

文章编号: 1001-3571 (2024) 04-0056-06

# 我国煤泥浮选工艺的发展

程宏志<sup>1,2</sup>, 张博<sup>1,2,3</sup>

(1. 中煤科工集团唐山研究院有限公司, 河北唐山 063012; 2. 河北省煤炭洗选技术创新中心, 河北唐山 063012;  
3. 唐山大方汇中仪表有限公司, 河北唐山 063012)

**摘要:** 浮选工艺和设备是构成煤泥浮选系统的核心要素, 共同决定产品质量和生产效率。浮选设备处理能力和性能、煤泥可浮性和产品灰分要求, 是制定工艺流程的重要影响因素。随着浮选设备大型化和高效化发展、煤质和煤炭市场需求变化, 以及生态环境保护政策的刚性约束, 我国煤泥浮选工艺大致经历了浓缩浮选、直接浮选、脱泥/分级浮选、两段/多段浮选等发展过程。浮选机大型化发展为煤泥水直接浮选工艺奠定了设备基础, 解决了浓缩浮选细泥积聚难题。一次浮选工艺一般能够满足易浮煤泥生产要求, 一粗一精工艺通常适合细泥含量较高的难浮煤泥浮选, 一粗一扫二精或三精工艺对中间密度物含量大的极难浮煤泥亦可选出精、中、尾三种合格产品。在煤泥充分解离条件下, 多段闭路流程浮选效率高于开路流程。

**关键词:** 煤泥浮选; 浮选设备; 高灰细泥; 中间密度物; 浮选工艺

中图分类号: TD943

文献标志码: B

## Course of development of fine coal flotation process in China

CHENG Hongzhi<sup>1,2</sup>, ZHANG Bo<sup>1,2,3</sup>

(1. CCTEG Tangshan Research Institute Co. Ltd., Tangshan 063012, China; 2. Hebei Province Coal Washing Technology Innovation Center, Tangshan 063012, China; 3. Tangshan Dafang Huizhong Instrumentation Co. Ltd., Tangshan 063012, China)

**Abstract:** Flotation process and process equipment are two core elements that form up a flotation system and determine both product quality and flotation efficiency. On the other hand, the capacity and performance of equipment, flotability of feed coal and required ash value of concentrate are important influencing factors in determination of flotation process. Along with the equipment becoming increasingly larger in size and higher in efficiency changes of coal property and market demands as well as rigid constraint of environmental protection policies, the flotation technology has seen many changes in the course of its development, such shifting from the use of thickened slurry flotation process to direct flotation process, dislimed / sized coal flotation process and to two-stage / multistage flotation process. The development of large-size flotation machines provides a basis for the use of direct flotation process to treat coal slurry water and tacking the difficulties in flotation of thickened pulp caused by accumulation of fine slime. It is noted that the use of primary flotation process can generally meet the requirements in flotation of easy-to-float coal; the one roughing + one cleaning process is generally suited to treating difficult-to-float coal with a high proportion of fine slime; with the use of one roughing + one scavenging + two / three cleaning process for treating extremely hard-to-float coal containing a high proportion of intermediate-density materials, the up-to-standard concentrate, middling and tailing products can also be obtained; and for treating the coal which has gone through sufficient liberation, the multistage closed-circuit process in higher in efficiency compared with the open-circuit one.

收稿日期: 2024-08-13 责任编辑: 邓明瑞 DOI: 10.16447/j.cnki.cpt.2024.04.008

作者简介: 程宏志 (1963—), 男, 河北三河人, 研究员, 博士, 从事选煤工艺与浮选设备研究及企业管理工作。E-mail: chenghz@126.com, Tel: 0315-5819666。

引用格式: 程宏志, 张博. 我国煤泥浮选工艺的发展[J]. 选煤技术, 2024, 52(4): 56-61.

CHENG Hongzhi, ZHANG Bo. Course of development of fine coal flotation process in China[J]. Coal Preparation Technology, 2024, 52(4): 56-61.

