

ICS XXXX

CCS Z XX

团 体 标 准

T/ACEF XXX-2025

黄磷工业减污降碳与资源综合利用

Pollution Reduction and Carbon Mitigation, Resource Utilization in the Yellow

Phosphorus Industry

(征求意见稿)

2025-X-X 发布

2025-X-X 实施

中 华 环 保 联 合 会 发 布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 总体要求 4

5 污染控制要求 5

6 温室气体排放控制要求 9

7 资源综合利用要求 10

附录 A （资料性）黄磷工业减污降碳与资源综合利用绿色技术 11

参考文献 16

前 言

本文件按照 GB/T1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由xxxx提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件起草单位：中华环保联合会西南办事处承担该标准的编制工作。参编单位包括攀枝花市众立诚实业有限公司、成都信息工程大学、四川蓉城绿擎环保服务有限公司、四川中环联蜀环境咨询服务有限公司、湖北兴发化工集团股份有限公司、云南云天化福石科技有限公司、会东金川磷化工有限责任公司、xxxx等。

本文件主要起草人：xxx、xxxx。

黄磷工业减污降碳与资源综合利用

1 范围

本文件规定了黄磷工业在减污降碳和资源综合利用方面的控制要求等内容，主要适用于电炉法黄磷生产企业的污染物和温室气体减排，以及资源综合利用。黄磷生产企业绿色低碳实施方案、循环化改造方案编制等也可以参照本标准。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，标注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 5085.1 危险废物鉴别标准 腐蚀性鉴别

GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别

GB 5085.4 危险废物鉴别标准 易燃性鉴别

GB 5085.5 危险废物鉴别标准 反应性鉴别

GB 5085.6 危险废物鉴别标准 毒性物质含量鉴别

GB 5468 锅炉烟尘测试方法

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB 14554 恶臭污染物排放标准

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则

GB 18597 危险废物贮存污染控制标准

GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准

GB 21345 黄磷单位产品能源消耗限额

GB 31573 无机化学工业污染物排放标准

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 50014 室外排水设计标准

GB 50141 给水排水构筑物工程施工及验收规范

GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范

- GB/T 14848 地下水质量标准
- GB/T 15587 能源管理体系 分阶段实施指南
- GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与 气态污染物采样方法
- GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则
- GB/T 32151.10 碳排放核算与报告要求 第 10 部分：化工生产企业
- GB/T 33321 黄磷生产技术规范
- GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范
- GB/T 50934 石油化工工程防渗技术规范
- GBZ/T 160.30 工作场所空气中无机含磷化合物的测定方法
- HJ 57 固定污染源废气 二氧化硫的测定 定点为电解法
- HJ 75 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测技术规范
- HJ 76 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法
- HJ 540 固定污染源废气 砷的测定 二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法
- HJ 546 环境空气 五氧化二磷的测定 钼蓝分光光度法
- HJ 688 固定污染源废气 氟化物的测定 离子色谱法
- HJ 693 固定污染源废气 氮氧化物的测定 定点为电解法
- HJ 836 固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法
- HJ 944 排污单位环境管理台账及排污许可证执行报告技术规范总则（试行）
- HJ 1138 排污单位自行监测技术指南 无机化学工业
- HJ 2000 大气污染治理工程技术导则
- HJ/T 55 大气污染物无组织排放监测技术导则
- HJ/T 373 固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范（试行）
- HJ/T 397 固定源废气监测技术规范
- HG/T 5900 黄磷行业绿色工厂评价要求
- T/CIECCPA 009 黄磷尾气燃烧锅炉大气污染物排放标准
- T/CIECCPA 051 黄磷尾气净化及资源化利用方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

