

文章编号: 1005 - 7854(2005)03 - 0010 - 06

# 尾矿库安全现状评价体系与方法探讨

吕庭刚, 庙延钢, 殷林, 杨溢, 张智宇, 栾龙发

(昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093)

**摘要:** 尾矿库是一个具有高势能的人造泥石流重大危险源, 因此加强尾矿库安全管理, 提高其规范化、标准化水平, 确保尾矿库安全运行是非常迫切和需要的。本文针对目前尾矿库的安全评价体系与方法进行了探讨, 通过对尾矿库安全现状评价工作的实践, 结合自身的专业水平, 提出了尾矿库评价体系以及单元的划分, 编制出了较为科学、合理和具有可操作性的各个单元安全检查表内容。此评价体系先后在近40个尾矿库安全现状评价中应用, 效果良好。

**关键词:** 尾矿库; 安全现状评价体系; 评价方法; 安全检查表

**中图分类号:** X913.4 **文献标识码:** A

## DISCUSSION ON ASSESSMENT SYSTEM AND APPROACH TO SAFETY ACTUALITY OF TAILING POND

Lǚ Tíng-gāng, MIAO Yán-gāng, YIN Lín, YANG Yì, ZHANG Zhì-yu, LUAN Lóng-fā  
(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**ABSTRACT:** Since tailing pond is a great dangerous source of man-made mud-rock flow with high potential energy, strengthening its safety management, upgrading its standardization level, and ensuring its safety operation is required and very urgent. This paper discusses safety assessment system and approach to tailing pond. The authors, combining their professional knowledge, brought forward an assessment system of tailing pond, in which the division of assessment cells was made, scientific, reasonable and operational content of all assessment cells in safety checklist by practicing in work of safety assessment of actuality on tailing pond was determined. This assessment system has been used in more than 40 tailing ponds' safety assessment of actuality, and good effect was obtained.

**KEY WORDS:** Tailing pond; Assessment system of safety; Assessment approach; Safety checklist

## 1 引言

美国克拉克大学公害评定小组的研究表明, 尾矿库事故的危害在世界93种事故、公害的隐患中, 名列第18位, 它仅次于核爆炸、神经毒气、核辐射等危害。尾矿库是一个具有高势能的人造泥石流重大危险源, 在长达十多年甚至数十年时间里, 各种自然和人为不利因素威胁它的安全。事实一再表明, 尾矿库一旦失事, 给当地的工农业生产及尾矿库下游的人民生命财产造成的灾害和损失是巨大的。我国

现有各类大小尾矿库几千座, 其中80%集中在有色和冶金矿业。因此加强尾矿库安全管理, 提高其规范化、标准化水平, 确保尾矿库安全运行是十分迫切和重要的。

2004年5月17日, 国家安全生产监督管理局颁布第9号令, 关于《非煤矿山企业安全生产许可证实施办法》, 在文件第五条中(九)小条规定, 凡申办安全生产许可证的非煤矿山企业必须“依法进行安全评价”; 在文件第十二条规定: 尾矿库企业的生产系统除符合本实施办法第五条的规定外, 其厂房、作业场所和安全设施、设备、工艺还应当具备下列条件:

收稿日期: 2005 - 05 - 30

作者简介: 吕庭刚, 硕士研究生。

(1)尾矿库初期坝轮廓尺寸符合设计要求,无明显沉陷、滑坡、裂缝、流土和管涌,运行工况正常;

(2)尾矿堆积坝整体外坡比不得陡于设计规定值,部分高程堆积坝边坡过陡的,不得出现局部失稳,并满足坝体稳定安全系数和渗流控制要求,无明显沉陷、滑坡、裂缝、流土、管涌,外坡坡面无沼泽化和较多(大)的冲沟,运行工况正常,在堆积坝整体外坡比陡于设计规定值时,应当由具有资质的中介机构进行稳定性分析,其分析方法和分析结果应当满足规范要求;

