

doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2020.06.005

推进我国金属镁冶炼行业绿色转型 发展的对策建议

周鹏,刘磊,袁彦婷,张承舟

(生态环境部 环境工程评估中心,北京 100012)

摘要:分析了我国金属镁冶炼行业的现状及特点,对我国炼镁企业的环保技术现状进行了概括。指出我国金属镁冶炼行业存在产能过剩严重、生产过程高污染高耗能、行业排放标准不尽合理、行业环境管理水平低等问题。为推进我国金属镁冶炼行业绿色转型发展,建议出台行业环境管理指导意见、开展电解法炼镁关键环保技术研究、尽快启动行业污染排放标准修订、加强无组织排放管控和固体废物处置力度。

关键词:镁冶炼;环境问题;排放标准;清洁生产;绿色发展

中图分类号:TF822;X758

文献标志码:A

文章编号:1007-7545(2020)06-0024-06

Countermeasures to Promote Green Transformation Development of Metal Magnesium Smelting Industry in China

ZHOU Peng, LIU Lei, YUAN Yan-ting, ZHANG Cheng-zhou

(Appraisal Center for Environment and Engineering, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China)

Abstract: Current status and characteristics of China's metal magnesium smelting industry were analyzed and environmental protection technologies were summarized. It pointed out some environment problems such as severe overcapacity, high pollution and energy consumption in production process, unreasonable emission standards and low environmental management standard. In order to promote green transformation and development of magnesium smelting industry in China, some suggestions were put forward, such as issuing industry environmental management guidance, conducting research on key environmental protection technologies for electrolytic magnesium smelting, initiating revision of industry pollution emission standards as soon as possible, and strengthening fugitive emissions control and solid waste disposal.

Key words: magnesium smelting; environmental problems; emission standard; clean production; green development

以镁基为材料的镁合金具有密度低、比强度高、抗电磁干扰、环境污染小等特点,被誉为 21 世纪最具开发和应用潜力的绿色工程材料。世界镁合金产业的快速发展带动了原镁生产的急剧增长,镁成为

继铝、锌、铜、铅之后的第五大有色金属^[1-2],2018 年我国原镁产量接近世界的 90%^[3-5]。与此同时,我国生态环境管理力度越来越大,要求越来越高,中央环保督查、排污许可、“三线一单”等新型环保制度不

收稿日期:2020-02-13

基金项目:生态环境部 2019 年国家环境保护标准管理子课题(GB25468-2010)

作者简介:周鹏(1983-),男,湖北监利人,硕士,高级工程师

断出台,给行业发展也带来很大的压力,宁夏、山西等传统产区的部分镁冶炼企业停产,甚至有的骨干镁冶炼企业被迫取缔,镁冶炼行业出现了较大规模的洗牌^[2]。在此背景下,行业亟需加快绿色转型,走上高质量发展道路。

1 我国镁行业现状及特点

1.1 产业集聚性强,但集中度低

我国镁冶炼生产企业高度集聚于具有资源和能源优势的陕西和山西。2018年我国金属镁产能和产量分别为153.81万t、86.3万t,其中陕西和山西镁产能分别占全国的47%、27%,产量分别占全国的61%、23%^[5]。陕西省镁企基本都集中在榆林市府谷和神木,其中府谷市2018年镁产量占全国比重接近50%,占全球接近40%。与此同时,我国金属镁冶炼行业集中度较低,产能5万t/a以上的企业仅有5家^[5]。在已申报排污许可证的近60家镁冶炼企业中,超过50%的企业产能规模在2万t/a以下。

1.2 生产工艺单一,基本都采用皮江法炼镁

世界上的镁冶炼技术主要有电解法和皮江法。国际上曾一度盛行电解法炼镁。我国1955年在辽宁抚顺铝厂建设了第1个镁电解车间,1985年在青海民和县建设了第2个电解镁厂民和镁厂^[3,6]。改革开放以后,国际镁价高企,大量民营企业竞相进入,工艺简单、投资小、成本低的皮江法得到快速发展。在皮江法炼镁的市场冲击下,投资大、技术要求高的国内外电解法镁厂纷纷关停,目前我国在运行的镁企全部采用皮江法。2016年就已建成的青海格尔木金属镁一体化项目采用电解法炼镁,因技术、资金、成本等各种原因一直未能正常运行。

