浓密机在选矿中的应用现状及研究进展*

谢丹丹[1,2,3]，童雄[1,2,3]*，谢贤[1,2,3]，侯凯[1,2,3]，黎继永[1,2,3]

(1. 省部共建复杂有色金属资源清洁利用国家重点实验室，云南 昆明 650093；2. 昆明理工大学 国土资源工程学院，云南 昆明 650093；3. 云南省金属矿尾矿资源二次利用工程研究中心，云南 昆明 650093)

摘　要：系统介绍了浓密机的发展及其在选矿中的研究进展，详细阐述传统浓密机和高效浓密机的结构特点、发展及应用现状，讨论了影响浓密机高效化浓缩的因素，并针对浓密机的高效化利用，提出絮凝剂的合理使用和自动化控制技术。

关键词：高效浓密机；选矿；絮凝剂；自动控制；应用

中图分类号：　TD462⁺.5 **文献标识码**：A　**文章编号**：1001－0076(2015)02－0073－05

DOI：10.13779/j.cnki.issn1001－0076.2015.02.017

The Application and Development of Thickener in Mineral Processing Technology

XIE Dandan[1,2,3], *TONG Xiong*[1,2,3], *XIE Xian*[1,2,3], *HOU Kai*[1,2,3], *LI Jiyong*[1,2,3]

(1. State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming 650093, China; 2. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China); 3. Yunnan Province Engineering Research Center for Reutilization of Metal Tailings Resources, Kunming 650093, China)

Abstract: In this paper, thickener development and its research status in mineral technology was described. The structural characteristics, development and application of both traditional thickeners and efficient thickener were summarized respectively. The factors that impact thickener concentrating efficienc were highlighted. A suggestion given in the paper was that rational use of flocculent and application of automation control technology for efficient use of thickener.

Key words: high－efficiency thickener; mineral processing; flocculent; automation control; application

浓密机是一种连续工作的浓缩和澄清设备，主要用于选矿尾矿、浸出液浓缩和废水处理等需要液固分离的工艺，广泛的应用在选矿、冶金、污水等行业。浓密机创于 1905 年，相较其他浓缩设备具有连续作业、生产稳定可靠、能耗低、操作简单等优点[1－3]。在选矿厂中，浓密机广泛应用于矿浆和尾矿的浓缩，使回水得到循环利用以及精矿过滤前的脱水。底流矿浆浓度和矿浆处理量是浓密机的两个重要生产指标。浓密机作为矿浆浓缩过程中的核心设备，是重要的矿石处理和缓存设施，由于浓密机底流浓度和底流流量的大小直接关系到与浓密机紧密相连的浮选车间、球磨车间等相关车间的生产指标，

* **收稿日期**：2015－03－26

基金项目：国家自然科学基金(51174103)

作者简介：谢丹丹(1991－)，硕士研究生，主要方向为矿物加工工艺。

因此浓密机在选矿厂生产过程中具有非常重要的地位和作用,对整个选矿工程具有非常大的价值[4-9]。

1 浓密机的发展与分类

浓密机的发展过程大致经历四个阶段:浓密机面积很大,沉降效率很低;在添加絮凝剂条件下浓密机面积减小,沉降速度加快;高效浓密机与早期添加絮凝剂的浓密机相比,在沉降原理上发生了质的变化,面积大幅度减小;而膏体深锥浓密机不仅面积大幅度减小,底流浓度也得到大幅度的提高[7-8]。目前,我国的浓密机在以传统浓密机为基础,高效浓密机为方向,性能、结构不断优化,向着高性能、高可靠性、高处理量、高自动化程度方向发展[8-9]。

浓密机按照单位处理能力可分为传统浓密机和高效浓密机。传统浓密机占地面积大,处理量小,底流浓度较低,一般在 45% 以下;而高效浓密机采用絮凝浓缩,处理量大,溢流水质好,底流浓度高于 45%[4-6]。

1.1 传统浓密机

传统的浓密机的作用机理是以矿浆颗粒的自身重力来沉降,实现液固分离。通过重力沉降可将含固量为 10% ~20% 的矿浆浓缩为含固量 45% ~55% 的底流矿浆,并借助安装于浓密机内慢速运转的耙,使浓度高的底流矿浆由浓密机底部的排矿口排出。在工作过程当中,浓密机需要同时完成两种功能,即产生一个高浓度的底流和一个澄清的溢流水。