黄磷生产企业 yellow phosphorus manufacturing enterprises

以磷矿石、碳质还原剂和硅石为原料，采用电炉法生产黄磷（亦称白磷）的工业企业。

3.2

电炉法工艺 electric furnace process

以碳质还原剂（如焦炭）和硅石为配料，在电弧炉内高温（1200~1500℃）条件下还原磷矿石生成黄磷的生产工艺，其核心设备为电炉制磷装置。

3.3

黄磷尾气 exhausting gas of yellow phosphorus

电炉法制磷工艺中，通过冷凝方法从磷炉气中分离出黄磷后副产的可燃气体，其主要成分为一氧化碳、氢，并含有硫化氢、羰基硫、氟化氢、磷化氢、单质磷及颗粒物等组分，需经净化处理后方可利用或排放。

[来源：GB/T 33321-2016，3.4、T/CIECCPA 009-2024，3.1]

3.4

含元素磷废水 wastewater containing phosphorus

黄磷生产企业以及黄磷使用企业中的输磷和熔磷过程中与单质磷接触的水。包括收磷、精制、水封、总水封、黄磷或磷泥贮槽的用水、磷泥处理用水、包装用水、淬渣水、地面冲洗水、输磷和熔磷废水及黄磷生产排气中净化和处理各种废气产生的废水。

3.5

黄磷炉渣 yellow phosphorus slag

俗称磷渣，是磷矿石制取黄磷时的副产物，主要成分是二氧化硅（ SiO_2 ）和氧化钙（ CaO ），属于一般工业固体废物，可以作为生产水泥、陶瓷、微晶玻璃等的原料。

3.6

磷泥 phosphorus sludge

俗称泥磷，是黄磷电炉生产过程中工艺尾气中粉尘、单质磷、气溶胶经过工艺水喷淋冷却形成的含有固体杂质等与磷粘附在一起的无定形乳胶状混合物，是黄磷生产多次回收后残存少量单质磷混合物。

[来源：GB/T 33321-2016，3.5，有修改]

3.7

磷粉 phosphorus powder

磷矿石经过破碎、研磨后得到的粉末，是黄磷生产的主要原料。

3.8

焦粉 coke powder

黄磷生产中作为还原剂使用的焦炭粉末，是黄磷生产的主要原料。

3.9

温室气体 greenhouse gas

大气层中自然存在的和由于人类活动产生的能够吸收和散发由地球表面、大气层和云层所产生的、波长在红外光谱内的辐射的气态成份。

[来源：GB/T 32150-2015，3.1]

3.10

减污降碳协同控制 integrated pollution and carbon reduction control

通过优化工艺、技术升级和管理措施，同步减少污染物（如含磷废水、大气污染物、固体废物等）和温室气体（如 CO₂、CH₄等）排放的系统性控制策略。

3.11

资源综合利用指标 resources comprehensive utilization indicators

生产过程中所产生废物可回收利用特征及回收利用情况的指标。

4 总体要求

4.1 基本原则

4.1.1 减污降碳，协同增效。统筹黄磷生产全链条的污染物减排与温室气体管控，通过优化黄磷生产工艺和能源消费结构、推广清洁生产技术、提高资源利用效率，减少污染物和温室气体排放，实现环境效益与碳减排效益的最大化协同。

4.1.2 资源循环，高效利用。遵循“减量化、资源化、无害化”原则，对黄磷生产过程中产生的废气和余热、废水、固体废物等进行协同处置与资源化利用，推动能源梯级利用、工业废水零排放和固废高值转化技术应用，提高资源综合利用效率。

4.1.3 技术引领，持续改进。鼓励采用先进的黄磷清洁生产工艺、污染治理技术、节能降碳技术和资源综合利用技术。设定分级目标，引导黄磷生产企业对标先进，持续

提升减污降碳水平。

4.2 一般要求

- 4.2.1 黄磷工业污染控制、温室气体排放控制和资源综合利用水平分为两个等级，一级代表国际先进水平，二级代表国内先进水平。
- 4.2.2 黄磷生产企业应建立源头控制、过程管理、末端治理的污染防控体系，最大限度减少污染物排放，确保污染物排放和固体废物处理处置达到污染控制要求。
- 4.2.3 黄磷生产企业应通过工艺节能改造、能效提升、能源结构优化、尾气资源化利用等措施，不断降低单位产品能耗和碳排放强度。
- 4.2.4 黄磷生产企业应对生产过程中产生的黄磷尾气、黄磷炉渣、磷泥、废水等进行全面回收与循环利用，同时建立资源综合利用台账，记录废气和余热、废水、固体废物等产生量、利用量和排放量。

