



基于 Analytica 软件的矿体开采模式决策

邓红卫, 张亚南, 柯波, 李美婷

(中南大学 资源与安全工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 为了解决矿体开采模式顶层设计的方向性问题, 以矿山实际开采成本为基础, 以开采年限内取得的总效益为目标函数, 借助 Analytica 决策分析平台, 建立矿体开采模式决策分析模型, 计算不同生产能力、矿石价格、资源储量条件下有轨开采和无轨开采的开采总效益和年均效益, 分析 3 种不同要素对矿山开采模式的影响; 将模型用于云南锡业集团老厂分公司白龙井 13-8 号矿体的开采规划中, 确定该矿体应选择无轨开采模式。

关键词: 有轨开采; 无轨开采; 开采规划; Analytica 软件

中图分类号: TD853

文献标志码: A

随着采矿装备技术的发展, 无轨开采模式以其灵活性大、适应性强、效率高的特点在国内外矿山得到了广泛的应用^[1-5], 如果盲目引进无轨开采设备而不考虑与矿体本身适用性的匹配, 不仅需要支付高昂的设备费用, 增加矿山经营成本, 还会降低设备的使用效率, 达不到矿体高效开采的目的, 严重影响矿山的总体经济效益。如果没有一种强有力的科学决策分析数据支撑矿山决策者对开采模式的评价和决策, 那么矿山决策者会选择墨守陈规, 习惯性选择有轨开采模式以降低前期投资成本, 但从矿山开采模式整体来看, 这种开采方式生产效率和生产能力低下, 不能适应矿山长期开采, 亦有可能因后期有轨转无轨开采影响矿山正常运转^[6], 因此, 如何合理规划矿山开采模式成为矿山决策者面临的重要问题。

目前, 国内外许多学者就矿山开采规划问题进行深入研究, 一系列新方法、新理论应用到矿山开采规划^[7-14], RAMAZAN^[15]在线性规划的基础上建立一种新的基本树算法并成功应用到露天矿的开采规划中, 刘晓明等^[16]建立了大型矿区资源的多目标开采规划模型, 合理规划了各区段和中段的开采规模, 张瑞新等^[17]利用露天开采规划决策系统确定了某露天矿的最优开采方案和开采规划, 罗周全等^[18]利用灰色局势决策法优化了矿山生产能力, 王李管等^[19]利用混合整数规划法优化了采场的回采顺序, 雷升祥等^[20]分析液压凿岩台车推广应用时出现“爱之不易, 弃之可惜”

尴尬局面的原因, 但这些研究主要集中在矿山生产规模、服务年限、回采顺序优化等方面, 未涉及到开采矿体开采模式的决策分析。

为克服矿体开采模式选择的盲目性和习惯性, 实现矿体开采模式的科学决策, 本文作者借助 Analytica 决策分析系统, 通过构建矿体开采模式决策分析模型, 实现了矿体有轨无轨开采规划的定量分析, 科学规划云锡集团老厂分公司白龙井生产区 13-8 号矿体的开采模式。

1 矿体开采模式决策分析数学模型

1.1 矿体开采模式决策分析数学模型的构建

矿山企业以获取最大的经济效益为主要经营目标, 因此, 在建立矿体开采模式决策分析的数学模型时, 以矿山开采年限内取得的总效益为目标函数, 作为评估矿体开采模式的决策变量, 有轨开采规划模型和无轨开采规划模型的目标函数分别为

$$F_1 = P \times \alpha \times E \times \frac{T \times (1 - q_1)}{1 - \rho_1} - C_1 \quad (1)$$

$$F_2 = P \times \alpha \times E \times \frac{T \times (1 - q_2)}{1 - \rho_2} - C_2 \quad (2)$$

式中: F_1 、 F_2 分别为开采年限内有轨开采和无轨开采的总效益, 元; P 为金属价格, 元/t; α 为开采品位,

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BAB02B05)

收稿日期: 2016-01-13; 修订日期: 2016-05-031

通信作者: 邓红卫, 副教授, 博士; 电话: 13974855898; E-mail: denghw208@126.com

%; E 为综合回收率, %; T 为资源储量, t; q_1 、 q_2 分别为有轨开采和无轨开采的矿石损失率, %; ρ_1 、 ρ_2 分别为有轨开采和无轨开采的矿石贫化率, %; C_1 、 C_2 分别为有轨开采和无轨开采的总成本, 元。

根据矿山企业的相关数据, 计算并比较 F_1 和 F_2 的大小, 若 $F_1 > F_2$, 则该区域应该采用有轨开采, 若 $F_1 < F_2$, 则该区域应该采用无轨开采。

1.2 有轨开采和无轨开采的成本分析

成本是指矿山开采年限内从矿石开采到矿石加工成精矿所产生的总成本。实现模型的计算关键在于企业成本的准确核算, 然而矿体开采程序复杂, 成本统计路径多样, 使得成本计算比较困难。为计算方便且符合矿体开采程序, 本文作者按照作业项目构成来计算矿山开采成本。项目构成主要包括系统建设、设备投入、矿石采准、通风、运输、提升、排水、充填、回采成本、企业管理成本、选矿综合成本以及其他投入成本和有轨、其他开采成本。有轨开采和无轨开采的总成本计算公式如下:

$$C_1 = \frac{T \times (1 - q_1)}{1 - \rho_1} \times \sum_{i=1}^9 C_1^i + C_1^{10} + C_1^{11} + C_1^{12} \quad (3)$$

$$C_2 = \frac{T \times (1 - q_2)}{1 - \rho_2} \times \sum_{i=2}^9 C_2^i + C_2^{10} + C_2^{11} + C_2^{12} \quad (4)$$