传统浓密机按其传动方式可分为中心传动式、周边辊轮传动式和周边齿条传动式三种。其中,中心传动式浓密机直径较小,一般在 24 m 以内,周边辊轮传动型是较常见的大中型浓密机,依靠传动小车而传动,直径通常在 53 m 左右。周边齿条传动型浓密机的直径大都在 53 m 以上,较少使用[11]。

传统浓密机主要是靠重力实现矿浆的沉降浓缩,其占地面积很大,沉降效率很低。传统浓密机的缺点主要表现在以下几个方面:(1)设备占地面积大,设备投资及土地投资费用高;(2)传统浓密机主要是靠重力作用来沉降,对那些比重轻、粒度较细的尾矿来说,处理量较低,单位面积脱水效率低;(3)当尾矿颗粒较细,沉降速度较慢时,浓密机容易溢流出现"跑浑"现象;当泥床厚到一定程度时又会导致"压耙"事故的发生;当底流排放量过大时,泥床容易被撕破,形成"短路"现象,导致浓密机起不到浓缩作用[4-6]。

1.2 高效浓密机

高效浓密机在国外 60 年代开始使用,主要是针对高底流浓度和高处理量等传统浓密机不能解决的要求出现的[5]。20 世纪 80 年代我国首先由马鞍山矿山研究院研制和生产高效浓密机,长沙矿冶研究院、广州有色院、唐山煤科院、沈阳矿山机器厂、淮北矿山机器厂等也先后研究和推广了高效浓密机,形成了高效浓密机的一系列产品[12]。

近年来,高效浓密机在给矿方式、絮凝剂添加、自动控制等方面做出技术创新,工作效率大大提升,小时处理能力可以比传统浓密机大 2 ~9 倍[14]。高效浓密机充分发挥高分子絮凝剂对细泥矿石颗粒的凝聚吸附能力,形成大的颗粒,加快沉降速度。在结构上,高效浓密机与传统浓密机的主要区别在于给料系统的不同,高效浓密机较普通浓密机的给矿管长,可直接伸入到澄清区和浓密区界面处或更深层。高效浓密机中絮凝剂形成的絮凝层,起到了双层作用:当矿浆进入絮凝层下时,能快速沉降,当矿浆上升时,由于上面絮凝层的作用,不断的有絮凝剂进行吸附形成絮凝团,在其重力的作用下,快速沉降,水从絮凝层中溢出;絮凝层又可以防止微细颗粒和破碎絮团通过絮凝层而进入上清水中,起到了过滤的作用[14-16]。实践证明,此措施可提高底流浓度和降低溢流浓度,从而达到高效沉降的效果。此外,高效浓密机广泛采用自动控制技术,对底流浓度和浓密机的界面高度进行控制,提高单位面积的处理能力。高效浓密机通过对絮凝剂和结构参数的改进,提高脱水效率,得到底流浓度较传统浓密机高,为满足生产过程中对极高底流浓度的需要,更是出现高效深锥浓密机和倾斜板浓密机等更为先进的浓缩设备。

1.2.1 高效深锥浓密机

高效深锥浓密机是国外自 20 世纪 70 年代发展起来的,适于细粒和微细粒物料的处理,具有极大的生产能力[9]。高效深锥浓密机除具有高效浓密机的特点外,最大的特点是深锥,底部锥角一般为 15°,较陡,其排矿方式独特,没有集矿耙,而是依靠重力自卸排矿,它与絮凝技术相结合,具有处理量大排矿浓度高的特性。其底流浓度可达到 70% 以上,

采用皮带输送,高度也比其他浓密机高,压缩沉降带也更复杂。高效深锥浓密机多用于坑内尾矿充填和地表尾矿管道输送、干式堆存[16-18]。

内蒙古某铜钼矿[20]和德国 Dorr - Oliver Eimco 联合设计了目前世界上最大的深锥浓密机,直径为 40 m,并已成功在该铜钼矿实现了稳定运行。该深锥浓密机设计了独特的 E - DUC 进料自稀释系统。对系统进行了减缩口设计,可以使矿浆流速迅速提高,并在进入进料井之前对矿浆进行稀释。整个尾矿深锥浓密系统包括了絮凝剂制备、浓密机监控和尾矿自动排放 3 个部分。并且对絮凝剂采用了整体的自动化控制过程,可以实现絮凝剂的自动添加和其他参数的实时自动调整。在铜钼矿厂经过 3 个月的试运行,尾矿的深锥浓密系统基本处于稳定,底流浓度达 65%,且可获得 89 000 t/d 的回水返回使用。该深锥浓密机的成功应用,特别是膏体形式的尾矿坝堆存,对于节约水资源和生态环境都有着十分重要的意义。

