

## 硼铁矿综合利用采矿设计优化思路

叶顺友

(首钢矿业公司投资经营部, 河北 迁安 064404)

**摘要:**为提升硼铁矿综合利用水平, 提高企业盈利能力, 通过研究首钢硼铁矿矿床概况、前期地质工作、矿石性质, 结合中冶北方编制的辽宁首钢硼铁矿采矿设计, 提出进一步优化设计方案思路。坚持“以硼为主, 综合利用”方针, 根据硼品位及赋存方式不同, 分批开采, 降低采出矿石硼贫化率; 通过排土方案经济性比较, 提出增加排土台阶, 降低排土费用, 改善矿车运行环境; 研究采场外排水替代新水, 详细测算成本费用, 有利于节约水资源, 降低取水成本; 强化后期生产组织, 及时回收挂帮矿; 提前组织周家大院矿体开采, 满足当前选矿需要。

**关键词:** 硼铁矿; 采矿设计; 综合利用; 排水; 成本

**中图分类号:** TD981 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4051 (2011) 09-0087-05

### Revised mining designs on comprehensive utilization of Boron iron

YE Shun-you

(The Marketing Department of Shougang Mining Investment Corporation, Qianan 064404, China)

**Abstract:** By studying the profiles of Shougang Boron iron deposits, early geological explorations, ore qualities, and the mine design of Liaoning Shougang Boron iron compiled by metallurgy of north China, a concrete optimization design idea is put forward to upgrade the comprehensive utilization level of Boron iron and profitability. According to comprehensive utilization based on boron guideline and different grades and occurrence modes of boron, exploitations should be done in batches to reduce the dilution rate of boron ore. It is proposed that more dumping steps should be added to lower the costs of dumping and improve the operating environment of tub after comparing the costs of different dumping programs. Also research on replacing fresh water with drain water should be done to save water resources and reduce the water costs. Besides, it is recommended that management in the later stage should be enforced to recovery the hanging wall ore timely, and ore exploitation of Zhou Courtyard should be organized in advance to meet the current needs of mineral process.

**Key words:** Boron ore; exploitation design; comprehensive utilization; drainage; cost

为加快将具有地域特色的硼铁矿资源优势转化为经济优势, 在辽宁省各级政府支持下, 首钢矿业公司主导, 东方测控、凤城黄金集团和中核金原铀业参股, 组建成立“辽宁首钢硼铁有限责任公司”, 参与翁泉沟硼铁矿资源综合利用项目。2009年7月取得采矿证, 2010年5月采选正式投产, 达产后每年生产硼化工产品折合十水硼砂2万t(硼砂、硼酸); 含硼铁精矿80万t及钼产品。

2010年3月, 辽宁省政府与首钢签订了战略合作协议, 共同建设辽东硼产业基地。为此, 对

硼铁矿综合利用采矿设计进行充分研究, 本着提高综合利用水平, 降低企业开采成本原则, 提出硼铁矿设计优化思路。

#### 1 硼铁矿概况

##### 1.1 位置与交通

翁泉沟铁硼矿床位于辽宁省丹东凤城市刘家河与四门子两镇交界处。矿区东侧有沈丹铁路及公路通过, 与最近的秋木庄站相距11km。通(通远堡)岫(岫岩)公路从矿区北部7km处的四门子镇经过, 在通远堡与沈丹公路连接。矿区附近最大河流为东部秋木庄东侧金家河, 它自西而东流经矿区北侧至刘家河曲折南下汇入草河, 河流距矿区约8km, 河水充沛。矿区交通、供电、用

水、均较方便。

## 1.2 历史工作

凤城翁泉沟硼铁矿床是1958年群众报矿发现的,至1961年间,辽宁省地质局原631队对该矿床进行了详查。丹东地质大队进行了详细勘探,本溪地质大队和铁岭地质大队也参加了勘探期间的会战。在充分归纳整理前期地质资料基础上,丹东地质大队于1976年底提交了《辽宁省凤城县翁泉沟铁硼矿床总结勘探报告》。前后两次地质工作,共施工钻探73856m、洞探104m、槽探45755m<sup>3</sup>、井探3161m,总投资534.83万元,累计探明了铁硼矿储量B+C+D级2.83亿t,其中B级7411万t、C级1.28亿t,属于大型矿床。

