

# 膏体深度浓缩技术与装备

贺茂坤, 李浩宇, 付建勋

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘要]** 本文阐述了尾砂浓缩脱水技术的发展历程, 膏体浓缩技术和装备的发展现状, 结合膏体浓缩制备和应用中存在的问题, 通过研究、分析主要膏体浓缩工艺及设备, 提出了膏体深度浓缩制备工艺; 介绍了为实现尾砂深度浓缩而开发的新型浓缩装备——“尾砂浓缩贮存装置”的特点和优势, 为膏体浓缩设备的选型设计提供了参考。

**[关键词]** 膏体; 尾砂; 浓缩; 充填

**[中图分类号]** TD926 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2021)03-0009-04

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.03.003

## 0 前言

膏体充填技术是将尾砂制备成高浓度料浆充填采空区的一项技术, 是实现矿山安全高效开采的重要途径, 具有充填浓度高、采场脱水少、充填体强度高、胶凝材料单耗少等优点, 成为近年充填技术重点研究方向<sup>[1-2]</sup>。

充填膏体通常描述为不离析、不沉淀, 流动状态呈结构流的料浆, 膏体塌落度一般在 15~25 cm 之间<sup>[3]</sup>, 也有学者从分层度、屈服应力、泌水率等角度来定量定义膏体。由于不同矿山尾砂性质不尽相同, 制备工艺和检测手段的差异, 造成膏体检测和定义方法存在一定局限性。特别是近年的极细粒级尾砂膏体浓缩制备领域, 传统膏体浓度、分层度、泌水率等经验数据和相关实际数据偏差较大, 极细粒级尾砂浓缩成膏体后, 虽然表征出膏体不离析、结构流等基本形态, 但是充填至采空区后, 存在形成强度慢、脱水难的问题, 对回采工艺造成了不利影响, 因此需要对现有的充填膏体浓缩技术和装备进一步的研究和优化升级。

**[收稿日期]** 2020-12-02

**[作者简介]** 贺茂坤(1982-), 男, 湖南岳阳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事矿山机械设计和科研工作。

**[基金项目]** 国家十三五重点研发计划课题(2017YFC0602903、2019YFC0605300)。

**[引用格式]** 贺茂坤, 李浩宇, 付建勋. 膏体深度浓缩技术与装备[J]. 有色设备, 2021, 35(3): 9-12.

## 1 膏体浓缩技术与装备发展现状

### 1.1 发展历程及现状

我国尾砂充填技术及装备的发展, 经历了从卧式砂池工艺到立式砂仓工艺, 从水砂充填到高浓度自流充填, 从分级尾砂充填到全尾砂以及膏体充填的发展过程。纵观我国尾矿充填技术发展的各个阶段, 各类新技术、新工艺不断涌现和进入工业应用, 膏体浓缩技术及装备获得了广泛的应用和发展。中国恩菲通过技术创新, 一直引领着我国充填技术的发展方向, 为我国充填技术的发展起到了重要作用, 创造了充填领域的众多第一。

随着矿山开采出矿品位的下降, 为保证选矿回收率, 矿石的选别流程长, 磨矿粒度越来越细, 造成选厂产出尾砂粒级越来越小, 这给充填系统相关的浓缩、制备及充填体强度形成都带来了新的变化和挑战<sup>[4]</sup>。例如某多金属矿, 尾砂浓缩后浓度到 60%~62% 时呈明显的膏体状, 实现了膏体充填。但是, 这类膏体充填至井下后, 形成强度慢, 难以满足正常回采循环时间要求, 矿山通常只能采取多添加胶凝材料等手段来解决, 增加了矿山成本。

### 1.2 主要浓缩设备

尾砂浓缩脱水装置依靠颗粒重力自然沉降或添加絮凝剂进行絮凝沉降, 基于满足高浓度和膏体充填制备的要求, 尾砂浓缩脱水贮存装置需要高效、高质量的制备出合格充填料浆, 且系统易于操控、方便维护<sup>[5]</sup>。近年来, 随着膏体充填技术的发展, 立式砂仓和深锥浓密机具有尾砂处理规模大、浓缩流程

