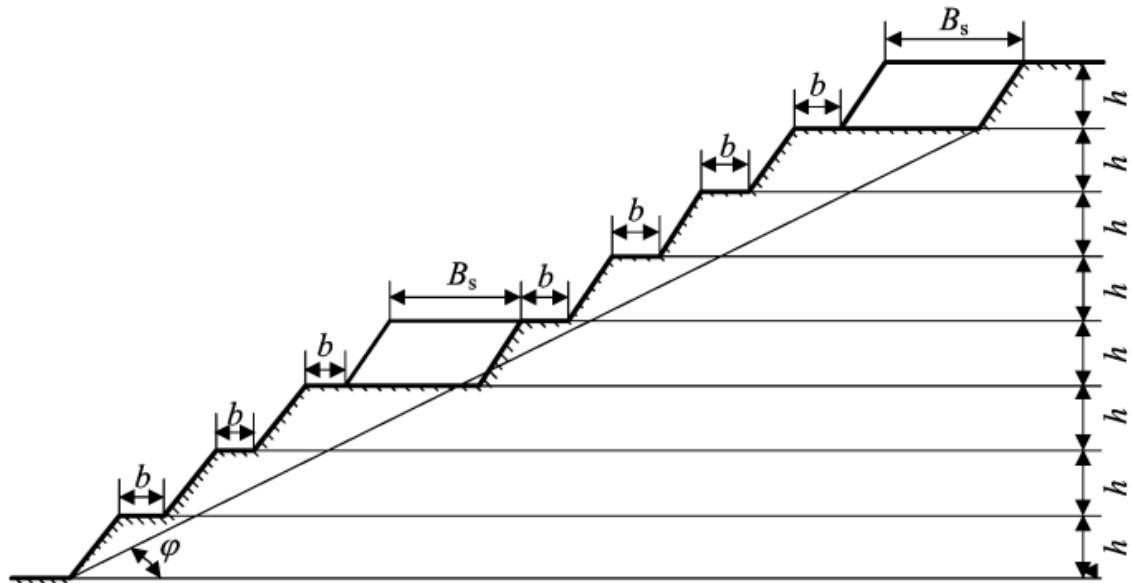


8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.2 露天矿陡帮开采

- 陡帮开采作业方式

- 工作帮台阶分组轮流开采
 - 方式：2~5个台阶组成1个分组，由一台挖掘机自上而下轮流循环开采
 - 特点：台阶组=作业台阶 + 停业台阶，所留平台宽度小(并段)，掘机要保持一定水平距离：60m左右



8.2 露天矿采剥方法

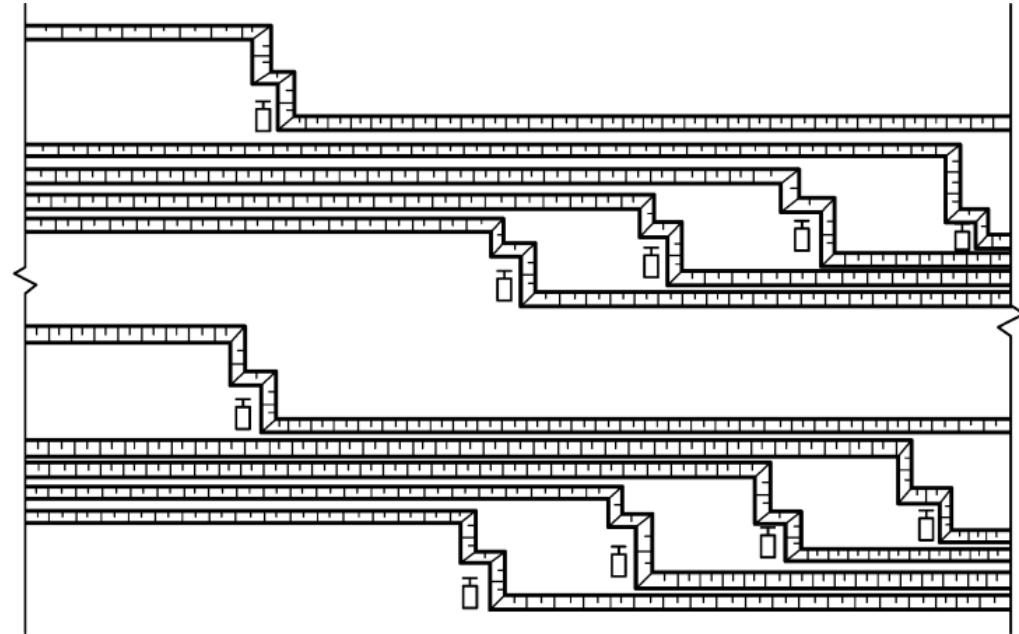
- 8.2.2 露天矿陡帮开采

- 陡帮开采作业方式

- 台阶(挖掘机)尾随开采

- 方式：一台挖掘机尾随另一台挖掘机向前推进。向前尾随的挖掘机构成一组，组内有若干台挖掘机同时作业。如果一组挖掘机的生产能力尚不能满足露天矿剥岩生产能力的要求，则可以布置第二组、第三组

