

# 基于多元要素影响下的砂石矿山开发策略研究

魏孔友 李远广 王 磊

甘肃新发展投资集团有限公司 甘肃兰州 730000

**摘要：**通过系统分析政策法规、市场需求、技术革新、生态环保及社会经济等多元要素对砂石矿山开发策略的影响，并结合行业最新发展趋势与技术革新，构想系统构建砂石矿山开发策略体系。本研究聚焦砂石矿山开发全流程优化、绿色智能技术应用、产业布局优化及风险管控四大维度，提出涵盖矿权获取、矿山建设、生产管理、生态修复及产业协同的砂石矿山全周期开发策略，旨在构建绿色、高效、可持续的砂石矿山开发模式，为行业持续发展提供理论支撑与实践路径。

**关键词：**砂石矿山；多元要素影响；开发策略

## 引言

砂石骨料作为基础设施建设的关键原材料，其开发利用直接关联国民经济命脉。据统计，中国每年砂石用量超200亿吨，市场规模突破2万亿元，但传统开发模式存在资源浪费、生态破坏、安全隐患等问题。2023年中共中央办公厅《关于进一步加强矿山安全生产工作的意见》明确要求“严格矿山安全生产准入，推动智能化升级改造”，标志着砂石矿山开发进入政策严管与绿色转型并重的新阶段。在此背景下，研究多元要素驱动下的开发策略，对实现行业高质量发展具有重要意义。本文创新提出“三维一体”开发模型：空间维度强化区域协同布局，时间维度构建全流程管控体系，技术维度融合绿色智能技术。通过甘肃公交建集团皋兰王家沟砂石矿山、临洮龚家掌砂石矿山等实践验证，该模型可实现资源利用率提升25%，生态修复成本下降40%，安全事故率降低65%，为行业可持续发展提供可复制范式。

## 一、多元要素影响机制分析

### （一）政策法规要素

政策法规是砂石矿山开发的核心约束条件与导向性框架，其调整直接重塑行业生态。

#### 1. 矿权管理规范化

**课题：**砂石矿山路衍经济项目开发指南，课题编号：GSXFZ-2024-001。

**作者简介：**魏孔友（1983.9—）男，汉族，甘肃皋兰，硕士，高级工程师，研究方向：交通综合产业、路衍经济研究等。

（1）国土空间规划嵌入。依据《全国国土空间规划纲要（2021-2035年）》，砂石矿山开发需纳入“三区三线”管控体系。全国多数省份都提出了建设砂石集中开采区的有关规划，以广东省为例，其《矿产资源总体规划（2021-2025年）》明确划定砂石集中开采区12处，要求新建矿山规模不低于30万立方米/年，推动小散矿山整合。

（2）生产系统整合要求。自然资源部《关于推进矿产资源管理改革若干事项的意见》规定“1个采矿权范围内原则上只能设置1个生产系统<sup>[1]</sup>”。该意见倒逼企业通过技术改造实现“开采-加工-运输”一体化<sup>[2]</sup>。如浙江某矿山企业投资2.3亿元建设全封闭式生产线，将原有3个独立系统整合为综合智能控制中心，生产效率提升40%。

#### 2. 安全环保强制约束

（1）安全设施审查制度：应急管理部《矿山安全生产标准目录》强制要求新建矿山必须通过安全设施设计审查，内容涵盖边坡稳定性分析、应急逃生系统等18项指标。

（2）环保技术标准升级：生态环境部《砂石行业绿色矿山建设规范》要求废水循环利用率 $\geq 90\%$ ，粉尘排放浓度 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ 。部分先进砂石矿山企业采用“絮凝沉淀+膜处理”工艺处理水洗砂废水，实现废水零排放。

#### （二）市场需求要素

市场需求结构演变驱动砂石矿山开发向精细化、定制化转型。

##### 1. 需求结构升级

（1）建筑领域需求特征。据中国砂石协会数据，2025年国内建筑领域对高标号混凝土用砂需求将达12亿吨，要求机制砂MB值 $\leq 1.4$ ，含泥量 $\leq 1.0\%$ 。根据砂石母材