式中: C_1^i 、 C_2^i 分别代表有轨开采和无轨开采的核算项目成本, i 取 1~9, 分别对应采准、通风、运输、提升、排水、充填、回采、企业管理和综合选矿成本, 单位均为元/t; C_1^{10} 、 C_2^{10} 分别代表有轨开采和无轨开

采的设备投入, 元; C_1^{11} 、 C_2^{11} 分别代表有轨开采和无轨开采的系统建设成本, 元/t; C_1^{12} 、 C_2^{12} 分别代表有轨开采和无轨开采的其他投入, 元/t。

2 基于 Analytica 软件的矿体开采模式决策分析模型

2.1 Analytica 简介

Analytica 建模平台是美国 Lumina 公司决策支持分析系统的一部分, 在军事系统、航空航天、金融投资、经济贸易、工程设计、医疗保健和环境工程等领域的决策分析中得到了成功应用^[21-25]。

2.2 基于 Analytica 软件的矿体开采模式决策分析模型构建

1) 模型变量定义

基于 Analytica 建模平台, 将矿体开采模式决策分析模型涉及到的基本变量(主要包括有轨开采和无轨开采的开采成本、开采基本参数等)和决策变量(有轨开采和无轨开采的效益)进行初步定义, 定义内容包括变量的类型、名称、单位、标识符等属性。

2) 模型关系图构建

变量初步定义完成后, 对模型基本变量直接进行赋值, 决策变量的赋值根据式(1)~(4)和各基本变量的变量标识符确定, 所有变量赋值完成后, Analytica 可自动形成矿体开采模式决策分析模型的变量关系图, 如图 1 所示。

