



第28届国际矿物加工大会回顾和论文题录

李长根

(北京矿冶研究总院, 北京 100160)

摘要:第28届国际矿物加工大会(IMPC2016)于2016年9月11日至15日在加拿大魁北克市会议中心举行。本次会议安排了3次大会报告,11场主题报告,4场座谈会。口头宣读论文633篇,其中全体大会论文5篇,分会论文398篇,座谈会论文230篇,工业墙报论文176篇,其中分会主旨论文18篇,共计论文809篇。本次大会的主题是能源、技术创新与突破以及历史遗产。在本次大会上,地质冶金学已经成为矿物加工学科的一个重要分支。农业采矿和植物采矿新概念也被提出。

关键词:国际矿物加工大会;论文题录;地质冶金学;农业采矿;浮选;物理分选;冶金

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.03.026

中图分类号:TD989 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)03-0123-06

1 概述

第28届国际矿物加工大会(IMPC2016)于2016年9月11日至15日在加拿大魁北克市会议中心举行。由CIM(加拿大矿冶学会)、MetSoc(国际矿物加工委员会冶金和材料协会)、CMP(加拿大选矿工作者协会)主办,加拿大4所大学(McGill、Queens、British Columbia和Laval大学)协办。本届大会主席由加拿大McGill大学James Finch教授担任。来自世界60多个国家1600多名专家、学者和从事矿物加工的人士参加了这次盛会。

本次会议安排了3次大会报告,11场主题报告,4场座谈会。口头宣读论文633篇,其中全体大会论文5篇,分会论文398篇,座谈会论文230篇,工业墙报论文176篇,其中分会主旨论文18篇,共计论文809篇。与会专家就物料性质表征、资产管理、碎磨、物理分选、浮选、脱水、提取冶金学、过程控制、选矿厂设计、环境及资源再生和社会责任、新的学科:包括极圈、海平面以下、空间严厉的环境等11个方面进行了充分交流。召开了湿法冶金中的铁控制座谈会、电冶炼座谈会、稀土金属座谈会和轻金属及其化合物生产、加工及利用座谈会。会议为厂商安排了90个展区。

2 大会主题

本次大会的主题是能源、技术创新与突破以及历史遗产。

2.1 能源方面

全体大会上宣读了两篇有关能源方面论文:能量的成功管理和能量生产率。

能量的成功管理:除了明显的和有形的采矿和矿物加工对环境的影响外,还有一些隐藏的和可能更险恶的环境影响和社会影响。如矿物提取、加工和处置所用能量产生的温室气体。矿物加工通常是矿业最大能量消耗过程。根据节能碎磨联合体的看法,碎磨作业一般是矿业最大的用户。这意味着与矿物加工相关的个人和公司在影响能量消耗和温室气体排放方面,是将自己定位于正面位置还是负面位置?论文中介绍了在今天的北美采矿和矿物加工中能量管理对经济和社会影响的重要性,以及成功的能源管理的一些简单秘诀,并提出了提高能源效率的根本途径。另外,还介绍了第一个ISO 50001能量管理标准在北美矿山中试用、磨难和成功执行过程。好的能量管理可使矿山经济运行^[1]。

能量生产率:由于商品价格的低迷,矿山公司需要进一步降低生产成本。能量费用一般占矿物加工过程生产成本的10%~12%,其大小与以下因素相

关:矿山所在的位置(距电网的远近)、矿山类型(露天开采还是地下开采)、矿体的产状和复杂程度(硬岩石还是软岩石,以及地质情况)。一般来说,节省5%能量还是比较容易做到的。而相反的是,节省能量的一些项目被矿山所拒绝,为什么?

一般情况下,现场的反映是节省的能量并不多。这是想要降低能量费用的最大挑战。然而还有很多的节省能量的机会,如缩短投资偿还期(缩短至3 a)。另外在评估能量方面经常忽略了选矿厂生产能力的提高可减少劳动力、降低维护费用和资本支出费用。

更重要的是,还有一些经常不被考虑的可降低能量费用的其他一些机会,如当地电网系统能量效率、用电条款谈判、能量契约容量等因素。矿山降低能量费用有以下机会:

1) 将能量生产率(Energy productivity, 缩写为EP)和能量效率(Energy efficiency 缩写为EE)严格地区分开来,这有助于增强降低能量费用的信心。

