

矿床工业指标优化及其对矿山可持续发展的意义:以紫金山金矿为例

万昌林, 刘亮明, 蔡爱良

(中南大学地学与环境工程学院, 长沙 410083)

[摘要] 矿床工业指标的优化应体现动态性和及时性的原则, 建立起能反映各有关参数间动态联系的数学模型, 在生产成本、产品价格、生产技术等有较大变化时及时进行优化, 从而有效地保护和科学、合理地开发利用矿产资源, 实现可持续发展。本文以福建紫金山金矿为例, 论述了矿床工业指标优化的原则和可行性, 阐述了矿床工业指标优化参数的选择和论证过程, 以及增加矿产资源储量, 提高资源利用率, 延长矿山服务年限, 实现矿山可持续发展的意义。

[关键词] 矿床工业指标 可持续发展 优化

[中图分类号] P618.51 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2010)02-0285-06

Wan Chang-lin, Liu Liang-ming, Cai Ai-liang. Industrial parameter optimization of ore deposits and its significance for mine sustainable development: a case study of the Zijinshan gold mine[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(2): 0285-0290.

矿产资源的社会意义和经济价值的最大化是矿山企业实现可持续发展的根本前提。其社会意义的最大化要求我们要尽可能地降低矿床的工业指标, 以实现已发现资源储量的最充分开发; 而其经济价值的最大化则不容许我们不加限制地降低矿床工业指标, 矿床工业指标只能降到一个合适的水平, 以保证矿床开发的最大赢利, 所以矿床边界品位等工业指标的最优化对矿山开发过程中具有十分重要意义的技术经济活动, 历来就受到矿业开发者和研究者的重视 (Lane, K. F., 1988; Whittle J, Wharton C, 1995; Dagdelen, K., Mohammed, W. A. A., 1997; Cairns R D, Shinkuma T, 2003; Osanloo M, Ataei M, 2003)。

长期以来, 中国国有矿山企业总是以上级主管部门以文件的形式下达矿床的工业指标, 大多数情况下, 这些指标都没有达到最优化。而股份企业紫金矿业却做得非常好, 并通过紫金山金矿的工业指标的最优化而取得了非常好的效益 (池顺都等, 2003)。

本文拟以福建紫金山金矿为例, 阐述矿床工业

指标优化对实现矿产资源开发的可持续发展的重要意义。

1 矿产资源概况

该矿床属中低温次火山热液金属硫化物次生富集金矿床。矿体赋存于潜水面以上的氧化带中, 海拔标高范围是 508 ~ 1016 m, 矿体形态呈脉状和透镜状, 沿走向两端逐渐分支复合、变小尖灭。矿体主要受北西向构造控制, 总体走向 314 ~ 321°, 倾向 44 ~ 51°, 倾角 38 ~ 57°。根据矿化带的空间分布将矿床划分为西北矿段 (24 线以西) 和东南矿段 (24 线以东), 沿走向长近 2000 m, 沿倾向宽达 800 m, 形成平面面积约 1.3 km² 的矿化带 (姚香, 2006; 刘荣春, 2004)。

金矿物以自然金为主, 主要赋存在褐铁矿中, 赋存状态主要为裂隙金, 主要有用组分为金, 伴生少量银, 其它伴生有益、有害组分含量甚微。

金矿体矿化连续, 品位分布较均匀。品位在 2×10^{-6} 以上时, 矿体呈断续脉状分布; 当边界品位降至 0.5×10^{-6} 后, 矿体呈片产出, 呈巨大透镜状, 显示出

[收稿日期] 2009-08-10; [修订日期] 2010-3-10; [责任编辑] 陈喜峰。

[第一作者简介] 万昌林 (1963 年-), 男, 江西南昌人, 中南大学地学与环境工程学院博士生, 主要从事矿产资源评估与开发咨询工作, E-mail: wanchanglin@nerin.com。

矿化整体连续性好的特大型低品位资源矿床的特征。

2 矿床工业指标优化的原则

矿床工业指标是指当前技术经济条件下,矿床应达到以工业规模利用的综合标准,是评价矿床工业价值、圈定矿体、估算矿产资源/储量的依据。在矿床工业指标优化中既要考虑企业的经济效益,又要考虑矿产资源回收、环保、生态平衡、产品单位能耗等社会效益;工业指标的优化应体现动态性和及时性的原则,建立起能反映各有关参数间动态联系的数学模型(初道忠等,2008;柳等,2007),在生产成本、产品价格、生产技术等有较大变化时及时地进行优化,从而有效地保护和科学、合理地开发利用矿产资源,实现可持续发展(阮志桥等,2005;吴仲雄等,2007)。