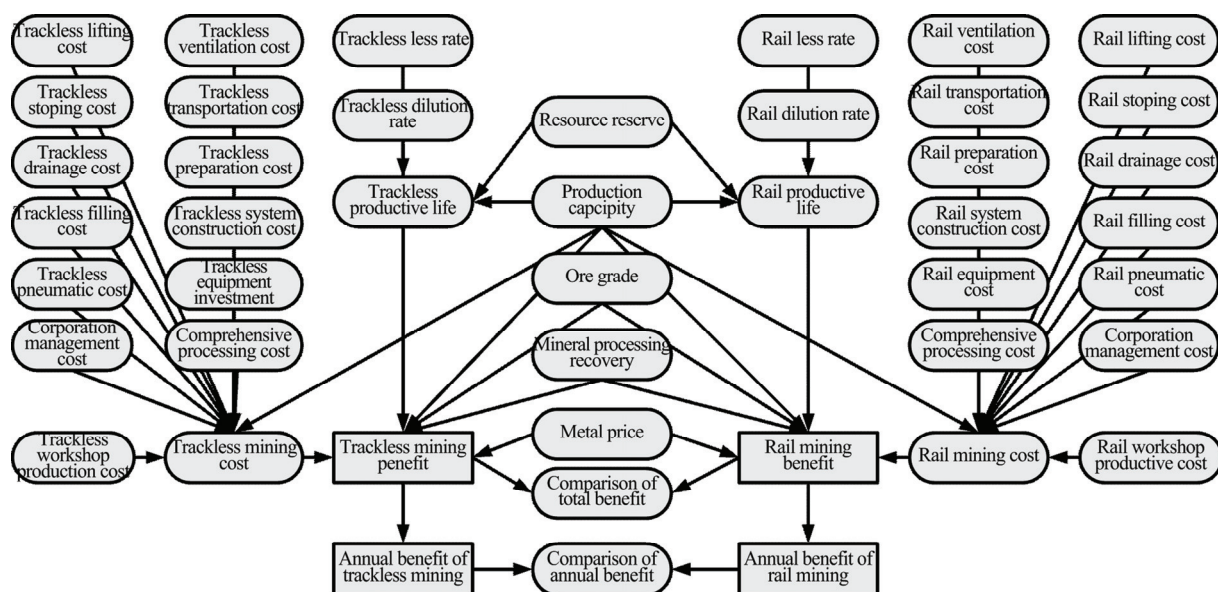


图 1 矿体开采模式决策分析模型变量关系图

Fig. 1 Model diagram of ore mining mode decision analysis model

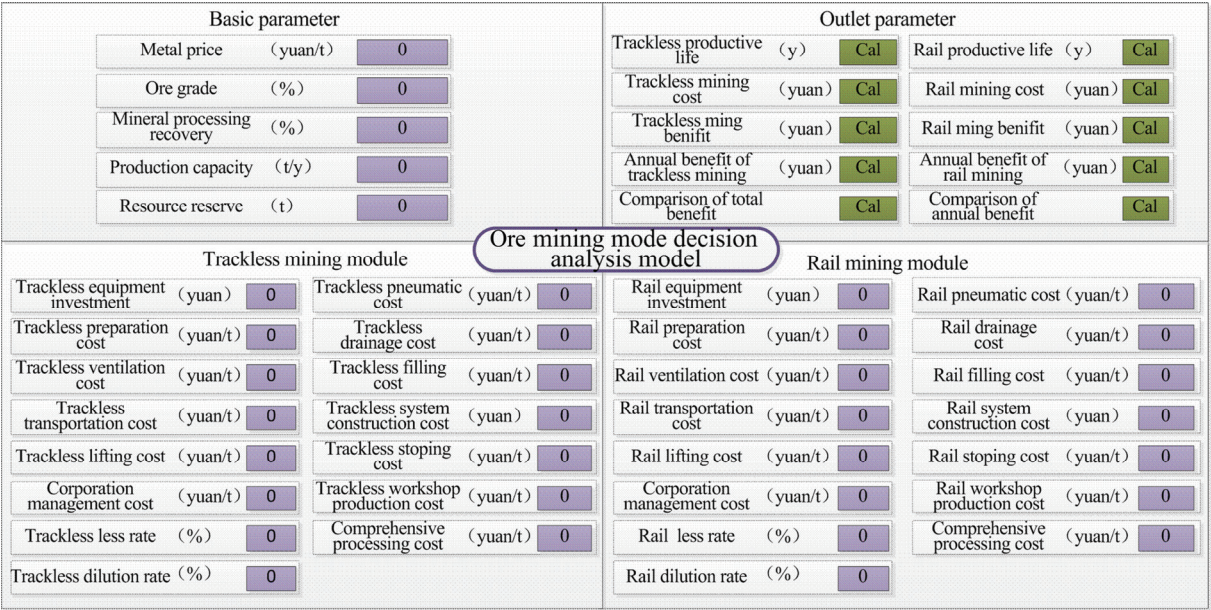


图 2 矿体开采模式决策分析模型用户界面图

Fig. 2 User interface figure of ore mining mode decision analysis model

2.3 模型客户终端平台系统构建

完成矿体开采模式决策分析模型变量关系图的构建后, 利用 Analytica 软件强大的功能, 建立矿体开采模式决策分析模型的终端用户界面, 如图 2 所示。该界面分为有轨无轨开采基本参数、输出参数、无轨模块、有轨模块 4 个区域。输出参数模块的内容可通过点击 Calc 按钮直接计算输出。结果输出后直接比较无轨开采效益和有轨开采效益的数值, 从而确定矿山具体的开采模式。

3 核心因素对矿体开采模式的影响分析

矿体开采系统是一个复杂、受多因素影响的动力学系统, 其中矿体的生产能力、矿石价格和资源储量对矿体开采模式选择的影响较大。以云南锡业老厂分公司白龙井生产区实际生产成本数据为基础, 应用建立的矿体开采模式决策分析模型分析不同核心因素对矿体开采模式的影响。

3.1 生产能力对矿体开采模式的影响

矿山的生产能力不同, 需要配套的开采设备类型和数量也就不同, 这就意味着不同生产能力下的采矿设备的投入成本存在较大的差异, 这些差异的存在使得矿体开采的开采成本和开采效益存在较大的差别, 甚至会直接影响开采模式的选择。根据云南锡业各矿

山采矿装备的参数和使用情况, 计算出不同生产能力和开采模式下, 所需设备数量及其投入情况, 具体如表 1 所示。

以资源储量为 200 万 t 的矿山、矿石价格为 4 万元/t 为基础, 应用基于 Analytica 建立的矿体开采模式决策分析模型计算出不同生产能力下矿山有轨开采和无轨开采的总效益和年均效益, 建立有轨开采和无轨开采的开采总效益比较图和年均开采效益比较图, 分别如表 2 和图 3 所示。

从图 3 中可以看出, 就总效益而言, 有轨开采和无轨开采的开采总效益均随着生产能力的增大而减小, 但有轨开采的开采总效益曲线变化较平缓, 受生产能力的影响较小, 而无轨开采的开采总效益曲线变化较快, 受生产能力的影响较大; 就年均效益而言, 有轨开采的年均效益随着生产能力的增大而增大, 无轨开采的年均效益受生产能力的影响变化较大, 当生产能力较小时, 无轨开采的年均效益随着生产能力的增大而不断增加, 但增加速度越来越慢, 到达顶点后随着生产能力的增大迅速减小, 而且减小的速率也越来越快。两图中均在年生产能力 63 t 附近存在“交点”, 若生产能力在交点之前, 宜选用无轨开采, 反之则用有轨开采。

3.2 矿石价格对矿体开采模式的影响

矿石价格同样会对矿体开采模式的选择产生重要影响。同样以资源储量为 200 万 t、矿石年生产能力为

表 1 不同生产能力下有轨开采和无轨开采设备投入情况表

Table 1 Equipment investment situation of rail mining and trackless mining in different production capacity

Production capacity/ (t·d ⁻¹)	Rail mining					Trackless mining			
	Air-leg rock drill(unit)	Scraper (unit)	Electric locomotive (unit)	Tram (unit)	Investment/(thousand yuan)	Jumbo (unit)	Load-Haul-Dump (unit)	Mine truck (unit)	Investment/(thousand yuan)
500	7	3	1	10	606.5	2	3	2	12830
1000	13	5	2	20	1190.0	4	5	3	23480
1500	19	8	3	30	1793.5	5	7	5	31340
2000	26	10	4	40	2380.0	7	10	6	43460
2500	32	13	5	50	2983.5	8	12	7	50610
3000	38	15	5	50	3041.5	10	14	9	61970
3500	45	18	6	60	3648.0	11	16	10	69120
4000	51	20	7	70	4231.5	13	18	11	79770
4500	57	23	8	80	4835.0	14	21	13	89100
5000	63	25	9	90	5418.5	16	23	14	99750

