

# 尾砂综合利用的工程实例

谷泓坤

(湖南有色金属研究院, 湖南 长沙 410100)

**摘要:**通过对某尾砂库历史遗留的尾砂进行实地调查及定性、定量分析,采用综合利用的处置方式解决该尾砂库历史遗留环境问题。该工程对原有加气混凝土生产线进行局部改造同时新建一条尾砂砖生产线,尾砂经配料、搅拌、成型、蒸养等工序可分别生产出加气混凝土及尾砂砖,产品均符合国家相关标准要求。该工程不仅能变废为宝,还能取得良好的经济效益和环境效益。

**关键词:**尾砂;综合利用;加气混凝土;尾砂砖

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.06.020

中图分类号:TD989 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)06-0093-05

尾砂是原矿石在经粉碎和选矿后余下的微粒状固体废弃物,通常以泥浆形式排入尾砂库中露天堆存。一些发达国家利用尾砂中的某些组分开发一些高附加值产品,如功能陶瓷、铸石等。高效整体利用尾砂,如用作微晶玻璃原料、矿物肥料、尾砂砖、混凝土骨料、砂浆、铁路道渣、井下回填料、复垦料等,使矿山向无尾矿山目标迈进,尾砂综合利用率已达60%~80%<sup>[1]</sup>。然而,当前我国矿产资源综合利用率很低,伴生矿综合回收率在40%~70%之间的国有矿企不足40%,国有矿山完全没有进行综合利用的占45%。同时,全国20多万个集体、个体矿山基本上不进行综合利用,我国现堆存尾砂约146亿t,近5年来,尾砂年排放量高达15亿t以上<sup>[2]</sup>,而尾砂综合利用率仅为18.9%。大量的排放尾砂,不仅污染周围环境,还会造成滑坡、溃坝事故,而且还占用大量的土地,消耗大量资金,浪费资源,影响企业的经济效益,它既破坏了生态平衡也阻碍了经济的发展。

综上所述,同时结合国家相关政策,本工程对项目区周边某无主尾砂库内历史遗留的尾砂进行综合

利用,变废为宝、化害为利;对原有加气混凝土生产线进行局部改造同时新建一条尾砂砖生产线,尾砂经配料、搅拌、成型、蒸养等工序可分别生产出加气混凝土及尾砂砖。

## 1 概述

项目区矿产资源丰富,上世纪80年代开始,采选业发展迅猛,同时也不可避免的成为非法小选矿的重灾区,通过近几年的综合整治、整顿和规范矿业秩序,区域内非法选矿现象已得到了基本遏制。然而,区域内遗留了大量的无主尾砂库,如果将这些无主尾砂库内的尾砂就地掩埋或按一般渣土处理,都不符合环境保护的要求,留下安全和污染隐患,遗害无穷,同时也浪费了大量的资源,最好的办法无疑是彻底清除尾砂并将其变废为宝。

### 1.1 尾砂成分

尾砂的主要化学成份有铜、铅、锌、砷、镉、硅、钙、镁、铁、铝的氧化物或相互组成的复合盐等,其化学成分分析结果见表1。

表1 尾砂成分分析/%

Table 1 Analysis of the components of the tailings

CaF <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Pb	Hg	Cd	As
3.64	71.16	11.14	5.40	5.52	2.64	0.035	0.00001	0.0002	0.245

收稿日期:2016-05-04;改回日期:2016-06-13

作者简介:谷泓坤(1980-),男,工程师,现从事环境工程设计与咨询工作。

由表1可知,本项目治理的尾砂中虽然含有一些金属元素,但品位较低,无资源综合利用的价值,因此考虑对其进行综合利用,加工生产成加气混凝土及尾砂砖。

## 1.2 尾砂数量

本工程委托了测绘单位对项目区堆存的历史遗留尾砂进行了测量和计算。测量采用南方灵锐 S86 实测,采用 54 坐标系和 85 国家高程基准。尾砂堆方量采用方格网法计算核准,格网宽度按 10 m×10 m 计算。最终测算出需处置的尾砂贮存量为 187.5 万 m<sup>3</sup>,按堆积密度为 1.6 t/m<sup>3</sup> 计,尾砂量共 300 万 t。

## 1.3 尾砂性质

### 1.3.1 尾砂浸出毒性鉴别<sup>[3-5]</sup>

对尾砂进行了毒性浸出鉴别试验,试验结果见表 2。

表 2 尾砂毒性浸出试验结果(硫酸硝酸法)

Table 2 The test results of tailings leaching toxicity (Sulfuric acid and nitric acid method)