3 矿床工业指标优化的可行性

影响矿床工业指标优化的因素主要包括地质资源、采、选、冶技术和市场经济因素等几个方面,工业指标优化要根据矿山当前的采、选、冶技术经济条件,对矿床地质和矿山开发进行全面的经济分析和综合论证(李续等,2009),使之适应市场技术经济条件的变化,最大限度地提高矿产资源利用率与矿山企业的经济效益。

紫金山金矿自 1993 年始开发建设,多年来获得了跨越式发展。1996~1997 年进行金矿三期工程(0.2×10^4 t/d)建设,同年建成投产;1998 年进行金矿低品位物料(即含金废石)综合利用(0.7×10^4 t/d)建设,次年建成投产;2000 年进行金矿四期技改,2001 年建成,矿石处理能力达 1155×10^4 t/a;后又经多次挖潜,至 2005 年底金矿石实际处理能力约达 1900×10^4 t/a(其中含金废石约 900×10^4 t)。2006 年进行金铜矿联合开发研究,金矿石达产年采矿量 3750×10^4 t/a,品位 0.5×10^{-6} 以上采矿量为 1760×10^4 t/a,含金废石采矿量为 1990×10^4 t/a(李小文,2005)。

通过技术创新和技术改造,取得采、选、冶技术上的重大突破(胡世丽等,2003)。矿石入选品位由 2.5×10^{-6} 降至 0.71×10^{-6} ,选冶综合回收率由不足 65% 提高到 75%(曾宪辉,2002),吨矿综合成本由 1996 年的 109.65 元/t 降至 38 元/t,矿山规模由 0.2×10^4 t/d 扩大到 11×10^4 t/d。各项技术经济指标

达到国内先进水平,继续沿用原有的工业指标评价开发矿产资源已不合适,优化矿床工业指标势在必行。

4 矿床工业指标优化论证

紫金山金矿 1995 年前执行的矿床工业指标是福建省(93)闽储便字第 080 号文件批准的,其中:

- 边界品位(Au): 1×10^{-6} ;
- 最低工业品位:(Au): 3×10^{-6} ;
- 最小可采厚度:1 m;
- 夹石剔除厚度:2 m。

原冶金工业部黄金管理局于 1998 年 7 月下达了紫金山金矿矿床工业指标,其中:

- 边界品位(Au): 0.5×10^{-6} ;
- 最低工业品位:(Au): 1.0×10^{-6} ;
- 矿床平均品位:(Au): 1.5×10^{-6} ;
- 最小可采厚度:3 m;
- 夹石剔除厚度:6 m。

为适应矿山采选冶技术经济条件的变化,满足矿山在新的市场经济形势下的资源开发要求,2006 年再次进行矿床工业指标优化。此次指标优化系采用国土资源部储量司认可的美国 Mintec 公司 Minesight 软件,建立紫金山金矿床数学模型,运用地质统计学方法(克立格法)计算完成的。工业指标试算方案见表 1。

表 1 金矿工业指标方案表						
Table 1 Gold industry index programs table						
项 目	方 案					
	单位	1	2	3	4	5
开采块段(m)		12×12×12				
边际品位 10 ⁻⁶	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	

储量试算范围为整个金矿床,试算结果见表 2、3。

表 2 各方案储量试算结果表				
Table 2 Calculation result of reserves by varied schemes				
方案	边际品位	矿石量	品味	金属量
	10^{-6}	10^4 t	10^{-6}	kg
1	0.2	36790	0.53	196625
2	0.3	26714	0.64	172243
3	0.4	19672	0.75	147414
4	0.5	14293	0.87	124682
5	0.6	10636	0.97	103186

表 3 金矿分品位区间储量统计表

Table 3 Reserves statistics of gold in grade intervals

品位区间	矿石量	品位	金属量
	10 ⁴ t	10 ⁻⁶	kg
0.2~0.3	10076	0.24	24382
0.3~0.4	7042	0.35	24829
0.4~0.5	5379	0.42	22732
0.5~0.6	3657	0.59	21496
>0.6	10636	0.97	103186

各方案采用的经济指标资料根据矿山资料确定,投资根据矿山的实际指标扣除剥离费(剥离费单独估算)并参考同类项目估算;项目的采矿作业成本按 6.2 元/t,剥离作业成本为 6.08 元/t,金选冶作业成本按 9.16 元/t;项目的期间费用参考矿山的现有指标;销售税金及附加根据国家规定计算;选冶回收率指标根据矿石品位及矿山的实际指标而定;各方案经济效益对比结果见表 4。

