

兴县沉积型铝土矿露天开采矿石质量控制分析

Analysis on Ore Quality Control in Open-pit Mining of Xingxian Sedimentary Bauxite Deposit

王 乐 (山西华兴铝业有限公司, 山西 吕梁 033601)

摘要: 为了进一步提高露天开采铝土矿的质量,提升资源利用效率,降低冶炼加工成本,本文以兴县沉积型铝土矿露天开采矿石质量控制为例,针对影响露天开采铝土矿矿石质量的主要因素进行深入分析。从技术措施、组织措施、管理措施、经济措施4个方面提出了提高矿石质量的方法,为露天开采铝土矿矿石质量的控制提供参考和指导。

关键词: 铝土矿; 露天开采; 矿石质量控制

中图分类号: TD235 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)01-0090-04

Abstract: The grade of ore extracted in mining has an important impact on the cost of downstream smelting and processing. To further improve the bauxite quality in open-pit mining, improve the efficiency of resource utilization and reduce the cost of smelting and processing, this paper conducted an in-depth analysis of the main factors affecting the bauxite ore quality in open-pit mining by taking Xingxian open-pit sedimentary bauxite mine as an example. The methods for improving the quality of ore are put forward from four aspects: technical measures, organizational measures, management measures and economic measures, providing a reference and guidance for bauxite ore quality control in open-pit mining.

Key words: bauxite; open pit mining; ore quality control

1 前言

我国铝土矿储量约为10亿t,集中在山西(主要为吕梁和忻州)、广西(主要为百色和贵港)、河南(主要为三门峡、洛阳、郑州、平顶山等地)、贵州(主要为贵阳和遵义),储量世界占比仅为3.3%,然而氧化铝和原铝产量却占世界总产能的56%,从而造成我国铝土矿进口依赖度占比高达60%。因此提高国内铝土矿资源开采回收率,降低采矿贫化率,提高铝土矿矿石质量,对国家政治、经济战略极其重要。

国内铝土矿开采方式中主要以露天开采为主,占比高达90%以上,以往研究铝土矿露天开采矿石质量控制多从开采工艺、采矿设备、现场管理等单方面进行,多角度多方面分析研究的较少。本文从多方面对影响铝土矿露天开采矿石质量控制的因素进行了分析,以兴县沉积型铝土矿露天开采工程总承包项目为例,站在建设方角度分析并介绍4种矿石质量控制的方法。

兴县沉积型铝土矿探明储量1.08亿t,分布面

积254 km²,约占全国铝土矿资源储量的10.88%,是山西省五大铝土矿区之一。矿体总体上呈层状、似层状、漏斗状分布,平均倾角9°,平均厚度为1.9 m。矿石整体覆盖层浅,民采老窿多,矿石品位高,且大部分矿体在奥灰水位标高以上,图1所示为揭露老窿。受近些年环保、疫情、矿业权政策等影响,铝土矿市场整体呈现涨价态势,铝土矿经济合理剥采比技术指标也随之提高,深部赋存铝土矿逐渐适合露天开采^[1]。驻地有两家从事铝土矿开发、氧化铝生产、电解铝生产、铝加工生产的大型央企。



图1 揭露老窿

[作者简介] 王乐(1994-),男,工程师,从事矿山技术和管理工作的。

[引用格式] 王乐. 兴县沉积型铝土矿露天开采矿石质量控制分析

[J]. 中国矿山工程,2022,51(1):90-93.

2 露天开采矿石质量控制方法

2.1 技术措施

1) 明确重要质量技术参数

铝土矿矿石质量为双指标评价体系,铝硅比值和氧化铝含量共同构成了矿石质量最重要的两项指标参数,在铝土矿中二者需要同时满足最低指标参数要求,才能称之为质量合格的铝土矿。根据《矿产地质勘察规范铝土矿》铝土矿资源储量技术标准,沉积型铝土矿矿床一般工业指标要求:铝硅比值(A/S)≥2.6,且氧化铝(AO)含量≥40%。

其中铝硅比值对氧化铝企业生产成本影响最大,据当地氧化铝生产企业实际验证,矿石铝硅比值每降低 0.1,氧化铝生产总成本升高约 14 元/t。铝土矿开采过程中顶底板围岩的混入厚度对矿石质量贫化影响极为显著,是造成矿石铝硅比值和氧化铝含量降低的最重要的因素^[2]。

2) 设定基准品位

作为建设单位在工程总承包合同中,应结合矿区地质勘探报告、周边井工矿开采情况补充勘探情况以及老窿开采情况,科学合理的确定矿石开采基准质量品位。综合分析上述情况,该区域矿石基准

