

# 稀土金属铼的提取及研究进展

祝志兵

江西铜业集团公司贵溪冶炼厂 江西 贵溪 335424

**摘要:** 随着高端制造对铼需求激增, 稀土金属铼的提取技术成为全球关注焦点。本文聚焦稀土金属铼, 先概述其基本特性与重要应用。详细阐述铼的提取方法, 包括溶剂萃取法、离子交换法、萃淋树脂法及化学沉淀法。进而探讨提取技术研究进展, 涉及新型萃取剂开发、工艺流程优化、绿色环保技术应用以及智能化生产模式探索。旨在全面梳理铼提取领域现状, 为相关研究与应用提供参考, 推动铼产业在资源高效利用、环境友好及智能化发展等方面取得新突破。

**关键词:** 稀土金属铼; 提取方法; 研究进展; 资源利用

引言: 稀土金属铼, 因其独特的物理化学性质, 在航空航天、电子、能源等众多高科技领域展现出不可替代的关键作用。然而, 铼在地壳中含量稀少且分布分散, 提取难度较大, 这在一定程度上限制了其广泛应用。随着科技的飞速发展, 对铼的需求日益增长, 高效、环保、可持续的铼提取技术成为研究热点。在此背景下, 深入探究稀土金属铼的提取方法及相关研究进展, 不仅有助于解决铼资源供应问题, 还能推动相关产业技术升级, 具有重要的理论意义和现实价值。

## 1 稀土金属铼的概述

铼 (Rhenium, 元素符号Re) 作为元素周期表中极为稀有的过渡金属, 位列第六周期第ⅦB族, 在地壳中的含量极低, 仅约0.0004ppm, 是典型的稀土金属。从物理性质看, 铼具有超高的熔点, 达3186℃, 沸点5596℃更是元素之最, 密度21.04g/cm<sup>3</sup>也处于较高水平。它呈银白色, 有着六方晶系的晶体结构, 既坚硬又具备良好的延展性, 即便在室温下也能进行轧制变形, 高温时结构依然稳定。化学性质上, 常温下铼在空气中较为稳定, 不过在潮湿环境里, 表面会缓慢氧化。粉末状的铼活性明显增强, 不溶于盐酸, 但能溶于硝酸和热浓硫酸生成高铼酸。高温时, 它能与硫蒸气反应生成二硫化铼, 还能和氟、氯、溴形成易水解的卤化物, 氧化态丰富, 涵盖-1至+7价, 其中+7价的高铼酸根离子最为稳定。铼在自然界中多以类质同象形式存在于辉钼矿、铜钼矿等矿物内。其价值巨大, 在高温合金领域表现卓越, 铼镍、铼钨、铼钼系合金可耐受1500℃以上高温, 是航空发动机涡轮叶片、航天器热防护系统的关键材料; 在催化领域, 铼基催化剂在石油重整、汽车尾气净化中效率极高; 在医疗方面, 医用放射性铼同位素为癌症治疗开辟了新途径<sup>[1]</sup>。

## 2 稀土金属铼的提取方法

### 2.1 溶剂萃取法

溶剂萃取法是稀土金属铼提取中应用广泛且高效的一种方法, 其核心在于借助特定有机溶剂对铼离子的选择性吸附, 实现铼与其他杂质的有效分离。(1) 萃取剂的选择至关重要。不同萃取剂对铼的萃取能力差异显著。胺类萃取剂, 如三烷基胺, 在酸性条件下能与高铼酸根离子形成稳定络合物, 从而将铼从水相转移到有机相, 萃取效果良好。磷酸类萃取剂, 像磷酸三丁酯, 凭借其独特的分子结构, 对铼也有较强的萃取能力, 尤其在特定酸度环境下, 能高效富集铼。(2) 工艺流程的合理设计是提高铼提取效率的关键。通常采用多级逆流萃取工艺, 让含铼溶液与萃取剂在多级萃取设备中逆向流动, 逐级进行萃取。这样能充分延长接触时间, 使铼尽可能多地被萃取到有机相中, 提高回收率。反萃取环节同样重要, 通过调节溶液的酸度、加入特定试剂等方式, 将铼从负载有机相中重新转移到水相, 得到富铼溶液。(3) 操作条件的精准控制也不容忽视。温度、酸度、萃取剂浓度等因素都会影响萃取效果。例如, 在一定范围内, 适当提高温度能加快萃取速率, 但温度过高可能导致萃取剂分解; 合适的酸度能增强萃取剂对铼的选择性, 提高萃取效率。

### 2.2 离子交换法

离子交换法是提取稀土金属铼的重要手段, 它基于离子交换树脂对铼离子的选择性吸附与解吸特性, 实现铼的高效分离与富集。(1) 离子交换树脂的选择是核心环节。不同类型的树脂对铼离子的吸附能力差异明显。强碱性阴离子交换树脂因其带有大量可交换的阴离子基团, 对高铼酸根离子等铼的阴离子形态具有强吸附作用, 能有效从溶液中捕获铼。而一些具有特殊功能基团