- 优缺点：规模小的运输设备可以实现加陡工作帮坡角，经济效益明显；每个台阶都布置一台挖掘机，互相干扰，降低挖掘机的生产能力。

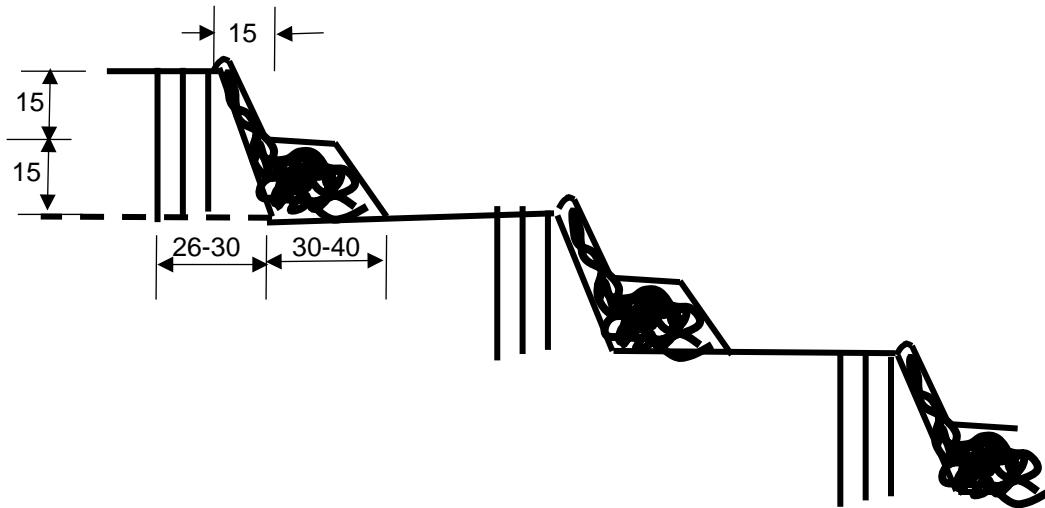


8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.2 露天矿陡帮开采

- 陡帮开采作业方式

- 并段爆破、分段采装作业
 - 实质是将工作台阶并段进行穿孔爆破，然后在爆堆上分段进行采装，靠减少爆堆占有的宽度来加陡工作帮坡角。



8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.2 露天矿陡帮开采

- 陡帮开采结构参数

- 工作帮及工作帮坡角

- 作业台阶：剥岩帮上有作业台阶和暂不作业的台阶，暂不作业台阶恢复推进时，从该台阶划出一个岩石条带为新作业台阶。

- 作业台阶平盘宽度=剥岩带宽度 B_s +暂不作业平台宽度 b

- 工作帮内同时作业台阶数与挖掘机生产能力、工作帮高度以及采区长度等因素有关

$$N_z = \frac{v_p H_t L}{Q}$$

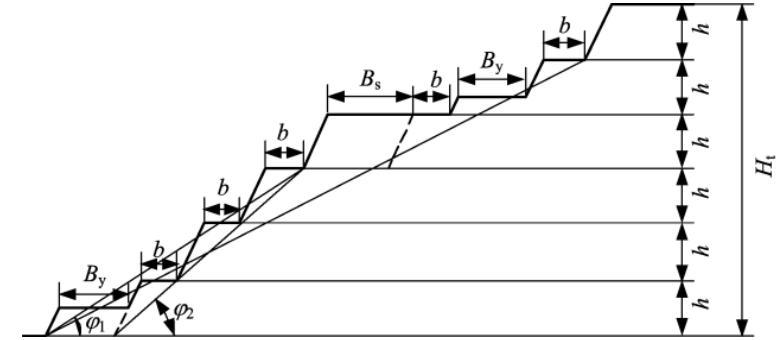
N_z ——同时作业的台阶数目，个；

v_p ——剥岩工作线的水平推进速度，m/a；

H_t ——剥岩帮高度，m；

L ——采区长度，m；

Q ——挖掘机的生产能力，m/a。



$Nz=1$ 时，即为台阶依次轮流开采方式；

$Nz=2\sim5$ 时，即为台阶分组开采方式；

$Nz=N$ (剥岩帮上的台阶数目)时，即为台阶尾随开采方式。

8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.2 露天矿陡帮开采

- 陡帮开采结构参数

- 工作帮及工作帮坡角

- 运输道路：指运输干线，其宽度和数量影响工作帮坡角，运输道路的数量与开拓运输系统有关，宽度可按《采矿设计手册》。

- 路间边坡：几个暂不作业台阶就构成路间边坡。路间边坡台阶宽度：

$$0 \leq b \leq B_{\min}$$

$b = B_{\min}$ 时，台阶全面开采法，即缓帮开采；

$b = 0$ 时，台阶并段开采，工作帮坡角最陡。

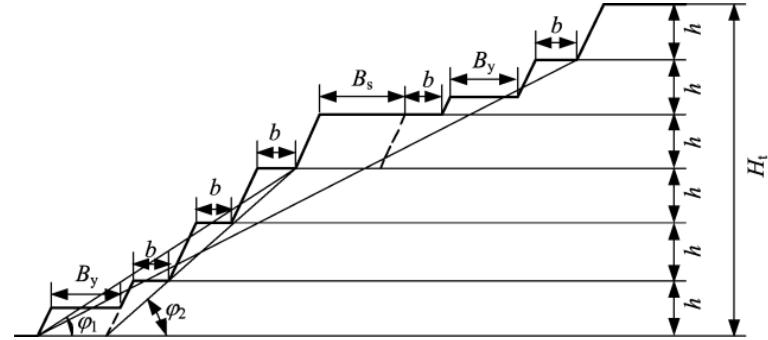
- 工作帮坡角：

合适值： $b = 10 \sim 15 \text{ m}$ 为宜。

剥岩总坡角=作业台阶+运输道路+路间边坡

剥岩帮坡角=运输道路+路间边坡

路间边坡角=路间边坡



8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.2 露天矿陡帮开采
 - 陡帮开采结构参数
 - 剥岩条带宽度
 - 剥岩条带宽度 B_s 值是陡帮开采中非常重要的参数之一。
 - B_s 值越小：推迟剥岩量越多，生产剥采比越小，经济效益就越优。但采掘设备调动的次数增加，道路移动频繁。
 - B_s 值越大：剥岩周期越大，备采矿量越多，推迟剥岩量越小，坑底采矿区的尺寸也将增大，经济上也不合理

8.2 露天矿采剥方法

● 8.2.2 露天矿陡帮开采

➤ 陡帮开采结构参数

- 剥岩条带宽度

- 剥岩条带的最小宽度_{B_{smin}}

$$B_{smin} = B_{min} - b$$

$$B_{smin} = T' v_{p(i)} = T' v_{K(i)} [\cot\varphi_{c(i)} \pm \cot\delta]$$

B_{smin} ——本期(第*i*期)的推进量, m;

$v_{p(i)}$ ——第*i*期工作线水平推行速度, m/a;

$v_{K(i)}$ ——第*i*期的采矿工程下降速度, m/a;

$\varphi_{c(i)}$ ——第*i*期的工作帮坡角, (°);

δ ——采矿工程延深角, (°)。

- 增加剥岩条带宽度 B_s 值以满足要求, 而又不增加剥岩周期, 最好的办法是露天矿实施分区开采, 增加每个区的采剥条带宽度, 而使总的剥岩周期不变。

国内外部分露天矿设计和生产的剥岩带宽度

矿山名称	剥岩带宽度 (m)	备注
南芬铁矿 齐大山铁矿	60 60 ~ 80	可行性研究 上盘80m, 下盘60m, 可行性研究
德兴铜矿	50	概念设计
司家营铁矿	44	最小值, 可行性研究
西雅里塔铜钼矿(美)	150	
双峰铜矿(美)	40 ~ 150	
巴格达德铜矿(美)	100	
卡西厄石棉矿(加)	91.4	
博尔铜矿(南)	50	
马伊丹佩克铜矿(南)	50	

8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.2 露天矿陡帮开采
 - 陡帮开采结构参数
 - 采区长度
 - 露天陡帮开采一般分区分条带剥岩，条带宽度即为剥岩带宽度 B_s
 - 剥岩帮高度、条带宽度和挖掘机规格一定条件下，采区长度与剥岩周期、备采矿量和坑底采区尺寸正相关，因而采取越长就会降低陡帮开采的经济效益。但采区长度L值越小，剥岩周期越短，设备上下调动频繁，道路工程量大，也会降低陡帮开采的经济效益。
 - 采区的合理长度与挖掘机的规格及工作线的推进速度有关。弓长岭铁矿采用斗容 $4m^3$ 的挖掘机，采区长度为 $350\sim400m$ 。若采用斗容 $10m^3$ 以上挖掘机，采区长度可达 $500\sim1000m$ 。

8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.2 露天矿陡帮开采

- 陡帮开采结构参数

- 采场坑底参数

- 陡帮开采时备采矿量的准备具有周期性，岩石条带的剥离就在坑底增加一定的备采矿量，同时剥岩期间又采出一定的矿量。
 - 为了保证露天矿能持续地进行生产，备采矿量的保有期应等于或略大于剥岩周期

$$t_B = T' \quad \begin{array}{l} t_B \text{——备采矿量保有期, a;} \\ T' \text{——剥岩周期, a。} \end{array}$$

- 确定露天矿坑底尺寸基本原则：实质就是确定出能满足要求的坑底宽度ab值

$$B_1 = \frac{2T'v_K}{\tan\varphi_1} + \frac{L'\tan\varphi'}{2\tan\varphi_1} + \frac{M}{2} + \frac{b_{\min}^2}{2M}$$

8.2 露天矿采剥方法

● 8.2.2 露天矿陡帮开采

➤ 陡帮开采结构参数

- 采场坑底参数

- 确定露天矿坑底尺寸基本原则

$$B_1 = \frac{2T'v_K}{\tan\varphi_1} + \frac{L'\tan\varphi'}{2\tan\varphi_1} + \frac{M}{2} + \frac{b_{\min}^2}{2M} \quad L' \text{——露天矿的走向长度, m;}$$