质量品位设定要求:铝硅比值为 5.0,氧化铝含量为 60%,以此指导采矿生产作业。

3) 二次矿体圈定

按照“先探后采,探采结合”的原则,在地质勘探报告标准钻孔网度(70 m×70 m)的基础上,进一步按照(35 m×35 m)的网度进行加密补勘。同时由于存在民采老窿、无矿天窗、薄矿体等不可预见影响矿石质量的因素,因此在采矿生产过程中需要定期进行二次矿体圈定工作,提前预知预判未生产区域矿石开采质量及时对采场顶底板进行验收,及时调整剥离作业区域^[3]。

4) 分析矿石贫化因素

铝土矿露天开采顶底板清理程度的情况直接影响矿石开采质量,从而影响铝土矿冶炼加工生产总成本。该区域铝土矿平均厚度 1.85 m,赋存于石炭系中统本溪组段中下部,奥陶系中统峰峰组之上,矿体从下而上为底板→铝土矿→夹石(少部分区域存在)→铝土矿→顶板^[4]。经大量取样分析化验,顶底板、夹石、铝土矿中平均氧化铝和二氧化硅含量化验结果如下。顶底板、夹石参数见表 1。

表 1 顶底板、夹石、铝土矿参数

岩层类型 (至上而下)	主要岩性或成分	平均氧化铝含量/%	平均二氧化硅含量/%	平均铝硅比	备注
顶板	硬质耐火黏土矿、黏土岩、泥灰岩	38.84	37.51	1.04	存在三种岩性同时存在,或任意两种岩性同时存在,或单独岩性存在的情况
铝土矿	氧化铝、二氧化硅、三氧化二铁	67.6	7.18	9.42	三种岩性同时存在
夹石(少部分区域存在)	山西式铁矿、铁质黏土岩、黏土岩	36.15	16.79	2.15	存在三种岩性同时存在,或任意两种岩性同时存在,或单独岩性存在的情况
铝土矿	氧化铝、二氧化硅、三氧化二铁	67.6	7.18	9.42	三种岩性同时存在
底板	山西式铁矿、铁质黏土岩、黏土岩	33.82	22.05	1.53	存在三种岩性同时存在,或任意两种岩性同时存在,或单独岩性存在的情况

顶、底板不同混入厚度贫化率为式(1),计算得出采出矿石质量品位和贫化率见表 2。

A/S 贫化率 =

$$\frac{(\text{地质品位} - \text{采出品位})(1 + \text{围岩品位})}{(\text{地质品位} - \text{围岩品位})(1 + \text{采出品位})} \quad (1)$$

5) 确定围岩混入标准

该区域铝土矿地质赋存特征为缓倾斜薄矿体,根据矿体赋存特征主要采用小型挖掘机配合后八轮自卸车进行采矿作业。由于采矿设备、采矿效率、民采老窿等的影响,实际采矿过程中顶底板围岩以及夹石的混入是不可避免的。为保证最大限度的提高进厂矿石品位,确保入厂矿石品位不低于 A/S =

5.0,根据表 2 相关参数,考虑到矿石还会在矿石堆场堆存和铲运阶段存在贫化的情况。因此,要求小型挖掘机开采过程中严格控制顶底板混入厚度,顶板混入厚度不得超过 30 cm,底板混入厚度不得超过 50 cm。

2.2 组织措施

1) “三全”质量管理理念

首先,在项目开工伊始提倡预防为主、科学管理、用数据说话的矿石质量控制理念。要求参与项目建设的全体工程人员树立:全员参与质量管理、全面质量管理、全过程质量管理的“三全”质量管理理

表2 顶、底板混入后采出矿石质量及贫化率参数

顶板混入						底板混入					
混入厚度/m	混入率	A/S 贫化率	Al ₂ O ₃	SiO ₂	A/S	混入厚度/m	混入率	A/S 贫化率	Al ₂ O ₃	SiO ₂	A/S
0	0%	0.00	67.6	7.18	9.42	0	0%	0.00	67.6	7.18	9.42
0.0925	5%	4.88%	66.23	8.62	7.68	0.0925	5%	3.63%	65.99	7.89	8.36
0.185	10%	9.30%	64.99	9.94	6.54	0.185	10%	6.92%	64.53	8.53	7.57
0.28	15%	13.46%	63.82	11.17	5.71	0.28	15%	10.39%	63.16	9.19	6.87
0.37	20%	17.04%	62.8	12.24	5.13	0.37	20%	12.96%	61.97	9.66	6.42
0.46	25%	20.31%	61.87	13.22	4.68	0.46	25%	15.67%	60.87	10.14	6.00
0.56	30%	23.70%	60.92	14.23	4.28	0.56	30%	18.41%	59.75	10.64	5.62

