

# 浅论贵州猫场铝土矿长距离管道输送工艺\*

路坊海<sup>1,2,3</sup>, 肖唐付<sup>1</sup>, 林剑<sup>1</sup>, 龙琼<sup>3</sup>, 周登凤<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 贵州理工学院 材料科学与冶金工程学院, 贵州 贵阳 550003)

**摘要:**猫场铝土矿矿区设计规模为 120 万 t/a, 是贵州某大型铝企业中长期发展的主要资源保障。该矿区距企业氧化铝厂 64 km, 交通极为不便, 一旦矿山投产, 解决铝土矿石的运输问题显得尤为重要。长距离管道化运输工艺上世纪 90 年代起已在我国少数矿山成功投运, 与铁路及公路运输相比, 具有运输距离短, 基建投资少, 不占或少占地, 不污染环境及不受外界条件干扰等诸多优点。通过对国内外浆体长距离运输管道成功实例的广泛调研, 该企业拟采用长距离矿浆管道输送方式进行运矿, 本文重点讨论猫场矿区管道化输送方式的技术论证及拟建设方案的运行指标。

**关键词:**猫场矿区; 长距离管道化运输工艺; 技术论证

中图分类号: TD928.7 文献标识码: A

## 0 引言

猫场铝土矿属贵州某大型铝企业, 矿山设计规模为 120 万 t/a, 分三期逐步开采。一期设计利用资源储量 2344.48 万 t, 服务年限 14 a。目前该矿山正处于建设期间, 计划 2015 年建成投产。猫场矿区地处偏远, 距企业氧化铝厂 64 km, 交通极为不便, 无铁路通过, 仅有狭窄乡村级公路, 一旦矿山投产, 矿石运输将面临较大困难。

通常, 矿石运输的方式取决于矿区所处位置的交通条件, 若矿区交通方便, 具有现成且可满足运输负荷要求的交通干道, 则矿石输送一般采用铁路或公路运输方式。若矿区偏远且交通不便, 距离生产工厂较远, 从建设投资、经营费用看, 采用长距离管道输送的方式既可缩短建设周期又可减少经营费用<sup>[1]</sup>。长距离管道化运输工艺上世纪 90 年代起已在我国少数矿山成功投运, 其工艺系统由调制合格矿浆、管道输送和终端矿浆处理 3 个环节构成。工艺设计原理是: 利用流体的紊流和粘度提供的力, 使精矿颗粒在输送管道内充分悬浮, 从而使相同时间的输送能耗最低和管道内壁的磨损最小<sup>[2]</sup>。与铁路和公路运输相比, 具有

运输距离短, 基建投资少, 对地形适应及可利用高差势能, 占地少, 不污染环境及不受外界条件干扰, 技术先进, 安全可靠, 运输费用低等诸多优点<sup>[3,4]</sup>。结合猫场矿山所处位置, 通过对国内外浆体长距离运输管道成功实例广泛调研, 企业拟采用长距离矿浆管道输送方式进行运矿, 并对其可行性进行了前期技术论证, 本文重点讨论猫场矿山的管道化输送方式的技术论证及拟建设方案的运行指标。

## 1 实验室测试及评估

### 1.1 固体颗粒粒度分布

控制矿浆粒度的原因是: 颗粒较大的矿石将发生沉降, 沿管道底部运行, 加速管道底部磨损。根据管道输送设计经验, 要求矿浆粒度分布: +100 目 < 10%, +150 目 < 20%, -325 目 < 77.3%。经前期试验, 确定磨矿时间 43.25 min, 矿浆质量分数 50%, 并采用 Le Chatelier 烧瓶方法测定了干固体颗粒的密度为 3.22 t/m<sup>3</sup>。铝土矿浆固体颗粒粒度分布见表 1。

企业氧化铝生产中原要求矿浆粒度 +100 目 < 10%, +160 目 < 20%, 上述粒度分布符合要

\* 收稿日期: 2015-01-02

基金项目: 贵州省科学技术基金(黔科合 J 字[2014]2083 号), 贵州理工学院自然科学基金项目(XJ2K20130809)。

作者简介: 路坊海(1979-), 男, 博士生, 工程师, 从事冶金与环保方向研究工作, E-mail: lufanghai2006@163.com。

求,即矿浆送至氧化铝厂后经适当处理可直接进入生产系统。实验室测试固体颗粒尺寸分布在已经成功运行的矿浆管道输送系统经验范围之内。

表 1 铝土矿浆固体颗粒粒级分布

泰勒筛	筛孔孔径/ $\mu\text{m}$	筛下通过量/%	筛上累计质量分数/%
48	297	100	0.00
65	210	99.76	0.24
100	149	98.58	1.42
200	74	86.40	13.60
325	44	73.61	26.39
400	37	68.85	31.15
500	23	62.23	37.77
-525		0.00	100

