

首钢矿业公司铁精矿品位整体动态优化研究

袁怀雨 刘保顺 李克庆 孔令坛 胡永平

(北京科技大学 土木与环境工程学院 100083)

摘要 在建立选矿、烧结(球团)、炼铁等有关数学模型的基础上,研发了可进行地质—采矿—选矿—烧结(球团)—炼铁整体效益测算的专用软件。该软件用模糊综合评判法进行以系统利税总和及生铁产量为目标的多目标决策。结论是提高精矿品位有利于提高矿山—炼铁的整体效益,当有一定限度。当原料和生铁价格变化时,用该软件可实时确定综合效益最佳的精矿品位。

关键词 铁精矿品位;优化;整体;动态;多目标决策

United Dynamic Optimization Study on the ShuiChang Iron Concentrate Grade

Yuan Huaiyu, Liu Baoshun, Li Keqing, Kong Lingtan

Civil and Environment Engineering School, UST Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACT Based on the mathematical models of mineral processing, sintering (pellet), iron making, the exclusive software is developed, which can evaluate the whole benefit including geology, mining, mineral processing, sintering (pellet) and iron making. Using fuzzy integrated evaluation method, it makes multi-object-decision by the target of system added profit and pig iron product. The result shows that to raise iron concentrate grade is good for the integrated benefit from mines to iron making, but it should be limited. When the raw materials and the pig iron price change, the software can give the iron concentrate grade of the best integrated benefit immediately.

KEY WORDS iron concentrate grade, optimization, dynamistic, multi-object-decision

1 引言

铁精矿品位是重要的矿—冶技术指标之一,所谓“矿—冶技术指标”,是指可以人为地加以调整,用以控制矿—冶的生产,进而影响矿—冶效益的一些指标。以铁矿为例,在地质—采矿—选矿—烧结(球团)—炼铁生产系统中,就有圈定矿体的品位指标、采矿损失率、贫化率、入选品位、磨矿细度、选矿回收率、精矿品位、选矿比(或精矿产率)、烧结矿、球团矿的品位和碱度、炼铁渣量、焦比、高炉利用系数等等。

开发以铁精矿品位为核心的矿山—炼铁技术指标系统的整体、动态优化技术,为生产所急需,将有利于提高冶金工业的生产技术管理水平、整体效益和可持续发展,这已引起人们重视^[1-3]。

本研究是“十五”国家重点科技攻关课题《高质量铁精矿选矿新技术与装备研究》的专题之一,以首钢矿业公司水厂铁矿为依托工程,对水厂铁矿以铁精矿品位为核心的矿山—炼铁的技术指标系统,进行整体、动态优化研究,编制专用优化软件,优化目标是从矿山—烧结—球团直至炼铁的整体综合效益最佳。并在此基础上,编制可用于同类型铁矿的精矿品位整体动态优化通用软件,该成果已通过科技部组织的专家验收。

2 首钢矿业公司水厂铁矿概况

2.1 地质概况

水厂铁矿是首钢迁安矿区的一个大型铁矿床,属鞍山式火山—沉积变质铁矿。矿石主要类型是磁铁矿石英岩,矿石的矿物成分比较简单,矿石的有用矿物以磁铁矿为主。矿石中的有益组分除铁以外,无其它可利用的元素,全矿床的矿石品位一般在24—32%之间,为贫矿石。表内矿、表外矿、极贫矿本质都是磁铁矿石英岩,矿物成分相同,只是品位不同。因此如果利用表外矿和极贫矿,选矿方法与表内矿相同。

2.2 采矿概况

水厂铁矿始建于1968年,是特大型露天矿山,采用汽车—破碎—胶带半连续运输开采工艺。具有

年产矿石 1100 万 t、采剥总量 4800 万 t 的生产能力。

2.3 选矿厂概况

首钢水厂选矿厂于 1971 年 5 月建成投产,现共有 19 个磨选系列,为单一磁选流程,设计年处理原矿 1800 万吨。破碎系统采用三段一闭路,主流程具有阶段磨矿,多段选别、细筛自循环工艺、尾矿强化磨矿、再选等特点。1985 年精矿品位曾经达到 68.5%,随着开采深度的不断增加,矿石可选性逐年下降。从 1995 年以来,精矿粉质量开始下滑。但通过磁滑轮干选、细筛、磁团聚等新技术、新设备的应用和一系列流程改造和技术攻关,自 1998 年下半年开始至今,精矿粉品位又提高并稳定在 68% 以上, SiO_2 含量降到 4% 以下。