(3)尾矿坝最小安全超高和最小干滩长度必须满足规范要求;

(4)尾矿库排水设施应当符合设计要求,对出现的堵塞、坍塌、裂缝、变形、腐蚀或磨蚀、漏砂等现象采取治理措施,运行工况正常。

尾矿库安全现状评价的目的是查找出尾矿库建设运行过程中存在或可能出现的危险因素,提出科学、合理、可行的安全技术调整方案与安全管理对策,以消除危险因素,使尾矿库达到安全运行的目的。尾矿库的安全评价程序及要求是依据原国家经贸委 20 号令“尾矿库安全生产管理规定”文件。尾矿库的安全评价体系与方法,目前尚无统一的规范,基本上还处于探讨、摸索阶段。在评价体系与方法的选择、定性定量评价内容的深度与广度、评价指标的确定等方面,由于评价人员专业水平的不同,编制出的评价报告质量差异较大。作者通过收集的资料和对尾矿库现场调查研究,对尾矿库的评价体系与方法进行分析探讨,并结合对尾矿库安全现状评价工作,编制出了具有较为科学、合理、可操作的尾矿库评价体系与方法,可供评价人员和尾矿库企业人员作为参考。

## 2 尾矿库安全现状评价体系

### 2.1 尾矿设施

尾矿库安全现状的评价对象不仅仅是尾矿堆存系统,应该是整个尾矿设施。通常,尾矿设施由以下四部分组成:

(1)尾矿水力输送系统。包括尾矿浓缩池、尾矿输送管槽、砂泵站和尾矿分散管槽等,用以将选矿厂排出的尾矿浆送往尾矿库堆存。

(2)尾矿回水系统。包括回水泵站、回水管道和回水池等,用以回收尾矿库或浓缩池的澄清水,送回选矿厂供选矿生产重复利用。

(3)尾矿堆存系统。通常简称为尾矿库,包括库

区、尾矿坝、排洪构筑物 and 坝的观测设备等,用以贮存选矿厂排出的尾矿。

(4)尾矿水处理系统。包括水处理站和截渗、回收设施等,用以处理不符合重复利用或排放标准要求的尾矿水,使之达到标准。

### 2.2 尾矿坝

尾矿坝坝型可分为两大类:一类是初期坝,用土、石材料筑成,后期坝(也称为子坝)用尾矿筑成。初期坝可做成透水坝(近年来采用较多),也可做成不透水坝(国内早期采用较多);后期坝一般采用上游法筑坝,在地震较多的国家(如日本、智利等)常采用下游法或中间加高法筑坝。另一类是整个坝体全用土、石材料筑成,为延缓投资,也可分期筑坝。

目前,尾矿的湿法堆积形式有上游法、中线法、下游法、高浓度尾矿堆积法和水库式尾矿堆积法(尾矿库挡水坝)五种。

### 2.3 尾矿库安全现状评价体系

尾矿库安全评价体系将其分为 5 大单元,尾矿库安全管理单元、尾矿排放与筑坝单元、排洪系统单元、水力输送系统单元和回水系统及环境保护单元。评价内容包括:

(1)尾矿坝稳定性安全评价:尾矿坝(库)的地质情况;尾矿颗粒组成分析;尾矿物理力学特性分析;坝体结构、构造的情况;坝体沉陷、裂缝、坍塌及位移情况;坝面渗流破坏情况(包括管涌、流土等现象);尾矿堆积坝安全超高和沉积滩长度;尾矿堆积坝坝坡比及坝面防护情况;坝内排渗设施效果及坝体浸润线观测情况;尾矿坝各种安全监测设施评价分析;<sup>⑪</sup>尾矿坝静力、动力和渗流稳定分析结果。

