

基于 Whittle 软件的露天矿境界优化在西藏某矿的应用

刘 韦

(中国有色矿业集团迪兹瓦矿业股份有限公司,北京 100029)

摘 要:露天矿开采设计中一个很重要的环节就是境界优化,其目的是为矿山下一步开采矿设计和开拓提供参考和决策依据,同时能最大化的综合利用现有资源,将企业利益最大化,实现企业长期战略性规划。结合实例详细介绍利用 Whittle 软件进行动态综合的露天境界优化的过程,并通过对一系列优化结果的分析,结合净现值(NVP)最大这一原则选择出最优的露天境界,进而设计出最终的露天境界。

关键词:露天矿;境界优化;Whittle 软件;块体模型;NVP(净现值)

中图分类号:TD216;TP391.41

文献标志码:A

文章编号:1671-4172(2020)01-0045-05

Application of Whittle in open-pit mining limit optimization in some mine in Tibet

LIU Wei

(CNMC Dizwa Mining Co., Ltd., Beijing 100029, China)

Abstract: As an important part of open-pit mining, limit optimization can provide reference for open-pit mining design, meanwhile, it can maximize the comprehensive utilization of the resources and maximize the benefits of the enterprise, making the long-term strategic planning of the enterprise come true. In this paper, taking a open pit in Tibet as example, the operation of dynamic open-pit limit optimization process of Whittle software was introduced in detail; and through the analysis of a series of optimization results, combined with the principle of maximum net present value (NVP), the optimal open-pit was selected and the final open pit was designed.

Key words: open-pit; limit optimization; whittle; block model; NVP

随着近年计算机应用技术在矿山方面的广泛应用,各矿山企业都将矿山信息化和数字化建设列入重点工作,引进专业的三维矿业软件在逐渐成为矿山动态化建设必不可少的手段之一,其中 Whittle 软件就是一款在境界优化方面享誉世界的软件,这款软件是由澳大利亚的 GENCOM 公式开发^[1]。该软件将 L-G 图论法和生产规划方法结合,提出了境界优化的 4D 算法,其最大的特点是不仅从三维可视化结果输出,而且资金的时间价值得到体现^[4],根据优化出来的境界所确定的 NPV(净现值)最大化为准^[5],综合考虑采矿经济技术参数、选矿经济技术参数品位控制、边坡角、价格变动因子等参数。同时

该软件还内置进度计划编排和经济分析模块等程序,运用数学规划模型原理进行矿山自动化迅速排产,并结合其快速、直观的经济分析功能计算各境界方案的动态经济指标,从而达到快速优化露天矿山开采境界的目的^[2]。

1 西藏某矿的基本概况

该矿位于西藏拉萨市墨竹工卡县,为隐伏一半隐伏矿体,矿体主要赋存在中新世花岗岩闪长岩和黑云母二长花岗岩中,属于典型的斑岩型铜钼矿床,其中钼为主要的伴生金属,矿体空间走向为东西向,长约 2 036 m,南北宽约 1 688 m,XY 平面为椭圆形。纵向上矿体近似不规则柱状体延伸到深部,倾角近于直立。控制的矿体厚度一般 320~572 m,往深部尚未穿过矿体。矿体埋藏深度一般 13.5~

64.86 m。最大埋深 60.5~96.0 m,最小埋深仅 3 m。该矿床矿体赋存规模大,4 600 m 标高以上已经勘探控制的部分,矿体厚大,埋藏较浅,且局部出露地表,剥采比小,适合大规模露天开采。

2 Whittle 软件在西藏某矿中的应用

2.1 地质块体模型的建立

由于 Whittle 软件自身无法创建块体模型,因此必须借助第三方矿业软件,鉴于该软件与 Surpac 软件良好的兼容性,因此本次境界优化基础块体模

型是创建是在 Surpac 软件中完成(图 1),基础块体模型的创建是结合了矿山的地形模型,矿体实体模型,以及该矿山的勘探网度(100~200 m×100~200 m),同时参考台阶高度 15 m,最终确定了母块在 X 轴、Y 轴、Z 轴方向上的长度为 25 m×25 m×7.5 m,子块在 X 轴、Y 轴、Z 轴方向上的长度为 6.25 m×6.25 m×1.875 m,共计 443.52 万个,块体模型包含的属性有 TCu(铜品位)、Mo(钼品位)、SG(比重)、资源储量级别(331、332、333)、矿岩类型。