5 污染控制要求

5.1 大气污染物排放控制要求

5.1.1 有组织排放控制要求

5.1.1.1 黄磷生产企业有组织排放的颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氟化物，其排放控制要求见表 5-1。

表 5-1 大气污染物有组织排放控制要求

序号	污染物	工段名称	排放浓度限值 (mg/m ³)		排放强度限值 (kg/t·P ₄)	
			一级	二级	一级	二级
1	颗粒物	原料烘干（烧结球团）废气	5	10	0.015	0.030
		泥磷回收装置废气				
		锅炉废气 ¹				
		其他废气 ²	10	20	0.03	0.06
2	二氧化硫（SO ₂ ）	原料烘干（烧结球团）废气	25	50	0.075	0.15
		泥磷回收装置废气				
		锅炉废气 ¹	50	100	0.15	0.30
		其他废气 ²	20	35	0.05	0.10
3	氮氧化物 NO _x （以 NO ₂ 计）	全部废气	50	100	0.15	0.30
4	氟化物（以 F 计）	全部废气	3.0	6.0	0.008	0.017

备注：1 锅炉废气是指利用黄磷尾气进行发电，蒸汽锅炉排放的废气。

2 其他废气是指黄磷生产过程中电炉渣口、淬渣、黄磷精制等环节排放的废气。

5.1.1.2 黄磷生产企业黄磷尾气应进行资源化利用（作为热源或合成制造各种化工产品），原料烘干（烧结球团）废气和其他废气（如电炉渣口废气、淬渣废气、黄磷精制废气等）需经处理（如碱液喷淋、布袋除尘等）后排放，排放浓度应满足表 5-1 要求。

5.1.1.3 当执行不同排放控制要求的废气合并排气筒排放时，应在废气混合前进行监测，并执行相应的排放控制要求；若可选的监控位置只能对混合后的废气进行监测，则应按各排放控制要求中的最严格的规定执行。

5.1.1.4 企业应按照 HJ 944 要求建立环境管理台账，记录生产设施运行管理信息、废气污染防治设施基本信息与运行管理信息、监测记录信息等。台账记录保存期限不得少于 5 年。

5.1.2 无组织排放控制要求

5.1.2.1 黄磷生产企业无组织排放的颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氟化物、五氧化二磷、砷及其化合物，其排放控制要求见表 5-2。无组织排放的大气污染物浓度为监控点浓度与参照点浓度差值。

表 5-2 大气污染物无组织排放浓度限值

序号	污染物	单位	排放浓度限值	
			一级	二级
1	颗粒物	mg/m ³	0.15	0.30
2	二氧化硫（SO ₂ ）	mg/m ³	0.01	0.02
3	氮氧化物（NO _x ）	mg/m ³	0.02	0.04
4	氟化物（以 F 计）	mg/m ³	0.002	0.004
5	五氧化二磷 P ₂ O ₅ （以 P 计）	mg/m ³	0.001	0.002
6	砷及其化合物（以 As 计）	mg/m ³	1×10 ⁻⁸	2×10 ⁻⁸

5.1.2.2 控制点位与管控范围

黄磷生产企业无组织排放控制主要点位有：电炉渣口操作区（开堵炉及排渣过程）、磷泥处理区（磷泥提取、输送及暂存）、磷渣破碎与转运区、原料装卸与储运区、含磷废水收集池及事故应急池敞口区域。以操作单元（如渣槽、磷泥池等）的物理边界外延 10 米作为管控范围，厂界监控点按 GB 16297 要求设置。