特性科学组合破碎设备，强化除尘工艺设计，建设精品砂生产线，是新型建筑对高品质砂石产品的最新要求。

(2) 道路工程材料革命：交通运输部《公路工程集料规程》明确要求沥青路面用砂石必须采用反击式破碎工艺。当前部分企业引进VSI制砂机，使针片状含量从25%降至5%以下，极大提高了砂石整形效果。

## 2. 区域市场分化

(1) 运输半径经济性：经测算，砂石物流成本占比达30%-50%，北方公路运输一般形成以200公里为半径的“经济圈层”，南方水路运输采用廊道+码头的组合方式，有效经济运输距离可扩展到500公里及以上。在砂石矿山选址上，要综合测算市场需求和经济运距，合理控制矿山建设规模与有效运输距离，并充分依托现有交通路网。近年来，广东省《水运工程砂石质量标准》推动西江沿线矿山建设专用码头，使到珠三角运费降低至30元/吨。

(2) 路衍经济模式创新：采用“公路建设+矿山开发”的路衍经济创新模式，将工程建设与原料供应紧密连接起来。在新建高速公路沿线布局砂石基地，通过“矿山-拌合站-施工段”直供模式，减少中转环节，有效降低成本。如甘肃公交建集团在在环兰州路网布设了皋兰王家沟矿山，主要服务于兰州周边的公路及市政等基础设施项目，取得了良好的经济社会效益。

## (三) 技术革新要素

技术革新是突破资源约束、提升开发效能的关键路径。以下从开采与加工两大环节，对比传统技术与新型技术的差异化应用及其产生的变革性影响。

### 1. 智能化开采技术

(1) 传统开采技术局限较大。机械开采方面，依赖人工操作挖掘机、装载机进行软岩开采，存在效率瓶颈。爆破开采方面，采用潜孔钻机钻孔、炸药爆破，但爆破设计依赖经验，易产生大块矿石及边坡安全隐患。

(2) 新型技术突破生产效率快速升级。数字矿区建设方面，无人机航测替代传统全站仪测绘，通过多光谱相机获取矿区三维地形数据，精度达厘米级。矿山企业应用此技术后，矿区边界划定效率提升，排土场设计优化使土地利用率提高。智能爆破系统采用数码电子雷管与现场混装炸药技术，实现逐孔精准起爆。在矿山应用后，爆破大块率大幅降低，边坡稳定性显著提升，同时减少爆破震动对周边居民区的影响。矿山装备升级方面。某企业引进小松PC7000液压挖掘机，配备智能控制系统，可根据岩层硬度自动调节挖掘力，单机日产能突破2万吨，较传统设备大幅度提升。部分企业开始采用无人

驾驶矿卡，其搭载激光雷达与V2X通信技术，实现“穿孔-爆破-装载-运输”全流程无人化，对比测试显示，无人矿卡作业效率提升，燃油成本降低。

### 2. 绿色加工工艺

(1) 传统加工工艺痛点。破碎环节，颚式破碎机、圆锥破碎机等设备存在过粉碎现象，成品砂粒型差、级配不合理。筛分环节，圆振动筛易堵孔，筛分效率低，且粉尘排放易超标。制砂环节，冲击式制砂机能耗高，石粉含量难以控制，机制砂品质不稳定。

### (2) 新型技术革新

级配优化技术。层压破碎，采用单缸液压圆锥破碎机，通过层压破碎原理，使矿石在破碎腔内多层受压，成品砂粒型圆润，级配连续区间扩大，机制砂MB值降低，满足高性能混凝土要求。模块化筛分，应用高频筛与概率筛组合系统，高频筛振动频率高，筛分效率提升，且配备负压除尘装置，粉尘排放浓度下降。

固废资源化突破。石粉精控，通过选粉机与湿法制砂工艺结合，石粉含量降低至2%，生产出的湿拌砂浆28天抗压强度达标率98%以上。将尾矿渣经立磨机粉磨后，替代部分水泥用于混凝土生产，实现尾矿综合利用。