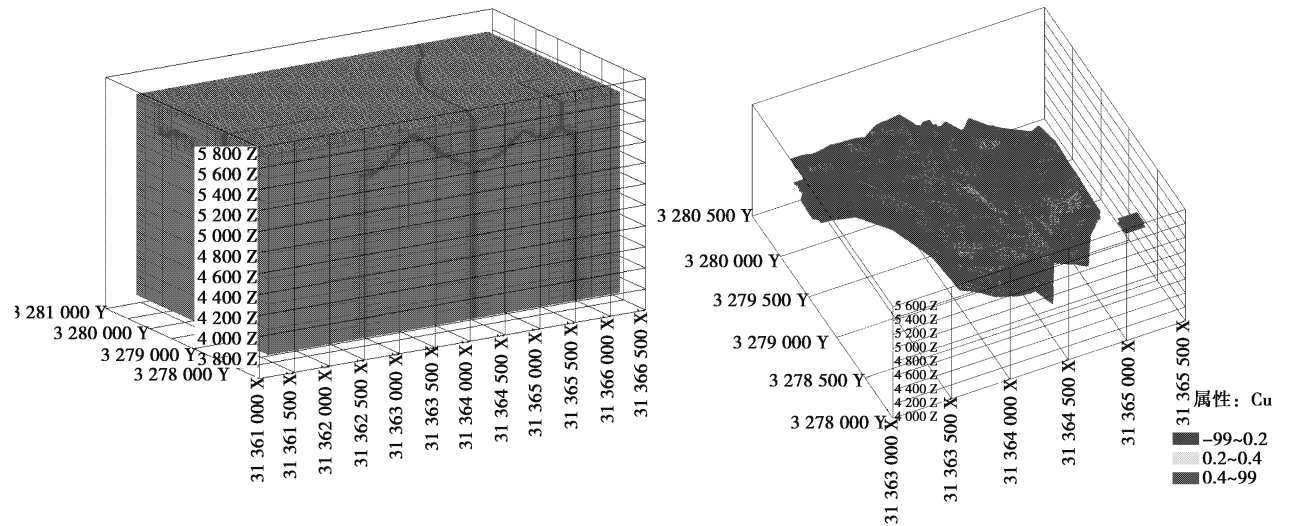


图 1 西藏某矿全块体模型全模型和矿体部分块体模型

Fig. 1 All block model and ore block model of some pit in Tibet

2.2 境界优化边坡参数的定义

Whittle 软件定义边坡角的方式是从边坡角从坑底块质心点开始计算至第一阶段的台阶块质心点,然后逐渐向上扩展至境界最顶部而形成,边坡角误差的控制可以通过调节各阶段内包含的台阶数来控制。Whittle 软件中边坡角的约束方式主要有两种:一种岩性约束,另一种区域方位约束。岩性约束是根据矿山每个区域岩性的不同而赋值不同,在创建地质块体模型时添加并定义岩性识别属性^[3];而

区域方位约束第一步根据矿区地层分布、岩体构造等情况进行区域划分,再根据不同区域计算边坡角,然后根据各区域的方位角范围输入不同的边坡角参数,由于本矿区在高原地区,根据矿体的赋存条件、矿岩物理力学性质、矿区工程地质和水文地质情况、岩体的评价以及利用 FLAC^{3D} 软件对该矿区边坡稳定性分析最终该矿区按照不同边坡高度,分区确定边坡参数(表 1)。

表 1 西藏某矿露天采场边坡参数表

Table 1 Slope angle parameters of some pits in Tibet

分区	设计边坡角/(°)	台阶坡面角/(°)	台阶高度/m	安全清扫平台宽度/m	双向路宽/m
东部Ⅰ	44	5 230 以下:65	15	5 230 以下:12.2	35
		5 230 以上:60		5 230 以上:15.0	
南部Ⅱ	42	5 230 以下:65	15	14.5	35
		5 230 以上:60			
西、北部Ⅲ	39	5 230 以下:65	15	5 230 以下:17.0	35
		5 230 以上:60		5 230 以上:15.0	

2.3 境界优化经济模型

Whittle 软件中的经济模型主要包括地质品位模型、经济模型(成本参数模型、收益模型)等,其中地质品位模型即为 Surpac 中建立的带有品位信息的模型;经济模型的构建是在 Whittle 内部进行,采用输入相应的参数的形式,经济模型构成见图 2。具体参数数据见表 2。

