长江流域“三磷”综合整治“十四五”策略

杨荣金 张钰莹 张乐 罗上华 刘伟玲 王璠 李莹杰[1]

（中国环境科学研究院，北京 100012）

【摘 要】：我国磷矿石、磷化工企业和磷石膏库主要分布在长江流域,是长江流域总磷超标的重要原因。目前长江流域“三磷”综合整治已取得阶段性进展,但仍存在资源综合利用不充分,污染治理与监管不严,“三磷”产业链发展无序等问题。针对这些问题,提出长江流域“三磷”综合整治的“十四五”策略:(1)重塑全球“三磷”格局,以破解长江“三磷”难题。增加海外磷矿石、磷酸和磷肥等进口,限制国内磷矿开采规模和出口。(2)加强“三磷”规范管理,发展磷清洁生产产业。尽快建立完善“三磷”相关的管理规范和行业要求,严格产业环保标准。(3)推动“三磷”科技创新,加强科技精准帮扶。推进“三磷”的综合利用、风险防控等方面的创新研究,切实提高资源综合利用率。

【关键词】：长江流域 “三磷” 科技帮扶 综合整治

【中图分类号】：X37**【文献标识码】**：A**【文章编号】**：1671-4407(2021)03-187-05

长江流域磷矿石存量占全国存量的80%以上,我国70%以上的磷化工企业也都分布于长江流域,2019年长江流域总磷超标断面占总超标断面的51.5%。2018年,生态环境部发布《长江保护修复攻坚战行动计划》,提出以磷化工行业为重点,集中实施行业专项整治,磷污染成为中央环保督察的重点。2019 年,已经初步完成长江流域磷矿、磷化工(磷肥、含磷农药及黄磷制造等)、磷石膏等“三磷”企业的问题排查及综合整治。

“十三五”期间,随着总磷上升为长江流域首要污染因子[1],“三磷”导致的局部区域环境污染问题益发受到关注。根据《长江保护修复攻坚战行动计划》工作部署,有力有序有效推进“三磷”专项排查和综合整治是当务之急,时间紧,任务重。“十四五”流域生态环境规划明确要求“有鱼有草”,长江涉磷产业绿色发展事关国家粮食安全和水生态安全。“三磷”对水环境影响的方式、途径和特征不同,其科学整治的关键问题和需求各异,“十四五”期间,要在“十三五”工作基础上,加强科技帮扶,对“三磷”实施“一企一策”或“一库一策”精准施策。

1“三磷”主要分布在长江中上游,是总磷污染的重要原因

(1)长江流域是我国磷矿石和磷肥主产区以及磷石膏库主要分布区域,中国“三磷”问题主要在长江。我国磷矿存在高品位磷矿少,中低品位磷矿多的现状,磷矿石中P_2O_5品位大于30%的富矿占总储量的10%左右,而且几乎全部集中于长江经济带区域[2-3]。2017年长江经济带磷矿石产量约占全国的98.2%,磷矿石约77%用于生产磷肥,6%用于生产黄磷,7%用于制备工业级磷酸和饲料。长江经济带成为我国磷化工产业发展的重要原料来源地。同时,长江经济带也是磷肥、磷石膏的高产区,2018年,长江经济带磷肥产量约占全国的86.6%,磷石膏产生量约为6608万吨/年,占全国的82.6%,磷石膏利用量估计为2555万吨,每年新增堆存磷石膏超过4000万吨,历史遗留磷石膏库存量约3亿吨[4-5]。

[1]**作者简介**：杨荣金,博士,正高级工程师,研究方向流域生态保护修复战略与政策。E-mail:yangrj@craes.org.cn
基金项目：国家重点研发计划重点专项“西南生态安全格局形成机制及演变机理”(No.2016YFC0502100);长江生态环境保护修复联合研究项目(第一期)(No.2019-LHYJ-01)

