

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2023.04.016

两段三产品旋流器应用于尾矿分级试验研究

刘小平¹, 卢涛², 吴启明¹, 周炳¹, 龙学君¹, 冯模伦¹,
王磊³, 李永峰³, 宋坤⁴

(1. 江西铜业股份有限公司 德兴铜矿, 江西 德兴 334200;

2. 江西铜业股份有限公司, 南昌 330000;

3. 山东省旋流分离工程技术研究中心, 山东 威海 264200;

4. 江西铜业技术研究院有限公司, 南昌 330000)

摘要:根据实验室 FX250/200 型两段三产品水力旋流器的结构参数放大并制作了一台工业用两段连体三产品旋流器。通过实验室试验、工业试验, 优化新型两段连体三产品旋流器的一段溢流管直径、二段溢流管直径、一段底流锥开度、二段沉砂口直径、二段补水量, 获得了沉砂—0.074 mm 粒级含量 13.85%, 总溢流中—0.074 mm 粒级含量 87.21%, 沉砂产率为 35.72% 的理想筑坝粗砂。同时也优化了中线法筑坝工艺, 降低了投资及生产成本。

关键词:新型; 三产品旋流器; 尾砂分级; 筑坝; 中线法; 优化; 成本

中图分类号:TD921+.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-9492(2023)04-0113-06

Experimental Study on Application of Two-stage Three-product Cyclone in Tailings Classification

LIU Xiaoping¹, LU Tao², Wu Qiming¹, ZHOU Bing¹, LONG Xuejun¹, FENG Molun¹,
WANG Lei³, LI Yongfeng³, SONG Kun⁴

(1. Dexing Copper Mine, Jiangxi Copper Co., Ltd., Dexing 334200, Jiangxi, China;

2. Jiangxi Copper Co., Ltd., Nanchang 330000, China;

3. Shandong Engineering Research Center of Cyclone Separation, Weihai 264200, Shandong, China;

4. Jiangxi Copper Technology Research Institute Co., Ltd., Nanchang 330000, China)

Abstract: According to the structural parameters of FX250/200 two-stage three-product hydrocyclone in the laboratory, a two-stage conjoined three-product hydrocyclone for industrial use was enlarged and manufactured. Through the laboratory test and industrial test, the diameter of the first and second section of overflow pipe, the opening of the first section of underflow cone, the diameter of the second section of grit chamber and the amount of make-up water in the second section were optimized, the ideal coarse sand for dam construction is obtained, which contained 13.85% of the settled-sand fraction of —0.074 mm, 87.21% of the settled-sand fraction of —0.074 mm in the total overflow, and 35.72% of the settled sand yield. At the same time, it also optimized the dam construction technology of the central line method and reduced the investment and production cost.

Key words: new type; three-product cyclone; tailings grading; damming; central line minus; optimization; cost

江西铜业股份有限公司德兴铜矿是我国有色金属矿山中最大的露天开采铜矿山, 其矿石储量 12.24 亿 t, 尾矿总产出量预计达 11.75 亿 t。其中新建成并投入使用的 5 号库设计总库容为 10.04 亿 m³, 已

取代 4 号库而成为亚洲第一大尾矿库。德兴铜矿 4 号尾矿库采用两段分体式水力旋流器对选矿厂输送的尾矿进行两段串联分级, 一段分级沉砂通过泵增压给入二段旋流器, 二段分级沉砂用于筑坝, 一、二

收稿日期: 2022-05-19

作者简介: 刘小平(1988-), 男, 学士, 助理工程师, 主要从事矿物加工及资源综合利用等方面的研究。

段溢流矿浆排入库内进行沉降堆存。该分级工艺应用以来有效地满足了4号库尾矿堆坝的要求,但在投资建设及生产运行方面仍存在问题:如一段分级站的投资建设、分级站定期迁建、二段旋流器能量损失、增压泵能耗及粗砂产率不高等缺陷。而4号尾矿库采用的两段串联分级工艺满足不了新建设初期需要大量的合格粗砂用来筑坝的5号尾矿库^[1]。5号库亦采用中线法筑坝工艺,而建设初期需要大量的合格粗砂用来筑坝。旋流器分级筑坝是尾矿筑坝的重要方式^[2],尾矿通过旋流器粗细分级后得到合格的粗砂用于筑坝,坝体稳定性好,能形成自然滩面并能减少工程量^[3-5]。