## 1.3 矿床概况

本矿床主要矿层有两层,第一层矿体分布于业家沟、翁泉沟、东台子,第二层矿体分布于周家大院。矿体呈层状-扁豆状,产于变粒岩层中。矿体因受断层的切割,造成矿体重复和拉开。矿体与围岩呈整合接触关系,并有金云透闪岩过渡层,层厚从零点几米到几十米不等。

矿床内规模较大的矿体为I号矿体,该矿体占据整个翁泉沟向斜构造的绝大部分,是本矿床的主矿体,占总储量的98%。由翁泉沟矿段~业家沟矿段组成,矿体地表走向呈东西向展布,南北宽1000m,东西长2250m。沿矿体走向、倾向厚度变化不大,最大厚度156m,平均厚度约45m。厚度变化系数24.96%,为稳定型。赋存于-50~494m标高之间。TFe平均品位29.66%,B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>平均品位6.26%。硼矿的品位变化系数3.92%,共生的铁矿品位变化系数8.18%,属均匀类型。

本区基本上全部为原生矿石。矿石所受氧化程度小,深度一般不超过3m,数量有限。

划定矿区范围内,主要包括业家沟矿段和翁泉沟矿段:其中业家沟矿段矿石量7657万t,翁泉沟矿段矿石量4912万t,两个矿段合计12570万t,占划定矿区范围内矿石量的98%以上。

露天境界内业家沟矿段和翁泉沟矿段保有的矿石储量为:业家沟矿段保有矿石地质储量331+332+333为4281.58万t;翁泉沟矿段保有矿石地质储量331+332为401.89万t。露天境界外矿石储量7886.53万t,后期采用地下开采方式进行回采。

## 2 中冶北方初步设计方案

翁泉沟硼铁矿由中冶北方工程技术有限公司负责采选部分设计工作,其设计方案如下:

### 2.1 开采方式及主要参数

根据矿体形态、产状和赋存状态,确定一期生产采用露天开采,然后转入地下开采。

露天开采方式为水平分层缓帮开采方法。

开拓运输方式采用平硐溜井-胶带运输系统,矿石由矿用汽车运至溜井,经粗破站破碎后由胶带机经平硐运至选矿厂中碎系统。

矿山生产顺序,由下盘部位开沟,向上盘部位斜交矿体走向推进。台阶高度为12m,工作台阶坡面角70°,最小工作平台宽度为40m,电铲最小工作线长度为300m,堑沟宽度为20m。正常情况下,4~5个水平同时工作,2~3个水平同时出矿,2~3个水平同时剥离。

矿石损失率为5%,废石混入率为5%。采出矿石B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位为5.71%,TFe品位为28.25%。矿石最大块度1000mm,岩石最大块度1200mm。

### 2.2 露天境界圈定

表1 露天开采终了境界圈定结果表

序号	项目	单位	指标	备注
1	终了境界 上盘	m	550	
	最高标高 下盘	m	502	
2	封闭圈标高	m	322	
3	露天底标高	m	214	
4	境界上口尺寸	m	2000×740	(长×宽)
5	露天底尺寸	m	184×80	(长×宽)
6	境界内矿岩合计	万t	17337.83	
	其中 矿石	万t	4683.46	
	岩石	万t	12651.79	
7	平均剥采比	t/t	2.70	

### 2.3 矿石性质

矿石体重:硼铁矿3.35 t/m<sup>3</sup>;岩石体重:平均2.74 t/m<sup>3</sup>。硬度系数:矿石: $f=10\sim12$ ;岩石: $f=10\sim18$ 。

露天采矿场内矿石地质品位为TFe:29.74%,B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:6.01%,近矿围岩及夹石不含铁和硼。

