

# 国内外炼镁技术及技术发展方向简析

高生辉<sup>1</sup> 张泽学<sup>2</sup> 高春云<sup>1</sup> 刘强<sup>1</sup> 张晓<sup>2</sup>

1. 陕西榆能集团能源化工研究院有限公司 陕西榆林 719000

2. 宁夏三新镁业科技有限公司 宁夏银川 750000

**摘要:** 金属镁因其轻质高强、热传导性好,在多领域广泛应用。我国白云石资源丰富,是全球最大原镁生产国,但榆林等地横罐炼镁技术落后,面临淘汰。国外炼镁以电解法为主,技术先进、环保性能好。本文对比分析了国内外炼镁技术的工艺路线、能效与环保性能、市场竞争力,并探讨了节能减排、新型炉窑装备、短流程绿色炼镁及智能化自动化等技术发展方向。在政策与市场双重驱动下,炼镁行业正朝高效、环保、智能化迈进。

**关键词:** 炼镁技术;皮江法;电解法;节能减排;智能化自动化

## 引言

金属镁,作为一种极具魅力的轻质金属,凭借比强度高、可塑性强以及热传导性能优越等特性,在卫星、飞机、汽车等结构材料,3C电子产品和医疗器械等众多领域大放异彩。我国白云石资源丰富,为从白云石中提炼金属镁提供了坚实基础,大力发展炼镁产业符合我国产业方向。当前,我国是全球最大的原镁生产国,2021年国内原镁产量近100万吨,约占全球85%,其中榆林地区产能突出。然而,榆林横罐炼镁技术存在明显短板,在当下碳排放、碳达峰、环保等政策调整背景下,分析国内外炼镁技术现状并探寻技术发展方向迫在眉睫。

## 一、国内外炼镁技术现状

### (一) 国内炼镁技术现状

#### 1. 主要生产工艺:皮江法(硅热还原法)

皮江法作为我国炼镁的主流工艺,其核心在于利用煅烧后的白云石作为主要原料,硅铁担任还原剂的角色,而萤石则作为矿化剂,三者共同在高温真空的环境下,通过固态热还原反应制取金属镁。这一工艺路线因其原料易得、工艺流程相对简单而被广泛采用。然而,在实际应用中,尤其是榆林地区,其原镁产量占国内近60%,却主要依赖于横罐炼镁技术,该技术虽成熟但存在能耗高、污染大等显著问题。面对日益严峻的环保要求和能效标准,皮江法也在不断进行技术创新,如废热回收驱动蒸汽喷射泵、节能环保型回转窑余热利用技术、粗镁精炼炉蓄热燃烧技术等的应用,有效提升了皮江法的能效和环保性能,为传统工艺的转型升级提供了可能<sup>[1]</sup>。

### 2. 区域分布与产能

国内原镁生产呈现出明显的区域集中特征,山西、宁夏、陕西等地凭借丰富的白云石资源和较为完善的产业链条,成为原镁生产的主要基地,其中榆林地区尤为突出,其产能规模在全国占据举足轻重的地位。在企业层面,国内镁冶炼企业规模不一,既有像银光华盛、南京云海特种金属股份有限公司这样的大型企业,它们在技术研发、市场拓展方面展现出较强的竞争力,引领着行业的发展方向;也有众多中小型企业,它们在特定区域或细分市场中发挥着重要作用。然而,随着产能的快速增长,部分地区和企业也面临着产能过剩的挑战,市场竞争日益激烈,产品价格波动大,对企业的经营能力和市场适应能力提出了更高要求。

### 3. 存在问题

尽管国内炼镁技术取得了显著进步,但仍存在诸多亟待解决的问题。首先,技术瓶颈是制约行业发展的关键因素之一。皮江法作为主流工艺,其机械化、自动化程度相对较低,导致生产效率不高,产品质量不稳定,难以满足高端市场对镁及镁合金材料的高性能需求。其次,环保压力日益增大。炼镁过程中产生的废气、废渣等污染物对环境造成严重影响,而部分企业在环保治理方面的投入不足,加剧了环境问题的严峻性。此外,产能过剩问题也不容忽视。随着新建项目的不断上马,部分地区和企业出现了产能过剩的现象,导致市场竞争激烈,产品价格下滑,企业盈利能力下降,甚至面临生存危机<sup>[2]</sup>。

### (二) 国外炼镁技术现状

#### 1. 主要生产工艺:电解法

与国内以皮江法为主不同，国外原镁生产更多地依赖于电解法。该工艺通过电解熔融的无水氯化镁来制取金属镁，具有生产过程连续、可实现机械化自动化生产等优点。尽管电解法投资大、电耗高，但其产品质量稳定、环保性能较好，因此在全球范围内得到广泛应用。国外典型的电解法工艺包括DOW工艺、I.G.Farben工艺及Magnola工艺等，这些工艺通过独特的电解质组成与电解槽结构设计，有效提高了电解效率，降低了生产成本，增强了市场竞争力。