为了有效解决筑坝初期高品质的粗砂来源问题及在投资建设、生产运行方面仍存在的一些不足问题,德兴铜矿、江铜研究院及山东海王三方成立共同课题组,研发出新型尾矿筑坝用两段连体三产品旋流器,通过优化尾矿筑坝旋流器内部结构参数及分级工艺参数来实现粗砂来源、降低投资建设费用、降低尾矿库生产运行费用等^[6]。采用新型两段连体三产品旋流器相继开展了尾矿分级的实验室试验和现场工业试验。实验室采用FX250/200型两段三产品水力旋流器,现场工业试验采用放大研制的FX660/500新型两段连体三产品旋流器。

1 两段三产品水力旋流器简介

新型两段三产品旋流器又称底流强化分级三产品旋流器,具有底流中细颗粒含量少、底流产率高的技术优势,适用于对底流粒度、底流产率要求高的分级工艺。底流强化分级三产品旋流器如图1所示,

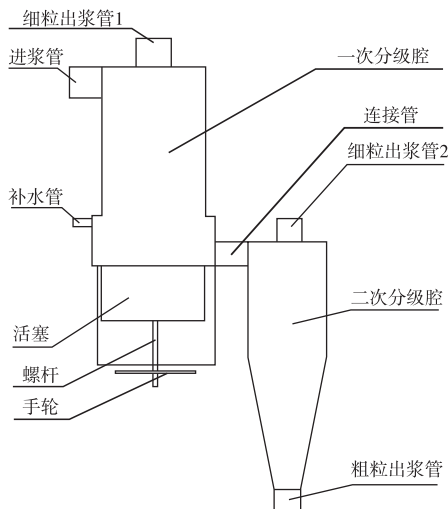


图1 底流强化分级三产品旋流器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of underflow intensified classification three-product cyclone

主要由一次分级腔、进浆管、细粒出浆管1、补水管、活塞、螺杆、手轮、连接管、二次分级腔、细粒出浆管2及粗粒出浆管组成。矿浆由进浆管进入一次分级腔进行分级作用,细粒物料由细粒出浆管1排出,粗粒物料由连接管进入二次分级腔进行分级作用,细粒物料由细粒出浆管2排出,粗粒物料由粗粒出浆管排出。补水管用于给设备输送清水,调节二次分级矿浆的浓度。活塞、螺杆及手轮用于调节一次分级腔的内部空间、补水与一次分级粗粒物料互相混合的空间。

2 实验室试验

实验室采用FX250/200型两段三产品水力旋流器,该旋流器一段采用FX250-GT柱式旋流器,二段采用FX200-PU旋流器,在实验室对两段连体三产品旋流器结构及操作参数(二段沉砂口直径、一段旋流器给矿压力、一段旋流器底部补水量)进行了较为系统的探索试验,试验流程见图2。

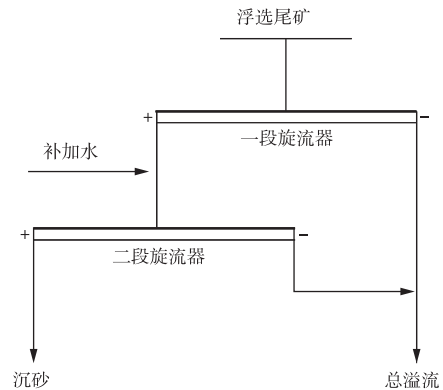


图2 两段连体三产品旋流器分级筑坝工艺流程

Fig. 2 Flowsheet of two-stage connected three-product cyclones damming by classification

2.1 二段补水率试验

固定三产品旋流器二段沉砂口直径30mm,一段旋流器给料压力0.18MPa,选取0%、10%、15%三个条件进行二段补水率试验,试验结果见表1。由表1可知,增大一段旋流器底部补加水用量,可以明显降低一段旋流器沉砂中—0.074mm粒级含量,对提高一段旋流器分级效率及总分级效率有利,在补加水用量为15%时,三产品旋流器总的分级效率为71.85%。从试验结果来看,三产品旋流器溢流中—0.074mm粒级含量均高于90%,且沉砂产率均大于50%,且沉砂中—0.074mm粒级含量均高于28.58%,表明沉砂中细粒级含量过多,分级效果不理想。