### 2.4 开拓运输方案

选矿厂位置确定在采场南部的烟袋杆沟,厂区与采场直距2.4km,从采场总出入沟口(458m标高)到选矿厂(265m标高处)的联络公路长度为3.03 km。通过初步的经济技术比较,选用汽车-溜井-胶带平硐运输方案。

### 2.5 矿山规模、服务年限

一期露天采矿确定矿山规模为200万t/a。矿山稳步投产,到第4年可以达到200万t规模,稳产22年,第26年、27年减产,总服务年限为27年。深部矿体采用地下开采方式进行生产衔接。

预计总服务年限在50年以上。

## 2.6 采矿设备

采矿主要设备: 穿孔 KY-250D 牙轮钻机; 装载 WK-4A 型电铲; 运输 42t 自卸汽车; 粗破 JM1312 进口颚式破碎机; 运输胶带 B=1200mm。

## 2.7 道路系统

根据露天境界圈定、选矿厂位置及排土场位置情况, 设计矿山道路系统的总出入沟在露天采矿场中部偏东, 203 地质勘探线与 110 地质勘探线间, 总出入沟标高为 458m。总出入沟向东南经联络道路与选矿厂相接, 初期上山公路从 458m 标高水平向东北沿地形以 8% 坡度上坡至采场内 530m 标高, 在 520m 标高线路设回头曲线, 向西南以 8% 坡度下坡至 460m 排土场标高及采场内的 375m 矿石溜井口标高。生产中, 随着采场内开采台阶水平的降低, 在 458m 总出入沟向西在境界下盘设置固定线路, 以折返及螺旋方式展线。

## 2.8 排土场

设计排土场位于露天采场南侧沟谷内, 排土场终了堆置标高为 460m, 容积为 5082.58 万 m<sup>3</sup>。

设计的排土场为多阶段汽车直排覆盖式排土场, 到最终状态时, 排土场最大高度大于 150m, 属于高台阶排土场。生产中, 首先对采场西南侧的沟谷分两个台阶进行堆存, 第一段排土台阶标高为 400m, 堆置时间为 5 年。400m 阶段台阶堆存结束后, 在其上进行 460m 阶段台阶的覆盖排土, 460m 阶段台阶的服务时间为 5 年。该土场总服务时间为 10 年, 土场堆置容积为 2768 万 m<sup>3</sup>, 两台阶间安全平台宽度为 80m, 排土线长度为 450m, 土场总边坡角为 18°。

西南侧土场堆置结束后, 即可进行西侧沟的排土作业。该土场采用单台阶排土, 土场堆置标高为 400m, 土场最大堆置高度为 115m, 土场容积为 3035 万 m<sup>3</sup>, 服务时间约为 17 年。该土场沿沟方向阶段台阶长为 700m, 排土线长度为 700m, 土场最终边坡角为 27°。

## 3 原设计方案分析

中冶北方工程技术有限公司现场调研与室内设计相结合, 借鉴本院多年来在冶金矿山行业设计经验, 充分考虑民采影响的基础上, 对翁泉沟硼铁矿进行了整体设计, 为矿山建成投产奠定了坚实基础。现对个别问题分析如下:

### 3.1 整体开采, 硼贫化率增加

辽东地区富产硼铁矿资源, 累计探明储量 3.5 亿 t, 其中首钢硼铁项目开发的凤城翁泉沟矿床占

全国已探明固体硼总储量的 58%。随着硼镁矿(俗称“白硼”)资源的逐渐枯竭, 硼铁矿将成为我国硼化工行业最重要的接续资源。

翁泉沟矿段以磁铁矿-硼镁铁型为主, 占 77.4%; 并夹有硼镁石-磁铁矿型夹层, 占 22.3%。业家沟矿段以硼镁石-磁铁矿型为主, 占 90%, 磁铁矿-硼镁铁型矿石夹层很薄, 数量少, 占 8.9%。业家沟和翁泉沟两个矿段的硼镁石-磁铁矿型占 63.36%, 磁铁矿-硼镁铁型占 35.85%。整体开采, 人为配矿, 使采出矿石中可选硼(硼镁石)品位降低, 为后续选矿增加难度。