表 4 各方案经济效益对比表

Table 4 Comparison of economic effects for varied schemes

序号	名称	单位	方案				
			1	2	3	4	5
1	边际品位	Au10 ⁻⁶	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
2	矿床平均品位	Au10 ⁻⁶	0.53	0.64	0.75	0.87	0.97
3	矿产资源/储量	10 ⁴ t	36790	26714	19672	14293	10636
4	平均剥采比		0.51	0.81	1.38	2.17	3.07
5	矿山生产能力	10 ⁴ t/a	3909.47	3366.98	2819.63	2397.51	2073.78
6	建设剥离量	10 ⁴ t	2350	2467.5	2590.88	2720.42	2856.44
7	服务年限	a	7	7	7	6	5
8	工作制度	d/s/h	330/3/8	330/3/8	330/3/8	330/3/8	330/3/8
9	选冶综合回收率	Au%	72	75	78	80	80
10	单位矿石销售收入	元/t	46.09	53.62	64.08	75.12	84.51
11	单位矿石成本	元/t	31.60	33.74	37.58	42.80	48.65
12	单位产品利润	元/t	14.50	19.88	26.50	32.31	35.86
13	销售收入	万元/a	180205	180527	180693	180093	175248
14	总成本	万元/a	123524	113605	105975	102619	100887
15	利润总额	万元/a	56681	66922	74718	77475	74361
16	投资总额	万元/a	121561.05	103180.8	85466.29	72968.31	64541.72
17	投资利润率	%	47%	65%	87%	106%	115%
18	投资利税率	%	47%	66%	88%	107%	116%
19	投资回收期(不含建设期)	a	2.1	1.5	1.1	0.92	0.8
20	财务内部收益率	%	31	41	53	60	62
21	财务净现值(ic=10%)	万元	113870	166566	209765	199568	163980

从表 4 可见,金矿以边际品位≥0.5×10⁻⁶方案最优。表现为年处理矿石 2397.51×10⁴t,年产金 16.30 吨,产生的利润总额最大,为 77475 万元,投资回收期短,回收期为 0.92 年,财务净现值(ic=10%)最高,达 199568 万元,财务内部收益率最高,达 60%,大于基准收益率,盈利能力最强。

为充分利用低品位矿石资源,确定边际品位时,吨矿采矿、选矿成本同上,不分摊剥离费用(在矿石

开采中已分摊),制造费用、财务费用减半,管理费用按销售收入的 2.8% 计提,销售费用及税金附加按相关规定。低品位矿石各方案经济效益对比见表 5(南昌有色冶金设计研究院,2005)。

从表 5 可见,金矿边际品位 0.2×10⁻⁶,回收吨含金固体废弃物可创造利润 4.93 元,可回收低品位金矿石约 1.5 亿吨,金金属 36t,实现利润 7.4 亿元,既有一定的经济效益又充分利用资源。

表 5 低品位矿石 各方案经济效益对比表

Table 5 Comparison of economic effects of the low-grade ore for varied schemes

序号	名称	单位	方案		
			1	2	3
1	边际品位	Au10 ⁻⁶	0.2	0.3	0.4
2	矿床平均品位	Au10 ⁻⁶	0.58	0.7	0.81
3	矿产资源/储量	t	305.26	273.09	239.88
4	矿山生产能力	104t/a	3909.47	3366.98	2819.63
5	服务年限	a	4	3	2
6	工作制度	d/s/h	330/3/8	330/3/8	330/3/8
7	选冶综合回收率	Au%	70	73	76
8	单位矿石销售收入	元/t	25.92	29.41	36.42
9	单位矿石成本	元/t	20.98	21.12	21.38
10	单位产品利润	元/t	4.93	8.30	15.03
11	销售收入	万元/a	101326	99036	102680
12	总成本	万元/a	82040	71103	60294
13	利润总额	万元/a	19287	27933	42386
14	投资总额	万元/a	121561.05	103180.8	85466.29
15	投资利润率	%	16%	27%	50%
16	投资利税率	%	16%	27%	50%
17	投资回收期(不含建设期)	a	2.1	1.5	1.1
18	财务内部收益率	%	31	41	53
19	财务净现值(ic = 10%)	万元	113870	166566	209765

综合分析对比,各方案圈定的矿体形态、产状变化不大,仅完整程度、矿化范围略有变化。各方案经济效益对比结果表明,方案 4、每年的利润总额最大,投资回收期短,财务净现值最高,财务内部收益率最大,偿还能力和盈利能力最强,经济效益最好(初道忠等,2007)。