梅山选矿厂[21]通过采用高效深锥浓密机进行尾矿浓缩实验,将原来的三段浓缩流程改为两段流程,并增加使用了一台中心传动式的 25 m HRC 型高效深锥浓密机,取得了良好的效果。HRC25 - HP 高效深锥浓密机主传动为低转速大扭矩涡轮减速机,壳体采用钢筋混凝土高架式弹性结构,采用了深锥大坡度钢筋混凝土自防水结构。其给矿量和加药量采用手动控制,底流排矿采用自动控制,并使用双输入单输出模糊逻辑与 PID 结合的算法,给矿采用电磁流量计监测,底流浓度采用 λ - 射线浓度计检测,浓密机内储矿量采用微差压计检测,控制系统为集散控制,系统具有三级过载保护,可保证浓密机的正常工作。目前该浓密机已在梅山选矿厂运行稳定,并在输送量为 150 m^3/h 左右时,底流体积量达到了 180 m^3/h 的优异指标。底流浓度的提高,为后序的尾矿输送提供了有利地条件,大大缩短隔膜泵的开车时间,降低能耗,同时减少尾矿管道的消耗量,减少溢流水对环境的污染,使环水的质量得到改善。

1.2.2　倾斜板浓密机

倾斜板浓密机采用倾斜板沉降技术设计,具有单位占地面积小,澄清面积大等特点,由于它很大程度上缩短了固体物料的沉降距离,大幅度地提高设备的处理能力,实现了设备的高效化利用。SALA[21]公司生产的倾斜板浓密箱采用逆流式的给矿方式,主要结构包括传动系统、中心井、给矿管、倾斜箱、机体和耙架机构,其浓密机的直径达到 20 m,处理量大。

昆明冶金研究院[22],设计了 KMLZ - 180/50°倾斜板浓密机,并已投入生产运行,取得了良好的效果。该倾斜板浓密机无传动部件,主要由池体、给矿槽、锥斗侧的进料口进入各倾斜板之间,在流体拖力和重力的作用下,使固体颗粒移向板面,澄清水向上经过溢流槽流出。而细粒级的固体颗粒沉降到倾斜板面上形成浓浆层,并沿着倾斜板向下流动,与粗粒级固体颗粒经锥斗排出。该倾斜板浓密机的投入运行,使溢流固体含量控制在 250 mg/L 以下,且底流浓度不仅得到了提高,而且排放稳定,为云南木利锑矿厂带来了明显的经济效益。

昆明理工大学周兴龙、张文彬[23]等针对目前斜板设备中通道阻塞,斜板组散落等问题开发了一种变形式斜板浓密分级机,其核心技术是将斜板设备模块化,并对斜板组模块实施间歇式高频微振,对斜板板面进行定期自动清洗,保证斜板通道不堵塞,从而达到稳定运行的目的。

2　提高高效浓密机浓缩效果的途径

提高高效浓密机浓缩效果的关键在于絮凝剂的使用和自动控制技术的研发与应用,絮凝剂和自动控制技术的研发是高效浓密机未来发展的主要方向。

2.1　絮凝剂的选择

絮凝剂是高效浓密机提高效率的优点之一。高效浓密机通过添加絮凝剂,使进入浓密机的矿浆形成大絮团,大大提高了普通浓密的工作效率[13]。在此基础上,从多方面研究絮凝剂的作用机理,对提高高效浓密机的浓缩效果具有重要的意义。

絮凝剂一般分为无机絮凝剂和有机絮凝剂,有机高分子絮凝剂外观为白色粉末与颗粒,广泛用于水处理及其他介质中的沉降、过滤及澄清等过程。据有关资料显示:目前高效浓密机使用的絮凝剂大都是聚丙烯酰胺系列的絮凝剂(英文缩写 PAM)。在产品类型上分为阴离子型、非离子型和阳离子型,在产品的分子量上各个品牌都不尽相同,大约在几