**Keywords:** fine coal flotation; flotation equipment; high-ash fine slime; intermediate-density material; flotation process

浮选是以气泡为载体在固-液-气三相体系中完成的复杂的物理化学过程,其实质是疏水性矿粒黏附于气泡升浮,亲水性矿粒留在矿浆中,从而实现彼此分离。自鸡西滴道选煤厂于1956年建成全国首座煤泥浮选车间至今,浮选一直是各类选煤厂分选细粒煤泥的实际应用方法。煤泥浮选既是资源清洁高效利用的重要基础,又是选煤厂提质增效的重要生产环节,其应用范围已经从冶金化工用煤拓展到动力用煤洗选,浮选工艺技术日益受到重视。

浮选工艺和设备是构成选煤厂浮选系统的核心要素,设备是基础,工艺是关键。在任何行业中,都离不开适合的工艺和设备来完成特定任务,工艺与设备相互依存、相互影响,共同决定产品质量和生产效率。合理设计和改进工艺流程可以提高设备利用率,减少对特定设备的依赖,并且提高整体生产效率,而先进的设备也能够支持更复杂、精细化的工艺流程。不断改进工艺流程并引入适当的新型设备,企业可以提高竞争力,在市场中取得更大优势。

## 1 煤泥浮选机的发展

我国选煤厂广泛使用机械搅拌式浮选机分选煤泥。1966年以前,都是从国外引进或仿制的浮选机,单槽容积普遍低于 $3\text{ m}^3$ ,如前苏联的 $\Phi\text{M}-2.5$ 型、米哈诺布尔2.8型及波兰的PA-3型,这些浮选机的容积小、单机处理能力低、效率低;而且设有浮选系统的选煤厂均采用浓缩浮选工艺。

为适应厂型及设备大型化的需要,1966年起煤炭科学研究院唐山分院进行了自行研制我国新型浮选机的工作,至20世纪80年代中期,先后研制成功XJM-4型自吸气机械搅拌式浮选机、XPM-4型喷射式浮选机及XJM-8型浮选机,单槽容积为 $4\sim 8\text{ m}^3$ ,在当时我国新建和扩建选煤厂中广泛应用<sup>[1]</sup>。1987年,研制成功XJX-T12型浮选机,其处理能力相当于五六台PA-3型浮选机,广泛应用于我国当时的大型选煤厂。浮选机大型化的发展为直接浮选工艺的广泛应用奠定了设备基础。

至1993年,研制成功XJM-S16型浮选机,该机型采用假底下吸、周边串流入料方式:入料进入假底后,矿浆通过吸浆管被叶轮汲取进入浮选槽;当矿浆入料量大于叶轮吸浆能力时,一部分矿浆从假底周边溢入浮选搅拌区域,当入料量小于叶轮吸

浆能力时,槽内矿浆流入假底循环浮选。该机型克服了直流式浮选机的矿浆“短路”问题,以及吸入式浮选机的矿浆通过量受限问题,既能满足易浮煤的矿浆通过量要求,又能提高难浮煤泥的精煤产率。在此基础上,2006年研制出XJM-KS型浮选机,其在入料管段设置了射流式预矿化器,代替常规浮选流程中单独设置的矿浆准备作业,提高了系统集成度,简化了浮选工艺,可节省浮选厂房面积20%~30%。而且预矿化器不仅可实现浮选药剂的弥散,还具有微泡预选功能,强化了浮选效果<sup>[2]</sup>。

为了满足某些难浮煤精选工艺的需求,2010年研制成功XJM-S“3+2”型浮选机,即:在一组五室浮选机的第三室和第四室之间增加中矿箱,实现一次浮选和二次浮选工艺的单机切换(简称“3+2”浮选机),进一步增强了浮选机对煤泥可浮性的适应能力<sup>[3]</sup>。目前,XJM-(K)S型浮选机已形成单槽容积从 $4\text{ m}^3$ 到 $90\text{ m}^3$ 的系列化产品,最大矿浆处理量达到 $2\,400\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{组})$ ,应用范围涵盖了各种变质程度的烟煤和无烟煤浮选。

