

低品位钒钛磁铁矿磨矿分级 工艺优化研究与实践

吴登平, 王祥波, 赵刘阳

(攀枝花丰源矿业有限公司, 四川 攀枝花 617000)

摘 要:针对攀枝花丰源矿业有限公司使用攀枝花矿区低品位钒钛磁铁矿选矿生产现状, 提出了磨矿分级工艺优化的方案, 在提升铁精矿细度条件下, 减少了钛铁矿过磨, 更适合后续钛铁矿重选工艺, 提高了钛铁矿的回收率。生产实践表明, 通过优化磨矿分级工艺, “两段磨矿”改为“三段磨矿”, 原矿“先磨矿后分级”改为“先分级后磨矿”以及淘汰螺旋分级机。最终铁精矿细度(-0.074 mm)提升 12.34 个百分点, 使铁精矿品位提升 1.57 个百分点, 磁选尾矿中 -0.0385 mm 粒级的产率降低 20.31 个百分点, 大幅改善了钛铁矿选别粒度, 钛铁矿回收率提高 6.85 个百分点。

关键词:低品位钒钛磁铁矿; 选矿; 磨矿; 铁精矿; 钛铁矿; 品位; 回收率

中图分类号: TD924

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2022)05-0117-06

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2022.05.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听
语
音
与
作
者
互
动
聊
科
研

Research and practice on optimization of grinding and classification process of low-grade vanadium titanomagnetite

Wu Dengping, Wang Xiangbo, Zhao Liuyang

(Panzhihua Fengyuan Mining Co., Ltd., Panzhihua 617000, Sichuan, China)

Abstract: According to the production status of Panzhihua Fengyuan Mining Co., Ltd. using the low-grade vanadium titanomagnetite for beneficiation from Panzhihua mining area, this paper put forward an optimization scheme of grinding and classification process. Under the condition of improving the fineness of iron concentrate, the overgrinding of ilmenite was reduced, which was more suitable for the subsequent ilmenite gravity separation process, and the recovery rate of ilmenite was also improved. The production practice shows that by optimizing the grinding and classification process, "two-stage grinding" was changed to "three-stage grinding", the raw ore "grinding before classification" was changed to "classification before grinding" and the spiral classifier was eliminated. Finally, the fineness of iron concentrate (-0.074 mm) was increased by 12.34 percentage points, the grade of iron concentrate was increased by 1.57 percentage points, the yield of -0.0385 mm particle size in magnetic separation tailings was reduced by 20.31 percentage points, the separation particle size of ilmenite was greatly improved, and the recovery rate of ilmenite was increased by 6.85 percentage points.

Key words: low-grade vanadium titanomagnetite, mineral separation, grinding, iron concentrate, ilmenite, grade, recovery rate

收稿日期: 2022-06-27

作者简介: 吴登平, 1989 年出生, 男, 四川攀枝花人, 学士, 助理工程师, 主要从事选矿工艺研究与推广, E-mail: 405766712@qq.com。

0 引言

钒钛磁铁矿是我国重要的战略资源,在矿产资源领域占有重要地位^[1]。攀西地区是我国钒钛磁铁矿的主要成矿带,主要有攀枝花、红格、白马、太和四大矿区和一些中小矿床^[2],其中四大矿区钒钛磁铁矿的储量占攀西地区钒钛磁铁矿总储量的96%^[3]。各大矿区在前期开采利用过程中,因选矿工艺技术的局限,绝大部分低品位钒钛磁铁矿利用较少,主要堆存于排土场。随着矿山进入深部开采,资源储量的减少,以及选矿技术的进步,对于低品位钒钛磁铁矿的利用^[4-5]被各矿山企业列入重点攻关工作。

攀枝花丰源矿业有限公司拥有700万t/a原矿处理能力的选矿生产装置,采用弱磁选铁精矿,选铁后的尾矿再用强磁+螺旋溜槽重选+干式磁选作业对钛铁矿进行选别。公司主要采用攀枝花矿区低品位钒钛磁铁矿作为主要矿源进行生产,低品位钒钛磁铁矿主要金属矿物为磁铁矿和钛铁矿,但因原矿品位低(TFe12%~17%、TiO₂4.5%~7%)造成生产成本低,铁精矿质量不达标。如何解决铁精矿质量达标、提高钛回收率及降低生产成本是低品位钒钛