3 技术指标优化方案设置

目前水厂铁矿生产实际技术指标为:表内矿、表外矿、极贫矿都开采,磨矿细度 -200 目占 80%,精矿品位为 68%,烧结矿碱度为 1.6,球团矿为酸性。

鉴于水厂目前表外矿矿量很少,只占不到 1%,而且选矿生产实际数据又表明,入选品位与精矿品位不相关。因此,本次研究未再对水厂铁矿品位指标进行优化,只设置了单独开采表内矿和同时开采表内矿、表外矿、极贫矿 2 个采矿方案。

根据对近年来采矿生产实际损失率和贫化率的统计分析,水厂铁矿损失率和贫化率之间不存在相关关系。因此,无法建立损失率与贫化率之间的数学模型及对损失率和贫化率进行优化,采用生产实际平均数,分别为 6% 和 7%。

水厂铁矿矿石的磁铁矿嵌布粒度在 0.5~0.062mm 之间,在我国同类型矿床中,属粒度较粗者,磁铁矿与脉石矿物共生关系简单,容易解离。可见,水厂铁矿矿石选矿性质属易选矿石。根据选矿生产实际和实验数据的统计分析,入选品位与精矿品位之间没有相关关系。因此,对于水厂铁矿的磁铁矿矿石而言,在不改变目前的磁选设备、工艺条件下,影响有用矿物单体解离度的磨矿细度,应该是影响精矿品位的主要因素。故而设置了磨矿细度从 -200 目占 70% 到 95%,步长 1%,共 26 个方案。

烧结矿碱度从 1.6 到 1.8,步长 0.1,共 3 个方案。

炉渣碱度从 1 到 1.2,步长 0.05,共 5 个方案。

共计组合成 780 个方案。

4 选矿数学模型

生产中各种矿石是混合入选的,磨矿细度是稳定的,所以无法用选矿生产实际数据来建立不同矿石的磨矿细度与精矿品位及选矿比的数学模型,因而补充进行了不同磨矿细度的选矿实验。

用选矿试验数据,对单独开采表内矿混岩和综合开采表内矿、表外矿、极贫矿混岩,分别建立了以磨矿细度为自变量,以精矿品位、选矿比为因变量的选矿数学模型,均通过数学检验,相关密切,为正相关关系。见图 1—4。

