维普资讯 http://www.cqvip.com

文章编号:1009-0622(2007)06-0011-05

中国钨矿选矿的百年变迁

林海清
(赣州有色冶金研究所,江西 赣州 341000)

摘 要:中国的钨矿床发现百年,钨矿选矿经历了从手拣露头块钨、简单人工淘洗、引入简单机械选矿到大规模规范流程机械化选矿,从单一重选发展成重选-磁选-电选-化选多种方法相结合、综合回收钨矿中多种金属矿物的新型选矿工艺,展现了中国钨矿选矿百年发展的非凡历程。

关键词:钨矿选矿;百年变迁;典型流程;综合工艺
中图分类号:F426.1;TD954 **文献标识码**:A

0 引 言

据《赣南钨矿志》和《大余县志》记载,清朝光绪三十三年前中国钨矿发现于江西省大余县西华山,并开始手拣选矿,距今已有百年历史[1]。

百年来,我国钨矿的选矿经历了由单纯的手拣露头块钨到简单的水力淘洗,由简单机械重选到规范化流程重选,从单一重选工艺到重选、浮选、磁选等多种工艺的应用,从单一回收钨矿物到综合回收伴生多金属矿物,从单独钨矿床开发利用到伴生于其他矿床中钨矿物回收的发展,充分展示了中国钨矿选矿业随国家经济发展而不断发展的进程。

1 手工开采期钨矿的选矿[1]

1908年至1936年是我国钨矿手工开采期。最初只是在西华山钨矿露头拾拣和采出块钨。1914年又在湖南宜章县的瑶岗仙和河北省迁安县的大泉沟鹦鹉山发现了钨矿,并开始民采。当年手拣块钨的全国产量(含WO_3为60%的精矿)达到18 t。第一次世界大战爆发后,钨精矿需求数量大增,开采钨矿获利丰厚,南方诸省兴起钨矿找矿采矿热潮。1918年又在江西的大吉山、盘古山、下垄、漂塘、荡坪,广东的石人嶂等地发现钨矿区,大量民工拥入矿山开采,1918年全国钨精矿产量就达到10 577 t,占当年世界总产量31 992 t的33.1%,跃居世界第一位。

当时钨矿的选矿全部是手工作业。首先从开采出来的矿石中拣出块钨和富连生体矿块,然后将连生体矿块锤碎,用木槽或戽斗淘洗,剔除大部分脉石后,再将装入竹筛,置入装有水的木桶中手工震荡筛洗,获得"净砂",然后将"净砂"中的硫化矿、锡石等杂质矿粒用手或竹钳逐粒挑出,最后得到"钨砂"(即钨精矿)。这种手工工艺极其落后,细粒钨矿物基本无法回收,资源浪费极大。

此时,钨矿全系私商经营,只行收购钨砂,再转售给中、外商行出口,并无组织生产。1914年至1936年间共生产钨砂118 511 t,年均产量达5 153 t。

2 国民党统治时"专营"期钨矿的选矿[1]

所谓"专营"时期,是指1936年至1948年间,国民党政府"资源委员会"于1936年3月在江西南昌设立钨业管理处,并在湖南长沙设立分处时起,对钨精矿统购统销,实行专营的时期。这个时期,钨矿的生产绝大部分仍为民窿手工采选。钨业管理处除统一收购钨精矿外,也在大吉山、西华山、岿美山、画眉坳、小龙和瑶岗仙等矿区开办了少量的"自办工程",进行国营的开采和钨砂净选。

这个时期开始引入少量的选矿机械和其他工艺,改善了钨精矿的质量。1936年从德国购进了旋转式磁选机,安装在湖南长沙和江西大余等地进行"净砂"的集中精选,以脱出锡、硫等杂质,这是我国钨矿选矿首次应用选矿机械和首次出现磁选工艺。1941年"资源委员会"锡业管理处在广西桂林建立选炼厂,使用了从美国购进的汀氏(Ding's)磁选机,精选广西、湖南、广东所产钨、锡毛砂,并炼锡。1942

收稿日期:2007-11-08
作者简介:林海清(1939-),男,江西萍乡人,选矿教授级高级工程师。

维普资讯 http://www.cqvip.com

年在湖南零陵兴建了反射焙烧炉,进行焙烧除砷,这也是我国钨矿选矿中采用化学处理工艺的开始。这样就进一步提高了钨精矿的质量,使当时所产钨精矿达到与德国签订的所谓"汉堡标准"质量的要求:即 WO_3 含量大于 65 %,含 Sn 小于 1.5 %,含 As 小于 0.2 %。这就是我国执行的第一个钨精矿标准。

