

化工行业副产石膏资源化利用关键技术研究及经济性分析

马晶晶 张卫峰 郭庆伦 (山东鲁北企业集团总公司, 山东 滨州 251909)

摘要: 在化工行业, 全国每年都有大量的副产石膏产生, 这些副产石膏如果得不到有效管理和利用, 将会对生态环境造成极大的危害。将副产石膏进行资源化利用后, 不仅可以降低企业生产运营成本, 还能大大提高企业的经济效益。本文从化工行业副产石膏产生及综合利用情况、化工行业副产石膏资源化利用关键技术研究与应用、化工行业副产石膏资源化利用经济性分析和化工行业副产石膏资源化利用产业发展前景等方面进行详细论述, 可为广大副产石膏资源化利用产业及化工行业绿色化发展提供借鉴和参考。

关键词: 化工行业; 副产石膏; 资源化利用; 经济性分析; 经济效益

0 引言

化工行业副产石膏是指化工行业生产中因化学反应生产的以硫酸钙为主要成分的副产品或废渣, 也称化学石膏或工业废石膏。由于副产石膏种类繁多, 成分复杂, 导致目前我国化工行业副产石膏的资源综合利用率相对较低。积极开展化工行业副产石膏资源化利用关键技术研究, 并进行产业化应用, 可大大降低化工行业副产石膏对环境产生的危害, 将其“变废为宝”, 提高企业经济效益。

1 化工行业副产石膏产生及综合利用情况

我国的化工行业副产石膏主要包含: 以磷矿石和硫酸为原料生产磷酸或其他磷酸盐过程中排出的磷石膏; 采用硫酸酸解钛铁矿生产钛白粉时所产生的钛石膏; 用硫酸分解萤石制备氢氟酸的过程中产生的氟石膏等。2022 年, 我国主要化工副产石膏 (磷石膏、钛石膏、氟石膏) 总排放量约为 9932.16 万吨; 2023 年, 我国主要化工副产石膏 (磷石膏、钛石膏、氟石膏) 总排放量约为 10468.11 万吨。我国主要化工副产石膏 (磷石膏、钛石膏、氟石膏) 产生情况如表 1 所示。

据有关机构统计, 2023 年度我国磷石膏综合利用率约为 40.78%, 钛石膏综合利用率约为 2.04%, 氟石膏的综合利用率为 1.13%。目前, 化工行业副产石膏

资源综合利用后可以制成硫酸、硫酸铵等化工产品, 路基材料、土凝岩、石膏粉等建筑材料及农肥、土壤改良剂等领域。

表 1 2022 年 -2023 年磷石膏、钛石膏、氟石膏产生情况信息表

品类名称	2022 年 (万吨)	2023 年 (万吨)	增量 (万吨)
磷石膏	6849.00	7267.95	418.95
钛石膏	2348.40	2496.00	147.60
氟石膏	734.76	704.16	-30.60
总计	9932.16	10468.11	535.95

2 化工行业副产石膏资源化利用关键技术研究与应用

2.1 磷石膏制取硫酸联产硅钙钾镁肥关键技术

磷石膏是指在磷酸生产中用硫酸处理磷矿时产生的固体废渣, 其主要成分是硫酸钙。磷石膏中的硫酸钙可以与土壤中含铝物质反应生成 $\text{Al}(\text{SO}_4)^+$, 这不仅可以增加土壤中 Ca^{2+} 和有效硫元素的交换性, 还能提高土壤的 pH 值。采用磷石膏制取硫酸联产硅钙钾镁肥关键技术生产土壤调理剂的同时, 还可以同时生产硅钙钾镁肥料。在实际应用过程中我们发现, 油菜、樱桃、黄瓜、葡萄等农作物使用硅钙钾镁肥料后的整体品质得到了大幅提升。磷石膏制取硫酸联产硅钙钾镁肥关键技术生产流程图如图 1 所示。

