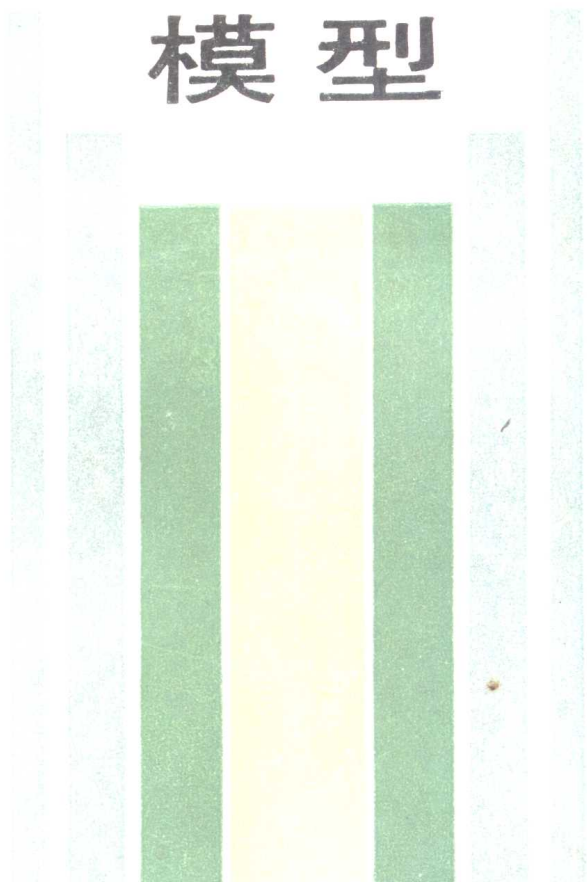

矿石 质量控制 模型

The title is centered on the page. Below the title, there are several vertical bars of varying heights and colors (green, yellow, and light blue) that extend towards the bottom of the page, creating a decorative background element.

矿石质量控制模型

宋晓天 [挪]K·尼尔森 朱 烨 著

中国建筑工业出版社

本书系宋晓天博士、K·尼尔森教授及朱烨高级工程师合作研究工作的成果。主要分析并阐明了采矿工程中矿石质量控制数学方法的实际应用,论述了在不同矿石质量参数和条件下的矿石质量控制数学模型的建立及其在采矿工程优化中的应用。行文深入浅出,方法切实可行。可供各类矿山的采矿工程技术人员及有关大专院校师生参考。

责任编辑 张梦麟

技术设计 马江燕

责任校对 赵 枫

矿石质量控制模型

宋晓天 [挪]K·尼尔森 朱 烨 著

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/32 印张 16 1/2

1991年8月第一版 1991年8月第一次印刷

印数: 1—850册 定价 1.30元

ISBN7-112-01315-1/

(6357)

前 言

矿石质量控制是指在矿体开采和矿石加工全过程中对矿石质量进行有效地规划和管理，以达到工艺系统优化和提高矿山企业经济效益的目的。

矿石质量控制对于开采作业的经济效益具有决定性的意义。矿石质量这一术语是个十分复杂，意义有些含糊的说法。地质、采矿、选矿和冶金工作者往往对它给予不同的定义。矿石质量的基本特性寓于矿体本身及其围岩之中。这些因素包括矿体的大小与几何形状、平均品位与品位的变化、矿石与围岩的力学性质、矿石与废石的结构和矿物特征等。这些特性均系自然给定的，且其本身基本上不能改变，但在开采和加工过程中却会受到影响。

本书是根据作者在挪威工学院合作研究的成果和国内外关于矿石质量模型研究及应用的最新发展编写而成的。书中将讨论不同参数和具体条件的矿石质量控制模型的建立和应用。应指出，矿石损失与贫化的确定、配矿的品位控制和矿石块度优化这三个影响矿石质量控制的主要作业参数是彼此相互关联的，一个最优的矿石质量控制模型应该包括所有这些因素。但就作者的认识而言，对这些因素相互依存关系的了解尚嫌不足，故期望读者共同努力，深入探索矿石质量控制的科学规律，以全面提高矿产资源开发和利用的经济效益。不当之处，尚望不吝指正。

