

ICS

CCS

# 团体标准

T/CI XXX—2024

## 金属露天矿开采方案整体优化设计规范

Overall optimization design of metal open-pit mining plan

(征求意见稿)

2024-X-X 发布

2024-X-X 实施

中国国际科技促进会

发布

中国国际科技促进会 (CIAPST) 是 1988 年经中华人民共和国国务院科技领导小组批准而成立的全国性社会团体。制定团体标准、开展标准国际化和推动团体标准实施,是中国国际科技促进会的工作内容之一。任何团体和个人,均可提出制、修订中国国际科技促进会团体标准的建议并参与有关工作。

中国国际科技促进会标准按《中国国际科技促进会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国国际科技促进会征求意见稿经向社会公开征求意见,并得到参加审定会议的 80% 以上的专家、成员的投票赞同,方可作为中国国际科技促进会标准予以发布。

在本标准实施过程中,如发现需要修改或补充之处,请将意见和有关资料寄给中国国际科技促进会标准化工作委员会,以便修订时参考。

任何团体和个人,均可对本标准征求意见稿提出意见和建议,牵头起草单位联系方式:  
guxiaowei@mail.neu.edu.cn

中国国际科技促进会

地址:北京市海淀区中关村东路 89 号恒兴大厦 13F

邮政编码: 100190

电话: 010-62652520 传真: 010-62652520

网址: <http://www.ciapst.org>

## 前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由东北大学提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本标准起草单位：东北大学、沈阳工业大学。

本标准主要起草人：顾晓薇。

本文件为首次发布。

征求意见稿

# 金属露天矿开采方案整体优化设计指南

## 1 适用范围

本文件规定了最终境界优化、境界优化与边界品位、全境界开采的生产计划优化、最终境界与生产计划的整体优化、开采设计要素与设备配置的整体优化的技术要求。

本文件适用于国内金属露天矿开采设计和评价。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 51360	金属露天矿工程施工及验收标准
GB 51016	非煤露天矿边坡工程技术规范
MT/T 881	露天矿矿用自卸汽车适应性试验方法

## 3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### **整体优化 overall optimization**

最终境界、生产能力、开采顺序、开采寿命及主体设备配置是构成露天开采方案的五大要素，把五大要素作为一个整体进行优化即为整体优化。

### 3.2

#### **露天矿最终境界 ultimate pit of open-pit mine**

露天矿开采结束后形成的三维空间形态。

### 3.3

#### **矿床数值模型 numerical model of ore deposit**

将矿床的空间范围划分为很多单元块并存储矿山各种地质信息的数据库，是矿山优化设计的基础。

### 3.4

#### **边界品位 cut-off grade**

边界品位是区分矿石与废石的临界品位，矿床中大于等于边界品位的块段为矿石，低于边

界品位的块段为废石。

### 3.5

#### 露天矿生产计划 production plan for open-pit mine

露天矿生产计划指贯穿整个开采寿命的长期计划，包括生产能力、开采顺序和开采寿命。

### 3.6

#### 露天矿生产计划优化 optimization of open-pit mine production plan

确定矿床数值模型中每个模块的开采时间，或者说确定每年应开采哪些模块，以使总净现值达到最大，同时满足露天开采的时空关系和技术及经济上的一些约束条件。

### 3.7

#### 地质统计学法 geostatistical method

借助变异函数研究区域化随机变量的统计学方法。

### 3.8

#### 地质不确定性 geological uncertainty

由于探矿取样的密度很低，矿床中除取样部位之外的区域的品位都是未知的。

### 3.9

#### 地质最优开采体 geological optimal pushback

在最终境界内，如果一个采剥量为 $P$ 、满足工作帮坡角 $\beta$ 的开采区段，所含的有用矿物量是所有采剥量相同且都满足工作帮坡角的区段中的最大者，该区段称为对应于 $P$ 和 $\beta$ 的“地质最优开采体”。

### 3.10

#### 地质最优境界 geological optimal pit

如果一个采剥总量为 $V$ 、最终帮坡角为 $\{\beta\}$ 的境界所含有用矿物（或平均品位）是所有采剥总量为 $V$ 帮坡角为 $\{\beta\}$ 的境界中最大者，该境界称为对应于 $V$ 和 $\{\beta\}$ 的地质最优境界。

