

四川省经济和信息化厅 关于印发《四川省磷化工产业发展和磷石膏 综合利用行动方案》的通知

川经信化工〔2026〕94号

各市（州）经济和信息化主管部门：

现将《四川省磷化工产业发展和磷石膏综合利用行动方案》印发给你们，请结合实际认真贯彻落实。

四川省经济和信息化厅

2026年7月16日

四川省磷化工产业发展和磷石膏综合利用行动方案

为贯彻落实工业和信息化部等部门《推进磷资源高效高值利用实施方案》《磷石膏综合利用行动方案》等文件精神，推动我省磷化工产业高质量发展和提升磷石膏综合利用水平，特制定本行动方案。

一、总体目标

到 2030 年，全省磷化工创新能力、产业结构、绿色发展、产业生态全面提质，力争产值达到 2500 亿元，带动全产业链产值突破万亿元。攻克磷资源高效开采、清洁生产、磷石膏综合利用等核心技术 15 项以上，电子级磷酸、磷系阻燃剂、催化剂等高附加值产品占比超 40%，磷化工单位产值碳排放、综合能耗较 2025 年分别下降 20%、5%以上，新增磷石膏无害化处置率达 100%、综合利用率超 70%，磷矿伴生氟、硅、钙综合利用率超 90%。

二、空间布局

以“创新驱动、绿色发展、融合协同、开放合作”为指引，通过“一中心·两基地·三区域”战略布局，着力构建“中枢引领·双核驱动·三极聚势”产业新格局。

（一）“一中心—中枢引领”。以成都为创新和政策策源“中

枢”，充分发挥成都在科技研发、人才汇聚、产业孵化、产业政策等核心优势，吸引高端人才、资本及产业链上下游企业集聚，提供全链条技术支持与创新驱动。

（二）“两基地—双核驱动”。以德阳、乐山—凉山为“双核”，打造磷资源富集区德阳、乐山、凉山磷化工产业协调发展新格局。两基地与成都创新策源中心联动，共同构建“研发—基础—精细—循环”全链条体系，实现资源共享、技术协同、绿色共治。

（三）“三区域—三极聚势”。以川东、川西南、攀西为“三极”，立足各自资源禀赋、区位条件和产业基础，实施差异化布局，凝聚发展合力，形成从上游磷矿到下游高端材料全产业链优势，打造川东“精细磷化工创新高地”、川西南“全链型磷化工核心枢纽”、攀西“特色资源协同示范基地”。

三、重点任务

（一）磷化工产业高质量发展。

1.推动传统产业升级。①推动磷肥产业升级。优化磷铵生产工艺，大力发展高效、绿色磷肥，推广水溶性肥、缓控释肥、液体肥等新型磷肥。②推动黄磷产业升级。拓展黄磷在新能源、新材料等新兴领域应用，大力发展电子级磷酸、磷系阻燃剂等高附加值产品。③推动发展高端精细磷化工。重点发展功能性磷酸盐、复配磷酸盐、焦磷酸盐等精细深加工产品，做强“双甘膦、草甘

磷、草铵磷”等产业链，稳固草甘膦、草铵膦全球竞争优势，开发无钠高纯草甘膦、精草铵膦；延伸发展磷系功能材料、高端磷化物、聚磷酸、磷系阻燃剂等深加工品类。

2.助力新兴产业崛起。①服务新能源产业发展。重点发展磷酸铁锂、六氟磷酸锂等关键材料，建设一批高水平新能源电池材料生产基地。②支撑电子信息产业升级。加快发展电子级磷酸、电子级磷化氢、含磷电子材料等高端产品，满足芯片、半导体材料、光学材料等制造需求。③推动生物医药产业发展。开发高纯度磷酸盐及含磷药物中间体，重点发展用于合成抗生素、维生素等药物的含磷中间体。④助力环保产业发展。开发高效含磷吸附剂和催化剂，发展用于去除废水中重金属离子、有机污染物的磷系吸附材料，以及用于脱硫脱硝的含磷催化剂。⑤赋能低空经济产业发展。依托磷酸铁锂、六氟磷酸锂、磷基固态电解质等材料，保障低空航空器动力电池需求。运用磷系阻燃剂、磷基高性能工程塑料制备航空器结构与内饰件、磷化铟材料配套激光雷达半导体组件，提升低空飞行器防护和感知性能。

3.突破关键核心技术。①持续完善创新体制机制。探索磷化工产学研协同创新机制，以龙头企业为创新主体，搭建区域共性技术创新平台，构建产业科技资源共享库与成果孵化转化体系。②攻关磷矿高效保障技术。研发高效选矿、伴生矿综合利用等磷矿绿色开采技术，确保磷资源有效供给。③开发磷酸、黄磷、磷

化物技术。开发湿法磷酸深度净化、湿法磷酸联产钾盐、超纯黄磷生产以及高纯磷酸生产等技术，开发新型节能电炉等黄磷低能耗生产工艺及装备，开发磷化物及有机磷新型催化、绿色合成技术。④突破新型含磷功能材料制备技术。发展新型含磷功能材料及磷加工用特种材料制备、绿色磷系阻燃剂等技术。突破黑磷烯制备新工艺及其光、电、热应用产品化。开发六氟磷酸锂高效绿色制备工艺。⑤开发资源高效回收利用技术。开发提高磷酸及磷肥生产过程中氟逸出率和回收率技术和装备，攻克黄磷尾气高效制备高附加值化学品、黄磷生产过程中的“三废”生产白炭黑、纳米碳酸钙等技术，开发磷石膏低成本净化技术和高纯石膏制备等工艺。⑥开发智能化技术。开发无人采矿、矿山安全管理物联网及云服务、智能配料及生产、在线监测及物性快速识别、全流程过程控制等智能化技术，支撑智能矿山、智能工厂建设（详见附件2）。