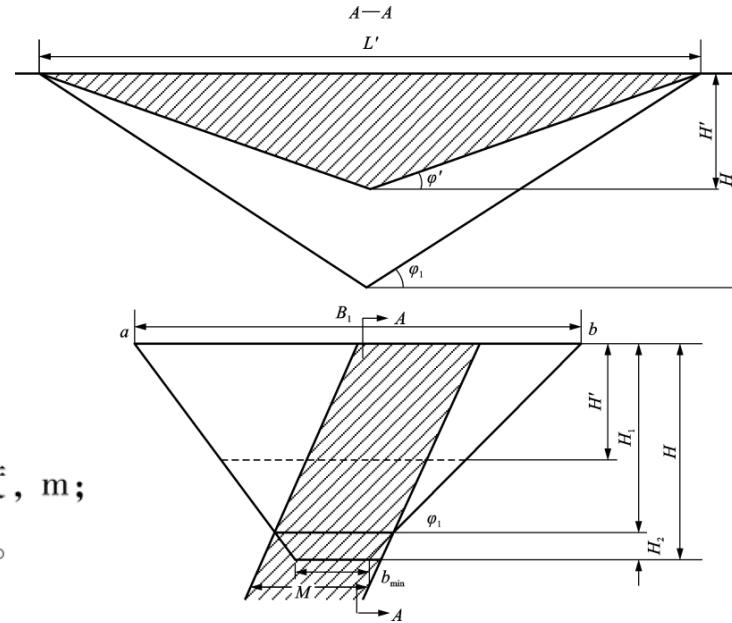
M ——矿体水平厚度, m。

- 坑底采矿区的高度

$$H = \frac{B_1 - b_{\min}}{2} - \tan\varphi_1$$

- 坑底采矿区同时工作的挖掘机数目 N'_z

$$N'_z = \frac{S_p}{S'_p} K_1 K_2 K_3 \quad \text{or} \quad S'_p = \frac{S_p}{N'_z} K_v$$



S_p ——坑底采矿区的水平投影面积, m^2 ;

S'_p ——每台挖掘机应有的作业面积, m^2 ;

K_1 ——考虑到台阶坡面投影面积的系数, 一般取 0.85~0.93;

K_2 ——考虑到备用作业面积的系数, 一般取 0.75~0.8;

K_3 ——作业面积的利用系数, 一般取 0.7~0.9。

: $K_v = K_1 K_2 K_3$

其中 $N'_z = \frac{A}{Q}$, A 为露天矿矿石生产能力, t/a ; Q 为挖掘机生产能力, t/a 。

8.2 露天矿采剥方法

- 8.2.2 露天矿陡帮开采

- 陡帮开采优缺点

- ①基建量和投资少，投达产快
 - ②延缓剥离，减小开采期间生产剥采比，利于均衡
 - ③减少最终边坡的暴露时间和维护费用
 - ④设备调动频繁，影响生产能力
 - ⑤运输线路工程量大，修筑、维护费用高
 - ⑥辅助工作量大，管理复杂，上下台阶之间要协调配合

- 应用：①倾斜-急倾斜矿体；②覆盖岩层厚的矿体；③矿体形状上小下大

8.3 露天矿采剥关系

- 概述

- 露天矿为了保持一定的生产能力，经济、持续地开采境界内的矿石，就要合理地推进矿山工程。通常，露天矿每个水平分层按先掘出入沟和开段沟再扩帮的程序进行开采。
- 上下台阶的时空超前关系，反映了剥离与采矿的时空超前关系。
 - 在开采时间和空间上，上部水平的矿山工程进展先于和超前下部水平；
 - 在工程形式和内容上，上一水平扩帮为下一水平掘沟提供条件，上部台阶一般是剥离台阶，而下部台阶一般是采矿台阶。
- 露天矿除基建时期大量剥离而不采矿或附带采出少量矿石外，正常生产时期存在边剥离边采矿，剥离工作必须超前采矿工作的客观规律，反映采剥关系的数量指标是生产剥采比和储备矿量。
- 露天矿生产建设基本指导方针“采剥并举，剥离先行”

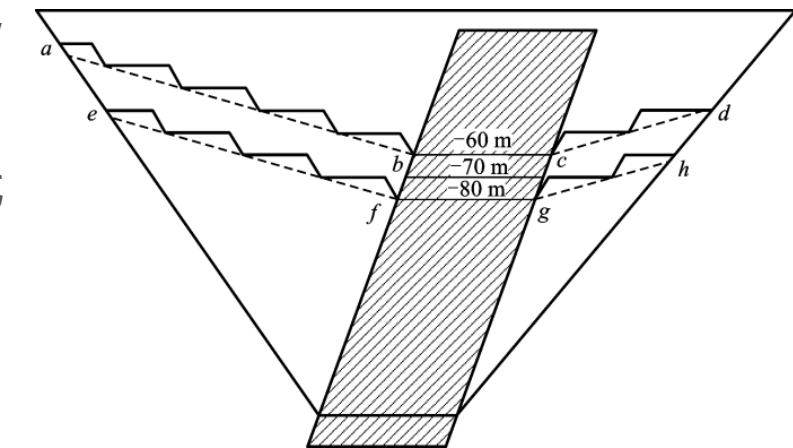
8.3 露天矿采剥关系

- 8.3.1 生产剥采比的变化规律

- 生产剥采比计算

- 若某年初露天矿底部在-60m水平，年末延深到-80m水平，工作帮由年初推进到年末的状况在横剖面图上为相应的两组折线，用代表工作帮坡面的两组直线ab、cd和ef、gh代替这两组折线，计算其间的剥离量、采矿量和生产剥采比。

$$n_s = (S_{abfe} + S_{achg}) / S_{bcgf}$$

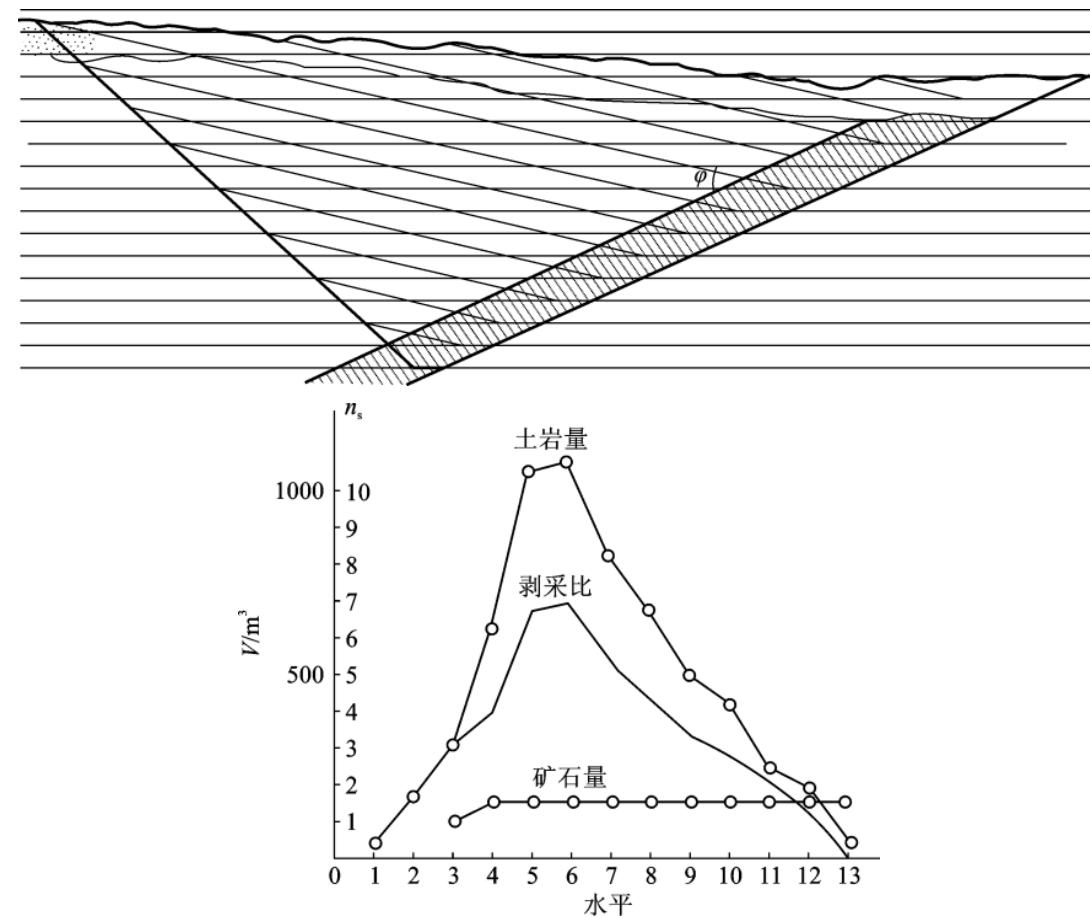


- 露天矿工作帮及其帮坡角 φ 与生产剥采比的变化密切相关。

8.3 露天矿采剥关系

● 8.3.1 生产剥采比的变化规律

- 不同工作帮坡角下生产剥采比的变化规律
 - 露天矿生产按一定的工作帮坡角发展时，其生产剥采比通常是变化。
 - 采场沿底帮掘沟，工作线由下盘向上盘推进，矿山工程延深方向与矿体倾向一致，按其固定的工作帮坡角 ϕ 生产时，开采延深到各水平的工作帮推进如图。
 - 每延深一个水平所采的矿石量、剥离量及剥采比用曲线表示。