表1 砂石矿山技术革新与指标对比

环节	传统技术	新型技术	核心指标提升
开采	人工测绘+经验爆破	无人机航测+智能爆破	测绘效率↑80%，大块率↓72%
破碎	颚破/圆锥破	层压破碎+模块化筛分	级配连续区间↑40%，粉尘↓85%
筛分	圆振动筛	高频筛+概率筛	筛分效率↑150%，堵孔率↓90%
制砂	冲击式制砂机	选粉机+湿法制砂	石粉含量↓68%，强度↑25%

## (四) 生态环保要素

最新生态环保要求的持续升级，正深刻重塑砂石矿山开采加工的全流程技术路径与管理模式，推动行业从“末端治理”向“全周期管控”深度转型。

### 1. 全流程污染控制

政策驱动与技术革新双重作用下，砂石矿山污染控制已实现从单一环节向全流程覆盖的跨越。

(1) 粉尘治理体系：依据《“十四五”环境影响评价与排污许可工作实施方案》，砂石矿山需构建“源头抑制-过程管控-末端治理”三级防控体系。如徐州博源科技研发的“矿石开采利用过程粉尘分区防控关键技术”通过超声雾化引射抑尘装置（抑尘效率>95%，耗水量减少80%）与多相惯性控尘装置（降低后道除尘器入口含

尘浓度90%以上)的组合应用,实现矿石加工全流程粉尘捕集率。

(2)水循环系统:AI智控深度节能技术通过“虚拟传感+效率寻优”算法,实现水资源循环利用率提升至90%以上。该技术可自动匹配流量需求,消除扬程裕量,较传统变频节能技术再降能耗。

### 2.生态修复技术

“边开采边修复”成为硬性要求,倒逼技术创新与模式升级。边坡生态复绿:高陡岩质边坡SSP稳定土植生护坡技术通过水泥基生境基材喷射(抗压强度0.3-0.45MPa,抗冲刷能力抵御200mm/24h降雨),实现45天内植被覆盖率超85%。该技术较传统挂网喷播成本降低,施工效率提升2-3倍。

### 3.全周期管控实践

政策倒逼企业建立“规划-建设-运营-闭矿”全生命周期管理体系。

(1)闭环管理要求。依据《矿产资源法(修订草案)》,矿山企业需提交《矿山地质环境保护与土地复垦方案》《碳排放管理计划》,并缴纳生态修复基金。

(2)数字化监管。多地试点“矿山生态大脑”系统,通过卫星遥感、物联网传感器实时监测粉尘、水质、边坡稳定性等指标。

(3)数据支撑与政策依据。生态环境部数据显示,2024年全国砂石矿山粉尘排放量较2020年下降,废水回用率提升至82%。到2025年,全国生态保护修复面积超过1.2亿亩,“十四五”生态保护修复预期目标已基本完成。

## (五)社会经济要素

砂石矿山开发需融入区域经济社会发展大局,实现共建共享。以下从产业协同效应、社会责任履行两大维度,结合政策法规与典型案例,系统阐述其与区域经济的互动关系。

### 1.产业协同效应

政策驱动与产业融合。国家发展改革委等十五部门联合印发的《关于促进砂石行业健康有序发展的指导意见》明确提出,要推动机制砂石产业高质量发展,优化产业布局,降低运输成本<sup>[3]</sup>。自然资源部《关于规范和完善砂石开采管理的通知》进一步要求,将砂石资源专项规划纳入国土空间规划“一张图”,引导产业集聚发展。在此背景下,砂石矿山开发呈现两大协同模式:

(1)路衍经济产业园模式。以甘肃省公交建集团皋兰县王家沟建筑用石料矿项目为例,该项目总投资1.6亿元,年产能120万吨,与永昌大扎子沟、临洮龚家掌等

矿山形成联动互补,为清傅公路、傅苦公路等重大交通项目提供用料保障。此类产业园集成砂石加工、混凝土生产、仓储物流等功能,实现“矿石开采-骨料加工-商品混凝土-装配式建筑”全产业链协同,物流成本降低,产能利用率提升。