4.保障磷矿资源供应。①强化磷矿资源勘探储备，聚焦雷波、马边重点成矿带开展资源勘查，搭建储量动态监测体系，推进两地磷矿基地建设，统筹德阳、乐山、凉山磷矿开发稳固供给。②推广先进采选技术提升开采“三率”，差异化推进各地矿山集约开发，巩固存量矿山并推动多处矿区新建。③严控小型磷矿新建，引导企业兼并重组整合资源，落实矿山生态修复实现绿色开采。④搭建政企联动磷矿战略储备体系，推进什邡—绵竹—茂县省级

磷矿保护区建设。⑤健全矿产市场化配置机制，优先保障龙头企业，规范矿业权出让、培育“采选加”一体化主体，推动磷矿就地转化。

5.智改数转驱动赋能。①推进工业互联网赋能磷化工产业升级，打通产业链供应链，实现从大规模批量生产向大规模定制化生产转变。②打造集智能生产、运维、管理于一体的智能矿山、智能工厂试点，研发落地矿山工业互联网与智能装备，普及5G、大数据，夯实企业数字化网络基础。③推动政企共建行业、区域工业互联网服务平台，引导磷化工企业实施智改数转，实现全流程智能管控，打造绿色智慧工厂。

（二）磷石膏综合利用。

1.夯实磷石膏综合利用技术根基。①推动磷矿开采洗选工艺升级。坚持“采矿企业源头减量”，实施磷矿开采指标与环境质量水平、磷石膏产生强度挂钩。②推动磷酸生产绿色化转型。鼓励现有湿法磷酸企业实施半水—二水法、二水—半水法等先进工艺改造，提升磷回收率，降低磷石膏杂质、提升品质、削减产生量。③强化综合利用关键技术攻关。鼓励龙头企业联合科研院所搭建省级创新平台，集中产学研资源，系统研发、落地磷石膏综合利用技术，跨领域融合创新拓展规模化、高值化利用新领域。④统筹推进现有湿法磷酸企业配套建设无害化处理设施，新建项目无害化处置装置与主体工程同步设计、施工、投产，运用水洗、焙

烧、中和工艺实现磷石膏全部无害化处理（详见附件3）。

2.推进磷石膏综合利用量效齐增。①推动现有途径利用规模扩大。推动磷石膏制品用于建材、建筑、市政、高分子材料领域，政府采购、各类政府投资建筑项目优先选用相关产品。依托长江水运、铁路发展多式联运，优化运输体系，拓宽外销渠道。依托区域合作与产业集聚效应，形成跨行业、跨区域协同消纳磷石膏。②开拓磷石膏利用新场景。加快磷石膏道路场景落地，鼓励在公路、市政道路、园区道路等项目中推进磷石膏筑路材料应用，研发磷石膏基水稳基层路基材料，加快试点示范。拓展生态修复应用场景，鼓励生产磷石膏基护坡、充填、绿化喷筑材料，扩大磷石膏在露天矿坑回填、井下充填、地下采空区充填等领域综合利用规模。③促进磷石膏高值化利用。支持省内企业、高校、科研院所开展磷石膏高值化技术交流，研发低耗环保高性能石膏基胶凝材料、特种石膏制品，攻关推广绿色低碳低成本磷石膏分解制硫酸联产氧化钙工艺，探索磷石膏在塑料、涂料、橡胶等工业产品中的应用。④构建硫资源战略储备体系。统筹磷石膏消纳处置与硫资源保供，将无害化磷石膏纳入硫资源战略储备（详见附件3）。

3.完善磷石膏综合消纳技术标准体系。①建立全流程标准体系。针对磷石膏产生、无害化处理、贮存、运输、综合利用全流程，制定系列化标准。②构建综合利用产品标准。聚焦建筑建材、道路建设、生态修复应用场景，分领域制定磷石膏建材制品、充

填回填、路基材料施工验收、矿山土地修复等专项技术规范，逐步形成覆盖设计、施工、验收、运维全过程标准体系。③跟踪技术创新更新标准。密切关注磷石膏综合利用领域新技术、新工艺、新设备发展动态，及时更新技术标准，助推磷石膏综合利用能力水平提升。

4.推动磷石膏综合利用产业链集聚发展。①加强产业集聚和协同发展。支持德阳、达州等地培育一批“预处理—加工—应用”一体化链条的专业化龙头企业，打造磷石膏综合利用特色产业基地。②协同其他固废综合利用。推动磷化工与建材、交通等行业深度耦合发展，促进磷石膏在区域内、园区内、厂区内与其他固废协同利用，形成“资源—产品—废弃物—二次资源”循环发展模式。③搭建科技交流合作平台。鼓励龙头企业汇聚产学研用资源，牵头组建创新联合体，建设磷石膏综合利用实验室和研究中心，研发一批工艺水平高、经济性好、可推广性强的新技术、新设备、新产品。④打造示范企业和示范基地。因地制宜开展磷石膏综合利用应用示范，建设一批综合消纳能力强、产品附加值高、工艺技术先进、应用场景丰富的磷石膏综合利用产业化示范项目，打造全国磷石膏资源化创新示范区。