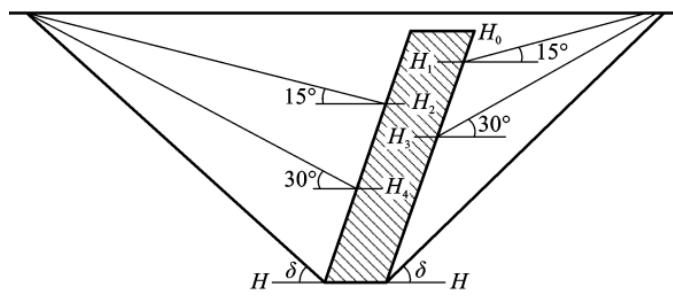


8.3 露天矿采剥关系

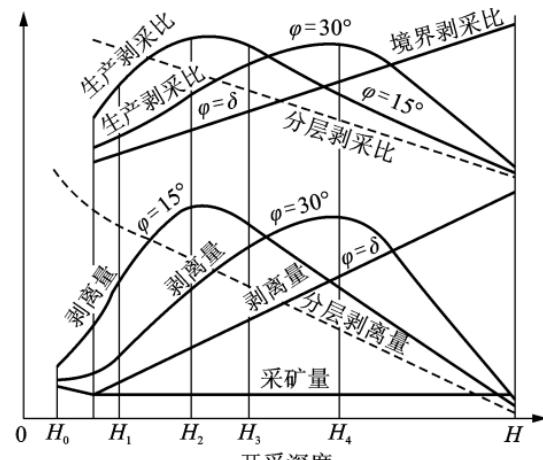
● 8.3.1 生产剥采比的变化规律

➤ 不同工作帮坡角下生产剥采比的变化规律

- 工作帮坡角不同，会影响生产剥采比的变化。为了便于比较，假设在其他条件相同的情况下，分别以 $\varphi=15^\circ$ 和 $\varphi=30^\circ$ 的工作帮坡角进行生产，比较变化与不同。



(a) 工作帮发展到出现剥离洪峰的相应位置



(b) 生产剥采比的变化及其与分层剥采比境界剥采比的对比

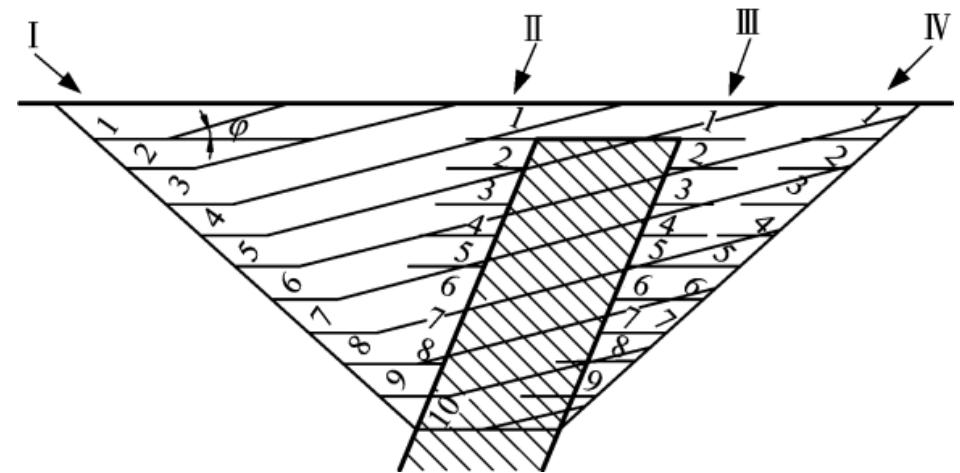
可见工作帮坡角越大，初期生产剥采比越小，在开采深度相同情况下，初期剥离量越少，有利于减少投资、降低初期生产成本、早出矿多出矿。工作帮坡角不能任意增大，当工作平盘宽度最小时，台阶单独开采的工作帮坡角的最大值一般是 15° 左右。

8.3 露天矿采剥关系

- 8.3.1 生产剥采比的变化规律

- 不同开拓方式下生产剥采比的变化规律

- 开拓方案、掘沟位置、工作线推进方向也是影响生产剥采比的重要因素。
 - 四种代表性的开拓方案（缓帮 15° 为例）：I、IV为顶帮和底帮固定坑线开拓，相应地工作线向底帮和向顶帮推进；II、III为上盘和下盘移动坑线开拓，相应地工作线向两帮推进。

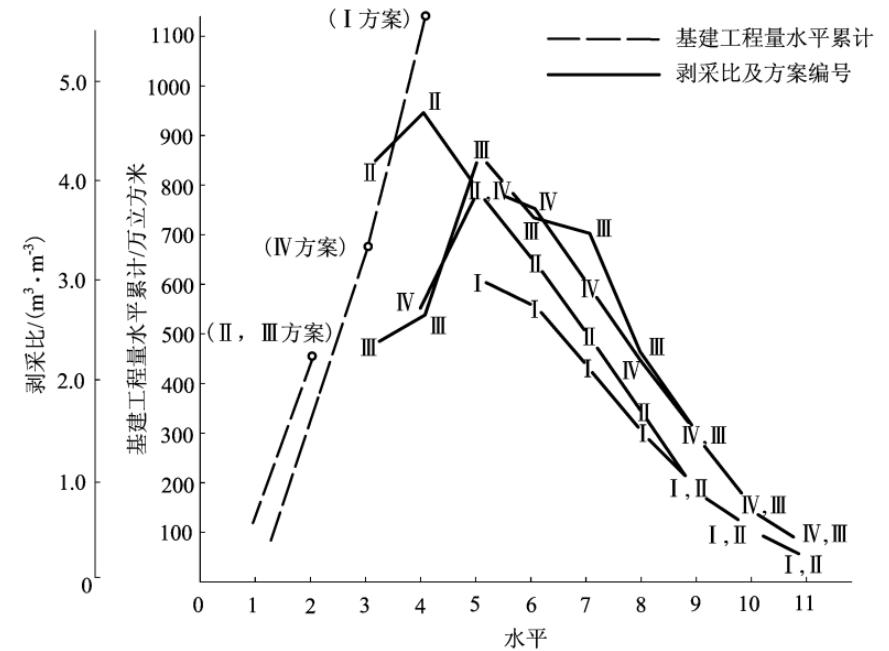


8.3 露天矿采剥关系

● 8.3.1 生产剥采比的变化规律

➤ 不同开拓方式下生产剥采比的变化规律

- 四种开拓方案沟道位置不同，生产剥采比也不同。
II、III两方案接近矿体掘沟、见矿快、基建工程量少、生产剥采比较大；I、IV两方案在顶底帮固定坑线位置掘沟，远离矿体，见矿慢、基建工程量大，生产剥采比较小。
- I 方案基建工程量最大，生产剥采比最小，并且是在达到“高峰”时才投产，投资最大，一般不宜采用。方案IV由于是底帮固定坑线开拓，线路质量好，离矿体近，设计中常采用。