百万到几千万之间,多数在 500 ~2 500 万之间[10]。

选矿厂和氰化厂一般采用阴离子型和非离子型絮凝剂,生物氧化工厂多采用阳离子型絮凝剂,阳离子絮凝剂对悬浮的有机胶体和有机化合物可有效地凝聚。絮凝剂的型号很多,由于矿石的表面电性不同,适宜的絮凝剂型号也不同,选择什么型号的絮凝剂需要通过试验验证。分子量越高的絮凝剂溶解速度越慢,实践证明并不是分子量越高越好[23]。在进行浓缩之前,要根据所浓缩的矿浆性质,选择最合适的絮凝剂。

2.1.2 絮凝剂与给矿浓度的关系

据研究表明,絮凝剂添加在较浓的矿浆中很难形成大絮团,但是在稀薄的矿浆中很容易形成沉降速度非常快的大絮团,而且会增加浓密机上升水流的负荷。因此,当给矿浓度较高、添加絮凝剂的效果不明显时,首先要试验出合理的给矿浓度[24-25]。矿石性质及磨矿细度不同,各种矿浆都有最佳的给矿浓度。如国内某炭浆厂给矿浓度从 24.5% 下降到 16%,沉降速度从 8.55 m/d 增加到 240 m/d,矿浆体积只增加不到一倍,沉降速度却增加 28 倍。从试验现象看,当絮凝剂加入到矿浆以后,必须立刻出现明显的大絮团迅速沉降,并伴有明显的上清水层(上清水层不完全清澈透明)[27]。对于多数选矿厂而言,确定合适的给矿浓度是提高絮凝剂作用效率的重要途径。

2.1.3 絮凝剂添加位置的确定

此外,为使絮凝剂与矿浆作用更充分,絮凝剂一般是添加在流动性大的地方,比如在管道或溜槽流动的矿浆中,或者在给矿槽和浓密机的给矿井。此外有关资料显示,絮凝剂的添加药剂量也是要适量的,过多或过少,都对矿浆的沉降启动起反作用,甚至会造成环境污染[26]。所以,如何高效更快的控制絮凝剂的添加量以及给矿浓度是一个亟待解决的问题。很多选矿厂研究开发自动控制系统,来有效地提高絮凝剂的使用效率。

2.2 自动控制技术应用

2.2.1 浓密机底流浓度的自动控制

浓密机是选矿厂的主要设备,主要用来控制和稳定进入后继选矿作业的矿浆浓度和矿浆处理量。矿浆浓度和矿浆处理量的大小将直接影响着后序流程的生产稳定,是浓密机的重要生产指标。浓密机生产过程的目的就是给后续工序提供合格浓度的矿浆,保证矿浆流量满足生产需要[28-29]。所以如何使浓密机以恒定浓度连续放矿是很多选矿厂面临的一大难题。传统的人工放矿不仅操作条件差,而且由于人为主观因素较多,常常导致浓密机底流浓度不稳定,时高时低,甚至出现浓密机积矿、溢流跑浑、压耙等事故。底流浓度不恒定,不能满足生产中对恒定浓度连续放矿的要求,将直接影响着最终的精矿品位。因此,很多选矿厂引进自动控制技术来解决这一难题。但是目前,我国大多数选矿厂的自动化水平和检测水平还比较落后,基本还处于人工经验操作阶段。在现场,不仅取样和检测工作由人工完成,甚至在执行操作中也由工人凭借经验根据化验结果来控制泵的转速和管道阀门的开度,很难达到理想的预期效果。针对问题,很多选矿厂研究开发浓密机底流浓度的计算机控制系统,确保底流浓度稳定、安全可靠运行[29-30]。

浓密机是黄金矿山选矿、氰化工艺过程中,用于脱水、脱药、和洗涤的重要设备。氰化车间需要多台浓密机来完成脱药和洗涤作业,而浓密机放矿浓度的高低直接影响着脱药、洗涤和浸出的作用效果。为得到连续恒定的底流浓度,很多选冶厂对浓密机的放矿过程采用自动检测与控制的方法。自动放矿是氰化过程控制的一部分,其关键点在于在线实时监测排矿浓度,通过其变化进行动态控制[30-31]。

