

· 环境管理 ·

中小镁厂清洁生产初探

魏 婷¹, 吴长年¹, 王 勇¹, 侯文胜²

(1. 南京大学环境学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京 210093; 2. 浙江省龙游县环境保护局, 浙江 龙游 324400)

摘要: 以小型镁厂为例, 分析其设备选型、生产工艺、原材料和能源消耗、污染防治, 提出中小镁厂进行清洁生产的建议和措施。以期为中小镁厂今后的工程设计、技术改进及工程投运后的环境管理决策提供科学依据。

关键词: 清洁生产; 金属镁; 节能降耗

中图分类号: X505

文献标识码: A

文章编号: 1001-3644(2005)04-0089-03

Discussion of Cleaner Production in Medium- and Small-scale Magnesium Plants

WEI Ting¹, WU Chang-nian¹, WANG Yong¹, HOU Wen-sheng²

(1. School of Environment, State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse Research, Nanjing

University, Nanjing 210093, China; 2. Longyou Environmental Protection Bureau, Longyou, Zhejiang 324400, China)

Abstract: Taking small-scale magnesium plant as an example, the four aspects of type of equipment, production process, consumption of both raw materials and energy, and pollution treatment for its cleaner production are analyzed. Then the measures which refer to cleaner production for medium- and small-scale magnesium plants are put forward in order to provide scientific basis for engineering design, technical improvement, and environmental management and policy decision.

Key words: Cleaner production; magnesium; energy saving and consumption reducing

1 前 言

面对全球经济发展的不断扩大和资源耗竭与环境破坏日益严重的双重挑战, 巴西里约环发大会确立了协调经济与环境的可持续发展战略及其行动纲领《21世纪议程》, 并将清洁生产作为实施可持续发展战略的关键措施大力推广。世界各国积极响应并广泛采纳, 相继出台了各项环境法规、政策和法律制度, 在全球范围内掀起了清洁生产活动的浪潮。1990年以来, 联合国环境规划署已先后举办了六次国际清洁生产高级研讨会, 并于1998年10月出台了《国际清洁生产宣言》, 取得了巨大的环境与经济效益^[1-4]。

1992年中国将推行清洁生产列入《环境与发展十大对策》; 1993年国家环境保护总局与国家经贸委在联合组织的第二次全国工业污染防治工作会议上, 进一步明确提出工业污染防治必须向生产全过程转变, 随之在世界银行及联合国环境署的支持下, 国家环境保护总局组织了我国首次系统实施清洁生产的 B-4

示范项目: 《促进中国的清洁生产》; 于1999年5月下发了《关于实施清洁生产示范试点计划的通知》中选择石化、冶金、化工、轻工、船舶5个行业为清洁生产示范试点行业; 并于2003年1月正式实施《中华人民共和国清洁生产促进法》^[5-7]。

我国作为全球最大的金属镁生产国, 在冶金行业之一的金属镁行业推行清洁生产意义十分重大, 但目前大部分的中小镁厂由于资金技术问题还止步不前, 甚至很多方面不符合清洁生产的要求, 而且相应的研究开展的很少。针对这种情况, 本研究以一家小型金属镁厂为例对其进行清洁生产分析, 为中小镁厂今后的工程设计及工程投运后的环境管理决策提供科学依据。