的螯合树脂,通过与铈离子形成稳定的螯合物,进一步提高对铈的选择性,减少其他共存离子的干扰。(2)操作流程的合理设计影响提取效果。一般先将含铈溶液通过装有离子交换树脂的交换柱,铈离子被树脂吸附,而杂质离子则随溶液流出,实现初步分离。之后,采用合适的解吸剂,如一定浓度的酸性溶液或盐溶液,将吸附在树脂上的铈离子解吸下来,得到富铈溶液。多次循环吸附与解吸过程,可逐步提高铈的浓度和纯度。(3)操作条件的优化至关重要。溶液的酸度、流速以及温度等因素都会对离子交换过程产生影响。适宜的酸度能增强树脂对铈离子的吸附能力,流速过快会导致吸附不充分,过慢则影响处理效率,而合适的温度有助于提高离子交换的动力学性能,使吸附与解吸过程更加高效稳定地进行<sup>[2]</sup>。

### 2.3 萃淋树脂法

萃淋树脂法作为提取稀散金属铈的创新技术,融合了溶剂萃取与离子交换的优势,在铈的高效分离与纯化方面展现出独特价值。(1)萃淋树脂的特殊结构是其高效吸附铈的关键。这种树脂以大孔离子交换树脂为基体,在其孔隙内负载了特定的萃取剂。萃取剂与树脂基体通过物理或化学作用紧密结合,形成兼具离子交换和溶剂萃取功能的复合材料。当含铈溶液流经萃淋树脂时,树脂上的萃取剂能选择性地与铈离子结合,将其从溶液中“捕获”并固定在树脂内部,而其他杂质离子则难以被吸附,从而实现铈与其他离子的初步分离。(2)操作流程的灵活性提升了铈提取的效率。与传统的离子交换法相比,萃淋树脂法可根据铈溶液的性质和处理需求,灵活调整吸附条件,如溶液的酸度、流速等。在吸附阶段,通过控制这些参数,能使铈离子更充分地与树脂上的萃取剂结合,提高吸附量。在解吸阶段,选用合适的解吸剂,如特定浓度的酸性溶液,能快速、有效地将铈离子从树脂上解吸下来,得到高纯度的富铈溶液。(3)树脂的再生与重复使用降低了成本。经过多次吸附与解吸循环后,萃淋树脂的吸附能力可能会有所下降,但通过特定的再生处理,如用适当的化学试剂清洗树脂,可恢复其吸附性能,实现树脂的重复利用,从而减少资源浪费,降低铈提取的整体成本。

### 2.4 化学沉淀法

化学沉淀法是提取稀散金属铈过程中常用的基础方法,它借助化学反应使铈以沉淀物的形式从溶液中分离出来,具有操作简便、成本较低的特点。(1)沉淀剂的选择是决定沉淀效果的关键因素。针对含铈溶液的特性,需挑选能与铈离子发生反应并生成稳定沉淀的试

剂。例如,硫化物沉淀剂可与铈离子结合生成硫化铈沉淀,这类沉淀在特定条件下具有较好的稳定性和较低的溶解度,能有效将铈从溶液中固定下来。还有一些含氮、含氧的有机或无机沉淀剂,通过与铈离子形成难溶络合物,实现铈的沉淀分离。(2)反应条件的控制对沉淀的纯度和产率影响显著。溶液的酸碱度是重要控制参数之一,不同的沉淀剂在不同酸碱环境下与铈离子的反应活性不同,合适的酸碱度能促进沉淀反应的充分进行,提高铈的沉淀率。此外,温度也会影响反应速率和沉淀的物理性质,适当升高温度可加快反应速度,但温度过高可能导致沉淀颗粒过细,不利于后续的过滤和分离。(3)沉淀后的处理工艺不容忽视。过滤是分离沉淀物与溶液的常用手段,选择合适的过滤设备和滤材,能提高过滤效率,减少沉淀损失。对沉淀物进行洗涤可去除表面吸附的杂质,进一步提高铈的纯度。经过干燥等后续处理,最终得到可用于进一步提纯或直接应用的铈沉淀产品。

## 3 稀散金属铈的提取技术研究进展

### 3.1 新型萃取剂的开发

在稀散金属铈的提取技术领域,新型萃取剂的开发成为推动行业进步的关键驱动力。传统萃取剂虽能实现铈的分离,但在选择性、效率及成本方面仍有提升空间。近年来,科研人员通过分子设计,开发出多类功能化萃取剂,显著提升了铈的提取性能。含氮杂环化合物因其独特的电子构型,可与铈离子形成稳定络合物,展现出高选择性和强吸附能力。这类萃取剂通过调控分子结构中的活性基团,增强了对铈的静电吸附与配位作用,有效降低了共存离子(如钼、铜)的干扰。复合萃取体系的研究同样取得突破。将胺类萃取剂与中性磷类萃取剂复配,利用协同效应显著提升了铈的萃取容量和速率。这种体系在复杂溶液体系中表现出色,尤其适用于从含多种重金属的污酸中高效回收铈。此外,针对特定应用场景,研究人员还开发了耐酸性强、抗杂质能力突出的新型萃取剂。这些萃取剂在极端条件下仍能保持稳定性能,为铈的工业化提取提供了更多选择<sup>[3]</sup>。