四、绿色安全发展

（一）加强环境保护。加大环境监管力度，运用在线监测、无人机巡查等技术手段，对企业生产过程中的废气、废水排放进

行实时监控。严格执行磷石膏库安全环保标准和规定，加强磷石膏堆存场所环境风险防控，定期开展磷石膏堆存安全环保隐患排查整治，防范突发环境事件。

（二）强化安全生产。以提升本质安全为主线，健全安全管理体系，升级技术装备，强化安全投入，压降高危环节风险，筑牢产业发展底线。严格落实企业安全生产责任制，做好设备设施安全维护，强化风险分级管控与隐患排查治理，推动智能化监控系统全覆盖，实现生产过程实时监测与预警。构建全链条数字化监管体系，健全双重预防机制，重点推进磷矿开采、黄磷生产等高危环节智能化改造。依托工业互联网实现企业DCS控制系统和智能安全联锁系统全覆盖，常态化开展安全培训及应急演练，提高应急处突能力。

（三）推行清洁生产。推广磷矿充填开采，落实探采选储运全流程绿色管控、土地复垦与生态修复等要求，建设全层开采、坑口选矿、尾矿充填一体化绿色矿山。推广黄磷干法除尘、封闭水淬、机械排渣、粉矿烧结等清洁工艺。加强黄磷生产余热余压利用，提高湿法加工过程中磷、氟回收，推进含重金属、磷、氨氮等废水深度高效治理，强化废盐、废催化剂等固废绿色化处置，建设一批绿色工厂、绿色园区。

（四）推进节能降耗。大力推广新型萃取技术、节能型电炉技术。引导磷化工企业建立完善能源管理体系，利用智能化能源

管理系统对企业能源消耗进行实时监测、分析和优化。推动企业间开展技术交流与共享，促进节能降耗新技术快速推广应用。

（五）加强资源回收。提升磷矿共（伴）生氟、硅、镁、钙等资源回收水平，推动企业建设回收及精深加工装置。持续推进磷石膏制绿色建材、制硫酸联产水泥等，加大硫酸钙晶须、高纯氧化钙及其他产品研制生产。推进黄磷尾气发电和生产甲醇、甲酸等产品，黄磷炉渣提氟后生产微细粉体、微晶玻璃等，副产磷泥制备饲料磷酸氢钙，副产磷铁生产特种合金等。

（六）推广先进装备。加快推进节能降碳装备改造，淘汰落后机电设备，持续改进升级现有黄磷电炉等关键设备，推广高功率黄磷电炉与电极，采用耐高温、耐腐蚀特种材料制造设备。加大新型反应器等先进装备研发力度，推动高效、节能、环保设备推广应用。融合大数据与AI技术，引入传感器、智能控制系统等，实现设备运行参数实时监测与自动调控。

五、保障措施

建立省级相关部门分工协作、企业积极参与、行业协会助推协同推进机制，定期研判目标指标、重点任务、重大项目等推进情况，确保行动方案顺利实施。加大磷化工项目支持力度，充分利用“两重”“两新”和专项债券等途径，支持磷化工企业开展技术改造与设备更新、中低品位复杂磷矿资源利用技术研究开发和产业化应用、磷石膏无害化处置和资源化利用等。对节能减排、