## 2. 区域分布与产能

国外原镁生产主要集中在挪威、美国、俄罗斯和以色列等国。这些国家凭借先进的炼镁技术、丰富的资源储备和完善的产业链条，成为全球重要的原镁生产国。在企业层面，国外镁冶炼企业规模较大，技术先进，市场竞争力强。它们不仅注重技术创新和产品升级，还积极拓展国际市场，提升品牌影响力。

## 3. 技术创新

国外炼镁企业在技术创新方面同样不遗余力。一方面，它们通过优化电解质组成，降低熔盐初晶温度，提高电解质流变特性，从而减少能耗，提升生产效率。另一方面，它们还注重环保技术的研发与应用，如采用密闭式集气罩和三级碱液喷淋系统等先进设备，有效控制 $\text{Cl}_2$ 等有害气体的排放，保护环境安全。这些技术创新不仅提升了国外炼镁企业的核心竞争力，也为全球炼镁行业的可持续发展提供了有益借鉴。

## 二、国内外炼镁技术对比分析

### (一) 工艺路线对比

皮江法作为国内主流炼镁工艺，其优势在于工艺流程相对简单，设备投资较少，且生产规模可根据市场需求灵活调整，尤其适合中小企业。然而，该工艺机械化程度低，人工操作占比大，导致生产效率受限；同时，能耗较高，且生产过程中产生的废气、废渣对环境造成较大压力。相比之下，电解法作为国外主流工艺，实现了生产过程的连续化和机械化、自动化，产品质量稳定可靠。但电解法初期投资大，电耗高，对电力供应和成本控制要求较高，更适合资金雄厚、技术先进的大型企业<sup>[3]</sup>。

### (二) 能效与环保性能对比

在能效方面，电解法凭借其连续化生产和先进的电解技术，能效显著高于皮江法。不过，随着国内皮江法技术的不断创新，如废热回收、节能环保型回转窑的应

用，其能效已得到显著提升，逐步缩小与电解法的差距。环保性能上，电解法因生产过程密闭，有害气体排放较少，环保优势明显。而皮江法需加强环保治理，通过引入先进的废气处理系统和废渣综合利用技术，减少对环境的影响，实现绿色生产。

### (三) 市场竞争力对比

国内炼镁企业以皮江法为主，成本较低，在价格上具有一定竞争力。然而，产品质量不稳定和环保性能不足限制了其市场拓展，尤其是在高端市场和国际市场上的竞争力。国外企业则凭借电解法的技术优势，生产出高质量、低污染的镁产品，满足了高端市场和环保要求严格的市场需求，市场竞争力强。国内企业需通过技术创新和产业升级，提升产品质量和环保性能，以增强市场竞争力，拓展国内外市场。

## 三、技术发展方向与趋势

### (一) 节能减排技术的应用

在全球倡导绿色低碳发展的大背景下，节能减排技术成为炼镁行业技术升级的关键方向。蓄热式燃烧技术凭借其独特的优势，成为炼镁领域节能减排的重要手段。该技术通过在炉窑中设置蓄热体，有效回收烟气中的余热。在燃烧过程中，高温烟气将热量传递给蓄热体储存起来，当需要预热空气或燃气时，蓄热体释放储存的热量，将进入炉窑的空气或燃气预热到较高温度，从而提高燃烧效率，显著减少燃料消耗，降低生产成本的同时也减少了因燃料燃烧产生的污染物排放。

富氧（或全氧）燃烧技术同样在炼镁行业中展现出巨大的潜力。通过向燃烧过程中提供富氧或纯氧环境，能够大幅提高燃烧温度，使燃料燃烧更加充分。这不仅加快了化学反应速度，提高了生产效率，还能有效减少氮氧化物的排放。氮氧化物是大气污染的主要来源之一，富氧燃烧技术的应用有助于炼镁企业实现清洁生产，满足日益严格的环保要求。

微波加热技术作为一种新兴的高效、节能和环境友好的内加热技术，在金属镁冶炼中具有广阔的应用前景。与传统加热方式不同，微波加热是利用物料内部的极性分子在微波场中受到交变电场的作用而发生摩擦生热，实现从物料内部向外部的加热过程。这种加热方式具有加热速度快、加热均匀、热效率高等优点，能够显著缩短炼镁过程中的加热时间，降低能耗。同时，微波加热技术还可以减少因传统加热方式导致的物料局部过热和氧化等问题，提高金属镁的产品质量<sup>[4]</sup>。