表1 二段补水率试验结果

Table 1 Results of water refill rate tests in the second stage

补水率/%	作业名称	产品指标	产品名称			分级效率/%	溢流产率/%		沉砂产率/%	
			给矿/%	溢流/%	沉砂/%		对作业	对原矿	对作业	对原矿
0	一段	浓度	28.53	14.70	36.99	41.49	27.49	27.49	72.51	72.51
		细度	63.25	98.33	49.95					
	二段	浓度	36.99	24.42	72.51	42.17	26.48	19.20	73.52	53.31
		细度	49.95	89.76	35.61					
	合计	浓度	28.53	17.58	72.51	63.39	46.69	46.69	53.31	53.31
		细度	63.25	94.81	35.61					
10	一段	浓度	26.5	12.62	41.27	44.90	28.65	28.65	71.35	71.35
		细度	61.36	98.52	46.44					
	二段	浓度	41.27	16.04	72.31	47.38	25.97	18.53	74.03	52.82
		细度	46.44	91.82	30.52					
	合计	浓度	26.50	13.77	72.31	68.71	47.18	47.18	52.82	52.82
		细度	61.36	95.89	30.52					
15	一段	浓度	29.23	12.33	36.03	61.75	39.38	39.38	60.62	60.62
		细度	60.61	98.04	36.29					
	二段	浓度	36.03	10.56	73.34	29.47	11.64	7.05	88.36	53.56
		细度	36.29	94.84	28.58					
	合计	浓度	29.23	12.02	73.34	71.86	46.44	46.44	53.56	53.56
		细度	60.61	97.55	28.58					

2.2 调整二段沉砂口直径二段补水率试验

鉴于第一组试验中沉砂产率高、细粒级含量高,调整二段沉砂口直径为 25 mm,一段旋流器给料压力仍为 0.18 MPa,进行补水率为 10%、15%、20%的补加水试验,试验结果见表 2。由表 2 可知,二段沉砂口直径减小至 25 mm,沉砂产率降低显著,且沉砂

中细粒级含量显著降低;随着补加水用量的增加,一段、二段及总体分级效率呈增加趋势,沉砂中细粒级含量呈明显下降趋势,且当二段补加水用量为 15%时,沉砂中—0.074 mm 粒级含量下降至 14.76%,且沉砂产率为 28.92%。

表2 调整二段沉砂口直径二段补水率试验结果

Table 2 Results of water refill rate tests in the second stage by adjusting the diameter of second stage sand outlet

补水率/%	作业名称	产品指标	产品名称			分级效率/%	溢流产率/%		沉砂产率/%	
			给矿/%	溢流/%	沉砂/%		对作业	对原矿	对作业	对原矿
10	一段	浓度	26.94	13.62	36.05	32.88	21.01	21.01	78.99	78.99
		细度	60.10	97.63	50.12					
	二段	浓度	36.05	30.85	73.34	33.73	74.83	59.11	25.17	19.88
		细度	50.12	61.39	16.61					
	合计	浓度	26.94	23.17	73.34	36.06	80.12	80.12	19.88	19.88
		细度	60.10	70.89	16.61					
15	一段	浓度	28.32	13.05	33.88	38.21	24.58	24.58	75.42	75.42
		细度	61.45	98.28	49.45					
	二段	浓度	33.88	17.56	71.90	53.21	61.66	46.51	38.34	28.92
		细度	49.45	71.02	14.76					
	合计	浓度	28.32	15.69	71.90	57.00	71.08	71.08	28.92	28.92
		细度	61.45	80.44	14.76					
20	一段	浓度	29.13	12.22	28.08	42.43	27.42	27.42	72.58	72.58
		细度	62.79	98.94	49.13					
	二段	浓度	28.08	18.64	72.30	61.72	57.67	41.85	42.33	30.72
		细度	49.13	75.88	12.69					
	合计	浓度	29.13	15.43	72.30	65.88	69.28	69.28	30.72	30.72
		细度	62.79	85.01	12.69					

2.3 调整一段旋流器给料压力二段补水率试验

为了进一步提高三产品旋流器分级效果,同时结合现场实际情况,考察适当降低一段旋流器给矿压力对分级指标的影响。固定三产品旋流器二段沉砂口直径 25 mm,调整一段旋流器给料压力为 0.14 MPa,进行了补水率分别为 10%、15%、20%的