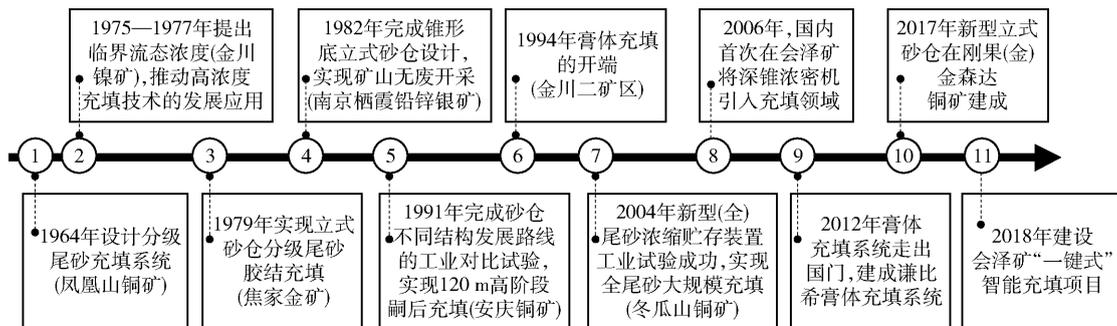


图1 中国恩菲引领充填技术发展历程主要事件

短、制备成本较低等优点,被大范围推广使用。国内采用的尾砂充填工艺主要有立式砂仓浓缩制备工艺和深锥浓密机浓缩制备工艺,都是由中国恩菲首次应用于国内矿山领域,其工艺技术及知识产权均来源于中国恩菲。中国恩菲引领充填技术发展历程主要事件,如图1所示。

### (1) 立式砂仓

20世纪70年代末,立式砂仓被中国恩菲引入国内用作充填尾砂浓缩脱水设施。立式砂仓为圆筒仓,直径通常为6~10 m,仓体由圆柱形筒体和半球形底或锥形底组成,仓体常用钢制结构,少部分采用混凝土形式。立式砂仓通过设置不同的仓内结构来提高放砂浓度,更好地提高放砂过程的稳定性,满足制备高浓度料浆甚至膏体的要求。由中国恩菲开发的新型立式砂仓——尾砂浓缩贮存装置,既具备传统立式砂仓的一些基本特点,又能实现全尾砂深度浓缩脱水处理,具备连续进料、排料的工况,该新型浓缩装置能浓缩处理极细尾砂、全尾砂、分级尾砂等多种级配尾砂,并适应尾砂长时间存储、不连续工作等多种复杂工况。产品一经投入实际工程中,使用效果显著,受到业内的广泛好评和推广。

### (2) 深锥浓密机

深锥浓密机(Deep cone thickener)最早由Eimco公司开发并申请专利,深锥浓密机是在高效浓密机的基础上开发,采用中心传动,主要由浓缩池体、支撑架、驱动装置、耙架装置等组成。底锥角度通常为30°左右,耙架以一定的速度连续旋转,为了确保深锥耙架的受力在可承载的范围内,在尾砂浓缩脱水过程中,需要防止浓缩脱水后的浓度过高。

深锥浓密机运行的主要缺点是压耙的风险,当底部尾砂浓度上升速度过快,尾砂粒度偏大或尾砂级配变化较大时,短时间耙架扭矩突然变大造成耙

架过载停止转动,出现压耙现象。一般采用设置耙架扭矩保护阈值提前预警,或通过循环泵降低底部尾砂浓度,但是该方式制约了深锥浓密机底部浓度的提高,深锥浓密机高径比的选择和设计也受限。

## 2 新型尾砂浓缩贮存装置

### 2.1 装置原理

新型立式砂仓——“尾砂浓缩贮存装置”是由中国恩菲于润沧院士带领的充填团队自主开发的具有国际领先水平的(全)尾砂浓缩、脱水、贮存装置。深锥浓密机和传统砂仓的浓缩工艺一般为澄清—沉降—压缩三个阶段<sup>[6]</sup>,新型尾砂浓缩贮存装置,是整体结构升级优化的新型立式砂仓,以澄清—絮凝沉降—压缩沉降—深度浓缩技术路线为基础开发,突破了传统立式砂仓和深锥浓密机高径比设计上限,高径比大于2,有效解决了尾砂絮凝团间的絮团水脱水问题,利用深度浓缩进一步压缩低浓度膏体尾砂,释放大部分絮团水,从而提高底流砂浆的浓度,深度浓缩装置浓缩示意如图2所示。在传统浓缩制备环节增加了深度浓缩,经过深度浓缩后的放砂浓度较传统的砂仓提高3%~18%,可以较好满足极细全尾砂及膏体充填浓缩制备的要求,解决了充填浓缩脱水工艺中全尾砂以及分级尾砂低成本高质量浓缩脱水的难题。