表 2 不同生产能力下矿山有轨开采和无轨开采的总效益和年均效益

Table 2 Total benefit and annual benefit of rail mining and trackless mining in different production capacities

Production capacity/ (kt·a ⁻¹)	Total benefit of rail mining/(million yuan)	Total benefit of trackless mining/(million yuan)	Annual benefit of rail mining/(million yuan)	Annual benefit of trackless mining/(million yuan)
165	23.71	50.59	2.000	4.266
330	23.12	39.94	3.902	6.736
495	22.55	32.08	5.708	8.116
660	21.93	19.96	7.402	6.732
825	21.33	12.81	8.998	5.400
990	21.27	1.447	10.77	0.732
1155	20.66	-5.703	12.21	-3.366
1320	20.08	-16.35	13.55	-11.03
1485	19.48	-25.68	14.79	-19.49
1650	18.89	-36.33	15.94	-30.64

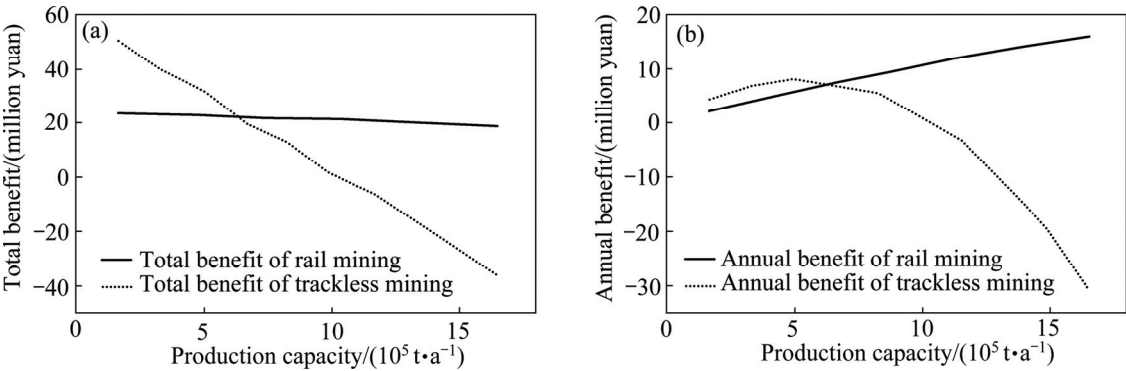


图 3 不同生产能力下有轨无轨开采的总效益比较图和年均效益比较图

Fig. 3 Comparison of total benefit and annual benefit of rail mining and trackless mining in different production capacities: (a) Comparison of total benefit; (b) Comparison of annual benefit

82.5 万 t 矿山为例, 应用基于 Analytica 建立的矿体开采模式决策分析模型计算出不同矿石价格下矿山有轨开采和无轨开采的总效益和年均效益, 建立有轨开采和无轨开采的开采总效益比较图和年均开采效益比较

图, 分别如表 3 和图 4 所示。

从图 4 中可以看出, 有轨开采和无轨开采的总效益受矿石价格变动的影响基本相同, 二者的变动曲线及其走势大致重合, 均随着矿石价格的增加而增大,

表 3 不同矿石价格下矿山有轨开采和无轨开采的总效益和年均效益

Table 3 Total benefit and annual benefit of rail mining and trackless mining in different ore price

Price/ (yuan·t ⁻¹)	Total benefit of rail mining/(million yuan)	Total benefit of trackless mining/(million yuan)	Annual benefit of rail mining/(million yuan)	Annual benefit of trackless mining/(million yuan)
32000	-113.8	-125.4	-48.03	-52.89
34000	-80.05	-90.87	-33.77	-38.32
36000	-46.25	-56.31	-19.51	-23.75
38000	-12.46	-21.75	-5.258	-9.172
40000	21.33	12.81	8.998	5.400
42000	55.12	47.37	23.25	19.97
44000	88.91	81.93	37.51	34.55
46000	122.7	116.5	51.77	49.12
48000	156.5	151.0	66.02	63.69
50000	190.3	185.6	80.28	78.26
52000	224.1	220.2	94.53	92.84
54000	257.9	254.7	108.8	107.4
56000	291.7	289.3	123.0	122.0
58000	325.5	323.8	137.3	136.6
60000	359.2	358.4	151.6	151.1
62000	393.0	393.0	165.8	165.7
64000	426.8	427.5	180.1	180.3
66000	460.6	462.1	194.3	194.8
68000	494.4	496.6	208.6	209.4
70000	528.2	531.2	222.8	224.0
72000	562.0	565.8	237.1	238.6
74000	595.8	600.3	251.4	253.1