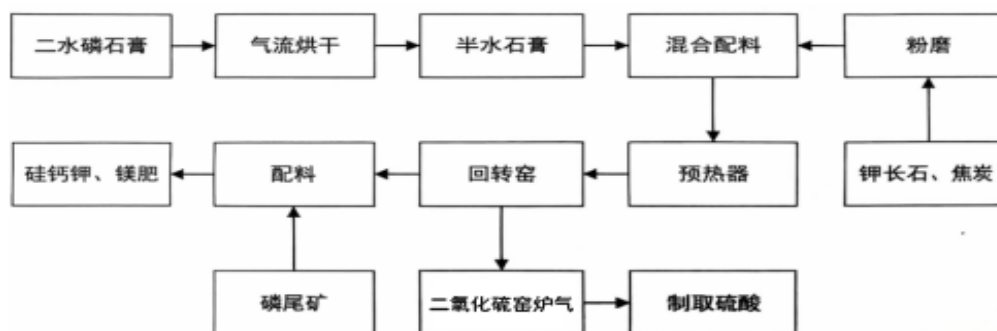


图 1 磷石膏制取硫酸联产硅钙钾镁肥关键技术生产流程图

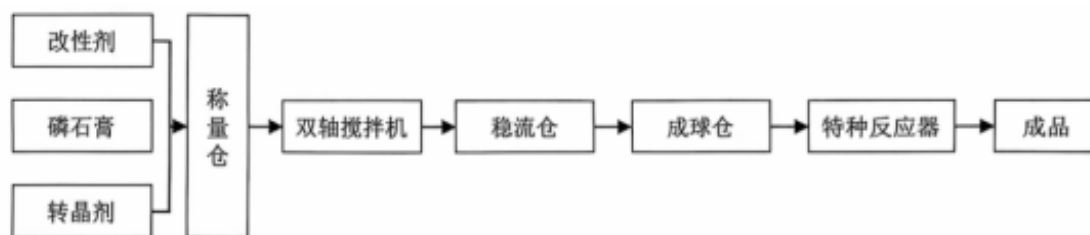


图2 新型改性磷石膏水泥缓凝剂制备关键技术生产流程图

2.2 新型改性磷石膏水泥缓凝剂制备关键技术

新型改性磷石膏水泥缓凝剂制备关键技术主要是在磷铵生产线中磷石膏排出渣口处连接安装建设水泥缓凝剂生产设备与设施，将排出的磷石膏与相关改性剂按一定比例（改性剂约占总量的5%左右）进行准确配料，送入特种反应器内进行充分的物理、化学反应与磷石膏晶型转化后转变为优质的改性磷石膏泥缓凝剂。该改性磷石膏泥缓凝剂各项指标均符合相关要求，性能良好，可给企业创造较大的经济效益。比如，青海西宁云天化青海公司投资建设了产能为15万吨/年的磷铵生产线，产品已经畅销各大水泥企业。新型改性磷石膏水泥缓凝剂制备关键技术生产流程图如图2所示。

2.3 化工行业副产石膏动态水热法生产 α 型高强度石膏关键技术

化工行业副产石膏动态水热法生产 α 型高强度石膏关键技术主要是以化工行业副产石膏、天然石膏为原料，通过一系列精细的化学与物理过程，制备出 α 型高强度石膏、超细石膏纤维以及超细石膏粉等高附加值产品。该技术具有操作方便、能耗低等特点，能够实现对化工行业副产石膏的高效资源综合利用，减少环境污染。通过精确控制反应条件，可以制备出性能优异、规格多样的石膏产品，能够满足不同领域的市场需求。