1943 年在湖南沅陵境内的东安矿区首次发现了与金、锑共生的白钨矿,并开始了在回收金、锑的同时也一同回收白钨矿,此后,我国钨矿选矿就进入了黑钨矿和白钨矿一并回收的时代。1947 年又在湖南瑶岗仙矿区发现了矽卡岩型白钨矿床,但未正式采选。

此期间共生产钨精矿 118 741 t,年均产量达 9895 t,解放前钨精矿产量最高的 1937 年全年产量达到 17895 t。与此同时,开始注意钨矿正规开采的装备问题,1948 年"资源委员会"从美国丹佛(Dever)设备公司购进了一整套处理能力为 100~150 t/d 的重选设备,尚未来得及安装,全国就已经解放了。

3 蓬勃发展期钨矿的选矿[1]

这个时期从中华人民共和国成立到 20 世纪 80年代中期。随着新中国成立,生产力得到解放,各项事业蓬勃发展,钨矿业发生了翻天覆地的变化。

3.1 我国第一座机械化重选厂的兴建

1950 年 10 月,在大吉山钨矿开始破土兴建我国第一座机械化重选厂,安装了原国民党"资源委员会"从美国丹佛公司购进的整套重选设备,1952 年 12 月这座日处理合格矿石能力为 100~150 t 的小型重选厂竣工投产。这个钨矿选矿厂的生产流程如图 1所示,主要设备见表 1。

这个重选流程投产不久就发现许多严重缺陷,例如:跳汰尾矿经棒磨磨矿后与螺旋分级机构成闭路,螺旋分级机溢流难以排出摇床分选的粒级,造成螺旋分级机经常被埋死,生产流程难以畅通;摇床只出两种产品,导致尾矿品位高,金属损失甚大。在原

表 1 我国首座 125 t/d 钨矿机械化选厂主要设备

设备名称	型号	规格	数量
颚式破碎机		200mm×500mm	1
对辊破碎机		675mm×350mm	1
振动筛	丹佛式	3 呎×6 呎	1
跳汰机	丹佛旁动隔膜式	B×L=300mm×450mm	3
摇床	威氏肘板连杆式	B×L=1 800mm×4 500mm	5
棒磨机		直径×长度=3 呎×8 呎	1
单螺旋分级机		直径 900mm	1
水力分级机	丹佛式	200mm×200mm	1
浓泥斗	圆锥式	直径 1 800mm	1
砂泵	立式	2 吋	3

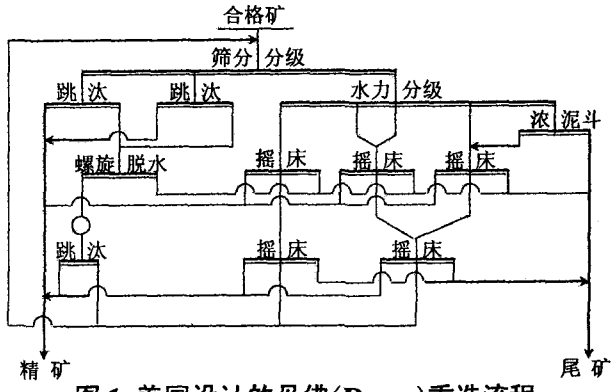


图 1 美国设计的丹佛(Dever)重选流程

矿含 WO_3 达 1 %时,选矿回收率只有 64 %左右,实际生产能力也只能达到 70~80 t/d。后经改造,取得明显效果,1955 年实际处理能力达到 125 t/d,选矿回收率也提高到 74 %以上。技术改造后的生产流程如图 2 所示,这个重选流程在我国"一五"期间被广泛采用,称之为我国黑钨选矿的第一个重选通用流程。