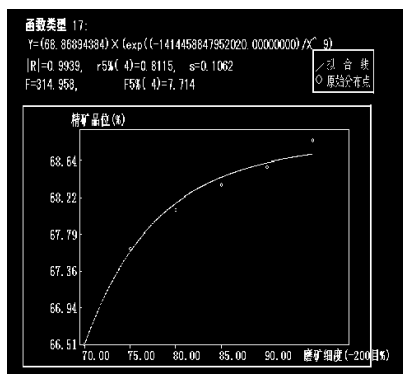


图 1 表内矿混岩磨矿细度与精矿品位相关关系

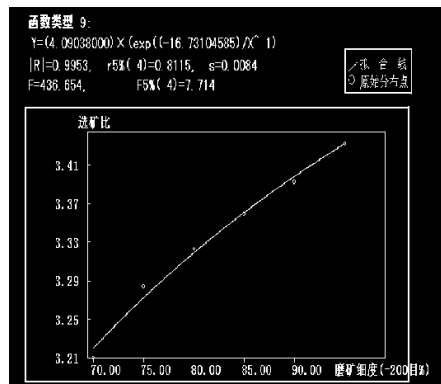


图 2 表内矿混岩磨矿细度与选矿比相关关系

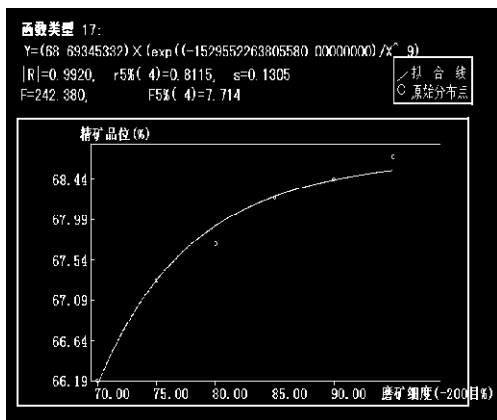


图3 表内外极贫矿混岩磨矿细度与精矿品位相关关系

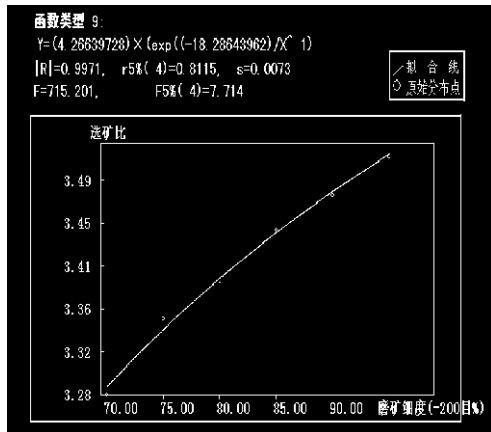


图4 表内外极贫矿混岩磨矿细度与选矿比相关关系

根据水厂选矿厂多年来生产实践中积累的磨矿细度与磨矿费用数据的统计,建立了水厂选矿厂磨矿细度-磨矿费用关系模型。见图5。

精矿中 SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3 含量也影响烧结、球团、炼铁时的熔剂、碱度、焦比、渣量等,从而影响生铁的产量和成本。为此,根据水厂铁矿不同精矿品位样品的 TFe 与 SiO_2 含量数据,建立了 TFe 与 SiO_2 的回归方程,如图6所示。但相关检验表明,精矿中 CaO 、 Al_2O_3 含量与 SiO_2 含量没有相关关系,无法建立数学模型;而且精矿中 CaO 、 Al_2O_3 含量都小于 1%,对效益影响不大。故精矿中 CaO 、 Al_2O_3 含量取平均值。

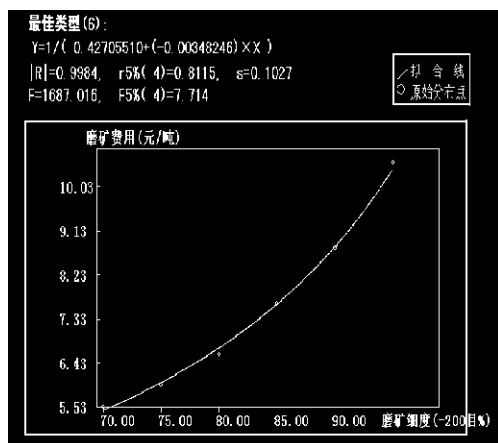


图5 磨矿细度与磨矿费用相关关系

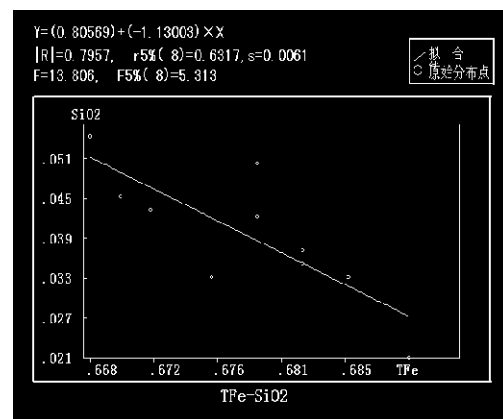


图6 水厂铁精矿 TFe 与 SiO_2 的回归方程

5 烧结(球团)炼铁数学模型

烧结矿的数学模型是建立在烧结过程物料平衡的基础之上,包括烧结矿产量、烧结矿碱度和烧结过程中氧变化三个基本方程^[4]。

球团矿的技术经济指标与烧结矿相似,所不同的是球团矿配料中一般不加石灰石,所以球团矿中含 CaO 很低,碱度(CaO/SiO_2)常在 0.1 以下,故称之为酸性球团矿。球团矿中的 FeO 也很低,一般在 1% 以下,赤铁矿(Fe_2O_3)是球团矿中的主要矿物。球团矿的粒度较均匀,首钢矿业公司将其粒度固定为 10-16mm。