利用控压助流脱水技术,深度浓缩装置中尾砂形成高质量的“流态化”的底流浓度,摆脱了传统膏体制备技术浓度提升的制约。图3为深度浓缩装置控压助流控制界面。控压助流方案采用新的流体力学模型,在整体优化深度浓缩装置结构的基础之上增加了一套控压助流辅助设施,通过在装置底部布置间隔的环形管路设置“流态化”喷嘴,保持深部压缩后料浆可控流动。

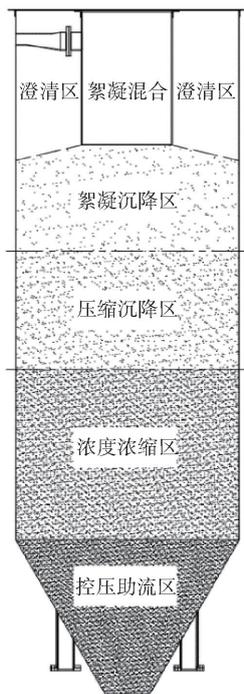


图2 深度浓缩装置示意图

控压助流辅助设施采用特殊的喷水、喷气的方法在一些部位向仓内注入高压水或高压气来控制砂浆孔隙压力和改善沉淀尾砂的流动性能,以保持或增加仓底尾砂的流动性,提高砂仓放砂浓度和流量的稳定性、可控性。图4为新型尾砂浓缩贮存装置放砂及溢流效果。通过新型尾砂浓缩贮存装置应用实现了深井高浓度充填料连续排放,大规模输送井下采场充填,降低了充填输送成本和井下采场脱水处理成本,解决了矿山实际生产中的技术难题。

该装置是集成了中国恩菲核心专长技术的专利产品,拥有授权专利10余项。适用于全尾砂、分级尾砂的浓缩,可满足各种高浓度、膏体充填的新型立仓式尾砂浓缩装置。其中“矿山充填设备”荣获中国专利优秀奖,相关技术获得国家科技进步奖等多项奖励,科技成果被鉴定达到国际领先水平。2015年,中国恩菲“膏体及高浓度尾矿充填技术与装备”被国家安监总局列入第一批《金属非金属矿山新型适用安全技术及装备推广名录》。

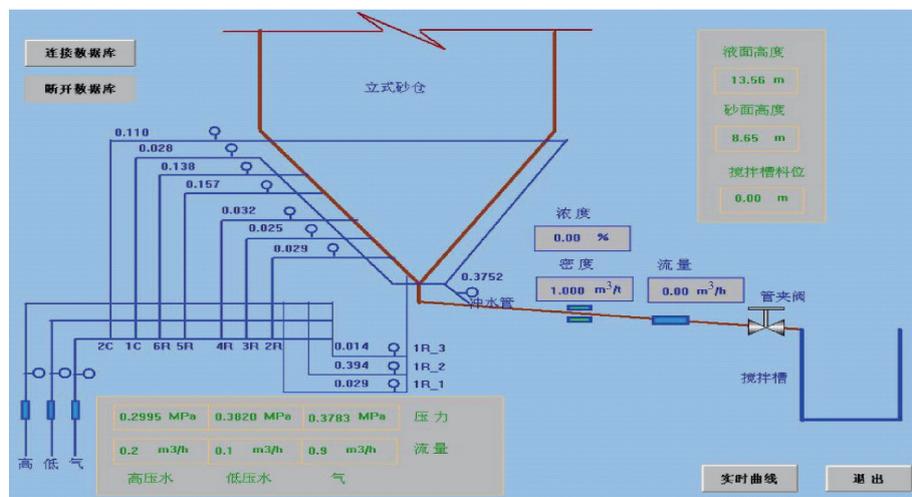


图3 控压助流设施控制界面



图4 深度浓缩装置放砂及溢流效果

## 2.2 主要特点及优势

新型尾砂浓缩贮存装置与传统的立式砂仓制备

效果相比,底流浓度更高、流量更稳定、适应工况能力强,较好地解决了极细粒级的全尾砂深度浓缩脱水难题。尾砂浓缩贮存装置仓顶溢流脱水与仓底造浆同步进行,彻底摒弃了传统砂仓间断充填作业,与选矿连续作业制度的不协调,在提高充填能力的同时,达到了选矿水闭路循环目的。