磁铁矿利用的主要问题。实际生产过程中提高铁精矿质量要求对铁精矿进行细磨,而细磨伴随对钛铁矿的过磨,影响钛铁矿回收率,如何兼顾铁精矿细磨同时又降低钛铁矿过磨程度,获得不同金属矿物适宜的选别粒度,对于磨矿工艺的选择尤为重要。笔者针对原设计磨矿工艺流程在低品位钒钛磁铁矿利用过程中存在的问题进行优化改进,通过阶磨阶选及先筛后磨实现铁钛分磨的目的。

1 矿石性质

为查明矿石中磁铁矿、钛铁矿的嵌布特征及脉石种类组成,取攀枝花矿区低品位钒钛磁铁矿进行工艺矿物学鉴定,结果如图1及表1所示。

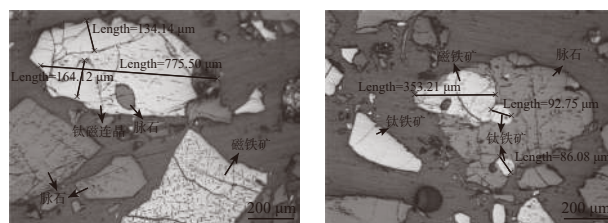


图1 原矿矿物组成光片

Fig. 1 Light slice diagrams of mineral composition of raw ore

表1 原矿样品矿物组成及含量分析结果

Table 1 Mineral composition and content analysis results of raw ore sample

									%
磁铁矿	钛铁矿	钛磁连晶	磁脉连晶	钛脉连晶	钛磁脉连晶	磁黄连晶	黄铁矿	黄铜矿	脉石
15.50	11.75	5.00	2.00	1.50	3.00	少量	2.00	少量	59.25

根据图1及表1可以看出,样品主要金属矿物为钛铁矿和磁铁矿,同时含有少量硫化矿物,其中磁铁矿占比15.50%,部分磁铁矿中有钛铁矿、钛铁晶石、叶片状尖晶石固溶体析出,少量磁铁矿裂隙中有黄铁矿充填,粒径在0.01~0.80 mm,多数在0.05~0.50 mm。钛铁矿占比11.75%,少许晶体中有磁铁矿的叶片状、微脉状固溶体析出,另见少量脉石矿物中包含细小的点状钛铁矿,钛铁矿粒级在0.01~1.00 mm,大部分在0.05~0.50 mm。

2 原设计流程及生产概况

从原矿性质分析来看,磁铁矿、钛铁矿嵌布粒度基本一致,多数在0.05~0.50 mm。实际选矿过程中,磁铁矿选别要求更细的粒度才能获得高品质铁精矿,钛铁矿选别粒度较磁铁矿要粗。公司原设计选矿工艺流程见图2,其中选铁段采用“两段闭路磨矿”工艺,其中一段磨矿采用6台MQS3245格子

型球磨机与螺旋分级机的组合进行闭路磨矿,二段磨矿采用6台MQS2765格子型球磨机与螺旋分级机的组合进行闭路磨矿。可以看出,原设计工艺无法更好地获得兼顾铁钛选别工艺的适宜粒度范围。另外,原流程中的分级设备均为螺旋分级机,螺旋分级机是借助固体颗粒比重的不同,因而在液体中沉淀速度不同为原理进行机械分级的一种设备,属于老式分级设备^[6]。无论是分级效率,亦或是分级精度,均不能满足现代选矿工艺的需求。

3 磨矿分级流程优化方案

3.1 优化分级设备

经过对比试验后,一段分级采用直线筛(筛孔1.2 mm)替换原一段螺旋分级机^[6-7],实现精准分级;二段分级采用分级旋流器组替换二段螺旋分级机,提高分级效率,降低返砂中-0.074 mm粒级的含量,减少物料过磨;三段采用“叠筛—旋流器”的组合进

行分级,采用叠筛精准控制铁精矿粒度,保证铁精矿品质,旋流器一方面可以保证三段磨矿作业的磨矿浓度,另一方面可以对三段球磨排矿物料进行预分级,降低叠筛的工作负荷,同时还能对叠筛筛上物进行检查筛分。