2.4 脱硫石膏、磷石膏制备硫酸联产水泥关键技术

水泥生产时，将脱硫石膏进行烘干形成半水石膏，然后与焦炭、粘土等辅助原料按照一定配方比例混合、粉磨均匀后得到生料。生料经预热后加入回转窑中进行煅烧，生成的氧化钙与物料中的二氧化硅、三氧化二铁进行反应后生成水泥熟料。然后，将熟料、煤渣等原料按照一定比例配比后进行粉磨，生产出水泥。由于磷石膏制硫酸联产水泥的能耗较高，所以相对应用较少。脱硫石膏联产水泥技术较成熟，且脱硫石膏中的硫、钙都可以得到充分利用，所以脱硫石膏联产制备水泥的应用较普遍。

3 化工行业副产石膏资源化利用经济性分析

3.1 山东某化工厂：实现钛石膏的资源化利用，取得较大经济效益

钛石膏是钛白粉生产过程中产生的含有较高的钛、铁等有价值的金属元素的废渣。该废渣如不经处理随意堆放会对生态环境造成严重危害。山东某化工厂采用先进的酸浸法和磁选技术，从钛石膏中提取钛和铁。经过多次试验和优化，钛的回收率达到了70%，铁的回收率达到了85%。按照当前市场价格，每吨钛的价格约为5万元人民币，而每吨铁的价格约是3000元。也就是说，企业每处理1吨钛石膏，就可以获得约3.5万元的钛和0.26万元的铁。该企业年处理钛石膏约200吨，可实现销售收入约750万元，减去处理成本约400元，实现利润350万元。

3.2 强耐新材：自流平石膏改性技术给企业创造新效益

河南强耐新材股份有限公司成立于2012年7月，现有股本9078万元，是一家国内知名资源综合利用企业。自流平石膏是自流平地面找平石膏的简称，又称自流平砂浆，主要是以半水石膏/硬石膏作为原料，添加一定比例的骨料、填料和外加剂等组成的、在搅拌状态下具有一定流动性的石膏基的地面找平材料。该产品具有强度高、找平性能好的优势，能有效减少找平施工流程，施工效率高、施工成本低，可用于地面回填、抬高、找平。河南强耐新材股份有限公司与南京工业大学开展了“地面自流平材料改性与应用技术的研究”，并于2020年建成年产30万吨新型石膏基建材1期项目，项目投产后使得该公司石膏自流平业务迅速在全国范围内扩展，施工面积已达500余万平方米。并且，该公司承接的山东省济南市长清区大学科技园济水别苑项目，事国内石膏基自流平最大单体项目。通过化工行业副产石膏再生，给企业带来了巨大的经济效益和社会效益。2024年7月5日，中华人民共和国建材行业标准《石膏基自流平砂浆应用技术规程》（JC/T 60021-2024）正式发布，更是为规范石膏基自流平砂浆产业的发展提供了权威指导。

4 化工行业副产石膏资源化利用产业发展前景

4.1 绿色化发展成为化工行业发展新趋势

化工行业副产石膏作为一种重要的工业废弃物，其高效、环保的处理方式已成为行业关注的焦点。随着国家“双碳”战略的大力推进及循环经济的快速发展，国家有关部门及地方政府先后发布了多项指导政策。同时，在标准引领方面，相关技术标准也逐渐完善：2024年11月28日，国家标准《钛石膏综合利用技术规范》（GB/T 45015-2014）正式发布；2024年12月3日，国家标准《氟石膏综合利用技术规范》也获批立项。当前，化工行业进行绿色化转型，已经成为行业发展趋势，并且在固废处理过程中逐步进行化工、建材、农业等多领域交叉发展。近年来，多个国家和地区相继出台了一系列环保政策和法规，旨在减少工业废弃物对环境的影响，并鼓励企业积极研发新技术开展资源综合利用活动。化工行业副产石膏的资源化利用不仅符合这些国家环保政策的要求，更契合可持续发展的战略目标。通过科学合理的处理技术，化工行业副产石膏可以转化为建筑材料、农业肥料等高附加值的产品，从而实现废弃物的减量化和资源化。

