

团体标准  
《金属露天矿开采方案整体优化设计规范》  
编制说明

2024 年 3 月  
标准编制小组

# 《金属露天矿开采方案整体优化设计规范》 编制说明

## 一、标准制定的必要性

新时代全球矿业发展将全面进入“绿色、低碳、智能、安全、高效”的全新历史阶段。露天开采是我国矿产资源开采的重要方式，为解决我国露天开采面临的开采设计无法全要素整体优化、矿产资源综合利用效率低等迫切问题，规范露天矿设计优化方法，大力发展露天矿多要素整体开采优化技术，革新露天开采设计及生产模式，提高矿山整体经济效益。

在露天矿的规划设计实践中，传统的做法是：先设计境界并确定生产能力，然后编制采剥进度计划来确定每年的采、剥位置并进行生产剥采比均衡，最后给出满足采剥计划的设备配置（不考虑设备生产能力和运营成本随役龄的变化）。境界、生产能力、开采顺序、开采寿命和设备配置五要素之间的设计是独立进行的。然而，研究表明这五大要素是相互作用的，独立的分别设计得不到全局最优方案。

鉴于此，该标准从经济效益最大化出发，兼顾资源综合利用效率，形成了露天矿多要素整体优化规范，为我国露天矿精准、高效开采和评价提供依据。

## 二、标准编制原则及依据

1、按照 GB/T 1.1—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》要求进行编写。

2、参照相关法律、法规和规定，在编制过程中着重考虑了科学性、适用性和可操作性。

## 三、项目背景及工作情况

### （一）任务来源

根据《中国国际科技促进会标准化工作委员会团体标准管理办法》的有关规定，经中国国际科技促进会标准化工作委员会及相关专家技术审核，批准《金属露天矿开采方案整体优化设计规范》团体标准制定计划，计划编号为：CI2023477。本标准由东北大学提出，中国国际科技促进会归口。

根据计划要求，本标准完成时限为6个月。

## （二）标准起草单位

本标准的主要起草单位是东北大学、负责标准文档起草及相关文件的编制等。顾晓薇、胥孝川、王青、起草，负责标准中重要技术点的研究和建议，并参与标准内容的讨论。

## （三）标准研制过程及相关工作计划

### 1) 前期准备提工作

项目立项前，标准编制小组查阅、研读相关国内外文献，广泛收露天矿集境界优化、计划优化、生产能力优化、开采顺序优化等相关材料。同时，多次开展算法构建及程序编写，并与该行业相关人员进行调研、交流，广泛征求标准制定方面的意见和建议。

### 2) 标准起草过程

2023年11月16日由中国国际科技促进会标准化工作委员会向国家标准委全国标准服务平台提交立项，立项编号为：CI2023477，并向全社会公示了十五日。

2023年12月9日由东北大学以视频形式组织了第一次起草会议，分析了金属露天矿多要素整体优化技术的市场需求、现有技术水平、环保要求等，以确保标准的实用性和前瞻性；讨论并确定标准的主要内容和章节安排，如程序调试、算法建立、鲁棒性检测等；根据标准的框架，将不同章节或部分的起草工作分配给具有相关专业知识的组员，为每个分工明确编制详细的任务书，包括起草内容、完成时间节点、所需资料和参考标准等。

2023年12月20日组织了第二次起草会议，确定下了标准内容的草案；

2024年1月10日将标准草案提交中国国际科技促进标准化工作委员会，通过审核，于3月报送了全国标准平台，并向全社会公开征求意见30日。

### 3) 征求意见情况

标准编制小组先后通过现场会议、电话、微信等多种形式征集行业专家相关意见和建议。针对征集的意见，标准编制小组召开了研讨会，将收集到的意见进行汇总处理分析，在充分吸纳合理意见的基础上，先后修改和完成标准内容，于2024年3月根据在各单位反馈意见基础上，形成了标准征求意见稿并由中国国际科技促进会提交全国标准信息平台公示。

#### (四) 主要试验（或验证）情况分析

某露天矿的地表地形等高线如图 1 所示，据此建立了地表标高块状模型，模块为边长等于 15m 的正方形。基于矿岩界线分层平面图，建立了块状矿床模型，模块的水平边长为 15m，垂直边长等于该矿采用的台阶高度，也为 15m；75m 水平的块状矿床模型如图 2 所示，充填的紫色模块为矿体模块；该矿矿体的平均品位为 25%，边界品位为 20%。

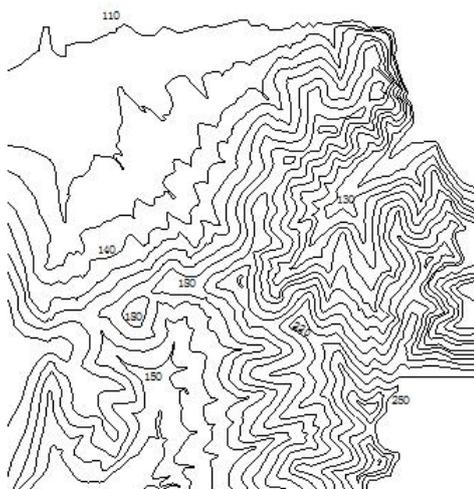


图 1 矿区地表地形等高线

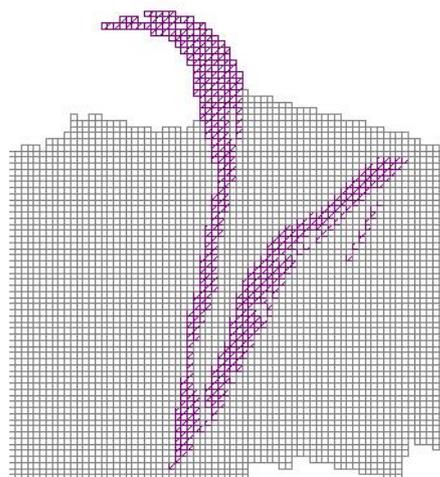


图 2 75m 水平的块状矿床模型

基于该矿山地表标高模型和块状矿床模型，应用整体优化算法对该矿的境界、开采计划要素和设备配置进行优化。

首先需要产生地质最优境界序列。序列中最小境界的矿石量设定为  $Q_1=4500$  万吨，相邻境界之间的矿石量增量取  $\Delta Q=500$  万吨，共产生了 10 个境界，其矿岩量如表 1 所示，表中数据是计入开采中矿石损失和废石混入后的矿岩量。从表中的数据可以看出：