(2)中上游是长江流域“三磷”产生的重点区域,长江的“三磷”问题主要在中上游。截至 2018 年年底,全国共有磷矿区 613 个,查明资源储量 252.82 亿吨,其中长江流域中上游云南、贵州、四川、湖南和湖北等 5 省累计查明资源储量 217.04 亿吨[5],占全国查明资源储量的 85.8%,5 省磷矿石和磷肥的产量分别占长江经济带产量的 99.8%和 87.2%。根据《长江“三磷”专项排查整治行动工作方案》初步统计的 834 家(个)“三磷”企业问题清单中,长江中上游的湖北、湖南、贵州、云南、四川 5 省磷矿企业、磷化工企业和磷石膏库分别占 100%、91.2%和 95.7%(图 1～图 5)。长江中上游云南、贵州、四川、湖南、湖北 5 省是我国“三磷”主产区,也是磷污染问题最突出的区域。

(3)“三磷”是导致长江中上游等局部区域污染的重要原因,实现局部区域的水质改善关键在“三磷”整治。长江流域中上游地区总磷超标较为严重[1]。2017 年云南、贵州、四川和重庆等省份国控断面(河流)总磷超过Ⅲ类标准的比例分别为 25.9%、19.4%、17.1%和 10.1%,且云南、重庆超标比例较 2015 年均有所增加。云南和湖南等省国控断面(湖库)总磷超过Ⅲ类标准的比例分别为 84.7%、79.8%。沱江、乌江和岷江流域干流国控断面总磷超过地表水Ⅲ类标准的比例分别为 57.1%、37.0%和 23.7%。“三磷”超标原因是多方面的,但在长江中上游,总磷超标较为严重的区域或流域,与“三磷”主要分布区域或流域存在较好的空间一致性,“三磷”是导致长江中上游等局部区域污染的重要原因[7]。实现这些区域的水质改善,关键在于“三磷”综合整治。

图 1 长江经济带磷矿分布图

图 2 长江经济带磷肥企业分布图

图 3 长江经济带含磷农药企业分布图

2 长江流域“三磷”的主要污染特征

2.1 磷矿开采主要通过外排矿井水和矿渣流失等方式污染环境

中国磷矿石产储比为 3.73%,剩余可开采年限约为 30 年,2016 年,磷矿被原国土资源部列为战略性矿产资源名录加以保护。中国的磷矿石品位低,平均品位 16.85%,为全球最低,杂质较多[8]。由于中国磷矿的特性,造成了开采量大、采选难度大、磷矿开采带来的水土环境影响较大等后果。长江中上游磷矿石开采多在喀斯特地区,矿井水涌水量大,外排后造成污染区域大且管控困难。长江中上游磷矿以洞采为主,矿渣产生量较大,矿渣回填技术尚不成熟,矿渣无序堆存造成水土污染较为严重[9]。矿区管理不规范或矿山生态恢复措施未有效落实造成部分扬尘污染。

图 4 长江经济带黄磷企业分布图

图 5 长江经济带磷石膏分布图

2.2 磷化工企业主要通过废污水外排、黄磷流失和废气等方式污染环境

“三磷”综合整治重点关注磷肥、黄磷企业和含磷农药企业。磷矿石约有 77%用于生产磷肥,6%用于生产黄磷,还有一部分用于含磷农药及其他产品。磷肥企业主要对水环境产生影响,废水中主要污染物包括 COD、氨氮、总磷、总氮、pH、悬浮物、氟化物和总砷[10]。目前,磷肥企业现有的废水处理技术难以达标排放,许多企业选取“零排放”的方式解决废水问题,但由于管理缺乏规范,大多不能实现“零排放”甚至有漏排偷排等现象[11]。黄磷企业主要通过电炉尾气、泥磷及含单质磷污水来影响环境,电炉尾气火炬排空、泥磷回收、单质磷自燃产生的五氧化二磷扩散至大气环境中,随自然降水进入水体,同时单质磷自燃引起的“鬼火”还存在安全风险[12]。含磷农药企业主要是母液未充分回收或处理不达标,排放废水一般为强酸性含盐废水,主要污染物为总磷、COD、甲醛、甘氨酸、氯化钠和 pH。在雨污分流、初期雨水和污水收集处理不到位、磷矿磷渣堆放区生态恢复或覆盖不及时以及物料的遗撒、跑冒滴漏等情况下,废污水和扬尘等会对水环境和大气环境造成影响[13]。此外,在磷矿中含有氟、重金属等伴生资源,在磷化工生产过程中,会加入浮选剂、硫酸等其他生产原辅料,也会通过产品或废弃物对环境产生影响。有硫酸生产工序的磷肥企业,还易产生二氧化硫和砷污染[14-15]。