(2)新能源融合发展模式。山东平阴山水水泥有限公司矿山项目通过“绿色矿山+光伏发电”模式,利用矿区闲置土地建设3兆瓦光伏电站,年发电量350万度,满足全矿用电需求的同时,年减排二氧化碳2725.9吨。该模式契合《“十四五”现代能源体系规划》中“推动矿产资源开发与新能源融合发展”的要求,实现“自发自用、余电上网”,剩余电量并网收益超百万元,能源成本降低。

### 2.社会责任履行

自然资源部《关于规范和完善砂石开采管理的通知》强调,矿山企业应履行生态修复义务,并“鼓励社会监督,及时制止违法行为”。在此框架下,企业通过就业扶贫、公益投入等方式,深度融入区域发展<sup>[4]</sup>。

(1)就业扶贫成效。西藏华钰矿业在隆子县的实施“脱贫运输队”计划,通过组建农牧民运输队负责矿石运输,使日当镇农牧民人均年收入从2006年的不足400元跃升至2017年的8000元,增长20倍。该模式被纳入《西藏自治区“十四五”时期巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接规划》,成为“企业+农户”精准扶贫典范<sup>[5]</sup>。

(2)公益项目投入。青海化隆砂石厂在西成铁路建设中,通过“绿色矿山+基建供应”模式,为项目提供砂石30万立方米,同时投入资金用于矿区绿化、污水处理及周边村庄道路硬化。该厂绿化覆盖率达可绿化面积的30%以上,废水循环利用率超90%,获评“青海省绿色矿山示范项目”。此外,企业设立教育扶贫基金,资助大学生,修建乡村道路,企业社会资本指数提升。

## 二、全周期开发策略构建

砂石矿山作为基础设施建设的重要原材料来源,其开发策略直接关系到区域经济的可持续发展与生态环境的保护。

### (一)规划选址阶段

#### 1.选址布局调研

基于国土空间规划“三区三线”划定成果,开展砂石资源潜力评价与产业承载力分析。依据《关于规范和完善砂石开采管理的通知》(自然资源部,2023年4月10日),选址需综合评估资源储量、路网规划、交通条件、经济运距及生态环境容量。通过GIS技术构建“资源-环境-经济”综合评价指标体系,优先在国家级资源型城市、交通枢纽节点布局砂石基地,形成与区域重大基础

设施工程（如高铁、高速公路）的空间联动。如甘肃省公交建集团皋兰县王家沟建筑用石料矿项目，通过科学选址，实现了与永昌大扎子沟、临洮龚家掌等矿山的联动互补，为清傅公路、傅苦公路等重大交通项目提供稳定用料保障。

## 2. 矿石岩性调研

按照《固体矿产地质勘查规范总则》，对矿石力学强度、耐久性等进行实地采样与专业分析，确保产品质量符合《建设用砂》（GB/T 14684—2022）等标准。主要包括矿石资源特性和加工特性。

（1）矿石资源特性，包括矿石的力学强度、耐久性、化学稳定性、表面特性等，特别需要判断岩石能否满足路面沥青面层用料时高黏附性、高耐磨耗性、高耐破碎性的质量要求。

（2）矿石加工特性，包括岩石加工后的颗粒尺寸与级配、颗粒形状、颗粒组成的一致性、洁净度等。

按照相关调研成果，初步确定矿山项目开发拟申请资源储量、生产规模、开采周期、砂石产品定位等开发信息。

## 3. 矿区范围划定

勘察调研结束，基本满足相关开发条件，与地方县级自然资源部门积极对接，达成初步开发意向，编制项目建议书申请项目立项，并申请划定矿区范围，并获得批复文件。

## 4. 采矿权许可证办理

矿山项目公司按照砂石矿山项目所属地县级公共资源交易中心招拍挂程序，进行积极的招投标工作，获得中标后签订开发协议，缴纳矿业权出让金，编制砂石矿山开发相关专项报告并缴纳专项费用，最后取得采矿许可证。