(1) 相邻境界之间的矿石增量与设定值（500）基本相等，说明地质最优境界序列的产生算法可以很好地控制境界增量。

(2) 表中的“境界平均剥采比”等于境界内的废石量与矿石量之比，它随境界的增大而增加。这是矿体有露头（或其顶部接近地表）且矿体形态较稳定的条件下的一般规律，本例中的矿体正是如此。这从一个角度说明：每个境界都是在保持其大小不变的条件下尽量缩小剥采比的结果；由于本例中矿体的品位很稳定，这也就等于说，每个境界都是尽量增大金属量、尽量靠近严格意义上的地质最优境界的结果。

表 1 地质最优境界序列的矿岩量

境界 序号	矿量 /10 <sup>4</sup> t	废石量 /10 <sup>4</sup> t	境界平均 剥采比/t:t	矿石增量 /10 <sup>4</sup> t	废石增量 /10 <sup>4</sup> t	增量剥采比 /t:t
1	4570.5	4968.7	1.087			
2	5076.9	6051.5	1.192	506.4	1082.8	2.138
3	5584.3	7313.5	1.310	507.4	1262.0	2.487
4	6093.8	8794.3	1.443	509.5	1480.8	2.906
5	6599.1	10367.3	1.571	505.3	1573.0	3.113
6	7105.5	12251.2	1.724	506.4	1883.9	3.720
7	7611.7	14399.4	1.892	506.2	2148.2	4.244
8	8118.1	17056.4	2.101	506.4	2657.0	5.247
9	8624.5	21033.7	2.439	506.4	3977.3	7.854
10	9134.5	25660.2	2.809	510.0	4626.5	9.072

(3) 表中的“增量剥采比”是相邻境界之间的废石增量与矿石增量之比，它随境界的增大而上升，而且比相应的境界平均剥采比大得多；尤其是对于序列中最后几个大境界，增量剥采比是相应的境界平均剥采比的近三倍或更高。境界  $j$  与境界  $j+1$  之间的增量，就是算法中产生境界  $j$  时从境界  $j+1$  中排除的那部分；这部分的剥采比比境界  $j$  和境界  $j+1$  的平均剥采比都大许多，说明排除的部分确实含金属量很低，虽然是近似算法，不能保证这部分是同样大小的增量中含金属量最低的那个，但其金属量也是很接近最低金属量的。这也从另一个角度表明，应用这一算法得到的境界序列应该很接近严格意义上的地质最优境界序列。

有了地质最优境界序列，就可进行境界、开采计划要素与设备配置的整体优化。首先在境界序列中的每个境界内，按  $17^\circ$  的工作帮坡角和 50 万吨的矿石量增量，产生地质最优开采体序列，然后优化每个境界的开采计划要素和设备配置。优化中开采设备考虑了卡车和电铲，备选卡车考虑了载重量为 60t、100t 和 154t 三种型号，其新车价格、年闲置成本、年有效生产能力、年运营成本和残值随役龄的变化数据见前面表 2，其静态经济寿命分别为 4、4、5 年，按 8% 折现率和 0 成本上升率计算的动态经济寿命分别为 8、9、12 年，优化中这三个型号卡车的 longest 服役期限分别设置为 6、6、7 年。

表2 三种型号卡车的生产能力和成本数据

役龄	M60	M100	M154
	新车价格: $4.5 \times 10^6$ ¥	新车价格: $8.0 \times 10^6$ ¥	新车价格: $14.0 \times 10^6$ ¥
	年闲置成本: $1.25 \times 10^6$ ¥	年闲置成本: $2.15 \times 10^6$ ¥	年闲置成本: $3.66 \times 10^6$ ¥

	有效生 产能力 /(Mt·km)·a <sup>-1</sup>	运营 成本 /10 <sup>6</sup> ¥·a <sup>-1</sup>	残值 /10 <sup>6</sup> ¥	有效生 产能力 /(Mt·km)·a <sup>-1</sup>	运营 成本 /10 <sup>6</sup> ¥·a <sup>-1</sup>	残值 /10 <sup>6</sup> ¥	有效生 产能力 /(Mt·km)·a <sup>-1</sup>	运营 成本 /10 <sup>6</sup> ¥·a <sup>-1</sup>	残值 /10 <sup>6</sup> ¥
0	1.60	3.36		3.00	5.85		4.50	8.10	
1	1.57	3.45	2.92	2.94	6.01	5.20	4.40	8.17	9.10
2	1.51	3.47	2.02	2.84	6.03	3.60	4.26	8.36	6.30
3	1.46	3.50	1.35	2.74	6.10	2.40	4.12	8.52	4.20
4	1.38	3.62	0.68	2.61	6.37	1.20	3.88	8.65	2.10
5	1.28	3.75	0.23	2.42	6.75	0.40	3.64	8.84	0.70
6	1.19	4.38	0.00	2.26	7.18	0.00	3.40	9.18	0.00
7	1.11	4.76	0.00	2.10	7.69	0.00	3.21	9.53	0.00
8	1.02	5.04	0.00	1.94	8.19	0.00	3.02	10.31	0.00
9	0.94	5.31	0.00	1.81	8.70	0.00	2.82	11.03	0.00
10	0.85	5.36	0.00	1.68	8.83	0.00	2.59	11.63	0.00
11				1.58	8.94	0.00	2.44	12.09	0.00
12				1.52	9.17	0.00	2.35	12.67	0.00
13							2.25	13.57	0.00
14							2.20	14.47	0.00
15							2.11	15.17	0.00