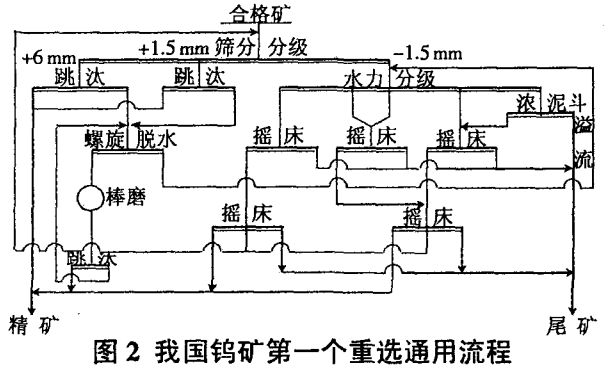


图 2 我国钨矿第一个重选通用流程

3.2 我国最大的三座黑钨矿机械化重选厂的建设

为了适应我国国民经济发展的需要,国家决定将地质资源较丰富、开采条件较好的大吉山、西华山和岿美山三个矿区列入第一个五年计划由苏联援建的 156 项重点建设项目中,拟新增钨精矿生产能力 16 200 t/a,相当于我国"一五"平均年产量 32 620 t的 49.6 %。新建大吉山、西华山和岿美山选矿厂的生产规模分别为日处理合格矿石 1600 t、1 875 t 和 1 560 t,分别于 1959 年 1 月、1960 年 4 月和 1960 年 7 月正式竣工投产,这是我国,也是世界最大的三座黑钨矿选矿厂。选矿工艺按破碎、手选、重选和精选三大部分设置,除手选外,其他工序全部机械化。这一新设计的重选流程被我国钨矿界称之为米哈诺布尔(Mihanoper)重选流程,该流程特点是三段磨矿、阶段选别、多次回路、宽级别跳汰、多级别摇床。设计的选矿主要技术经济指标见表 2。

此外,"一五"期间,我国还在 18 个钨矿区建成了中、小型机械化钨选厂 21 座,其中处理合格矿石能力为 500 t/d 的选厂有盘古山,250 t/d 的选矿厂有

维普资讯 http://www.cqvip.com

表2 三大钨选厂原设计的技术经济指标

选矿厂	出窿原矿处理能力/t·a⁻¹	钨精矿产量/t·a⁻¹	废石选出率/%	WO_3品位/%			选矿回收率/%
				原矿	精矿	尾矿	
大吉山	812000	6862	35	0.63	65	0.09	87
西华山	765000	5400	20	0.53	65	0.095	84
岿美山	610000	4000		0.53	65		80.5

画眉坳、浒坑、瑶岗仙、湘东、石人嶂和大吉山(2座)等7座，125 t/d的选厂计有小龙、漂塘、杨眉寺等3座，50 t/d的选厂计有漂塘的大龙山、铁山垅的黄沙、荡坪的生龙口和半边山、西华山、湘西、湘东的腰坡里、大埠的石人坑、杨眉寺的平安坳、金华山等10座。这些选厂基本都按图2所示的第一个重选通用流程设计，普遍采用了颚式和辊式破碎机、机械振动筛、棒磨机、球磨机、跳汰机、摇床、螺旋分级机、水力分级机等选矿机械。钨矿选矿机械化水平由1953年的2.6 %提高到1957年的72.12 %。至此，我国钨矿选矿基本结束了手工作业。在此阶段钨矿选矿技术管理也开始了规范化，各选矿厂都制定了选矿技术操作规程、设备操作条件卡片、工人岗位操作法、设备使用维修规程等技术规程；并且注重提高选矿技术水平，大力开展技术革新。例如：实行分级手选、单独选出块钨和富连生体，实行闭路碎矿、确保重选入选粒度，双筛喷水湿筛，提高筛分效率；贯彻早收多收原则，在水力分级前增加跳汰作业，实行三级跳汰、五级摇床、摇床中矿再磨再选、细泥集中归队用溜槽-摇床工艺单独处理；推广枧浮脱硫、枧浮附加小床面和吹气等技术，提高钨精矿脱硫效率。这些选矿技术的推广应用，取得明显技术经济效果，例如：盘古山钨选厂的选矿回收率就由1955年的66.9 %提高到1956年的82.43 %。

3.3 钨矿选矿生产流程经典化，选矿技术成熟化

经过“一五”和“二五”初期大量机械化钨选厂的建设，我国钨矿选矿技术逐步进入稳健发展和成熟期。对从外国引进的丹佛重选流程和米哈诺布尔重选流程进行了消化、分析，并结合我国黑钨矿石的特性，进行了合理的改进，形成了更切合生产实际而又被广泛采用的我国黑钨矿选矿经典重选流程，即第二个钨矿通用重选流程(见图3)。此后，大多数黑钨矿重选流程与此大同小异，只是中、小型钨选厂细泥处理一般采用刻槽细泥摇床和弹簧摇床工艺。