2.3 磷石膏库主要通过渗滤液渗漏和扬尘等方式污染环境

历史遗留磷石膏库占用大量土地资源,由于磷石膏综合利用低导致新增磷石膏继续占用土地。2018 年新增磷石膏库占地约 2.5 万～3.0 万亩。磷石膏主要成分为二水硫酸钙,颗粒状,直径 5～50μm,含水量 10%～30%[16],含有残留的磷酸、硫酸、氢氟酸以及砷、镉、汞等成分,渗滤液对地表水和地下水环境影响大。磷石膏库覆土复绿、排水防渗、渗滤液收集、拦洪排洪等未建设或未规范建设,不符合《磷石膏库安全技术规程》(AQ2059—2016),导致扬尘污染和渗滤液污染严重影响周边大气环境和水环境。部分企业以磷石膏回填矿洞[17],该技术尚未经环境影响论证,尤其在喀斯特地区,存在污染地下水的风险隐患。

3 长江流域“三磷”综合整治面临的主要问题

“三磷”专项排查整治要求排查问题建清单、编制方案抓整治和配套政策强落实。要求在 2020 年年底完成“三磷”排查整治工作,实现取缔一批、达标改造一批、规范提升一批,推动“三磷”绿色产业链构建。推进“三磷”综合整治面临以下主要问题。

3.1 资源综合利用不充分,政策配套不足是主要约束

由于磷的品位偏低和相应的政策、工艺、技术、装备配套不足,导致磷的回收利用率低。磷肥以高浓度磷肥、速效肥为主,磷的植物利用率仅 10%～15%[18],流失率大,缓释肥、长效肥等所占比例还不高。较为粗放的生产模式和利用方式造成大量磷进入环境,作为资源的“磷”成了污染环境的“磷”。磷石膏产生量大,综合利用率约 39.7%[19],存在磷石膏杂质多、成本与天然石膏相比无优势、消费市场具有地域限制等多种因素制约,磷石膏综合利用政策配套明显不足。同时,新技术研发亦薄弱,在低品位磷矿资源利用、高利用率磷肥产品开发、磷石膏和泥磷综合利用、磷石膏库和“鬼火”风险管控、矿渣及磷石膏回填、磷石膏中可溶性磷回收、磷—氟资源联合开发等方面,缺乏技术、工艺、装备创新[14,20-21]。近期,在国家出台《关于工业副产石膏综合利用的指导意见》等政策后,贵州省、四川省积极探索,印发了《贵州省关于加快磷石膏资源综合利用的意见》《关于加快推进磷石膏综合利用工作的实施意见》,提出“以渣定产”管理理念,通过建立专项资金和成立产业联盟等途径为磷石膏找出路,部分地区实现了“产消平衡”[22],为其他地区磷石膏综合利用提供了示范借鉴。

3.2 污染治理设施不规范,执法监管不严是重要原因

由于历史和其他原因,很多“三磷”污染治理设施建设不规范。磷矿没有矿井水处理设施,磷肥企业没有污水处理设施或设施无法稳定达标运行,含磷农药企业未建母液回收装置或不能正常运行,磷石膏库防渗不符合要求或渗滤液无有效收集处理装置,磷矿矿区、磷化工企业厂区和磷石膏库区未覆土复绿或进行防尘、抑尘处理等[11,23]。目前,已有《磷肥工业水污染物排放标准》(GB15580—2011)、《黄磷工业污染物排放标准》(GB4283—84)和《有机磷农药行业清洁生产评价指标体系(试行)》和《黄磷生产技术规程》(GB/T33321—2016)以及《磷石膏库安全技术规程》(AQ2059—2016)等相关标准和规范,但从实地调研及相关资料来看,污染治理设施未规范建设或正常运营,是污染物难以达标排放的重要原因。为此需要加快摸清家底,加强排查和执法力度。