1.3 充分依托有关行业,循环经济成效显著

榆林是我国最主要的兰炭和镁生产基地,当地将两大产业充分融合,形成兰炭—镁冶炼的循环产业链。兰炭企业生产的硅铁可作为镁冶炼的还原剂,产生的煤气可作为燃料。相对于主要以发生炉煤气为燃料的山西镁企,陕西镁企吨镁至少可节省3 000元。这种模式于2012年获得第69届国际镁协环保奖^[7]。青海盐湖金属镁项目是我国唯一采用电解法的项目。企业以钾肥生产废液老卤为原料,该项目若正常运行,将形成钾肥—镁—PVC的循环产业链。该项目2019年获得了国际镁协环境责任奖^[8]。

2 我国镁冶炼工业环保技术现状

2000年前后,我国镁冶炼大多为民营小企业,

生产工艺落后、机械化水平低。据不完全统计,当时镁冶炼企业达到500家以上^[3]。由于国内镁产能的快速、过度、低水平重复发展,2004年国家发改委联合人民银行、中国银监会发布《当前部分行业制止低水平重复建设目录》(发改产业[2004]746号),将镁冶炼项目列入限制类,要求各级主管部门立即停止镁冶炼项目的审批,拟建、在建项目一律停建。皮江法的资源和能源消耗都很大,每生产1t镁,需消耗燃料煤8~12t、白云石11~14t、硅铁1.2~1.5t、萤石0.2t、电8 600 kWh^[1]。与钢铁、铜、铝、铅、锌、锡等金属相比,其能耗水平是最高的^[3]。大多数企业直接以煤为燃料,几乎不采取任何污染治理设施,污染排放十分严重。2006年,金属镁冶炼产品被国家列入“两高一资”(高污染、高能耗、资源型)出口产品,取消出口退税^[9]。此后,随着国际镁价下行、环保压力增加,企业加大环保管理与投入,行业清洁生产水平和污染防治技术水平都有了显著提高。

2.1 清洁生产水平不断提高

行业清洁水平主要体现在两方面:

一是燃料清洁化。以原煤直接加热的生产工艺已全部取缔,煤转化的燃料气成为主要能源。陕西主要以兰炭生产过程中的兰炭尾气为燃料,山西镁企则主要以发生炉煤气为燃料。另有个别企业以天然气为燃料,如巢湖云海镁业有限公司。

二是生产工艺水平明显提升。煅烧工段:过去机械化程度低、难以有效收集废气的竖窑和平窑技术已全部淘汰,企业采用回转窑技术生产锻白,并回收余热。如山西八达镁业有限公司,窑尾采用竖式预热器回收烟气预热,窑头采用立筒冷却机回收成品余热。还原和精炼工段:在行业协会的大力推动下,镁冶炼企业基本全部采用蓄热式燃烧技术,回收还原和精炼工段的余热。此外,一些企业采用竖罐技术进行还原,结晶镁可直接从底部取出,相较横罐技术,因不需清掏镁渣,其无组织排放大大降低。

经过上述改进,目前皮江法炼镁企业每吨原镁平均能耗约4.5t标煤,20年间下降约55%。

2.2 污染治理技术不断进步

我国炼镁企业全部采用皮江法,该法以白云石为原料,煅烧生成锻白(MgO·CaO),再将锻白与硅铁(还原剂)和萤石(催化剂)按比例配料,经过球磨并压制团,然后装入还原罐中在高温和抽真空条件下,进行高温热还原得到粗镁,粗镁经精炼、浇铸得到精镁。镁冶炼时在煅烧、还原、精炼等工段都

会产生大量污染物。21世纪初,大部分镁冶炼厂直接利用原煤为能源,仅有少数几家较大规模的镁企业对煅烧、还原工序产生含SO₂烟气采用石灰乳空塔洗涤净化方式。随着我国环保标准要求不断提高,特别是原环境保护部于2010年发布《镁、钛工业污染物排放标准》(GB 25468—2010),对皮江法炼镁企业废气和废水排放提出了明确排放限值要求后,各企业逐渐规范了污染治理。

2.2.1 大气污染治理技术

皮江法炼镁企业在原料堆存及破碎、制团等过程主要产生粉尘，煅烧、还原和精炼工段主要因燃料燃烧而产生颗粒物、 SO_2 和 NO_x 。主要生产工艺及废气产生环节如图 1 所示。值得注意的是，GB 25468—2010 中并未规定 NO_x 排放要求，直至 2013 年原环保部发布了标准修改单，提出大气污染特别排放限值要求，增加了 NO_x 排放指标。目前，除山西省环境保护厅（现山西省生态环境厅）2018 年发布了《关于在全省范围执行大气污染物特别排放限值的公告》要求有色金属行业执行特别排放限值，其他镁冶炼企业所在省份均无此要求。根据调研，山西镁企在煅烧工段已采用 SNCR+SCR 法脱硝，但