## （二）勘察设计阶段

### 1. 可行性研究

矿山企业委托专业机构编制可行性研究报告，通过专家评审后进行决策。砂石矿山项目可行性研究是矿山项目投资成功的第二个关键阶段。可行性研究要充分沟通交流，矿山项目公司、设计单位、设备厂家要委派专人成立对接工作小组，需要从以下几个方面进行综合判断，提出符合矿山项目特点的工艺设计和设备选型，并严格控制设计预算。

（1）采矿与加工设备的选型，深度调研，进行多方案比较，分析设备选型与加工工艺的匹配性和可靠性，对关键设备进行单台技术经济论证；

（2）矿石加工工艺设计，要从矿山的资源储量规模、砂石矿产类别、开采加工技术难易程度、设备维护保养

费用等多方面综合进行，确保设备选型的技术可行性与经济合理性；

（3）矿山生产规模的确定，要总结相关矿山生产经验，依据矿山开采计划和市场需求预期，科学比选确定加工设备和工艺流程，并严格控制矿山建设投资。

## 2. 勘察设计与施工管理

项目可行性研究报告批复后，矿山企业积极联系当地县级自然资源部门开展矿山采矿权的竞拍工作，同时委托专业咨询单位开展勘察设计工作和各项专项报告编制。勘察设计遵循《建材矿山工程建设项目设计文件编制标准》，完成初步设计、采矿工程安全设施设计及施工图设计。施工过程中，强化技术管理、质量管理、工期进度管理及设备管理，确保矿山建设质量与进度。

勘察设计阶段的专项报告较多，包括地质灾害危险性评估报告、绿色矿山建设方案、环境影响评价报告（表）、林地、草地的相关证明、水土保持方案、水资源论证与取水许可、排污许可证、项目用地许可、安全预评价报告、职业病防护设施设计、节能设计、社会稳定风险评估报告等。

## （三）矿山建设施工阶段

矿山建设施工是在保证建设质量的前提下，合理控制投资和建设工期，为生产加工做好准备，以形成矿山生产所必需的各种系统，达到设计中规定的矿山综合能力要求和各项技术标准。砂石矿山开采施工，主要包括矿山工程、土建工程和建筑安装工程。矿山工程包括露天矿山的剥离、开采工程，矿山道路修筑等。

砂石矿山建设施工是矿山项目投资成功又一关键阶段。矿山基础建设和生产要有机结合起来，在工作组织上要一体化，在基建后期要考虑前期生产的部署，将基建移交生产过程的交接关系变为搭接关系，有利于基建时提前形成生产系统，实现早开矿、早投产、早见效益。矿山建设施工管理包括技术、质量、进度、设备等几个方面。

## （四）矿山生产经营

### 1. 矿山生产

矿山生产准备工作可与施工过程并列进行，确保项目一旦竣工验收即可投产。生产准备包括培训人员、设备安装，试车准备、工程验收等。具体包括：落实材料备件、燃料、水、电、气源以及其他协作配合条件；组织工具、器具、备品备件的生产和购置；生产勘探、生产准备矿量的完成；组织完成生产指挥机构，制定管理制度、岗位责任、岗位操作规程等；收集生产技术经济条件资料；制定产品标准。具备投产条件后向政府主管部门申请试生产，经许可后即可投入生产<sup>[6]</sup>。

砂石矿山多数采用露天机械开采，以钻孔爆破，机械采掘为主获取原矿，经过破碎、筛分等环节生产出相应规格的矿石产品。

目前，我国大型砂石骨料与机制砂的生产工艺主要分为干法、湿法两类。干法和湿法工艺各有优缺点，其

适用的范围和条件也不相同。干法工艺适用母岩地质赋存条件简单，覆盖层少，断层及裂隙土少；矿石中泥土及有机物等杂质含量少；气候干旱少雨，水资源缺乏地区。湿法工艺适用矿石中泥土及有机物等杂质含量较多；多雨及水资源丰富的地区。