### 3.11

#### 浮锥排除法 moving cone exclusion method

构造一个锥面倾角等于露天矿最终帮坡角的锥体，通过在矿床数值模型中移动该锥体并计算落入锥体内的矿岩量和利润值，做出是否排除掉锥体内矿岩的决策。

### 3.12

#### 露天矿生产能力 production capacity of open-pit mine

每年采出的矿石量和剥离的废石量。

### 3.13

**露天矿开采顺序** open pit mining sequence

每年露天矿采场推进的位置或者说采剥的区段。

### 3.14

**露天矿开采寿命** open pit mining life

露天矿从开始生产一直到开采结束，总共需要的时间。

## 4. 总则

4.1 金属露天矿开采方案整体优化需要包括最终境界、生产能力、开采顺序、开采寿命、主体设备配置五大要素的整体优化。

4.2 在金属露天矿开采方案整体优化过程当中，不预先确定或优化任何一个要素，同时得出五大要素的最优解，也就是全局最优解，最大限度地实现总体效益最大化。

4.3 金属露天矿开采方案整体优化在需要优化的众多要素中，确定各种方案和众多参数，组成露天开采的大方案，做出科学的决策。

4.4 金属露天矿开采方案整体优化标准，具有专业化的专业队伍，保障标准持续运行。

4.5 根据企业运行的深度和广度及要求，进行单要素优化，也可多要素优化及整体优化，根据自身实际情况确定设计方案。

## 5. 露天开采概述

### 5.1 一般规定

在露天矿生产中，作业地点不断改变，呈现出时空动态性。因此，露天开采方案的优化设计必须符合其时空发展规律并满足某些约束条件。

### 5.2 露天开采设计参数及要求

5.2.1 在垂直方向上，将露天矿按台阶进行划分，台阶高度取决于矿山生产规模（即年生产能力）、与生产规模相适应的采掘设备规格及其作业参数，以及与所采矿种有关的对选别性的要求。金属矿的台阶高度一般为 10~15m。

5.2.2 最终境界是由拟开采的各个台阶推进到最终位置后构成的三维几何体，也是开采结束后的最终采场形态。最终境界在开采开始前就已设计好。

5.2.3 最终帮坡（或最终帮、非工作帮），一般由安全平台、清扫平台、并段、台阶坡面、运输坡道（也称运输坑线或斜坡道）组成。

5.2.4 设计准则是境界剥采比等于经济合理剥采比，其经济实质是境界的总盈利最大。

5.2.5 工作帮坡角也是露天矿生产中的一个重要参数，它影响到生产过程中生产剥采比随着时间的变化，进而影响总体经济效益。对于大多数金属露天矿，在满足安全生产条件下，应尽量提高工作帮坡角，以获得最大的投资收益率。

## 6. 最终境界优化

### 6.1 一般规定

6.1.1 需要针对境界优化相关参数做细致的数据挖掘、分析、整理甚至预测等准备工作，使它们的取值尽可能准确地反映所优化矿山及其技术经济条件的实际情况。

6.1.2 一些境界优化参数具有较高的不确定性，对境界的影响大；而境界设计又是一项关乎全局的重要工作。这就需要针对这些参数进行系统深入的境界分析，为最终方案的确定提供依据。

### 6.2 地表标高模型建立

6.2.1 把矿床在水平面的范围划分为二维模块形成的离散模型，模块的特征值是模块中心处的地表标高。

6.2.2 依据已知标高数据估算每一模块中心处的标高。

6.2.3 基于采场现状线和未采地表的地形等高线，应用标高模型的建立算法，建立矿区的地表标高模型。

### 6.3 矿体及块状品位模型

6.3.1 给矿床模型中每一个模块赋予一个或数个特征值（也称为属性）。

6.3.2 把矿床建模范围的三维空间用间距规则的一组水平面（X-Y 平面）、两组正交垂直平面（X-Z 和 Y-Z 平面）切割成大小相等的三维模块，根据已知钻孔数据信息采用距离反比法、克里金法等对每一个模块进行品位估值。

6.3.3 尽可能准确地把握和预测相关参数，并针对不确定性较高的参数的变化进行深入细致的境界分析。

## 7. 境界优化与边界品位

### 7.1 一般规定

7.1.1 边界品位的作用是在两种选择间做出最合理的决策：即采还是不采，或采出后作为矿石处理还是作为废石处理；决策的基本准则是经济准则，即在两种选择中选取经济效益最好者。