2) 了解当地电网系统的效率是否能保证矿山装机容量优化供给,应最大限度地利用矿山所缴的电费。

3) 确保企业处在较好的能量供给中,即很好地了解企业买了多少能量,企业消耗了多少能量。

由此可以得出结论,典型的能量费用应该包括在作为定值模型中,应用它可很好地降低一些过程变化对能量费用的影响^[2]。

2.2 技术创新的突破方面

全体大会上宣读了两篇有关技术创新突破的论文:铜金矿选矿的创新和突破以及电化学工艺的可持续发展道路。

铜金矿选矿的创新和突破:矿业发展已经历了一个世纪,但也受到了一个世纪的挑战。深埋的复杂矿体的开采是一个严重的挑战,由于矿床位于边远地区、高的能量费用、较高的水质要求和复杂的环境问题,所以需要高的投资和生产成本。此外,在开采许可程序变得越来越复杂和矿区人口不断增长的同时,矿山投资者的期望值越来越高。动态金属市场增加了这些挑战,从而影响采矿项目的长远发展和可持续性。这些挑战迫使矿业公司关注各种创新的联合方法,以满足投资者的需求。矿业公司正在慢慢地接受其他行业(如制造业、化学、制药、石油和天然气)的一些成功创新概念。本文评述了当代

矿业发展中的各种矿物加工业创新技术,论文简述了目前和未来矿业的挑战,关注满足不同投资人要求的解决问题的集成方法。专注于改变现有的开采模式的各种矿物加工工艺也提出了^[3]。

电化学可持续发展道路:电化学技术经历着可持续发展的道路。可再生风能和太阳能能源发电都存在间歇性问题,与高炉炼铁和铝冶炼等金属生产作业存在有碳排放强度问题。电化学技术可以促进技术创新和可持续发展。下面是两个应用电化学实例:1) 电解熔融的氧化物生产金属工艺(MOE法),即电解金属氧化物,生成熔融的金属和氧气。MOE法是一个环保的选择,它可代替今天的碳强度高的热化学金属还原过程,它不仅可用于粗金属生产,而且可用于危险废弃物的处置;2) 储存和供给峰值功率的固定电池。在这里需要强调的是,它具有很强大的电流容量,例如在几十米足点测量时可产生几百千安电流,其优点是电池寿命长,成本低。如此大规格的电池是使无碳再生能源技术成为可能的关键。但它不能连续发电,而需要提高当今电网的安全性。纳米介质中的电化学是这两个例子的共同特点^[4]。

2.3 历史遗产方面

湿法冶金学家对元素周期表中第26号元素湿法冶金的努力简短历史:本文评述了现代铁控制过程在湿法冶金的历史。特别关注1960年代在电解锌工业中从硫酸锌浸出液中除去铁(黄钾铁矾、针铁矿和赤铁矿)的方法。讨论行业所面临的用这个方法时所产生的铁残渣的安全处理问题。过去半个世纪的锌工业教材中说,人们正致力开发处理硫化铜精矿的湿法冶金方法。有人认为任何致力于创建一个“铜湿法冶金厂”的企图最终都注定要失败的,除非能开发一个能从溶液中回收可以直接被用于炼钢或颜料原料方法^[5]。

3 地质冶金学已经成为矿物加工学科的一个重要分支

本届大会再次以地质冶金学作为会议讨论的重点。

地质冶金学将地质学和提取冶金学结合在一起,为选矿厂设计建立预测模型,用以选矿厂设计风险管理。它包括以下4个方面^[6]:

- 1) 对多个矿石样品地质资料的选择;
- 2) 确定矿石选矿性能的实验室试验;

3)应用公认的地质统计学方法考虑这些参数在整个矿体的分布情况;

4)应用开采顺序规划和选矿模型预测选矿厂运行情况

本次会议提出多篇有关地质冶金学论文。

在地质冶金学程序中通过矿床综合模型来评价取样方法:地质冶金学的主要目的是建立一个模型来预测矿体中矿物加工性能的变化。用于建立这样一个模型的地质冶金学试验应当快速、实用、廉价,经常需要输入一些相关的数据和可测量的地质参数,如元素品位、矿物含量和矿物粒度等。对于每个地质冶金学程序,重要的是确定能可靠预测冶金结果所需要的样品个数。然而,这是一个复杂的问题,没有一个通用的答案。为了研究取样问题,建立了模拟环境,其中包括整个矿体的取样和化学分析模型。对基律纳型综合氧化铁-磷灰石矿床建立了包括综合相似变异的模拟环境,如岩石类型、矿物学、化学成分、密度和矿物结构。对这个综合矿体用戴维斯管测定了不同样品的密度,并进行了表征地质冶金学特性的磁选试验。根据试验结果,预测了整个矿体的加工性能。其预测参数包括精矿产量、铁回收率和精矿质量、磷含量和二氧化硅含量。研究表明,预测不同地质冶金学参数所需要的样品个数是不同的。预测铁回收率和精矿产量的可靠估计值需要5~10个代表性样品。但是预测铁精矿杂质含量需要的样品个数要高20多倍。这是因为矿物解离度发生变化,这表明在地质冶金学中收集矿物和矿石结构定性信息是相当重要的^[7]。