表 1 中国镁冶炼企业大气污染防治技术

Table 1 Air pollution control technologies of magnesium smelting enterprises in China

产污单元	污染因子	一般排放限值污染治理技术
原料制备	颗粒物	旋风除尘+袋式除尘,袋式除尘
白云石煅烧	颗粒物 SO ₂ NO _x	旋风除尘+袋式除尘,袋式除尘 白云石中含有 MgO 和 CaO, 是天然的脱硫剂, 企业一般不需治理 除山西镁企采用 SNCR+SCR 法脱硝外, 其他地区一般不处理
还原	颗粒物 SO ₂ NO _x	袋式除尘、湿法喷淋 一般采用湿法或半干法脱硫, 如石灰石-石膏法, MgO 法等; 一些企业采用湿式氧化法净化脱除燃料气中的硫, 进一步降低 SO ₂ 排放 尚无企业进行脱硝
精炼	颗粒物 SO ₂ NO _x	袋式除尘、湿法除尘 一般采用湿法或半干法脱硫, 如石灰石-石膏法, MgO 法等; 一些企业采用湿式氧化法净化脱除燃料气中的硫, 进一步降低 SO ₂ 排放 尚无企业进行脱硝
其他	颗粒物	旋风除尘+袋式除尘、袋式除尘

2.2.2 水污染防治技术

我国镁冶炼企业废水主要包括生产废水和生活污水两类。生产废水主要为湿法处理 SO₂ 产生的酸性废水，一般采用中和、混凝、沉淀处理后回用，废水不外排。生活污水主要污染物为 COD、SS、氨氮、动植物油，一般采取生物膜法、A/O 法处理后回用或化粪池处理后排往城市生活污水处理厂。

总的来说，我国镁冶炼企业废水经处理后基本全部回用，不直接外排。

在还原和精炼工段因技术、成本等因素尚未开展脱硝。根据统计，我国镁冶炼企业所采用的污染防治技术如表 1 所示。

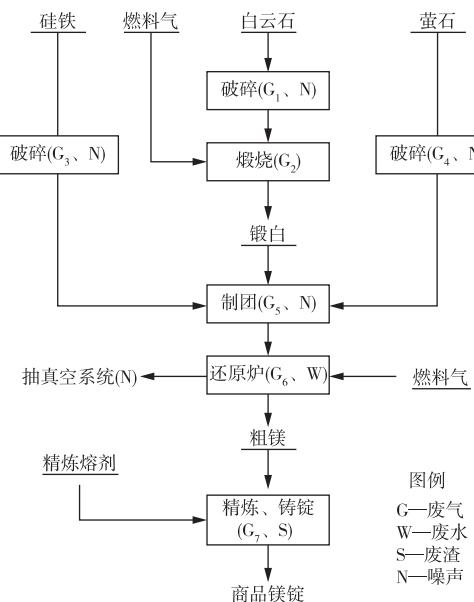


图 1 皮江法炼镁工艺及主要污染产生环节

Fig. 1 Manufacturing processes and main pollution generation links in Pidgeon magnesium smelting

2.2.3 固体废物和噪声治理情况

皮江法炼镁主要固体废物为还原炉废渣,主要成分为 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 。吨镁废渣产生量 5~6 t^[1]。还原废渣可用于新型墙体材料、路用材料及制造水泥等^[10],但受经济大环境影响,废渣利用率较低,榆林地区大量的废渣堆存在厂区,不仅占用大量土地资源,也存在一定的地下水污染风险。

金属镁冶炼企业噪声影响并不大,采取常规减振降噪措施后,厂界噪声一般能够满足《工业企业厂

界环境噪声排放标准》(GB 12348—2008)2类要求。

3 我国镁冶炼工业面临的主要环境问题

3.1 产能过剩严重,大量企业不符合准入条件

因缺乏产业发展规划,企业盲目扩张,近10年来我国镁产能利用率平均仅53%^[11],产能过剩严重。与此同时,大量不符合工业和信息化部2011年公告第7号《镁行业准入条件》的小型镁企依然存在,且企业数量占比达27%,最小规模的企业产能仅0.2万t/a,远低于1.5万t/a的准入规模要求。