3.3 污染防治存在盲区,标准规范缺位不容忽视

关于磷矿开采污染,目前尚无明确的矿山“三率”要求和矿井水无害化处理及综合利用规范,且大多数尚未将矿渣及磷石膏回填相关环保要求纳入磷矿开采设计。关于磷肥企业污染,国家尚未明确界定磷肥产品的有害成分及其管控标准,磷矿和硫酸中的有害元素(如氟、砷)易进入磷肥产品,造成二次污染[24],同时,鼓励缓释肥、长效肥等提高磷利用率、减少磷流失的相关配套政策供给不足。关于黄磷企业污染,35 年前国家发布的《黄磷工业污染物排放标准》已经过时,而 10 年前由原环境保护部组织制定的《黄磷工业污染物排放标准》并未正式发布。当前黄磷企业节能减排降耗和综合利用工作中,还缺乏标准来明确水和大气中部分污染物排放限值(如气态总磷、氟化物和气态砷化物等无针对性标准),且对含元素磷污水未明确提出全封闭循环使用和禁止外排的要求,对磷铁、磷泥和磷渣综合利用未明确提出管控要求[25]。对于含磷农药企业污染,亦缺乏针对性的污染物排放标准。对于磷石膏库,虽然已出台了磷石膏库安全技术规程和磷石膏堆场污染防治技术指南,但主要适用于新建堆放库,历史遗留的陈年堆放库综合整治仍缺乏规范,磷石膏库渗滤液中磷、氟、砷等污染物仍缺乏针对性标准[26]。

3.4“三磷”产业链发展仍然无序,宏观调控不足亟待加强

中国磷矿资源不具有比较优势。2016 年,中国磷矿石产储量占比为 4.56%,但产量却占总产量的 58.27%,剩余可开采年限约为 30 年,中国磷矿的产量成为维系世界磷矿石产量持续增长的最主要来源。世界磷矿主要分布在非洲和西亚,其中,摩洛哥储量占全球的 73.53%(表 1),磷矿石品位高出中国平均品位约 1 倍[27]。2016 年,磷矿被原国土资源部列为战略性矿产资源名录加以保护,但近年来中国 P_2O_5 出口量仍维持在约 400 万吨。美国在将磷矿资源列为战略性矿产后,通过关税调整最终实现了禁止磷矿出口。长江经济带是我国磷矿石和磷肥主产区,2018 年湖北、贵州、云南、四川的磷矿石产量分别占全国和全球产量的 95%和 32.63%。对于长江中上游而言,保护磷矿资源,减少磷矿开采和磷肥出口等,可以有效减少磷污染,是解决“三磷”问题的根本途径。2015 年原农业部制定了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》,明确了长江中下游“控磷”和上游“调磷”的策略,对于提高植物磷肥利用率,减少磷流失率,具有重要价值,对于磷矿开采和磷肥生产也具有正效应[28]。

4 推进长江流域“三磷”综合整治的“十四五”策略

“三磷”问题是长期累积产出的。长江流域“三磷”综合整治攻坚战到 2020 年结束。“十四五”时期,推进“三磷”综合整治,既要打“攻坚战”,也要打“持久战”。需要着眼全球“三磷”产业格局,推动长江“三磷”排查整治,加强“三磷”管理和技术创新。

4.1 重塑全球“三磷”格局,破解长江“三磷”难题

世界磷矿石储量(除中国外)和可开采年限全球前五位主要分布在非洲(摩洛哥、阿尔及利亚和南非)和西亚(叙利亚和约旦),该区域位于“一带一路”上,“十四五”期间,应充分利用“一带一路”和中国与摩洛哥国等国家建立战略伙伴关系契机,加大技术出口和海外投资,增加海外优质磷矿石、磷酸和磷肥等的生产和进口,加大国际合作[30],限制中国和长江磷矿开采规模和出口,保护磷矿这一列入国家战略性矿产名录的矿产资源,从源头减轻“三磷”带来的环境污染和生态风险。

