

文章编号: 1001-3571(2021)01-0148-07

XJM-S系列浮选机的研发及展望

石 焕^{1 2 3}, 程宏志^{1 2 3}, 魏昌杰^{1 2 3}, 刘春艳^{1 2 3}, 邓明瑞^{1 2 3}, 杨茂青^{1 2 3}, 许晨涛^{1 2 3}

(1. 天地(唐山)矿业科技有限公司, 河北唐山 063012; 2. 中煤科工集团唐山研究院有限公司, 河北唐山 063012;
3. 河北省煤炭洗选工程技术研究中心, 河北唐山 063012)

摘要: 浮选是目前细粒煤泥处理最有效、应用最广泛的方法。XJM-S系列浮选机在我国煤泥浮选设备中占有率最高,达70%以上。为使选煤同仁全面了解XJM-S系列浮选机技术特色、应用及发展,简述了XJM-S系列浮选机的工作原理、设计思路及其结构特点,回顾了该设备的研发历程,介绍了指导大型设备参数设计的放大准则,以及采用流场数值模拟对该设备结构的验证和优化;同时对比分析了目前生产中常用的XJM-S、XJM-KS、“3+2”系列浮选机的主要特点、现场应用情况以及XJM-S系列浮选机在低阶动力煤煤泥浮选提质中的应用效果。生产实践证明,XJM-S系列浮选机以设备运行可靠化为基础,通过槽体多样化配置和控制系统自动化提升,可实现浮选生产工艺的灵活化。最后,对XJM-S系列浮选机的发展趋势进行了展望。

关键词: 浮选; 机械搅拌式浮选机; 放大准则; 数值模拟; 低阶煤浮选

中图分类号: TD456; TD943

文献标志码: A

Research , development and prospect of the XJM-S series flotation machine

SHI Huan^{1 2 3}, CHENG Hongzhi^{1 2 3}, WEI Changjie^{1 2 3}, LIU Chunyan^{1 2 3},
DENG Mingrui^{1 2 3}, YANG Maoqing^{1 2 3}, XU Chentao^{1 2 3}

(1. Tiandi (Tangshan) Mining Technology Co. Ltd., Tangshan 063012, China; 2. Tangshan Research Institute Co. Ltd., China Coal Technology & Engineering Group, Tangshan 063012, China; 3. Hebei Province Coal Preparation Engineering & Technology Research Center, Tangshan 063012, China)

Abstract: Flotation process is currently the most efficient and widely used method for the treatment of fine coal. The use of the XJM series flotation cell accounts for the lion's share among the flotation equipment applied in China, which is estimated to be over 70%. In order to enable fellow workers to gain a deeper insight into the machine, the paper presents an outline of the working principle, design concept and structural features of the machine. Following a review of the process of the R & D of the machine, an introduction is made to the criteria for directing the scale-up of parameters in design of large-size ones. The structure of the machine is verified and optimized by means of flow field numerical simulation. Furthermore, a comparison is made of the main features, field application results and performance in upgrading of low-rank coal of the nowadays commonly used XJM-S, XJM-KS and “3+2” series flotation machines. Result of field application shows while ensuring the reliability of the XJM series machine, the flotation process can be rendered more flexible through making diversified combination of cells and improve-

收稿日期: 2021-01-31 责任编辑: 李梅 DOI: 10.16447/j.cnki.cpt.2021.01.022

基金项目: 河北省重大科技成果转化专项资助项目(16044104Z); 科研院所技术开发研究专项资助项目(2008EG122187)

作者简介: 石 焕(1974—),女,河北安国人,研究员,硕士,享受国务院政府特殊津贴专家,从事浮选技术与装备研发、选煤厂设计等工作。E-mail: tshfuxuan@126.com, Tel: 0315-7759417。

引用格式: 石 焕,程宏志,魏昌杰,等.XJM-S系列浮选机的研发及展望[J].选煤技术,2021(1):148-154.