(2)尾矿库防洪能力安全评价:尾矿库防洪标准;尾矿库调洪与排洪能力情况;排洪构筑物完好程度及可靠性情况。

(3)尾矿水力输送系统安全评价:浓缩池的安全评价分析;尾矿管槽(包括输送管槽及分散管槽)输送能力及其环境条件的安全评价分析;砂泵站的安全评价分析。

(4)尾矿回水系统安全评价:回水泵站的安全评价分析;回水管道的安全评价分析;回水水量平衡评价分析。

(5)尾矿水处理系统及安全评价:水质安全评价分析;截渗设施的安全评价分析。

(6)环境保护安全评价。

### 3 尾矿库安全现状评价方法

#### 3.1 尾矿坝坝体稳定性评价方法

由于尾矿性质极为复杂,分析条件很少常规,同时,尾矿坝技术起步较晚,尾矿坝安全稳定性分析至今未形成自身的独立分析体系,均是沿用土力学得到的传统分析方法。目前,尾矿坝的稳定性分析方法主要有三种: 极限平衡法,如瑞典法、毕肖普法、余推力法、Sarma 法等; 数值分析法,也叫应力-应变法,如有限元法、拉格朗日元法(FLAC 法)、边界元法等; 概率分析法,如蒙特卡洛法、统计矩阵等。

极限平衡法原理简单、实用性强、能够直接提供坝体稳定性的定量结果,所以应用较广;数值分析法是通过建立数学模型,选择材料的本构模型,来模拟求解坝体的应力应变值,然后再按照一定的准则,判断并给出坝体的稳定性区域等指标;概率分析法则是在上述计算方法的基础上,进一步给出坝体的稳定性的概率或坝体失稳破坏的概率。

一般而言,对尾矿坝工程的稳定性分析,先是确定计算剖面,然后进行极限平衡的分析与计算,之后再作数值分析,以检验极限平衡法的结果,最后采用概率分析法,以确定坝体工程破坏风险程度。

目前,尾矿坝的稳定性分析方法主要是极限平衡法,根据《选矿厂尾矿设施设计规范》(ZBJ1-90)第 3.4.1 条规定:尾矿初期坝与堆积坝坝坡的抗滑稳定性应根据坝体材料及坝基土的物理力学性质,考虑各种荷载组合,经计算确定;计算方法宜采用瑞典圆弧法。当坝基或坝体内存在软弱土层时,可采用改良圆弧法;考虑地震荷载时,应按《水工建筑物抗震设计规范》的有关规定进行计算。

#### 3.2 尾矿坝溃坝事故危险性预先分析法

尾矿库溃坝事故是尾矿库重大危险,其危险性预先分析(PHA)结果见表 1。

表 1 尾矿库溃坝事故危险性预先分析表

Table 1 The PHA on caving fault of tailing pond

潜在事故	产生原因	事故后果	危险等级	措施
(1) 坝体整体失稳	库内存水过多; 汛期雨量大; 地震; 排水构筑物堵塞、损毁; 尾矿库坝体出现裂缝、滑坡、渗漏以及管涌流土; 坝体施工不当	尾矿坝垮塌,形成泥石流,导致人员伤亡、财产损失和严重的环境污染; 尾矿坝局部滑坡、沉陷,威胁整体的安全	危险	认真选址,并做好工程地质勘察工作; 请具有资质和经验的设计人员精心设计尾矿坝,严格审查设计方案; 严格实行工程监理制,确保尾矿坝施工质量
(2) 尾矿坝的渗漏	尾矿排放超过设计标准; 坝体厚度窄	有毒有害液体泄漏,造成环境污染; 尾矿坝垮塌,导致人畜伤亡、房屋倒塌	危险	严格设计方案审查制; 严把施工质量和施工材料质量关; 查清渗漏部位和施工原因,及时堵漏; 建立完善的排渗设施; 加强监测,注意坝体浸润线出溢点的变化

