

附件：

HJ-BAT-003

环境保护技术文件

钢铁行业采选矿工艺 污染防治最佳可行技术指南（试行）

**Guideline on Best Available Technologies of Pollution Prevention and Control
for Mining and Mineral Processing of the Iron and Steel Industry (on Trial)**

环境保护部

2010年3月

目 次

前言.....	II
1 总则.....	1
1.1 适用范围.....	1
1.2 术语和定义.....	1
2 生产工艺及主要环境问题.....	1
2.1 生产工艺及产污环节.....	1
2.2 主要环境问题.....	2
3 采选矿工艺污染防治技术.....	3
3.1 采矿工艺减少矿产资源损失技术.....	3
3.2 选矿工艺提高矿产资源综合利用率技术.....	5
3.3 大气污染防治技术.....	7
3.4 废水控制与治理技术.....	10
3.5 固体废物处置及综合利用技术.....	11
3.6 生态恢复技术.....	12
3.7 新技术.....	13
4 采选矿工艺污染防治最佳可行技术.....	14
4.1 采选矿工艺污染防治最佳可行技术概述.....	14
4.2 采矿工艺减少矿产资源损失最佳可行技术.....	14
4.3 选矿工艺提高矿产资源综合利用率最佳可行技术.....	18
4.4 大气污染防治最佳可行技术.....	19
4.5 废水控制与处理最佳可行技术.....	21
4.6 固体废物处置及综合利用最佳可行技术.....	22
4.7 生态恢复最佳可行技术.....	23
4.8 采选矿工艺污染防治最佳环境管理实践.....	23

前言

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》，加快建设环境技术管理体系，确保环境管理目标的技术可达性，增强环境管理决策的科学性，提供环境管理政策制定和实施的技术依据，引导污染防治技术进步和环保产业发展，根据《国家环境技术管理体系建设规划》，环境保护部组织制定污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术指南、环境工程技术规范等技术指导文件。

本指南可作为钢铁行业采选矿项目环境影响评价、工程设计、工程验收以及运营管理等环节的技术依据，是供各级环境保护部门、设计单位以及用户使用的指导性技术文件。

本指南为首次发布，将根据环境管理要求及技术发展情况适时修订。

本指南起草单位：北京市环境保护科学研究院、中国中钢集团天澄环保科技股份有限公司、中国中钢集团马鞍山矿山研究院、中国冶金科工集团建筑研究总院。

本指南由环境保护部解释。

1 总则

1.1 适用范围

本指南适用于钢铁行业采矿、选矿生产企业或具有采选矿工艺的钢铁生产企业，包括铁矿山、钢铁行业辅料矿山等。其他与铁矿开采和选矿工艺相近的冶金行业采选矿工艺可参照执行。

1.2 术语和定义

1.2.1 最佳可行技术

是针对生活、生产过程中产生的各种环境问题，为减少污染物排放，从整体上实现高水平环境保护所采用的与某一时期技术、经济发展水平和环境管理要求相适应、在公共基础设施和工业部门得到应用的、适用于不同应用条件的一项或多项先进、可行的污染防治工艺和技术。

1.2.2 最佳环境管理实践

是指运用行政、经济、技术等手段，为减少生活、生产活动对环境造成的潜在污染和危害，确保实现最佳污染防治效果，从整体上达到高水平的环境保护所采用的管理活动。

2 生产工艺及主要环境问题

2.1 生产工艺及产污环节

2.1.1 采矿工艺流程及产污环节

对于地下矿体，首先进行开拓和采准，然后通过凿岩、爆破等手段开采矿石。采矿方法主要包括空场法、充填法和崩落法。不同的采矿方法具有不同的回采率、贫化率以及资源利用率。