样品编号	监测项目及结果/(mg·L <sup>-1</sup> )					
	pH 值	Pb	Hg	Cd	As	Cr <sup>6+</sup>
1#尾砂	6.98	1.91	0.00091	0.060	4.090	0.03L
2#尾砂	7.13	1.94	0.00098	0.062	4.066	0.03L
危险废物浸出毒性鉴别标准	2.0~12.5	5	0.1	1	5	5

根据表 2 并结合《危险废物鉴别标准-浸出毒性鉴别》鉴别,本项目尾砂硫酸硝酸法浸出结果均未超过《危险废物鉴别标准-浸出毒性鉴别》的标准值,同时根据《危险废物鉴别标准-腐蚀性鉴别》,尾砂的 pH 值均在 2.0~12.5,因此确定本项目尾砂属一般工业固体废物。

### 1.3.2 尾砂放射性核素比活度检验

委托该市建筑材料行业产品质量检测所对尾砂进行了放射性分析,结果见表 3。

表 3 尾砂放射性检验结果

Table 3 The test results of radioactive of tailings

检测项目	要求范围	检测结果
放射性	内照射指数 IRa	≤1.0
	外照射指数 Ir	≤1.0

从检测结果可知,尾砂满足有关建筑材料产品及建材用工业废渣对放射性物质标准限值的要求,使用量不受限制。

## 2 产品市场分析

### 2.1 加气混凝土

加气混凝土最大优势就是节约土地资源,不用浪费大量的耕地,它的原料来源非常广,灰沙、矿渣、粉煤灰和煤矸石等都是做加气混凝土的原材料。加气混凝土的性能特点优良,有很好的可加工、隔热和保温能力,而且可塑性非常强,可刨可锯,有非常好的加工特性。因此,加气混凝土已逐渐成为建筑材料行业的主导产品。

按国家土地资源保护等政策,国家建材局、建设部、农业部、国土资源部在 2000 年 6 月 14 日联合发布了《关于公布“在住宅建设中逐步限时禁止使用实心粘土砖”大中城市名单的通知》,全国 170 多个城市明令禁止或限制使用粘土实心砖,实施节能 50% 标准的地区已从北方严寒和寒冷地区扩大到南方夏热冬暖地区,而加气混凝土是迄今为止能够同时满足墙材革新和节能 50% 要求的唯一单一材料墙体,加气混凝土面临着巨大的市场机遇。

### 2.2 尾砂砖

蒸压尾砂砖是粘土砖的替代产品。推广应用新型墙体材料,逐步取代实心粘土砖,是提高资源利用率和保护环境的迫切需要,是我国实行土地资源保护,实现可持续发展战略的重大举措。国家正强制推行环保节能砖,禁用粘土砖。近年来,随着房地产的蓬勃发展和基础设施的不断投入,对蒸压尾砂砖的需求正越来越多,市场前景非常乐观。在国内,蒸压尾砂砖正面临着高速发展期。

## 3 工程建设

本工程主要建设内容:对原有加气混凝土生产线部分工艺参数进行了调整,如:设计配合比、坯体静停、蒸压养护制度等,增加了一套尾砂投料系统及其配套设施,对原有其他设备进行局部改造等,年消耗尾砂 7.1 万 t;新建了 2 条年产 6600 万块尾砂砖生产线,建设尾砂投料车间、尾砂砖生产车间、石灰磨粉车间、配套锅炉房、配电房、尾砂仓库,年消耗尾砂 12.67 万 t。

### 3.1 加气混凝土生产系统

#### 3.1.1 产品方案

加气混凝土制品技术性能和质量标准符合国家相关标准要求。根据市场调研,近年来本产品在项目区周边市场主要采用以 06 级优等品为主,具体为:① 5.0B06 型号产品占生产产量的 80%;② 3.5B06 型号产品占生产产量的 20%;蒸压加气混凝土砌块产品规格:标准长度 600 mm,宽度 200

mm、240、250、300 mm,厚度 60、75、100、120、125、150、175、180、200、240、250 mm,还可根据用户需要,生产 300、400、500 mm 长度的异性砌块。

### 3.1.2 原有生产线简介

#### (1) 工艺流程

采用粉煤灰二级制浆的工艺,粉煤灰和磷石膏按一定配比直接加入制浆机搅拌,然后通过湿磨机制成浓度适合生产的浆料备用;块石灰经复摆式颚式破碎机破碎、磨机磨粉后送至石灰粉料仓中备用;使用散装水泥;铝粉由人工计量后投入搅拌机内搅拌成 5% 的悬浮液备用;切割机切割下来的边角料制浆达到一定浓度后泵入废浆储罐中备用。