3.2 生产过程高污染高耗能,国家谨慎控制行业发展

虽然近年来皮江法炼镁企业清洁生产水平已有显著提升,能耗大大降低,但仍显著高于铜、铝、铅、锌等金属^[3]。根据企业申报的排污许可资料、相关城市环统数据,结合实际调研情况,皮江法炼镁企业每生产1t镁大约消耗4.5t标煤、9t新水、11t白云石、1.1t硅铁、0.15t萤石粉、0.1t精炼熔剂,产生约43.9kg烟尘、37.3kgSO₂、44.7kgNO_x和5~6t废渣。因此,生态环境部在《环境保护综合名录(2017年版)》将镁冶炼定为高污染行业,国家发展和改革委员会在发布的2011版和2019版《产业结构调整指导目录》均将镁冶炼定为限制类行业。

3.3 行业排放标准不尽合理

原环境保护部2010年发布了《镁、钛工业污染物排放标准》(GB 25468—2010),要求烟尘、SO₂排放浓度不超过50mg/m³(煅烧工段150mg/m³)、400mg/m³。2013年原环境保护部发布了标准修改单,提出大气污染物特别排放限值要求,增加了NO_x排放指标,要求烟尘、SO₂和NO_x排放浓度分别不超过10、100、100mg/m³。

3.3.1 NO_x排放管控不合理

目前,除山西镁企因执行大气特排限值而对NO_x进行处理外,其他地区均未进行控制。以煅烧工段为例,其排放的烟气中NO_x浓度一般在600mg/m³以上,甚至可达1000mg/m³。山西省普遍采取最成熟的非催化还原(SNCR)+选择性催化还原(SCR)法进行脱硝,基本能够满足特排限值要求。而主要产镁大户陕西榆林却未进行任何控制,排放了大量的NO_x。据统计,2018年榆林市镁冶炼企业NO_x排放量约1.6万t,占全市工业排放量的11.2%。

另一方面,过于严格的特排限值要求也让部分企业在节能和减排间遇到矛盾。镁冶炼在还原和精

炼工段采取蓄热燃烧技术,约1200℃高温烟气经余热回收后排放温度仅100℃左右,NO_x排放浓度150~300mg/m³。目前最主流、最成熟的脱硝技术SNCR和SCR法要求烟气温度分别在至少850℃和230℃以上,这意味着对主要以发生炉煤气为燃料的山西镁企而言,必须要加大燃料供给,提高烟温才能实现脱硝。《镁行业准入条件》要求“吨镁综合能耗在4.5t标准煤及以下”,目前镁冶炼行业平均综合能耗为4.5t标煤^[4],行业在节能与NO_x减排间难以兼顾。

3.3.2 2010版标准限值宽松

以目前的除尘和脱硫技术而言,企业达标排放毫无压力。一些注重污染防治的镁企也证实了这一点:煅烧工段的颗粒物浓度一般低于50mg/m³,甚至低于20mg/m³;SO₂排放浓度一般低于100mg/m³;还原和精炼工段颗粒物浓度一般低于20mg/m³,SO₂一般低于100mg/m³。由于标准限值较宽松,相当一部分企业仅以达标为目的,甚至还有企业违法超标排放,不同企业的污染排放差距较大。

3.3.3 部分指标缺失

金属镁在精炼过程中需添加精炼熔剂,熔剂主要成分为氯化物,有可能在冶炼时产生氯化氢。实际监测发现,陕西地区镁企在采取脱酸处理后,氯化氢排放浓度仍可达20mg/m³以上,甚至65mg/m³。但排放标准中并无氯化氢因子,各地区镁企或者执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996),或者不进行任何控制。

3.4 行业环境管理水平较低,无组织排放严重

3.4.1 煤气发生炉 VOCs 排放严重

根据企业申报的排污许可材料,以发生炉煤气为燃料的镁冶炼企业有14家(8家在山西),产能占全国的25%左右。煤气制取过程产生的焦油和含酚废水会散逸大量的VOCs。除山西要求采取加盖措施外,其余地区基本未有要求。而山西镁企虽然进行了加盖,但没有进一步的处理措施,厂区异味仍十分明显。

3.4.2 还原车间无组织排放严重

镁企普遍采取横罐炉技术进行还原炼镁,该技术机械化、自动化程度较低,特别是在还原结束后采取人工掏渣方式时扬尘十分严重。除山西地区要求企业在还原炉出渣口上方建设集气罩收尘,其他地区基本未有要求。

