

## 绿色智能技术在伴生矿物加工中的发展现状与趋势分析

杨富强

中稀（凉山）稀土有限公司，四川 凉山 615601

**[摘要]**伴生矿物因其形成时所处的成矿环境较为复杂，物理特性也多种多样，所以其选矿的难度颇高，加工成本相对较大，而且在加工过程中还容易对环境产生影响。随着绿色加工理念以及智能化技术不断发展，伴生矿物加工开始呈现出技术创新以及方法优化的新趋势。绿色智能技术把清洁生产、节能降耗、环保药剂的应用以及智能检测、数据分析和数字化装备整合到一起，如此一来，既提升了加工效率，又大幅降低了环境负荷，为高效利用伴生矿物给予了科学方面的有力支撑。文中全面梳理了伴生矿物的特征以及绿色技术当下的发展现状，深入分析了智能化技术的应用进展，同时还探讨了绿色智能技术融合的当前状况以及未来的发展趋势，以此为伴生矿物加工的技术创新与可持续发展给予一定的参考。

**[关键词]**伴生矿物；绿色加工；智能技术；发展现状；趋势

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18296      中图分类号: TK91      文献标识码: A

## Development Status and Trend Analysis of Green Intelligent Technology in Associated Mineral Processing

YANG Fuqiang

Zhongxi (Liangshan) Rare Earth Co., Ltd., Liangshan, Sichuan, 615601, China

**Abstract:** Due to the complex ore-forming environment and diverse physical properties in which associated minerals are formed, their beneficiation is difficult, processing costs are relatively high, and they are also prone to environmental impacts during the processing. With the continuous development of green processing concepts and intelligent technologies, the processing of associated minerals has begun to show a new trend of technological innovation and method optimization. Green intelligent technology integrates clean production, energy conservation and consumption reduction, the application of environmentally friendly chemicals, as well as intelligent detection, data analysis and digital equipment. In this way, it not only improves processing efficiency but also significantly reduces environmental load, providing strong scientific support for the efficient utilization of associated minerals. The article comprehensively summarizes the characteristics of associated minerals and the current development status of green technology, deeply analyzes the application progress of intelligent technology, and also explores the current status and future development trends of green intelligent technology integration, providing certain references for technological innovation and sustainable development of associated mineral processing.

**Keywords:** associated minerals; green processing; intelligent technology; development status; trend

### 引言

伴生矿物广泛分布在各类矿床当中，其形成的过程会伴随主要矿物的结晶、热液交代以及多阶段的变质作用，使得伴生矿物在物理性质、化学成分以及空间分布方面呈现出高度复杂的状况。传统的加工方法存在着能耗过高的情况，而且资源浪费比较严重，还会对环境造成污染。绿色技术能够通过降低能耗、减少有害物质的排放以及对废弃物进行循环利用等方式，让矿物加工朝着生态友好的方向去发展。而智能化技术则是依靠自动化控制、大数据分

析还有智能装备等手段，对生产流程加以优化，提升加工的精度，并且构建起从矿石识别一直到加工全过程的数据驱动管理模式。绿色智能技术的相互融合正在逐步成为伴生矿物加工发展的重要核心方向。本文将会全面且细致地分析绿色技术以及智能化技术在伴生矿物加工当中的实际应用状况，从而为达成高效、绿色并且智能的伴生矿物加工目标提供一定的参考依据。

### 1 伴生矿物的特征与形成机制

伴生矿物的形成同地质演化过程有着极为密切的关

联,其生成机制以及物理特性一道,确定了它在矿物加工以及资源利用方面所呈现出的复杂性与特殊性。形成过程:伴生矿物与铬矿同时形成,受地壳运动、岩浆活动、热液活动等地质条件的影响。这些地质作用使得伴生矿物与铬矿紧密共生,形成了复杂的矿物组合。伴生矿物于成矿进程之中,往往同主要矿物产生相互作用,并且会历经结晶分异这一地质过程,还有流体交代以及多阶段变质作用等,最终呈现出多样化的特点,具体表现在共生结构方面以及空间分布特征上。物理性质:伴生矿物通常具有较高的硬度和密度,颜色多样。例如,橄榄石常见于超基性岩中,颜色从浅绿到深绿不等;而石榴石则颜色丰富,包括红色、绿色、黄色等。总体来讲,伴生矿物的形成机制以及物理特征,一方面能够反映出其地质背景的复杂性,另一方面也给后续的选矿工作以及加工环节给出了极为重要的科学依据。