钻探岩芯结构的地质冶金学表征:近年来,随着地质冶金学的出现,人们花费巨大的努力尽早和尽可能准确地表征矿石资源的性质,以更好地设计和更高效地对选矿流程操作。在这种情况下,岩芯测井起着重要的作用,因为钻芯提供了第一个了解矿石冶金性能的信息。然而,为了满足地质冶金学要求,传统岩芯测井是不够的。需要开发新的岩芯测井自动化工具和方法,以获取与矿石可选性相匹配的矿物学数据。本文提出了一个利用岩芯结构作为基础的岩芯地质冶金学表征方法。这里的结构被定义为矿物的宏观空间分布。蒙特赖特铁矿床(加拿大魁北克)作为一个案例研究。这项工作的第一部分,旨在将分析铁矿石岩芯的结构观察结果与矿石加工性能(即碎磨和富集)有机地结合起来。初步

结果显示,样品的能量消耗和重液分离测定结果与同一样品的结构测定结果相一致。第二部分工作的目的是应用数字图像分析方法和判别函数分析方法自动鉴定钻芯结构。结果表明,该方法能鉴别蒙特赖特矿床矿石样品的结构。因此,这项工作奠定了开发一个新的表征钻芯结构工具的基础。这将允许通过鉴定钻孔岩芯的结构来早期预测矿石的加工特性^[8]。

自动定量矿物学在地质冶金学中的应用——岩浆岩铜镍矿床应用实例:大部分矿床都表现出高度的地质和矿物学复杂性,从而会影响冶金处理过程。因此,需要一个地质学、矿物学、地球化学和加工等多学科的方法来表征有用矿物和脉石矿物的性质。然而,矿物学在很大程度上提供其在冶金过程中的行为。自动定量矿物学方法可以用于从勘探到生产的整个采矿链中。本文提供了一个实例研究,自动矿物学已用于预可行性水平的地质冶金学框架中。这些研究包括从强烈的蛇纹石化岩浆型镍矿床实例(杜蒙特)到Cu-Ni(成熟的)岩浆矿床。矿物种类和含量(如黄铜矿、方黄铜矿、镍黄铁矿、磁黄铁矿)被规定为铜镍岩浆矿床模型的关键变量。对蛇纹石化镍矿石,自动矿物学用来将镍区分为硫化物中的镍矿物、镍合金和存在硅酸盐基质中的难选的镍。将矿物学结果与冶金试验工作结合起来,以建立地质冶金学模型。研究表明,与冶金相关的矿物学定量测定可降低地质勘探和流程开发过程中的存在的技术风险^[9]。

地质冶金学模型的建立——地质冶金学模型怎样与选矿厂模型相互影响和对精确协调的重要性:地质冶金学概念已经被广泛提及,在过去的几年里,已在矿业得到应用。然而,每个采矿公司对地质冶金学有着不同的理解,随着地区的不同它的实际价值也变化。即使对于正确的地质冶金学模型,在实际中观察模型时也会反复,因为预测短时期内的生产情况比较难。由于原始模型与选矿厂操作之间协调不好,所以地质冶金学模型与生产操作脱节。此外,由于缺少用于协调的程序和标准,从而影响模型的可信度和预测质量。

地质冶金学模型应包括三个不同的层次:

- 1)充分采集数据;
- 2)分析数据和建立模型;
- 3)开发区块模型。

一旦建立起了现场地质冶金学模型,那么就应开发选矿厂工业过程模型。对由基础的和标准的条件下得到的现场地质冶金学参数按比例放大到选矿厂实际操作中。最后将二者协调,并评估地质冶金学模型与选矿厂的实际操作之间发生的偏差。本文所介绍的方法已在智利的几个大型矿区应用。本文介绍了所提出的方法的特点,并定量描述了它的优点与实际操作的例子^[10]。