此阶段，在粗选作业中除保持了以分级反手选为主的手选工艺外，还应用了光电选矿和重介质选矿技术；在钨细泥处理中全面推广应用了弹簧刻槽摇床和离心选矿机，钨细泥处理由单一的摇床分选工艺发展为摇床-离心机-皮带溜槽（或振摆皮带溜槽）工艺、摇床-磁选-浮选工艺；甲苯胂酸、苄基胂

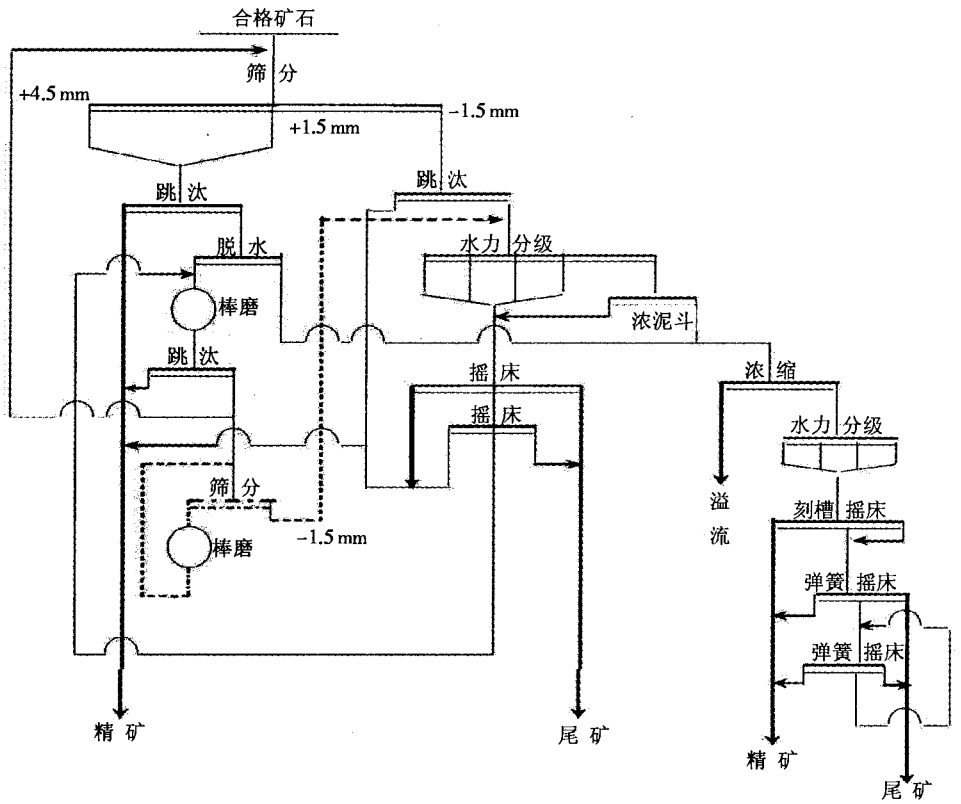


图3 我国黑钨矿选矿经典重选流程

维普资讯 http://www.cqvip.com

酸、埃罗索-22等氧化矿捕收剂也开始在钨细泥浮选中应用，使钨细泥有效回收粒度下限达到0.019 mm，提高了钨细泥的回收率和细泥钨精矿品位，钨细泥作业回收率一般由30 %~40 %提高到40 %~50 %；在重选和精选中还注意了钨矿伴生有用金属矿物的综合回收，建国初期只能综合回收锡，到20世纪80年代已可以综合回收锡、钼、铋、铜、铅、锌、铍、硫、稀土等矿，且回收效率不断提高，1957年每生产1 t钨精只能回收钼精矿8.57 kg，1983年就已提高到15.9 kg，是1957年的1.87倍。

1967年我国第一座采用全浮选工艺的白钨矿选矿厂——荡坪钨矿宝山选矿厂投入生产。投产初期，沿用了以油酸为捕收剂的“彼得洛夫法”加温浮选，后改用731氧化石蜡皂为捕收剂的常温浮选法，不但使白钨回收率由原工艺的64 %提高到80 %左右，还节省了能源，选矿药剂的费用也下降了60 %。这是我国首次成功地在白钨选矿生产中大规模采用氧化石蜡皂常温浮选法。此后，这种工艺在我国其他钨矿的白钨浮选中逐步推广应用。