5.1.2.3 物料存储与输送管控

所有原辅料（含磷矿、焦炭、硅石等）及中间产物（如磷泥、磷渣），宜采用封闭料仓、储罐或密闭料棚存放，料棚配备顶部及墙面密封设施，并设置废气收集与除尘（如布袋除尘）、除臭等设施，确保无组织逸散污染物得到有效收集与处理。

粉状、粒状等易产尘物料转移、输送过程应采用管状带式输送机、气力输送、密闭车厢等密闭方式运输；块状或粘湿物料采用皮带通廊、封闭车厢等封闭方式运输或苫盖严密，防止沿途抛洒和飞扬；无法封闭的产尘点（物料转载、下料口等）应采取集尘除尘措施或有效抑尘措施。

5.1.2.4 生产工序无组织排放控制

电炉出渣时采用高压水冲方式，炉渣出渣溜槽、冲渣槽、电炉渣口操作区的烟气收集效率不低于 85%。受磷槽、粗磷槽、精制槽、污水池、磷泥处理区等易产尘工段需采用全封闭负压收集、烟气处理系统设计，废气经处理后达标排放。在确保安全的情况下，设备应尽量安置于室内，建（构）筑物应封闭。

5.1.2.5 厂区环境管理

厂区道路、生产区域地面全部采用混凝土硬化或防滑地砖铺设，非硬化区域应进行绿化。每日对车间地面、设备表面进行清扫，采用负压吸尘设备（非扬尘性清扫），确保车间无散落物料堆积。

5.1.3 协同控制要求

为实现大气污染物控制与碳减排的协同推进，鼓励黄磷生产企业在尾气锅炉、热风炉等设施中采用低氮燃烧协同技术路线，通过应用分级燃烧、低氮燃烧器等技术，从源头协同控制氮氧化物（ NO_x ）生成、减少大气污染物排放的同时，提升燃料燃烧效率，降低燃料消耗总量，进而减少燃烧过程中二氧化碳（ CO_2 ）排放。

5.1.4 采样与监测要求

5.1.4.1 利用黄磷尾气作为热源的锅炉，其中 NO_x 、 SO_2 、颗粒物应按照 HJ 75、HJ 76 的要求安装固定污染源排放连续监测系统，并上传数据至主管部门平台，其他废气按照 HJ 1138 要求开展自行监测。

5.1.4.2 黄磷生产企业应根据监测污染物的种类，在规定的污染物排放监控位置进行监测。大气污染物的监测采样按 GB 5468、GB/T 16157 或 HJ/T 397 规定执行。

5.1.4.3 黄磷生产企业大气污染物浓度应根据国家环境监测方法标准进行测定，同时按照 HJ/T 373 的要求进行监测质量保证与质量控制。

5.2 水污染物排放控制要求

5.2.1 黄磷生产企业应建立完善的闭路循环水系统，产生的所有工业废水应全部回用，严禁外排。

5.2.2 针对磷渣堆场、磷泥贮存区、生产装置区等污染区域，应设置初期雨水收集池，初期雨水收集应符合 GB 50014 相关要求。

5.2.3 黄磷生产企业应建设事故应急池，其容量须满足最大单次事故废水储存需求，以确保在事故发生时能够有效收集和处理事故废水，防止其进入外环境。

5.3 固体废物污染控制要求

5.3.1 黄磷生产企业产生的工业固体废物包括一般工业固体废物和危险废物。一般工业固体废物应全部进行资源化利用或无害化处理。对于无法明确具体属性的固体废物（如特定工艺产生的废渣、污泥等）应按照 GB 5085.3 开展浸出毒性检测，并根据检测结果实施分类管理。