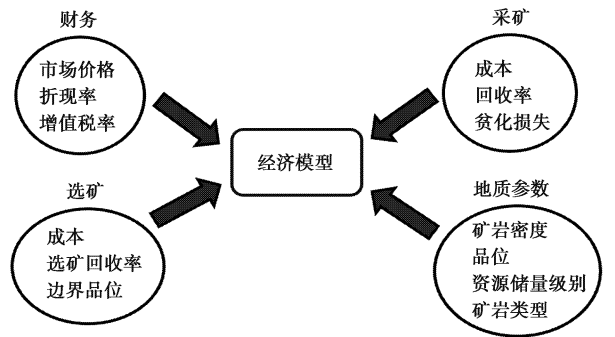


图 2 经济模型结构图

Fig. 2 Structure diagram of economical model

表 2 经济模型的具体参数表

Table 2 Detailed parameters of economic model

序号	参数	境界优化参数
1	采矿损失率/%	3
2	采矿贫化率/%	3
3	产品销售价格/(元·t ⁻¹)	Cu:含税 43 750,不含税 37 393 Mo:含税 1 800,不含税 1 538
4	销售税金及附加/(元·t ⁻¹)	2
5	增值税率/%	17
6	开采矿石成本/(元·t ⁻¹)	14.5
7	开采废石成本/(元·t ⁻¹)	13
8	选矿制造成本/(元·t ⁻¹)	42
9	工业矿选矿回收率/%	Cu:85;Mo:70
	低品位选矿回收率/%	Cu:78;Mo:65
10	工业品位/%	Cu:0.4
	工业边界品位/%	Cu:0.2
11	贴现率/%	12
12	参与优化矿石类型	331+332+333

2.4 境界动态优化结果及最优境界选择

境界优化的目的是按照设定的参数将经济模型转化为三维的可视化的露天采坑模型,并使该露天坑内的净现值(NVP)到达最大^[5]。将矿体块段模型导入 Whittle 软件后,输入参与优化的各经济技术指标,取经济模型选定的金属基本价格为基础系数 1.0,通过调整价格系数(在基础价格系数的 0.5~1.3 倍范围,以 0.05 为步距),即改变金属价格,分别圈定了 17 个境界,各境界相互嵌套,总共优化出 17 个境界方案,图 3 表示的是价格系数为 0.6~1.3,步距 0.1 一系列露采境界坑及其嵌套关系。各境界方案矿岩量、品位及净值参数见表 3。