### 3.2 排土场方案不合理

排土场部分指标有违《有色金属矿山排土场设计规范》。设计为两个阶段汽车直排, 增加排土运距及提升高度, 造成排土成本上升; 排土场选择在露天采矿场西南侧, 排土场容积为 5082.58 万 m<sup>3</sup>, 可容纳的排土量为 10165.16 万 t, 排土缺口达到 2489.21 万 t。

### 3.3 排水方案考虑不周全

排水系统, 最终为两套独立排水系统, 且未考虑采场排水供选矿使用方案, 既浪费水资源, 又增加补充新水费用。

### 3.4 周家大院矿体未做设计

周家大院矿体, 后期将被排土场压埋, 且硼铁矿初期剥采比高, 供矿能力紧张。周家大院矿体开采应提前规划, 实施。

### 3.5 挂帮矿未考虑回收

三个采坑开采后都会形成挂帮矿, 设计中并未对挂帮矿的回收做出安排, 将影响露天开采向地下开采过渡。

## 4 规划思路

通过对中冶北方设计方案分析, 结合硼铁矿实际情况, 提出以下优化设计思路。

### 4.1 分区开采, 降低硼贫化率

坚持“以硼为主, 综合利用”方针, 结合业家沟不同部位及翁泉沟矿段硼品位不一, 赋存不同的特点, 提出业家沟 358m 以上、翁泉沟及业家沟 358m 以下分区开采方案, 降低可利用硼贫化率, 为选矿创造条件。同时, 稳定生产特色产品含硼铁精矿。

首先, 开采业家沟 358m 以上, 约 1180 万 t 矿石, 满足现有选厂 5 年需要。硼原矿品位 4.51%, 由于业家沟矿段 90% 为硼镁石-磁铁矿型, 采出矿石中硼镁石中的硼在矿石中品位为 4.06%, 远高于整体开采的 3.21%, 为选硼创造较好条件, 有利于实现经济效益。

表 2 采出硼品位比较

项目	原设计/%		规划方案/%	
	硼品位	硼镁石硼品位	硼品位	硼镁石硼品位
业家沟 358m 以上		3.21	4.51	4.06
翁泉沟矿段	6.01	3.21	7.37	1.62
业家沟 358m 以下		5.77	6.41	5.77

表 3 铁矿石类型比例表

项目	磁铁矿型/%	硼镁铁矿型/%	透闪岩型/%
翁泉沟矿段	22.3	77.4	0.3
业家沟矿段	90	8.9	1.1
划定矿区范围内	63.36	35.85	0.79

表 4 综合样选矿指标

产品名称	产率/%	矿量/(万 t/a)	品位/%			回收率/%		
			TFe	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	U	TFe	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	U
入磨原矿	100	180	30.12	6.03	0.0058	100	100	100
铁精矿	44.28	79.69	56	4.31	0.0044	82.32	31.62	33.71
硼精矿	21.83	39.3	7.03	10	0.0029	5.09	36.23	11.05
铀精矿	1.93	3.48	40.54	6.54	0.108	2.6	2.09	35.95
尾矿	31.96	57.53	9.4	5.68	0.0035	9.99	30.06	19.29

4.2 科学规划排土场，降低排土费用

对原设计排土方案进行优化，按《有色金属矿山排土场设计规范》要求，山坡露天多台阶排土，应高土高排，低土低排，适当增加排土台阶，分为 460m、420m、380m、340m 分别排土。

合理安排岩石排弃水平，降低排岩成本。460m 以上水平岩石由 460m 排弃；460~420m 岩石由 420m 排弃；420~380m 水平岩石由 380m 排弃；380m 水平以下岩石由 340m 台阶排弃。