## 2 伴生矿物加工中的绿色技术发展现状

### 2.1 清洁生产与节能降耗技术

清洁生产技术于伴生矿物加工方面着重从源头处去削减资源的消耗量以及污染的排放量,其关键点在于对加工工艺以及生产环节予以优化,力求让矿石的利用率实现最大化,与此同时使得能源消耗得以降低。在实际的操作运用当中,针对粉碎、磨矿、分选等这些至关重要的工序,对其工艺参数做出优化调整,如此一来能够较为显著地减少能耗情况以及物料方面的浪费状况。举例来讲,运用高效的球磨设备,采取合理的粒度控制方式,并且对磨矿流程加以优化,便可以在确保选矿精度不会受到影响的前提下,降低每单位产品所耗费的能源量。并且,借助引入回收利用的相关系统,对于加工过程当中所产生的尾矿、废水以及废气再次展开处理操作,进而达成闭路循环生产的模式,这既减少了对环境所造成的负荷压力,又使原材料消耗的成本有所降低。除此之外,清洁生产的理念还反映在工艺设计环节当中,具体表现为对设备的布局安排、流程的集成整合以及能量的梯级利用等方面都实施优化举措,通过实现生产系统的整体优化,从而获取到节能降耗的实际成效。这类技术在应用之时,一方面能够满足环保方面的各项要求,另一方面在经济性层面也具备着颇为明显的特点,为伴生矿物加工朝着可持续发展的方向奠定了稳固扎实的基础。

### 2.2 环保选矿药剂与绿色材料的应用

在伴生矿物加工进程中,传统所使用的选矿药剂对于环境是存在着潜在的危害的,像水体出现污染以及重金属发生富集等情况。近些年来,随着绿色化学还有材料科

学不断地发展,环保型的选矿药剂以及绿色材料在伴生矿物加工方面得到了应用,并且还取得了突破性的进展。绿色选矿药剂大多是以那些生物降解性比较高的、毒性相对较低的有机或者无机物质作为基础,可以达成对矿物颗粒较为有效的浮选以及分离效果,而且对环境产生的影响也是最小的。比如说,把天然植物提取出来的物质或者是由微生物衍生出来的表面活性剂当作浮选剂来使用,这不仅可以提升主要矿物以及伴生矿物的分选效率,而且还大幅度地减轻了废水处理方面的压力。在造浆环节、调配药剂的过程以及添加剂的选择方面,用绿色材料去取代传统的化学品,进而实现无害化或者低毒化的生产状态,与此同时也有利于尾矿以及废水后续的处理工作。这类技术的应用既体现出了生态设计的原则,也促使伴生矿物加工过程从原本的资源密集型朝着环境友好型的方向转变,从而给绿色矿业的发展提供了一条可行的路径。

### 2.3 废弃物循环利用与污染控制技术

伴生矿物加工所产生的废弃物,主要涵盖尾矿、废渣、废水还有部分有害气体。对于这些废弃物予以合理的处理并加以资源化利用,这无疑是绿色加工当中极为关键的一个环节。就当下情况来看,废弃物循环利用技术已然在不少伴生矿物加工项目里得以实际应用了。比如像尾矿回填这种方式,又或者把废渣用于制砖,亦或是作为建筑材料来加以利用,再者就是开展废水回收循环利用系统的相关建设工作等等。针对尾矿颗粒实施物理方面的处理操作,或者是借助化学手段来进行处理,如此一来便能够从中提取出那些仍旧有价值的元素。与此还能对尾矿的稳定性起到改善的作用,进而使得环境所面临的风险得以降低。在污染控制这个层面而言,运用废气吸收方面的技术、中和处理的技术以及生物处理等相关技术,是可以有效地对有害物质的排放量进行削减的。除此之外,要是能够结合智能化的监控系统,对废弃物的排放情况以及环境的各项参数展开实时的监测,那么就能够进一步达成对污染源进行精准控制的目标。这样一套将废弃物循环利用与污染控制相互融合起来的综合技术体系,一方面实现了矿物加工过程当中的生态化管理,另一方面也给伴生矿物的可持续利用给予了相应的技术层面的保障。