念。具体内容见表3。对工程中所有参与人员宣传矿石质量控制的重要性,灌输矿石质量控制的观念。

2) 分析质量控制点

召集项目各参建单位,从项目的“人、机、料、法、环”五方面,按照“头脑风暴法”的方式,畅所欲言的研究分析影响矿石质量的因素,查找并分析质量控制点,提炼其中关键影响质量控制的要素,对能够造成矿石质量降低的因素进行改进,对能够提升矿石质量的因素继续保持,把“人”的因素作为影响矿石质量的最重要因素进行分析。主要因素见表4。

表3 “三全”质量管理理念

全面质量管理	全过程质量管理	全员参与质量管理
氧化铝含量	清顶	建设单位
铝硅比值	采矿	勘察单位
三氧化二铁含量	过筛	设计单位
氧化钙含量	配矿	施工单位
硫含量	破碎	监理单位
碳含量	二次配矿	分包单位
...

表4 “人机料法环”因素分析

人	机器	材料	方法	环境
矿山从业人员是否持证上岗	清顶设备是否满足小型化精益清顶需求	起爆器材是否满足矿石爆破质量需求	清顶方法是否满足矿石贫化混入要求	矿石贮存条件是否满足矿石质量控制要求
是否能够调动人员工作积极性	采矿设备是否满足小型化精益采矿需求	炸药是否满足矿石爆破质量需求	采矿方法是否满足矿石贫化混入要求	采场照明、排水、运输条件是否符合要求
承包商项目经理是否符合执业资格注册制度	过筛设备是否满足分级需求	爆破封堵材料是否满足矿石爆破质量需求	原矿堆场配矿方法是否符合要求	各参建单位沟通协调程度是否到位
承包商是否符合经营资质管理制度	破碎设备是否满足矿石破碎粒度需求	原矿堆场叠底材料是否满足需求	破碎设备入料龙口配矿方法是否符合要求	雨雪季节对矿石干重和质量的影响程度
分包商是否符合市场准入制度	破碎设备是否满足块、面分离破碎需求	成品矿堆场叠底材料是否满足需求	爆破方法是否存在大块较多的情况	原矿、成品矿堆场是否存在污染物影响矿石质量
...

3) 明确质量责任

组织各参建单位通过分析研究,确定质量管控原则、沟通机制和工序衔接方式,进一步划分质量责任,明确各参建单位质量管控责任人员和职责。建立矿石质量化验室,配备齐全化验设备和工作人员,规范化验室取样化验制度。对取样人员进行专业培训,安排经验丰富的取样人员进行取样,要求取样人员按照“平铺直取”的方式进行取样后对样品进行加密编码,取样和化验人员不得由同一人担任。

2.3 管理措施

1) PDCA 循环

按照 PDCA(计划、实施、检查、处置)循环流程

进行质量管控,每一循环都围绕着实现预期矿石质量目标(铝硅比值≥5.0,氧化铝含量≥60%)进行,具体流程图如图2所示。其中计划主要包括合理设定氧化铝含量和铝硅比值质量指标。实施主要包括施工交底和矿石开采。检查主要包括及时对所采矿石进行化验分析。处置主要包括及时改进矿石开采工艺。为了进一步提升矿石质量,可与总承包方协商共同减少 PDCA 循环周期,随着对存在质量问题的解决和改进,在不断的滚动循环过程中,逐步增强质量管理能力,不断提高矿石品位。

2) 分级堆存配矿

按照采出矿石五级堆存的原则进行分级堆存,

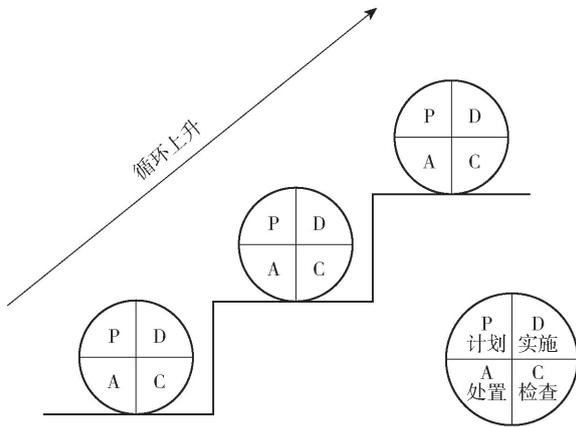


图2 PDCA 循环管控流程图

一级矿石 ($A/S \geq 7$)、二级矿石 ($5.5 \leq A/S < 7$)、三级矿石 ($4.5 \leq A/S < 5.5$)、四级矿石 ($3.5 \leq A/S < 4.5$)、五级矿石 ($2.6 \leq A/S < 3.5$)。