建议紫金山金矿的工业指标为(表 6)。

表 6 紫金山金矿的工业指标

Table 6 Industrial index of the Zijinshan gold mine

矿石类型	金矿 (Au×0 ⁻⁶)
工业矿石指标	
开采块段(m)	12×12×12
工业矿石:块段品位	≥0.5
经济合理剥采比(t/t)	≤4
低品位矿石指标	
品位区间	0.20 ~ 0.50

5 矿床工业指标优化对可持续发展的意义

矿产资源的稀缺性和不可再生性决定了我们在

开发利用矿产资源时要努力挖掘资源潜力,提高资源利用率,充分注重低品位矿产资源的开发利用,扩大矿产资源储量,为可持续发展奠定物质基础。

表 7 为运用地质统计学(普通克里格法)计算的截止 2005 年底金矿不同边际品位下的保有资源储量。

从表 7 可以看出,不同边际品位,其矿石量、金属量和品位是不一样的,随着边际品位的降低,矿石量和金属量增加,矿石的品位降低。因此,根据技术经济条件的变化,适时优化矿床工业指标,降低边际品位,可有效增加矿产资源储量,提高资源利用率,延长矿山服务年限。

紫金山金矿矿床工业指标实行动态管理,工业指标随市场和矿山技术经济条件的变化而及时优化,边界品位由 1×10⁻⁶下降到 0.2×10⁻⁶,矿体由原来规模小,变化大的 40 余个合并为一个形态简单规模巨大的矿体(陈景河,2000),金储量由最初地勘部门提交的 5.45 吨提高到 325 吨,由原来的小型矿床提升为特大型岩金矿床,矿山规模由 0.2×10⁴ t/d

扩大到 11×10^4 t/d。使这个原被认为品位太低、无利可图的金矿山成为国内单体矿山黄金产量最大、采选规模最大、矿石入选品位最低和单位矿石处理成本最低的的特大型露天开采、破碎洗矿—粗粒堆浸、静态吸附—矿泥炭浸的采选企业,创造了多项全国金矿技术经济指标第一的突出业绩。由此可见,实行技术创新,优化矿床工业指标,对实现矿山可持续发展具有重要意义。

表 7 不同边际品位下矿产资源储量表
Table 7 Mineral resource reserves for the different cut-off grades

边际品位	矿石量	品位	金属量
10^{-6}	10^4 t	10^{-6}	kg
0.1	38410.8	0.497	190902
0.2	32798.6	0.557	182688
0.3	25615.6	0.644	164964
0.4	18992.5	0.749	142254
0.5	13930.1	0.860	119799
0.6	10239.6	0.974	99734
0.7	7532.5	1.093	82330
0.8	5608.3	1.214	68085
0.9	4239.8	1.334	56559
1.0	3280.6	1.449	47536
1.1	2618.5	1.551	40613
1.2	2114.1	1.649	34862
1.3	1723.5	1.741	30006
1.4	1391.8	1.836	25553
1.5	1128.7	1.927	21750
1.6	890.1	2.031	18078
1.7	695.8	2.139	14883
1.8	545.7	2.247	12262
1.9	434.0	2.351	10203
2.0	349.1	2.451	8556

[References]

Lane, K. F. , 1988. The economic definition of ore; Cutoff grades in theory and practice[J]. Mining Journal Books Ltd, London. P145

Whittle J, Wharton C. 1995. Optimizing cut-off grades[J]. Mining Magazine, 287-289

Dagdelen, K. , Mohammed, W. A. A. , 1997. Multi mineral cutoff grade optimization with option to stockpile[C]. Proceedings of the SME Annual Meeting, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc. , Littleton, CO, pp. 1-12.

Cairns R D, Shinkuma T. 2003. The choice of the cutoff grade in mining [J]. Resources Policy, 29:75-81

Osanloo M, Ataei M. 2003. Using equivalent grade factors to find the optimum cut-off grades of multiple metal deposits[J]. Minerals Engineering, 16: 771-776

Chi Shun-du, Liu Zhi-guo, Zhu Jian-dong. Application of grade statistical analysis and the Prediction obtained by scheme method to Optimization of deposit industrial index[J]. Geoloy and Prospecting, 2003, 39(2):81-84

Yao Xiang. 2006. Zijin Mining group pioneering in utilization of low grade geological resource in China[J]. Metal Mine, (suppl):230-237

Liu Rong-chun. 2004. Geological technique study of low grade resource development in zijinshan gold mine[J]. China mine Engineering, 33(2):14-17

Chu Dao-zhong, Wang Qing, Zheng Hua-chang. 2008. The dynamic programming optimize method and its application of cut off grade [J]. China mining magazine, 17(9):67-85