采用先进环保工艺的企业，在税收、信贷等方面给予支持。深入开展宣传引导，营造全社会关心支持的良好氛围，助力磷化工产业和磷石膏综合利用迈向可持续发展新高度。

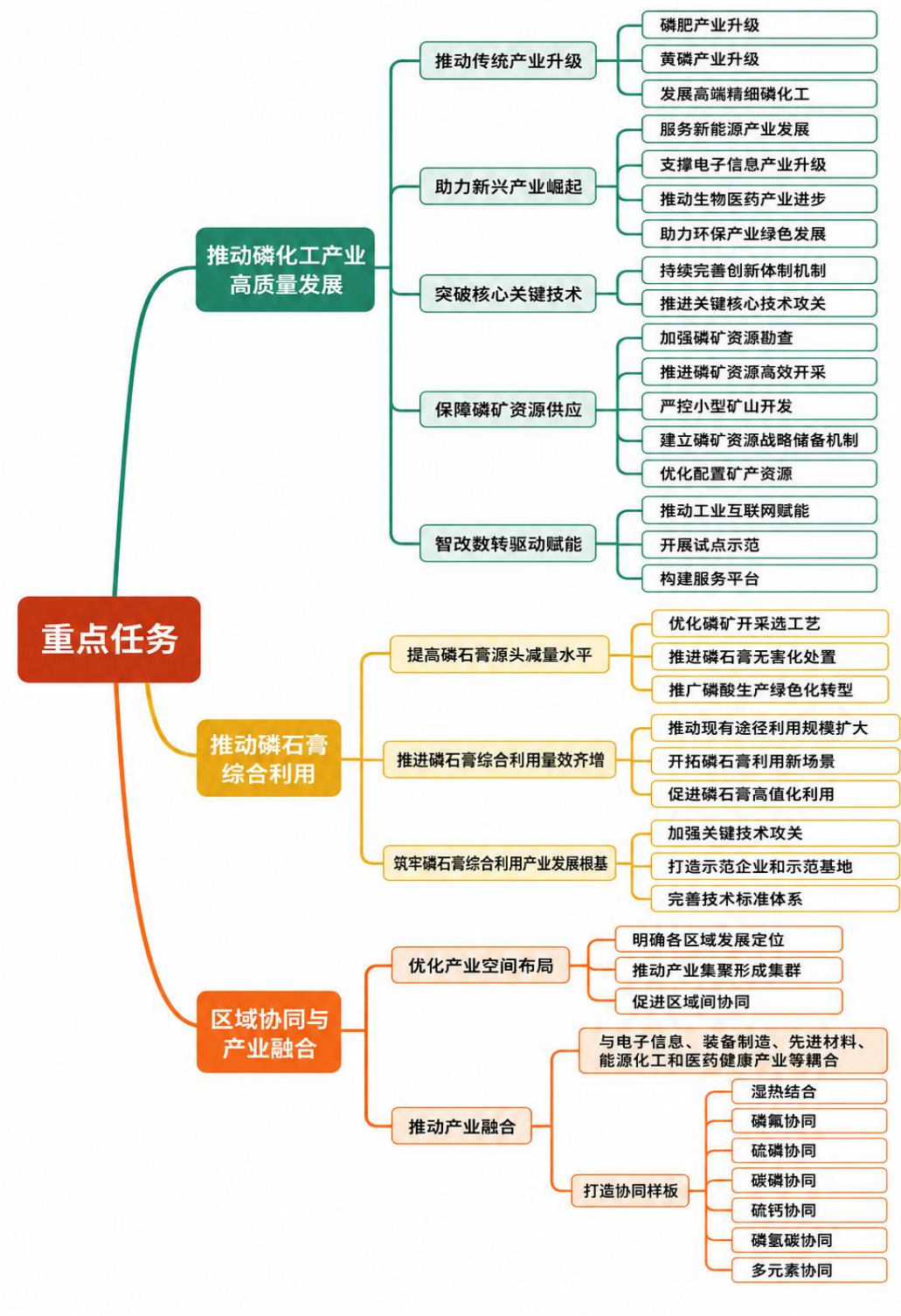
附件：1.重点任务图和技术路线图

2.关键核心技术攻关和示范应用专栏

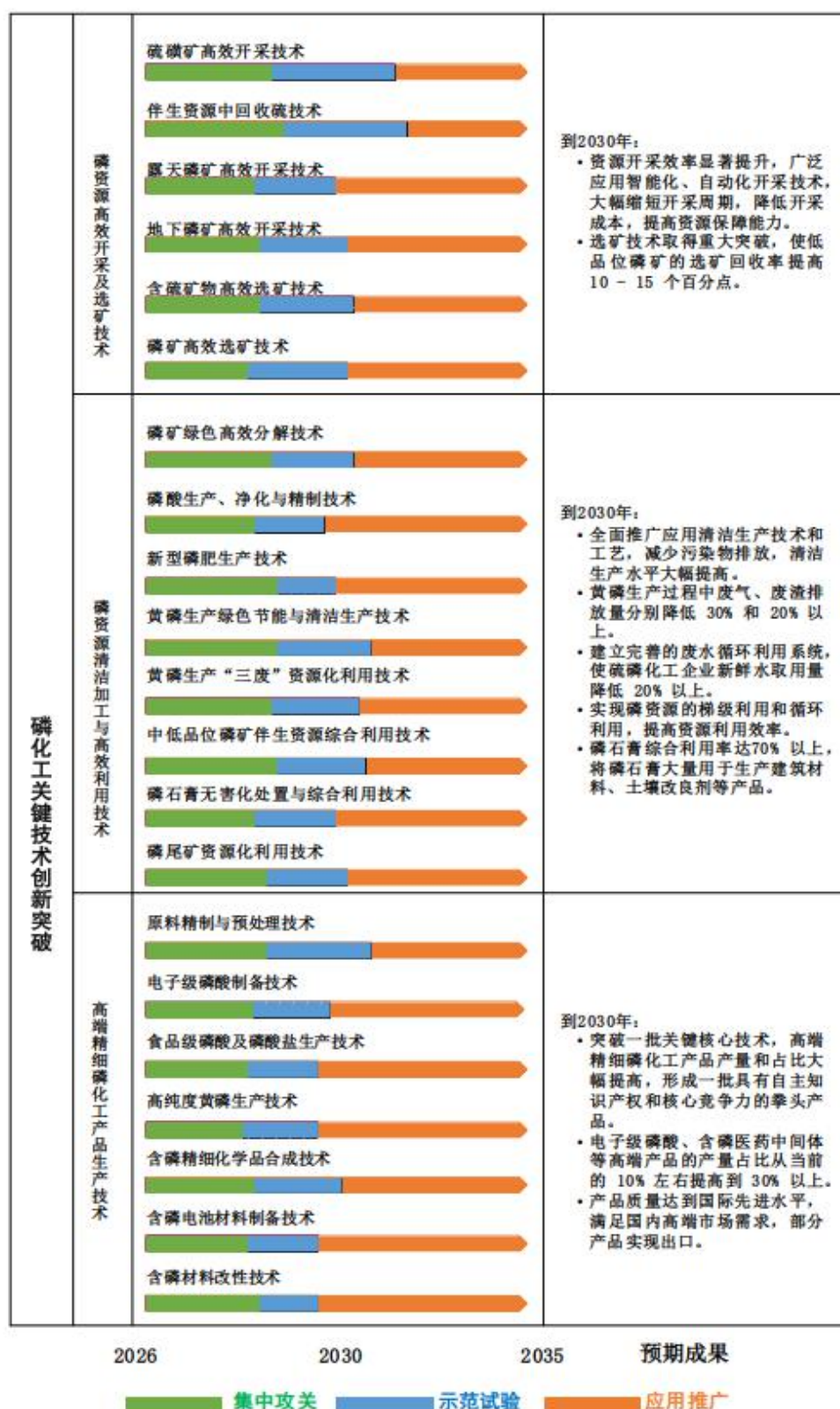
3.磷石膏综合利用专栏

4.技术研发与示范应用重点项目

重点任务图和技术路线图



重点任务图



技术路线图

附件 2

关键核心技术攻关和示范应用专栏

一、磷矿高效保障技术

（一）露天磷矿高效开采技术。

【集中攻关】根据露天磷矿的赋存条件、地形地貌和矿石特性，综合运用多种开采工艺，以提高开采效率和资源回收率。运用三维地质建模技术，对露天磷矿的矿体进行精确建模，直观展示矿体的空间分布和形态特征。基于模型进行开采方案设计和优化，利用计算机模拟技术预测不同开采工艺和参数下的开采效果。同时，采用先进的穿孔爆破技术，提高爆破效果，降低对周边环境的影响。研发智能开采技术，进一步提高资源开采效率、经济效益。