8.3 露天矿采剥关系

• 8.3.1 生产剥采比的变化规律

- 以上分析生产剥采比的变化基础条件：工作帮坡角不变和忽略地表地形、矿体产状的变化对生产剥采比带来的影响。事实上地表地形、矿体产状及运输方式、开采工艺、掘沟长度等许多因素都不同程度地影响着生产剥采比的变化。
 - Note：工作帮坡角不变和生产剥采比未调整，整个开采期间生产剥采比一般都是变化的，存在一个升降过程和高峰。
- 综上所述，工作帮坡角越大，初期生产剥采比越小。显然，这对于减少投资、降低初期生产成本、早出矿、多出矿是有利的。



8.3 露天矿采剥关系

- 8.3.2 生产剥采比的调整与均衡

- 矿石生产能力 A_K 与矿岩生产能力 A 之间关系

$$A_K = A / (1 + n_s)$$

Prob. : 矿岩生产能力若固定不变，由公式可知，矿石产量的大小取决于生产剥采比，生产剥采比的经常变化，则矿石产量也随之变动。两种可能：

- 矿石产量频繁变动，对原矿后续加工生产和企业稳定不利。
- 保持矿石产量稳定而调整矿岩生产能力也不合适，如到剥采比高峰期大量增加生产设备和人员，高峰过后裁减，这种短期的波动不经济。
- 故要求矿石产量相对稳定，提出了调整生产剥采比使之均衡的问题，即让生产剥采比在一定时期内保持稳定，从而使露天矿的设备和产量也相对稳定。

8.3 露天矿采剥关系

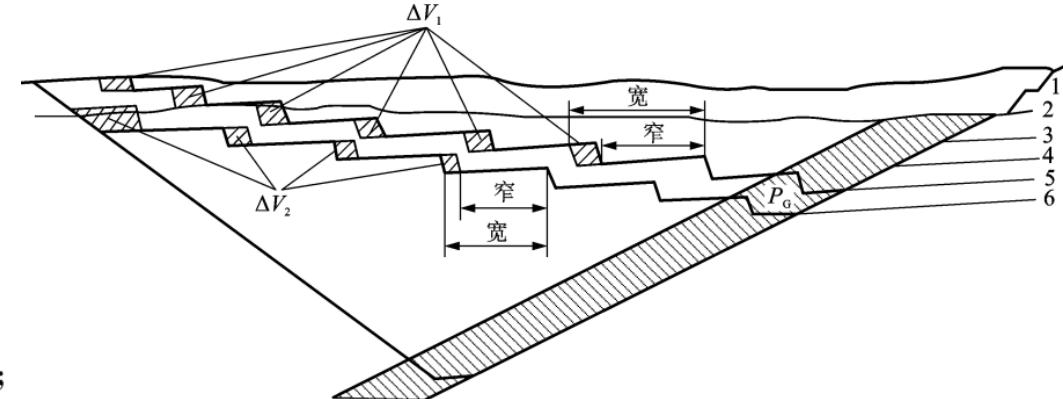
● 8.3.2 生产剥采比的调整与均衡

➤ 剥采比的调整

- 生产剥采比是可以调整的，通过调整台阶间的相互位置即改变工作平盘宽度的方法，将高峰期的剥离部分提前和部分推后，削减剥采比的峰值，减少的剥采比。

$$\Delta n = \frac{\Delta V_1 + \Delta V_2}{P_G}$$

Δn ——减少的剥采比， m^3/m^3 ；
 ΔV_1 ——提前剥离量， m ；
 ΔV_2 ——推后剥离量， m^2 ；
 P_G ——高峰期采出的矿量， m^3 。



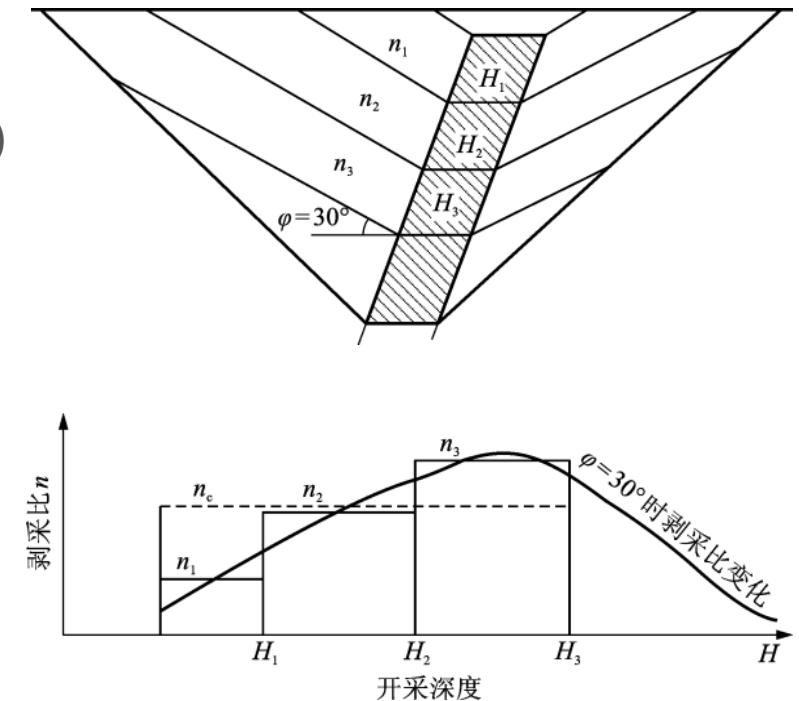
- 工作平盘宽度调整限制：保证最小工作平盘宽度和工作帮工作台阶数目，满足采掘设备需要。
- 生产剥采比影响因素调整：改变开段沟长度、改变矿山工程延深方向和改变工作线推进方向等

8.3 露天矿采剥关系

● 8.3.2 生产剥采比的调整与均衡

➤ 生产剥采比的均衡

- 生产剥采比均衡：调整生产剥采比保持生产时期（或分期）内每年的矿岩采剥量不变从而保证生产设备、辅助设施、人员的相对稳定，保证生产管理和确保生产任务的完成。
- 生产剥采比均衡方式：全期均衡、分期均衡。
 - 全期均衡：露天矿正常生产年限内，只按一个生产剥采比均衡生产。
 - 分期均衡：露天矿正常生产年限内分几期生产剥采比均衡生产。