备选电铲考虑了 8m<sup>3</sup> 和 10 m<sup>3</sup> 两种型号，其新铲价格、年闲置成本、年有效生产能力、年运营成本和残值随役龄的变化数据见前面表 3，其静态经济寿命分别为 10 和 11 年，按 8%折现率和 0 成本上升率计算的动态经济寿命均为 20 年，优化中这两个型号电铲的最长服役期限分别设置为 13 和 14 年。

表3 两种型号电铲的生产能力和成本数据

役 龄	S8 新车价格: 11.3×10 <sup>6</sup> ¥ 年闲置成本: 2.96×10 <sup>6</sup> ¥			S10 新车价格: 18.85×10 <sup>6</sup> ¥ 年闲置成本: 4.85×10 <sup>6</sup> ¥		
	有效生 产能力 /Mt·a <sup>-1</sup>	运营 成本 /10 <sup>6</sup> ¥·a <sup>-1</sup>	残值 /10 <sup>6</sup> ¥	有效生 产能力 /Mt·a <sup>-1</sup>	运营 成本 /10 <sup>6</sup> ¥·a <sup>-1</sup>	残值 /10 <sup>6</sup> ¥
	0	2.66	1.36		3.80	1.70
1	2.63	1.36	7.35	3.75	1.70	12.25
2	2.59	1.39	5.08	3.70	1.74	8.48
3	2.52	1.44	3.95	3.60	1.80	6.60
4	2.45	1.54	2.83	3.50	1.92	4.71
5	2.38	1.71	1.70	3.40	2.14	2.83
6	2.31	1.93	1.13	3.30	2.41	1.88
7	2.24	2.20	0.56	3.20	2.75	0.94
8	2.17	2.35	0.00	3.10	2.94	0.00
9	2.10	2.52	0.00	3.00	3.15	0.00
10	2.02	2.65	0.00	2.88	3.31	0.00
11	1.93	2.75	0.00	2.75	3.44	0.00
12	1.82	2.83	0.00	2.60	3.54	0.00
13	1.70	2.90	0.00	2.43	3.62	0.00

表3 两种型号电铲的生产能力和成本数据

役龄	S8			S10		
	新车价格: 11.3×10 <sup>6</sup> ¥			新车价格: 18.85×10 <sup>6</sup> ¥		
	年闲置成本: 2.96×10 <sup>6</sup> ¥			年闲置成本: 4.85×10 <sup>6</sup> ¥		
	有效生产能力 /Mt·a <sup>-1</sup>	运营成本 /10 <sup>6</sup> ¥·a <sup>-1</sup>	残值 /10 <sup>6</sup> ¥	有效生产能力 /Mt·a <sup>-1</sup>	运营成本 /10 <sup>6</sup> ¥·a <sup>-1</sup>	残值 /10 <sup>6</sup> ¥
14	1.58	2.96	0.00	2.25	3.70	0.00
15	1.44	3.02	0.00	2.05	3.77	0.00
16	1.31	3.08	0.00	1.87	3.85	0.00
17	1.19	3.20	0.00	1.70	4.00	0.00
18	1.09	3.32	0.00	1.55	4.15	0.00
19	0.95	3.44	0.00	1.35	4.30	0.00
20	0.80	3.60	0.00	1.10	4.50	0.00

优化开始时（时间 0 点）已有的起始卡车和电铲见前面表 4。

表4 已有起始卡车和电铲

型号	M60			M100		M154	S8	S10
役龄/a	2	7	4	2	4	4	6	10
台数	2	1	2	1	1	1	1	1

优化中用到的其他技术经济参数见前面表 5。

表 5 技术经济参数

参数	矿石回采率/%	废石混入率/%	废石品位/%	选矿回收率/%
取值	95	6	0	84
参数	精矿品位/%	选矿成本/¥·a <sup>-1</sup>	精矿售价/¥·t <sup>-1</sup>	折现率/%
取值	65	100	700	8

表 6 是精矿价格为 700 元/吨时优化结果中各境界的主要指标。

表 6 各境界优化结果的主要指标（精矿价格=700¥·t<sup>-1</sup>）

境界序号	矿石生产能力 /10 <sup>4</sup> t·a <sup>-1</sup>	开采寿命 /a	总净现值 /10 <sup>4</sup> ¥	总净现值比前一境界变化/%	总净现值比最佳境界变化/%
1	405.5~408.7	11.68	139518.7		-34.18
2	403.7~407.4	12.84	154815.1	10.96	-26.96
3	455.7~457.5	12.59	168344.2	8.74	-20.58
4	456.3~509.1 <sup>①</sup>	12.54	172566.4	2.51	-18.59
5	456.6~509.5 <sup>②</sup>	13.50	185211.7	7.33	-12.62
6	506.8~508.3	14.00	200362.5	8.18	-5.47
7	558.3~610.1 <sup>③</sup>	12.90	208406.0	4.01	-1.68
<b>8</b>	<b>609.1~660.6<sup>④</sup></b>	<b>12.82</b>	<b>211966.9</b>	1.71	0.00
9	704.0~711.8	12.73	202627.8	-4.41	-4.41
10	710.7~762.7 <sup>⑤</sup>	12.91	196598.6	-2.98	-7.25

- ① 只有一年为 456.3, 其余各年均为略高于 500; ② 只有一年为 456.6, 其余各年均为略高于 500;  
 ③ 只有一年为 558.3, 其余各年均为略高于 600; ④ 只有一年为 609.1, 其余各年均为略高于 650;  
 ⑤ 只有一年为 710.7, 其余各年均为略高于 750。