作者

1990年9月

目 录

第一章 矿石质量参数	1
§ 1 概述	1
§ 2 矿石质量影响因素	3
§ 3 矿石质量参数	9
§ 4 矿石质量参数分析	21
第二章 矿石质量优化	27
§ 1 矿石质量通用模型	27
§ 2 覆岩放矿贫化率优化	29
§ 3 细脉群开采的矿石质量优化	34
§ 4 实例分析	37
§ 5 敏感性分析	40
§ 6 复杂矿体的矿石质量优化模型	44
第三章 矿石质量均衡	56
§ 1 矿石质量均衡对加工工艺的影响	56
§ 2 矿石质量均衡指标	57
§ 3 矿石质量均衡的数学方法	59
§ 4 实例研究	64
第四章 矿石块度控制	73
§ 1 生产性试验方法	73
§ 2 计算机模拟方法	80
§ 3 矿石块度综合优化(球状药包)	86
§ 4 矿石块度综合优化(束状深孔)	96

第五章 矿石损失、贫化分析	106
§ 1 矿石贫化过程分析	106
§ 2 矿石损失、贫化的原因分析	115
§ 3 降低矿石损失、贫化的有效途径	121
§ 4 矿石损失、贫化对经济效益的影响	125
第六章 采矿方法有关问题	134
§ 1 采矿方法选择的数值方法	134
§ 2 实例研究	143
§ 3 采场稳定性分析	151
§ 4 采场结构参数优化	158
参考文献	165

第一章 矿石质量参数

§1 概 述

矿石质量参数，包括矿体中随机分布的原矿石质量参数和矿石在开采和加工过程中形成的采出矿石质量参数，对矿山生产过程和经济效益有重要的影响，其影响程度对不同开采条件和生产工艺系统是不同的。本文的目的是：运用系统分析方法，讨论矿石质量参数之间的关系，建立矿石质量控制优化数学模型和确定矿石质量与经济效益的关系，以提高矿床开采的技术和经济效果。

在相应的矿山地质和开采技术条件下，采用高工艺水平的生产系统和有效控制矿石质量，可获得好的经济效益；但在复杂开采条件下，采用提高采矿效率和加大采矿设备的途径，虽然可降低采矿成本，但由于矿石贫化率和选矿成本增加，有可能使采出矿石质量降低和总成本增加，最后将导致总利润减少。在一定的开采条件下，存在着矿石质量优化区域。为了确定这个优化区域，需分析不同矿体类型的贫化率水平，矿体与工艺系统的适应程度以及原矿石质量参数和生产过程中矿石质量参数的变化及其对经济效果的影响，以达到矿石质量控制优化。

矿石损失与贫化是矿石质量主要参数，它们对经济效果有着直接的影响；

1. 矿石损失对经济效果的影响

矿石损失带来的经济损失主要表现在矿石生产成本增加和矿山总利润降低。矿山总利润与矿山服务年限和矿石损失率有直接关系：

$$P = pA \frac{(1+i)^t - 1}{i(1+i)^t} \quad (1-1)$$
$$t = \frac{Q(1-L)}{A(1-d)}$$

式中 P —— 矿山总利润，元；
 p —— 吨矿石利润，元/t；
 A —— 矿石年产量，t/年；

$\frac{(1+i)^t - 1}{i(1+i)^t}$ —— 年现金值系数；

i —— 基准收益率，%；

t —— 矿山服务年限，年；

Q —— 地质储量，t；

L —— 矿石损失率，%；

d —— 矿石贫化率，%。

式(1-1)表明：矿石损失的增加将缩短矿山服务年限，进而降低矿山总利润。此外，开采过程中矿石损失愈多，则摊销到生产探矿、采切的吨矿石费用愈高，即矿石损失使采切比增加，从而增加矿石成本。