### 3.2 工艺流程的优化

在稀散金属铈的提取过程中,工艺流程的优化是提升提取效率、降低成本以及增强环保性能的关键环节。原料预处理阶段的优化至关重要。通过对含铈原料进行精细研磨、分级处理,可增加原料的比表面积,使后续浸出过程更充分,提高铈的浸出率。同时,采用物理或化学方法去除原料中的部分杂质,可减少后续分离工序的负担。浸出环节,优化浸出剂的种类、浓度以及浸

出条件是重点。研发新型复合浸出剂，能在更温和的条件下实现铼的高效浸出，降低能源消耗。精确控制浸出温度、时间和液固比，可确保铼最大限度地溶解到溶液中，同时避免其他杂质的过度浸出。分离纯化阶段，引入多级串联分离技术，结合不同分离方法的优势，如先采用溶剂萃取进行初步分离，再用离子交换法进行深度提纯，能显著提高铼产品的纯度。

### 3.3 绿色环保技术的应用

在稀散金属铼的提取领域，绿色环保技术的应用已成为推动行业可持续发展的重要趋势。在溶剂使用方面，传统有机溶剂存在挥发性强、毒性大等问题。如今，研发低毒、可生物降解的新型溶剂成为关键。这类溶剂在保证萃取效率的同时，大幅降低了对环境和操作人员健康的危害。例如，一些基于天然植物提取物的溶剂，不仅具有良好的溶解性和选择性，而且能在自然环境中快速分解，减少了对土壤和水源的污染风险。废水处理环节，采用先进的膜分离技术和吸附法。膜分离技术可以高效截留废水中的重金属离子和有害物质，实现水资源的循环利用。而吸附法则利用具有高比表面积和特定吸附功能的材料，如活性炭纤维、改性硅藻土等，对废水中的铼及其他杂质进行深度吸附，使处理后的废水达到排放标准，甚至可以回用于生产过程。此外，能源利用方面也在向绿色化转型。引入太阳能、风能等可再生能源，为提取过程提供动力，减少对传统化石能源的依赖，降低碳排放。

### 3.4 智能化生产模式的探索

在稀散金属铼的提取领域，智能化生产模式的探索正引领行业迈向新的发展阶段。生产过程自动化控制是智能化生产的基础。通过安装高精度的传感器，实时监测提取过程中的温度、压力、酸碱度、溶液浓度等关键参数，并将数据快速传输至中央控制系统。系统依据预

设的算法和模型，自动调整设备运行参数，如调节加热功率、控制溶液流量等，确保整个提取过程始终处于最优状态，提高铼的提取效率和产品质量稳定性。智能决策支持系统的引入，为生产管理提供了强大助力。该系统整合了生产数据、市场信息以及历史经验数据，运用大数据分析和机器学习技术，对生产计划、原料采购、设备维护等进行智能优化。例如，根据市场对铼产品的需求预测，合理安排生产规模，避免产能过剩或不足；依据设备运行数据，提前预测设备故障，制定维护计划，减少非计划停机时间。此外，智能化生产模式还注重生产过程的可视化和透明化<sup>[4]</sup>。

### 结束语

稀散金属铼作为关键的战略资源，在航空航天、电子等高端领域有着不可替代的作用。当下，其提取技术正蓬勃发展，新型萃取剂不断涌现，增强了对铼的选择性吸附；工艺流程持续优化，提升了提取效率与产品质量；绿色环保技术广泛应用，降低了对环境的影响；智能化生产模式积极探索，为行业注入新活力。然而，铼资源稀缺且提取难度大，未来仍需加大研发投入，突破技术瓶颈，实现高效、绿色、智能化的提取，保障铼资源的稳定供应，推动相关产业高质量发展。

### 参考文献

- [1]方健,吴丹丹,文书明,等.稀散金属铼资源综合回收利用研究进展[J].矿产保护与利用,2020,40(5):62-69
- [2]靳洪允.稀散金属铼的化学分析进展[J].湿法冶金,2021,23(3):165-168.
- [3]张莹莹,梁坤豪,魏杰,等.稀散金属铼离子液体应用于热流体性能研究[J].当代化工,2022,51(11):2559-2563
- [4]王丹,王宝庆,廖耀华,等.稀散金属铼的分离富集与分析方法研究进展[J].材料研究与应用,2022,9(3):148-153.