#### 3.3 尾矿设施安全检查表法

##### 3.3.1 尾矿库安全检查表定量赋分

尾矿库各单元赋分及表中各项分数,根据尾矿库易出现事故的频率、危险程度及危害等级赋予分值。尾矿库安全检查表总分为 100,尾矿库安全管理单元 40、尾矿排放与筑坝单元 20、排洪系统单元 20、水力输送系统单元 10、回水系统及环境保护单元 10。

##### 3.3.2 尾矿库各单元安全检查表

尾矿库各单元安全检查表内容见图 1,具体内容如表 2 至表 7 所示。

表 2 尾矿库安全管理单元安全检查表

Table 2 Safety assessment table on safety management unit of tailing pond

检查项目	安全标准	目标分数	得分	备注	检查项目	安全标准	目标分数	得分	备注
(1) 尾矿库管理机构设置	设置尾矿库日常管理机构	2			尾矿库(坝)在汛前、汛期、汛后必须进行大 检查,带病运行的尾矿库在汛期 中增加检查次数		2		
	尾矿库专职巡逻、维护人员	2							
	制定尾矿库安全工作年度计划和长远规划	2							
	建有尾矿库安全生产规章制度和应急预案	3							
(2) 尾矿库管理档案情况	建设文件及具有相应资质设计单位出具的设计书	1			尾矿堆存作业严格按设计进行 对坝体及库水位的各种监测要按计划定期 执行,并在汛期适当增加监测次数 周边山体无滑坡、塌方、泥石流 库区周围无违章建筑,无违章施工、爆破、 采石和违章民办采选活动 库内无违章取尾矿再选,无外来尾矿、废 石、废水和废弃物排入,无放牧和开垦 库区有岩溶或裂隙时,确保泄漏时不会对 周边及下游造成污染 上坝道路、通讯、供电及照明线路可靠和畅通		2		
	组织机构和规章制度建设资料	1							
	特种作业人员的安全技术培训和持证上岗情况	2							
	尾矿库各构筑物运行记录	1							
	事故隐患的整改情况	3							
(3) 尾矿库(坝)维护管理	尾矿库的检查周期:“危”级尾矿库每周不少于 1 次,“险”级尾矿库每月不少于 1 次,“病”级尾矿库每季不少于 1 次,正常库的 检查每半年不少于 1 次	3					2		
							1		
					(4) 最小滩长符合设计及有关规定要求		3		
				沉积滩	滩面均匀平整,坡度符合设计及规范要求		2		
					合计		40		