3.4.3 酸性气体控制不到位

粗镁在精炼过程中会产生氯化氢等并从冶炼坩

埚中逸出,铸锭时在金属表面加入硫磺防止镁被空气还原而产生 SO₂。一些地方的镁企,如内蒙古,未对 HCl 和 SO₂ 进行收集处理。陕西和山西地区镁企虽然对废气进行了收集,但效果普遍不理想,或者集气罩设计不科学、或者引风机风量过小、引风管线过长等。

4 镁冶炼行业绿色发展转型建议

4.1 出台行业环境管理指导意见

按照“绿色转型、严格准入、降耗减排”原则,建议生态环境主管部门联合相关部委制定行业环境管理指导意见。鼓励大中型优势镁冶炼企业并购小型镁厂,特别是以发生炉煤气为燃料的小型镁厂。除综合利用项目和先进节能环保工艺技术改造项目外,各地一律不得审批镁冶炼项目环评。鼓励采用竖罐等节能环保技术。明确“十四五”镁冶炼行业环境管理工作目标。

4.2 开展电解法炼镁关键技术研究,进一步提升行业清洁水平

电解法炼镁使用清洁能源,污染排放明显优于皮江法。挪威 N. H. 公司波斯格龙镁厂使用无隔板电解槽生产镁技术,早在 20 世纪 90 年代就实现了近零排放^[12]。我国洛阳双瑞万基以电解法炼镁,用作钛生产的还原剂。其电解镁车间几乎无环境污染。青海格尔木金属镁一体化项目一期设计产能 10 万 t/a,超过了所有的皮江法炼镁企业,远期规划更是达到 40 万 t/a,占我国目前原镁产能的 26%,极可能显著改变我国原镁发展远景。建议开展青海格尔木金属镁项目关键技术、特别是氯化炉尾气和电解槽阴极气体处理等关键环保技术研究,助力企业快速走上运行轨道,提升我国镁冶炼行业的整体清洁生产水平。

4.3 尽快启动行业标准制订和修订工作

尽快启动行业排放标准修订工作。可重点考虑增加 NO_x 控制因子、并全面收严各工段的颗粒物和 SO₂ 的标准限值。研究将 HCl 纳入控制因子的必要性。综合考虑燃料来源、生产工艺特点,从技术、节能、环保、经济等多角度论证执行特别排放限值的科学性,避免执行时的环保“一刀切”问题。此外,原环境保护部 2010 年发布的《关于深入推进重点企业清洁生产的通知》(环发〔2010〕54 号)将“镁冶炼”作为重点企业清洁生产行业分类管理名录。建议尽快启动镁行业清洁生产指标体系制订工作,进一步指导皮江法炼镁企业提升清洁生产水平。

4.4 加强无组织排放管控和固体废物处置,提升行业环境管理水平

无组织排放管控方面:一是结合国家和地方出台的有关煤气发生炉的产业和环保政策,禁止新建镁冶炼企业采用煤气发生炉。已采取煤气发生炉的镁企应对煤焦油、含酚废水等 VOCs 逸散区进行收集处理。二是对采取横罐技术进行还原的镁企,建议安装封闭厂房,并在罐口上方加装集气罩和除尘设施。三是在精炼和浇筑工段加大集气罩的收集和废气治理效果。

固体废物处置方面:一是要做好镁还原渣的规范化堆存。镁还原渣属于一般固体废物,需要按照《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599—2001)要求,将镁还原渣堆存于专门的工业固体废物贮存或处置场。二是进一步探索镁还原渣的利用途径,提高固体废物利用率。

5 结论

在对我国金属镁冶炼行业的现状及特点进行分析的基础上,为推进我国金属镁冶炼行业绿色转型发展,建议出台行业环境管理指导意见、开展电解法炼镁关键环保技术研究、进一步提升行业清洁水平、尽快启动行业污染排放标准修订、加强无组织排放管控和固体废物处置力度等措施。

参考文献

- [1] 湖南省湘西和鑫纳米材料有限公司. 我国金属镁行业的环境问题及对策建议[C]//2009年中国镁盐行业年会暨节能与发展论坛论文集. 哈尔滨:中国无机盐工业协会钙、镁盐分会,2009:130-134.
Hunan Xiangxi Hexin Nanomaterials Co., Ltd. Environmental problems and countermeasures of magnesium industry in China[C]//Collected papers of magnesium salt industry annual conference of China in 2009 & forum on energy conservation and development. Harbin: Calcium and Magnesium Salt Branch of China Inorganic Salt Industry Association,2009:130-134.
- [2] 梁冬梅. 皮江法炼镁还原炉节能技术的现状与发展[J]. 有色冶金节能,2018(5):15-19.
LIANG D M. Current status and development of reduction furnace energy saving technology in Pidgeon smelting magnesium [J]. Energy Saving of Nonferrous Metallurgy,2018(5):15-19.
- [3] 孟树昆. 中国镁工业五十年发展评述[J]. 中国金属通报,2007(50):8-13.