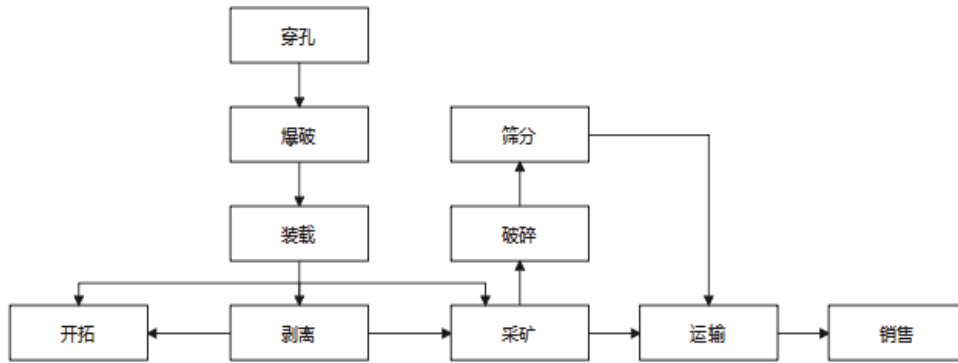


图1 砂石矿山开采加工流程图

## 2. 经营管理

质量是企业的生命，持续补强矿山生产运营质量管理水平，是矿业运营管理的重要内容之一。成本是企业核心竞争力，加强成本控制、持续优化成本是提高企业价值创造能力和核心竞争力的关键。持之以恒的提升砂石矿山项目的生产经营水平，通过计划、组织、指挥、协调和控制等方面的职能，实现现代化管理。

按照矿山企业的生产经营活动，不断探索提升企业经营管理水平，达到实现现代化管理。现代化管理可分为全面计划管理、全面技术与质量管理、全面经济核算和全面人事劳动管理四个方面<sup>[7]</sup>。

### (五) 恢复治理及闭坑评价

#### 1. 生态修复阶段

矿山开采过程中，根据采矿权获取阶段批准的《矿产资源开发与恢复治理方案》同步实施矿山恢复治理工作。一般采用“梯级降坡+土壤重构”等技术，在开采平台覆盖前期剥离的表土，进行矿山恢复治理及土地复垦治理并及时进行绿化种植。

#### 2. 闭坑后评估阶段

矿山闭坑后期的评估是对项目的投资效益、环境效益和社会效益进行全面评估，总结经验教训，为今后的项目开发提供参考。

(1) 地貌重塑。采用“梯级降坡+土壤重构”技术，将终了边坡角度控制在35°以内，满足《矿山地质环境保护规定》要求。如西藏华钰矿业隆子县铅锌矿闭坑后，通过“生态修复+文旅开发”，年接待游客超10万人次，带动周边民宿、餐饮等第三产业增收2300万元，实现从

“资源依赖”到“生态红利”的转型。

(2) 产业替代。将闭坑矿区改造为光伏电站、工业旅游基地或仓储物流中心。如山东平阴山水水泥矿山闭坑后，建成装机容量50MW的“矿坑光伏+”项目，年发电量6500万度，土地单位产出提升8倍。

## 结论

砂石矿山开发需统筹多元要素影响机制，构建覆盖全周期的开发策略。政策法规、市场需求、技术革新、生态环保及社会经济要素共同构成行业发展的驱动与约束体系，而全周期管理策略则通过规划选址、勘察设计、建设施工、生产经营到闭坑修复的系统性安排，实现资源高效配置与可持续发展。未来，行业需进一步强化技术创新与数字化监管，推动砂石矿山开发向绿色化、智能化转型。

## 参考文献

[1] 王琼杰. 推进机制砂石产业健康有序发展是必然选择 [N]. 中国矿业报, 2020-04-07.

[2] 杨再兴, 史瑾瑾, 罗小利. 矿业权供给方式变革——矿业权出让项目库研究 [J]. 中国国土资源经济, 2024 (12): 13-50.

[3] 曾红, 李一宁, 马跃龙. 铁路隧道混凝土材料价差调整对成本影响研究 [J]. 铁路采购与物流, 2023 (8): 25-30.

[4] 赵鑫. 煤矿基本建设工程投资管理综合研究 [D]. 北京: 中国矿业大学 (北京), 2015.