自20世纪60年代开始，钨矿选矿的技术管理工作也逐步完善。1960年12月在江西赣州召开的全国有色选矿技术经验交流会上，总结出了钨选矿技术管理的“精工细作，早收多收”的八字方针和“净、控、早、匀、分、细、集、综、杜、省”的十字要诀。它具有普遍实际的指导意义，成为操作性较强的技术管理措施，长期以来，在钨矿选矿生产中都起了重要作用，迄今仍对加强钨选矿技术管理具有实效。

此时期，我国钨选矿技术已经日臻成熟，钨选矿技术经济指标也大幅提高，并且保持于稳定较高的水平。例如：全国钨精矿产量最多的江西省自1965年以来，在出窿原矿品位逐年下降的情况下，全省综合的钨选矿回收率一直稳定在84 %~85 %的水平。表3就反映了江西全省钨选矿主要技术经济指标历年的变化，表明了我国钨选矿主要技术经济指标已经跨入世界先进行列。

表3 江西省钨选矿历年主要技术经济指标

年份	出窿原矿 WO_3 品位/%	尾矿 WO_3 品位/%	选矿回收率/%	选矿比
1956	0.571	0.156	71.62	156
1959	0.500	0.098	80.70	158
1962	0.385	0.083	79.88	210
1965	0.301	0.047	84.90	255
1968	0.284	0.044	84.09	274
1971	0.279	0.046	84.21	277
1974	0.250	0.040	85.11	318
1977	0.269	0.042	84.96	289
1980	0.246	0.039	85.40	310
1985	0.277	0.044	84.50	289

4 改革开放以来钨矿选矿的发展[2-5]

进入20世纪80年代以后，我国钨矿选矿技术和生产工艺都进入相对较稳定的时期，特别是粗选和重选工艺基本没有多大的变化。

由于整个20世纪90年代世界经济的不景气，对钨精矿的需求量大为减少，作为世界最大的钨精矿生产国和出口国的中国深受影响；加之国内一度出现钨矿无序开采、钨精矿出口数量失控，国际钨精矿价格低迷，整个20世纪90年代国际钨精矿价格不及1977年时170.95美元/吨度的三分之一，钨矿山生产一度处于艰难境地，以致不少钨矿山不得不暂时停产，选矿技术发展亦深受影响。

随着我国经济建设改革开放的深入，产业结构的调整，大多数钨矿山都进行了股份制改革，钨矿区逐渐恢复了有序开采，一度乱采滥挖的情况得到遏制；钨行业结构作了合理调整，开始注意大力发展钨的深加工产业，力求以钨制品取代钨精矿出口。1998年与1990年相比，我国钨品出口中钨精矿的比重由46.5 %减少到0.4 %，氧化钨、钨酸盐、钨铁、钨粉、钨材的比重增加到99.6 %，尤其是深加工品的钨粉、钨材等的出口比重由1990年的2 %增加到2004年的34.5 %。从2000年起我国完全停止了钨精矿的出口，反而开始从国外购进钨精矿。同时，也注意了钨生产和出口配额的控制，促使了国际和国内钨精矿价格的上涨。这样，大大增加了钨矿企业的利润空间，推动了钨矿业的发展，加速了老矿区残矿的回收、边沿低品位矿脉的开采和选矿，出现了许多日处理原矿30~50 t、甚至十数吨的小型选矿场。因为钨矿价格的提升，这些小规模的选矿厂(场)也改变了以往手工作业的选矿方法，尽管厂房简陋，但一般都装备了破碎筛分机械和跳汰机、摇床等重选设备，以提高选矿效率。

像福建行洛坑矿区那样矿石性质较复杂、钨矿物嵌布粒度较细的钨矿床采选工程也已正式开工建设；以前不被重视的尾矿含钨资源也开始为人们所注意，例如河南栾川钼矿床中含有低品位的白钨矿，WO_3 的总储量高达60万t，至1999年底止丢弃在尾矿中的 WO_3 金属量已达3.9万t。自2000年以来，开展了尾矿中钨的回收工作，国内外一些科研机构进行了这部分白钨回收的选矿试验，取得较好的选矿试验指标。据此，已在该钼选厂处建设了一