露天开采分为剥离和采矿两个环节。首先将矿床上方的表土和岩石剥掉，运往排土场堆放；然后将境界内的矿岩划分成具有一定厚度的水平分层，再由上向下逐层进行开采。

地下采矿及露天采矿工艺流程及主要产污环节见图 1。

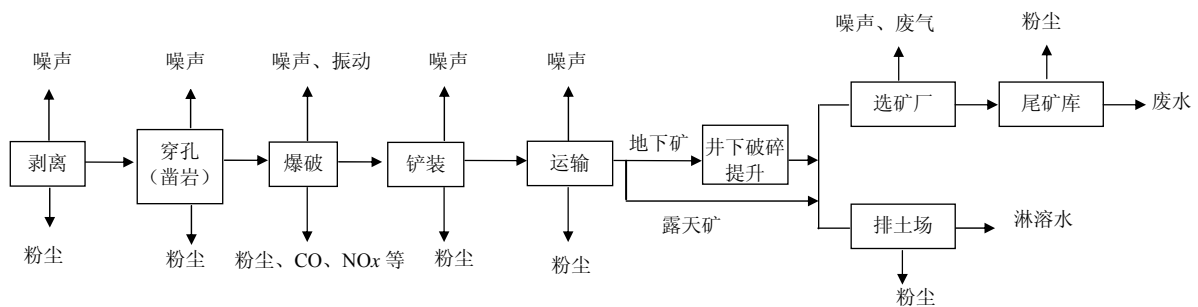


图 1 采矿工艺流程及产污环节

2.1.2 选矿工艺流程及产污环节

矿石经过粗碎、中碎、细碎作业后，进行磨矿分级。通过磨矿分离出矿石中的有用矿物颗粒单体，利用矿石颗粒的密度、磁性或对浮选剂亲疏水性不同进行分选，即常用的重选法、磁选法和浮选法。选矿作业的精矿中含有大量水分，应对其进行脱水浓缩作业。尾矿排至尾矿库。

选矿工艺流程及主要产污环节见图 2。

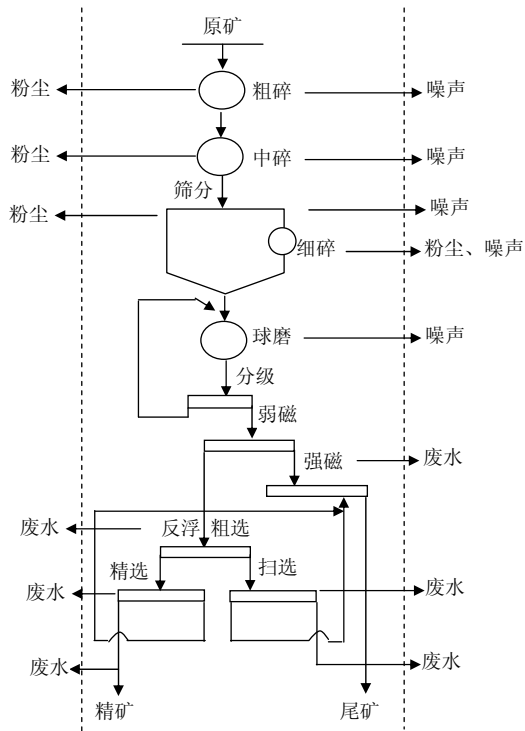


图2 选矿工艺流程及产污环节

2.2 主要环境问题

采选矿工艺的主要环境问题包括生态破坏、大气污染、水污染、噪声污染和固体废弃物污染。

采选矿过程的大气污染物主要为扬尘。采矿过程的穿孔、凿岩、爆破、装卸、井下爆破、矿石运输等作业产生大量粉尘，以及选矿厂的矿石运输、转载、破碎、筛分等环节产生大量粉尘。

采选矿过程的废水主要为露天矿坑水、地下坑道水、废石堆场淋溶水和尾矿库溢流水，以及选矿厂生产废水。矿山废水由于矿石的氧化、水解而呈酸性；选矿过程中产生的废水由于 pH 值不同而溶解汞、镉、铬、铅等不同重金属元素，同时还含有选矿的残余药剂。

采选矿过程的固体废物主要为采矿生产中产生的废石和选矿加工过程中产生的尾矿。废石和尾矿产生量大，排土场和尾矿库的建设影响生态环境。

采选矿工艺的其他环境影响包括植被破坏、扰动土壤、表土破坏、矿井水排泄、地表塌陷以及由此引起的水土流失等问题。同时，采矿生产活动中，由于噪声、扬尘的产生，对周围动植物也产生不良影响，矿山开发对环境产生的综合影响见图3。