前述原料分别计量后进入浇注搅拌机,浇注时,模具通过摆渡车运送至浇注搅拌机下就位,浇注搅拌机放料浇注;静停初养达到切割强度后,切割装置桁车进行横切和纵切,完成切割;切割好的胚体连同侧板由釜前装载机上的半成品吊具吊运到釜前蒸养小车上,每车堆放二横,堆放好的蒸养小车由慢动卷扬机牵引在釜前轨道上进行编组,每条釜前轨道编放五辆蒸养小车;编组好的胚体由慢动卷扬机拉出釜,再由出釜吊具吊运成品至运输车上,直接出厂或至堆场存放。

#### (2) 主要工艺参数

粉煤灰:石灰:水泥:石膏=70%~75%:16%~17%:8%~10%:3%~4%;铝粉约占干物料总量的 0.08%~0.1%;水料比 0.6~0.65;搅拌浇注工作周期 8 min;静停时间 1.5~2.2 h;静停温度 45℃左右;胚体静停后强度 0.3~0.5 MPa;胚体切割周期 6~8 min;抽真空 0.5 h,升压 1.75 h,恒压 7.5 h,降压 1.75 h,合计 11.5 h;单位制品耗汽量 224 kg/m<sup>3</sup>。

#### (3) 主要设备

Φ1.83 m×7 m 磨机(干);有效容积为 3.2 m<sup>3</sup> 的浇注搅拌机(Ytong 型);国产 YT4.2M 加气混凝土空翻式切割机;Φ2.0 mm×31 mm 蒸压釜等。

### 3.1.3 改造工程

根据尾砂的成分、原有加气混凝土生产线的实际运转情况以及相关厂家、科研院所的生产、试验结果等,本工程以尾砂+粉煤灰代替原有以粉煤灰为主要原料的生产技术,对原有加气混凝土生产线进行了局部改造,解决粉煤灰、尾砂环境污染问题,使之变废为宝。具体改造如下:

#### (1) 局部工艺流程改造

根据原有制浆系统,采用二级制浆的工艺。尾

砂由提升机进入尾砂仓,尾砂、粉煤灰和磷石膏按一定配比直接加入制浆机搅拌,然后通过湿磨机制成浓度适合生产的浆料备用;其余物料储存及处理、配料、搅拌、浇注、切割、编组、蒸压及成品工序与原有生产线一致。

#### (2) 主要工艺参数

配料重量:粉煤灰、矿尾砂 71.25%~72.19%、石灰 18.04%~19.24%、水泥 5.98%~6.66%、石膏 3%~3.1%、铝粉膏 0.09%~0.12%、外加剂 0.07%~0.1%;水料比 0.60~0.65;搅拌周期 6~7 min;浇注料浆温度 45~48℃;坯体静停:静停时间 2.0~2.5 h、坯体最高温度 88~93℃、静停后坯体强度 0.20~0.25 MPa;蒸压养护制度:进出釜 0.5 h、排气 0.5 h、升压 1.5 h、恒压 7 h、降压 1.5 h,合计 11 h;成型废品率和蒸养废品率:各按 2% 计算;生产中物料损失:水泥 1%、工业废渣 1%、石灰石 1.5%、石膏 1%、铝粉膏 0.5%、水 5%、外加剂 0.5%。

#### (3) 新增设备

根据原有加气混凝土生产线运行状况、设备以及改造后的工艺参数等条件,本工程新增了一套尾砂投料系统及其配套设施,并对原有其他设备进行了局部改造、更新等。此处仅列出新增、更新的主要设备及其型号,见表 4。

表 4 新增、更新主要设备

Table 4 List of the main equipment for newly added and updated

序号	名称	规格型号	单位	数量
1	颚式破碎机	PEF250×400	台	1
2	斗式提升机	D250H=20H	台	1
3	制浆机	8 m <sup>3</sup>	台	1
4	球磨机	Φ1.83 m×7 m(湿式,右旋)	台	1
5	电动葫芦行车	CD-1t	台	1
6	电控设备	整体生产线系统	套	1

### 3.1.4 辅助工程

本次改造工程,部分设备的改造或更新就地进行,仅增加了一套尾砂投料系统以及尾砂仓库等。在原有加气混凝土生产线厂房旁,新建了一座尾砂投料车间,采用排架结构;尾砂仓库以及相应的辅助工程(电气、给排水等)并入新建尾砂砖生产系统考虑。