### 1.2 流变特性

矿浆流变特性是影响长距离管道化输送工艺运营成本主要因素之一,主要由矿浆中细颗粒(小于  $44\ \mu\text{m}$ )含量决定。对其流变特性测定并优化,使其能在较低的流速下泵送,以降低长期运行费用。试验对矿浆的 pH 值不作调整,采用 Contraves Rheomat 15T 粘度计分别对 3 个质量分数的矿浆试样进行流变特性试验,测试结果见表 2。

表 2 矿浆流变特性的测试结果

$C_w/\%$	pH	$\varphi_{\text{sat}}$	$V_{r_{\text{sat}}}$	$\eta/\mu$	屈服应力 $\tau_y$ /( $\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$ )
55.5	7.1	0.279	0.386	18.0	$1.163\times 10^{-3}$
50.2	7.3	0.238	0.313	10.1	$5.760\times 10^{-4}$
46.1	7.2	0.209	0.265	7.6	$3.380\times 10^{-4}$

表中  $C_w$  为固体质量分数,  $\tau_y$  为屈服应力,  $\varphi_{\text{sat}}$  为固体颗粒体积分数,  $V_{r_{\text{sat}}}$  为固体颗粒与水的体积分数之比,  $\eta$  为宾汉塑性粘度 ( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ),  $\mu$  为同温度下水的粘度 ( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )。

### 1.3 沉降性能测试

矿浆沉降性能测定主要为设计提供依据,防止运输过程中矿浆沉积、滑移而堵塞管道。矿浆质量分数为 50%, 不调整 pH 值, 矿浆沉降测试结果见表 3。

表 3 沉降测试结果

pH	$C_w$ 初	$C_w$ 最	$\varphi_{\text{sat}}$	$\varphi_{\text{sat}}$	最大沉降速度 /( $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ )
	始值/%	大值/%	初始值	最大值	
7.3	50.0	65.8	0.238	0.375	0.54

### 1.4 滑动角度测试

取适量质量分数为 50%, pH=7.3 的矿浆注入试管, 静置于水平桌面一定时间后, 用右手缓慢抬起试管的末端, 细颗粒开始滑动的瞬间, 试管与水平面形成的角度的正切值  $\arctan\theta = 0.194$ , 即

$$\theta = 11.0^\circ.$$

### 1.5 腐蚀测试

为保证矿浆输送管道在使用年限内安全, 进行了现场腐蚀测试。在添加石灰将 pH 值提高到 11 的情况下, 腐蚀速率小于  $0.051\ \text{mm/a}$ , 腐蚀速率用于决定管道的额外壁厚 ( $1.53\ \text{mm}$ ) 作为项目设计寿命 30 a 的腐蚀裕量。经验表明, 影响管道金属损失的主要因素有管道运行流速、矿浆固体粒度分布、矿浆 pH 值、水的质量及溶解氧的含量。就损失方式而言, 管道金属损失量主要是钢管腐蚀和磨蚀共同作用的结果, 由于输送的猫场铝土矿矿浆颗粒细, 在一定的矿浆流速范围内, 相比于腐蚀速率, 矿浆对管道的磨蚀速率很小。

### 1.6 矿浆特性测试

矿浆特性测试结果见表 4, 参数完全满足商业矿浆管道设计要求。

表 4 铝土矿浆特性测试结果

参数	相关指标
固体颗粒密度 ( $\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$ )	3.22
固体颗粒小于 -325 目的	73.6
质量分数/%	10.1 (50% 质量分数)
粘度/ $\text{mPa}\cdot\text{s}$	$10.1 (50\% \text{ 质量分数})$
屈服应力/( $\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$ )	$5.76\times 10^{-4} (50\% \text{ 质量分数})$

## 2 管道化方案设想及管道工艺关键设计参数的确定

距猫场矿区 24 km 处, 该企业有一主要供矿点 L 矿区, L 矿区年产矿石 (含企业收购的民矿) 80 万 t, 距氧化铝厂 40 km, 目前矿石运输方式为公路及铁路互补。根据现场踏勘, 结合企业目前的主要供矿点实际现状, 设计初步构想为: 在猫场和 L 矿区各建设一个磨矿系统, 其中, 猫场矿区 1# 磨矿站生产能力为 120 万 t 干铝土矿矿浆, 从猫场通过 22.5 km 管道输送到 L 矿区 2# 磨矿站后, 和其生产的 80 万 t 干铝土矿矿浆汇合 (共计 200 万 t 干铝土矿矿浆) 后通过长度为 40 km 的管道一并输送到氧化铝厂, 经压滤脱水处理及适当调整后进入生产系统。根据试验结果, 确定了管道化输送的关键设计参数, 见表 5。

表 5 管道工艺设计关键参数

项目	参数值
管道设计输送量/( $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$ )	250
设计矿浆质量分数/%	50
固体质量分数/%	45~52

(续表)