补水率试验,试验结果见表 3。由表 3 可知,降低一段给矿压力为 0.14 MPa,沉砂中细粒级含量可进一步降低至 10%~12%,沉砂产率也可维持在 25%以上,结果表明,在沉砂产率达标的情况下,可大幅提高沉砂质量,同时为后续工业应用提供了较大的调节空间。

表 3 调整一段旋流器给料压力二段补水率结果

Table 3 Results of water refill rate tests in the second stage by adjusting the feed pressure of the primary cyclones

补水率/%	作业名称	产品指标	产品名称			分级效率/%	溢流产率/%		沉砂产率/%	
			给矿/%	溢流/%	沉砂/%		对作业	对原矿	对作业	对原矿
10	一段	浓度	29.44	13.56	34.35	48.49	32.44	32.44	67.56	67.56
		细度	62.11	97.28	45.22					
	二段	浓度	34.35	24.48	72.89	52.05	60.45	40.84	39.55	26.72
		细度	45.22	66.55	12.62					
	合计	浓度	29.44	18.05	72.89	56.19	73.28	73.28	26.72	26.72
		细度	62.11	80.16	12.62					
15	一段	浓度	28.32	13.23	32.01	54.17	36.49	36.49	63.51	63.51
		细度	63.75	98.06	44.04					
	二段	浓度	32.01	23.15	72.63	52.98	59.75	37.95	40.25	25.56
		细度	44.04	65.89	11.60					
	合计	浓度	28.32	16.93	72.63	57.69	74.44	74.44	25.56	25.56
		细度	63.75	81.66	11.60					
20	一段	浓度	29.86	10.64	28.75	60.00	39.19	39.19	60.81	60.81
		细度	63.27	98.85	40.34					
	二段	浓度	28.75	15.46	72.34	54.12	54.68	33.25	45.32	27.56
		细度	40.34	64.16	11.60					
	合计	浓度	29.86	12.42	72.34	61.49	72.44	72.44	27.56	27.56
		细度	63.27	82.93	10.95					

3 工业试验

现场工业试验采用两段连体三产品旋流器 FX660/500 型,在实验室样机的基础上放大研制而成,试验流程同图 2。一段旋流器给料即泗洲选矿厂浮选尾矿浓度 20%~22%,细度为-0.074 mm 占 59%~61%。由于现场旋流器给矿是通过高位水池后恒压流入,旋流器给矿压力无法大幅调节,只能通过控制并联的旋流器组运营台数微调给矿压力,一段给矿压力稳定在 0.06 MPa,二段给矿压力约为 0.095 MPa。因此,本次工业试验不探索给矿压力对

产砂效果的影响。

3.1 一段溢流管直径试验

确定二段溢流管直径为 160 mm,二段沉砂口直径 80 mm,一段给矿流量 620 m³/h,二段给矿补水率 60 m³/h,一段底流锥阀开度 100%,一段溢流管直径试验结果见表 4。由表 4 可知,在二段补水率约为 10%的条件下,随着一段溢流管直径的增加,沉砂产率呈降低趋势,但对沉砂中细粒级含量影响不明显。综合处理能力和沉砂产率两方面考虑,选择一段溢流管直径为 220 mm 较为适宜。

表 4 一段溢流管直径试验结果

Table 4 Results of primary overflow diameter optimization tests

一段溢流管直径/mm	产品指标	产品名称					沉砂/%	沉砂产率/%
		一段给矿/%	一段溢流/%	二段给矿/%	二段溢流/%	总溢流/%		
200	浓度	23.20	12.71	28.42	16.41	14.57	70.01	38.19
	细度	59.34	97.41	45.34	80.28	87.73	13.39	
220	浓度	19.59	10.22	27.98	14.99	12.04	69.89	36.79
	细度	60.64	98.46	41.90	76.67	88.08	13.48	
240	浓度	22.25	12.38	28.00	17.95	14.88	70.48	31.67
	细度	60.73	96.30	44.46	71.18	82.72	13.30	

3.2 二段溢流管直径试验

确定一段溢流管直径为 220 mm,二段沉砂口直径 80 mm,一段给矿流量 620 m³/h,二段给矿补加清水量 60 m³/h,一段底流锥阀开度 100%,二段溢流管直径试验结果见表 5。由表 5 可知,沉砂细度和产率均随着二段溢流管直径的增大而呈先减小后增