（二）地下磷矿高效开采技术。

【集中攻关】对于地下磷矿开采研发充填采矿技术的充填材料的研发和充填工艺的优化，改进充填工艺，采用高浓度、膏体充填等技术，提高充填体的强度和稳定性。凝固时间可控、强度高的充填材料。通过优化配方和工艺参数，提高充填材料的性能，使其既能满足采空区支撑要求，又能降低充填成本。开展充填材料的耐久性研究，确保其在长期地下环境中的稳定性。开展充填工艺优化研究，实现高浓度、膏体充填材料的高效输送和精准充填，并提高充填体的质量和稳定性。同时，利用监测技术实时监测充填体的变形和应力状态，及时调整充填工艺。探索无人化开采技术在地下磷矿高效开采应用。

（三）磷矿高效选矿技术。

【集中攻关】针对复杂难选磷矿，开发高效、环保的选矿工艺。借助量子化学计算等技术，研发新型高效捕收剂及能精准调控矿浆环境的调整剂；开展重选—浮选联合工艺、磁选—浮选联合工艺等联合选矿工艺优化研究，通过优化设备参数与工艺条件实现协同及优化；研发高效的选择性絮凝浮选和微泡浮选技术，提高细粒磷矿回收率与浮选效率；开发智能控制系统，运用人工智能算法及数字模型实现选矿过程自动控制、优化及为生产决策提供指导。

二、磷酸、黄磷、磷化物平台技术

（一）原料精制与预处理技术。

【集中攻关】为满足高端精细磷化工产品的严苛需求，着力研发一系列先进的原料精制与预处理技术。重点攻关相关原料高纯度提纯技术，凭借创新的化学与物理提

纯工艺，大幅提升原料的纯度。同时，开发原料均化技术，通过精准的配矿系统与高效混合设备，确保原料在粒度、成分等方面达到高度均一，为后续高端产品的稳定生产提供坚实的优质原料基础。

（二）电子级磷酸制备技术。

【示范试验】突破电子级磷酸的关键制备技术，解决磷酸提纯过程中的杂质去除难题，提高产品纯度和质量稳定性，满足集成电路、液晶显示器等高端电子领域的需求。

（三）食品级磷酸及磷酸盐生产技术。

【推广应用】以湿法磷酸为原料，采用溶剂萃取法、离子交换法等净化技术，去除磷酸中的重金属、砷、氟等有害物质，生产食品级磷酸。以食品级磷酸为基础，开发磷酸钠、磷酸钾、磷酸钙等磷酸盐产品，用于食品添加剂、饮料、洗涤剂等领域。

（四）高纯度黄磷生产技术。

【集中攻关】开发能够生产更高纯度黄磷的技术，满足电子、医药等高端领域对黄磷品质的要求。研究开发具有特殊性能和用途的黄磷产品，如纳米黄磷、活性黄磷等，拓展黄磷的应用领域，提高黄磷产品的附加值。

三、新型含磷功能材料制备技术

（一）含磷精细化学品合成技术。

【集中攻关】研发新型含磷精细化学品合成技术，开发具有特殊性能和用途的含磷化合物，如高效阻燃剂、医药中间体等高附加值产品，拓展磷化工产业应用领域。

（二）含磷电池材料制备技术。

【应用示范】开展低成本、高性能磷酸铁、磷酸铁锂、磷酸锰铁锂、六氟磷酸锂/钠、磷酸钒钠等磷系锂/钠离子电池材料制备技术攻关。通过开发晶型控制技术、绿色低碳成本合成工艺、材料改性技术，精准调控材料晶体结构，提高产品一致性，提升电化学性能和安全性，为新能源汽车和储能产业提供优质材料支撑。

（三）材料改性技术。

【集中攻关】针对磷系阻燃剂等磷化工衍生功能材料，研发先进材料改性技术。通过添加特定助剂、表面处理或共聚反应等方式，改善材料性能，提高磷系阻燃剂阻燃效率和耐久性。

四、资源高效利用技术

（一）磷矿绿色高效分解技术。

【示范试验】研发针对低品位磷矿的富集和预处理技术，提高磷矿品位和反应活性，提高低品位磷矿利用率，缓解磷矿资源短缺问题。研发新型磷矿分解技术，提高

磷矿分解率，降低能耗和废弃物排放。研发能够适应中低品位磷矿的分解工艺，提高中低品位磷矿利用率，减少对高品位磷矿的依赖，缓解资源压力。

（二）磷酸生产、净化与精制技术。

【应用示范】优化二水法或半水—二水法工艺生产湿法磷酸工艺参数与设备结构，提高磷酸萃取率与过滤强度。【集中攻关】开展硝酸法生产磷酸等新工艺基础研究，优化工艺流程、改进生产设备等手段，降低生产成本，从源头上减少磷石膏产生量，提高资源协同利用率。开发溶剂萃取法、离子交换、膜分离等新型磷酸净化工艺，去除磷酸中杂质，提高磷酸纯度和质量，满足电子级、食品级等高端领域需求，降低净化过程中化学试剂消耗和废弃物产生，实现磷酸生产绿色化、清洁化和提质降本。