表 3 尾矿排放与筑坝单元安全检查表

Table 3 Safety assessment table on damming and discharging unit of tailing pond

检查项目	安全标准	目标分数	得分	备注	检查项目	安全标准	目标分数	得分	备注
(1) 初期坝	坝的上下游坡比符合设计及规范要求	0.5				坝面修筑人字沟或网状排水沟,或坡面植草,或采用碎石、废石或山坡土覆盖坝坡	0.5		
	透水堆石坝设置反滤层,采用土工布组合反滤层时,土工布嵌入坝基及坝肩的深度不小于0.5m,并需用土料填实;不透水坝设置防水层	0.5			(4) 尾矿排放	尾矿排放按设计进行,尾矿颗粒从粗到细分布,在有效沉积滩范围内,无大面积和较厚的矿泥沉积	0.5		
	坝顶宽度及路面构造符合设计要求及规范要求	0.5				坝顶放矿支管的间距应采用 8~15m	0.5		
(2) 子坝	子坝堆积材料符合设计及有关规定要求	0.5				矿浆流量和浓度稳定,并无沿子坝内坡趾横向流动冲刷坝体现象	1.0		
	子坝最小安全超高满足设计及规范要求	2.0				同时放矿的支管断面面积之和应为主管的 1.5~2 倍	0.5		
	子坝堆积碾压或夯实	0.5				较长的尾矿坝应用矿浆阀门将主管分成几段放矿	0.5		
	子坝上不得设置泄洪口	0.5				上游法筑坝,采用坝前分散放矿或水力旋流器分级排矿,不得从库后排矿;冰冻期、汛期、事故期或某种原因,确需从库后、库侧、库周放矿,必须保证不会危及坝体安全	0.5		
	子坝外坡坡比符合设计	1.0							
	子坝轴线避开沟谷	0.5							
	地震 7 度以下地区可采用上游式筑坝,否则采用下游及中线式筑坝或其它筑坝方法	0.5							
	子坝坝顶宽度及最终高度符合设计及规范要求	2.0							
(3) 坝体	坝基无透水性较大的厚层砂砾石,无容易液化土、软黏土和湿陷性黄土,以及无溶岩发育,并且设有排渗褥垫	1.0				为满足坝顶放矿管移管堆坝的需要,应设置向库内集中放矿的管道,寒冷地区还应设置冰下放矿的措施	1.0		
	尾矿堆积体内设置水平排渗管(沟)及排渗井	1.0				寒冷地区在冰冻期,采用库内冰下放矿,不得在坝前分散放矿	0.5		
	与山坡接触处的尾矿堆积坡脚处设置有帖坡排渗或排渗管(沟)等	0.5				岩溶或裂隙发育地区的尾矿库,采用周边放矿,藉以形成防渗垫层,减少渗漏和落水洞事故	1.0		
	坝面无渗漏、管涌、沼泽化、裂缝和滑坡现象	1.0							
	堆积坝坡无冲沟,坝端有截水沟,无雨水冲刷坝肩	1.0							
					合计		20		

表 4 尾矿库排洪系统单元安全检查表

Table 4 Safety assessment table on flood discharging unit of tailing pond

检查项目	安全标准	目标分数	得分	备注	检查项目	安全标准	目标分数	得分	备注
(1) 排洪系统检查	排水构筑物按设计施工,满足排洪能力要求	3.0			(2) 洪水控制	库内设醒目的水位观测标尺,标明正常水位及警戒水位	1.0		
	排水井无剥蚀、剥落、渗漏、裂缝,井口水面无漂浮物	1.5				水边线与坝顶轴线基本保持平行,弯曲度变化不大	1.0		
	排水斜槽无损毁、坍塌、裂缝、渗漏、淤堵	1.5				水边线远离坝顶安全位置,不得逼近坝前,也不得偏于坝端或一侧	1.0		
	排水涵管无破损、断裂、磨蚀、裂缝、渗漏、淤堵	1.5				泄空库池或大幅度降低水位时,控制流量。若非情况特殊,不得高速骤降	0.5		
	溢洪道无淤堵、开裂、损毁	1.5				位于地震区的尾矿库,有地震预报时,必须按设计要求及时采取措施降低库水位和坝体浸润线	1.0		
	截洪沟无淤堵、开裂、损毁	1.5				岩溶或裂隙发育的尾矿库,加强巡视和细心观察库池水变化情况,发现水变浑浊和气泡及旋涡,须查明原因并及时处理	2.0		
	消能设施完好,无损毁、淤堵	1.0				坝外坡及其两侧沟谷,不得有地表积水;发现积水,查明原因并及时处理	1.0		
	排水系统终止使用时,排水井、管、洞的善后封堵,严格按设计方案施工。一般在井底部或支隧洞出口处封堵;通过坝下的涵管,应在外坡趾部出口外封堵	1.0				合计	20		