## 3.2 尾砂砖生产系统

### 3.2.1 产品方案

尾砂砖制品技术性能和质量标准符合国家相关标准要求。主要规格为:(240×115×53) mm(可根

据用户要求生产特殊规格尺寸的产品);强度等级: MU25、MU20、MU15、MU10;本工程尾砂砖性能描述以 MU10 为例。

### 3.2.2 工艺流程

粉煤灰运送到仓库储存备用;电磁泥筛分后送入料仓储存备用;尾砂提升进入料仓储存备用;前述原料及水分别计量后进入强制式双轴搅拌机混合搅拌成混合料;制成的混合料输送到消化仓储存,然后称量后送到轮碾机搅拌碾压,主要起活化、搅拌、细碎、增塑和压实作用,使混合料密实度增加,性能改善,从而提高产品质量;轮碾后混合料经称量后被送到压砖机加压成型。成型好的砖坯由自动码坯机将砖坯码放到蒸养小车上;蒸养小车经摆渡车运输至蒸压釜进行高温(190℃)高压(1.2 MPa)蒸压养护(时间约12 h);蒸养完成后的坯体由小车运到成品堆场检验,分垛摆放,经检验后存放即可出厂。废品经破碎处理后作为原料重新使用;空的蒸养小车经清理后返回压砖机重新使用。

### 3.2.3 主要工艺参数

尾砂:细度 2.5 mm 方孔筛,筛余量 $\leq 10\%$ ;其设计配合比(按质量计算):石灰:尾砂等=5%~15%:85%~95%、水料比:0.065~0.07;混合搅拌周期:4~7 min;轮碾周期:2~4 min;压制成型:4~5次/min;蒸压养护制度:进出釜1 h、抽真空0.5 h、升压1.5 h、恒压:5 h、降压2 h、合计9 h;蒸养和成型废品率3%、合格率97%。

### 3.2.4 主要设备

单条尾砂砖生产线设备包括:搅拌机、轮碾机、球磨机、提升机、给料机、输送机、空压机以及原料仓等。主要设备及其型号,见表5。

表5 主要设备

Table 5 List of the main equipment

序号	名称	规格型号	单位	数量
1	双轴搅拌机	2000型	台	1
2	轮碾机	2000型	台	1
3	自动压砖机	KDQ1300型	台	1
4	蒸压釜	$\Phi 2.5 \text{ m} \times 40 \text{ m}$	台	2
5	球磨机	$\Phi 1500 \text{ m} \times 5700 \text{ m}$	台	1
6	滚筒筛	GTS820	台	1
7	码垛机	KD-DZD96	台	1
8	锅炉	6 t	台	1

### 3.2.5 辅助工程

本尾砂砖生产线布置在原加气混凝土生产线旁的空地,在总平面、竖向以及交通运输等方面严格按照国家相关标准、规范要求进行了合理的布置;新建

的建筑物中,除锅炉房、配电房采用框架结构外,其余尾砂投料车间、尾砂砖生产车间等均采用排架结构;本工程主要生产负荷为二级负荷,其余为三级负荷,计算有功功率为515 kW,所需两回路10kV高压进线电源分别引自电业局电网10kV线路不同母线段;本工程最大日用水量为568 m<sup>3</sup>,室外消防最大用水量10 L/s,给水水源采用市政给水管网供给全厂生活、生产及消防用水。

## 4 工程投资及经济效益

### 4.1 工程投资

本工程投资分建设期及运营期两个部分:建设期的投资(即建设投资)为7783.74万元,其中利用原有固定资产价值为2170万元,因此本项目新增建设投资实为5613.74万元;运营期投资约为7170万元/a。

### 4.2 经济效益

本工程新增建设投资为5613.74万元,达到100%产能后年实现销售收入10800万元、年增值税746万元、年利润总额2394万元,项目总投资收益率23.00%,项目投资财务内部收益率(所得税前)为29.22%,项目盈利能力较强。

## 5 结 语

本工程在对项目区某尾砂库历史遗留的尾砂进行实地调查及定性、定量分析的基础上,确定了尾砂的量及性质。根据尾砂性质并结合项目区实际情况,将该300万t含重金属尾砂转运至尾砂综合利用厂,生产新型墙体材料——加气混凝土及尾砂砖,符合《产业结构调整目录(2011年本)》(2013年修正)“鼓励类”-“第十二条建材”-新型墙体等材料的开发与生产;亦符合《中华人民共和国循环经济促进法》中减量化、资源化的循环经济发展方向;生产技术成熟可行,产品符合国家推广的新型墙体材料产品要求。