表 5 排土方案经济性比较表

序号	项目	岩石量/ 万 t	运距/ km	成本/ (元/tkm)	费用/ 万元	备注
一	原设计	12651	1.78	1.4	31499	
1	460 以上	3854	2.3	1.4	12410	
2	400 以下	8797	1.55	1.4	19089	
二	规划	12651	1.475	1.4	26132	
1	460 以上	1784	2.3	1.4	5744	
2	420~460	2036	2.05	1.4	5843	
3	380~420	2232	1.55	1.4	4843	
4	380 以下	6599	1.05	1.4	9701	
三	规划新增支出				1000	筑路征地
四	规划与原设计比较				4367	

注：参照原设计 322m 以上，综合运距为 2.3km，322m 以下新增运距均不考虑；运输成本参考硼铁公司实际。

从排土方案经济性比较表可以看出，新方案考虑新修道路等其他费用，仍比原设计方案降低排岩费用 4367 万元。同时，降低矿车持续爬坡坡度，能改善矿车运行环境，提高运输效率。

其次，在市场推广含硼铁精矿取得进展后，集中组织开采翁泉沟矿段矿石。该矿段硼镁磁铁矿含量占 77.4% 以上，硼原矿品位为 7.37%。采出矿石中，硼镁石中的硼在矿石中品位为 1.62%，铁精矿中硼达 4.31% 以上。避免铁精矿硼的贫化，可以集中生产含硼铁精粉这种特色产品。

后期，组织开采业家沟 358m 以下水平矿体，原矿硼品位 6.41%。采出矿石中，硼镁石中的硼在矿石中品位为 5.77%，为提高硼精矿品位创造条件。

合理挖潜，加高排土高度，实施内排，解决排土场缺口。根据后期需要，可增设 500m 排岩水平，增加排岩量 1892 万 t；合理安排采场开采顺序，条件成熟后，强化 100 勘探线以东翁泉沟部位开采，内排 746 万 t。

4.3 利用采场外排水，代替选矿新水

硼铁矿西、东部露天采场最大排水量分别为 13061 m<sup>3</sup>/d、22297 m<sup>3</sup>/d，正常排水量分别为 5077 m<sup>3</sup>/d、8798 m<sup>3</sup>/d；正常生产期间，选厂新水补充 368 m<sup>3</sup>/h (8832 m<sup>3</sup>/d)。可见正常生产期，采矿外排水量能满足选矿生产所需，实施采矿外排水代替选矿新水技术上可行。

表 6 采场总涌水量计算表

开采部位	降雨径流量 /(m <sup>3</sup> /d)		地下水量 /(m <sup>3</sup> /d)	采场总涌水量 /(m <sup>3</sup> /d)	
	最大	正常		正常	最大
西部采场	4295	12279	782	5077	13061
东部采场	7262	20761	1536	8798	22297

采场地下水实施外排，不符合当前节能减排形势，且采场排水和选厂取水均要发生费用，增加运营成本。实施采场排水完全代替新水，不考虑降低取水设施备件消耗及新增采场至选矿管路费用的前提下，仅对降低取水电费、水资源费、外排水行政收费进行计算，每年可节约费用 682.78 万元，经济效益较好。

硼铁项目排水方案，应在充分利用采场外排水的基础上，以水源地新水为补充，研究制订整

体水量平衡方案。同时，将采坑水充分用于夏天防尘，溜井防尘，进一步减少外排量。

表 7 采场排水代替选矿新水降低成本表

项目	设计指标/年度水量/年度费用/			备注
	(m <sup>3</sup> /h)	万 m <sup>3</sup>	万元	
一、新水补充电费	368	290.13	228.48	选矿设计资源税
			435.20	
二、采场涌水	578		30	采矿设计
其中：年排水费用			19.10	
三、节约费用			682.78	

注：水资源税征收标准，生活水 0.5 元/t，工业用水 1.5 元/t；外排水年费用按 30 万元计。

4.4 开采周家大院矿体，缓解前期供矿压力

硼铁矿 2010 年 5 月投产以来，根据市场形势，公司要求选矿尽快达产达效，但是，前期基建剥岩欠帐较多，采场供矿能力不足。为解决此问题，充分利用周家大院矿体，即满足当前需要，又符合排土场后期需要埋压周家大院矿体的形势。