## 2 煤泥浮选工艺的发展

影响煤泥浮选工艺选择与流程制定的主要因素包括:浮选设备的处理能力和分选性能;煤泥水浓度与煤泥数量;煤泥的可浮性,如煤的变质程度,粒度、密度组成特性,高灰细泥(黏土类矿物)含量;产品用途与灰分要求等。我国煤泥浮选工艺大致经历了以下发展过程:浓缩浮选—直接浮选(包括半直接浮选)—脱泥/分级浮选—两段/多段浮选(如一粗一精、一粗一扫、一粗一扫一精、粗选+扫选+精选组合、开路与闭路浮选)等。

### 2.1 浓缩浮选

20世纪70年代以前,我国普遍采用煤泥水浓缩浮选工艺,浮选机通常由六室串联为一组,入浮浓度一般在 $120\sim 150\text{ g/L}$ 。其应用背景为:

(1)煤泥水浓度低。当时的采煤机械化程度低,煤泥含量少;普遍采用跳汰选煤方法,循环水用量大。

(2)精煤灰分高。当时的选煤厂仅洗选炼焦用煤,精煤灰分一般要求为12.0%~12.5%。例如1979年开滦林西选煤厂精煤灰分要求为12.0%、鸡西滴道选煤厂为12.5%,淮北张庄选煤厂为

12.0%~12.5%<sup>[4]</sup>。较高精煤灰分下,煤泥可浮性也相对较好。

(3) 浮选机容积小、处理能力低,浓缩浮选可减少浮选机台数。

(4) 洗水不闭路,采用沉淀池回收尾煤。浓缩浮选的最大弊端是产生循环水细泥积聚,导致洗水不能闭路循环、细泥污染精煤,重选普遍为浮选“背灰”。

## 2.2 直接浮选

20世纪70年代后的选煤厂设计中,则大量采用了煤泥水直接浮选工艺。具有代表性的是平顶山选煤设计研究院结合芦岭、大屯、平煤八矿和东庞四座选煤厂的设计任务,编制了年处理能力为1.80 Mt的选煤厂通用设计,采用混煤跳汰+煤泥水直接浮选+尾煤浓缩压滤的联合工艺,解决了细泥积聚难题,加之板框式压滤机作为煤泥回收把关设备,实现了洗水闭路循环。直接浮选工艺的应用,不仅为洗水闭路循环创造了条件,而且降低了浮精灰分:邢台选煤厂由浓缩浮选改为直接浮选后,浮选精煤灰分由13%左右降到了8%~11%<sup>[4]</sup>。

1977年全国选煤厂精煤灰分平均为10.76%,1989年下降到10.16%。随着市场对精煤质量要求的提高,开始探索降低浮精灰分的工艺流程。例如,<0.1 mm脱泥浮选或0.5~0.1 mm与<0.1 mm煤泥分级浮选;以及两段浮选流程,即一段粗选,二段精选或二段扫选(扫选精矿返回一段再选)<sup>[5]</sup>。

## 2.3 脱泥浮选

脱泥浮选是在浮选前用分级方法脱除细泥,并将脱除的细泥与浮选尾煤合并处理,在复合絮凝剂作用下强化澄清,实现洗水闭路循环。该工艺可全面改善浮选、过滤以及跳汰分选的作业条件,适用于含有易泥化矸石的原煤且水质极软的恶劣条件。

鸡西杏花选煤厂为设计能力1.20 Mt/a的炼焦煤选煤厂,入选煤种为1/3焦煤,采用跳汰主再选+煤泥水直接浮选工艺,主要产品为十级冶炼精煤。该厂自1988年投产后长时间困扰于煤泥水问题:

(1) 浮选入料灰分高、粒度细,造成浮选精煤灰分高、产率低。

(2) 由于浮选精煤粒度细,真空过滤机的煤饼薄、水分大、脱落率不高,单位处理量极低。

(3) 由于过滤机能力过低,限制了浮选机入料量,只有38.3%的煤泥可进入浮选,大量细泥由于难沉降回收而在煤泥水系统中积聚。

(4) 随着洗水质量的不断恶化,不得不大量补加

清水并不定期的排放煤泥水,洗水闭路循环难于实现。

(5) 压滤机不能正常作业,尾煤处理困难。

(6) 洗水浓度高,有时超过200 g/L,污染精煤质量。

由于循环水系统细泥积聚,导致浮选入料中<0.074 mm 粒级含量高达81.07%,特别是其中有61.05%(占浮选入料49.49%)、灰分为86%的黏土质细泥积聚,使浮选入料灰分高达50%以上。针对以上问题,杏花选煤厂建立了“脱泥浮选与洗水二次澄清”新工艺(图1),于1991年11月投入运行<sup>[6]</sup>。

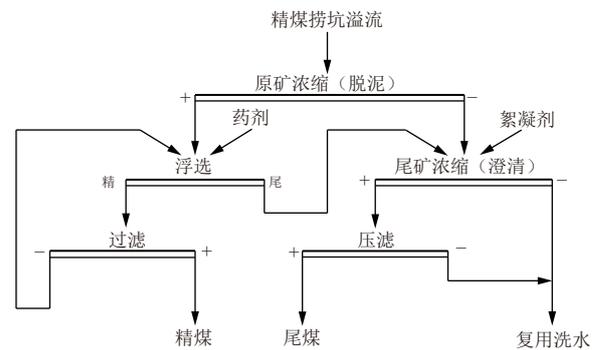


图1 脱泥浮选与洗水二次澄清工艺原则流程

Fig. 1 Basic flowsheet of dislimed coal flotation and secondary washwater clarification processes

脱泥浮选工艺的应用,使杏花选煤厂浮选入料中<0.074 mm 粒级含量由81.35%降至27.03%,特别是黏土质细泥含量由49.66%降至3.27%,入料灰分由51.70%下降到18.32%。入料条件的改善提高了浮选效果,浮精灰分由13.04%降至10.21%,产率由44.53%提高到83.50%,浮选机的单位处理量由0.25 t/(m<sup>3</sup>·h)增至0.65 t/(m<sup>3</sup>·h),做到了脱泥后的原矿全部入浮。由于入浮量的增加和浮选效率的提高,全厂产品平衡表中浮选精煤产率增加约2.52个百分点<sup>[6]</sup>。

## 2.4 分级浮选

邯郸选煤厂于2005年采用分级浮选工艺。该厂属于中央选煤厂,依入厂原煤性质差别,入浮煤泥从中等可浮到难浮。浮选入料首先通过分级旋流器组进行0.125 mm 分级,而后0.5~0.125 mm 粒级煤泥(占浮选入料约60%)采用浮选机分选,精矿用真空过滤机脱水;<0.125 mm 粒级煤泥采用旋流微泡浮选柱分选,精矿用快速压滤机脱水。根据粗、细煤泥不同的浮选和过滤特性,采用不同的浮选和脱水设备以及不同的加药制度,充分发挥不同设备在不同粒度范围内的分选与脱水优势,实现粗、细

煤泥的高精度分选和高效脱水。分级浮选的综合浮精灰分为10.16%，较混合浮选精煤灰分11.28%下降了1.08个百分点；分级浮选的综合尾煤灰分为73.01%，在精煤灰分降低的情况下，比混合浮选尾煤灰分63.50%提高了9.51个百分点；浮精灰分为10.16%时，分级浮选综合浮精产率为90.28%，比混合浮选浮精产率87.67%提高了2.61个百分点<sup>[7]</sup>。

### 2.5 一粗一精两段浮选

对于中煤含量高和细泥含量大的难浮煤泥，采用一粗一精工艺可显著改善浮选效果。开滦赵各庄矿选煤厂于1995年采用一粗一精浮选工艺对原一次浮选工艺进行了改造。该厂原煤入选能力为1.80 Mt/a，入选煤种为焦煤，精煤作为冶金炼焦原料，采用块煤重介斜轮+末煤跳汰+煤泥浮选的联合工艺。