SHI Huan, CHENG Hongzhi, WEI Changjie, et al. Research, development and prospect of the XJM-S series flotation machine [J]. Coal Preparation Technology, 2021(1): 148-154.

ment of automatic control system. Finally, the paper looks forward to the developing trend of the XJM-S series flotation machines.

Keywords: flotation; subaeration flotation machine; scale-up criteria; numerical simulation; flotation of low-rank coal

目前选煤厂所用浮选设备主要有机械搅拌式浮选机、浮选柱(床)、喷射式浮选机、微泡浮选机,以及国外引进的 IF 浮选机、詹姆森浮选柱、威姆科浮选机和德国普浮乐微泡浮选机等。在各类浮选设备中,以机械搅拌式浮选机为主,约占 80%^[1]。机械搅拌式浮选机以 XJM-S 系列浮选机为代表,该机属自吸空气机械搅拌式浮选机,因其对不同煤种、可浮性、入料浓度和粒度变化适应性强,约占我国选煤厂浮选设备总量的 70% 以上。文章对 XJM-S 系列浮选机的工作原理、研发手段、发展历程、应用效果进行了逐一介绍,并展望了其发展趋势。

1 概述

XJM-S 系列浮选机属自吸空气式机械搅拌式浮选机,是以原煤炭科学研究总院唐山分院 20 世

纪 60 年代中期研制成功的 XJM-4 型浮选机为基础,经对我国煤用浮选设备进行充分调研,从浮选效果和经济效益等方面考虑,并吸取了生产实践以及国内外浮选机的先进经验而开发研制的,具有占地面积小、能耗低、便于维护和操作等优点。随着煤炭行业技术的进步与需求,逐渐完成了系列浮选机的研究开发和应用。XJM-S 系列浮选机的研发大致经历了小型机、中型机和大型机三个阶段,单槽容积从 4 m³ 发展到 90 m³,已在除褐煤以外的各煤种煤泥的分选上得到应用。

2 工作原理和结构特点

XJM-S 系列浮选机在原 XJM 型浮选机基础上,重新开发设计,搅拌机构核心区改进内容如图 1 所示。由图 1 可以看出,改进后 XJM-S 型浮选机具有如下特点:

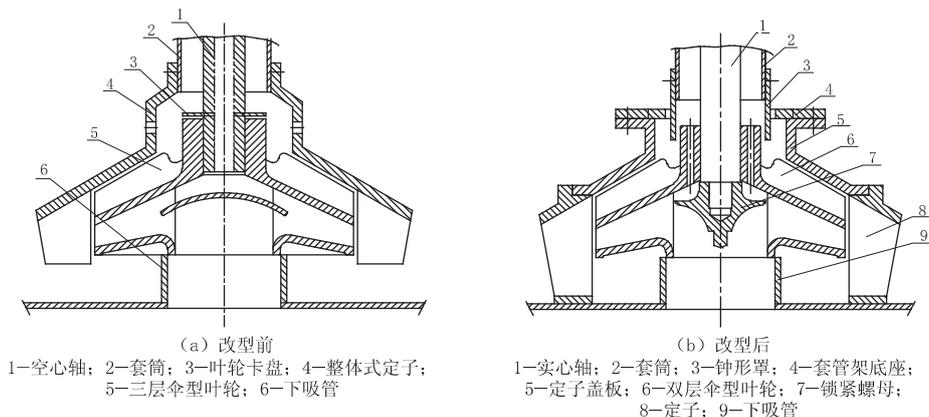


图 1 XJM 浮选机搅拌机构核心区改型前后对比图

Fig. 1 Diagram of the XJM flotation cell before and after improvement in design

(1) 用双层伞形叶轮代替原有带隔板的三层叶轮,配合流线型锁紧螺母,减少了流体阻力,使动力消耗降低,叶轮效率提高。

(2) 采用分体式组合定子结构。定子体分为定子体和定子盖板两部分,靠加工面配合,安装搅拌机构时自然对中;定子固定在假底上,检修时可有效减轻起吊质量,检修方便。

(3) 单气道进气,系统简单。套管与轴之间的环形通道,既是空气通道,也是药剂通道,通过叶轮轮毂开孔,空气可被引入叶轮下层,使循环矿浆和空气分别同向导入叶轮,强化了循环矿浆对套