4.2 技术创新带来新的发展机遇

科技进步为化工行业副产石膏的资源化利用带来了前所未有的机遇。新型提纯技术的应用显著提升了化工行业副产石膏的纯度，使其在建筑材料、化工原料等领域具备更高的应用价值；改性技术则进一步改善了化工行业副产石膏的物理化学性质，使其能够在更广泛的领域中发挥作用。比如，通过表面改性和复合材料技术，化工行业副产石膏能够与聚合物或其他无机材料结合，形成性能优异的复合材料，应用于建筑保温、防水等多个领域。此外，随着企业引进自动化生产线和智能化控制系统，生产效率得到了提高，产品质量也得到了大幅提升。先进的干燥、煅烧和成型设备使得化工行业副产石膏的加工更加高效节能，进一步增强了产品的市场竞争力。

4.3 化工行业副产石膏再生产品市场需求较大

当前，建筑、农业、化工等行业持续快速发展，对化工行业副产石膏产品的需求日益增长。特别是在建筑领域，绿色环保建筑材料受到越来越多的关注。化工行业副产石膏生产的建筑材料具有轻质、隔热、隔音等优良特性，符合现代建筑对节能环保的要求。并且，农业领域对土壤改良剂和肥料的需求也在不断增加，化工行业副产石膏作为一种优质的钙源，能够有效调节土壤酸碱度，促进植物生长。此外，在化工

行业中，化工行业副产石膏作为原材料或中间体，可广泛应用于涂料、塑料等领域。随着相关技术的不断成熟和市场需求的逐步扩大，化工行业副产石膏产业链将不断完善，市场规模将进一步扩大，为行业发展注入强劲动力。同时，国内外市场的双轮驱动也将加速该行业的全球化进程，提升我国企业在国际市场的竞争力。

5 结束语

近年来，由于化工行业副产石膏存量较大、利用难度大，化工行业副产石膏资源综合利用逐渐受到了人们的重视。化工行业副产石膏的综合利用能够在解决化工行业副产石膏造成的环境污染的同时，也能让相关综合利用企业得到较好的经济效益。但是，由于化工行业副产石膏种类多、成分复杂等原因，导致化工行业副产石膏综合利用产业仍然面临诸多挑战，只有产废企业和利废企业积极研究新技术，一起参与到化工行业副产石膏的资源综合利用中来，才能推动行业的高质量发展。

参考文献：

- [1] 秦莉莉, 孙立艳. 工业副产品石膏——脱硫石膏的利用 [J]. 砖瓦, 2007, (05): 45-48.
- [2] 刘荣荣, 秦莹, 李文锋. 氧化铝气态悬浮焙烧炉和回转窑煅烧工业副产石膏的应用对比分析 [J]. 轻金属, 2022, (04): 18-23+29.
- [3] 蹇守卫, 孙孟琪, 李小生, 等. pH对磷石膏生产石膏晶须过程影响的研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2015, 37(02): 22-27.
- [4] 彭操, 蔡鸣, 等. 10万t/a磷石膏浮选脱硅生产技术 [J]. 云南化工, 2024, 51(S1): 11-16.
- [5] 张峻, 解维闵, 董雄波, 杨华明. 磷石膏材料化综合利用研究进展 [J]. 材料导报, 2023, 37(16): 167-168.

作者简介：

1. 马晶晶（1985-），女，汉族，山东省滨州市人，毕业于青岛科技大学，大学本科，工程师，山东鲁北企业集团总公司，研究方向：化工生产技术、系统工艺优化等。
2. 张卫峰（1991-），男，汉族，山东省滨州市人，毕业于宁夏大学，大学本科，工程师，山东鲁北企业集团总公司，研究方向：化工工程、化学分析等。
3. 郭庆伦（1975-），男，汉族，山东省滨州市人，毕业于东北大学，大学本科，工程师，山东鲁北企业集团总公司，研究方向：化工工程、化学分析及质量管理等。