项目	参数值
在 50% 矿浆质量分数下矿浆	347
设计流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	0.10
腐蚀速率/( $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ )	62.5
管道长度/km	1349
起点标高(猫场矿区)/m	1300
终端标高(氧化铝厂)/m	3.22
固体颗粒密度/( $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ )	>90
管道系统作业率/%	30
管道系统设计寿命/a	

### 3 管道化方案的经营指标测算

项目总投资约 9 亿元,与采用企业现有公路运输成本比较,其年经营成本见表 6<sup>[5]</sup>。

表 6 管道工艺方案与企业现有公路运输成本比较

指标	单价/(元· kWh <sup>-1</sup> )	年消耗 / kWh	费用/(万 元·a <sup>-1</sup> )	现状/(万 元·a <sup>-1</sup> )
猫场磨矿电耗	0.3735	39000000	1456.67	
L 矿区磨矿电耗	0.3735	26000000	971.11	
氧化铝厂电耗	0.3735	4880000	182.27	2296.69
管道输送电耗	0.3735	16988400	634.52	
基本电费			1941.09	1360.59
蒸汽	100(元/t)	69379.2(t)	693.79	
维护			316.00	
公路运输费用			947.66	9353.73
经营成本			7143.12	13011.02
新增经营成本			-5867.89	

由表 6 可见,采用管道化输送矿石方案,运输量为 200 万 t,比较于企业现公路运输方式,年可节约经营成本 5800 余万元。

### 4 结论及建议

a. 企业今后铝土矿主要来源于猫场矿区(120 万 t/a)及 L 矿区(80 万 t/a),两矿区设计开采规模为 200 万 t/a,日供矿量达 5400 t,因此铝土矿石的运输问题是一个十分重要的问题。管道输送相比于铁路和公路运输具有很多优点。首先,管道输送工作稳定可靠,不受外界因素的影响,尤其经过 2008 年中国南部大面积雨雪及凝冻灾害后,更显示出其优越性。其二,管道输送安全性好,管理简单。管道埋于地下,消除了因汽车运输造成的环保问题,省去了装车卸车环节。其三,管道容易实现自动化运输,管理人员少,能耗低。综上所述,本项目运输方案竞争能力强,虽然一次投资较大,但运输成本低廉,运输能力稳定,技术先进、可靠,环保效益、社会效益及经济效益显著。

b. 本方案管道化输送的载体为水,鉴于拜耳工艺氧化铝需消耗大量碱液,若考虑以碱液替代

水作为管道输送的载体,可减少大量水资源的消耗,省去终端矿浆压滤环节,降低项目运营成本,建议企业对碱液作为载体的输送方案进行可行性及安全性论证。

### 5 参考文献

- [1] 金亚利. 铝矿长距离管道输送新工艺研究分析[J]. 轻金属, 2005, (7): 13-15.
- [2] 陈良琨. 世界上最长的铜精矿输送管道[J]. 化工矿物与加工, 1999, (9): 4-8.
- [3] 梁充光. 中国第一条长距离高浓度铁矿浆管道工程建设与实践[J]. 中国矿业, 1999, (2): 10-15.
- [4] 吴湘福. 矿浆管道输送技术的发展与展望[J]. 金属矿山, 2000, (6): 1-7.
- [5] 马尚成, 邓开学, 代英杰, 等. 猫场铝土矿浆管道输送工程可行性研究报告[R]. 贵阳, 贵阳铝镁设计研究院, 2009.

## Discussion on long distance pipeline transportation technology of

## Maochang Bauxite Mine

LU Fang-hai<sup>1,2,3</sup>, XIAO Tang-fu<sup>1</sup>, LIN Jian<sup>1</sup>,  
LONG Qiong<sup>3</sup>, ZHOU Deng-feng<sup>3</sup>

- (1. National Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang Guizhou 550002, China;  
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. School of Materials Science and Metallurgical Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang Guizhou 550003, China)

**Abstract:** Maochang Bauxite Mine with the designed capacity of 1,200 kt/a, situated in a remote area and 64 km from an aluminum oxide plant is the main resource to ensure the long-term development of a major aluminum business in Guizhou. As it is extremely inconveniently located, once the mine is put into operation, solving the issue of bauxite transportation is very important. The long distance pipeline transportation technology has been successfully operational in a few mines in China since the late 1990. Compared with other transportation (such as railway, highway), it has advantages of short transport distance, less capital investment, no or less occupation of land, no environmental pollution, no exposure to outside interference and others. Through the extensive research of the successful domestic and international examples of long distance ore slurry pipeline transportation technology, the enterprise intends to transport the ore by the long distance slurry transportation technology. This paper focuses on the technical demonstration for the long distance pipeline transportation technology in Maochang Bauxite Mine and the operation index of the construction scheme.

**Keywords:** Maochang Mine; long distance pipeline transportation technology; technical demonstration