## （二）新型炉窑装备的研发

新型炉窑装备的研发是推动炼镁行业技术进步的重要支撑。竖式还原炼镁炉的出现，为炼镁生产带来了新的变革。与传统的横罐炼镁炉相比，竖式还原炼镁炉采用垂直结构设计，使物料在炉内能够更加均匀地受热，提高了热效率。同时，竖式结构减少了占地面积，提高了空间利用率。此外，竖式还原炼镁炉能够实现连续化生产，避免了传统间歇式生产方式带来的生产效率低下和产品质量不稳定等问题，有助于炼镁企业实现规模化、高效化生产。

电磁加热回转窑在金属镁冶炼中也具有独特的优势。该设备利用电磁感应原理产生热量，直接对回转窑内的物料进行加热，减少了热传递过程中的能量损失，具有更高的能量利用率。与传统的燃料加热回转窑相比，电磁加热回转窑不需要燃烧燃料，避免了因燃料燃烧产生的污染物排放，具有更好的环保性能。此外，电磁加热回转窑的加热温度控制更加精确，能够满足不同炼镁工艺对温度的要求，提高产品质量。

气态悬浮煅烧炉以其热耗低、投资少、设备简单、使用寿命长等优点，在菱镁矿等物料的煅烧中得到了广泛应用。该设备通过将物料悬浮在气流中进行煅烧，使物料与热气流充分接触，提高了传热效率，降低了热耗。同时，气态悬浮煅烧炉的结构相对简单，投资成本较低，且设备运行稳定，使用寿命长，能够为炼镁企业降低生产成本，提高经济效益。

## （三）短流程绿色炼镁技术的开发

短流程绿色炼镁技术的开发是炼镁行业实现可持续发展的必然选择。非真空炼镁技术打破了传统真空炼镁的限制，实现了连续化生产。该技术通过优化炼镁工艺条件，在非真空环境下完成金属镁的还原过程，减少了设备投资和能源消耗。同时，非真空炼镁技术还能够降低生产过程中的污染排放，符合绿色环保的发展理念。

铝热法炼镁技术利用铝作为还原剂，具有能耗低、成本低等优点。铝是一种常见的金属材料，来源广泛，价格相对较低。在炼镁过程中，铝与氧化镁发生铝热反应，将氧化镁还原为金属镁。与传统的硅热还原法相比，铝热法炼镁技术能够显著降低能耗和生产成本，提高企业的经济效益。

## （四）智能化与自动化技术的应用

随着信息技术的飞速发展，智能化与自动化技术在

炼镁行业的应用日益广泛，成为提升行业竞争力的重要途径。自动化控制系统在炼镁生产中发挥着核心作用。通过采用PLC（可编程逻辑控制器）、DCS（分布式控制系统）等先进的自动化控制系统，能够对炼镁过程中的温度、压力、流量等关键参数进行实时精确控制。这些系统具有高度的可靠性和稳定性，能够根据预设的工艺参数自动调整设备运行状态，确保生产过程的稳定性和一致性。例如，在还原反应阶段，自动化控制系统可以精确控制反应温度和还原剂添加量，提高金属镁的还原效率和产品质量。

智能监测与诊断技术为炼镁设备的可靠运行提供了有力保障。利用物联网、大数据、人工智能等技术，对炼镁设备进行实时监测和故障诊断。通过在设备上安装各种传感器，能够实时采集设备的运行数据，如振动、温度、压力等，并将这些数据传输到监控中心。利用大数据分析技术对采集到的数据进行深度挖掘和分析，建立设备故障预测模型，提前发现设备潜在故障隐患，及时采取维护措施，避免设备故障导致的生产中断和安全事故。同时，智能诊断系统还可以根据故障特征快速准确地定位故障原因，为维修人员提供维修指导，缩短设备维修时间，提高设备利用率。

## 结束语

国内外炼镁技术差异明显，国内皮江法应用广泛但存在不足，国外电解法优势突出。随着技术发展，节能减排、智能化与自动化等成为炼镁行业趋势。未来，在新能源汽车等产业带动及绿色理念推动下，行业空间广阔。国内企业应强化技术创新，提升产品与环保水平，增强国际竞争力，实现可持续发展。

## 参考文献

- [1]任虎奎, 任建勋.我国金属镁冶炼技术现状与发展趋势[J].陕西煤炭, 2011, 30(01): 36-37+69.
- [2]李爱听, 游国强, 窦韶旭, 等.硅热法炼镁煅烧工序节能减排技术的现状及发展[J].轻金属, 2010, (10): 50-55+58.
- [3]熊呈辉, 周天瑞, 徐河, 等.我国硅热法炼镁现状及发展趋势[J].轻金属, 2005, (11): 49-51.
- [4]冷举顺, 李相增.皮江法炼镁技术发展现状[J].轻金属, 1995, (11): 34-38.