4 在本次大会上提出了农业采矿和植物采矿新概念

农业采矿(Agromining)又称为植物采矿(Phytomining 或 plant mining)是近几年才出现的矿业技术术语。它是一种清洁的采矿方法。所谓植物采矿,就是利用植物将特定金属从地下吸收到自己的枝叶中,然后用常规的冶金方法从枝叶焚烧得到的灰烬中回收金属。已知世界上有 400 多种植物能从土壤中吸收金属。科学家发现,印度芥喜欢吸收铬,玉米和忍冬草对黄金极有好感,苦艾喜欢锰,而松树易受铍的引诱^[11]。

在本次大会上提出了 5 篇农业采矿论文。

热带镍农业采矿的新进展:超积累植物可以用作农业采矿操作中的“金属作物”。这种新兴技术由生长在天然超基性土壤中的“金属作物”的生长产生了“生物矿石”。在典型应用中,定期收割这些植物,然后空气干燥,焚烧得到“生物矿石”。这种“生物矿石”的镍金属品位很高(镍品位高于 15%),并且纯度也高,可以加工成不同产品(如金属镍、镍基催化剂和纯的镍盐)。目前的研究致力于地中海气候地区(阿尔巴尼亚和西班牙)和热带气候地区(马来西亚和印度尼西亚)的田间试验。田间试验需要证实该法现实中的效果和经济可行性。如果试验成功,农业采矿就可以在不久的将来支持当地居民的生计。它可作为另一种类型农业—镍农场^[12]。

镍的农业采矿—一个完整的生态系统提供的服务链优化超基性岩石景观:欧洲 Compostela 蛇纹石露头覆盖面积达到 1 万平方千米。但土壤贫瘠,农作物产量低。使得这些地区的农民慢慢抛弃农业,远离农村,风景地貌区关闭。但是超基性风景地貌具有提供多样性生态系统服务的潜力,这有助于欧洲保证食物供给和可再生原料及可再生能源的生

产。植物采矿(农业采矿)目的在于栽培可超积累金属的植物,这种植物可以从富含金属的土壤中积累镍或其他战略元素,并将它们输送到枝叶中(其含量达到 1%),然后作为生物矿石被收割。可以从这种富含金属的生物质中回收高价值的金属,例如镍,同时可以生产能量(热能和电能)。所以镍的农业采矿可以作为经典的火法和湿法冶金的替代工艺,它不扰动土壤覆盖层和土壤及岩石地质。植物采矿农业生态系统可使土壤利用效率更高,可以提供一种新的以农业采矿方式的农业生产工艺,盘活欧洲几千平方千米贫瘠土地,使得当地社区得到好处,农村得到持续发展。在整个生命周期中需要对生态系统服务优化:

- 1) 可生产生物来源金属产品;
- 2) 可生产能提供能量的生物质;
- 3) 可恢复常规农业(受镍影响)土壤的肥力;
- 4) 可限制当地生物群体和农民对镍的摄取量;
- 5) 应用和保护当地生物多样性(植物、土壤动物和微生物);
- 6) 将碳储存在土壤中;
- 7) 增强景区授花能力。

所以镍的农业采矿可以改变历史贫困的欧洲超基性岩地区的平衡^[12]。

农业采矿—由超积累植物的生物质中生产镍盐:世界上 400 多种植物能够将镍积累在其地上部分(枝叶中),其浓度高于 10 g/kg 生物量。然后,可以从这些超积累植物生物质中回收镍(Ni)。农业采矿是由该类植物的生长和金属回收组成的产业链,它的发展得益于农艺学和湿法冶金技术的结合。植物可以在含有相当高浓度镍的贫瘠和受到污染的蛇纹石土壤中生长。我们可以应用这种农作物从二次资源中提取镍,并可同时通过降低土壤中的金属含量,以提高土壤质量。例如,雪香球植物(Alyssum murale)已在巴尔干地区规模种植,其产量为 110 kg Ni/公顷。湿法冶金技术已经从实验室规模扩大到中间试验规模,以生产镍盐:六水硫酸镍盐、硫酸镍、醋酸镍等。这些盐可用于表面处理、油漆和化学工业中。这些镍盐是由植物焚烧得到的灰烬制取的。其提取过程都是基于传统的湿法冶金方法:酸浸和其后的不同沉淀步骤。这些方法已经制定出来了,并已经进行了中试规模设计和试验。生命周期评估已完成。结果证明这种方法具有环境效益和抗