筒内空气的抽吸作用,在上下两层叶轮叶片间完成药剂、空气和矿浆的充分混合,解决了原结构中套管内空气流向与吸入的矿浆流向相垂直,套管气道堵塞问题。

除以上结构外,还在矿浆入料过流方式、充气方式、槽体结构等方面进行了创新,浮选机槽内流态示意如图 2 所示。由图 2 可以看出:

(1) “假底底吸、周边串流”式入料方式,对矿浆量和煤泥可浮性的变化适应性强。浮选机工作时,矿浆沿槽宽度断面入料口给入假底和矿浆通道,通过叶轮的下吸口进入叶轮,进行矿浆、空气

和药剂的混合。矿浆通过量大于叶轮下层吸浆能力时,多余矿浆通过假底周边向上进入假底上搅拌区,槽底不易存死角。槽内部分矿浆可通过矿浆循环口吸入叶轮上层,再一次与气泡接触,完成槽内矿浆的循环。

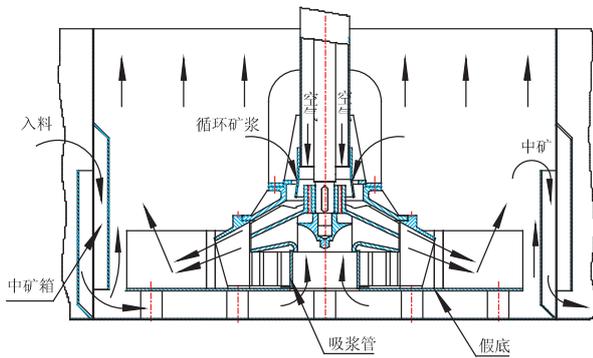


图2 XJM-S系列浮选机槽内流态示意图

Fig. 2 Sketch showing the working principle of the XJM-S flotation machine

(2) 浸没式中矿箱,矿化气泡和矿浆有效分离。浮选机通常由三四个槽串联为一组,槽间设浸没式中矿箱,中矿箱的入料口位于泡沫层以下的浮选分离区域,将前一室待处理的矿浆导入后一室的假底下,有效防止中矿和尾矿带走已矿化的气泡。与吸入式入料浮选机相比,此入料方式给料矿浆量不受叶轮吸浆能力的限制;与直流式入料相比,浸没式中矿箱既可实现大的矿浆通过能力又不发生矿浆“短路”现象,既克服了“吸入式”入料矿浆通过量小的问题,又解决了“直流式”入料矿浆易串料、槽内液面稳定性差的缺陷。

(3) 双层“伞”型叶轮,有效降低功耗;单气道双系统进气,槽内“W型流态”,粗、细煤粒分离精度高。叶轮旋转时,空气由套简单气道吸入,分别被引入叶轮上下两层,使矿浆均得到与空气接触碰撞的机会,而且气量可在线调节,方便灵活。矿浆经叶轮甩出后,沿一定倾角向下流出与假底碰撞后向上折返,经稳流板叶片缓冲后向上进入分离区,槽内矿浆呈“W”循环,流态合理,粗细煤粒分离精度高。

(4) “分体式”定子,实现叶轮下吸口与下吸管自然对中,保证安装精度,减轻了起吊质量和安装难度,且叶轮下吸口落入下吸管一定深度,与槽体下吸管采用负嵌套配合,可有效减少下吸环流量,提高下吸入料量。

(5) 矩形断面浅槽型,搅拌区域容积利用率高,能耗低,且占地面积小,可降低基建和生产费

用。

(6) 单点调节整机内矿浆液位,操作简单。在尾矿箱处设置尾矿排放电动/手动操作执行机构,单点控制调节整机液位,系统简单。

(7) 分室多点加药,操作灵活,适应性强。浮选机每室均设加药漏斗,可根据产品指标要求和入料性质变化,方便实现各种不同的加药制度和加药方式。

(8) 浮选机通常由三四个槽串联为一组,矿浆多次分选,浮选时间长,利于保证浮选效果。

3 浮选机放大准则

沿浮选槽高度从下向上,按流动特性和浮选过程将其划分为4个区域:①搅拌混合区;②分选区(或称捕捉区);③分离区;④泡沫层(或称精选区)。这4个区域的总体高度决定了浮选槽的深度。浮选分离过程要求槽体下部强烈搅拌、上部平稳。