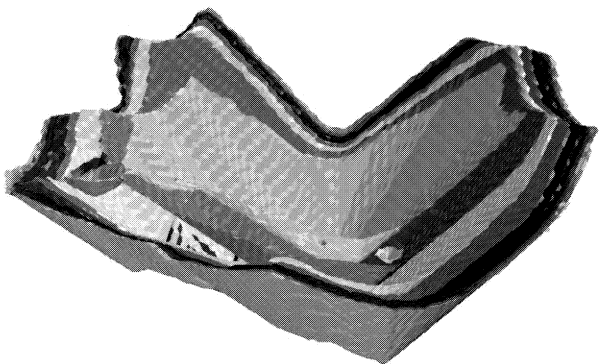


图 3 不同价格系数下优化出的境界坑模型

Fig. 3 The result of series nested limit in different price

在得到上述结果的同时,Whittle 软件还可以对上述结果利用其强大的经济分析功能形成一些直观的分析图(图 4~6)。

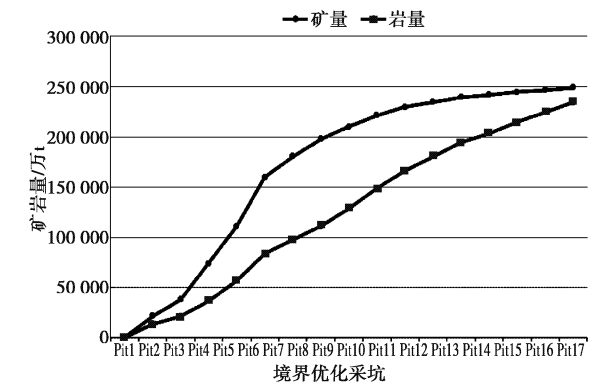


图 4 各境界优化结果矿量与岩量增幅关系图

Fig. 4 The relationship between ore and waste quantity

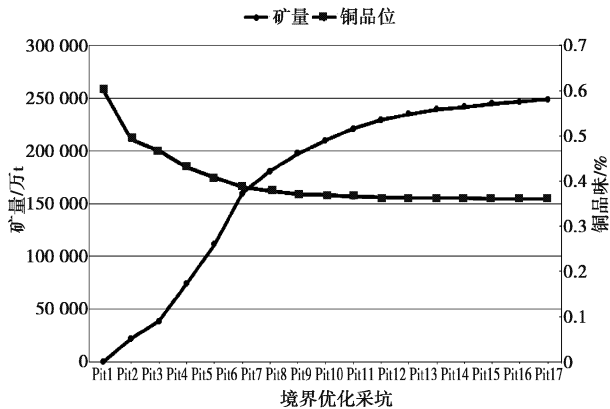


图 5 各境界优化结果矿量与品位变化图

Fig. 5 The relationship between ore quantity and ore grade

由表 3 和图 4 中可以看出,随着金属产品价格的增大,露天境界逐步扩大,露天境界采剥总量逐渐增大,同时矿石品位逐渐降低。结合表 3 和图 5 可以看出各露天境界内净现值先是 pit6 之前是快速增长,在 pit6 到 pit11 之间也在增长,但是增速减慢,趋于平缓,pit11 以后净值开始逐渐下降。这表

明随着矿石价格的上涨,现有技术条件下能采出的矿石更多,优化的境界坑体逐渐扩大,但是增大到一定程度后,由于采出的废石量比矿石量多,导致此阶段采出的矿石产生的价值不足以承担剥离废石所产生的成本,因此出现后期优化出的更大的露天境界坑所产生的净现值逐渐下降的情况。通过以上分析,并结合表 3 和图 6 可以看出境界方案 Pit11 对应的净现值 933.3 亿元为最大,其对应的境界坑体 Pit11 为当前条件下最优境界,但没有考虑时间因素。为了降低投资风险,给投资决策者着提供一个资金的时间价值,对价格系数 0.5~1.3 倍的区间,按 0.05 的步距共计 17 个方案编排进度计划。Whittle 软件将以基建工程量最少和平衡生产剥采比为原则,采取相同的开采顺序、台阶工艺参数和开采强度要求,完成上述 17 个境界的采剥进度计划

表 3 不同价格系境界优化结果对应矿岩量、净现值表
Table 3 The NVP of series nested limit in different price

境界方案	价格系数	矿岩总量/万 t	矿量/万 t	岩量/万 t	剥采比/(t·t ⁻¹)	铜金属量/t	铜品位/%	净值/亿元
Pit1	0.50	269	171	98	0.57	1.03	0.601	1.90
Pit2	0.55	35 868	21 936	13 932	0.64	107.91	0.492	203.50
Pit3	0.60	59 737	38 214	21 523	0.56	178.3	0.467	316.60
Pit4	0.65	110 664	73 933	36 731	0.50	318.36	0.431	508.70
Pit5	0.70	168 276	111 189	57 087	0.51	453.14	0.408	669.20
Pit6	0.75	243 409	159 856	83 553	0.52	619.27	0.387	834.60
Pit7	0.80	278 239	180 579	97 660	0.54	684.59	0.379	881.00
Pit8	0.85	308 606	197 690	110 916	0.56	735.62	0.372	906.70
Pit9	0.90	338 843	210 028	128 815	0.61	774.36	0.369	922.30
Pit10	0.95	370 153	221 272	148 881	0.67	809.51	0.366	931.20
Pit11	1.00	395 336	229 479	165 857	0.72	835.51	0.364	933.30
Pit12	1.05	415 453	234 974	180 479	0.77	852.76	0.363	931.80
Pit13	1.10	433 904	239 433	194 471	0.81	866.84	0.362	928.00
Pit14	1.15	445 147	241 749	203 398	0.84	874.39	0.362	924.80
Pit15	1.20	459 457	244 573	214 884	0.88	883.49	0.361	919.40
Pit16	1.25	471 386	246 666	224 720	0.91	890.20	0.361	914.20
Pit17	1.30	483 301	248 744	234 557	0.94	896.85	0.361	907.90