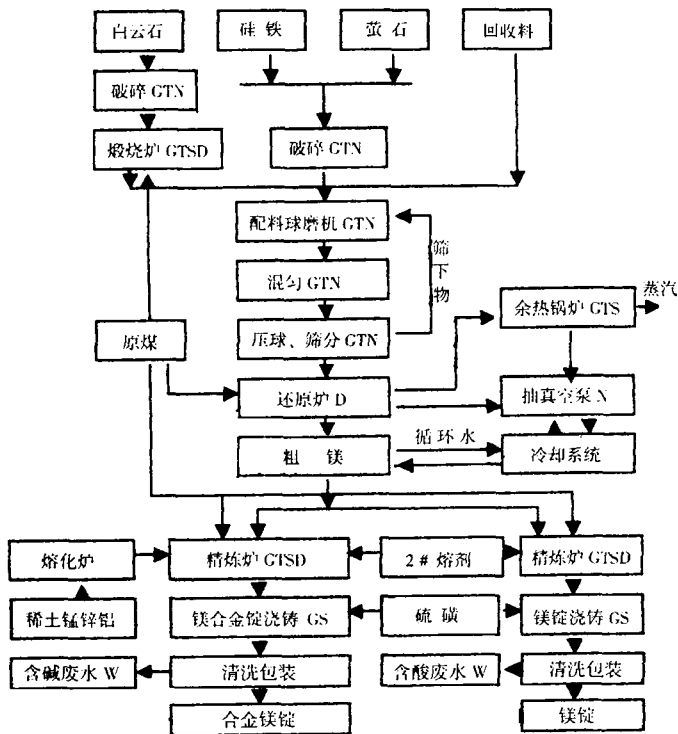
2 研究实例

该厂采用皮江法生产金属镁。以煤粉作为燃料将白云石加入立窑中进行煅烧产生煨白。煅烧温度为1200℃~1250℃, 其化学反应为: $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 = \text{CaO} \cdot \text{MgO} + 2\text{CO}_2 \uparrow$ 。煨白、硅铁、萤石按比例混匀并磨至<100目后送还原工段生成粗镁, 主要化学反应为: $2(\text{MgO} \cdot \text{CaO}) + \text{Si}(\text{Fe}) = 2\text{Mg} \uparrow + 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 +$

收稿日期: 2004-11-09

作者简介: 魏 婷(1981-), 女, 天津人, 现为南京大学环境学院环境科学专业2004级在读硕士研究生, 研究方向为环境评价、环境管理和环境规划。

(Fe)。再经过精炼或加入辅助剂即可生产出精镁或镁合金。生产工艺流程见下图。



G—大气；D—废渣；T—烟、粉尘；
W—废水；N—噪声；S—二氧化硫。

图 金属镁、镁合金生产工艺流程图

3 清洁生产分析

清洁生产是指不断采取改进设计、使用清洁的能源和原料、采用先进的工艺技术与设备、改善管理、加强综合利用等措施，从源头削减污染，提高资源利用效率，减少或者避免生产、服务和产品使用过程中污染物的产生和排放，以减轻或者消除对人类健康和环境的危害^[8~10]。

3.1 主要生产设备选型分析

3.1.1 煅烧窑

目前国内外主要采用立窑和回转窑^[11]。现将其各项技术经济指标对比分析，见表 1。

回转窑属于清洁生产设备，满足我国对环境保护条件、能源的合理利用、机械化和自动化水平的要求，回转窑的使用已成为趋势。该厂由于规模较小投资有限仍采用立窑。建议在利用立窑煅烧白云石技术上改进。除完善操作、精选原料外，还应改进炉子结构、提高机械化程度、改换能源结构、采用半煤气外燃烧室、底部出料，再配套相应的环保措施。

表 1 立窑和回转窑的技术经济指标对比

技术经济指标	立 窑	回转窑
能源结构	原煤	煤气、天然气或重油
能耗	每吨耗煤 30~50kg	每吨耗重油约 15kg
煅白活性	平均为 25%	平均 30%~35%
环境污染	烟气需经净化设施净化后可达标排放	烟气无需净化即可达标排放
原料利用率	40%~50%	90%以上
热效率	平均为 28%	平均为 34%
镁还原实收率	72%	84%
设备投资	立窑投资是回转窑投资的六分之一	回转窑投资是立窑投资的六倍

3.1.2 还原炉

目前国内还原炉按加热方式不同主要分为燃煤还原炉和燃气还原炉。现将这两种设备的各项技术经济指标对比分析，见表 2。

燃气还原炉为清洁生产设备，本厂采用燃煤还原炉，设施落后，建议该厂改换还原炉装置。

表 2 燃煤还原炉和燃气还原炉技术经济指标对比

技术经济指标	燃煤还原炉	燃气还原炉
能源结构	原煤	煤气
能耗	每吨耗煤 8.4 吨	每吨耗煤 7.87 吨
环境污染	烟气需经净化设施净化后可达标排放	烟气无须净化即可达标排放
使用寿命	3.5~4 个月	6 个月，可相应节省 5000 元
每罐产镁量	13.76 公斤	17.76 公斤
设备投资	燃煤还原炉要配置煤气发生炉装置	燃气还原炉无需配置