XJM-S系列浮选机在大型化设计过程中制订了相似放大准则,除搅拌机构遵从几何相似外,运用相似理论并结合浮选机的工作原理,提出了浮选机结构参数模拟放大计算公式;制订了运动相似准则——叶轮圆周速度恒定,保证相似的固-液悬浮状态;制订了动力相似准则——功率数不变和气流数不变,保证相似的搅拌强度和充气速率^[2]。

3.1 结构参数设计

几何结构设计准则如下:

$$\begin{cases} D/D_e = 0.237; \\ H = 0.6 + 1.2D; \\ V = H \cdot \pi/4 \cdot D_e^2. \end{cases} \quad (1)$$

式中: D 为叶轮直径 μm ; D_e 为槽体当量圆面积直径, m ; H 为槽体深度 μm ; V 为槽体容积 μm^3 。式中常数为XJM-S型浮选机的经验系数。

3.2 动力参数设计

运动相似和动力相似准则如下:

$$\begin{cases} U_2 = 8.90; \\ N_{Q_a} = Q_a / (ND^3) = 0.075; \\ N_p = P / (\rho N^3 D^5) = 1.60. \end{cases} \quad (2)$$

式中: U_2 为叶轮圆周线速度 $\mu\text{m/s}$; N_{Q_a} 为气流数,无因次; Q_a 为充气量; N 为叶轮转速 r/s ; N_p 为功率数,无因次; P 为搅拌功率 kW ; ρ 为矿浆的密度 t/m^3 。式中常数为XJM-S型浮选机的经验系数。

参照以上准则,进行大型浮选机工艺与结构参数计算,部分型号关键参数计算结果汇总见表2。根据 XJM-(K)S 型浮选机生产实践经验,这些

参数能够满足工业要求,表明设计方案是可行的^[3-6]。目前各型号设备均已在选煤生产中得到推广应用,取得良好效果。

表1 部分型号浮选机关键技术参数

Table 1 Key technical parameters of part of the XJM versions

容积(V) / m ³	叶轮直径 (D) /m	圆周速度(U ₂) / (m·s ⁻¹)	充气速率 / (m ³ ·m ⁻² ·min ⁻¹)	搅拌功率 (P) /kW	槽深(H) / m	槽宽(L) / m	外形尺寸 / (mm×mm×mm)
20	0.92	8.90	0.97	30.8	1.70	3.45	15 150×3 700×3 403
28	1.05	8.90	0.89	40.9	1.86	3.93	17 034×4 200×3 453
60	1.25	9.00	0.85	85.5	2.10	5.00	22 515×5 787×5 150
90	1.50	9.66	0.81	112.0	2.55	5.96	26 096×6 278×5 388

4 浮选机流场模拟

为缩短研发周期、验证设计的合理性,利用先进的计算机手段对浮选槽内矿浆流场进行模拟。对5个不同容积浮选机槽内流场模拟表明:叶轮吸浆能力是入料量的3~5倍,能够满足矿浆通过量的要求;工作过程中槽内下部产生剧烈搅拌和高强度湍流运动,以弥散空气、加速气泡矿化;上部液面平稳,可加强泡沫层的富集作用,且可避免粗煤粒从气泡上脱落;槽内矿浆产生循环运动,使待浮煤粒具有充分的浮选机会;稳流板叶片对叶轮和定子外边缘出口的矿浆起到了良好的稳流作用,矿浆经稳流板上缘升速变缓,减少了对泡沫层的冲击。此外,结合流场模拟,对叶轮和定子易受冲击磨损部位提出了加强措施,并应用于实际生产,使易损件使用寿命提高了一倍以上,效果明显^[5-8]。