- MENG S K. A review on the development of magnesium industry in China in the past 50 years[J]. *China Metal Bulletin*, 2007(50):8-13.
- [4] 林如海.“十三五”以来我国镁产业发展情况评估和对“十四五”的预思考[C]//2019年全国镁行业大会暨镁业分会第二十二届年会论文集. 北京:中国有色金属工业协会镁业分会,2019:1-9.
- LIN R H. Assessment of the development of magnesium industry in China since the 13th five-year plan and the forethought of the 14th five-year plan[C]//Proceedings of the national magnesium industry conference and the 22nd annual meeting of magnesium industry association in 2019. Beijing: Magnesium Branch of China Nonferrous Metals Industry Association, 2019:1-9.
- [5] 中国有色金属协会镁业分会. 2018年中国镁工业发展报告[R]. 北京:中国有色金属协会镁业分会,2019. Magnesium Branch of China Nonferrous Metals Industry Association. China's magnesium industry development report 2018 [R]. Beijing: Magnesium Branch of China Nonferrous Metals Industry Association, 2019.
- [6] 王祝堂. 镁课堂:(八)中国的镁电解工业[EB/OL]. (2015-01-30)[2020-02-11]. <https://www.cnmn.com.cn>ShowNews1.aspx?id=310808>.
- WANG Z T. Knowledge of magnesium: (8) China's magnesium electrolysis industry[EB/OL]. (2015-01-30)[2020-02-11]. <https://www.cnmn.com.cn>ShowNews1.aspx?id=310808>.
- [7] 董春明. 陕西金属镁工业循环经济模式获“国际镁协环境保护责任奖”[EB/OL]. (2012-07-05)[2020-02-11]. <https://www.cnmn.com.cn>ShowNews1.aspx?id=243387>.
- DONG C M. Shaanxi magnesium industrial recycling economy model won the environmental protection responsibility award by International magnesium association. [EB/OL]. (2012-07-05) [2020-02-11]. <https://www.cnmn.com.cn>ShowNews1.aspx?id=243387>.
- [8] 镁动力. 青海盐湖金属镁及镁合金一体化项目获得2019年国际镁协环境责任奖[EB/OL]. (2019-05-29)[2020-02-11]. <http://www.magppc.com/mg/11290.html>. Magnesium Power. Magnesium metal and magnesium alloy integration project in qinghai salt lake has won the international magnesium association environmental responsibility award 2019 [EB/OL]. (2019-05-29)[2020-02-11]. <http://www.magppc.com/mg/11290.html>.
- [9] 贵阳铝镁设计研究院有限公司. 镁、钛工业污染排放标准(征求意见稿)编制说明[R]. 贵阳:贵阳铝镁设计研究院有限公司,2006. Guiyang Aluminum Magnesium Design & Research Institute Co., Ltd. Explanation of compilation for exposure draft of emission standard pollutants for magnesium and titanium industry [R]. Guiyang: Guiyang Aluminum Magnesium Design & Research Institute Co., Ltd., 2006.
- [10] 徐祥斌,罗序燕,李长勇. 镁还原渣的应用现状[J]. 轻金属,2009(7):49-52.
- XU X B, LUO X Y, LI C Y. Situation of magnesium slag applications[J]. Light Metals, 2009(7):49-52.
- [11] 生态环境部环境工程评估中心. 镁、钛工业污染物排放标准(GB 25468—2010)评估实施方案[R]. 北京:生态环境部环境工程评估中心,2019. Appraisal Center for Environment and Engineering, Ministry of Ecology and Environment. Implementation plan for evalution of emission standard pollutants for magnesium and titanium industry(GB 25468—2010)[R]. Beijing: Appraisal Center for Environment and Engineering, Ministry of Ecology and Environment, 2019.
- [12] 徐日瑤,彭志宏. 国内外镁工业技术差距的剖析[J]. 轻金属,1993(8):34-39.
- XU R Y, PENG Z H. Analysis of the technology gap between magnesium industry at home and abroad[J]. Light Metals, 1993(8):34-39.