大规律。二段溢流管直径为 140 mm 时,沉砂产率虽高,但—0.074 mm 粒级含量占比高于 15%;二段溢流管直径为 160 mm 和 180 mm 时,二者的沉砂中—0.074 mm 粒级含量分别为 12.82%、13.86%,产率均为 32%左右,为优先保证沉砂质量,确定二段旋流器直径为 160 mm。

表 5 二段溢流管直径试验结果

Table 5 Results of secondary overflow diameter optimization tests

二段溢流管直径/ mm	产品指标	产品名称						沉砂产率/%
		一段给矿/%	一段溢流/%	二段给矿/%	二段溢流/%	总溢流/%	沉砂/%	
140	浓度	22.79	12.57	31.05	17.60	14.76	69.43	38.16
	细度	59.70	98.38	43.30	76.68	87.13	15.26	
160	浓度	22.25	12.84	29.69	18.89	15.43	70.09	31.51
	细度	61.02	97.66	43.32	70.08	83.20	12.82	
180	浓度	19.44	10.87	26.21	16.93	13.46	71.22	32.61
	细度	61.87	98.89	45.11	73.24	85.10	13.86	

3.3 一段底流锥开度试验

确定一段溢流管直径为 220 mm,二段溢流管直径为 160 mm,二段沉砂口直径 80 mm,一段给矿流量 620 m³/h,二段给矿补加清水量 60 m³/h,一段底流锥开度试验结果见表 6。由表 6 可知,随着

一段底流锥开度的增大,沉砂产率也随之增大,沉砂中—0.074 mm粒级含量也呈增大趋势。三种不同开度条件下,均能产出合格沉砂。综合沉砂产率及细度因素考虑,确定一段底流锥开度为 66%为宜。

表 6 一段底流锥开度试验结果

Table 6 Results of cone opening tests on the first section of bottom flow

一段底流锥开度/%	产品指标	产品名称						沉砂产率/%
		一段给矿/%	一段溢流/%	二段给矿/%	二段溢流/%	总溢流/%	沉砂/%	
33	浓度	24.81	13.20	30.55	19.58	16.52	70.59	32.65
	细度	59.66	99.10	45.89	71.04	81.82	13.93	
66	浓度	21.77	12.60	28.10	19.63	16.00	70.35	32.83
	细度	60.49	99.22	45.97	71.83	82.95	14.53	
100	浓度	23.61	12.09	31.07	19.22	15.42	70.68	36.46
	细度	57.27	99.03	42.17	70.73	82.56	14.98	

3.4 二段沉砂口直径试验

确定一段溢流管直径为 220 mm,二段溢流管直径为 160 mm,一段给矿流量 620 m³/h,二段给矿补加清水量 60 m³/h,一段底流锥阀开度 100%,二段底流锥开度试验结果见表 7。由表 7 可知,随着二段

旋流器沉砂口直径的增大,沉砂产率及沉砂中—0.074 mm粒级含量均呈上升趋势,沉砂产率均在 30%以上。从沉砂细度看,沉砂嘴直径选择 80 mm 更为适宜。

表 7 二段沉砂口直径试验结果

Table 7 Results of the second stage sand settling mouth diameter optimization tests

二段沉砂口直径/mm	产品指标	产品名称						沉砂产率/%
		一段给矿/%	一段溢流/%	二段给矿/%	二段溢流/%	总溢流/%	沉砂/%	
80	浓度	21.17	13.32	31.38	18.65	15.67	67.96	35.49
	细度	63.15	98.77	47.39	80.21	89.04	16.10	
90	浓度	22.64	11.44	30.47	18.38	14.42	70.03	34.35
	细度	61.47	98.43	45.83	75.88	86.09	14.40	
100	浓度	22.98	13.92	28.82	18.50	16.16	69.91	30.64
	细度	63.52	98.73	48.06	75.26	85.59	13.57	

3.5 二段补水率试验

确定一段溢流管直径为 220 mm,二段溢流管直径为 160 mm,二段沉砂口直径 80 mm,一段给矿流

量 620 m³/h,一段底流锥阀开度 100%,二段补水率试验结果见表 8。由表 8 可知,随着二段补水量的增加,粗砂产率呈增加趋势,筑坝粗砂中—0.074 mm 粒