山东黄金矿业有限公司[30]针对氰化厂浓密机的自动均匀放矿问题进行研究改造,并取得良好的效果。其采用核子浓度计作为检测系统来实现对氰化车间 4 台浓密机的排矿浓度进行实时检测。采用工业微机对主要放矿过程进行监视、数据收集、数据处理等。过程控制执行部分则根据现场需要,对能自压放矿的选用电动调节阀,不能自压放矿的选用变频器、调节器、浓度计组成调节系统。浓度计实时监控浓度的变化,当浓度变化时,变频器接受微机控制信号通过调节器驱动放矿泵电机进行调速,从而确保放矿的连续均匀与稳定。为确保系统运行的可靠性,集中控制柜上设有手动/自动转换开关和放矿浓度显示仪表,一旦微机出现故障,系统可以转换到手动操作。

2.2.2 浓密机综合自动控制技术

对于已经实现自动控制的浓密机,由于其工艺

机理的复杂性,操作环境的恶劣性,使其具有大滞后、非线性等缺点,自动控制效果不佳,严重制约我国浓密机生产过程自动化水平的提高。复杂的工艺机理不仅要求控制系统保证控制回路的精度,而且要求实现与产品质量、生产效率、成本相关的综合生产指标的优化控制。综合自动控制系统的最大优点是生产操作稳定,节省人力。因此,浓密机的综合自动化控制系统具有较大的开发利用价值。浓密机的自动控制是未来选矿厂自动控制的重要组成部分[28-32]。

芬兰 OutoTee[32-33]公司提供 SUPAFLO 高效浓密机控制技术是建立在两个简单的控制回路上的:通过调节絮凝剂泵速来实现稳定的絮凝剂给量,泥层高度作为反馈信号来控制絮凝剂的用量;而总的固体量则是通过调节底流泵速来获得稳定的泥层质量。Supaflp 型浓密机在 Mount Leyshon 金矿(澳大利亚昆士兰州)实现了应用,主要用于浓密炭浆法生产工艺尾矿的处理,最终得到的产品含固体量达到 63.2%,能确保回水的体积增加 33%,使企业在干旱的时期仍能维持正常运转。

针对浓密机生产过程工艺机理复杂,具有大滞后、非线性的特点,以及浓密机的给矿性质波动频繁、难以实现浓密机自动控制的难题,东北大学进行浓密机生产过程综合自动化系统的研究,将建模与控制相结合,提出由过程管理和过程控制两层结构组成的浓密机生产过程综合自动化系统[32-34]。

北京矿冶研究总院在德兴铜矿[35]精尾厂 30 m 浓密机上,根据物料平衡和沉降试验数据,建立浓密机负荷预测模型和优化控制模型,对絮凝剂添加量和底流排矿速度给出最优操作值,保证浓密机最佳储泥量和稳定生产状态。该技术将底流浓度从原来的 10% 左右提高将近一倍,处理能力提高将近 50%。目前已经形成专用的控制软件。

3　结 语

与传统浓密机相比,高效浓密机具有体积小、能耗小、处理量大、反应速度快、处理事故及时、效率高、底流浓度大,溢流浊度小等优点。因此,高效浓密机得到广泛的应用,针对不同性质的矿石,有着不同的使用效果,可以满足不同的工艺要求。高效浓密机将向着更高层次的自动化、智能化方向发展,有着广阔的市场前景,产生更大的经济效益和环境效益。

参考文献:

[1] 王立冬,于长文. 浅谈周边传动浓缩机在我国的技术现状及发展趋势[J]. 黑龙江科技信息,2009,28:25.

[2] 陈述文,马振声,等. 高效浓密机的应用现状及前景[J]. 冶金矿山设计与建设,1997,29(1):48-51.

[3] 贾增良,张文平,等. 高效浓密机的选型设计[J]. 现代矿业,2014(4):121-124.

[4] 王旭,谬天宇,王庆凯. 浓缩生产过程优化控制系统的研究与应用[J]. 有色金属,2012(6):70-74.

[5] 任喜元,姜云杰,等. 普通型浓密机高效化改造与应用[J]. 黄金,1992,13(11):61-63.

[6] 刘磊,全尾矿浓缩系统工艺优化及自动控制的研究[D]. 济南:山东科技大学,2009: 1-3.