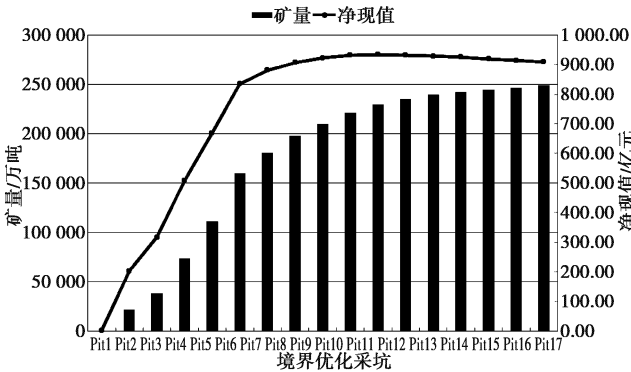


图 6 各境界优化结果矿量与净现值关系图

Fig. 6 The relationship between ore quantity and NVP

编排,计算出各优化境界的服务年限,各方案排好进度计划后,软件根据每年矿岩采剥量、出矿品位、金属价格计算各方案的年现金流入量,最后利用公式 $NPV = CF \times (1 + r)^{-t}$ (CF :年现金流入量; r :贴现率; t :由基建第一年开始计算的矿山生产时间)计算出每个境界坑体最优条件下的净现值(NVP)(表 4)。同时为了更加直观的利用分析数据,选择最优的境界优化坑体,将表 4 中的各优化境界坑体的净现值与服务年限关系形成图 7,由图 7 和表 4 综合可知,Pit10 的净现值 NPV 累积结果最高。综合比较分析,推荐 Pit10 方案,即金属价格取基本价格系数的 0.95 倍时的境界方案是考虑时间因素条件下的最优境界,该境界作为本设计推荐的最优境界坑体。运用该最终最优坑体结合露天采矿设计参数和露天采矿设计规范,形成该矿设计最终境界模型(图 8)。