3.1.3 精炼炉

加热方式有三种。电加热：无燃烧废气，但需增加电力负荷；以煤气为能源：燃烧废气可直接达标排放，同时须配套建设煤气发生炉装置增大投资额；该厂以原煤为燃料：投资小但燃烧烟气须进一步除尘净化才能达标排放。装置较为落后，不符合清洁生产的要求。建议根据本地资源优势或能源优势改换精炼炉加热方式。

3.2 生产工艺比较分析

世界上镁的生产方法为电解法和硅热法（皮江法、内热法和半连续硅热法）。电解法：产量大可连续生产，经济效益好。但电耗大，投资大，镁的质量稍差，生产过程中产生大量毒性较大的污染物 Cl_2 和 HCl ，环境污染重；半连续硅热法和内热法：经济效益好，运行成本低，但建厂投资大；皮江法：工艺简单，投资省，镁的质量好，生产过程中主要产生烟（粉）尘、二氧化硫，对环境危害相对小，环境污染相对容易处理，是比较成熟的生产工艺^[12~16]。目前我国 70% 的镁厂均采用皮江法，鉴于该厂的经济技术水平，采用

皮江法生产金属镁，工艺选择较为合理。

3.3 原辅材料及能源消耗分析

由于金属镁冶炼的清洁生产行业标准目前还未出台，本研究搜集了国内外有代表性厂家的主要技术经济指标，见表 3，以作为参比指标。

表 3 国内外硅热法生产镁的主要技术经济指标^[17]

主要技术经济指标	中国皮江法	日本古河皮江法	日本宇都皮江法	意大利内热法	法国半连续法	该厂皮江法
煅白 (t/t 镁)	6.5	4.59	4.97	5.18	6.10~6.70	8.73
硅铁 (t/t 镁)	1.40	1.06	1.10	0.96	1.05~1.15	1.10
萤石 (t/t 镁)	0.16	0.16	0.06	-	-	0.15
电力 (KW·h/t 镁)	3500	1500	1950	8000	13500	6994
还原罐规格	16 罐	16 罐	20 罐	1000KW	4500KW	16 罐
单炉年产能 (t/a)	290	350	375	660	2200	270
燃料消耗 ($\times 10^4$ KJ/t 镁)	2.9	1.56	1.67	0.6	0.8	2.11

从表 3 中可看出：我国皮江法炼镁原材料消耗高、能耗高，除设备水平差距外，生产中对原料白云石、硅铁、萤石的质量要求不严，对配料比和配料的准确性控制不准，工艺条件达不到要求，产品质量不稳定，镁回收率远低于国外先进指标^[18~19]，这是我们应注意的地方。新世纪之初，我国把开发具有自己知识产权的世界领先的镁冶炼技术作为重大科技项目进行攻关，是非常正确的，也是必要的，特别是开发具有我国自己知识产权的先进的内热式还原炉炼镁技术，对提高我国炼镁冶金技术将起重大作用。因为它不仅可以节省大量的能源，改善环境，而且还大幅度降低镁冶炼的生产成本。初步计算，采用先进的内热式反应炉炼镁还原技术，比采用现有技术可以降低生产成本 1000~1500 元/t-Mg，节省烟煤 10t/t-Mg。按我国每年生产 20 万 t 金属镁计算，我国一年成本降低所产生的经济效益为 2~3 亿元，节省煤炭资源 200 万 t (烟煤)。

该厂耗电量很大，应加强还原炉余热的综合利用，利用余热锅炉产生的蒸汽直接带动压缩机抽真空，改变用抽真空的电耗。

该厂由于采用了节煤措施，使得生产吨镁产品煤耗较国内平均水平减少 0.79×10^4 KJ/t 镁，但还是大于日本先进水平。

3.4 污染控制措施分析

工艺排污节点见上图。

3.4.1 废气

该厂对煅烧烟气采用沉降室加湿法除尘器经脱硫除尘处理后高空排放；对还原炉烟气用沉降室加高效喷淋脱硫除尘器脱硫除尘；对精炼炉烟气并入还原炉净化系统统一处理；物料在破碎、细磨和运输过程粉尘大，该厂除加强设备密封外，还对各料落点设收尘装置，防止粉尘外溢于车间内造成环境污染；该厂在