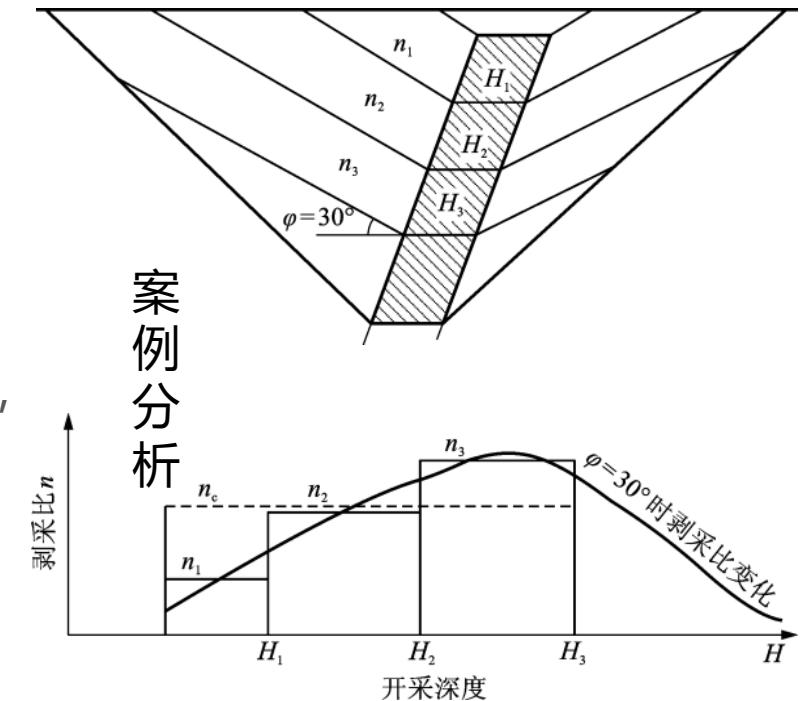


8.3 露天矿采剥关系

● 8.3.2 生产剥采比的调整与均衡

➤ 生产剥采比的均衡

- 生产剥采比均衡引起提前剥离岩石，提高了生产初期矿石成本，从生产初期经济效益来分析并不合理。
- 长期均衡与加大工作帮坡角以减少基建工程量和初期生产剥采比的要求发生矛盾；分期均衡应考虑这两方面的因素，特别在工作帮坡角很大，剥离增长持续时间长，高峰发生得很晚的情况下，以适当的时间间隔分期均衡生产剥采比。
- 均衡露天矿的生产剥采比时，不仅要考虑采剥数量上和空间上的关系，而且要考虑矿石的品位及其空间分布。



8.3 露天矿采剥关系

- 8.3.2 生产剥采比的调整与均衡

- 生产剥采比的均衡

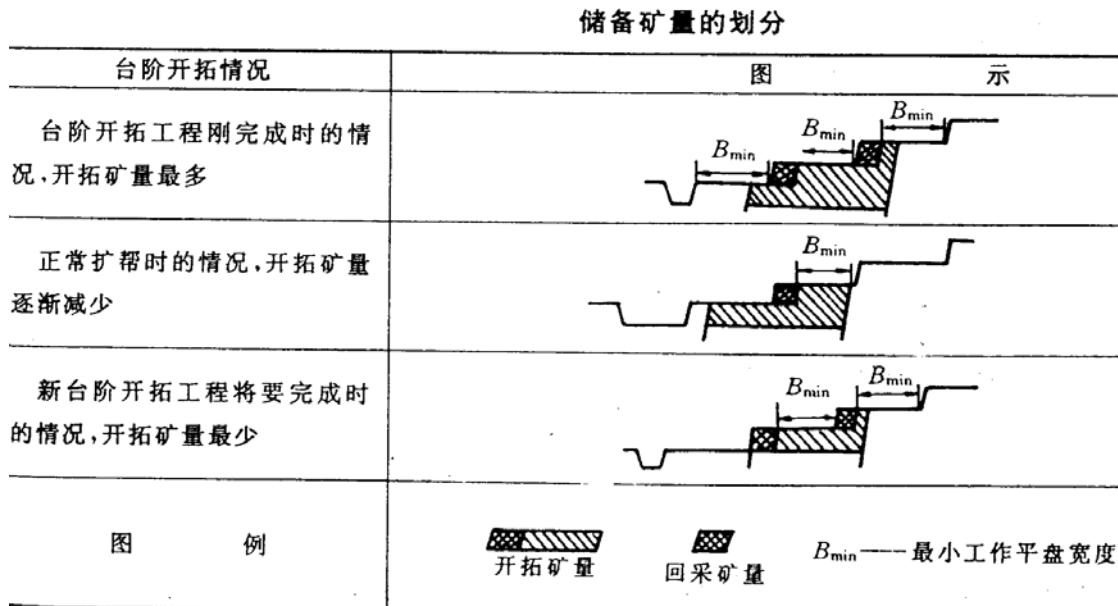
- 均衡生产剥采比原则
 - a. 服务年限较长的露天矿可采用分期均衡生产剥采比，每期不要少于5年；
 - b. 生产剥采比的变化幅度不宜过大，同时综合考虑工作面数目、排土场的建设、设备的购置和辅助设施的建设等；
 - c. 生产初期的生产剥采比应尽量取小，由小到大逐渐增加；
 - d. 两个或两个以上采区同时生产的矿山应协调平衡，使生产稳步发展。
 - 均衡方法：矿岩量变化曲线图法、生产剥采比变化曲线图法和最大几个分层平均剥采比法

8.3 露天矿采剥关系

● 8.3.3 储备矿量

➤ 露天矿储备矿量亦称生产准备矿量，指开拓和剥离为采矿所准备的矿量。目前，国内金属矿山、非金属矿山和化工原料矿山倾向于将储备矿量划分为开拓矿量和回采矿量两级。

- 开拓矿量：指开拓工程已完成，主要运输枢纽已形成，具备了采准工作条件的新水平底部标高以上的矿体矿量。
- 回采矿量：指位于采矿台阶最小工作平盘宽度以外，其上部和侧面已被揭露的矿体矿量。回采矿量是开拓矿量的一部分。



8.3 露天矿采剥关系

- 8.3.3 储备矿量
 - 储备矿量过多，意味着过早进行开拓和剥离工作，会积压生产资金。因此，应该有一个能满足持续生产的合理储备矿量数值。这一指标可用露天矿按一定的生产能力开采的年数和月数来表示，称为储备矿量保有期或保有时间。
 - 储备矿量保有期可以根据矿山的矿体赋存状况、开拓运输方式、采装运输设备作业空间等因素核定。一般情况下，回采矿量保有期为3~6个月，开拓矿量保有期为1~2年。
 - 新建矿山投产时，开拓矿量和回采矿量保有期分别按设计规模和投产年年产量计算。

问题：露天与地下开采在储备矿量上有什么异同点？

8.4 露天矿采掘进度计划的编制

- 露天矿采掘进度计划是用图表形式表示设计或生产矿山采掘工程发展的时间进度、空间位置和数量指标及其相互关系的综合性文件。通过编制采掘进度计划，对初步拟定的矿山生产能力、均衡生产剥采比和储备矿量保有期予以验证及修正，并安排落实。因此，采掘进度计划要在全面系统地研究露天矿剥采关系、生产能力协调和各生产工艺配合的基础上编制。

➤ 露天矿采掘进度计划内容

- 露天矿逐年或逐月采掘的矿石量、剥离量、掘沟量生产剥采比；
- 各项工/程的空间位置、各水平推进的超前关系、扩帮与延深的关系；
- 露天矿建设起止时间、投产达产时间、基建工程量及其位置；
- 基建和生产期与露天采掘工程发展相应的采掘设备逐年投入量、投入时间、工作位置及调动。

8.4 露天矿采掘进度计划的编制

- 采掘进度计划分长远计划和生产作业计划：
 - 按年编制的露天矿采掘进度计划，即长远计划。长远计划以年为单位编制，主要任务是比较准确地确定露天矿基建时间、基建工程量、投产时间达产时间、设计计算年均衡生产剥采比、露天矿的矿石及矿岩生产能力、逐年工作线推进位置，并按此计划计算各时期所需的设备、人员和材料等。
 - 生产矿山按年季、月编制的采掘计划，又叫生产作业计划。生产作业计划是以长远计划和上级下达的产品数量、质量等指标为依据编制的，除安排年末或各季末、月末的工作线推进位置外，还要详细地计算穿爆、采装、运输、排土、机修等主要生产工艺和辅助车间的生产能力，找出薄弱环节，制定相应的措施计划。

8.4 露天矿采掘进度计划的编制

- 8.4.1 采掘进度计划编制的要求

- 编制露天矿采掘进度计划的具体要求

- 正确处理需要与可能的关系。尽可能减少基建工程量，加速基本建设，保证投产。投产后应尽可能快地达到生产能力和保证规定的各级储量需要，保证产量的均衡稳定需要。
 - 具有多种品级矿石时，各种工业品级矿石的产量要求保持稳定，或呈现规律变化。
 - 贯彻采剥平衡的方针，合理地安排生产剥采比，均衡生产剥采比的期限不能过短。
 - 上下水平工作线要保持一定的超前距离，减少采掘设备频繁调动。
 - 合理确定水平推进与工程延深关系。
 - 处理好分期和过渡的关系。