从表 6 可以看出, 总净现值随着境界的增大先是单调上升, 上升幅度基本上呈减小趋势; 达到境界 8 的峰值后单调下降, 而且呈加速下降趋势。境界 8 所对应的方案虽然在 10 个境界中是总净现值最高者, 但它可能不是真正的最优方案。从总净现值随境界的变化趋势可以预测: 真正的最优方案应该在境界 7 和境界 8 之间。我们可以把境界 7 作为最小境界、境界 8 作为最大境界, 设定更小的境界增量, 产生一个新的地质最优境界序列进行优化, 找出更好的方案。不过, 对于本例而言, 这样做没有必要; 因为境界 7 和境界 8 所对应的两个方案的总净现值之间相差已经很小 (1.68%), 它们之间的最优方案的总净现值也不会有不可忽视的增加。

可见, 在给定的技术经济条件下, 该矿的整体最佳方案由境界 8 及其最佳开采计划和设备配置组成, 其最佳开采计划见表 7。最佳方案的年矿石生产能力, 除第 5 年为 609 万吨外, 其他各年 (最后一年除外, 因为最后一年是剩余多少采多少) 均约为 660 万吨/年。优化解的矿石生产能力如此稳定, 是因为考虑了选厂“吃不饱”时剩余能力的闲置成本, 使那些矿石生产能力波动大和波动次数多的计划路径, 由于闲置成本高而不能成为最佳路径, 所以选厂的闲置成本发挥了生产能力稳定器的作用; 开采设备的闲置成本对矿石生产能力和生产剥采比均有一定的稳定作用, 其作用原理与选厂的闲置能力相同。最佳方案的开采寿命为 12.8 年 (按照第 13 年的采剥量和所配置的设备的生产能力, 0.8 年就开采完毕)。根据这一优化结果, 该矿可以考虑按 650 万吨/年的矿石生产能力设计。表中第 11、12、13 年的年初成本为负值, 是因为这三年均没有新设备投入, 并且退役了若干台具有残值的旧设备, 负值即处理旧设备获得的残值收入。

表 7 整体最佳方案的开采计划与现金流 (精矿价格=700 元·t<sup>-1</sup>)

年	开采体 序号	采出矿 量/10 <sup>4</sup> t	剥离废石 量/10 <sup>4</sup> t	精矿产 量/10 <sup>4</sup> t	精矿销售 额/10 <sup>4</sup> 元	年初成本 /10 <sup>4</sup> 元	年末成本 /10 <sup>4</sup> 元	当年净现 值/10 <sup>4</sup> 元
1	13	655.2	876.7	199.0	139288.5	200705.0 <sup>①</sup>	75042.6	-141218.1
2	26	660.1	1050.4	200.5	140329.0	3330.0	77308.0	50947.0
3	39	660.6	1491.6	200.6	140432.3	8285.0	80640.1	40361.9
4	52	659.5	1557.9	200.3	140191.1	3930.0	81820.1	39784.7
5	64	609.1	2021.1	185.0	129477.9	10465.0	79985.4	25991.6

6	77	660.3	1619.7	200.5	140379.0	0.0	84500.2	35213.1
7	90	659.8	1311.1	200.4	140254.7	0.0	84229.9	32690.0
8	103	659.8	1470.8	200.4	140268.5	3250.0	85381.0	27757.7
9	116	659.6	2009.9	200.3	140210.2	16685.0	88577.7	16814.7
10	129	659.9	1950.6	200.4	140291.5	5577.0	88442.5	21226.2
11	142	660.3	872.0	200.5	140378.9	-1335.0	78984.4	26949.4
12	155	660.5	631.5	200.6	140412.8	-420.0	77713.5	25078.9
13	160	253.4	193.2	76.9	53861.9	-1680.0	27834.0	10369.6
合计		8118.1	17056.4	2465.4	1725776.5	248792.0	1010459.4	211966.9

① 包括选厂投资 185250.0 万元（选厂处理能力为 661 t·a<sup>-1</sup>）

整体最佳方案的卡车和电铲配置计划分别如图 3 和图 4 所示。可以看出如下特点：

（1）在开采寿命期内购置的新卡车中，绝大多数是 M154；购置的新电铲中，绝大多数是 S10。这是因为在优化中选择了“静态经济寿命期的单位折现成本最低者优先”作为新设备的选型规则，而在三个备选卡车型号和二个备选电铲型号中，M154 和 S10 的静态经济寿命期的单位折现成本最低。在少数年份也购置了少量小规格卡车（M60 或 M100）和电铲（S8），这是因为在这些年份全部购置 M154 和 S10 会导致较高的剩余能力，而剩余能力产生闲置成本。

（2）卡车和电铲闲置的情形很少。只在三个年份出现了闲置卡车，一年内同时闲置的卡车数量只有 1~3 台，同一台卡车闲置的时间也只有一年；电铲闲置的情形更少，只有一台电铲闲置了一年。因为设备闲置一年有较高的成本，尽可能避免出现多台设备同时闲置或同一台设备长时间闲置的情形，是优化的应有之意，也是实践中所希望的。