国内同行业废气处理方面尚属于较好水平，废气治理效果显著。炉窑脱硫效率 $\geq 75\%$ ，除尘效率 $\geq 96\%$ ，处理后的烟气含尘浓度 ≤ 150 mg/Nm³，SO₂ 排放浓度 ≤ 214 mg/Nm³，污染物排放符合《工业炉窑大气污染物排放标准》的要求。考虑到还原炉烟气温度高，建议该厂设置余热锅炉，换取烟气的热量所产生的蒸汽做真空射流泵抽真空的动力，从而节省能源。

3.4.2 废水

该厂按水质不同进行相应的技术处理。对设备冷却水，由于使用前后只有温升变化，不做任何处理直接循环使用；对工业废水，中和其酸性后入沉淀池沉淀。上清液循环使用或定时外排，沉淀污泥送至渣厂堆存。经过如上处理后，该厂新水用量为 142m³/d，循环水用量 4880m³/d。二次利用水量 39m³/d。重复利用率高达 97.2%。污水排放符合《污水综合排放标准》二级标准。考虑到镁生产污水中含有大量盐类，特别是氯化钙和活性氯、氟、重金属等离子。建议镁厂建设脱盐设施，包括把所得盐卤加工成氯化钙商品溶液的设备。

3.4.3 固体废物综合利用

该厂还原炉炉渣含 CaO, MgO, SiO₂ 和 Fe₂O₃ 等，被用做水泥原料，替代部分熟料综合利用，也可作为建材材料综合利用；精炼渣含 NaCl, MgCl₂ 和 KCl 等，作为化工企业的原料综合利用；煅烧立窑、还原炉和精炼炉燃煤产生煤灰渣含 SiO₂ 和 Al₂O₃ 等，作为建材材料综合利用；原料车间通风除尘系统回收的粉尘返回系统利用；脱硫除尘系统的循环喷淋水经沉淀池沉淀排出的污泥主要为煤灰渣，送渣堆存。达到了清洁生产将废物减量化、无害化、资源化的要求^[20]。

4 中小镁厂进行清洁生产的建议和措施

企业实施清洁生产，要从生产——环境保护一体化的原则出发。从我国目前中小镁厂的情况分析，建议如下：

4.1 原辅材料的清洁性

从生产源头进行污染源削减控制，即优先选择无毒、低毒、少污染的原辅材料以防止原料及产品对人类和环境的危害，在原料白云石、硅铁、硫磺粉中，硫磺粉是毒性的物质，应用 2# 熔剂加以替代。

4.2 工艺设备的清洁性

采用转化利用率高、排污系数低、节能降耗且有利于生产操作控制自动化的新工艺和设备，达到节能、降耗、减污的目的。通过前文对该厂工艺设备清洁生

(下转第 96 页)

和种植面积。特别是发展适应当地气候、环境的传统的经济作物, 比如茶叶、慈竹、蕨菜、楠竹、水果、干果等等。这些经济作物可以结合下游农产品加工业发展, 形成大雪山自然生态小区绿色产业链。产业结构的调整将加快传统农业向现代集约农业转变, 不但有助于提高农业经济效益, 而且能够改善当地植被状况, 减轻农民劳动强度, 提高植被覆盖率, 促进水土保持和改善农区生态环境。在生态小区建设期间, 主要侧重于茶园、蕨菜、竹笋、水果和干果产业。近期

内应当将粮食作物和经济作物的比例逐步调整到接近 1:1 左右的水平。

参考文献:

(上接第 91 页)

产的分析, 建议中小镁厂从长远考虑投资引进先进清洁的工艺设备。

4.3 污染的预防和治理

除上文分析的“三废”预防治理的方法外, 还应对球磨机采取隔离和防治噪音设施; 对精炼过程产生的氯盐、氯化氢和二氧化硫等有害烟气应改善局部排烟和增设净化设施, 减少烟害污染危害。