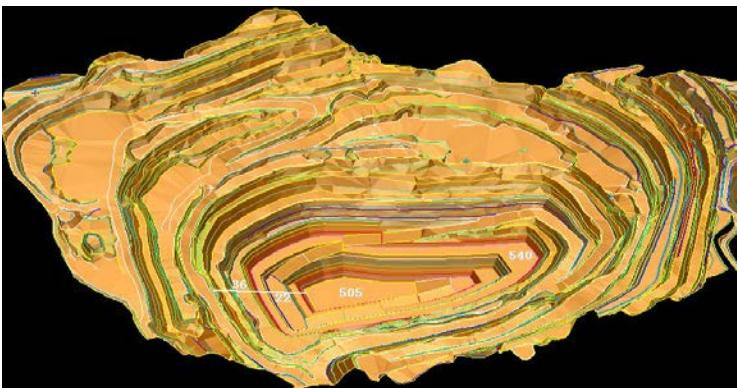
8.4 露天矿采掘进度计划的编制

- 8.4.2 采掘进度计划编制所需的资料
 - 比例尺为1：2000或1：5000的地形地质图
 - 1: 1000或1: 2000的分层平面图，标注矿床地质界线、开采境界、出入沟和开段沟的位置等；
 - 分层矿岩量表，列出各水平分层在开采境界内的矿岩体积和质量以及分层剥采比；
 - 露天矿最终的开拓系统图，扩建和改建的矿山开采现状图；
 - 露天矿开采要素：包括台阶高度、采掘带宽度、采区长度和最小工作平盘宽度、露天矿的延深方式、工作线推进方式和方向、沟的几何要素、新水平准备时间；
 - 技术指标：规定的储备矿量指标，矿石的开采损失率和废石混入率；

8.4 露天矿采掘进度计划的编制

● 8.4.2 采掘进度计划编制所需的资料

- 露天矿开始基建的时间和要求的投产日期，规定的投产标准；
 - 采掘设备（如挖掘机）数量及其生产能力；
 - 分期开采，应有分期开采过渡的有关资料；
 - 国家对矿山建设的其他要求。

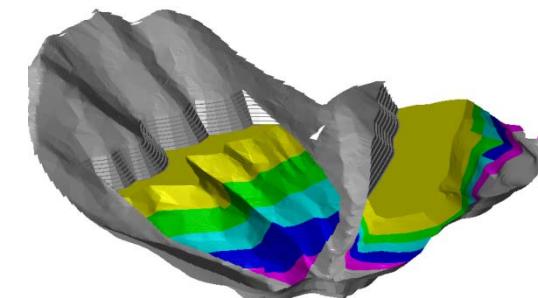
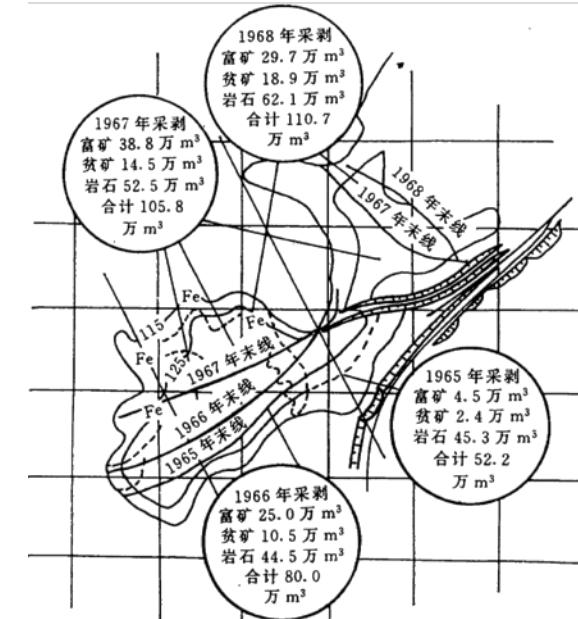


2	2010 Budget Open Pit		MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	2010 TOTAL
3	Mining Producton		Budget	Budget	Budget						
4	Open Pit										
5	Waste Mined	m3	756,934	735,394	769,397	555,903	548,818	570,111	528,043	359,493	4,824,093
6		tonne	2,043,723	1,985,564	2,077,372	1,500,938	1,481,809	1,539,299	1,425,715	970,631	13,025,050
7	HG	>2.5g/t	t	61,769	45,448	51,700	62,285	77,785	58,845	76,449	81,953
8	Ore grade	g/t	5.10	4.99	4.89	5.08	5.37	5.15	5.61	5.53	5.26
9	LG	1.5-2.5g/t	t	23,764	24,993	30,580	38,272	30,943	30,579	24,667	30,638
10	Ore grade	g/t	1.85	1.83	1.78	1.95	2.00	1.98	1.90	2.02	1.92
11	Ore Tonnes Mined	m3	31,679	26,089	30,474	37,243	40,270	33,120	37,450	41,700	426,339
12		tonne	85,533	70,441	82,30	100,556	108,729	89,424	101,116	112,591	750,670
13	Ore Grade	g/t	4.20	3.87	3.74	3.89	4.41	4.07	4.71	4.58	4.22
14	Strip Ratio	t/t	23.89	28.19	25.25	14.93	13.63	17.21	14.10	8.62	17.35
15	by production contract	m3	788,613	761,484	799,871	593,146	589,088	603,231	565,493	401,193	5,102,119
16	Total mined	m3	788,613	761,484	799,871	593,146	589,088	603,231	565,493	401,193	5,102,119
17											
18	2010 Actual Open Pit										
19	Mining Producton		Forecast	Forecast	Forecast						
20	Open Pit										
21	Waste Mined	m3	613,874	493,625	602,875	543,063	500,438	336,250	243,688	133,188	3,466,999
22		tonne	1,657,461	1,321,788	1,627,763	1,466,269	1,351,181	907,875	657,956	359,606	9,360,898
23	HG	>2.5g/t	t	65,636	30,375	37,125	56,363	62,438	74,588	68,175	50,794
24	Ore grade	g/t	4.59	4.38	4.30	5.00	4.80	5.38	4.73	5.54	4.90
25	LG	1.5-2.5g/t	t	31,903	60,581	62,944	35,775	50,625	49,613	43,875	53,156
26	Ore grade	g/t	1.90	1.54	1.55	1.70	1.60	1.52	1.65	1.65	1.62
27	Ore Tonnes Mined	m3	36,126	33,688	37,063	34,125	41,875	46,000	41,500	38,500	426,339
28		tonne	97,539	90,956	100,069	92,138	113,063	124,200	112,050	103,950	833,964
29	Ore Grade	g/t	3.69	2.49	2.57	3.72	3.37	3.84	3.52	3.55	3.37
30	Strip Ratio	t/t	16.99	14.65	16.27	15.91	11.95	7.31	5.87	3.46	11.22
31	by production contract	m3	650,000	527,313	639,938	577,188	542,313	382,250	285,188	171,688	3,775,875
32	Total mined	m3	650,000	527,313	639,938	577,188	542,313	382,250	285,188	171,688	3,775,875

8.4 露天矿采掘进度计划的编制

● 8.4.3 采掘进度计划编制方法

- 按计算矿岩量、确定生产剥采比的方法及可能提供编制计划的原始资料情况的不同，编制露天矿采掘进度计划的方法，可以分为水平剖面法(常用)和垂直剖面法。
 - 在分层平面图上逐年逐水平确定年末工作线位置
 - 根据挖掘机的年生产能力，从露天矿上部水平分层平面图开始，逐年用求积仪(或者数字矿山软件计算)在图纸上求出挖掘机的年采掘面积，绘出各水平年末线起止位置，并标出每一水平各年度的矿岩量及挖掘机台号，见下图所示。