2. 矿石贫化对经济效果的影响

矿石贫化率增加，使采出矿石品位下降和吨矿石收益减少，同时由于吨精矿所需矿石量的增加，进而增加了选矿成本，因此吨矿石利润降低。吨矿石利润可表示为：

$$P = I_0 \frac{A_c}{A} - (C_m + C_c) \quad (1-2)$$

$$A_c = \frac{a_0(1-d)\varepsilon}{\beta} A$$

式中 I_0 ——吨精矿收益，元/t；

A_c ——精矿年产量，t/年；

C_m ——采矿成本，元/t；

C_c ——选矿成本，元/t；

a_0 ——原矿石品位，%；

ε ——选矿实收率，%；

β ——精矿品位，%；

P, A, d 同前。

从式(1-2)中还可看出：增大矿石贫化不仅降低采出矿石品位和增加选矿成本，还将影响选矿实收率，又进一步降低矿山效益和增加金属流失。

§ 2 矿石质量影响因素

本节主要讨论矿石质量主要参数之一的矿石贫化问题。分析影响贫化的主要因素和贫化与开采经济效果的关系。

由图1-1可见，影响贫化的主要因素包括矿体条件、采矿方法和回采设备、矿石产量以及各因素之间相互作用，贫化非但影响开采成本，还将影响选矿成本和生产效益。

1. 矿体类型与贫化率水平

为了研究矿体类型对贫化率水平的影响，可将矿体类型按以下矿体参数进行分类：

矿体倾角：0°，30°，60°；矿体厚度：薄、中厚、厚；
矿体形状：规则、不规则；矿岩条件：稳固、不稳固；品位分布：均匀、不均匀。

根据上述矿体参数，按贫化控制难易程度，将矿体分成

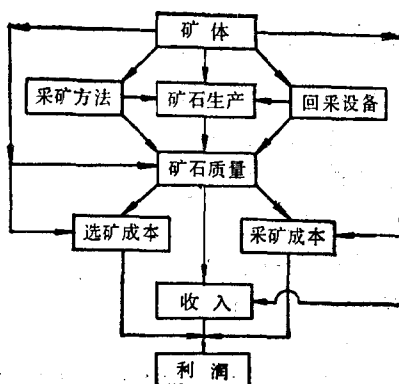


图 1-1 贫化与开采经济效果的关系

4 种类型:

- (1) 贫化易控制的矿体, 分值为4~6;
- (2) 贫化较难控制的矿体, 分值为7~10;
- (3) 贫化难控制矿体, 分值为11~15;
- (4) 贫化极难控制的矿体, 分值为16~21。

以厚矿体为例进行按贫化控制难易程度分类。按矿体倾角分为 0° , 30° , 60° ; 矿体形状分为规则 (R) 和不规则 (IR); 矿岩条件分为稳固 (S) 和不稳固 (IS); 品位分布分为均匀 (E) 和不均匀 (UE)。同时根据贫化控制难易程度按矿体参数给予分值 (1, 2, 3, 4), 最后计算总分值 (括号内数字)。厚矿体共有24种类型, 如下所示:

$$\text{厚矿体 } \begin{array}{|l} \underline{1} \ 60^{\circ} \ \underline{1} \ R \ \underline{1} \ S \ \underline{1} \ E \\ \underline{2} \ UE \end{array} \left| \begin{array}{l} (4) \\ (5) \end{array} \right.$$

<u>2</u> <u>IS</u> <u>1</u> <u>E</u>	(5)
<u>2</u> <u>UE</u>	(6)
<u>2</u> <u>IR</u> <u>1</u> <u>S</u> <u>1</u> <u>E</u>	(5)
<u>2</u> <u>UE</u>	(6)
<u>2</u> <u>IS</u> <u>1</u> <u>E</u>	(6)
<u>2</u> <u>UE</u>	(7)
<u>10°</u> <u>1</u> <u>R</u> <u>1</u> <u>S</u> <u>1</u> <u>E</u>	(4)
<u>2</u> <u>UE</u>	(5)
<u>2</u> <u>IS</u> <u>1</u> <u>E</u>	(5)
<u>2</u> <u>UE</u>	(6)
<u>3</u> <u>IR</u> <u>1</u> <u>S</u> <u>1</u> <u>E</u>	(6)
<u>2</u> <u>UE</u>	(7)
<u>2</u> <u>IS</u> <u>1</u> <u>E</u>	(7)
<u>2</u> <u>UE</u>	(8)
<u>2</u> <u>30°</u> <u>1</u> <u>R</u> <u>2</u> <u>S</u> <u>1</u> <u>E</u>	(6)
<u>2</u> <u>UE</u>	(7)
<u>3</u> <u>IS</u> <u>2</u> <u>E</u>	(7)
<u>2</u> <u>UE</u>	(8)
<u>4</u> <u>IR</u> <u>2</u> <u>S</u> <u>1</u> <u>E</u>	(9)
<u>2</u> <u>UE</u>	(10)
<u>4</u> <u>IS</u> <u>1</u> <u>E</u>	(11)
<u>2</u> <u>UE</u>	(12)

根据总分值进行矿体分类，在24个厚矿体中贫化易控制的第1种类型占13个，贫化较难控制的第2类型占9个，贫化难控制的第3类型占2个，贫化极难控制的第4类型为0。同样，按矿体中厚、薄和按矿体倾角也可进行分类，如表1-1所示。

按贫化率水平的矿体分类

表 1-1

类	型	矿 体 数 量			总 数
		厚	中 厚	薄	
按矿体厚度	1	13	2	0	15
	2	9	14	2	25
	3	2	8	15	25
	4	0	0	7	7
	3,4类型比例,%	6	25	69	
类	型	矿 体 数 量			总 数
		60°	0°	30°	
按矿体倾角	1	8	5	2	15
	2	8	10	7	25
	3	7	7	11	25
	4	1	2	4	7
	3,4类型比例,%	25	28	47	