该厂浮选入料密度组成（表1）显示：浮选入料中除了含量较少的 $< 1.3 \text{ g/cm}^3$ 密度级灰分较低外，其他各密度级灰分均较高，且 $1.4 \sim 1.8 \text{ g/cm}^3$ 密度级（中煤）含量高达34.21%、灰分为27.49%。由于煤泥难浮，该厂浮精灰分一直居高不下：根据改造前6个月的生产统计，平均浮选入料灰分为20.45%，浮精灰分为13.38%、产率为59.55%，尾煤灰分为30.86%。若为满足市场需要，生产灰分在11.01%~11.50%之间的13级精煤，一次浮选工艺下，不仅主选会为浮选“背灰”严重，降低全厂精煤产率，而且煤泥不能全部入浮，精煤损失大。

为了扩大浮选能力，改善浮选效果，赵各庄矿委托中煤科工集团唐山研究院有限公司对浮选系统进行技术改造，要求煤泥全部入浮，浮精灰分低于12.5%，尾煤灰分高于40%。由于浮选入料灰分随入选原煤质量的波动变化较大，一般在20%~22%之间，高时可达25%~29%，且均属难浮煤泥，这就要求系统具有较大的灵活性，以适应不同煤质的要求。根据该厂煤泥难浮的特点，首次在工业生产中，成功实现了以一次精选流程为主，又可灵活变换为分支浮选或一次浮选的工艺流程，并采用XJM-S12型浮选机替换了原XJM-4型浮选机，浮选指标得到明显改善（表2）：浮精灰分降低到12.5%以下，尾煤灰分大于40%；除入料灰分在29.10%以上时，浮精产率均提高到了70%以上，并实现了煤泥全部入浮<sup>[8]</sup>。

表1 赵各庄矿选煤厂浮选入料密度组成

Table 1 Density composition of flotation feed of Zhaogezhuang Coal Preparation Plant %

| 密度级/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) | 产率     | 灰分    | 浮物累计   |       |
|---|--------|-------|--------|-------|
|   |        |       | 产率     | 灰分    |
| $< 1.3$                                 | 25.22  | 5.27  | 25.22  | 5.27  |
| 1.3~1.4                                 | 31.00  | 11.73 | 56.22  | 8.83  |
| 1.4~1.5                                 | 17.57  | 18.66 | 73.79  | 11.17 |
| 1.5~1.6                                 | 9.77   | 31.70 | 83.56  | 13.57 |
| 1.6~1.8                                 | 6.87   | 44.11 | 90.43  | 15.89 |
| $> 1.8$                                 | 9.57   | 69.30 | 100.00 | 21.00 |
| 合计                                      | 100.00 | 21.00 |        |       |

表2 赵各庄矿选煤厂浮选系统改造后浮选效果

Table 2 Performance of the flotation system after renovation at Zhaogezhuang Coal Preparation Plant

| 工艺流程 | 测定次数 | 入料浓度/( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | 入料灰分/% | 浮精产率/% | 浮精灰分/% | 尾煤灰分/% | 全系统处理量                                  |                                       |
|------|------|---|--------|--------|--------|--------|---|---------------------------------------|
|      |      |   |        |        |        |        | 矿浆/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) | 煤泥/( $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ ) |
| 一粗一精 | 1    | 124                                     | 19.82  | 71.52  | 12.38  | 43.36  | 699                                     | 86.68                                 |
|      | 2    | 120                                     | 21.59  | 76.65  | 12.56  | 52.47  | 740                                     | 88.80                                 |
|      | 3    | 118                                     | 29.10  | 37.50  | 12.16  | 40.33  | 760                                     | 89.55                                 |
|      | 平均   | 121                                     | 23.50  | 61.89  | 12.37  | 45.39  | 733                                     | 88.34                                 |
| 分支浮选 | 1    | —                                       | 18.27  | 77.52  | 11.17  | 45.18  | —                                       | —                                     |
| 一次浮选 | 1    | —                                       | 16.74  | 88.80  | 13.22  | 44.64  | —                                       | —                                     |