（三）新型磷肥生产技术。

【集中攻关】开展以湿法磷酸、萃取酸、渣酸、各类废弃生物质等为原料生产各类新型磷肥产品的技术研究，提升磷肥生产效率、资源利用率和产品性能，满足现代农业对高效、环保肥料需求。【推广应用】重点推广含中微量元素磷铵、聚磷酸铵等新型高效水溶肥原料应用。采用氨酸法、高塔造粒法、熔体造粒法等先进工艺，根据不同作物需求精准添加中微量元素与生物活性物质，生产具有缓释、控释功能的高效复合肥。【集中攻关】发展悬浮肥、纳米磷肥等新型肥料，进一步拓展肥料品类，满足多样化农业生产场景，推动磷肥产品向高效化、功能化、环保化方向转型升级。

（四）黄磷生产绿色节能与清洁生产技术。

【集中攻关】开发新型还原剂，研究寻找比传统焦炭更高效、低碳的还原剂，以降低碳排放和对传统化石能源依赖，同时减少杂质引入，提高黄磷品质。探索新的能源利用方式，利用太阳能、风能等可再生能源产生的电能或热能辅助黄磷生产过程，降低传统电能消耗。开展黄磷生产核心设备电炉的电极结构、材料和炉体结构改进研究，降低电极消耗和电能损失，加强炉体保温性能，减少热量散失。研究更高效废气净化技术，进一步降低黄磷生产过程中废气污染物排放。加强对黄磷生产过程中产生的泥磷等固体废弃物无害化处理技术研究，探索将泥磷进行高温焚烧、化学处理、微波提磷等方法，使其转化为无害物质，减少固体废弃物对环境污染。研发生物法、膜分离法等新型废水处理工艺，提高废水中磷、砷等污染物去除效果，实现废水达标排放和回用。

（五）黄磷生产“三废”资源化利用技术。

【示范试验】加强对黄磷生产过程中副产物炉渣、磷铁、尾气等综合利用技术研发。开展炉渣用于生产建筑材料、陶瓷等研究，实现炉渣资源化利用；从炉渣中提氟，磷铁中回收铁、磷等有价值元素，提高资源回收利用率。推进黄磷尾气中一氧化碳用于合成甲醇、合成氨等化工产品技术研发和应用，实现尾气资源化利用。开发高效污水

处理和回用技术，实现黄磷生产过程中水资源循环利用，减少水资源消耗和废水排放。

（六）中低品位磷矿伴生资源综合利用技术。

【集中攻关】开发高效、环保提取与分离技术，实现氟、硅、钙、镁等中低品位磷矿伴生元素高效提取与利用。开发高效浮选药剂和新型萃取剂，提高磷矿浮选尾矿、湿法磷酸生产过程等氟资源回收率和产品纯度。突破磷钾矿“矿物解离—有价元素选择性提取—资源梯级回收—尾渣无害化处置与综合利用”全链条技术瓶颈。对提取的氟、碘等元素进行深加工，开发电子级氢氟酸、医药级碘化物、含碘功能材料、含氟精细化学品等高附加值产品，提高资源综合利用率。

（七）磷石膏无害化处置与综合利用技术。

【示范试验】研发磷石膏制高性能建筑材料关键技术，如制备高强度石膏板、石膏砌块等，提高产品强度、耐久性和防火性能。探索磷石膏在土壤改良、盐碱地治理等领域应用技术，拓宽磷石膏在公路交通利用途径，实现废弃物资源化和无害化处理，进一步提高磷石膏综合利用率。研发先进磷石膏预处理技术，去除磷石膏中杂质，提高磷石膏品质；强化磷石膏制硫酸联产氧化钙/水泥技术经济性突破。【推广应用】开发建筑石膏粉、石膏板、石膏砌块、水泥缓凝剂等建筑材料生产技术，并建立规模化磷石膏综合利用生产线，实现磷石膏资源化利用；结合四川特别是德阳磷化工集聚地，推广试点无害化磷石膏回填项目试点。

（八）磷尾矿资源化利用技术。

【集中攻关】研发针对磷矿物高效浮选药剂与联合选矿工艺，以及伴生氟、碘等元素提取技术。聚焦磷尾矿综合利用，在建筑材料应用方向，研发尾矿砂粒度调控与活性激发技术，优化建筑陶瓷和玻璃配方设计及烧制工艺，深入研究胶凝材料水化机理并实现规模化生产；在土壤改良剂制备方面，全力攻克营养成分活化以及土壤改良效果评估技术；在尾矿充填材料制备上，着力解决配比优化、输送和接顶等关键技术问题。

五、磷化工智能化关键技术

（一）无人化采矿与矿山安全管控技术。

【集中攻关】开发露天/地下矿山无人化开采装备及控制系统，集成智能凿岩、铲装、运输设备，实现采矿全流程少人化/无人化作业；构建矿山安全管理物联网系统，融合传感器网络、卫星监测、视频监控等技术，实时监测边坡稳定性、瓦斯浓度、粉尘等安全指标，建立风险预警与应急响应机制。