由于本矿段共赋存的四条矿体中，Ⅷ、Ⅸ矿体 245m 标高至地表间的矿体已被开采，Ⅵ、Ⅶ矿体赋存于 193~292m 标高和 155~260m 标高之间，目前尚未开采。建议组织力量，进行简化设计，制订开采方案，强化近期开采。

为了不占用现有设备，建议硼铁公司负责技术管理，对穿爆、采装、运输采用工序外包形式，加快推进，实施供矿，用 6 年左右时间完成周家大院开采。

4.5 规划挂帮矿回收，实现露天转地下衔接

三个采坑挂帮矿量约为 1500 万~1600 万 t。提高采场东坑开采强度，首先在此实施挂帮矿基建施工，并尽快达到投产条件；待西坑结束后，

继续对西坑北帮的挂帮矿进行开采，作为露天转地下过渡期的平衡矿量。挂帮矿年开采规模能力应为 100 万 t 左右。同时，择时启动地下开采的筹备工作，地采投产时间应该超前于露天开采闭坑时间。此时挂帮矿量进行补充，使其保证地采达产前仍能满足选矿需要。

5 结论

通过优化原设计方案，提高硼铁矿开采过程经济技术指标水平，可以实现较好经济效益。

- 1) 进行分区开采，提高采出矿石中硼的品位，便于选矿分离硼，为硼化工生产创造条件。
- 2) 合理增加排土场排土台阶，降低排土费用，为矿用汽车创造较好的运行环境，可进一步提高运输效率。
- 3) 对采矿外排水代替选矿新水进行测算，为整体水量平衡提供依据，节约水资源，降低用水成本，符合当前节能减排形势需要。
- 4) 提出加快周家大院矿体开采，缓解近期供矿紧张问题。
- 5) 提前研究挂帮矿回收，为露天转地下做好充分准备。

参考文献

[1] 辽宁省凤城县翁泉沟铁矿矿床总结勘探报告 [R]. 辽宁省地质局丹东地质大队二分队, 1976, 12.

[2] 辽宁省凤城市翁泉沟硼铁矿资源储量核实报告 [R]. 辽宁省地质矿产调查院, 2008, 3.

[3] 辽宁省凤城翁泉沟硼铁矿资源综合利用及硼化工基地建设项目采矿工程初步设计 [R]. 中冶北方工程技术有限公司, 2008.

[4] 有色金属矿山排土场设计规范 [R]. 中国有色金属工业协会, 2007, 10.

[5] Yang Zhifa, Wang Zhiyin, Zhang Luqing, et al. Back-analysis of viscoelastic displacements in a soft rock road tunnel [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2001, 38 (3), 331-341.

[6] 周传波, 郭廖武, 姚颖康, 等. 采矿巷道围岩变形机制数值模拟研究 [J]. 岩土力学, 2009, 30 (3): 655-656.

[7] 杨超, 崔新明, 徐水平. 软岩应变变化数值模型的建立与研究 [J]. 岩土力学, 2002, 23 (6): 695-697.

[8] 匡忠祥, 宋卫东, 邓成爱. 采准巷道交岔点围岩受力状态的三维数值模拟研究 [J]. 金属矿山, 2007, 375 (9): 46-49.

[9] 彭文斌. FLAC 3D 实用教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

[10] 陈育明, 徐鼎平. FLAC/FLAC3D 基础与工程实例 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

[11] 采矿设计手册编辑委员会. 采矿设计手册: 井巷工程卷 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.

\*\*\*\*\*

(上接第 86 页)

[5] Yang Zhifa, Wang Zhiyin, Zhang Luqing, et al. Back-analysis of viscoelastic displacements in a soft rock road tunnel [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2001, 38 (3), 331-341.

[6] 周传波, 郭廖武, 姚颖康, 等. 采矿巷道围岩变形机制数值模拟研究 [J]. 岩土力学, 2009, 30 (3): 655-656.

[7] 杨超, 崔新明, 徐水平. 软岩应变变化数值模型的建立与研究 [J]. 岩土力学, 2002, 23 (6): 695-697.