目前，矸石易泥化的炼焦煤选煤厂一般采用一粗一精浮选工艺。

### 2.6 一粗一扫+扫选精矿分段回收浮选

针对煤泥易浮的特点，山西沁新能源集团沁新选煤厂历经一次浮选、一粗一精、一粗一扫等工艺实践，直至形成适合沁新选煤厂易浮煤泥特性的一粗一扫+扫选精矿分段回收、独具特色的浮选流程。该流程与一粗一精工艺相比，大幅节省了循环水用量。与一次浮选相比，入选低硫煤时，浮精灰

分为7.21%，最终尾煤灰分从74.09%提高到82.51%；入选高硫煤时，浮精灰分为6.78%，最终尾煤灰分从57.93%提高到82.37%；通过扫选，获得了发热量为19.25 MJ/kg的浮选中煤产品，日增中煤产量约200 t。通过对扫选精矿分室化验产品灰分，第一室产品灰分为16.18%，低于重选边界灰分，可掺入总精煤，日增精煤产量约120 t。该特色浮选流程，已在沁新集团下辖选煤厂推广应用，取得了良好效果，开创了“沁新特色”的易浮煤泥浮选新

工艺<sup>[9]</sup>。

随着对经济效益最大化的追求，近年来选煤厂更加重视煤泥浮选工艺的优化与完善，并不断探索和实践出适于难浮煤泥和产品要求的多段浮选工艺。

### 2.7 尾煤扫选

霍州煤电集团吕临能化选煤厂是一座设计能力为 10 Mt/a 的特大型炼焦煤选煤厂，采用 4 台 XJM-KS45“3+2”型浮选机，尾煤灰分为 55%~58%。后来增加 2 台 XJM-YS36 型（4 室/台）浮选机，对经浓缩机浓缩后的尾煤进行扫选，扫选入料浓度在 100 g/L 以内，选出的中煤灰分为 28%~30%，产率为 40%（占扫选入料），扫选的最终尾煤灰分为 75% 以上，提高全厂中煤产率 2 个百分点，经济和环境效益显著<sup>[10]</sup>。

### 2.8 尾煤磨矿解离后闭路浮选

贵州盘江火烧铺选煤厂浮选尾煤灰分一般在 45%~55% 之间。尾煤粒度组成中，< 0.045 mm 粒级产率为 74.16%、灰分为 56.95%，> 0.045 mm 粒级产率为 25.84%、灰分为 26.54%；密度组成中，< 1.4 g/cm<sup>3</sup> 密度级产率为 23.81%、灰分为 11.23%，1.4~1.8 g/cm<sup>3</sup> 密度级产率为 51.63%、灰分为 47.72%，> 1.8 g/cm<sup>3</sup> 密度级产率为 24.56%、灰分为 88.64%。该厂首先采用水力旋流器和球磨机对尾煤中 > 0.074 mm 物料闭路磨矿，然后采用一粗三精二扫闭路流程对全部尾煤进行浮选，工艺原则流程如图 2 所示。该系统自 2021 年 6 月建成以来，应用效果良好。2021 年 6 月至 2022 年 6 月，入选煤泥量约 5 万 t，平均灰分为 52.12%，回收精煤量 2 万 t，精煤灰分为 10.78%、产率为 40%，排放尾煤灰分为 80.10%，效益显著<sup>[11]</sup>。

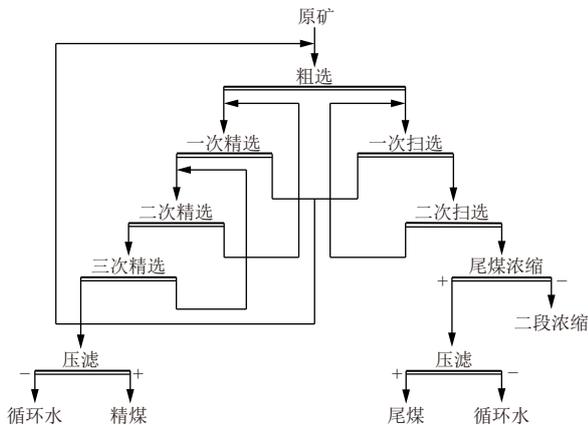


图 2 盘江火烧铺选煤厂一粗三精二扫浮选闭路工艺原则流程

Fig. 2 Basic flowsheet of the one roughing + three cleaning + two scavenging combined closed-circuit process applied at Panjiang Huoshaopu Plant