5.3.2 磷渣、炉渣、脱硫灰等一般工业固体废物贮存应满足 GB 18599 相关要求，磷泥和危险废物贮存应符合 GB 18597 相关要求。

5.4 噪声污染控制要求

5.4.1 黄磷生产企业厂界环境噪声排放限值执行 GB 12348 相应声功能区要求。

5.4.2 噪声控制措施

5.4.2.1 设备选型与降噪设计方面，优先选用低噪声设备（如静音风机、变频电机等）；破碎工段等高噪声点位可设置隔声罩或隔声屏障，其隔声设计应符合 GB/T 50087 相关要求。

5.4.2.2 工艺优化方面，优先采用磷精矿替代磷原矿作为生产原料，避免或减少黄磷生产企业磷原矿破碎、筛分等环节产生的噪声。管道系统采用柔性连接和弹性支撑，减少振动传递和气流噪声。

5.4.2.3 厂区布局方面，破碎机等高噪声设备应尽可能远离厂界和敏感区域，并在传播方向设置绿化隔离带或围墙。

5.5 土壤与地下水污染控制要求

5.5.1 黄磷生产企业土壤和地下水污染重点防控区域包括磷渣堆场、磷泥贮存池、含磷废水收集池、化学品储罐区、黄磷生产车间等。企业现有地下和半地下磷泥贮存池、

含磷废水收集池等应逐步改为地上密闭储罐，防止设备因酸碱腐蚀导致单质磷以及磷化合物渗漏进入地下，造成土壤和地下水污染。含磷废水禁止采用无防渗漏措施的混凝土或砖砌沟渠等输送，应采取密闭防渗漏地面敷设管道进行输送。

5.5.2 重点防控区域和一般区域（生产车间地面、一般固废堆场等）的防渗设计分别执行 GB/T 50934 中规定的重点污染防治区和一般污染防治区的防渗要求。

5.5.3 黄磷生产企业渗入土壤和地下水的总磷、砷、氟化物等特征污染物，土壤污染物限值执行 GB 36600 相关要求，地下水质量指标限值执行 GB/T 14848 相关要求。

5.5.4 新建污水管线、管渠等无压管道应进行闭水或闭气试验；易燃、易爆、有毒、有害物质的输送管道应当进行强度和严密性试验，试验方法应符合设计文件及 GB 50268 相关要求。

5.5.5 涉及易燃、易爆、有毒、有害物质的地上水池、半地下水池、地下水池等构筑物在投用前应进行功能性试验，应符合 GB 50141 相关要求。

6 温室气体排放控制要求

6.1 核算方法与边界

6.1.1 黄磷生产企业可参考 GB/T 32151.10 中核算步骤与核算方法开展企业温室气体排放核算。

6.1.2 核算边界应以黄磷生产企业法人或视同法人的独立核算单位为边界，核算和报告企业生产系统排放的温室气体。如果企业涉及使用绿色电力，不应直接扣减，宜单独进行报告。具体核算和报告范围可参考 GB/T 32151.10。

6.2 温室气体排放控制

6.2.1 黄磷生产企业单位产品二氧化碳排放强度应符合表 6-1 规定的控制要求。

表 6-1 温室气体排放和能耗控制要求

控制指标	单位	控制要求	
		一级	二级
单位产品二氧化碳排放强度	tCO ₂ /t·P ₄	≤3	≤6
单位产品综合能耗	kgce/t·P ₄	≤1200	≤2300