[7] Hyun M. Cho, MS, Byoungseung Yoo, et al. Rheological characteristics of cold thickened beverages containing xanthan gum-based food thickeners used for dysphagia diets [J]. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 2015,115(1):106-111.

[8] 杨保东,谢纪元,李鹏. 高效浓密机机理研究[J]. 有色金属(选矿部分),2011(5):38-41.

[9] JEI-Shall, Hua Zh, Patrickb. Process for dewatering and unlized of mining wasters[J]. Minerals Engineering,2004, 17(2):269-277.

[10] 马向哲,樊立萍. 柏松浓缩机控制系统的改进[J]. 电气时代,2007(12):6-7.

[11] Fernando Betancourta, Raimund Bürgerb, Stefan Diehlc, et al. Advanced methods of flux identification for clarifier-thickener simulation models[J]. Minerals Engineering, 2014,63:2-15.

[12] 陈庆来. 我国中心传动浓缩机技术现状分析[J]. 煤炭工程,2007(12):107-109.

[13] 周兴龙. 选矿厂固液分离技术及设备研究应用进展[J]. 现代矿业,2009(1):61-65.

[14] 童仁平. 提高高效浓密机浓缩效果的有效途径[J]. 黄金,2014,35(5):64-67.

[15] 刘进铭,赵永银,白学勇. 浓密机的优化改造[J]. 矿业工程,2014,12(4):39-41.

[16] 王瑞红. 提高浓密机效率的最佳途径[J]. 湖南有色金属,2004,20(1):49-53.

[17] 王治方,任向军,等. 24m 浓密机高效化改造实践[C]//中国采选技术十年回顾与展望. 北京:冶金工业出版社,2012.

[18] 徐飞,孔樊成,等. 高效浓密机充填系统的可靠性探讨[J] 现代矿业,2013,528:118-120.

[19] 王勇,王洪江,吴爱祥. 基于高径比的深锥浓密机底流浓度数学模型[J]. 武汉理工大学学报,2011,33(8) : 113 – 117.
[20] 谷志君. 最大型深锥膏体浓密机在中国铜钼矿山的应用[J]. 黄金,2010,31(11):43 – 45.
[21] 勾金玲,赵福刚. 高效深锥浓密机在梅山选厂的应用[J]. 矿业快报,2007(3):70 – 71.
[22] 张志明,刘朝明,汪建东,等. 倾斜板沉降技术在木利锑矿的应用[J]. 有色金属,2003,55(3):98 – 99.
[23] 周兴龙,张文彬,等. 变形式斜板浓密分级机:中国,CN201070599[P]. 2008 – 06 – 11.
[24] 贾增良,张文平,贾伟璐,等. 高效浓密机的选型设计[J]. 现代矿业,2014(4):121 – 122,124.
[25] 秦贞军,林乡伟,张永和,等. 浓密机高效化改造与应用[J]. 现代矿业,2014(9):202 – 218.
[26] 李淑艳,游维. 提高南芬选矿厂浓密机底流浓度的研究[J]. 金属矿山,2005(z2):447 – 451,465.
[27] 杨慧. 高压缩性浓密机系统的自动控制[J]. 矿冶工程,2004(8):33 – 49.
[28] 金鑫,朱生. 中进浓密机底流输送系统的技术改造[J]. 中国有色冶金,2012(6):27 – 29.
[29] 耿增显,柴天佑,岳恒,等. 浓密机生产过程综合自动化系统[J]. 控制工程,2008,15(4):353 – 356,363.
[30] 马绍杰,崔松涛. 矿山浓密机自动均匀放矿系统改造应用[J]. 科技资讯,2013(2):77.
[31] 黄金生产工艺指南委员会. 黄金生产工艺指南[M]. 北京:地质出版社,2000.
[32] 周俊武,徐宁. 选矿自动化新进展[J]. 有色金属(选矿部分),2011(S1):47 – 63.
[33] J. B. Farrow, P. D. Fawell, R. R. M. Johnston, et al. Recent developments in techniques and methodologies for improving thickener performance[J]. Chemical Engineering Journal, 2003(17):149 – 155.
[34] 涅切耶娃 E. ,等. 使用 SUPAFLO 型高生产率浓密机的优点[J]. 国外金属选矿,2002(3):39 – 43.
[35] 马效贤. 应用高效浓密机处理高浓度矿山酸性水的研究[J]. 中国矿山工程,2004,33(5):17 – 19.