5 设备研发历程

5.1 XJM-S12、S16 浮选机的开发

XJM-S 型浮选机及其系列化的开发、设计及多样化都是选煤厂生产需求促进技术进步的结果,XJM-S 系列浮选机开发分为三个阶段:小型机(单槽容积16 m³以下)、中型机(单槽容积20~28 m³)和大型机(单槽容积36 m³及以上)。

首台 XJM-S12 浮选机应用于原焦作矿务局九里山选煤厂。该厂入选无烟煤,后增设浮选车间,原设计采用3台 XJX-Z8 浮选机,由于当时入选原煤量小,只安装了两台,投产后不能满足生产需要,故在原预留的 XJX-Z8 浮选机位置设计安装了一台单槽容积为12 m³的 XJM-S12 浮选机。生产实践表明: XJM-S12 浮选机单位容积矿浆处理能力可达11.48 m³/(m³·h),平均矿浆处理能力为7.22 m³/(m³·h),是 XJX-Z8 浮选机的3.31倍,生产中可获得精煤平均灰分为8.19%,尾煤灰分平

均为62.35%,精煤产率提高了10个百分点,吨煤电耗和油耗明显降低^[9]。该机于1993年4月通过部级鉴定。

XJM-S16 浮选机的研制被列入“八五”煤炭行业重点课题之一,由原煤科总院唐山分院承担。XJM-S16 浮选机于1993年在八一矿投产,1994年3月通过部级鉴定,鉴定意见为:该机属国内首创,各项技术经济指标达到国际先进水平。该机在入料灰分为11.71%~22.73%、入料粒度组成中<0.074 mm 含量高达76%、入料浓度为110~170 g/L条件下,精煤和尾煤灰分分别为7.60%~10.80%、55.95%~70.20%,矿浆和煤泥的单位容积处理能力分别为6.19~8.99、0.81~1.13 t/(m³·h),吨煤电耗、油耗分别为1.64~1.74 kW·h、0.78~1.22 kg。一台 XJM-S16 (3室)浮选机可代替一组 XJQM-14 型浮选机或一组 JF-16 (6室)浮选机并实现正常生产,电耗可降低26%,油耗降低24%^[10]。

5.2 XJM-KS 系列浮选机的开发

常规浮选作业包括矿浆预处理和浮选分选两个环节,矿浆预处理设备有矿浆准备器、矿浆预处理器、搅拌桶、管道混合器、雾化跌落箱、BGT 系列新型表面改质调浆机和表面改质机等^[11-12]。

预处理器和浮选机通常采用一对一配置,随着设备大型化发展,也可采用一台预处理器配两台浮选机,如φ3台3m的矿浆预处理器配置一、两台16~20 m³的 XJM-S 型列浮选机,矿浆预处理器所占厂房面积或体积约为浮选系统的1/3~1/5,可见其占地面积较大,且要求厂房的高度较高。

XJM-KS 型浮选机用矿化器代替常规预处理设备,利用高速射流,实现浮选剂的弥散,具有微泡预选功能,形成的矿化气泡直接进入浮选机精选,构成简化浮选流程和强化分选机制,改善了浮选效果。将矿浆预处理与分选结合在一起,不仅简

化了浮选系统,而且减少了设备占地面积 1/3 ~ 1/5,降低了厂房高度,节省建设投资。尤其在老厂改造补套浮选、浮选扩能中优势明显。

首台研发的 XJM - KS20 (3室)浮选机应用于黄陵矿业集团一号煤矿选煤厂,在 <0.074 mm 粒级含量达 67%,在平均入料灰分为 30%,入料浓度为 100 ~ 120 g/L 的情况下,精煤灰分为 10%,尾煤灰分为 60%,处理能力为 600 ~ 700 m³/h^[3,13]。

XJM - KS45 浮选机应用于山东新巨龙选煤厂代替原德国进口 K - FV50NS 浮选机。在浮选入料中 <0.075 mm 粒级增加、入料灰分较改造前增加的情况下,浮选精煤灰分为 8.58%,较先前降低 0.87 个百分点,浮精产率为 66.34%;浮选入料浓度可以由原来的 60 g/L 提高到 90 g/L,有效释放了主选系统生产能力,使重介精煤不再“背灰”,全厂精煤产率提高 3.02 个百分点^[14]。