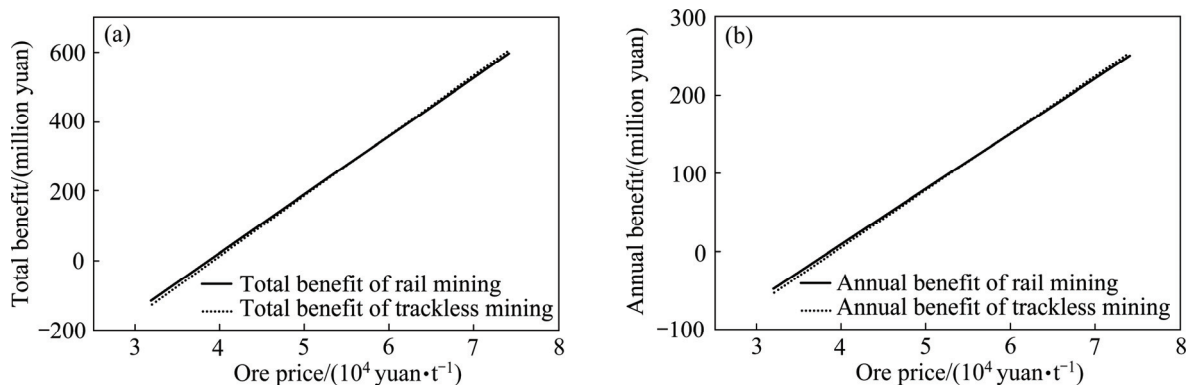


图 4 不同矿石价格下有轨无轨开采的总效益比较图和年均效益比较图

Fig. 4 Comparison of total benefit and annual benefit of rail mining and trackless mining in different ore prices: (a) Comparison of total benefit; (b) Comparison of annual benefit

但无轨开采的总效益随矿石价格增大而增加的速度大于有轨开采的总效益随矿石价格增加而增大的速度。当矿石价格较低时,有轨开采的总效益均大于无轨开采的总效益,此时应选择有轨开采,当矿石价格较大时,有轨开采的总效益均小于无轨开采的总效益,此时应选择无轨开采。有轨开采和无轨开采的年均效益随矿石价格的变动情况基本类似。

3.3 资源储量对矿体开采模式影响

矿体的资源储量决定矿山的总体效益,资源储量的不同,有轨开采和无轨开采的效益自然也不相同,以矿体生产能力为 66 万 t 的矿山为例,假设金属价格为 4 万元/t,应用基于 Analytica 建立的矿体开采模式决策分析模型计算出不同资源储量条件下的矿山有轨开采和无轨开采的总效益和年均效益,建立有轨开采和无轨开采的开采总效益比较图和年均开采效益比较

图,分别如表 4 和图 5 所示。

从图 5 中可以看出,有轨开采和无轨开采的总效益均随着矿石储量的增加而迅速增大,但无轨开采总效益受资源储量变动的影响明显高于有轨开采总效益受资源储量变动的影响。随着资源储量的不断增大,无轨开采总效益的增加速度远高于有轨开采总效益的增加速度。就年均效益而言,有轨开采和无轨开采的年均效益随资源储量变动的走势基本相似,在前期均随着资源储量的增大而迅速增加,随着资源储量的继续增大,年均效益的增长速率趋于稳定,但在相同资源储量的条件下,无轨开采年均效益的增加速率高于有轨开采年均效益的增加速率。无论是总效益还是年均效益,当资源储量较低时,有轨开采的开采效益和年均效益均大于无轨开采的效益,当资源储量较高时,有轨开采的开采效益和年均效益均小于无轨开采的效益,此时应选择无轨开采模式。

表 4 不同资源储量条件下的矿山有轨开采和无轨开采的总效益和年均效益

Table 4 Total benefits and annual benefits of rail mining and trackless mining in different reserves

Resource reserve/ (million t)	Total benefit of rail mining/(million yuan)	Total benefit of trackless mining/(million yuan)	Annual benefit of rail mining/(million yuan)	Annual benefit of trackless mining/(million yuan)
0.1	-15.98	-64.8	-107.9	-437.2
0.3	-11.99	-55.88	-26.98	-125.7
0.5	-8.002	-46.96	-10.80	-63.36
0.7	-4.010	-38.03	-3.867	-36.66
1.0	1.976	-24.65	1.334	-16.63
1.5	11.95	-2.347	5.380	-1.056
2.0	21.93	19.96	7.402	6.732
2.5	31.91	42.26	8.616	11.41
3.0	41.89	64.57	9.425	14.52
3.5	51.87	86.87	10.00	16.75
4.0	61.85	109.2	10.44	18.41
4.5	71.81	131.5	10.77	19.71
5.0	81.80	153.8	11.04	20.75
5.5	91.78	176.1	11.26	21.60
6.0	101.8	198.4	11.45	22.31
6.5	111.7	220.7	11.60	22.91
7.0	121.7	243.0	11.74	23.42
7.5	131.7	265.3	11.85	23.87
8.0	141.7	287.6	11.95	24.26
8.5	151.6	309.9	12.04	24.60
9	161.6	332.2	12.12	24.90
9.5	171.6	354.5	12.19	25.18
10	181.6	376.8	12.26	25.42