（3）绝大多数卡车和电铲的服役寿命都接近或略大于其静态经济寿命，说明既实现了设备使用价值的较充分利用，又避免了高役龄设备的高运营成本。

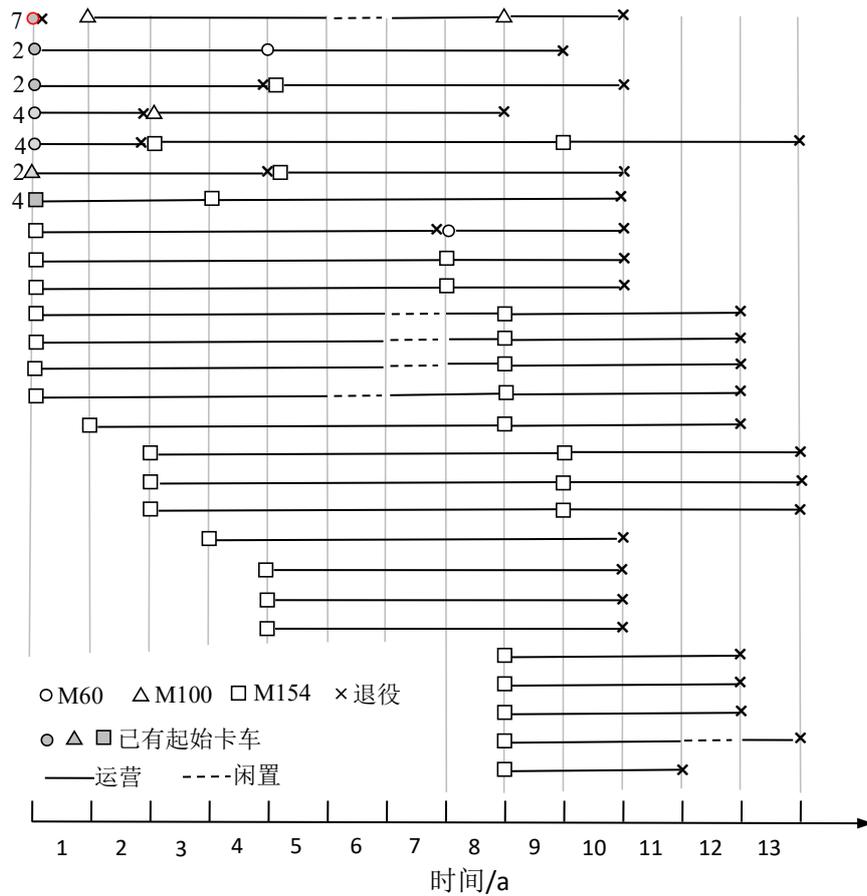


图3 整体最佳方案的卡车配置计划（精矿价格=700Y·t<sup>-1</sup>）

整体最佳方案各年的运营卡车台数和运营电铲台数如图5所示。车铲比在2.33~2.89之间，比较稳定，有利于生产中的卡车调度。

以上分析与讨论说明，优化结果就给定的技术经济条件而言是合理的，验证了优化原理的合理性和算法的正确性。

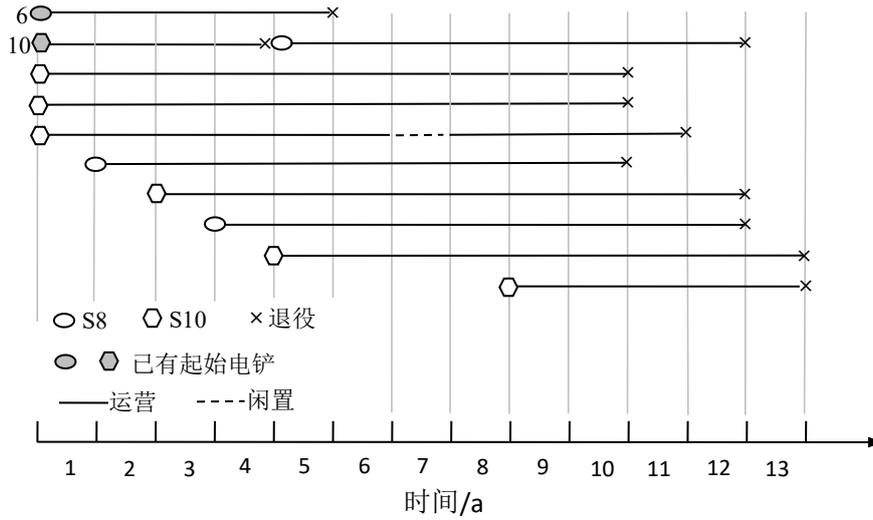


图4 整体最佳方案的电铲配置计划 (精矿价格=700¥·t<sup>-1</sup>)

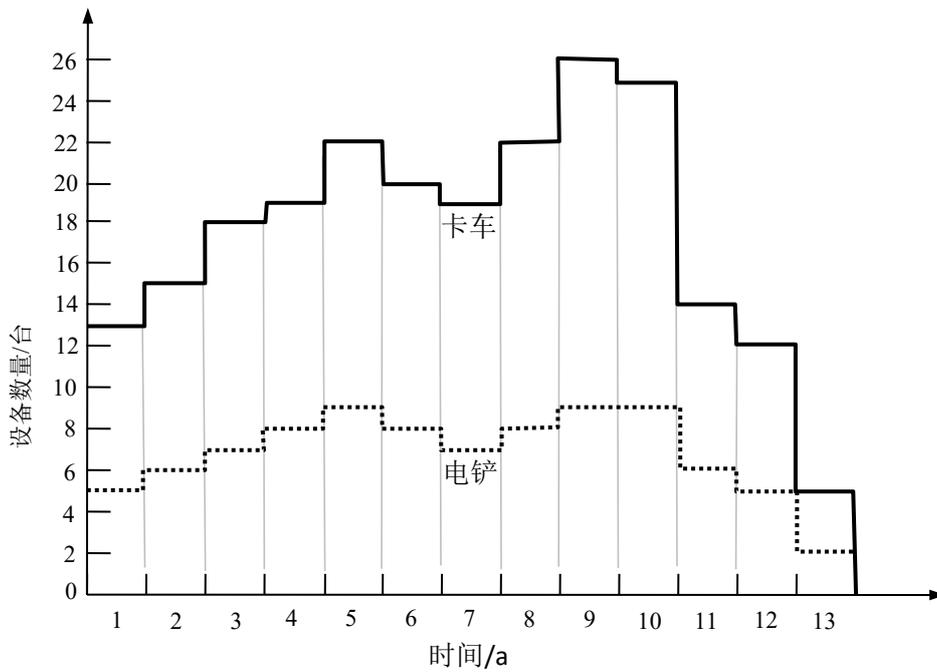


图5 整体最佳方案的运营卡车与电铲数量 (精矿价格=700¥·t<sup>-1</sup>)

整体最佳方案的境界等高线如图 6 所示。表 7 中的“开采体序号”列指明了整体最佳方案的开采顺序 (即每年末推进到的开采体所代表的采场形态), 其中第 5 年和第 10 年末的采场形态等高线分别如图 7 和图 8 所示。可见, 所提出的优化方法确实实现了境界、开采计划要素 (表 7 中每年的采矿量、剥离量、开采顺序和开采寿命) 与设备配置的整体优化。