### 2.9 煤泥多段浮选

参考《煤粉（泥）实验室单元浮选试验方法》（GB/T 4757—2013）和《选煤实验室分步释放浮选试验方法》（GB/T 36167—2018），对 1.4~1.8 g/cm<sup>3</sup> 密度级（中间密度物）含量高的煤泥，在实验室进行了一粗一扫多精浮选开路流程模拟试验。试验煤样取自山西某炼焦煤选煤厂的生产煤泥（原生煤泥压滤机滤饼），煤种为 1/3 焦煤，煤泥灰分为 27% 左右，浮选精煤目标灰分为 11.5%。煤泥粒度组成见表 3，密度组成见表 4。该厂投产 10 年来进行过多次实验室浮选试验，采用一次浮选工艺的精煤灰分一直在 16%~18%，因浮精灰分高，选煤厂尚未建设浮选系统。

表 3 入浮煤泥粒度组成

Table 3 Flotation feed size analysis %

| 粒级/mm       | 产率     | 灰分    | 筛上累计   |       | 筛下累计   |       |
|-------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|             |        |       | 产率     | 灰分    | 产率     | 灰分    |
| > 0.5       | 1.75   | 13.98 | 1.75   | 13.98 | 100.00 | 26.12 |
| 0.5~0.25    | 6.95   | 15.20 | 8.70   | 14.96 | 98.25  | 26.33 |
| 0.25~0.125  | 9.47   | 13.86 | 18.17  | 14.38 | 91.30  | 27.18 |
| 0.125~0.074 | 16.73  | 18.37 | 34.90  | 16.29 | 81.83  | 28.72 |
| 0.074~0.045 | 13.09  | 22.96 | 47.99  | 18.11 | 65.10  | 31.38 |
| < 0.045     | 52.01  | 33.51 | 100.00 | 26.12 | 52.01  | 33.51 |
| 合计          | 100.00 | 26.12 |        |       |        |       |

表 4 入浮煤泥密度组成

Table 4 Density composition of flotation feed %

| 密度级/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 产率     | 灰分    | 浮物累计   |       | 沉物累计   |       |
|---------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                           |        |       | 产率     | 灰分    | 产率     | 灰分    |
| < 1.3                     | 7.35   | 6.17  | 7.35   | 6.17  | 100.00 | 25.95 |
| 1.3~1.4                   | 25.05  | 7.40  | 32.40  | 7.12  | 92.65  | 27.52 |
| 1.4~1.5                   | 20.99  | 12.75 | 53.39  | 9.33  | 67.60  | 34.98 |
| 1.5~1.6                   | 13.72  | 21.10 | 67.11  | 11.74 | 46.61  | 44.99 |
| 1.6~1.7                   | 9.86   | 31.30 | 76.97  | 14.24 | 32.89  | 54.96 |
| 1.7~1.8                   | 5.45   | 40.28 | 82.42  | 15.96 | 23.03  | 65.09 |
| > 1.8                     | 17.58  | 72.78 | 100.00 | 25.95 | 17.58  | 72.78 |
| 合计                        | 100.00 | 25.95 |        |       |        |       |

表 3 显示：煤泥粒度较细，细粒级灰分较高，< 0.045 mm 粒级产率为 52.01%、灰分为 33.51%。

表 4 显示：1.4~1.8 g/cm<sup>3</sup> 密度级（中间密度物）含量大，产率为 50.02%、灰分为 21.69%。当要求精煤灰分为 11.5% 时，采用线性插值计算，理论精煤产率为 65.64%，理论分选密度为 1.588 g/cm<sup>3</sup>，精煤边界灰分为 30.07%；1.588~1.8 g/cm<sup>3</sup> 密度级（中煤）含量为 16.96%，灰分为 33.17%。