## 3 智能化技术在伴生矿物加工中的应用进展

### 3.1 智能检测与自动化控制系统

智能检测技术于伴生矿物加工而言,占据着极为关键的地位。它主要是依靠高精度传感器、图像识别以及在线监测系统,达成对矿石特性以及加工状态的实时察觉。自动化控制系统会依据检测所获取的数据,自行对粉碎、分

选、浮选还有浓缩等一系列加工环节的相关参数做出调整，以此来实现对生产过程的精确把控。比如说，把光谱分析、激光扫描以及在线粒度监测相互结合起来，便能够迅速地识别出伴生矿物的具体成分、粒度分布状况以及杂质的情况，进而为选矿工艺给予实时的数据方面的有力支撑。自动化控制系统还能够凭借检测得出的结果去优化磨矿负荷、浮选药剂的添加量以及流程的先后顺序，从而在最大程度上提升加工的效率以及矿物的回收率。与此该系统还能够削减人工的干预，减少人为操作时出现的误差，进而形成一种具有高稳定性、低能耗且安全高效的生产模式，为伴生矿物加工朝着智能化方向的发展打下坚实的基础。

### 3.2 大数据与人工智能的优化应用

大数据以及人工智能技术给伴生矿物加工带来了由数据驱动的优化办法。全面且细致地分析历史生产方面的数据、矿石性质相关的数据还有环境监测所获取的数据，人工智能算法可达成对加工工艺的建模操作、优化处理以及预测功能。举例来讲，机器学习模型能够依据不同矿床所具有的特性来预测浮选回收率、磨矿能耗还有药剂消耗量，进而达成对加工过程的智能化调控。与此大数据平台可以把生产环节的数据、检测环节的数据以及物流环节的数据加以整合，实现对矿石加工整个流程的信息化管理。这样的数据驱动模式一方面提升了伴生矿物加工的智能化程度，另一方面也强化了生产的稳定性以及资源利用的效率。人工智能在工艺优化、异常诊断以及故障预测等方面的应用情况，促使加工系统可以实现自适应调控以及连续优化，从而为绿色智能加工给予稳固的数据支撑。

### 3.3 智能装备与数字化生产平台

智能装备以及数字化生产平台的建设工作完成之后，伴生矿物加工便正式进入了高效、自动化并且是可视化管理的阶段。其中，智能装备涵盖了自动化破碎设备、磨矿设备、分选设备以及浮选设备等，这些装备能够依据矿石所具有的特性以及实际生产方面的具体需求，自主地去对加工参数做出相应的调节，以此来确保加工过程具备良好的稳定性以及较高的精度。而数字化生产平台则通过对整个加工系统当中设备的状态、生产参数还有环境数据加以集中化的管理，进而达成生产过程的可视化呈现以及远程控制的效果。该平台整合了数据采集功能、工艺优化功能、设备维护功能以及能耗监控功能等多项功能，这就使得矿业企业可以实现从矿石进入到厂区一直到产品最终出厂这一整个过程的数字化管理操作。这样的智能装备和数字化平台相结合的情况，一方面提升了加工的效率，另一方面也实现了绿色生产的既定目标，从而为伴生矿物加工迈