侵蚀战略潜在优势。经济评估证明了这个方法的可行性,最后一步是扩大规模。目前,该方法正在扩大应用于其他金属(镉、钴)和稀土元素(REE)^[13]。

适于工业化的从矿化或污染的土壤中植物采矿镍:一种新技术可用于“植物矿山”的镍开采和社区土壤的整治。使用能超积累镍的罕见植物从镍矿化或污染土壤中回收镍,其枝叶焚烧得到的干物质含有1%以上的镍。研究结果表明,一些有用的植物,甚至温带地区繁殖经改良的香雪球(*Alyssum murale*)和庭荠(*corsicum*)植物品种也适用于在商业植物采矿中应用。所有的农艺实践(施肥、土壤改良、播种和收割方法)都适用于植物采矿。在热带地区,多年生的叶下株属(*Phyllanthus*)植物可以使用,它们可以每年收割一次。我们的专利技术提供了控制富含镍土壤和污染土壤改良所要求的商业化土壤改良机遇。修复/恢复镍污染土壤的植物毒性的廉价方法已经作为农艺方法开发出来了,并在安大略科尔本港示范,但是该工艺一直要延续到政府的正式决议完成以后才能采用。在热带地区。可以采用其他一些植物物种,如叶下株属植物,其干的枝叶中积累1%以上的镍。这些植物是多年生的植物,每年收割后又可重新生长。我们的技术专利马上到期,其关键技术就会公开,可为其他组织控制富含镍的天然土壤或污染土壤整治提供商业化土壤改良机会。应用农艺学方法修复被镍所污染土壤的方法也已被开发出来了,并在科尔本港、安大略地区试验中表现出良好的经济性,该法的采用在延续到政府的正式决议完成以后。这些新的简单修复和有利可图的植物采矿技术可以从镍含量低于当前矿山开采矿石镍品位水平的土壤中获得镍,并且植物镍纯度高,可以很容易用火法或湿法冶金技术从草木灰中回收金属镍。虽然土壤pH值增大降低了镍的溶解度,但是pH值增大可增强庭荠种属植物对镍的积累。因此,一般的化学提取植物土壤中重金属方法如DTPA法或NH₄-OAc法不能预测镍在香雪球(*alys-sum*)物种中的积累^[14]。

镍的农业采矿提取冶金学:环保型的镍农业采矿法可应用超积累植物(“金属农作物”)从低镍品位土壤中提取镍金属。这个方法可以生产出高品位“生物镍矿石”。用这种给料可加工成镍产品。这种“生物镍矿石”不含杂质,加工它的工艺不像加工含镍红土矿工艺那么复杂。目前加工镍的主要技术

路线适用于“生物镍矿石”的加工。叙述了实验室规模的新的火法和湿法冶金技术路线。用这个方法可以生产氢氧化镍沉淀产品。并利用焚烧灰中水溶性的碱性化合物,以尽量减少药剂用量。该工艺适合于在小规模的靠近镍农场地区实现。在这个过程中,从碱性灰洗液中沉淀镍。从露天焚烧产生的灰烬中浸出镍需要强酸和长的作用时间,以获得高的镍回收率,因为其复杂的性质和镍在多个相中的分布。为了提高镍浸出率,可以通过优化灰化工艺来改进这个方法^[15]。

第29届国际矿物加工大会定于2018年9月15日至21日在俄罗斯莫斯科召开,俄罗斯科学院院士钱图里亚担任主办方主席,大会几个时间节点如下:IMPC2018网站开通时间为:2016年9月24日;大会网上注册开始时间为:2017年1月1日。论文摘要提交开始时间为:2017年3月1日。论文摘要提交截止时间为:2017年9月1日;专家摘要评定意见公布时间:2017年12月1日;论文提交截止时间为:2018年3月1日;专家论文评定意见公布时间:2018年5月1日^[16]。本次大会还确定第30届国际矿物加工大会在南非召开。

参考文献:

- [1] Andrew Cooper, What are we waiting for? the secret to successful energy management [C], ID: 1141, <http://www.impc2016.org/>
- [2] Mary Stewart. Energy productivity: the untapped opportunity in minerals processing [C], ID: 1130, <http://www.impc2016.org/>
- [3] Gorain, Director innovation sand breakthroughs in mineral processing that have shaped the existing mining industry B. K [C], ID: 965, <http://www.impc2016.org/>
- [4] Donald R. Sadoway, John F. Elliott. Electrochemical pathways towards sustainability [C], ID: 1142, <http://www.impc2016.org/>
- [5] A. J. Monhemius. The iron elephant; a brief history of hydrometallurgists' struggles with element no. 26 [C], ID: 1125, <http://www.impc2016.org/>
- [6] ne. wikipedia. org [geometallurgy]
- [7] V. Lishchuk, P. Lamberg, C. Lund, Evaluation of sampling in geometallurgical programs through synthetic deposit model [J], ID: 378, <http://www.impc2016.org/>
- [8] T. Grammatikopoulos, S. Downing, C. Gunning, N. M. Sciortino Hoffmann. Applications of automated quantitative miner-

- alogy in geometallurgy, examples from magmatic Ni-(Cu) deposits [C], ID:652, <http://www.impc2016.org/>
- [9] T. Grammatikopoulos, S. Downing, C. Gunning, N. M. Sciortino Hoffmann. Applications of automated quantitative mineralogy in geometallurgy, examples from magmatic Ni-(Cu) deposits [J], ID 659, <http://www.impc2016.org/>
- [10] Francisco Soto, Javier Pizarro, and Romke Kuyvenhoven. Construction of a geometallurgical model, how it should interact with the plant model and the importance of final reconciliation [C], ID:1124, <http://www.impc2016.org/>
- [11] www.bio1000.com
- [12] A. van der Ent, G. Echevarria, P. Erskine. Recent advances in developing tropical nickel agromining [C], ID:260-
- [13] M. O. Simonnot, B. Laubie, V. Houzelot, F. Ferrari, J. Rodrigues and M. N. Pons. X. Zhang A. Bani. Agromining: producing ni salts from the biomass of hyperaccumulator plants [C], ID:445, <http://www.impc2016.org/>
- [14] Rufus L. Chaney. Agricultural Research Service Phytomining of ni from mineralized or contaminated soils available to industry [C], ID 479, <http://www.impc2016.org/>
- [15] James Vaughan, William Hawker, Jeff Chen, Antony van der Ent. The extractive metallurgy of agromined nickel [C], ID:787, <http://www.impc2016.org/>
- [16] www.impc2018.org

The 28th International Mineral Processing Congress and the Thesis Topic

Li Changgen

(Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing, China)

Abstract: The 28th international mineral processing Congress (IMPC2016) hold on 11-15, September 2016, Quebec City Convention Center in Quebec, Canada. The meeting arranged for 3 times the conference reports, 11 games theme report, 4 symposiums. Oral reading 633 papers, of which 5 plenaries, the general assembly branch 398 papers and symposium 230 papers, industrial wall newspaper 176 papers, including chapter 18 keynotes, a total of 809 papers. The theme of the congress is energy, innovation and new frontiers as well as legacy. On the congress, geometallurgy has become an important branch of the mineral processing subject. The new concept of Agromining and plant mining was come up.

Keywords: International mineral processing congress (MIPC2016); Thesis topic; Geometallurgy; Agromining; Flotation; Physic separation; Metallurgy

附:

为了便于作者对第 28 届国际矿物加工大会论文查阅,将大会论文题录翻译并以 PDF 格式与本文一起上传于本刊的网站中,供参考。

第 28 届国际矿物加工大会和第 55 届加拿大冶金学家年会提交的论文共分为以下 18 个部分:

一、资产管理:取样、金属计量、调查和评估流程改进(12 篇)

二、物料性质表征:矿物学和地质冶金学(34 篇)

三、碎磨:自磨机/半自磨机、破碎机、高压辊磨机、滚筒磨和搅拌磨(48 篇)

四、物理分选:重选、磁选、静电选、拣选以及物理和化学提纯(38 篇)

五、浮选:从浮选化学到浮选机(114 篇)

六、脱水:浓缩、过滤和干燥(13 篇)

七、过程控制:仪表、建模和仿真(43 篇)

八、选矿厂设计:复合矿石联合处理流程(18 篇)

九、环境、资源再生和社会责任(27 篇)

十、新的学科:包括极圈、海平面以下、空间严厉的环境(5 篇)

十一、教育、未来的矿物加工工艺(3 篇)

十二、大会论文(5 篇)

十三、提取冶金学:湿法冶金和火法冶金(43 篇)

十四、工业墙报论文(177 篇)

十五、稀土金属(74 篇)

十六、轻金属及其化合物:生产、加工及利用(54 篇)

十七、2016 电冶炼(55 篇)

十八、第 4 届国际湿法冶金中铁控制座谈会(47 篇)