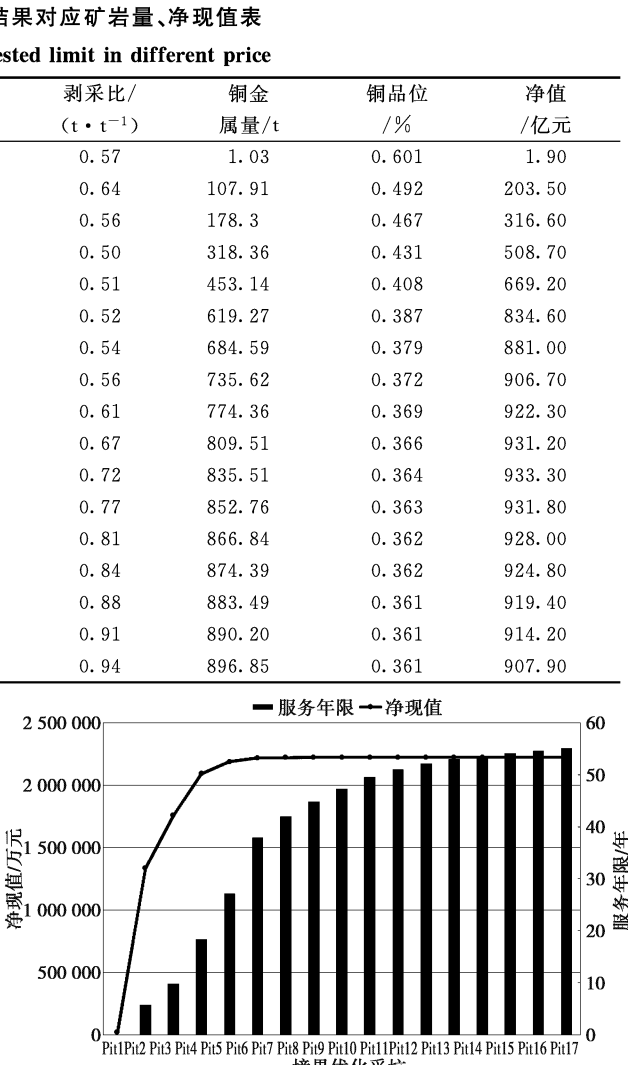


图 7 各境界方案净现值和服务年限的关系图

Fig. 7 The relationship between ore NPV and open-pit life

表 4 各优化境界坑最优条件下净现值、服务年限表

Table 4 The detailed data of NVP and open-pit life

境界方案	价格系数	净现值/万元	矿岩总量/万 t	矿量/万 t	岩量/万 t	服务年限/a
Pit1	0.50	19 208	269	171	98	0.04
Pit2	0.55	1 334 520	35 868	21 936	13 932	5.77
Pit3	0.60	1 756 140	59 737	38 214	21 523	9.80
Pit4	0.65	2 089 680	110 664	73 933	36 731	18.39
Pit5	0.70	2 186 220	168 276	111 189	57 087	27.12
Pit6	0.75	2 215 900	243 409	159 856	83 553	37.93
Pit7	0.80	2 219 710	278 239	180 579	97 660	41.97
Pit8	0.85	2 221 110	308 606	197 690	110 916	44.83
Pit9	0.90	2 221 630	338 843	210 028	128 815	47.26
Pit10	0.95	2 221 840	370 153	221 272	148 881	49.47
Pit11	1.00	2 221 820	395 336	229 479	165 857	51.00
Pit12	1.05	2 221 730	415 453	234 974	180 479	52.07
Pit13	1.10	2 221 630	433 904	239 433	194 471	53.00
Pit14	1.15	2 221 550	445 147	241 749	203 398	53.51
Pit15	1.20	2 221 440	459 457	244 573	214 884	54.13
Pit16	1.25	2 221 330	471 386	246 666	224 720	54.60
Pit17	1.30	2 221 210	483 301	248 744	234 557	55.06

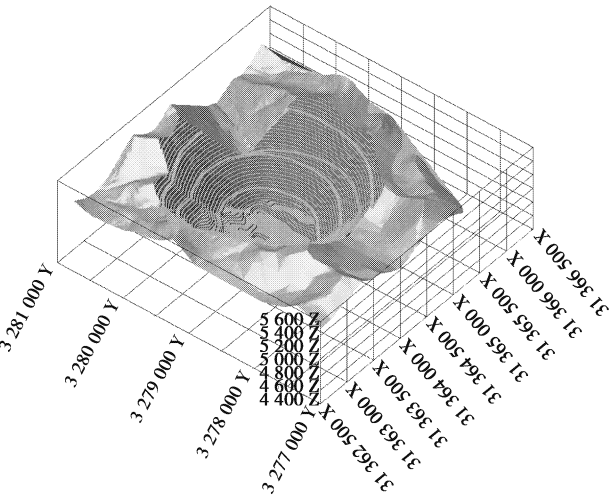


图 8 西藏某矿设计最终露天境界

Fig. 8 The final designed pit of some pit in Tibet

3 结论

1)通过本次 Whittle 软件在露天境界优化中的应用表明,Whittle 软件 4D 境界优化方法具有高效、快捷的优点,极大的减少了矿山境界优化的工作量,提高了工作效率,且其优化结果三维可视化程度高,更加的形象直观,对矿山企业数字化和信息化建设起到很大的推动作用。

2)Whittle 软件露天境界优化的基础数据为地质块体模型,模型的导入与其他三维矿业软件具有很好的兼容性,在地质模型发生变化的情况下,该软件能适时的进行动态境界优化,以此保证露天生产始终处于最优状态和企业利益最大化。

3)该软件采用 L—G 图论法进行境界优化,结

合价格系数调整,能够一次性排出一系列露天境界方案,矿山管理者可根据矿山实际状况和当前产品市场价格选选择出既符合矿山实际状况又能保证矿山利益的最佳优化境界。

参 考 文 献

[1] 王建卫,段银联. Whittle 软件在内蒙古迪彦钦阿木钼矿境界优化中的应用[J]. 科技信息(矿业论坛), 2015(13):362-363. WANG Jianwei, DUAN Yinlian. The application of Whittle software in the optimization of the boundary of Mongolian Diyanqin'amu molybdenum mine [J]. Science and Technology Information (Mining Forum), 2015(13):362-363.

[2] 杨 彪. Whittle 在露天矿开采境界优化中的应用[J]. 有色金属(矿山部分), 2013,65(3):24-28. YANG Biao. Application of Whittle in the optimization of open pit mining boundary[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2013,65(3):24-28.

[3] 梅开品. Whittle 软件在某矿露天开采境界优化中的应用[J]. 采矿工程, 2018(1):67-69. MEI Kaipin. Application of Whittle software in the optimization of open mining in a mine[J]. Mining Engineering, 2018(1):67-69.

[4] 李洁慧,郭明明. 基于 Whittle 的露天矿境界优化及应用研究[J]. 采矿技术, 2017,17(2):30-32. LI Jiehui, GUO Mingming. Optimization and application research of open pit mine based on Whittle [J]. Mining Technology, 2017,17(2):30-32.

[5] 阮诗昆. 基于 Whittle 的露天矿开采境界优化应用研究[J]. 采矿技术, 2017,17(5):35-38. RUAN Shikun. Research on optimization application of open pit mining based on Whittle[J]. Mining Technology, 2017, 17(5): 35-38.