8.4 露天矿采掘进度计划的编制

- 8.4.3 采掘进度计划编制方法
 - 在分层平面图上逐年逐水平确定年末工作线位置
 - 上下相邻水平同年份的年末工作线必须保持一定的超前距离，以满足最小工作平盘宽度及储备矿量、开拓运输线路布置、延深与扩帮关系等方面的要求。
 - 绘制具有年末位置线的分层平面图，可以确定挖掘机的作业起止时间及调配情况。各种情况下的挖掘机生产能力及掘沟与扩帮，采矿与剥离，基建与生产等）可按类似矿山的实际资料选取。
 - 确定新水平投入生产的时间
 - 当上水平推进一定的宽度后，下水平才能开始掘沟，以保持上下相邻水平有足够的超前关系。挖掘机在上水平采掘规定宽度所需的时间，即为下水平滞后开采的时间。

8.4 露天矿采掘进度计划的编制

● 8.4.3 采掘进度计划编制方法

- 编制采掘进度计划表

- 分层平面图上确定年末工作线位置的同时，编制采掘进度计划表，一般要编制到设计计算年以后3~5年，以保证矿山生产持续稳定。

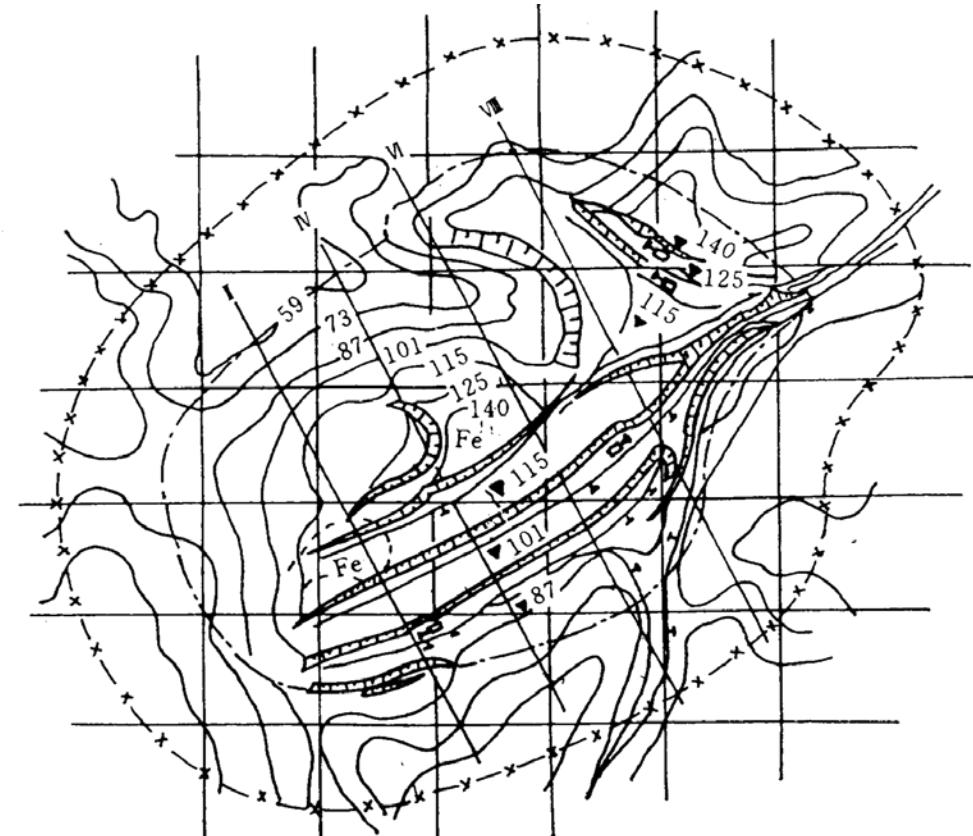
- 采掘进度计划表可以表示：每台挖掘机的工作水平，作业起止时间及采掘量；新水平准备，出入沟、开段沟和各水平开采的起止时间；逐年采出的矿、岩量和生产剥采比；各水平矿、岩量及其种类；主要设备数量及调动情况；投产、达产和设计计算年的时间等。

工作水平	工作内容	电铲编号	1965		1966		1967	
地表— 140	剥 岩 路 轨	N 1 N 2	0+0+18=18		0+0+23.5=23.5			
140— 115	采 剥 N 3 N 2		3.2+0.7+29=32.9 1.3+1.7+16.3=19.3		25+10.5+44.5=80		38.8+14.5+52.5=105.8	
115— 101	路 轨 采 剥 N 4 N 4 N 5				0.2+2+28.3=30.5 0+2.1+11.4=13.5		0+0+4.5=4.5 24.3+19.8+37.1=81.2	
101— 87	路 轨 采 剥 N 1 N 1 N 6						0+0+40=40 0+5.4+19.5=24.9	
单 位			万 立 方 米	万 吨	万 立 方 米	万 吨	万 立 方 米	万 吨
矿 石	富 矿		4.5	15.3	25.2	85.7	63.1	214.5
	贫 矿		2.4	6.7	14.6	40.9	39.7	111.2
	小 计		6.9	22.0	39.8	126.6	102.8	325.7
岩 石			63.6	164.6	107.7	280.0	153.6	399.4
矿 岩 合 计			70.2	186.6	147.5	406.6	256.4	725.1
剥 采 比	体 积 比		9.1		2.7		1.51	
	重 量 比		7.5		2.2		1.23	
电 铲 台 数			3		5		7	

8.4 露天矿采掘进度计划的编制

● 8.4.3 采掘进度计划编制方法

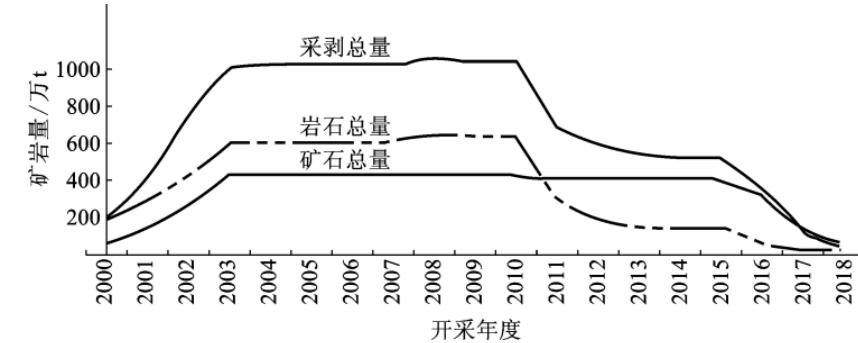
- 绘制露天采场年末开采综合平面图
 - 该图亦称开采状况图或简称年末图，是以地质地形图和采掘分层平面图为基础绘制的，见下图。图中绘有坐标网、勘探线、地质界线，露天采场上部境界线和采场外的地形线，以及破碎厂、排土场等有关站点。该图主要表示矿山工程状况即各水平年末的开采位置及超前关系，挖掘机数量及配置，矿岩运输线路布置及各水平与破碎厂和排土场的运输联系。



8.4 露天矿采掘进度计划的编制

- 8.4.3 采掘进度计划编制方法

- 绘制逐年产量发展图表
 - 依据采掘进度计划表中各年的矿岩量数值，整理成逐年产量发展曲线（下图所示）和逐年产量发展表。采掘进度计划只编制到设计计算年以后3~5年，后续的历年产量可按各水平矿石量比例及分层剥采比推算。
- 数字化开采计划编制是综合利用地质体模型、工程模型以及矿块模型，通过设定矿石量、品位等关键指标在三维可视化环境下定义生产约束，并以计算机技术、三维可视化技术以及运筹学等理论、方法与技术为手段，快速生成开采计划优化方案。更合理规划矿山工程在空间与时间上的顺序和采剥（掘）设备作业顺序，降低采矿成本，提高生产效率，最终实现开采总体经济效益最大化的目标。



谢谢！