级含量呈减少趋势。当补水用量为0时,沉砂中—0.074 mm粒级含量为14.94%,接近低于15%的细

度要求。在确保粗砂细度达标的基础上尽可能降低补加水量,综合考虑,确定补加水量为0~10%为宜。

表8 二段补水率试验结果

Table 8 Results of water refill rate tests in the second stage

二段补水率/%	产品指标	产品名称						沉砂产率/%
		一段给矿/%	一段溢流/%	二段给矿/%	二段溢流/%	总溢流/%	沉砂/%	
0	浓度	21.22	11.51	30.91	21.30	16.04	71.48	32.81
	细度	61.68	99.47	48.47	75.12	84.51	14.94	
5	浓度	22.66	11.60	33.00	20.21	14.74	71.39	36.13
	细度	60.11	99.16	41.83	73.14	86.13	14.12	
10	浓度	22.02	12.01	27.56	16.05	14.12	70.23	36.05
	细度	60.82	98.60	47.55	80.02	87.57	13.37	
15	浓度	21.66	12.25	25.88	13.86	13.03	70.02	37.94
	细度	61.41	98.72	45.32	82.84	90.55	13.75	

4 结论

1)实验室使用FX250/FX200三产品旋流器进行尾矿筑坝分级试验,通过优化后确定沉砂口直径25 mm,一段旋流器给矿压力0.14 MPa,补加水用量为10%时,三产品旋流器可以得到总溢流中—0.074 mm粒级含量为80.16%,总的沉砂中—0.074 mm粒级含量占12.62%,沉砂产率为26.72%的理想指标。

2)通过对该新型工业旋流器各项工艺参数优化试验,得到处理泗洲选矿厂尾矿推荐的工艺参数为:一组新型旋流器处理量600~650 m³/h,一段溢流管直径220 mm,二段溢流管直径160 mm,一段底流锥开度66%,二段补水量0~10%,二段沉砂口直径80 mm。在4号尾矿库开展工业试验获得了沉砂—0.074 mm粒级含量占13.85%,总溢流中—0.074 mm粒级含量为87.21%,沉砂产率为35.72%的理想指标。

3)新型两段连体三产品旋流器应用尾矿分级筑坝,将会对当前中线法筑坝工艺在设计及建设方面带来显著优化,简化设计方案、降低投资建设费用,降低尾矿库生产运行费用,提高粗砂产率及质量,满足筑坝对粗砂的质量要求。

参考文献

[1] 岑建,马艳晶.某尾矿库筑坝方案比较分析[J].有色冶金节能,2021,37(1):67-70.
 CEN Jian, MA Yanjing. Comparison and analysis of dam construction scheme of a tailing pond[J]. Energy Saving in Nonferrous Metallurgy, 2021, 37(1): 67-70.

[2] 王书礼,王磊,崔宝玉,等.平底结构对水力旋流器流场特性及分离性能影响[J].有色金属(选矿部分),2022(6):141-146.
 WANG Shuli, WANG Lei, CUI Baoyu, et al. Effect of flat bottom structure on flow field characteristics and separation performance of hydrocyclone[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2022(6): 141-146.

[3] 杨初华.新型螺旋线进料体旋流器在德兴铜矿尾矿回收厂的应用[J].矿冶,2021,30(4):135-139.
 YANG Renhua. Application of a new spiral feed cyclone in Dexing Copper Mine tailings recovery plant [J]. Mining and Metallurgy, 2021, 30(4): 135-139.

[4] 庞学诗,胡业民.水力旋流器选型计算新程序[J].有色金属(选矿部分),2011(增刊1):261-266.
 PANG Xueshi, HU Yemin. A novel calculation program on hydrocyclone lectotype [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2011(Suppl. 1): 261-266.

[5] 王明嘉.提高水力旋流器分级效率的数值计算研究[J].中国资源综合利用,2022,40(1):50-52.
 WANG Mingjia. Numerical study on improving the classification efficiency of hydrocyclone [J]. Comprehensive Utilization of Resources in China, 2021, 40(1): 50-52.

[6] 李光英.云南某低品位单铜矿选矿生产工艺优化与实践[J].有色金属(选矿部分),2020(4):34-37.
 LI Guangying. Study and practice on mineral processing technology of a low grade single copper mine in Yunnan[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2020(4): 34-37.

(本文编辑 刘水红)