表 5 尾矿库水力输送系统单元安全检查表

Table 5 Safety assessment table on hydraulic-transporting unit of tailing pond

检查项目	安全标准	目标分数	得分	备注	检查项目	安全标准	目标分数	得分	备注
(1) 浓缩机	严格按设计要求及有关规定进行操作和运行,不得时停时转,并且操作人员须持证上岗,并配有劳动保护用品	0.5				间接串联或远距离直接串联的砂泵站和油隔离泥浆泵设置的逆止阀及其它安全保护装置,应经常检查和维护	0.5		
	开、停机前预先通知主厂房和泵站采取相应的安全措施,且不得使浓缩机超负荷运行	0.5				矿浆仓在来矿处设置的隔栅和仓内设置的水位指标装置应经常冲洗与维护,进入仓内的矿浆或补充水的落点应远离矿浆排矿口,防止空气进入泵内	0.5		
	浓缩机有过载报警保护装置、必要的计量及检测仪表,并且需操作、检修的部位设有照明设施	0.5				设置必要的辅助设施	0.5		
(2) 浓缩池	浓缩池的来矿流槽进口、溢流出口处的隔栅与挡板装置及排矿管(槽、沟)易发生尾矿沉积的部位应定期冲理,且检修部位设有照明设施	0.5			(4) 管槽沟渠洞	加强管理、维护及定期巡视,保持畅通无阻	0.5		
	给入和排出浓缩池的尾矿浆浓度、流量、粒度、密度和溢流水水质等应符合设计要求,并定时测定	0.5				严禁将坝上管、槽、闸、阀等杂物埋入坝内	0.5		
						寒冷地区有防冻措施	0.5		
(3) 尾矿泵站	定期检查维修设备仪器,保证矿浆稳定,无漏损送至尾矿库	0.5				压力输送管道有备用线路,并保持完好	0.5		
	严格按安全生产条例和设备仪器的有关技术规定进行操作	0.5				尾矿输送管道 V 形管段的管径不大于临界管径,最低处设有排矿口,并且尾矿管道上的截流阀门应选用矿浆专用阀门	0.5		
	储备有易磨损物品的备件和备用的设备、仪器、仪表等,并保持完好,磨损部件应及时修补或更换	0.5			(5) 矿浆池	每台(组)泵有单独的矿浆池;对于矿浆泵应满足设计及技术要求;兼起调节和事故池作用的矿浆池容积加大;若使用油隔离、水隔离泥浆泵时,矿浆池前设置隔网	1.0		
	事故池要定时清理,并保有足够的容积;事故的尾矿溢流不得任意排放	0.5				矿浆池可设在室外,有溢流管,并设斜梯、池内爬梯及有栏杆维护的操作平台	0.5		
						合计	10		

### 3.3.3 尾矿库定性定量评价指标的确定

按照原国家经贸委 20 号令,根据尾矿库的防洪能力和尾矿库坝体的稳定性,尾矿库安全度分为危库、险库、病库和正常库。

若尾矿库只要有一条属于危库、险库及病库安全度分类中的隐患,则属于危库的,安全检查表得分总分扣 30 分;属于险库的安全检查表得分总分扣 20 分;属于病库的,安全检查表得分总分扣 10 分。

表 6 尾矿库回水系统及环境保护单元安全检查表  
Table 6 Safety assessment table on environment protection  
and backwater unit of tailing pond

检查项目	安全标准	目标分数	得分	备注
(1) 回水	尾矿库回水水量保持平衡	1		
	有专人管理回水系统,并定期检修	1		
	回水泵站设必要的维护设施	1		
	围船回水时,走道牢靠并有护栏,且围船负载量不得超过其设计要求,兼有排洪功能时,要有应急措施	1		
(2) 环境 保护	排放的尾矿水,其水质应符合工业废水排放标准的规定	1		
	城镇集中式生活饮用水水源的卫生防护地带和风景游览区,不得排入尾矿水	1		
	在城镇、工矿区或农村集中取水点上游排放尾矿水时,应保证经地面混合稀释后,排出口下游最近用水点的地面水水质符合“工业企业设计卫生标准”的规定	1		
	不得直接向水产养殖场排放尾矿水;尾矿水排入地面后,在最近的渔业水体的水质,必须符合渔业水体的要求	1		
	利用尾矿水灌溉农田时,其水质必须符合农林部制定的有关规定	1		
	库内无尾矿粉尘飞扬	1		
合计		10		