加快核算我国农业、养殖业、化学工业对磷资源的总需求量,以需求定产能,推进结构调整,优化产业布局,压缩“三磷”过剩产能,淘汰“三磷”落后产能,严格控制总量。通过提高行业准入门槛,特别是生态环境准入门槛,抑制低水平重复建设,重点发展高技术含量、高附加值的磷化工产品,鼓励企业自身主动调整产业结构,加快兼并重组,促进集聚发展,形成“三磷”绿色可持续发展态势[31]。

表 1 2016 年全球主要国家磷矿资源储量和产量分布情况[29]

国家	储量/10^6kg	储量占比/%	产量/10^6kg	产量占比/%
摩洛哥和西撒哈拉	50000000	73.53	30000	11.49
中国	3100000	4.56	138000	52.87
阿尔及利亚	2200000	3.24	1500	0.57
叙利亚	1800000	2.65	—	—
南非	1500000	2.21	1700	0.65
俄罗斯	1300000	1.91	11600	4.44
约旦	1200000	1.76	8300	3.18
埃及	1200000	1.76	5500	2.11
美国	1100000	1.62	27800	10.65
澳大利亚	1100000	1.62	2500	0.96
其他国家	3500000	5.15	34100	13.07
全球总量	68000000	100	261000	100

4.2 加强“三磷”规范管理,发展磷清洁生产产业

尽快研究建立和完善磷矿开采“三率”标准及伴生资源综合利用要求及配套政策、磷肥产品的有毒有害残留成分标准、不同地区磷肥产业和磷化工产业污染物差异化排放标准以及磷石膏综合利用要求和配套奖补政策等。基于“三磷”产业现状,加强磷污染管控的政策制度体系建设[32],包括完善区域流域排污许可制度和区域生态补偿制度等。

严格产业环保标准,提高磷矿资源利用率、矿山开采回采率、企业磷回收率和尾矿利用率,推动产业有序退出。优化磷矿石、磷肥、黄磷、含磷农药和其他磷化工产品结构,加快推动磷产业转型和技术装备升级。积极发展磷矿资源深加工产品及产业,严格控制磷矿石和磷肥产能和产量,尤其是磷污染严重地区或控制单元的磷矿石和磷肥产量。发展磷清洁生产、绿色生产产业园区和产业链。

4.3 推动“三磷”科技创新,加强科技精准帮扶

充分利用科研院所、高校企业优势,集中科研力量,积极推动“三磷”源头减量、“三磷”废污水和渗滤液处理、“三磷”

综合利用、“三磷”清洁生产、“三磷”风险防控等技术研究与创新。完善磷污染物监测指标及测定方法,进一步研究河湖总磷控制标准或阈值。从采矿、化工和磷石膏库到水环境和大气环境的迁移转化过程方面加强对磷的研究。开展磷及其伴生矿联合开发利用工艺研究,尤其是在磷资源与氟资源联合开发利用领域开展科技创新,节约我国萤石资源。

对长江中上游“三磷”企业主要分布区,加强科技精准帮扶,针对具体问题,由专业团队点对点解决,对“三磷”实施“一企一策”或“一库一策”精准施策。将科学技术落到实处,解决长江流域磷污染问题,形成“三磷”产业高效发展,流域环境持续改善的良好态势。

参考文献:

[1]秦延文,马迎群,王丽婧,等.长江流域总磷污染:分布特征·来源解析·控制对策[J].环境科学研究,2018(1):9-14.

[2]马一嘉,武俊杰,倪天阳.我国磷矿资源的开发利用现状及进展[J].矿冶,2018(2):53-56.

[3]高永峰.我国磷化工行业创新发展思路探讨[J].磷肥与复肥,2020(2):1-7.

[4]辜寄蓉,唐伟,郝建明,等.长江经济带资源禀赋现状分析——基于地理国情普查[J].中国国土资源经济,2017(7):46-52.

[5]吴琼慧,刘志学,陈业阳,等.长江经济带“三磷”行业环境管理现状及对策建议[J/OL].[2020-05-21].https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929.2020.03.28.