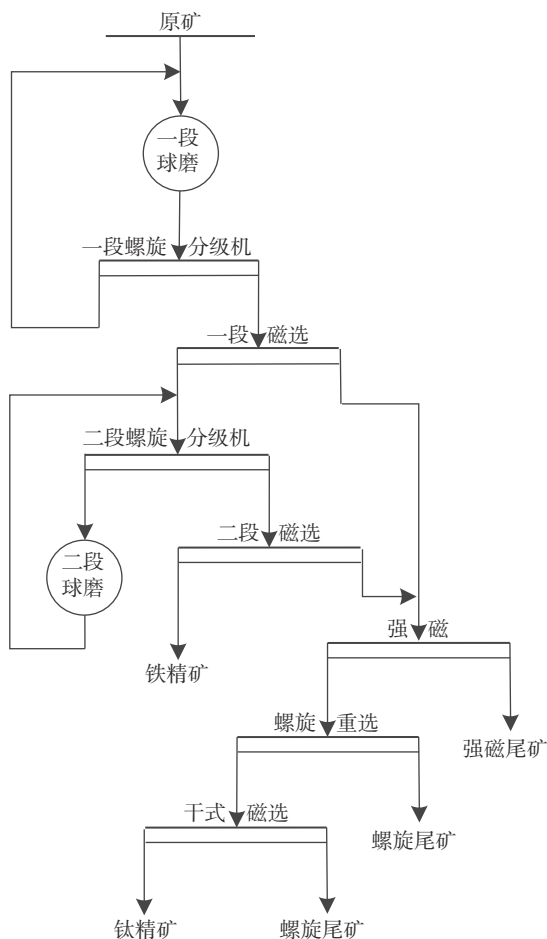


图 2 原选矿工艺流程

Fig. 2 Original process flow chart

3.2 优化磨机组合方式

低品位钒钛磁铁矿因原矿品位较低,一段磁选精矿产率仅为 30%,即使一段投矿量 120 t/h,进入二段的物料也仅有 36 t/h,导致二段磨机物料严重不足,磨矿浓度较低,从而导致球磨机的衬板及钢球的损耗严重。同时原流程采用“两段磨矿”工艺,达不到铁精矿的细度要求,导致生产的铁精矿品位较低,同时部分钛铁矿被过磨,造成生产中“铁、钛双难”的局面。

为解决上述问题,在不改变磨机台数的情况下,将“两段磨矿”改为“三段磨矿”,即在原有两段磨矿的流程上增加一段磨矿分级作业,同时将磨机组方式由“1→1”的6条生产线优化为“2→1→1”的3条生产线,考虑到一段磁选作业抛尾率较高,为

保证二段磨矿分级作业拥有足够的物料,将一段两条线的精矿一同并入二段的一台分级设备中。

3.3 优化一段磨矿分级顺序

由于破碎作业段高压对辊破碎机的运行,导致球磨粉矿粒度偏细,粉矿的粒级分布数据见表2。其中-1 mm 物料占比高达55.22%,该部分物料在原“先磨矿后分级”工艺中,造成物料大量过磨,被过磨的钛铁矿在螺旋重选段几乎不能进行回收,造成钛金属严重浪费。因此将一段作业的“先磨矿后分级”优化为“先分级后磨矿”,有效地降低物料的过磨,保证钛物料的回收。优化的工艺流程见图3。