在实际评价中采用综合评价得分给尾矿库安全度分类。分类如下:危库:综合评价得分 60 分以下;险库:综合评价得分 60~70 分;病库:综合评价得分

70~85 分;正常库:综合评价得分 85 分以上。

4 结 论

作者根据以上提出的尾矿库安全现状评价体系与方法,先后在近 40 个尾矿库安全现状评价中应用。在评价中,既有定性的评价内容,又有定量的评价指标,该评价体系科学、合理、可操作性强,并具有一定的广度和深度,尤其是各单元的安全检查表,通过现场对照检查,容易查找出尾矿库在运行中存在的安全隐患或可能出现的危险因素,便于评价人员根据安全检查表查找出其安全隐患及危险因素,制定相应的整改措施。

参考文献:

[1] 国家安全生产监督管理局. 安全评价[M]. 北京:煤炭工业出版社,2002.  
[2] 李作章,徐日升,穆鲁生,等. 尾矿库安全技术[M]. 北京:航空工业出版社,1996.  
[3] 赵晖. 尾矿工程[R]. 长春:冶金工业部长春黄金设计院,1986.  
[4] 徐世升. 对尾矿筑坝方法的评价[A]. 冶金矿山尾矿库技术交流会文集[C]. 北京:冶金工业部矿山生产技术司,1987.  
[5] 尾矿库安全管理规定(中华人民共和国经济贸易委员会 20 号令)[S]. 2000 - 11 - 06.

(上接第 52 页)

[18] Limpo J L, Figueiredo J M, Amer S, et al. The CENIM- LNETI process: A new process for the hydrometallurgical treatment of complex sulphides in ammonium chloride solutions[J]. Hydrometallurgy, 1992, 28: 149 - 161.  
[19] Sahoo P K, Rath P C. Recovery of lead from complex sulphide leach residue by cementation with iron [J]. Hydrometallurgy, 1998, 20: 169 - 177.  
[20] Kappes D W. Chloride leaching for silver, copper, lead and antimony- Industrial experience in the 600 tonne/ day itos, Bolivia, Plant[A]. Chloride Metallurgy[C]. 2002, Volume: 1, 69 - 82.  
[21] Habashi F. The leaching of sulfide minerals in chloride media[J]. Hydrometallurgy, 1995, 38, 219 - 224.  
[22] Cazorla A. State of technological development in Spain of hydrometallurgical processes for the treatment of aggregate concentrates of polymetallic sulphides [A]. 15th World Mining Congress[C]. Tiasa, Madrid, Spain, 1992, Vol. , 817 - 827.  
[23] Liao M X, Deng T L. Zinc and lead extraction from com-

plex raw sulfides by sequential bioleach and acidic brine leach[J]. Minerals Engineering, 2004, 17(1): 17 - 22.  
[24] Flett D S. Chloride hydrometallurgy for complex sulphides: A review [J]. Chloride metallurgy, 2002, Vol. , 255 - 276.  
[25] Chen A A, Dreisinger D B. The ferric fluosilicate leaching of lead concentrates: Part I, Kinetic Studies, Metal [J]. Met. Trans. B, 1994, 25B(8): 493 - 480.  
[26] Taylor P R, Edger Y C, Vidal E. Fluosilic acid leaching of galena [A]. Hydrometallurgy 2003- Fifth International Conference in Honor of Professor Ian Ritchie Volume I: Leaching and solution purification[C]. TMS, 2003, 461 - 473.  
[27] Pashkov G L, Mikhlin E V. Effect of potential and ferric ions on lead sulfide dissolution in nitric acid[J]. Hydrometallurgy, 2002, 63: 171 - 179.  
[28] Exposito E, Gon251ez Garcia J, Bonete P, et al. Lead electrowinning in a fluoborate medium. Use of hydrogen diffusion anodes[J]. Journal of Power Sources, 2000, 87(1 - 2): 137 - 143.