[6]张亚明,李文超,王海军.我国磷矿资源开发利用现状[J/OL].[2020-05-21].http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1492.TQ.20191125.1026.002.html.

[7]续衍雪,吴熙,路瑞,等.长江经济带总磷污染状况与对策建议[J].中国环境管理,2018(1):70-74.

[8]刘艳飞.中国磷矿供需趋势研究[D].北京:中国地质大学(北京),2016.

[9]贡长生.把握长江经济带发展的战略机遇,加快发展我国绿色磷化工产业[J].磷肥与复肥,2019(9):5-8.

[10]刘红梅,王晓蕾,李志龙,等.试论磷化工污染的危害及治理对策[J].生物化工,2016(3):49-51.

[11]张文静,高涵,郭黎卿.长江经济带磷肥行业水污染形势与管控对策研究[J].磷肥与复肥,2018(12):80-82.

[12]张国荣.黄磷生产企业清洁生产技术应用[J].当代化工研究,2016(10):22-24.

[13]刘晓刚,杨勇.试论磷化工污染的危害及治理对策[J].低碳世界,2017(4):10-11.

[14]马鸿文,刘昶江,苏双青,等.中国磷资源与磷化工可持续发展[J].地学前缘,2017(6):133-141.

[15]Yang L,Cao J X,Li C Y.Enhancing the hydration reactivity of hemi-hydrate phosphogypsum through a morphology controlled preparation technology[J].Chinese Journal of Chemical Engineering,2016,24(9):1298-1305.

[16]Yang J,Ma L P,Liu H P,et al.Chemical behavior of fluorine and phosphorus in chemical looping gasification using phosphogypsum as an oxygen carrier[J].Chemosphere,2020(248):1-11.

[17]李逸晨,杨再银.磷石膏综合利用技术发展动态[J].磷肥与复肥,2018(2):1-6.

[18]李冬萍.探讨农作物种植中如何提高磷肥的高效性[J].农家参谋,2020(14):67.

[19]叶学东.2018 年我国磷石膏利用现状、问题及建议[J].磷肥与复肥,2019(7):1-4.

[20]蔡祖成.磷矿伴生氟资源综合利用探讨[J].广州化工,2016(13):26-28.

[21]问立宁,叶丽君.我国磷化工产业现状及发展建议[J].磷肥与复肥,2019(9):1-4.

[22]刘小明.现代磷化工产业绿色发展出奇招——贵州大力推动磷石膏新型建材绿色产业发展观察[J].当代贵州,2019(48):24-25.

[23]仇伟锋,施良杰.有机磷化工废水治理方法探讨[J].资源节约与环保,2018(1):93+95.

[24]郑锦.帽天山磷矿区磷矿资源开发的水环境效应及磷、氟流失机制研究[D].昆明:昆明理工大学,2007.

[25]杨冬蕾.我国磷石膏和钛石膏资源化利用进展及展望[J].硫酸工业,2018(10):5-10.

[26]孙娜.我国磷尾矿综合利用现状及发展[J].当代化工研究,2019(3):2-3.

[27]Van Kauwenbergh S J.Global phosphate rock reserves and resources,the future of phosphate fertilizer[R].Savannah:IFDC,2014.

[28]中华人民共和国农业农村部.关于印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》的通知[EB/OL].[2015-09-14].http://www.moa.gov.cn/ztzl/mywrfz/gzgh/201509/t20150914_4827907.htm.

[29]张亮,杨卉芃,冯安生,等.全球磷矿资源开发利用现状及市场分析[J].矿产保护与利用,2017(5):105-112.

[30]董战峰,葛察忠,贾真,等.国家“十四五”生态环境政策改革重点与创新路径研究[J/OL].[2020-06-24].http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1193.F.20200603.1151.002.html.

[31]王新玉.低碳发展与循环发展、绿色发展的关系研究[J].生态经济,2014(9):39-44.

[32]唐新桥,程昌红,瞿长青.我国磷矿资源贫化趋势与对策探讨[J].资源节约与环保,2017(5):6,12.