在破碎和堆场配矿阶段,按照基准品位标准及时调整入料矿石的配矿比例。配矿流程按照“一级配五级,二级配四级,三级直接入料口”的原则进行堆场配矿,最大程度保证入厂(氧化铝厂)矿石质量品位保持在 $A/S = 5.0$ 附近,形成最佳经济入厂矿石品位。当“块面分离”破碎时,按照粒度约定及时调整除土筛、颚式破碎机、圆锥破碎机的流程和网度。

3) 强化质量管理

在采矿过程中进行精细化管理,每一部小型挖掘机前安排专人指挥采矿作业。每日所生产和运输的矿石,必须提前取样化验,质量和粒度达标后,经相关参与方现场负责人员签字确认后方可装车发运至氧化铝厂,极个别“保质与保量”冲突时间段,按照保质优先原则进行处理^[5]。与此同时围绕矿石质量中心目标,按照事前、事中、事后质量控制的原则,建立质量管理记录文件,形成有效的反馈机制和持续改进机制。

2.4 经济措施

1) 科学设定矿石阶梯价格

按照“贫富兼采”的原则,为了激励总承包单位提升矿石质量,减少二次配矿的工序和成本,尽量生产可以直接进入氧化铝厂的矿石。矿石价款合同需根据矿石质量基准品位尽量按照“正态分布”的形状确定相应的合同单价。铝硅比值按照最小单位 0.1,氧化铝含量按照最小单位 1% 进行合同价差约定,不同矿石质量(铝硅比值和氧化铝含量双指标)对应不同结算价格。同时,进一步拉大边界品位以上和最低工业品位以下矿石结算款的阶梯单价。

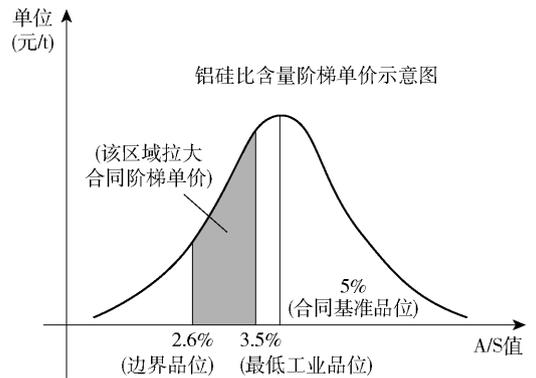
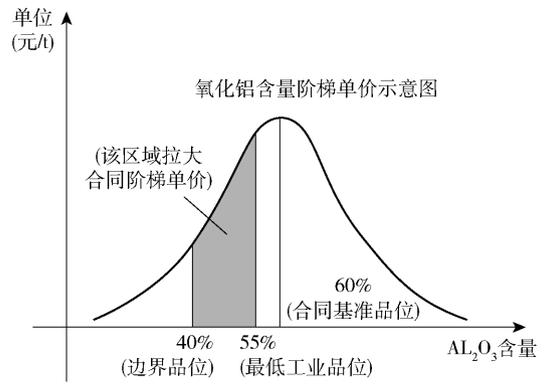


图3 正态分布形状的矿石阶梯单价示意图

2) 合理使用结算方法

充分利用质量保证金、节日奖励、矿石款结算挂账(现金付款和承兑付款的比例及周期)、等经济奖惩措施,调动总承包单位质量工作积极性。关于对总承包方的质量考核,必须及时在矿石结算款项中落实到位,做到有奖有罚,奖罚分明。

3 结论

矿产资源开发过程中前期勘探和设计阶段、中期采矿生产(含各个工序)阶段、后期破碎配矿阶段等,都会对矿石质量造成影响,从而影响矿石冶炼加工总成本。因此,矿石质量控制工作是一个涉及范围广的系统工程。

[参考文献]

[1] 吴安福. 孝义铝矿民采空区矿体安全高效开采技术研究[D]. 长沙:中南大学,2011.
 [2] 富崇彦. 露天铝矿山矿石质量的控制[J]. 世界采矿快报,2000(12):434-436.
 [3] 赵坤. 吨罐窑铝矿质量效益型矿山创建[J]. 中国有色金属,2017(S1):114-116.
 [4] 张林. 浅谈猫场铝矿质量管理方法[J]. 世界有色金属,2019(11):186-188.
 [5] 贾士影. 山西省某矿区铝土矿床成因浅析[J]. 华北国土资源,2013(1):59-61+63.