7.1.2 边界品位对最终境界的影响的大小取决于品位的统计分布特征（即分布密度函数）和空间分布特征。

## 7.2 露天矿边界品位的确定

7.2.1 境界优化中采用的边界品位的计算，以总利润最大为目标，进行计算。

7.2.2 对于可以不采的块段，边界品位是满足平衡条件“作为矿石开采的利润=不采的利润”的品位。

7.2.3 对于必须开采的块段，边界品位是满足平衡条件“采出后作为矿石处理的利润=作为废石排弃的利润”的品位。

7.2.4 露天矿在生产中的盈亏平衡品位按必须开采的块段情况计算。

7.2.5 锥体内的模块无论其品位高低，都是要按照必须开采考虑。

7.2.6 境界设计中的盈亏平衡品位按必须开采的块段情况计算。

## 8. 生产计划优化

### 8.1 一般规定

8.1.1 生产计划包括三个要素：生产能力、开采顺序和开采寿命。

8.1.2 生产计划优化就是确定每年开采多少矿石、剥离多少岩石最好（最佳生产能力），采、剥什么区段最好（最佳开采顺序），用多长时间将境界采完最好（最佳开采寿命）。优化中“最好”的标准是总净现值最大。

### 8.2 产生地质最优开采体序列

8.2.1 构建锥体排除法，应用这一算法，用户可以按需要控制地质最优开采体序列中相邻开采体之间的增量，消除缺口问题。

8.2.2 确定相邻开采体之间的增量。增量要足够小，一般而言，这一增量设置为合理年生产能力估值的  $1/10$  左右就可既有足够的分辨率又使不同生产能力之间的差别有实际意义。

### 8.3 可行计划路径

8.3.1 地质最优开采体序列中，每一个以最终境界结尾的子序列构成一个可能的开采计划（也称为一个计划路径）。不需要评价所有计划路径，因为许多路径明显不合理，不可能是最佳路径。

8.3.2 对于一个给定境界，根据可采储量和经验，可以确定一个比较合理的年生产能力范围。如果一条路径上所有年份的生产能力落入这一范围，这一路径被视为可行计划路径，在优化中予以评价；否则视为不可行路径而不予考虑。

8.3.3 最后一年不需要满足年矿石生产能力的下限，因为境界已定，在其他年份满足年生产能力范围的情况下，最后一年是剩余多少就开采多少。

#### 8.4 生产计划优化算法

8.4.1 建立计划路径经济评价数学模型。

8.4.2 建立地质最优开采动态排序（即计划路径的建构与评价）算法。

8.4.3 编程算法和数据结构应该统筹设计，以尽量提高程序运行效率。

8.4.5 针对相关参数的不确定性，尽可能全面地分析计划方案随参数的变化，为最终决策提供有价值的依据。

#### 9. 最终境界与生产计划的整体优化

##### 9.1 一般规定

9.1.1 把境界和生产计划作为一个整体进行优化，才能得到整体最佳方案。

9.1.2 最终境界、开采寿命、生产能力和开采顺序对一个露天开采项目的投资收益至关重要，是规划设计中需要确定的最重要的方案要素。

9.1.3 优化不仅需要分析当不确定性较高的参数取不同数值时优化结果出现的变化，而且需要能够理解和解释优化结果及其随某些参数的变化，能够评价优化结果的合理性并发现不合理之处及其产生的原因。

##### 9.2 地质最优境界

9.2.1 把一系列满足最终帮坡角要求、对应于不同矿量和岩量的地质最优境界作为候选境界，而不必考虑其他境界。

9.2.2 依据矿床探明储量预先设定系列中的最小和最大地质最优境界。

9.2.3 地质最优境界之间的增量也不必太小。

9.2.4 地质最优境界之间的矿石量增量取估计的合理年矿石生产能力甚至稍高，就可满足现实需要。

##### 9.3 产生地质最优境界序列

9.3.1 构建锥顶朝上、各方位的锥壳与水平面之间的夹角等于相反方位的最终帮坡角的锥壳模板。

9.3.2 基于一个比当前精矿价格或预测的最高精矿价格高许多的精矿价格（其他技术经济参数取当前估计值），优化出一个境界，作为地质最优境界序列中的最大境界。

9.3.3 从最大境界开始，通过构造锥体序列，逐步排除一系列平均品位最低的锥体，得到一个逐步缩小的地质最优境界序列。

9.3.4 不需要把每一个锥体都保存在锥体序列中，只保存足够的平均品位最低的那些锥体就可以了。

#### 9.4 境界与生产计划整体优化

9.4.1 以地质最优境界序列中的境界为候选境界，应用生产计划优化模型和算法，在这些候选境界内优化生产计划，就可得到境界和生产计划的整体最佳方案。

9.4.2 如果发现结果中的最佳境界是序列  $\{V^*\}_N$  中的最大境界  $V_N^*$ ，表明最优境界可能是一个比  $V_N^*$  更大的境界，需要逐台阶对比境界  $V_N^*$  和矿床块状模型，如果在境界  $V_N^*$  之外还有较大的储量，就应该在上一节地质最优境界序列产生算法中进一步提高精矿价格，得到一个更大的最大境界，并把原最大境界  $V_N^*$  作为最小境界，再产生一个地质最优境界序列，并对这一序列优化生产计划。