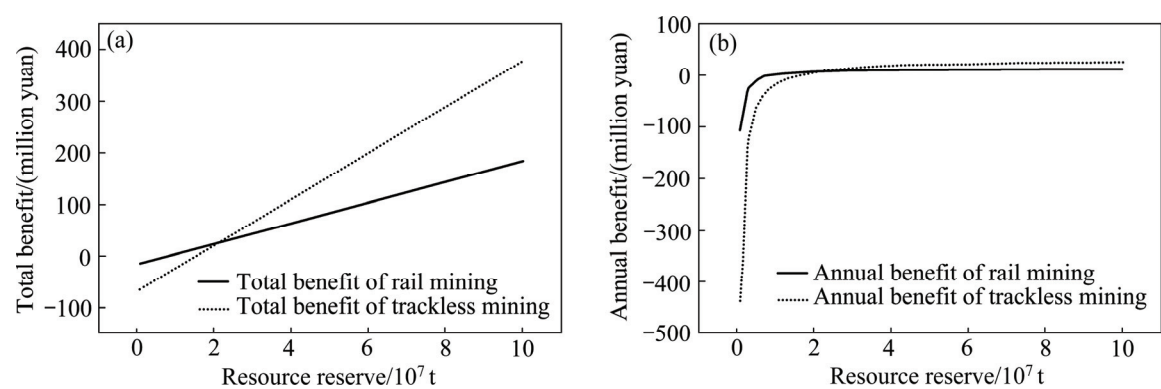


图 5 不同储量下有轨无轨开采的总效益比较图和年均效益比较图

Fig. 5 Comparison of total benefit and annual benefit of rail mining and trackless mining in different reserve: (a) Comparison of total benefit; (b) Comparison of annual benefit

4 工程应用

4.1 工程概况

云南锡业集团经过十年建设形成了 1800 平台以上以有轨系统为主、1800~1360 为“有轨和无轨”、“老区与新区”并存的局面。为实现集团公司的可持续发展,集团正在对下属矿山进行开采规划。在此背景下,将矿体开采模式决策分析模型应用于老厂分公司白龙井生产区 13-8 号的开采规划。白龙井生产区 13-8 号矿体为新建开采区,赋存高程为 1600~1360 m,资源主要为铜矿资源,品位约为 1.2%,储量约为 885 万 t,规划生产能力日产 2000 t,年工作 330 日,选矿回收率取 80%,按照规划要求,无轨开采的贫化率取 8%,损失率定为 10%,有轨开采的贫化率为 10%,损失率取 12%。

4.2 老厂分公司 13-8 号矿体有轨无轨开采的成本分析

由于该生产区还没有进行采矿作业,因此在核算该生产区有轨生产和无轨生产的作业成本是参照类似条件矿山的开采成本进行估算,有轨开采成本和无轨开采成本的估算结果如表 5 所示。

有轨系统建设成本为 2600 元/m,无轨系统建设成本为 4300 元/m,预计该生产区的有轨系统和无轨系统建设巷道长度约 6 km,可得有轨系统建设成本和无轨系统建设成本分别为 1560 万元,2580 万元。企业管理成本均按照 10 元/t 计算,选矿成本均按照 100 元/t 计算,有轨开采和无轨开采的设备投入成本分别为 238 万元和 4346 万元。

表 5 有轨开采和无轨开采计算成本

Table 5 Computational cost of rail mining and trackless mining

Parameter	Unit cost of rail mining/ (yuan·t ⁻¹)	Unit cost of trackless mining/ (yuan·t ⁻¹)
Stoping	47.10	35.04
Preparation	28.98	13.32
Misering (excluded)	8.63	8.63
Rail transportation	12.58	12.58
Support (excluded)	10.05	10.05
Workshop production cost	98.6	92.18
Ventilation	3.42	3.42
Drainage	2.66	2.66
Lifting	2.38	2.38
Pneumatic	8.50	8.50
Pit transportation	10.97	27.6
Total	233.87	216.36

4.3 基于 Analytica 的云锡有轨无轨开采规划

将矿体开采的成本和相关参数直接在矿体开采模式决策分析模型的终端用户界面录入,然后点击 Calc 按钮计算有轨开采和无轨开采的效益和年均效益,具体如图 6 所示。

从图 6 中可以看出,老厂分公司白龙井生产区 13-8 号矿体无轨开采的总效益为 410 百万元,有轨开采的总效益为 203.6 百万元,明显无轨开采效益较好,从年均效益来看,无轨开采效益为 31.26 百万元,也高于有轨开采 15.53 百万元,因此老厂分公司白龙井生产区 13-8 号矿体应选择无轨开采模式。

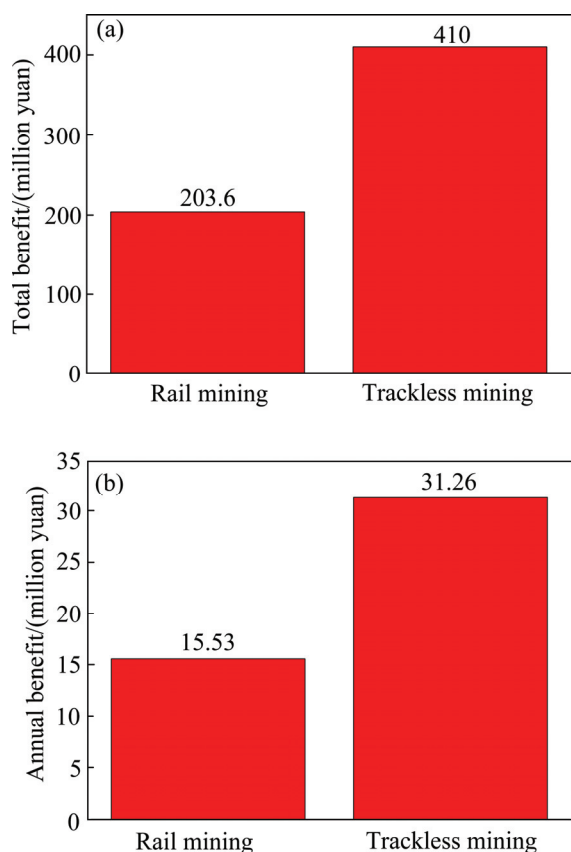


图6 13-8号矿体有轨开采无轨开采效益比较图和年均效益比较图

Fig. 6 Comparison of total benefit and annual benefit of orebody 13-8 with rail mining and trackless mining: (a) Comparison of total benefit; (b) Comparison of annual benefit