向智能化升级给予了强有力的技术方面的支撑。

## 4 发展现状分析与未来趋势展望

### 4.1 绿色智能技术融合的现实基础

绿色智能技术与伴生矿物加工相融合的基础，主要聚焦在技术创新、设备智能化以及管理模式升级这三个方面。一开始，绿色加工技术走向成熟以后，便给环境友好型生产带来了工艺层面的保障，像节能降耗、运用环保药剂以及废弃物循环利用等方面都涵盖其中<sup>[1]</sup>。随着智能化设备以及数字化平台不断发展起来，生产过程得以实现实时监控并且能够进行自动调控，这无疑为绿色技术的高效运用给予了数据方面的有力支持以及具体的执行办法。企业管理模式不断升级，这里面包含了数据化管理、智能调度还有过程优化等内容，这些都给绿色智能技术的融合构建起了制度层面的保障以及实际操作的基础。现有的这些技术基础加上相应的管理经验，让绿色智能技术在伴生矿物加工领域具备了可操作的可能性以及推广的可行性，进而为形成高效、绿色且智能化的加工模式打下了坚实的支撑基础。

### 4.2 当前存在的主要问题与制约因素

虽然绿色智能技术于伴生矿物加工方面已取得了一定程度的进展，不过依旧存在着若干制约因素。从技术角度来讲，智能化设备有着较高的成本，并且其维护的要求颇为严格，这使得中小型矿业企业在很大程度上难以对其进行大规模的推广<sup>[2]</sup>。而且，绿色加工技术在部分矿物类型当中所呈现出的适用性仍然存在局限，还需要进一步去加以优化并实现本地化适配。就管理层面而言，各个企业在面对数据化以及智能化管理时，其接受的程度各不相同，同时又普遍缺乏具备相关专业技术的人才，如此一来便致使技术整合以及工艺优化的效率受到了限制。除此之外，在绿色智能矿业这个领域当中，政策、标准以及监管体系都还没有得到完全的完善，这也使得技术推广面临着诸多的不确定性。上述这些情况无疑对绿色智能技术的全面应用形成了限制，同时也给伴生矿物加工的可持续发展带来了不小的挑战。

### 4.3 技术融合与协同创新的发展方向

未来绿色智能技术发展要重视技术融合与协同创新。具体而言，把绿色加工技术同智能化设备以及数据分析平台深度融合起来，达成矿物加工全流程的智能化、低碳化以及高效率目标<sup>[3]</sup>。协同创新还涵盖工艺优化、材料研发以及信息技术集成等多学科的合作，借助构建智能化实验平台和仿真模型，对加工流程加以系统优化。促使企业、科研机构以及政策制定者展开协作，形成技术研发、工程

应用以及政策支持的完整链条，让绿色智能技术的创新成果迅速应用于生产实践，为伴生矿物加工的高效、绿色以及智能发展给予保障。

## 5 结束语

伴生矿物加工这一领域面临着诸多挑战，其复杂程度颇高，而且环境风险也很大。就在这时候，绿色智能技术的出现，给它带来了极为重要的突破进展。通过把清洁生产方面的技术、环保药剂相关的技术、废弃物循环利用的技术以及智能检测方面的技术、大数据分析的技术还有数字化平台这类技术相互融合起来，伴生矿物加工便达成了一个目标，那就是既注重效率的提升，又兼顾对环境的友好。当下虽说还存在着设备成本过高的情况、技术适应性受到限制的问题以及管理能力有所欠缺等诸多难题，不过随着技术创新不断推进、协同研发持续开展以及政策给予有力支持，绿色智能技术在伴生矿物加工当中的应用，其

前景是十分广阔的。往后的发展趋势会围绕着技术融合、智能优化以及可持续发展这几个核心要点展开，以此来推动伴生矿物加工朝着高效能、环保型以及智能化的方向不停地向前迈进，进而为矿业实现绿色转型以及资源达成高效利用给予强有力的支撑。

## [参考文献]

- [1]伍超奇.人工智能在矿山地质中的应用现状及未来展望[J].世界有色金属,2024(2):49-51.
- [2]张臻悦,蒋灵,郭文达,等.智能技术在矿物加工领域中的应用进展[J].有色金属(选矿部分),2023(6):1-8.
- [3]汤化明,王玲,杨国华,等.人工智能在矿物加工技术中的应用与发展[J].金属矿山,2022(2):1-9.

作者简介：杨富强（1991.1—），男，四川成都，现就职于中稀（凉山）稀土有限公司，选矿工程师，长期从事矿山选矿方面工作。