浮选流程实验室模拟试验结果见表 5。

表 5 试验结果显示: 对于中间密度物含量高的煤泥, 随着精选次数的增加, 精煤灰分逐步下降。采用一粗一扫三精开路浮选工艺流程, 浮精灰分可

降至 11.52%, 产率为 45.64%, 若以相同精煤灰分下重选理论精煤产率作为浮选理论产率计算, 浮选精煤数量效率为 70%。

表 5 不同浮选流程试验结果

Table 5 Results of test on different flotation processes

%

| 流程     | 精煤    |       | 中煤    |       | 尾煤    |       | 计算入料   |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|        | 产率    | 灰分    | 产率    | 灰分    | 产率    | 灰分    | 产率     | 灰分    |
| 一粗一扫   | 65.37 | 15.00 | 17.39 | 29.99 | 17.24 | 72.78 | 100.00 | 27.57 |
| 一粗一扫一精 | 59.45 | 12.86 | 23.31 | 31.64 | 17.24 | 72.78 | 100.00 | 27.57 |
| 一粗一扫二精 | 56.87 | 12.40 | 25.89 | 30.78 | 17.24 | 72.78 | 100.00 | 27.57 |
| 一粗一扫三精 | 45.64 | 11.52 | 37.12 | 26.30 | 17.24 | 72.78 | 100.00 | 27.57 |

### 3 结语

浮选机大型化发展为煤泥水直接浮选工艺的应用奠定了设备基础, 解决了浓缩浮选的细泥积聚难题。对易浮煤泥, 一次浮选工艺一般能够满足生产要求; 对于细泥含量高的难浮煤泥, 一粗一精浮选工艺通常能够满足精煤质量要求; 对于中间密度物含量大的极难浮煤泥, 采用一粗一扫二精或三精工艺亦可选出精、中、尾三种合格产品。在煤泥充分分解离条件下, 多段闭路流程浮选效率高于开路流程。

#### 参考文献:

- [1] 丁立亲. 浮选的理论 and 实践 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1987: 125-126.
- [2] 程宏志, 张孝钧, 石 煥, 等. XJM-KS20 大型浮选机的研究 [J]. 选煤技术, 2006(S1): 20-22.
- [3] 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.
- [4] 陈世明. 降低炼焦洗精煤灰分问题的探讨 [J]. 选煤技术, 1980(1): 2-3, 4.
- [5] 吴式瑜. 关于我国炼焦精煤的质量问题 [J]. 煤炭加工与综合利用, 1991(1): 23-26.
- [6] 于尔铁, 顾长波. 煤泥水处理新工艺——脱泥浮选与洗水二次澄清 [J]. 世界煤炭技术, 1994(6): 15-16, 17.
- [7] 谢广元, 吴 玲, 欧泽深, 等. 煤泥分级浮选工艺的研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(6): 756-760.
- [8] 张孝钧. 难浮煤泥浮选新工艺——赵各庄矿选煤厂浮选系统改造 [J]. 选煤技术, 1998(4): 21-23.
- [9] 王志宏, 武晓岗, 李健刚. 沁新选煤厂特色浮选工艺流程的研究与应用 [C]// 山西省煤炭加工利用协会, 安徽省煤炭学会选煤及综合利用专业委员会, 河北省煤炭学会. 2024 年晋皖冀煤炭洗选加工利用专业学术交流会议论文集 (上册). 唐山: 《选煤技术》编辑部, 2024: 132-136.
- [10] 王钦浩, 王 月. 吕临能化选煤厂尾煤泥再选工艺的优化 [J]. 选煤技术, 2020(2): 19-21.
- [11] 吴 胜, 黄和瑞, 焦宪国, 等. 尾煤泥深度分选工艺探索与应用 [J]. 选煤技术, 2023, 51(2): 66-71.