Liu Deng-deng, Li keqing. 2007. Comprehensive evaluation study on grade index of certain gold-copper Deposit[J]. China mining magazine, 16(1):94-97

Ruan Zhi-qiao, Yang Quan-xi, He Hong-tao. 2005. A discussion on some problems of industry index [J]. Resource Environment & Engineering, 19(3):242-244

Wu Zhong-xiong, Gao Qing-ping. 2007. The research on evaluation of mineral resources sustainable power[J]. China mining magazine, 16(7):24-27

Li Xu, LuDa-chao. 2009. Establishment of industrial index in polymetallic deposit; taking an oversize copper-molybdenum deposit in north china for example [J]. Global Geology , 28(1):34-38

Li Xiao-wen. 2005. Exploitation of low-grade mineral resources at Zijinshan gold mine [J]. multipurpose Utilization of mineral resouces, (5):35-38

Hu shi-li, Wang guan-shi. 2003. The Application of bacterial copper-leading technique in Zijinshan copper mine[J]. Jiang su geology, 27(1):31-33

Zeng Xian-hui. 2002. Assessment and development of low-grade deposit resource in Zijinshan gold mine[J]. Nonferrous Mines ,31(6):23-26

Chu Dao-zhang, Wang Qing, Ren Feng-yu. 2007. Study on cut off grade in a foreign underground copper mine[J]. China mining magazine, 16(4):94-97

Nanchang Engineering & Research Institute of Nonferrous Metals. 2005. Zijinshan gold and copper mine in Shanghang county, Fujian province, Industrial parameters recommend[M]

Chen Jing-he. 2000. Thought on the exploration and development of Zijinshan gold-copper mine[J]. Metal mine (3):1-4

[附中文参考文献]

池顺都,刘治国,朱建东. 2003. 矿床工业指标优化时的品位统计分析 及方案法结果的预测[J]. 地质与勘探, 39(2):81-84

姚 香. 2006. 紫金矿业开创我国低品位地质资源开发利用之先河 [J]. 金属矿山, (增刊):230-237

刘荣春. 2004. 紫金山矿低品位资源开发的地质技术研究[J]. 中国 矿山工程, 33(2):14-17

初道忠,王 青,郑怀昌. 2008. 边界品位的动态规划优化方法及其应用[J]. 中国矿业,17(9):67-85

柳等等,李克庆. 2007. 金铜矿床品位指标的综合评价研究[J]. 中国矿业,16(1):94-97

阮志桥,袁全喜,何洪涛. 2005. 矿床工业指标及其有关问题的讨论[J]. 资源环境与工程, 19(3):242-244

吴仲雄,高清平. 2007. 矿产资源可持续力评价研究[J]. 中国矿业, 16(7):24-27

李 续,卢大超. 2009. 多金属矿床工业指标的制定-以中国北方某特大型铜钼矿床为例[J]. 世界地质, 28(1):34-38

李小文. 2005. 紫金山低品位金矿资源的开发利用[J]. 矿产综合利用,(5):35-38

胡世丽,王观石. 2003. 细菌浸铜技术在紫金山铜矿的应用[J]. 江苏地质,27(1):31-33

曾宪辉. 2002. 紫金山金矿低品位资源的评价与开发利用[J]. 有色金属,31(6):23-26

初道忠,王 青,任凤玉. 2007. 国外某地下铜矿边界品位的研究[J]. 中国矿业, 16(4):94-97

南昌有色冶金设计研究院. 2005. 福建省上杭县紫金山金铜矿工业指标推荐书[M]

陈景河. 2000. 紫金山金铜矿勘查与开发的思考[J]. 金属矿山[J], (3):1-4

Industrial Parameter Optimization of Ore Deposits and Its Significance for Mine Sustainable Development: A case study of the Zijinshan Gold Mine

WAN Chang-lin, LIU Liang-ming, CAI Ai-liang

(School of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083)

Abstract:The optimization of ore deposit industrial parameters should embody the principles of dynamics and promptness, and establish the mathematical models that reflect the dynamic relations among relevant parameters. It should optimize the parameters timely when production costs, product prices and production technology change a lot to achieve an effective protection, and exploit the mining resources in a reasonable and scientific way for sustainable development. This paper takes the Fujian Zijinshan gold project as an example to discuss the principles and the feasibility of industrial parameters optimization for ore deposits, elucidate the selection and demonstration procedures of the parameters and the significance of increasing mining resources reserves, improving utilization rate, and extending the service life of mine to achieve the sustainable development.

Key words:ore deposit industrial parameters,sustainable development, optimization