表 2 球磨粉矿粒级分布

Table 2 Raw ore particle size data

粒径/mm	产率/%
+10	2.37
-10~+8	5.48
-8~+5	10.18
-5~+3	5.24
-3~+1	21.51
-1	55.22

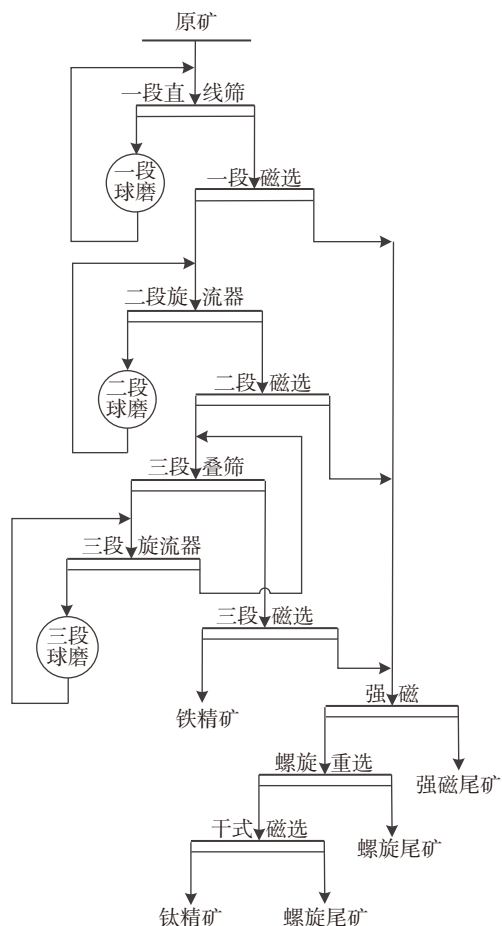


图3 技改后工艺流程

Fig. 3 Process flow chart after technical transformation

4 工艺流程优化前、后的对比情况

现原矿“先分级后磨”不仅有效减少了原矿中合格粒级物料的过磨,还大幅提升了原矿处理量,提高钛金属收率,达到了降本增效的目的。流程优化前后一段磁选粒级对比数据见表 3,二段分级对比数据见表 4,二段磁选粒级对比数据见表 5,优化前后铁精矿粒级对比见表 6,磁选尾矿粒级对比数据见表 7,铁精矿品位、钛铁矿回收率趋势见图 4。

分析表 3 数据可知,工艺流程优化后有效地降低了物料的过磨。一段磨矿分级后物料中-0.038 5 mm 产率降低 29.97 个百分点,一段磁选尾矿中-0.038 5 mm 产率降低 25.38 个百分点。

分析表 4 数据可知,采用分级旋流器后,二段分级的分级效率提高 16.91 个百分点,同时返(沉)砂中-0.074 mm 物料下降了 16.71 个百分点,即磨机返(沉)砂中细粒级的夹带量更少,有利于减少物料的过磨。

分析表 5 数据可知,工艺流程优化后能有效的降低物料的过磨。二段磨矿分级后物料中-0.038 5

mm 产率降低 24.93 个百分点,二段磁选尾矿中-0.038 5 mm 产率降低 22.27 个百分点,同时粗粒级物料明显增多,有利于螺旋溜槽对钛金属的回收。

分析表 6 数据可知,工艺流程优化后铁精矿-0.074 mm 物料产率提升 12.33 个百分点,达到 81.21%。

分析表 7 数据可知,工艺优化后总磁尾中-0.038 5 mm 物料产率降低 20.31 个百分点,+0.15 mm 物料的产率提高了 17.86 个百分点。通过对磨矿分级系统的优化,有效地降低了过磨,提高了总磁尾粗粒级的含量,为重选环节提供了较适宜的粒级物料。

由图 4 可知,磨矿分级系统优化前(2021 年 11 月~2022 年 1 月)各项指标均不理想,在系统优化及调试过程中(2022 年 2 月~2022 年 3 月),各项指标稳步提升,流程优化及调试完成后(2022 年 4 月~2022 年 6 月)铁精矿品位在系统优化后提升了 1.57 个百分点、钛中矿中的钛金属回收率在系统优化后提升了 6.85 个百分点,达到提升产品质量及产量的目的。

表 3 一段磁选粒级对比数据
Table 3 Particle size comparison data of primary magnetic separation

样品名称		各粒级产率/%						
		+1 mm	-1 ~ +0.3 mm	-0.3 ~ +0.15 mm	-0.15 ~ +0.074 mm	-0.074 ~ +0.045 mm	-0.045 ~ +0.038 5 mm	-0.038 5 mm
优化前	进料	5.87	14.13	20.21	13.70	7.76	2.06	36.27
	精矿	14.98	31.85	24.13	10.46	4.86	1.18	12.54
	尾矿	4.49	12.27	19.35	11.19	12.20	2.58	37.92
优化后	进料	7.01	25.89	32.85	15.35	10.42	2.18	6.30
	精矿	8.45	22.41	34.72	12.77	15.47	2.22	3.96
	尾矿	4.85	28.63	25.22	18.80	8.21	1.75	12.54

表 4 二段不同分级设备对比数据
Table 4 Comparison data of different classification equipment in Section II

设备名称	样品名称	各粒级产率/%						分级效率/%
		+0.3 mm	-0.3 ~ +0.15 mm	-0.15 ~ +0.074 mm	-0.074 ~ +0.045 mm	-0.045 ~ +0.038 5 mm	-0.038 5 mm	
螺旋分级机	进料	6.51	22.21	15.33	15.56	3.45	36.94	64.23
	返砂	22.14	28.08	17.77	16.87	2.97	12.17	
	溢流		0.33	3.78	12.91	6.58	76.40	
分级旋流器	进料	20.81	19.49	27.20	9.35	2.85	20.30	81.14
	返砂	32.10	25.95	26.65	6.50	1.36	7.44	
	溢流	1.75	9.00	45.25	14.20	5.11	24.69	