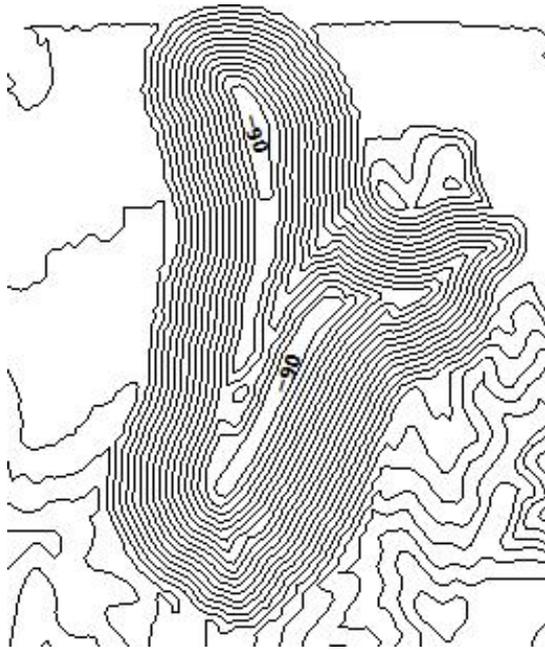


图6 最终境界（境界8）等高线

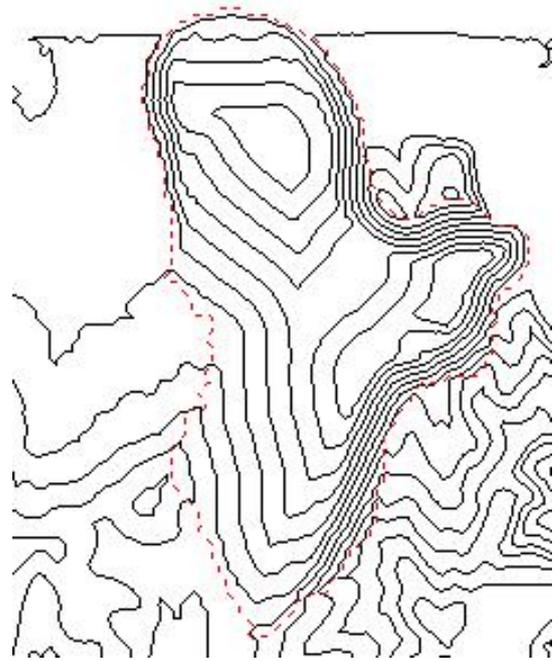


图7 第5年末采场形态（开采体64）等高线

以上是对给定技术经济条件下的优化结果的分析评价。一般而言，当相关技术经济条件发生变化且达到一定的变化幅度时，整体最佳方案也随之变化；整体最佳方案是否朝着预期的方向变化，是对优化方法是否正确有效检验。在相关技术经济参数中，最易发生变化的是精矿价格。当精矿价格的降低幅度达到一定程度而其他条件不变时，同一矿山的设计方案的预期变化方向是规模变小：一是境界比价格降低前缩小；二是生产规模（年矿石生产能力和剥离量）比价格降低前下降。下面把精矿价格从上述优化中的700元/吨降低到600元/吨，保持其他所有参数不变，进行重新优化，来分析整体最佳方案的变化是否与预期变化方向一致。

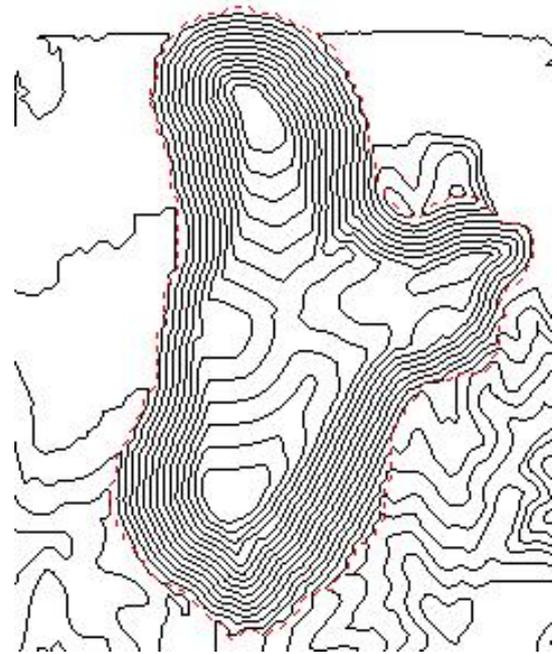


图8 第10年末采场形态（开采体129）等高线

精矿价格为600元/吨（其他条件不变）时，优化结果中各境界的主要指标如表8所示，整体最佳方案的开采计划与现金流如表9所示。把表8和表9分别与精矿价格为700元/吨时的表6和表7比较，可以看出：

表 8 各境界优化结果的主要指标 (精矿价格=600 元·t<sup>-1</sup>)

境界序号	矿石生产能力 /10 <sup>4</sup> t·a <sup>-1</sup>	开采寿命 /a	总净现值 /10 <sup>4</sup> 元	总净现值比前一境界变化/%	总净现值比最佳境界变化/%
1	303.9~307.2	15.00	55469.8		-25.37
2	352.9~356.3	14.79	60036.7	8.23	-19.23
3	354.3~356.0	15.96	66451.7	10.69	-10.60
4	354.9~407.7 <sup>①</sup>	15.60	61248.6	-7.83	-17.60
5	405.6~408.0	16.70	70436.4	15.00	-5.23
6	456.2~457.3	16.00	74085.8	5.18	-0.32
7	<b>506.0~508.8</b>	<b>15.00</b>	<b>74326.9</b>	0.33	0.00
8	451.6~457.5	17.87	71351.0	-4.00	-4.00
9	399.4~407.4	21.73	58462.3	-18.06	-21.34
10	354.9~406.9 <sup>②</sup>	22.94	50689.0	-13.30	-31.80