从表1-1中可看出:矿石贫化率水平与矿体开采条件复杂程度有直接关系。复杂矿体,特别是缓倾斜矿体和薄矿体分别占3、4类型(贫化难控制和极难控制矿体类型)的47%和69%。对这种类型矿体进行矿石贫化率优化和矿石质量控制尤为重要。

2. 贫化对开采作业的经济影响

从按贫化率水平的矿体分类看,采矿方法及其回采设备是否与矿体开采条件相适应,对矿石贫化控制将有直接影响。一般来说,矿体的赋存条件和主要参数是变化的,并具有随机性,服从概率分布规律。对复杂矿体而言,所选用的采矿方法和设备只与矿体的一部分相适应,而与另一部分不相适应。采矿方法与设备和矿体适应性关系可表示为:

$$A = 1 - F(Q)$$

式中 A ——适应性水平，%；
 $F(Q)$ ——非适应性区域，%。

就 3、4 类型矿体而言，随着工艺水平的提高，如增加回采参数和设备尺寸，将使适应性水平降低，从而也导致贫化率增加。见图 1-2。基于上述关系，可建立不同矿体类型的采矿成本、贫化率与工艺水平的关系，以及采矿、选矿成本、总成本和收益与贫化率的关系。分别见图 1-3，1-4，1-5。

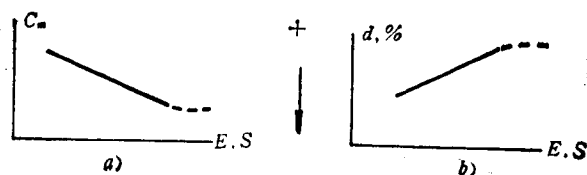


图 1-2 贫化率分析

a) 采矿成本 (C_m) 与品位分布均匀的矿岩稳固矿体的关系
 b) 贫化率 (d) 与品位分布均匀的矿岩稳固矿体的关系

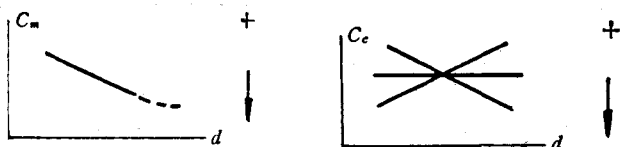


图 1-3 采矿成本 (C_m)
 与贫化率 (d) 的关系

图 1-4 选矿成本 (C_c)
 与贫化率 (d) 的关系

根据不同的收益与成本关系，吨矿石利润可有以下 3 种

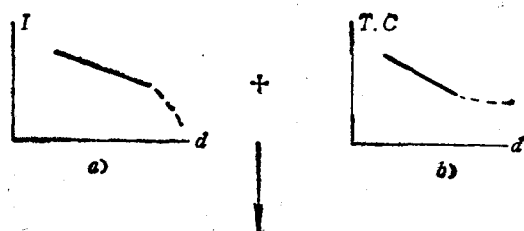


图 1-5 贫化率与总成本 (T, C) 和收益 (I) 的关系

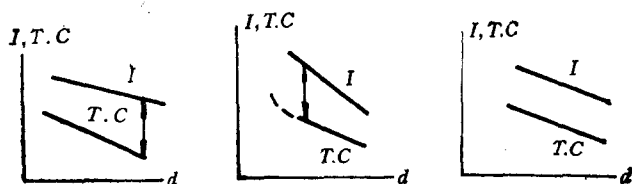


图 1-6 1、2 类型 图 1-7 3、4 类型 图 1-8 贫化率降低时的总成本 (T, C) 与收益 (I) 的关系

情况:

(1) 随着贫化率的减少, 收益增长速度大于成本增长速度, 此时最优贫化率水平靠近最低贫化率区域, 即通过增加成本途径来降低贫化率可获得最大利润。如图 1-7, 1-10 所示, 对 3、4 类型矿体来说, 采用成本高的采矿方法和中、小型设备可得到低贫化率和高矿石质量, 并获得最大利润。