4.4 生产过程的控制和管理

生产过程控制, 主要是控制重要生产指标, 如通过提高煅白活性度、选择合理配料比、提高还原时真空度来提高镁还原实收率; 通过降低料镁比、降低硅铁单耗、降低还原罐消耗来降低物耗; 通过合理控制空气消耗系数、合理选择煤气烧嘴、改善炉体结构、余热回收来降低能耗; 减少烟气中的污染物排放; 通过提高水的重复利用率和污染物排放综合达标率, 固体废弃物减量化、资源化和无害化, 提高环境保护设施的完好率和开发率。生产过程管理主要是强化清洁生产意识; 强化岗位、工序按标准化操作; 运用行政、经济等手段, 杜绝或减少生产过程的“跑冒滴漏”。

5 结束语

金属镁作业能耗高、物耗大、废物多。通过推行清洁生产, 采用清洁的原辅材料、先进的工艺设备和生产操作过程及有效的污染防治措施, 提高中小镁厂的环境效益和经济效益, 实现资源化生产, 走上可持续发展之路。

参考文献:

- [1] Petek J, Glavic P. Improving the sustainability of regional cleaner production programs[J]. Resources Conservation and Recycling, 2000, 29(1~2): 19-31.
- [2] Reijnders L. Policies influencing cleaner production; the role of prices and regulation[J]. Journal of Cleaner Production, 2003, 11(3): 333-

- [1] 韩 伟, 孙 辉, 唐 亚. 生态系统服务价值及其评估方法研究进展[J]. 四川环境, 2005, 24(1): 20-26.
- [2] 刘建设, 王 农. 西部开发与生态环境保护[J]. 农业环境与发展, 2001, 18(2): 36-37.
- [3] 陈孝青. 自然保护区生态旅游开发与保护浅析[J]. 林业调查规划, 2001, 26(4): 66-69.

- [338].
- [3] Fresner, Johannes. Cleaner Production as a means for effective environmental management[J]. Journal of Cleaner Production, 1998, 6(3~4): 171-179.
- [4] 石 磊, 钱 易. 清洁生产的回顾与展望—世界及中国推行清洁生产的进程[J]. 中国人口资源与环境, 2002, 12(2): 121-124.
- [5] 国合会清洁生产工作组. 清洁生产[J]. 世界环境, 2002, (4): 20-20.
- [6] 欧阳培. 推行清洁生产: 从污染的末端控制转向生产全过程控制[J]. 长沙大学学报, 2003, 17(1): 14-16.
- [7] 张天柱. 中国清洁生产政策制订的形势背景[J]. 化工环保, 2000, 20(3): 47-51.
- [8] 赵家荣, 何炳光. 清洁生产知识丛书[M]. 北京: 中国检察出版社, 2003. 5-30.
- [9] 朱慎林, 等. 清洁生产导论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001. 5-21.
- [10] Hiliary, Ruth, Thorsen, et al. Regulatory and self-regulatory measures as routes to promote cleaner production [J]. Journal of Cleaner Production, 1999, 7(1): 1-11.
- [11] 邱竹贤. 冶金学(下卷有色金属冶金)[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2001. 57-72.
- [12] Eliezer D, Aghion E, (SAM) Froes F H. Magnesium science, technology and applications [J]. Advanced Performance Materials, 1998, 5: 201-212.
- [13] Clifford B Wilson. Modern production process for magnesium [A]. Light Metal [C]. 1996. 1057-1079.
- [14] 徐日瑶. 硅热法炼镁理论与实践[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996-05.
- [15] 董民杰. 我国皮江法镁厂提高经济效益的基本途径 [J]. 轻金属, 1997, (7): 36-39.
- [16] 于旭光, 邱竹贤. 镁工业生产及应用的现状和展望 [J]. 材料与冶金学报, 2003, 2(3): 189-192.
- [17] 罗 黎. 国内外镁生产状况分析及对我国镁工业生产的看法[J]. 有色冶金, 1998, 27(6): 109-112.
- [18] 韩 薇. 2000 年中国镁工业进展与展望 [续] [J]. 中国镁业, 2001, (6): 2-7.
- [19] 李树林. 对二十一世纪初我国镁工业发展的思考 [J]. 轻金属, 2004, (4): 38-42.
- [29] 段 宁. 清洁生产、生态工业和循环经济 [J]. 环境科学研究, 2001, 14(6): 1-4.