球团矿数学模型也是建立在物料平衡的基础上的,与烧结矿不同的是没有碱度要求,省了碱度方程。球团矿不加熔剂和燃料,因此只要烧结矿技术经济模型中的熔剂和燃料的成分删除,改为膨润土即可适用于球团矿。

根据炼铁的物料平衡求生铁产量和炉渣碱度的二个方程,根据热平衡建立能量平衡的方程,三个方程联立^[4]即可计算生铁产量、矿石、熔剂和焦炭的单位消耗,在此基础上即可建立高炉炼铁的技术经济模型。

将上述烧结、球团、炼铁技术经济模型联合起来,便可以计算不同品位的铁精矿用于炼铁的经济效果。本模型中烧结、球团、炼铁的各项工艺参数均选用该厂平均先进指标。如:

烧结矿的碱度(CaO/SiO₂):1.6 - 2.0

球团矿不配加熔剂、其碱度为自然状态

高炉炉料中熟料率(烧结矿 + 球团矿) ≥ 80 %

高炉配料中石灰石加白云石 ≤ 30kg/t 生铁。

高炉渣的碱度(CaO/SiO₂):1.0 - 1.2

本模型不具备校核炉渣脱 S 能力的功能 ,炉渣的碱度和 MgO 含量凭经验设定。

本模型用于首钢矿业公司的精矿烧结、球团、炼铁计算 ,从计算结果看 ,各项指标符合首钢生产实际 ,并居于国内先进水平 ,例如 :

烧结矿含铁品位 ≈ 59% ,碱度 ≥ 1.6

球团矿含铁品位 ≈ 66% ,SiO₂ < 4%

高炉冶炼的综合焦比 ≈ 500kg ,渣量 < 300kg

6 水厂铁矿精矿品位整体动态优化结果分析

该专用软件采用模糊综合评判法进行多目标决策 ,用德尔菲法确定的经济效益和资源回收效益的权重 ,取值分别为 0.77 和 0.23。

按 2004 年水厂铁矿采剥计划 ,对 780 个方案分别测算从采矿、选矿、烧结、球团直到炼铁的年利税总和 ,以及年生铁产量 ,并进行多目标决策 ,优化结果见表 1。

表 1 优化精矿品位及其综合效益

决策目标 技术经济指标	对比方案(焦炭 1200 元/t)		多目标优化(焦炭 1200 元/吨)	
	表内外矿	表内外矿	表内矿(方案 1)	表内外矿(方案 2)
磨矿细度(- 200 目 %)	78	85	80	80
供烧结精矿品位	67.06%	67.46%	67.38%	67.21%
供球团精矿品位	67.72%	68.24%	68.15%	67.92%
烧结矿产量(万吨)	497.92	496.72	490.08	497.37
烧结矿品位	59.21%	59.46%	59.38%	59.30%
烧结矿成本(元/吨)	303.27	306.25	306.91	304.16
球团矿产量(万吨)	228.75	224.08	225.6	227.32
球团矿品位	65.4%	65.69%	65.64%	65.51%
球团矿成本(元/吨)	378.06	384.39	377.74	379.87
入炉品位	62.09%	62.27%	62.24%	62.16%
焦比 Kg	325.0	321.5	322.64	323.74
渣量 kg	226.7	220.6	221.82	224.37
生铁产量(万吨)	573	571	567.58	572.64
生铁成本(元/吨)	1128.22	1126.29	1126.41	1127.13
年利税总和(万元)	213101	213431	212041.89	213520

(1)多目标优化后的技术指标 ,表内矿、表外矿、极贫矿都开采的方案(方案 2) ,年利税总和以及年生铁产量都优于只开采表内矿的方案(方案 1) ,前者比后者年利税增加 1478.11 万元 ,年生铁产量增加 5.06 万吨。