5 结论

1) 以矿山开采年限内取得的总效益为目标函数,建立了矿体开采模式决策分析的数学模型,构建了基于 Analytica 的矿体开采模式决策分析模型。

2) 利用所建立的矿体开采模式决策分析模型计算了不同生产能力、矿石价格、资源储量条件下有轨开采和无轨开采的开采总效益和年均效益,分析了生产能力、矿石价格、资源储量对矿山开采模式的影响。研究表明:生产能力和资源储量对开采模式的影响较大,矿石价格对对开采模式的影响较小。

3) 将建立的矿体开采模式决策分析模型应用于云锡集团老厂分公司白龙井生产区 13-8 号矿体的开采规划中,计算出了该矿体有轨开采和无轨开采的总效益和年均效益,确定该矿应选用开采模式。

REFERENCES

- [1] 陈国山, 张晓满, 王安强. 铲运机出矿胶结充填采矿法在富家矿的应用[J]. 黄金, 2007, 28(10): 22-24.
CHEN Guo-shan, ZHANG Xiao-man, WANG An-qiang. Application of carry scraper ore-removal cemented filling mining method in Fujia mine[J]. Gold, 2007, 28(10): 22-24.
- [2] 杨超, 陈树新, 刘立, 罗维东, 孟宇, 冯凯. 反应式导航在地下自主行驶铲运机中的应用[J]. 煤炭学报, 2011, 36(11): 1943-1948.
YANG Chao, CHEN Shu-xin, LIU Li, LUO Wei-dong, MENG Yu, FENG Kai. Reactive navigation for underground autonomous scraper[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(11): 1943-1948.
- [3] 阳雨平, 周旭, 王贻明, 任建平. 大进路无轨机械化联合充填连续开采新技术[J]. 金属矿山, 2008(12): 12-15.
YANG Yu-ping, ZHOU Xu, WANG Yi-ming, REN Jian-ping. New Continuous Mining Technology with Large Access Trackless Mechanized Combined Filling[J]. Metal Mine, 2008(12): 12-15.
- [4] 王婧. 地下金属矿山采装运装备配置遗传优化模型及应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013: 39-51.
WANG Qiang. Genetic optimization model and application study on drilling-loading-transportation equipment configuration of underground metallic mine[D]. Changsha: Central South University, 2013: 39-51.
- [5] 李夕兵, 姚金蕊, 杜坤. 高地应力硬岩矿山诱导致裂非爆连续开采初探——以开阳磷矿为例[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(6): 1101-1111.
LI Xi-bing, YAO Jin-rui, DU Kun. Preliminary study for induced fracture and non-explosive continuous mining in high-geostress hard rock mine—A case study of Kaiyang phosphate mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(6): 1101-1111.
- [6] 马相松, 张正明, 魏建海. 大顶山矿区中段运输有轨改无轨的研究[J]. 有色金属设计, 2012, 39(2): 1-4.
MA Xiang-song, ZHANG Zheng-ming, WEI Jian-hai. Research on sublevel haulage from rail to trackless in Dadingshan Mining Area[J]. Nonferrous Metals Design, 2012, 39(2): 1-4.
- [7] 刁心宏. 基于地压控制的南平钽铌矿矿体开采规划[J]. 中国矿业, 2008, 17(10): 52-56.
DIAO Xin-hong. Programming for mining to NanPing Ta and Nb mine on the basis of ground pressure controlling[J]. China Mining Magazine, 2008, 17(10): 52-56.
- [8] TOPAL E. Early start and late start algorithms to improve the solution time for long-term underground mine production scheduling[J]. Journal of the South African Institute of Mining & Metallurgy, 2008, 108(2): 99.