目前 XJM - KS 系列浮选机矿化技术已应用到 XJM - S 系列浮选机全部设备型号,根据设备型号大小和处理量,矿化器的个数和结构可进行相应匹配设计。需要说明的是,矿化器需要稳定的入料压力,一般为 0.04 ~ 0.1 MPa 不等,也有自流给料情况,因此生产中需要稳定入料压力。

2018 年开发的 XJM - YS 系列浮选机,在浮选机前面增加搅拌槽,槽内设搅拌机构,体积较常规预处理器小但比矿化器大,可缓解矿化器由于入料压力不稳定导致的浮选机一室入料不稳的缺点。

5.3 “3+2”系列浮选机的开发

随着选煤厂入选原煤日益向贫、杂、细发展,加之同一矿井不同煤层性质变化极大,矸石泥化程度不等,对整个煤泥水处理环节的处理能力和适应

性提出了更高要求。浮选作为煤泥水处理的源头,其效果好坏直接关系到选煤厂的运行效果。

入浮煤泥中细颗粒含量大、灰分高,中间密度级产物含量大,会导致煤泥可浮性难度增加,常规一次浮选工艺常达不到产品质量指标要求。

目前大多新建厂多采用一次精选工艺。“3+2”系列浮选机是针对选煤厂入浮煤种多、煤泥可浮性变化大开发出来的,单机可实现一次浮选或者一次精选,大大提高了设备的工艺灵活性,满足了不同可浮性煤泥的需要。一台 5 室浮选机,采用前 3 槽、后 2 槽阶梯布置,中间为特殊设计的可实现工艺切换的中矿箱,前 3 槽和后 2 槽尾矿均可单独排放,简称“3+2”浮选机。煤泥易浮时,根据矿浆量大小,前 3 槽可单独使用(后两槽停用以节省电耗),或者前后 5 槽串联使用,最大限度提高精煤产率;对于难浮煤泥,采用一次浮选工艺,前 3 槽精矿通过中矿箱进入后 2 槽精选,以降低精煤灰分,同时节省了精矿转排泵,降低电耗。

首台 XJM - S28 (3+2) 浮选机应用于霍州煤电集团吕梁山煤电公司洗煤厂(原煤处理能力为 3.75 Mt/a),生产实践表明:采用一台“3+2”浮选机,可满足该厂入选易浮煤和难浮煤的生产需要,具有浮选效果好、适应能力强、处理能力大、能耗低等特点。由表 2 可知:对于易浮煤,与原用 WPF 型微泡浮选机相比,精煤灰分降低 1.28 个百分点,产率提高 14.40 个百分点,浮选完善指标提高 9.74 个百分点;对于原来 WPF 型微泡浮选机不能浮选的难浮煤,XJM - S28 (3+2) 浮选机采用一次精选工艺(即二次浮选),可获得灰分 10.78%、产率 30.88% 的合格精煤产品^[15]。

表 2 浮选机与微泡浮选机生产指标比较

Table 2 Comparison of performance data of XJM version and micro bubble version

设备型号	可浮性	入料平均灰分	浮精平均灰分	浮尾平均灰分	精煤产率	浮选完善指标	%
XJM - S28	易浮	17.30	9.21	58.32	83.33	46.98	
WPF	易浮	18.98	10.49	37.95	68.93	37.24	
XJM - S28	难浮	31.30	10.78	40.61	30.88	29.36	

“3+2”系列浮选机目前已有单槽容积为 12 ~ 45 m³ 机型应用于选煤生产。在采用的配置中,后 2 槽也可用于精选卧式沉降离心机的滤液。

5.4 低阶煤浮选应用

由于低阶煤含氧官能团多,疏水性差,煤泥浮选困难,全粒级洗选时会产生大量难于处理的煤泥,因此在低阶动力煤选煤厂煤泥一般不入选或者尽量减少进入系统分选的煤泥量。因此,近年来行业大都采用深度筛分技术,以实现动力煤煤泥减量