(2) 与第 1 种情况相反, 随着贫化率降低, 成本增长速度大于收益增长速度。最优贫化率水平可能在较高贫化率

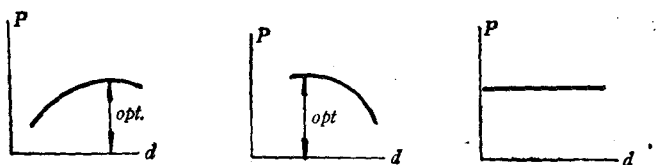


图 1-9 3、4 类型 图 1-10 1、2 类型 图 1-11 贫化
矿体利润 (P) 与贫 矿体利润 (P) 与贫 率降低时的利润
化率 (d) 的关系 化率 (d) 的关系 (P) 变化

区域。这种情况发生在采用高效率、低成本采矿方法和大型设备开采 1、2 类型矿体的时候。如图 1-6, 1-9。

(3) 随着贫化率降低, 成本与收益的增长速度几乎相等, 此时利润基本不变, 与贫化率变化无关, 见图 1-8 及图 1-11。

综上所述, 根据不同矿体类型, 提高工艺系统与矿体的适应性水平是控制矿石质量和改进开采经济效益的基础。

§ 3 矿石质量参数

1. 原矿石质量参数

原矿石质量参数是矿石品位 (包括主要金属品位、伴生金属品位和有害元素含量等)、矿物组成、化学成分、矿石类型及其相互关系和空间分布规律的随机性变量, 直接影响矿床开采的有效性、金属产量和生产成本。对大多数金属矿床, 特别是复杂矿床, 矿石质量分布是不均匀的。这种品位分布不均匀性为矿石质量的改变提供了条件, 使采出矿石质量区别于原矿石质量。

原矿石质量、开采条件与矿石成本之间有着密切关系:

改变原矿石质量将引起开采条件的变化，而开采条件将影响开采工艺和生产成本。要求提高原矿石质量将导致开采条件复杂化，使大型采矿设备和高效率采矿方法的应用受到限制，进而影响采矿成本的增加；反之，对原矿石质量要求下降将提高矿体的完整性，有利于高效率采矿方法和设备的应用，因而采矿成本也将降低。上述关系取决于原矿石质量分布的不均匀程度。衡量原矿石质量分布非均匀性的主要指标有：

1) 均值

$$a_0 = \frac{\sum_1^n a_i}{n}$$

2) 波动范围

$$a^{\max} \sim a_0, \quad a_0 \sim a^{\min}$$

3) 方差

$$\sigma^2 = \frac{\sum_1^n (a_i - a_0)^2}{n - 1}$$

用以衡量参数的分散程度。

4) 变异系数

$$\nu = \frac{\sigma}{a_0} \cdot 100, \%$$

用以衡量参数的相对变化。

式中

a_0 —— 参数均值；

a_i —— 参数取值；

n —— 样品数；

$a^{\max}, a^{\min}$ —— 参数的最大值和最小值；

σ^2 —— 参数方差；

ν ——参数变异系数。

根据变异系数 ν ，矿石质量非均匀程度可做如下分类：

- (1) 均匀分布： $\nu < 30\%$ ；
- (2) 非均匀分布： $\nu = 30 \sim 100\%$ ；
- (3) 极不均匀分布： $\nu > 100\%$ 。

原矿石质量分布的非均匀性是采出矿石质量波动的主要原因。地下和露天矿生产实践表明：采出矿石质量波动范围为：铁矿： $\pm 3 \sim 8\%$ ；铅、锌矿： $\pm 50 \sim 100\%$ ；铜矿： $\pm 80 \sim 120\%$ ；钴矿： $\pm 60 \sim 110\%$ ；砷矿： $\pm 50 \sim 70\%$ ；汞矿： $\pm 60 \sim 150\%$ 。采出矿石质量的大范围波动是原矿石质量分布极不均匀和不同矿石类型汇合成一个矿石流这两个因素相互作用的结果。

矿石质量分布和其它矿体参数是衡量矿体复杂性的依据。根据矿体参数可进行矿体复杂性分类。见表1-2。

统计资料表明：有色金属矿床基本属于第Ⅱ、Ⅲ矿体类型，其中：铅、锌：Ⅱ类型占近30%，Ⅲ类型占70%；镍、钴和钨钼：Ⅱ类型占60~70%；铜：大部分为Ⅲ类型，其余

矿体复杂性分类 表 1-2

矿体参数	矿体复杂性类型		
	I	II	III
矿石质量分布	均匀 $\nu < 30\%$	不均匀 $\nu = 30 \sim 100\%$	极不均匀 $\nu > 100\%$
有益组分数量	< 3	4~7	> 7
有害组分数量	0	1	> 2
矿石工业类型数量	1	1	2
矿体数量	1~2	3~10	> 10
赋存条件	稳定	不稳定	极不稳定