- [9] 秦涛. 基于动态规划方法的地下采矿边界品位优化研究[D]. 东北大学资源与土木工程学院, 2008: 20–31.
QIN Tao. Study on optimum of cutoff grade in underground mine based on dynamic programming method[D]. Northeastern University College of Resources and Civil Engineering, 2008: 20–31.
- [10] BOLAND N, DUMITRESCU I, FROYLAND G, GLEIXNER A M. LP-based disaggregation approaches to solving the open pit mining production scheduling problem with block processing selectivity[J]. *Computers & Operations Research*, 2009, 36(4): 1064–1089.
- [11] 陈忠强, 王李管, 熊书敏, 宋明军. 基于模糊预测性线性规划的矿山产能分配方案优化分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(9): 3166–3173.
CHEN Zhong-qiang, WANG Li-guan, XIONG Shu-min, SONG Ming-jun. Optimization analysis of mining capacity allocation scheme based on fuzzy predictive linear programming[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2014, 45(9): 3166–3173.
- [12] RAMAZAN S, DAGDELEN K, JOHNSON T B. Fundamental tree algorithm in optimising production scheduling for open pit mine design[J]. *Mining Technology*, 2005, 114(1): 45–54.
- [13] 宋小美. 基于数字化矿床模型的露天开采规划优化研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2014: 9–24.
SONG Xiao-mei. Open pit mining plan optimization based on digital deposit model[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2014: 9–24.
- [14] 李事捷, 徐志宏. 线性规划法在采矿计划中的应用[J]. 金属矿山, 2009(4): 20–21.
LI Shi-jie, XU Zhi-hong. Application of linear programming approach in mining schedule planning[J]. *Metal Mine*, 2009(4): 20–21.
- [15] RAMAZAN S. The new fundamental tree algorithm for production scheduling of open pit mines[J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 177(2): 1153–1166.
- [16] 刘晓明, 罗周全, 徐纪成, 管佳林. 大型矿区资源开采规划模型的建立及其应用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(8): 2812–2816.
LIU Xiao-ming, LUO Zhou-quan, XU Ji-cheng, GUAN Jia-lin. Resources extraction planning model of large-scale mine and its application[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2014, 45(8): 2812–2816.
- [17] 张瑞新, 梅晓仁, 高永胜, 李海华, 郭庆勇. 露天开采规划决策系统及其应用[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(3): 61–64.
ZHANG Rui-xin, MEI Xiao-ren, GAO Yong-sheng, LI Hai-hua, GUO Qing-yong. Planning decision system for open pit mine and its application[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2003, 32(3): 61–64.
- [18] 罗周全, 徐海, 谭浪浪, 管佳林. 矿山产能灰色局势决策优化[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(1): 289–293.
LUO Zhou-quan, XU Hai, TANG Lang-lang, GUAN Jia-lin. Optimization of mine productivity based on grey situation decision[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2013, 44(1): 289–293.
- [19] 王李管, 任助理, 潘传鹏, 陈鑫. 基于混合整数规划法的采场回采顺序优化分析[J]. 中国有色金属学报, 2016, 26(1): 173–179.
WANG Li-guan, REN Zhu-li, PAN Chuan-peng, CHEN Xin. Optimization analysis of stope mining sequence based on mixed integer programming[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2016, 26(1): 173–179.
- [20] 雷升祥, 崔永杰, 陈鹏. 对液压凿岩台车在隧道施工中推广应用问题的分析[J]. 现代隧道技术, 2002, 39(1): 10–13.
LEI Sheng-xiang, CUI Yong-jie, CHEN Peng. Analysis of application problems of hydraulic jumbo in tunnel construction[J]. *Modern Tunnelling Technology*, 2002, 39(1): 10–13.
- [21] BASSON L, PETRIE J G. An integrated approach for the consideration of uncertainty in decision making supported by Life Cycle Assessment[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2007, 22(2): 167–176.
- [22] 毛一凡, 岳秀清, 王剑飞, 仇昊. 基于Analytica的作战决策分析模型构建与仿真[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(4): 984–986.
MAO Yi-fan, YUE Xiu-qing, WANG Jian-fei, CHOU Hao. Modeling and simulating for combat decision analysis based on Analytica[J]. *Computer Engineering and Design*, 2009, 30(4): 984–986.
- [23] BU D, PAN E, WALKER J, ADLER-MILSTEIN J, KENDRICK D, HOOK J M, CUSACK C M, BATES D W, MIDDLETON B. Benefits of information technology-enabled diabetes management[J]. *Diabetes Care*, 2007, 30(5): 1137–1142.
- [24] 阚海东, 陈秉衡, CIFUENTES L. 利用Analytica软件建立大气污染健康危险度评价系统[J]. 卫生研究, 2004, 33(2): 256.
KAN Hai-dong, CHEN Bing-heng, CIFUENTES L. Utilizing Analytica software to establish air pollution health risk evaluation system[J]. *Journal of Hygiene Research*, 2004, 33(2): 256.
- [25] MORGAN M G. Carnegie Mellon's department of engineering and public policy[J]. *International Journal of Technology, Policy and Management*, 2001, 1(2): 138–150.

Decision making of ore mining model based on Analytica software

DENG Hong-wei, ZHANG Ya-nan, KE Bo, LI Mei-ting

(1. School of Resource and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: In order to solve the directional problem of top design about ore mining mode, based on the mine actual mining costs, the total benefits within the mine life was regarded as objection function, the ore mining mode decision analysis model was established with the Analytica software. The mining total benefits and annual benefit of rail mining and trackless mining on the conditions of different production capacity, ore prices and reserve were calculated, the impact of those factors to ore mining mode were analyzed. The model was applied in 13-8 ore body in the mining plan of Laochang branch Bailongjing production area, and the mine should choose trackless mining mode was determined.

Key words: rail mining; trackless mining; mining planning; Analytica software

Foundation item: Project(2013BAB02B05) supported by the National Science and Technology Pillar Program during the 12th “Five-year” Plan Period

Received date: 2016-01-13; **Accepted date:** 2016-05-31

Corresponding author: DENG Hong-wei; Tel: +86-13974855898; E-mail: denghw208@126.com

(编辑 李艳红)