化生产。但是针对低阶煤水分高、热值低、矸石易泥化等特性,研究适于低阶煤泥的浮选提质技术与大型装备,提高煤炭利用效率,也是形势所需。低阶煤的浮选技术一直是实现动力煤全粒级洗选的技术瓶颈^[16]。

郑云婷^[17]进行了长焰煤、不黏煤和气煤的表面性质的研究,对比了不同浮选试验条件和 5 种捕收剂对长焰煤的浮选效果,发现常规炼焦煤药剂不适合长焰煤的浮选。结合试验研究,合理选择了长

焰煤浮选捕收剂,通过工艺探索,最终实现了长焰煤、不黏煤煤泥浮选。

开发的国内最大的 XJM-KS90(4室)型浮选机于2015年9月应用于朔州中煤平朔能源有限公司1.10 Mt/a动力煤选煤厂长焰煤泥浮选,一次带料试运行成功,一次获得合格产品,矿浆处理量达2 400~3 000 m³/h。在浮选入料浓度在20~70 g/L之间波动,平均入料灰分为26.44%的情况下,取得了精煤平均灰分为14.16%、尾煤灰分为47.04%、精煤产率为62.64%、可燃体回收率为72.81%的浮选效果,达到了预期目标,且设备运行平稳,对矿浆浓度和入料粒度均有较好的适应性,达到了预期技术指标^[6,18]。

XJM-KS28(4室)浮选机应用于燕家河选煤厂分选不黏煤,在煤泥含量高(占入选原煤25%),矸石易泥化,灰分高达40%以上,入料中<0.045 mm 粒级含量为51.90%、灰分为47.15%情况下,浮选精煤灰分为16.00%,产率为55.56%,尾煤灰分高达75%,使产品发热量由原来的13.81 MJ/kg 提高到22.63 MJ/kg,很好地满足了生产需要,经济效益显著^[19]。

6 发展趋势

截止目前,原有 XJM-S 系列浮选机已发展成为 XJM-S、XJM-KS、“3+2”和 XJM-YS 四大系列,单槽容积4~90 m³的60余种规格的系列化产品,也可根据现场要求定制化设计不同槽体容积的浮选机。在使用过程中对入料浓度(范围为30~120 g/L)、粒度(<0.5 mm 粒级煤泥水)、可浮性(易浮到极难浮)适应性强,已用于除褐煤外各煤种的煤泥浮选,深受行业用户所青睐,并出口到哥伦比亚、澳大利亚、俄罗斯等国,极大地提高了我国浮选设备的国际影响力。随着国家环保政策日益严格,选煤厂精细化管理水平稳步提高,充分利用资源意识的增强,对煤泥水处理技术提出了新要求,未来浮选环节将出现以下新的变化:

(1) 工艺流程灵活化。入浮煤泥性质变化大,产品质量要求高,浮选环节产出低灰精煤、中/高灰精煤和高灰尾煤已是选煤行业的努力方向。原有一次选工艺、或者一次精选工艺已不能满足生产的需求,一些新建厂、现有厂浮选改造均力求实现工艺的灵活化和产品结构多样化,虽然投资高,但经济环境效益好,是今后发展的方向。根据产品质量指标要求和煤泥单元浮选试验结果,除原有的一次

浮选工艺和一次精选工艺外,出现的另一新变化,即一次浮选工艺出高灰尾煤+部分高灰精煤再选或者一次选出高灰尾煤+粗精煤精选。

(2) 槽数配置多样化。为适应浮选工艺灵活变化的要求,浮选机槽数配置也呈现多样化。常规三四槽配置开始向5槽型发展,如此分室、分段汇集精矿精选利于精煤灰分指标控制和流程的变换;原有“3+2”型浮选机配置也出现了“2+2”、“4+2”、“4+3”型配置;部分厂也有分别设置粗选浮选机和精选浮选机的情况。