表 5 二段磁选粒级对比数据
Table 5 Particle size comparison data of secondary magnetic separation

样品名称	各粒级产率/%					
	+0.3 mm	-0.3 ~ +0.15 mm	-0.15 ~ +0.074 mm	-0.074 ~ +0.045 mm	-0.045 ~ +0.038 5 mm	-0.038 5 mm
优化前	进料	0.03	1.11	10.93	18.94	4.96
	精矿	0.03	5.05	26.05	23.79	3.28
	尾矿		6.16	14.32	12.06	3.19
优化后	进料	5.70	11.40	22.60	17.70	3.50
	精矿	4.21	11.24	23.88	17.05	3.02
	尾矿	6.50	4.70	13.30	29.40	4.10

表 6 铁精矿粒级产率对比数据
Table 6 Yield comparison of particle size of iron concentrate

	各粒级产率/%				
	+0.15 mm	-0.15 ~ +0.074 mm	-0.074 ~ +0.045 mm	-0.045 ~ +0.038 5 mm	-0.038 5 mm
优化前	5.08	26.05	23.79	3.28	41.80
优化后	8.01	10.78	27.84	3.66	49.71

表 7 总磁尾粒级产率对比数据
Table 7 Yield comparison data of total magnetic tail particle size

	各粒级产率/%				
	+0.15 mm	-0.15 mm	-0.074 mm	-0.045 mm	-0.038 5 mm
优化前	17.12	19.8	12.94	3.55	46.59
优化后	34.98	23.86	11.00	3.88	26.28

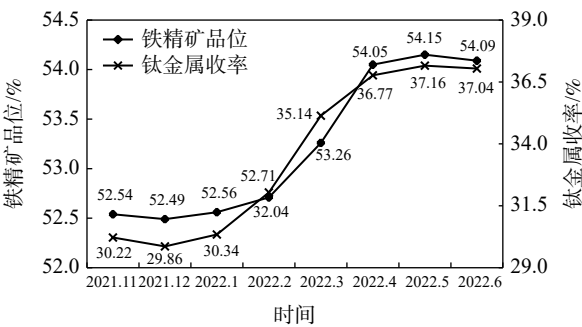


图 4 铁精矿品位、钛金属收率
Fig. 4 Iron concentrate grade and titanium yield

5 结论

1) 针对低品位钒钛磁铁矿利用, 两段磨矿优化

参考文献

[1] Li Guoping, Shang Hongliang, Wang Zhiwei, *et al.* Application of new pre grinding dry pre concentration in a vanadium titanium magnetite mine in Panxi[J]. Nonferrous Metals, 2018, (2): 1-3.
(李国平, 尚红亮, 王芝伟, 等. 新型磨前干式预选在攀西某钒钛磁铁矿的应用[J]. 有色金属, 2018, (2): 1-3.)

为三段磨矿以及阶磨阶选的工艺流程更利于铁精矿细度的控制及铁精矿品质的提高。

2) 将二段分级设备由螺旋分级机更换为分级旋流器后, 不仅大幅度提高了作业的分级效率, 同时还降低了返(沉)砂中细粒级物料的占比, 有效的降低了二段磨矿作业物料的过磨。

3) 低品位钒钛磁铁矿因原矿品位低, 极易产生过磨, 通过对磨矿分级工艺优化能有效降低物料中-0.038 5 mm 粒级的含量, 获得更适合后续钛铁矿选矿工艺的合格粒级物料, 有利于提高钛铁矿回收率。