① 只有一年为 354.9, 其余各年均略高于 400;

② 只有三年为约 350, 其余各年均略高于 400。

表 9 整体最佳方案的开采计划与现金流 (精矿价格=600 元·t<sup>-1</sup>)

年	开采体序号	采出矿量/10 <sup>4</sup> t	剥离废石量/10 <sup>4</sup> t	精矿产量/10 <sup>4</sup> t	精矿销售额/10 <sup>4</sup> 元	年初成本 /10 <sup>4</sup> 元	年末成本 /10 <sup>4</sup> 元	当年净现值/10 <sup>4</sup> 元
1	10	506.0	651.8	153.7	92197.6	157420.0 <sup>①</sup>	58072.3	-125822.5
2	20	508.3	729.3	154.4	92621.3	1400.0	59129.2	27417.9
3	30	508.8	902.3	154.5	92715.7	4685.0	60738.6	21367.8
4	40	506.9	1170.8	153.9	92359.7	6535.0	62689.2	16621.0
5	50	507.5	1041.2	154.1	92478.7	1400.0	62286.3	19519.3
6	60	507.0	1468.4	154.0	92381.5	7485.0	65949.5	11562.5
7	70	507.6	1605.8	154.1	92487.3	3600.0	67839.3	12113.3
8	80	507.5	932.0	154.1	92482.6	0.0	63000.0	15928.5
9	90	507.4	945.3	154.1	92455.6	0.0	63876.2	14296.8
10	100	508.0	1010.0	154.3	92563.6	4200.0	64298.3	10991.3
11	110	507.8	1075.0	154.2	92527.7	6730.0	64804.5	8772.7
12	120	507.7	940.4	154.2	92517.3	450.0	64627.8	10882.3
13	130	507.0	836.0	154.0	92384.6	4200.0	62618.0	9277.2
14	140	506.9	668.5	153.9	92368.0	800.0	61513.5	10210.6
15	150	507.2	422.8	154.0	92421.7	-140.0	57161.9	11188.2
合计		7611.7	14399.4	2311.6	1386963.1	198765.0	938604.7	74326.9

① 包括选厂投资 147250.0 万元 (选厂处理能力为 509 t·a<sup>-1</sup>)

(1) 精矿价格从 700 元/吨下降为 600 元/吨, 所有境界的最佳生产能力都降低了, 年矿石生产能力的降低幅度为 10%~47%。

(2) 最佳境界从境界 8 缩小为境界 7, 整体最佳方案的矿石生产能力从约 650 万吨/年下降到约 500 万吨/年, 开采寿命从约 13 年延长到 15 年。

(3) 精矿价格为 700 元/吨时, 就境界序列中的 10 个境界而言, 最佳生产能

力随境界的增大是分段单调上升的，从境界 1 的约 400 万吨/年上升到境界 10 的约 750 万吨/年。精矿价格为 600 元/吨时，最佳生产能力随境界的增大却是先上升后下降，从境界 1 的约 300 万吨/年上升到境界 7 的约 500 万吨/年，而后再下降到境界 10 的约 400 万吨/年。这是由于：最大的那几个境界（境界 8、9 和 10）的剥采比高，在精矿价格较低条件下，较高的生产能力导致单位精矿产量的剥离成本大幅增加且剥离高峰提前，剥离成本现值的增加与选厂投资的增加一起，会超过较高生产能力带来的销售收入的现值的增加；而采用较低的生产能力可以降低生产剥采比（尤其是前期剥采比）、推迟剥离高峰并降低选厂投资，实现更高的净现值。精矿价格为 600 元/吨时的整体最佳方案的卡车配置计划和电铲配置计划，以及卡车和电铲数量，分别如图 9、图 10 和图 11 所示。

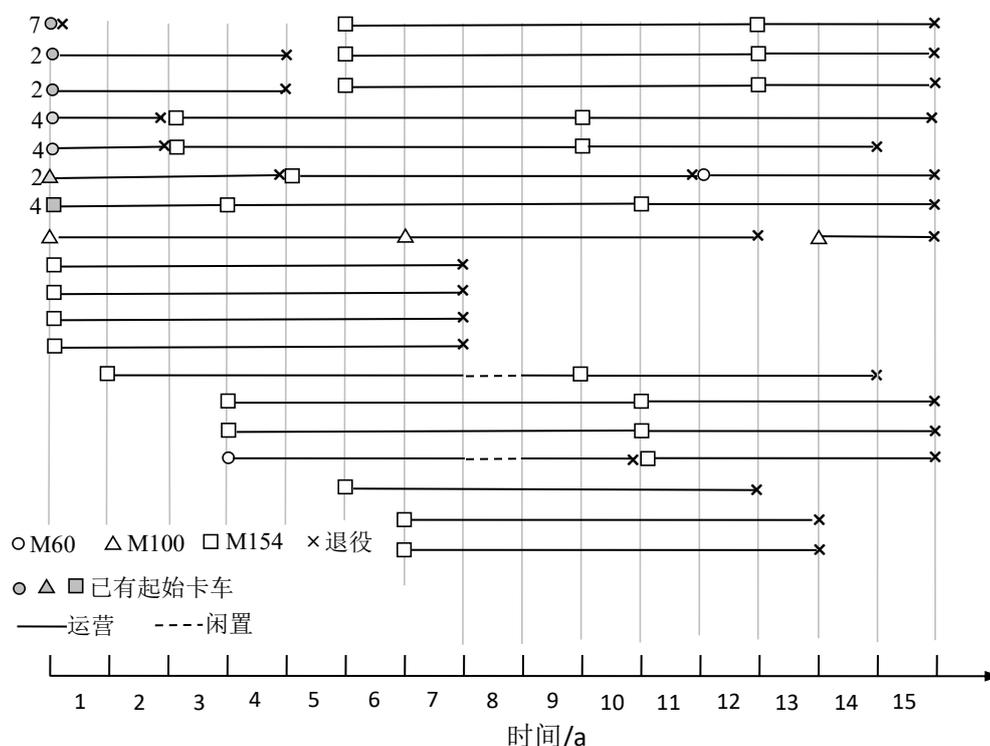


图 9 整体最佳方案的卡车配置计划（精矿价格=600 ¥·t<sup>-1</sup>）

与精矿价格为 700 元/吨时的设备配置计划（图 3 和图 4）相比，精矿价格为 600 元/吨的卡车与电铲的数量减少了，这是由于最佳计划的生产能力降低了；两种设备的数量随时间的波动也降低了，这是由于最佳计划的剥离峰值降低了。