(3) 设备运行可靠化。设备可靠性是运行的基础,运行时间和选煤厂智能化建设对设备可靠性和自动化控制提出了更高的要求,槽体耐磨防腐、长寿命叶轮等易损件是设备运行的保障;电机预埋测温电极可便于为选煤厂后续智能化建设预留端口;旋转部件不外露为操作工人提供安全防护;搅拌机构和刮泡机构润滑系统极大减轻了工人劳动强度。

(4) 控制系统自动化。浮选控制系统主要受浮选精煤灰分在线检测仪表的限制,目前尚未实现浮选系统根据精煤灰分要求和煤质变化真正的闭环控制。但在浮选药剂计量、药剂乳化和药剂添加方面,较先前在检测和控制精度上有了一定的进步。浮选精煤泡沫图像和尾矿图像测灰一定程度上实现工业应用,助力了浮选自动化发展。

未来的浮选生产将以设备运行可靠化为基础,通过槽数多样化配置,控制系统自动化提升,实现根据产品质量指标要求的浮选工艺流程灵活化生产,进而最终实现煤泥精细化智能分选。

参考文献:

- [1] 石 焕,程宏志,刘万超.我国选煤技术现状及发展趋势[J].煤炭科学技术,2016,44(6):169-174.
- [2] 程宏志.机械搅拌式浮选机相似转换原理[J].煤炭学报,2000(S1):182-185.
- [3] 程宏志,张孝钧,石 焕,等.XJM-KS20大型浮选机的研究[J].选煤技术,2006(S1):20-22.
- [4] 程宏志,李红旗.XJM-S28型浮选机开发与应用[J].煤炭科学技术,2013,41(9):185-187.
- [5] 石 焕.60立方米浮选机及其控制系统的开发[R].唐山:天地(唐山)矿业科技有限公司,2016.
- [6] 石 焕.千万吨级长焰煤洗选厂煤泥浮选机的开发与示范应用[R].唐山:天地(唐山)矿业科技有限公司,2018.

- [7] 刘春艳. 浮选机流场数值模拟与相似特征参数的研究 [D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2009: 5.
- [8] 程宏志. 45 m³ 煤用高效机械搅拌式浮选机研制 [R]. 唐山: 中煤科工集团唐山研究院有限公司, 2015.
- [9] 张孝钧. XJM-S12 型浮选机鉴定资料 [R]. 唐山: 煤炭科学研究总院唐山分院, 1993.
- [10] 浮选机研制课题组. 我国煤用大型浮选机的研制及其生产效果 [J]. 选煤技术, 1995 (1): 21 - 25.
- [11] 马力强, 孙先凤, 黄根, 等. 煤泥调浆机理与设备发展历程及应用 [J]. 洁净煤技术, 2018 (1): 1 - 5.
- [12] 张福亚. 矿浆预处理设备的应用进展 [J]. 金属矿山, 2019 (1): 1 - 6.
- [13] 程宏志. 新型煤泥水处理工艺及 20 m³ 大型浮选机——XJM-KS20 高选择性浮选机 [R]. 唐山: 天地科技股份有限公司唐山分公司, 2006.
- [14] 唐于辉, 王焕忠, 彭阳, 等. XJM-KS45 型机械搅拌式浮选机在新巨龙选煤厂的应用 [J]. 选煤技术, 2018 (4): 155 - 158.
- [15] 程宏志. 28 立方米浮选机的研制 [R]. 唐山: 天地科技股份有限公司唐山分公司, 2012.
- [16] 蔡斌, 王博, 罗彩勇, 等. 动力煤全粒级洗选煤泥减量化生产技术的开发与应用 [J]. 选煤技术, 2015 (5): 36 - 39.
- [17] 郑云婷. 低阶煤表面性质研究与浮选药剂的筛选 [D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2016: 4.
- [18] 陈开玲, 钱坤, 史英祥. 长焰煤浮选高效捕收剂选择研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2019 (9): 1 - 5.
- [19] 段建中, 张新志, 赵永帽, 等. 燕家河选煤厂低阶煤泥浮选现状与技术探索 [J]. 选煤技术, 2018 (6): 139 - 141.