- [2] Wang Hongbin, Zhang Guohua. Brief discussion on the grade of vanadium titanium iron concentrate in Midi, Baima and Panjiatian of Panzhihua [C]// The 21st Mining Academic Exchange of the Metal (Metallurgy) Society of Seven Provinces of Shandong, Hebei, Shanxi, Hainan, Guangdong, Sichuan and Liaoning. Taiyuan: Shanxi Metal Society, 2014.
(王洪彬, 张国华. 浅谈攀枝花密地, 白马, 潘家田钒钛铁精矿品位[C]//鲁冀晋琼粤川辽七省金属(冶金)学会第二十一届矿业学术交流会. 太原: 山西省金属学会, 2014.)
- [3] Wang Xuefeng. Evaluation of comprehensive utilization potential of resources in typical vanadium titanomagnetite mining areas in China [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015.
(王雪峰. 我国钒钛磁铁矿典型矿区资源综合利用潜力评价研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.)
- [4] Chen Fulin, Yang Xiaojun, Cai Xianyan, *et al.* Experimental study on iron separation of Baima gabbro type ultra-low grade vanadium titanium magnetite in Panxi area[J]. *Comprehensive Utilization of Minerals*, 2020, (6): 5.
(陈福林, 杨晓军, 蔡先炎, 等. 攀西地区白马辉长岩型超低品位钒钛磁铁矿选铁试验研究[J]. *矿产综合利用*, 2020, (6): 5.)
- [5] Lian Qiang, Fang Fuyue. Promotion and application of step grinding and step separation process in Midi concentrator[J]. *Modern Mining*, 2007, 23(9): 53–54.
(练强, 方福跃. 阶磨阶选工艺在密地选矿厂的推广应用[J]. *现代矿业*, 2007, 23(9): 53–54.)
- [6] Li Qianjin, Lu Zhiming, Zhang Liangliang, *et al.* Research on the application of hydrocyclone instead of spiral classifier in primary grinding and classification[J]. *World Nonferrous Metals*, 2018, (14): 3–5.
(李前进, 卢致明, 张亮亮, 等. 一段磨矿分级采用水力旋流器替代螺旋分级机的应用研究[J]. *世界有色金属*, 2018, (14): 3–5.)
- [7] Wang Yao, Cui Zhenli. Practice of using linear vibrating screen for primary grinding and classification [C]// 2011 China Mining Science and Technology Conference. Xi'an: Ministry of Science and Technology of China, 2011.
(王耀, 崔振立. 一段磨矿分级使用直线振动筛的实践[C]// 2011年中国矿业科技大会. 西安: 中国科技部, 2011.)

编辑 杨冬梅

(上接第 110 页)

- [2] Shi Lei, Chen Ronghuan, Wang Ruyi. Application prospect of chromium sludge pellet in iron and steel industry[J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 2007, (1): 33–36.
(石磊, 陈荣欢, 王如意. 含铬污泥球团在钢铁工业中的应用前景[J]. *再生资源研究*, 2007, (1): 33–36.)
- [3] Zhang Lei, Liu Shangchao, Zhang Daoquan, *et al.* Application research on co-disposal of chromium sludge in the sintering and ironmaking[J]. *Sintering and Pelletizing*, 2018, 43(5): 61–64.
(张垒, 刘尚超, 张道权, 等. 烧结炼铁协同处置含铬污泥的应用研究[J]. *烧结球团*, 2018, 43(5): 61–64.)
- [4] Shi Lei, Chen Ronghuan, Wang Ruyi. Study on metallurgical properties and pellet proportioning technology of stainless steel cold-rolling sludge[J]. *Baosteel Technology*, 2013, (2): 23–27.
(石磊, 陈荣欢, 王如意. 不锈钢冷轧污泥配矿压球工艺及冶金性能研究[J]. *宝钢技术*, 2013, (2): 23–27.)
- [5] Fan Zhigong. Study on treatment of cold rolling wastewater containing chromium and recovery in sludge[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2009.
(范志功. 冷轧含铬废水的处理及含铬污泥回收利用的研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2009.)
- [6] Fang Duokui, Li Xianwei, Su Junjie. Analysis on research progress of cold-rolled chromium-containing sludge[J]. *Resources Economization & Environmental Protection*, 2013, (6): 54.
(房多奎, 李咸伟, 苏俊杰. 冷轧含铬污泥资源化途径研究进展分析[J]. *资源节约与环保*, 2013, (6): 54.)
- [7] Chen J, Jiao F, Zhang L, *et al.* Elucidating the mechanism of Cr (VI) formation upon the interaction with metal oxides during coal oxy-fuel combustion[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2013, 261: 260–268.
- [8] Chen J C, Wey M Y, Chiang B C, *et al.* The simulation of hexavalent chromium formation under various incineration conditions[J]. *Chemosphere*, 1998, 36(7): 1553–1564.

编辑 杨冬梅