6.2.2 黄磷生产企业应开展温室气体排放核算，并将核查结果对外公布。根据 GB/T 15587 的要求建立能源管理制度，强化能源梯级使用。

7 资源综合利用要求

7.1 废气资源化利用

7.1.1 电炉法生产过程中产生的黄磷尾气应通过净化、提纯、燃烧发电或生产化工产品（如甲酸钠）实现资源化利用。

7.1.2 黄磷尾气中一氧化碳可以作为碳一化工原料（如甲酸钠、甲酸合成等），但其浓度占比应大于 85%，如果浓度不满足要求，可通过变压吸附等方法提高其浓度。

7.2 废水资源化利用

7.2.1 黄磷生产企业生产废水应全部收集并经过处理后实现循环利用，不得外排。

7.2.2 黄磷生产企业应采用高效的地上式斜板（管）沉降以及高效泥水分离设备（碟片分离机）等实现连续高效的含元素磷废水处理 and 磷泥的分离回收处理。

7.3 固体废物资源化利用

7.3.1 黄磷生产过程中产生的磷渣（主要成分为硅酸钙）、磷泥（含单质磷）、焦粉和磷粉等应进行资源化利用。

7.3.2 熔融炉渣经水淬后的固体物质（磷渣）可作为建材原料；磷泥应在厂区内进行安全处理处置和综合利用，磷泥经连续高效回收及无害化处理后，可作为黄磷生产的原料；磷粉、焦粉通过密闭收集系统回收，磷粉和焦粉制备球团后可用于黄磷生产。

表 7-1 资源综合利用要求

类别	指标名称	单位	利用水平	
			一级	二级
废气	黄磷尾气回收利用率	%	100	100
废水	生产废水循环利用率	%	100	100
	含单质磷废水回用率	%	100	100
固废	磷渣综合利用率	%	100	≥95
	磷泥量回收处置率	%	100	100
	磷粉、焦粉利用率	%	100	100

附录 A

(资料性)

黄磷工业减污降碳与资源综合利用绿色技术

黄磷工业减污降碳与资源综合利用绿色技术详见表 A.1、表 A.2、表 A.3，仅供参考。

表A.1 黄磷工业污染治理技术

工艺技术名称	工艺技术内容	关键技术及技术指标	适用范围	应用案例
废气治理				
黄磷尾气净化	黄磷尾气经水洗、碱洗，脱除尾气中的粉尘、磷泥、氟化物和少量的硫化氢及其他酸性成分，再进行湿法脱硫（主要脱除硫化氢），然后经过催化氧化法脱除尾气中的单质磷、磷化氢和砷化物，脱除磷后的黄磷尾气经水解和湿法脱硫等净化工艺去除尾气中有机硫，如果黄磷尾气用于碳一合成，可再进行干法精脱硫。	关键技术： 黄磷尾气成分较复杂，净化工艺及工艺组合为关键技术之一；催化氧化脱硫催化剂的选择。 主要技术指标： 颗粒物<5mg/m³ 总磷<10mg/m³ 总硫<50mg/m³ 总氟<1mg/m³	适用于黄磷行业，净化后黄磷尾气可作为工业燃气或合成气原料。如用于黄磷生产原料的烘干，烘干后烟气中： 颗粒物<10mg/m³ SO₂<50mg/m³ F<0.6mg/m³	四川某黄磷生产企业1万Nm³黄磷尾气净化装置
高压水冲渣及淬渣烟气收集处理	传统黄磷生产高温熔渣（1450℃）直排进入淬渣池，再用行车将淬渣抓出，淬渣、抓渣时都会伴随高温蒸汽逸出有害气体，即使加盖罩上，抓渣时也需要打开。采用高压水冲渣进行淬渣以及渣、水、汽三相	关键技术： 淬渣过程全密封处理，渣、水、汽三相分离技术可实现分离的水循环利用、分离的磷渣作为建材原料外销。 主要技术指标：	电炉法生产黄磷水淬渣工艺环节	四川某黄磷生产企业环保节能清洁生产技术改造工程