(2)优化的技术指标是动态的 ,焦炭价格和生铁价格都会影响精矿品位的变动。如方案 2 ,若焦碳价格从 1200 元/吨 ,涨到 1400 元/吨 ,则生铁成本提高 ,多目标优化的精矿品位应从 67.92% 提高为 68%(磨矿细度应提高为 - 200 目占 81%)。又如生铁价格提高至 2000 元/吨 ,多目标优化的精矿品位应降低为 67.72% (磨矿细度应降低为 - 200 目占 78%)。

(3)方案 2 的效益优于方案 1 的原因分析。

在采矿阶段 ,方案 2 虽然采出矿石量比方案 1 多 ,但采剥总量相同 ,因此年固定费用和年采剥费用相同。而表外矿和极贫矿作为岩石的运输距离又大于作为矿石的运输距离 ,因此方案 2 的矿岩运输费用反而小于

方案 1。方案 2 只是维简费和资源税费大于方案 1。正负效益相抵,方案 2 采矿总成本略大于方案 1,而采出矿石量大,因此,方案 2 单位矿石成本比方案 1 低 3 元。在选矿阶段,方案 2 与方案 1 相比,每吨入选矿石成本低 3 元;此外,精矿量比后者多,而选矿固定费用和折旧费不变,这将使单位精矿固定成本降低;而选矿变动费和磨矿费增加。但正效益超过负效益,所以方案 2 单位精矿成本低于方案 1。

(4) 适宜磨矿细度和最佳精矿品位的分析

随着磨矿细度增加,磨矿费用增长越来越多;而精矿品位增长越来越少(见表 2)。因此,磨矿细度较粗时,精矿品位提高 1 个百分点,单位精矿成本增加不多。例如:方案 2 综合精矿(与尾矿再选精矿混合的精矿)品位从 65.99% 提高至 67.02%(磨矿细度从 -200 目占 70% 增加至 75%),单位精矿成本从 319.07 元/吨精矿提高至 325.7 元/吨,相当于精矿品位提高 1 个百分点,单位精矿成本提高 6.44 元/吨精矿。而入炉品位提高 1 个百分点,单位炼铁成本降低约 17~18 元/吨生铁。显然,此时应该提高精矿品位。但当精矿品位从 67.55% 提高至 67.83%(磨矿细度从 -200 目占 80% 增加至 85%),只提高 0.28 个百分点,单位精矿成本从 332.22 元/吨精矿提高至 338.88 元/吨,相当于精矿品位提高 1 个百分点,单位精矿成本提高 23.79 元/吨精矿。可见,此时精矿成本的提高幅度超过了炼铁成本降低的幅度,从矿山到炼铁的综合效益将下降,年利税总和降低 89 万元,生铁产量减少 1.16 万吨(见表 1)。

7 结论

随精矿品位提高,生铁单位成本降低,对炼铁是有利因素,但同时选比增大,精矿产量降低,导致生铁产量降低,这对炼铁是不利因素。两个相反因素相互制约,必然有一个综合效益最佳的精矿品位。

表 2 综合精矿品位、成本对比表

细度 (-200 目%)	综合精矿			
	精矿品位(%)	品位差(%)	单位精矿成本(元/吨)	精矿品位高 1% 的成本差(元/吨)
70	65.99		319.07	
75	67.02	1.030	325.7	6.44
80	67.55	0.528	332.22	12.35
85	67.83	0.28	338.88	23.79

参 考 文 献

- 1 袁怀雨等. 优化铁精矿品位的意义和方法. 金属矿山, 1998(9): 28-31
- 2 胡永平, 袁怀雨等. 提高和优化铁精矿品位的技术途径. 金属矿山增刊, 2000(9): 15-19
- 3 石云良等. 铁精矿品位的多目标优化. 矿冶工程, 2003, 23(2): 46-48
- 4 贺友多. 炼铁学. 冶金工业出版社, 1980
- 4 刘琦. 炼铁精料带来的问题和对策. 全国炼铁原料学术会议论文集, 2003 年
- 5 孔令坛. 中国炼铁原料的技术进步和展望. 中国冶金, 2003(4): 1-4