（二）智能生产与过程控制技术。

【示范试验】研发智能配料系统，基于机器学习算法实现磷矿、硫酸等原料精准配比；开发生产全流程自动化控制系统，集成 DCS（集散控制系统）与 SCADA（数

据采集与监控系统），实现黄磷、磷酸等核心装置在线调节与优化；建立物性快速识别技术，通过近红外光谱、激光粒度仪等设备，实时检测产品成分、粒度分布等关键参数。

（三）全产业链数字化监测与分析技术。

【示范试验】建设覆盖“磷矿开采—加工—销售”全链条监测系统，通过 5G、物联网技术采集生产进度、设备运行、能耗排放等数据；开发生产经营分析模型（如成本预测、产能规划模型）、市场趋势分析模型（如价格波动预警、供需平衡模型）及供应链优化模型（如物流路径规划、库存动态管理），提升企业决策效率。

（四）数字孪生与智慧化应用技术。

【集中攻关】构建磷化工企业数字孪生体，通过三维建模、实时数据映射实现工厂设备、工艺流程虚拟仿真；开发智慧化工园区管理平台，集成安全监管、环境监测、能源管理等功能，实现园区资源动态调配与协同管理；推动 AI 视觉检测、机器人巡检等技术在仓储、质检环节的应用，提升智能化水平。

（五）精益化服务与供应链协同技术。

【集中攻关】建立客户需求驱动精益化服务系统，通过大数据分析用户订单模式，优化排产计划与交付流程；搭建供应链协同平台，整合上游矿山、中游加工企业、下游客户及物流商数据，实现需求预测、库存共享、运输协同，降低全链条成本。

附件 3

磷石膏综合利用专栏

一、磷矿开采洗选推广工艺/设备

（一）**浮选胶磷尾矿二次提取源头减排集成技术**。对胶磷尾矿中有用矿物和脉石矿物进行解离和分选，胶磷尾矿通过预先浮选—浓缩—磨矿—分级—再选等工序，可实现尾矿精选，有利于提高精矿产率，减少尾矿产出。

（二）**旋流喷射微纳米气泡浮选柱（机）**。通过瞬间产生大量微纳米气泡，捕获小于 19 微米以下微细粒，形成疏水性矿团。该设备选矿回收率比传统浮选机提高约一倍，比常规浮选柱提高 30%以上；药剂比普通浮选设备节省 1/3—1/2。

二、磷石膏关键技术方向

（一）**研发高质量磷石膏净化中间产品**。推动开发更高效、低成本的磷石膏除杂增白技术，促进磷石膏高值化利用。

（二）**研制生态修复材料**。探索无害化处理后的磷石膏材料用于矿山采空区治理、井下充填、生态修复等应用领域。

（三）**开发钙基材料**。研发磷石膏钙基新材料，制定以磷石膏利用技术创新驱动应用技术规范，为磷石膏大宗固废精准高效生态环境治理提供科学依据。

（四）**研发磷石膏筑路材料**。推动以磷石膏为原料生产水稳材料等基层材料与路基材料以及路面砖、路缘石等道路用相关产品，加快试点示范，选定试验道路先行先试。

三、磷石膏高值化利用方向

（一）**磷石膏制备 α 型高强石膏**。其制品强度是普通石膏粉 3 倍以上，具有良好力学性能、工作性能、环保性能和生物性能，附加值高，广泛应用于精密铸造、高端建材、工艺美术、医疗、航空、船舶等领域。

（二）**磷石膏制备Ⅱ型无水石膏**。具有强度高，耐水性、流变性、稳定性良好，既可以与 β —半水石膏复合组成复合相形石膏胶结材，改善建筑石膏性能，提升石膏建材品质，也可以替代碳酸钙等应用于高分子材料充填剂。

（三）**磷石膏制备应用玻璃纤维增强石膏（GRG）**。其制品通过将石膏的易加工性与玻璃纤维的强度和耐久性完美结合，具有轻质高强、防火、防水、易加工、无毒环保等优点，可应用于建筑装饰、室内雕塑、建筑外墙、家具制造等领域。

（四）磷石膏制备石膏晶须。其制品可以应用于多个高价值领域，包括建筑、农业、化工以及生物医疗等。在建筑领域，石膏晶须可以增强材料强度和耐久性；在化工领域，可以作为催化剂或充填材料；在生物医疗领域，可以作为生物医用材料。

（五）磷石膏制硫酸联产胶凝材料。将磷化工行业产生的磷石膏浮选得到高纯石膏，再通过高温分解，同步生产硫酸和氧化钙。工艺原理：基于磷石膏高温分解特性，磷石膏在高温条件下与炭或硫等发生分解反应，硫酸钙分解为二氧化硫气体和氧化钙，二氧化硫气体经过催化氧化生成硫酸。

（六）磷石膏制塑料填料。将磷石膏通过物理、化学或热处理等方式改性后，作为功能性填料添加到塑料基体（如 PVC、PP、PE 等）中。

附件 4

技术研发与示范应用重点项目

一、中低品位磷矿清洁加工与高效利用技术研发

针对中低品位磷矿杂质含量高、选矿回收率低、加工过程污染大等问题，突破中低品位磷矿高效富集与杂质脱除关键技术，实现磷矿资源高效富集与杂质精准脱除；开发绿色环保磷矿分解工艺，突破中低品位磷矿清洁分解与磷高效转化关键技术，提高磷转化效率，降低能耗与污染物排放；探索伴生氟资源高效提取与综合利用路径，开发高附加值伴生氟产品，突破中低品位磷矿伴生氟资源协同利用与高附加值产品制备关键技术；研发基于中低品位磷矿磷—氟—钙资源综合利用循环经济模式，实现资源最大化利用与环境友好型发展。