工艺技术名称	工艺技术内容	关键技术及技术指标	适用范围	应用案例
	分离技术，可实现淬渣过程全密封处理，水循环冲渣，全密封收集水淬渣烟气，烟气经过碱洗净化、冷却、除雾后达标排放。	颗粒物<10mg/m ³ SO ₂ <3mg/m ³ F<0.2mg/m ³		
散排烟气收集与处理	含元素磷废水或其他介质因含有单质磷，与空气接触会氧化生产烟气污染环境，加之温度高于常温，易产生有害气体。密封所有含磷生产设备，收集所有逸出散排烟气并进行净化处理。	主要技术指标： 散排烟气回收率大于 98%；有组织大气污染物排放浓度远低于大气综合排放标准： 颗粒物<10mg/m ³ SO ₂ <0.4mg/m ³ F<1.0mg/m ³	黄磷生产环节	四川某黄磷生产企业环保节能清洁生产技术改造工程
黄磷尾气锅炉烟气净化	黄磷尾气锅炉热能利用有单独热能利用和发电两种方式，热能直接利用可以采用现有技术；用于发电后的锅炉废气建议采用SCR脱硝，湿法/干法脱硫和静电除尘等工艺处理后达到超净排放效果。	关键技术： SCR 脱硝、湿法/干法脱硫、静电除尘等处理工艺。 主要技术指标： 颗粒物<10mg/m ³ SO ₂ <100mg/m ³ NO _x <100mg/m ³	黄磷尾气锅炉烟气处理	四川某黄磷生产企业环保节能清洁生产技术改造工程
废水治理				
含元素磷废水处理	传统黄磷生产废水处理是将含元素磷废水经折流沉降后人工挖取磷泥，不仅存在安全风险，而且污染严重。采用高效的地上式斜板（管）沉降以及高效泥水分离设备（碟片分离机）等可实现连续高效的废水处理和磷泥的分离回收处理。	关键技术： 高效的地上式斜板（管）沉降、高效泥水分离设备（碟片分离机）。 主要技术指标： 磷泥回收 100% 废水回用100%	黄磷生产废水处理	四川某黄磷生产企业污水处理及磷泥高效回收项目

工艺技术名称	工艺技术内容	关键技术及技术指标	适用范围	应用案例
固体废物处理处置				
磷泥高效回收处理	废水处理环节分离出来的磷泥经连续高效磷泥回收及无害化处理，处理后的灰渣与磷矿石烘干筛分的矿粉一起，通过球团后可作为黄磷生产的原料。	关键技术： 连续高效磷泥回收回转窑，实现自动化连续进出料。 主要技术指标： 磷泥量回收处置率 100% 灰渣单质磷<0.5%	磷泥处理与资源化	四川某黄磷生产企业环保节能清洁生产技术改造工程
噪声污染治理				
磷原矿源头预加工	在磷矿石开采的源头（矿山）进行破碎、配料和筛分，进一步减少黄磷生产企业加工现场的破碎和筛分工序，减少因破碎产生的高频噪声和粉尘。	—	破碎、筛分等环节噪声防治	湖北某黄磷生产企业源头降噪项目
土壤和地下水污染控制				
磷渣堆场防渗	堆场地面防渗采用碎石垫层+保护层+HDPE 防渗层+保护层+抗渗混凝土地面。	HDPE膜厚度和质量、施工中焊接质量检验；混凝土强度和抗渗级别（28d 同条件养护试块）。	固体废物堆存	四川某黄磷生产企业 6000m ² 磷渣堆场
采用地上储罐	将现有地下和半地下磷泥贮存池、含磷废水收集池等改为地上密闭储罐，防止设备因酸碱腐蚀导致单质磷以及磷化合物渗漏进入地下，造成土壤和地下水污染。	—	需要防控土壤和地下水污染的场所	湖北某黄磷生产企业技术改造工程