深度浓缩装置的主要特点和优势如下:

- (1) 适应能力强,既适用全尾砂又适用分级尾砂,适应粗尾砂和细尾砂的浓缩和贮存;
- (2) 具有较大的尾砂贮存缓冲能力,能解决选

矿生产与采矿充填作业的匹配问题;

(3)通过深度浓缩工艺,底流排放浓度高,比传统立式砂仓放砂浓度提高3%~18%,流量稳定;

(4)可边进料、边放砂,处理能力大,进料波动适应性强;

(5)溢流浓度低,可直接用于采选、充填相关生产用水;

(6)无耙架装置,更节能环保,没有压耙风险;

(7)自动控制水平,放砂过程自动化多回路控制调节,实现放砂浓度、流量智能稳定控制;

(8)适合大规模集中坑内充填和尾矿排放,也可根据客户需要量身订制,满足个性化需求。

### 2.3 主要应用领域

低成本、高效稳定的尾砂浓缩设备是保障尾砂充填及排放工艺正常生产的关键。该成套装置机械部分可全部由钢结构件制作,用户只需在现场构建装置基础即可,施工快速、安装便捷。控制部分由工业控制器和人机接口组成,工艺参数设置、调节方便,各种生产信息和报警信息自动统计记录,易于操作。

主要应用领域有坑内充填、尾矿浓缩排放、露天坑回填。

## 3 结论

(1)中国恩菲在国内充填行业推广了立式砂仓

浓缩制备工艺和深锥浓密机浓缩制备工艺,实现了尾砂膏体的短流程、高效的浓缩脱水,有力推动了膏体充填技术和装备的发展和应用。

(2)在膏体浓缩工艺和装备的发展过程中,特别是极细粒级尾砂膏体浓缩,需要通过深度浓缩进一步提高浓度以满足井下回采的工艺需求。

(3)中国恩菲开发的新型尾砂浓缩贮存装置,利用深度浓缩原理和控压助流技术提高了底流浓度,实现了尾砂膏体高效深度浓缩和澄清脱水。

(4)新型尾砂浓缩贮存装置,具有浓缩短流程、成本低的优势,能适应多种级配尾砂浓缩的工况,为膏体浓缩设备的选型设计和改造提供了参考。

#### [参考文献]

- [1] 李冬青,杨承祥,施士虎.全尾砂高浓度充填技术在深井矿山应用研究[J].金属矿山,2009(7):13-23.
- [2] 贺茂坤,付建勋,李浩宇.尾砂深度浓缩快速脱水研究[J].中国矿山工程,2019,48(5):60-65.
- [3] 刘同有,周成浦,金铭良,等.充填采矿技术与应用[M].北京:冶金工业出版社,2001.
- [4] 王辉,杨静,安骞,等.超细全尾砂沉降实验研究[J].矿业工程,2011,9(5):27-29.
- [5] 于润沧.金属矿山胶结充填理论与工程实践[M].北京:冶金工业出版社,2020.
- [6] 齐兆军,盛宇航,吕志文,等.深锥浓密机在福建某金矿的应用研究[J].矿冶工程,2018,38(6):71-73+78.

## Deep Concentration Technology and Equipment of Paste

HE Mao-kun, LI Hao-yu, FU Jian-xun

**Abstract:** This paper describes the development process of tailings concentration and dehydration technology, the development status of paste concentration technology and equipment, combined with the problems in the application of paste concentration, through the research and analysis of the major paste concentration process and equipment, puts forward the paste deep concentration process, to develop a new type of vertical sand bin for deep concentration of tailings, the characteristics and advantages of the new type of concentration equipment are introduced, which provides a reference for the selection and design of paste concentration equipment.

**Key words:** Paste; tailings; concentrate; backfilling