二、面向现代农业需求的新型高效磷源研制及示范应用

面向现代农业对磷肥高效、环保、精准施用需求，突破新型高效磷肥养分控释关键技术，实现磷肥养分释放速率与作物生长需求同步；突破新型磷肥高效吸收促进剂研发关键技术，通过筛选与优化功能性物质，提高作物对磷元素吸收效率；突破新型高效磷肥绿色制备工艺关键技术，开发低含氟、少能耗等生产流程，降低生产成本与环境影响。研制新型高效磷肥养分控释载体、高效吸收促进剂产品，以及基于不同土壤特性的系列精准配方磷肥产品；开发磷肥工艺与废弃生物质资源化利用技术耦合生产有机磷铵技术，以及高效稳定液体肥生产技术，实现现代农业对高效液体肥料需求。推进原位整合中微量元素技术、低成本聚磷酸铵可控制备技术升级换代，并开展相应工程示范，进一步实现降本增效，并拓展其在农业等领域应用范围。

三、湿法磷酸净化提质与梯级利用研发及示范应用

对湿法磷酸净化提质过程中存在效率低下、能耗高、产品质量不稳定以及副产物难以有效利用等问题，突破湿法磷酸深度净化、高效分离与提纯，以及杂质精准控制等关键技术。突破湿法磷酸梯级利用中的组分精细分离、能量高效回收与循环利用等关键技术，建立从原料预处理到不同品质磷酸产品及其副产物（如石膏、氟化物等）综合利用加工流程及质量监控体系；突破磷酸溶液在梯级利用过程中的稳定性保持、

反应条件优化及副产物无害化处理等关键技术，研发智能化磷酸生产管理系统，实现对生产过程精准控制与环境污染最小化。同时，开发适用于不同梯级利用环节高效设备与节能技术，确保整个湿法磷酸净化提质与梯级利用过程的经济性与环境友好性。建成工业级（食品级）磷酸制电子级磷酸中试装置（1000t/a）、10kt/a 萃余酸高值化利用示范工程、1000t/a 电场强化溶剂萃取法净化磷酸中试装置。

四、磷石膏无害化处置、综合利用及源头减量技术研发及示范应用

针对磷石膏堆存带来的占用土地资源、环境污染隐患以及生产过程中产生量大等问题，突破磷石膏无害化稳定化关键技术。通过研究水洗、固化稳定化、浮选、焙烧等处理工艺优化和创新，提高处理效率，降低磷石膏中有害杂质活性与浸出毒性，确保长期堆存的安全性；突破磷石膏综合利用关键技术，开发适用于分解制氧化钙联产硫酸路基材料、建筑材料、农业领域、化工原料等方向高效利用工艺，提高磷石膏资源化利用率和产品附加值，建设 3—5 个示范项目；开展硝酸法和磷酸法等新工艺研究，突破磷化工生产过程中磷石膏源头减量关键技术。研制磷石膏无害化处理设备、不同应用领域综合利用生产装置以及适用于源头减量的关键工艺设备样机。形成解决磷石膏安全处置、高效资源化利用以及降低产生量等技术方案，助力行业实现可持续发展目标。

五、磷尾矿及伴生氟资源综合利用技术研发

针对磷尾矿大量堆存造成资源浪费与环境污染，以及伴生氟资源利用率低等问题，着眼于构建磷矿资源高效循环利用体系，突破磷尾矿中有价元素高效分离提取技术，以及伴生氟资源高效回收技术攻关和湿法磷酸中伴生氟资源深加工技术创新；突破磷尾矿建材化高值利用技术，通过优化配方与生产工艺，将磷尾矿转化为高性能建筑材料，提高其附加值；突破伴生氟资源的高效转化与利用技术，开发绿色环保的含氟产品制备工艺，提升氟资源综合利用水平；研制磷尾矿有价元素分离设备、磷尾矿建材化生产装置以及伴生氟资源转化利用关键设备样机；研发磷尾矿及伴生氟资源综合利用过程中污染防控技术，建立磷尾矿及伴生氟资源综合利用技术经济评价指标体系。形成解决磷尾矿资源浪费、环境污染以及伴生氟资源利用率低等技术方案，建设磷尾矿及伴生氟资源协同综合利用产业化示范工程。

六、磷化工绿色低碳工艺创新与示范

针对传统硫磷化工生产过程中高能耗、高排放等难题，突破绿色低碳工艺创新与示范关键技术，包括黄磷尾气高效回收与资源化利用、磷铵生产废水循环处理、低能耗磷酸制备工艺优化及系统集成、波动工况下节能型电炉设计、智能化生产控制与能效管理，以及面向磷石膏资源化利用的高性能石膏制备、低能耗煅烧工艺、产品性能调控等关键技术，建立万吨级绿色低碳工艺示范生产线并开展规模化应用，推动硫磷化工行业实现能耗降低 10%、碳排放减少 20% 目标，助力“双碳”战略实施。

七、磷系新能源材料制备技术研发及示范应用

面向低成本、高性能锂/钠离子电池发展需求，开发新型高压实、高倍率、高能量密度的磷酸铁锂电池正极材料，推进高效快充、长循环、长续航磷酸铁锂电池产业化；开发宽温域快充特性电解液，以满足电池在不同温度环境下快速充放电需求，同时保证电解液安全性与稳定性；攻克低成本、高能量密度、长寿命电芯制造等核心技术，优化电芯结构与制造工艺，提升电芯综合性能；研究开发可持续能源管理技术，结合高端磷酸铁合成技术，推进“零碳工厂”建设，构建多能互补型综合能源管理系统；加强人工智能与新能源技术结合，实现电池合成工艺智能优化与绿色生产目标。集成上述关键技术，建成吉瓦时级磷系锂/钠离子电池量产示范生产线。