维普资讯 http://www.cqvip.com

个处理能力为5 000 t/d 的选矿厂,专门回收钼尾矿中的钨金属,浮钨的工艺逐步完善,选矿指标渐渐提高。原俄罗斯采用代号为 P-1 的捕收剂,当浮钼尾矿含 WO_3 为 0.143 %时,工业试验获得白钨精矿含 WO_3 为 53.57 %,精选作业回收率为 71.82 %;后改为国产油酸(皂化)为捕收剂后,精选作业回收率提高到 94.38 %。目前已经正式生产,浮钼尾矿含 WO_3 已低至 0.06 %,实际生产仍产出含 WO_3 为 30 %~35 %的精矿,富集比高达 500 以上,回收率还有 50 %。

进入 21 世纪以来,钨精矿年产量已大于 5 万t,2004 年更是达到 8.5 万t的高水平;钨选矿技术进展较迅速,在重选工艺中进一步推广应用了动筛跳汰机,扩大了跳汰作业应用的粒度范围,使该作业入选粒度上限达到 40 mm,以致可取代粗选中的光电选矿作业,提高了废石选出率;用该跳汰设备还可取代下动型圆锥隔膜跳汰机和旁动隔膜跳汰机,不但提高了跳汰作业回收率,还节约了用水量。在细粒级钨矿选矿中开始注意了螺旋溜槽的应用,用它代替摇床粗选,可获得与摇床相似的指标,既可节约占地面积,又大大节省电耗和水耗。目前已进入工业应用阶段,在福建行洛坑钨矿选矿工艺中就采用了该设备。SQC 型强磁机和 SLon 型高梯度强磁机也开始在黑钨选矿中应用,可以提高细粒级黑钨矿选矿效率,还简化了选矿流程。

钨矿浮选工艺进展更迅速,无论是黑、白钨矿的选择性捕收剂或者是脉石矿物的组合抑制剂的研制和应用,都取得了很好效果。亚硝基苯胲胺盐、苯甲羟肟酸等类螯合捕收剂成功地取代原已应用的混合甲苯胂酸、苄基胂酸、苯乙烯膦酸等易带来环境污染的捕收剂,提高了钨矿浮选效率,还可以同时浮选黑钨矿和白钨矿。湖南柿竹园多金属矿选矿工艺应用了这些新型药剂的 CF 法和 GY 法后,生产流程简化,钨的选矿回收指标也有所提高(见表 4)。

表 4 柿竹园多金属矿的钨选矿技术及指标 %

工业试验时间	主干原则流程	原矿 WO_3 品位	精矿 WO_3 品位	回收率
1980年	浮-重-浮-磁-浮	0.682	68.00	74.09
1995年	重-浮	0.700	68.06	81.84
1996年	浮选(CF 法)	0.655	68.41	83.63
1998年	浮选(GY 法)	0.470	70.07	79.66

新型浮选药剂的研制和成功应用,为细粒级钨矿的浮选,特别是为细粒嵌布的黑、白钨混合型钨矿床的开发利用提供了技术支撑。随着钨精矿新行业标准 2007 年 10 月 1 日起的执行,黑、白钨不一定要严格分离,使这些新型浮选药剂更能发挥其作用,展示着混合型钨矿床有效开发利用的美好前景。

参考文献:

[1] 林海清.钨矿山[C]//当代中国有色金属工业编委会.新中国有色金属工业·钨钼工业.北京:当代中国有色金属工业编委会,1987:1-73.

[2] 林海清.钨选矿年评[C]//第七届选矿年评报告大会秘书处.第七届选矿年评报告文集.北京:第七届选矿年评报告大会秘书处,1994:85-92.

[3] 林海清.钨选矿评述[J].有色金属(选矿部分),2001,(增刊):57-63.

[4] 林海清.近 20 年来我国钨选矿技术进展[J].中国钨业,2001,16(5-6):69-75.

[5] 林海清.钨矿石选矿[M]//孙传尧.当代世界的矿物加工技术与装备.北京:科学出版社,2006:119-130.

Centennial Development of China Tungsten Mine's Processing Technology

LIN Hai-qing

(Ganzhou Nonferrous Metallurgy Institute, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract: The tungsten processing method has experienced from hand-sorting, simply hand-panning, small-scaled mechanical processing to modernized mechanical processing technology. The modernized processing technology integrates heavy processing, magnetic processing, electrical processing and chemical processing into a whole, which can make the best use of the various associated minerals in tungsten.

Key words: tungsten processing technology; centennial development; typical technology flow; comprehensive technology

(编辑:易圻封)