整体最佳方案的总净现值对精矿价格的灵敏度很高，精矿价格从 700 元/吨降低为 600 元/吨，降低了 14.3%，导致总净现值从 21.2 亿元降低到 7.4 亿元，降低

了 65.1%。

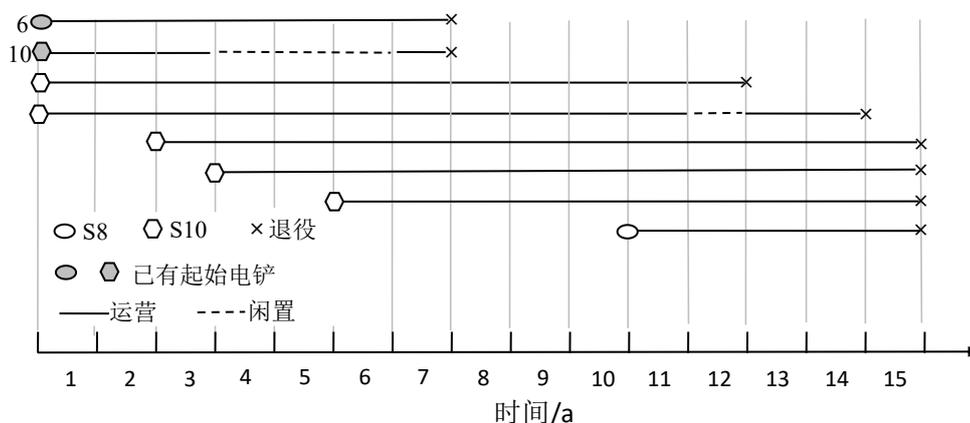


图 10 整体最佳方案的电铲配置计划（精矿价格=600¥·t<sup>-1</sup>）

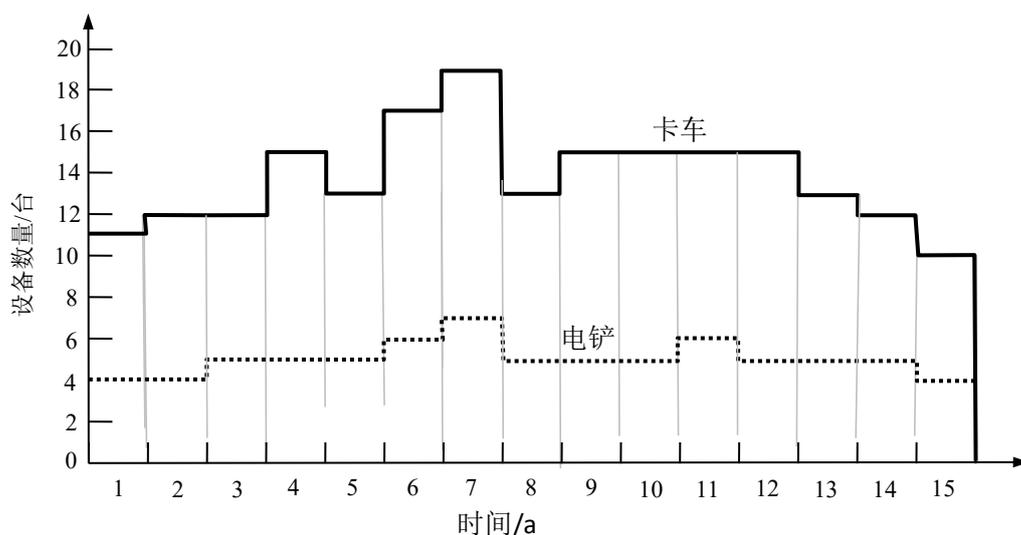


图 11 整体最佳计划方案的卡车与电铲数量（精矿价格=600¥·t<sup>-1</sup>）

#### 四、标准制定的基本原则

标准编制过程中，遵循了以下基本原则：

- 1、标准需要具有行业特点，指标及其对应的分析方法要积极参照采用国家标准和行业标准。
- 2、标准能够体现出产品的具有关键共性的技术要素。
- 3、标准能够为产品的开发、改进指出明确的方向。
- 4、标准需要具有科学性、先进性和可操作性。

- 5、要能够结合行业实际情况和产品特点。
- 6、与相关标准法规协调一致。
- 7、促进行业健康发展与技术进步。

## 五、标准主要内容

本标准规定了金属露天矿最终境界优化、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。

## 六、与有关法律法规和强制性标准的关系

遵守和符合相关法律法规和强制性标准要求。规范性引用文件包括：

GB/T 51360-2019 金属露天矿工程施工及验收标准

GB 51016-2014 非煤露天矿边坡工程技术规范

MT/T 881-2000 露天矿矿用自卸汽车适应性试验方法

## 七、重大意见分歧的处理依据和结果

本标准起草过程中没有重大分歧意见。

## 八、后续贯彻措施

建议由金属矿山技术相关行业标准化管理机构组织贯彻本标准的相关活动，利用各种活动（如工作组活动、行业协会的管理和活动、专家培训、标准化技术刊物、网上信息、产品认证等）尽可能向金属矿山相关单位和机构宣贯该标准。

建议本标准发布之日起半年内实施。

标准编制小组

2024年3月