9.4.3 综合两次优化结果，确定整体最佳方案。

9.4.4 如果在原最大境界  $V_N^*$  之外矿量很少或没有矿量，表明整体最佳方案就是把矿床模型的全部（或几乎全部）矿量采出，没有必要考虑更大的境界了。

9.4.5 如果发现结果中的最佳境界是序列  $\{V^*\}_N$  中的最小境界  $V_1^*$ ，表明最优境界可能是一个比  $V_1^*$  更小的境界。这种情况下，就以原最小境界  $V_1^*$  作为新序列的最大境界，设定一个更小的最小境界矿石量  $Q_1^*$ ，再产生一个地质最优境界序列，并对这一序列优化生产计划。综合两次优化结果，确定整体最佳方案。

9.4.6 出现上述情形之一，也有可能是输入数据有误或是取值太不合理所致。所以应该首先仔细检查输入数据，而后采取相应的措施。

### 10. 开采设计要素与设备配置的整体优化

#### 10.1 一般规定

将金属矿露天开采的主体设备配置和设计规划要素（生产能力、开采顺序、开采寿命）作为一个整体进行优化。

10.2 单台开采设备的经济寿命与次序更新策略。

10.2.1 结合现场调研和数据收集，确定开采设备的作业效率和运营成本与服役时间（役龄）的关系，据此计算一台设备的经济寿命及其次序更新策略问题。

10.2.2 计算设备“静态经济寿命”和“动态经济寿命”。

- 10.2.3 对单台设备进行动态规划优化，获得更新策略。
- 10.2.4 设计求解算法，开发“经济寿命计算和单台设备次序更新策略优化”模块。
- 10.3 剥离计划与设备配置同时优化。
  - 10.3.1 依据问题的性质与特点，建立剥离作业量计划与设备配置同时优化的一般数学模型。
  - 10.3.2 用临近域离散搜索法和设备配置规则，解决这一在巨量的可能组合中求解最佳组合的多时段剥离计划与设备配置优化难题。
  - 10.3.3 应用实际矿山的地质数据，对算法进行合理性检验和求解效率评价，形成最终算法和软件模块。
- 10.4 露天矿开采计划要素与开采设备配置的整体优化。
  - 10.4.1 把不同开采计划导致的采场状态（大小、形态和位置）转化为一系列满足工作帮坡角要求的地质最优开采体。
  - 10.4.2 在境界中产生一个增量足够小且满足工作帮坡角要求的地质最优开采体序列，其中的任何一个以最终境界结束的子序列都组成一个可能的开采计划方案。
  - 10.4.3 建立对不同的地质最优开采体子序列进行设备配置和经济评价的数学模型和算法。
  - 10.4.4 为不同的地质最优开采体子序列配置开采设备并进行经济评价，得出总净现值最大的子序列及其配套的设备配置，从而得出开采计划要素与设备配置的整体最佳方案。
- 10.5 露天矿最终境界、开采计划要素和开采设备配置的整体优化
  - 10.5.1 以有限的地质最优境界作为境界这一决策变量的求解域。
  - 10.5.2 产生一个满足最终帮坡角要求的地质最优境界序列。
  - 10.5.3 针对序列中的每一个境界，应用上述开采计划要素与开采设备配置的整体优化模型和算法，优化境界的开采计划要素与设备配置并得出境界的总净现值。
  - 10.5.4 在境界序列中找出总净现值最大者，该境界及与之配套的最佳开采计划要素与设备配置一起构成了最佳整体方案。

## 附录A

(规范性附录)  
矿山优化设计等级表

等级	等级阶段	描述
一级	单要素优化	最终境界、生产计划、设备配置等各要素单独优化；建立各单独要素优化原理、模型及算法。
二级	多要素优化	最终境界与生产计划同时优化；剥离计划与设备配置同时优化；露天矿开采计划要素与开采设备配置的整体优化；建立多要素同时优化原理、模型及算法。
三级	整体优化	露天矿最终境界、开采计划要素和开采设备配置的整体优化；建立整体优化原理、模型及算法。