因此,本工程不仅使企业获得了利润、实现企业自身发展;变废为宝、推进环保建材发展、提供建设基础用材;还解决了历史遗留问题、改善了区域生态环境、减轻了重金属对周边水体的污染压力,经计算,本工程可削减区域重金属排放量约为:As 336.27kg/a、Pb 158.74kg/a、Cd 5.03kg/a、Hg 0.08kg/a、Cr<sup>6+</sup>2.47 kg/a,共计502.59 kg/a;并将起到尾砂最终处置的示范作用。

## 参考文献:

- [1] 金末梅, 刘全军. 铁矿尾矿的现状和综合利用途径[J]. 矿冶, 2010, 19(2): 31-33.
- [2] 中国矿产资源节约与综合利用报告(2015)[R]. 北京: 中国国土资源经济研究院, 2015.
- [3] GB5085. 3-2007, 危险废物鉴别标准-浸出毒性鉴别[S].
- [4] GB5085. 1-2007, 危险废物鉴别标准-腐蚀性鉴别[S].
- [5] HJ/T299-2007, 固体废物浸出毒性浸出方法-硫酸硝酸法.

## Engineering Example of Comprehensive Utilization of Tailings

Gu Hongkun

(Hunan Research Institute of Nonferrous Metals, Changsha, Hunan, China)

**Abstract:** Through field investigation and qualitative and quantitative analysis of tailings left over by history in a tailings reservoir, the engineering solved the environmental problems left over by history of the tailings reservoir by comprehensive utilization technology. The engineering carried out local modification of the original aerated concrete production line, meanwhile built a new tailings brick production line. Thus, tailings can be processed into aerated concrete and tailings brick by configuring the material, stirring, molding, steam curing and other process. Products are in line with the relevant national standards. The engineering can not only make waste profitable, also achieve good economic and environmental benefits.

**Keywords:** Tailings; Comprehensive utilization; Aerated concrete; Tailings brick

(上接 114 页)

- [2] 李飞, 薛红琴, 缪军, 等. 粉煤灰对含铬废水的吸附研究[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(1): 54-58.
- [3] 朱启红. 化学药剂对粉煤灰改性作用的研究[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(1): 76-79.
- [4] 范乾静, 刘建军, 于迎春, 等. 新型非金属光催化剂-石墨相氮化碳的研究进展[J]. 化工进展, 2014(5): 1185-1194.
- [5] 安小英, 姜韵捷, 闫超, 等. 石墨相氮化碳的改性及其在水处理中的应用研究进展[J]. 应用化工, 2015(7): 1346-1349.

## Treatment of Wastewater Containing $\text{Cr}^{6+}$ with Fly Ash and $\text{C}_3\text{N}_4$

Xu Jie, Cheng Haiyan, Wang Yu

(Department of Chemical Engineering, Yangzhou Polytechnic Institute, Yangzhou, Jiangsu, China)

**Abstract:** Fly ash is one of the main industrial wastes in China. Fly ash is a kind of porous, with a large area of solid particles, so it has a certain adsorption capacity. It can be used for the treatment of heavy metals, by using waste to treat waste effect. As a kind of non-metal novel visible light photocatalyst,  $\text{C}_3\text{N}_4$  is widely used in the study of photocatalytic degradation of heavy metal waste water. In this paper, the composite material of fly ash and  $\text{C}_3\text{N}_4$  is prepared by grinding and mixing process. The operating condition of  $\text{Cr}^{6+}$  removal from water by fly ash and  $\text{C}_3\text{N}_4$  has been compared and optimized by single-factor experiment methods. The single-factor experiment results show that when the dosage of the material is 40g/L, pH 2, and the adsorption time is 40min, the adsorbent ratio of  $\text{C}_3\text{N}_4$  is 5%, the removal rate of  $\text{Cr}^{6+}$  can reach 89.2%. By comparing the experimental results of fly ash and  $\text{C}_3\text{N}_4$  and pure fly ash the removal effect of the composite material in fly ash and  $\text{C}_3\text{N}_4$  is much better than that in the pure fly ash. The removal rate of alkali modified fly ash can reach above 92%, and the removal efficiency of fly ash and  $\text{C}_3\text{N}_4$  composites was slightly lower than 90%. Therefore, further studies consider the use of other methods for the preparation of composite materials.

**Keywords:** Fly ash;  $\text{C}_3\text{N}_4$ ; Wastewater containing chromate