表A.2 黄磷工业能源梯级使用与温室气体排放控制技术

工艺技术名称	工艺技术内容	关键技术及技术指标	适用范围	应用案例
黄磷尾气安全回收技术	采用安全驰放水封保证磷炉等系统安全，浮动稳压罐减少黄磷生产副产黄磷尾气的波动影响，采用湿式气柜保证尾气输送系统的压力稳定，DCS 系统控制可有效将黄磷尾气的生产、黄磷尾气的使用以及气柜的升降等进行科学控制，确保黄磷尾气的全回收和全利用。	关键技术： 安全驰放水封、气柜和 DCS 控制系统是黄磷尾气全回收全利用的关键技术。 主要技术指标： 正常生产工况下黄磷尾气回收率 100%。	电炉法生产黄磷、电石及其他密闭矿热炉副产含 CO 尾气的回收利用	四川某黄磷生产企业现有 8 台黄磷电炉，除开停车外，黄磷尾气利用率达到 100%
黄磷尾气产蒸汽及发电	黄磷正常生产过程中，副产黄磷尾气量与下游用气量短时间可以依靠黄磷尾气安全回收技术进行压力和流量平衡，长时间会出现较大偏差（富余）。为此，配置黄磷尾气锅炉和发电装备，蒸汽可以供生产使用，多余的蒸汽可用于发电。	关键技术： 黄磷尾气锅炉采用尾气作为主要燃料，避免黄磷尾气因其中的腐蚀介质对锅炉造成腐蚀。 主要技术指标： 实现富余尾气 100% 回收利用，避免燃烧直排，减少温室气体排放。	电炉法生产黄磷、电石及其他密闭矿热炉副产含 CO 尾气的回收利用	四川某黄磷生产企业 2×75t/h 尾气锅炉及汽轮发电机组

表A.3 黄磷工业资源综合利用技术

工艺技术名称	工艺技术内容	关键技术及技术指标	适用范围	应用案例
黄磷尾气资源化利用	锅炉产蒸汽，利用富余蒸汽进行发电。	关键技术： 黄磷尾气锅炉采用尾气作为主要燃料，避免黄磷尾气因其中的腐蚀介质对锅炉造成腐蚀。 主要技术指标： 蒸汽产量 3.68kg/Nm ³	尾气资源化利用，生产蒸汽及发电	四川某黄磷生产企业 2×75t/h 尾气 锅炉
磷泥灰渣和磷矿粉回收利用	将磷泥回收处理的灰渣与磷矿石烘干筛分的矿粉一起，通过球团后作为黄磷生产的原料，进入黄磷炉生产黄磷。	关键技术： 高压对辊制球机和磷矿粉专用粘结剂。 主要技术指标： 磷泥灰渣利用率 100%	磷泥资源化利用环节	四川某黄磷生产企业矿粉球团项目

参考文献

- [1] 地下水污染防治重点区划定技术指南（试行）
- [2] 国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录
- [3] 黄磷工业清洁生产评价指标体系
- [4] 土壤污染风险管控标准建设用地土壤污染风险筛选值
- [5] 中国化工生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）
- [6] 云南省黄磷行业清洁生产评价指标体系（试行）
- [7] 关于开展2022年重污染天气重点行业绩效分级工作的通知（湖北省）
- [8] 冯 辉, 谢容生. 黄磷尾气深度净化技术研究现状及展望[J]. 化学工程与技术, 2018, 8(5): 284-290.
- [9] 张天军, 杨瑞山, 李占荣. 湿法磷酸装置尾气氟回收技术改造[J]. 生态产业科学与磷氟工程, 2024, 39(12): 63-67.
- [10] Tanaka, K. et al. Plasma-enhanced catalytic oxidation of CO in phosphorus tail gas[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2020, 264(2): 118-122.
- [11] Schröder T, Müller F, Braun J. Zero liquid discharge in phosphorus chemical industry[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 256: 120418.
- [12] Johnson, R. et al. Selective capture of CO and fluorides from yellow phosphorus tail gas using MOFs[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 298(3): 126-135.
- [13] Garcia R, Silva L, Fernández A. Yttrium recovery from phosphorus wastewater[J]. Hydrometallurgy, 2021, 203: 105630.
- [14] Schulz, K., Müller, F., Becker, T, et al. Microalgae-based phosphorus recovery from wastewater: Efficiency and biomass productivity[J]. Bioresource Technology, 2022, 344: 126-132.
- [15] Müller, F., Garcia, M., van der Veen, A. Chemical looping combustion for CO₂ capture in phosphorus production[J]. Energy & Fuels, 2022, 36(15): 8321-8330.