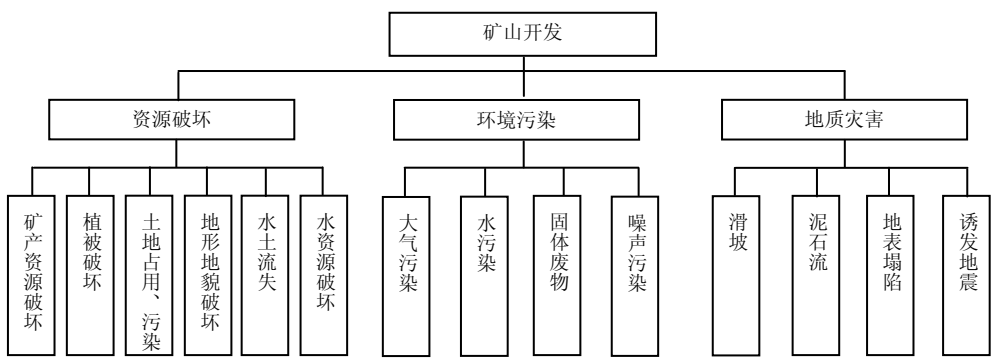


图3 矿山采矿选矿对环境的影响

采选矿过程产生环境问题的主要原因之一是矿产资源在开采中的损失和浪费。充分利用矿产资源，减少开采损失的办法是：对整体矿块而言选取回采率高、贫化率低的采矿方法；对复杂难采矿体，采用综合方法尽可能地把矿石开采出来，从根本上减少对环境的污染。

矿山开发导致环境污染的另一主要原因是矿产资源回收率低。在选矿工艺中，可选取适宜的破、磨、选别的优化组合工序，提高精矿品位，提高金属回收率，充分利用矿产资源，从源头上控制污染。

3 采选矿工艺污染防治技术

3.1 采矿工艺减少矿产资源损失技术

3.1.1 胶结充填开采技术

3.1.1.1 技术原理

胶结充填开采技术是将尾矿和水泥等固体物料与少量水搅拌制备成充填料浆，充填至采空区的充填开采技术。该技术典型工艺流程见图 4。

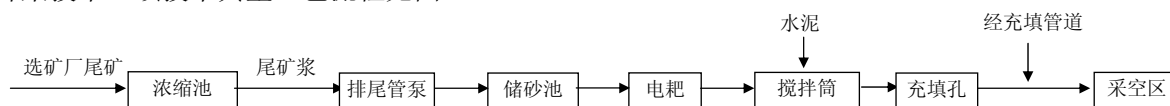


图 4 胶结充填工艺流程图

3.1.1.2 技术适用性及特点

该技术回采率高、贫化率低，可防止岩层移动和地表塌陷，同时可处置矿山固体废物。

该技术生产能力较低，约为崩落法的二分之一；使用该技术时，如充填体接顶不实密，会影响顶板稳定性。

该技术适用于品位大于 40% 的富矿的新建和已建地下矿山。

3.1.2 无底柱分段崩落法开采技术

3.1.2.1 技术原理

无底柱分段崩落法开采技术是指随着回采工作面的推进，崩落顶板，在覆盖岩块下出矿，不留底柱。通常无底柱分段崩落法开采矿石贫化率较高。该技术包括实施集中化、大进路间距、高分段等开采工艺。

3.1.2.2 技术适用性及特点

大间距集中化无底柱分段崩落法开采技术具有实施方便、采准工程量小、采矿强度高、损失贫化指标好等特点，可使贫化率降到约 10%，有效地减少矿产资源损失。

无底柱分段崩落法开采技术适用于厚大矿体的新建和已建地下矿山。

3.1.3 无底柱分段崩落低贫化放矿技术

3.1.3.1 技术原理

无底柱分段崩落低贫化放矿技术打破截止品位放矿时以单个步距为矿石回收指标的考核单元，在上部分层放矿时，在采场内残留部分矿作为“隔离层”，每个步距都按此方式放矿，使上部分层矿岩混合程度减少。该技术从整体上减少矿岩混合量。

3.1.3.2 技术适用性及特点

该技术可使贫化率降至约 10%，从源头削减污染。该技术可减少采出矿石中岩石混入量，降低矿

山提升、运输、选矿等日常运行费用，提高选矿回收率；但造成积压部分矿量。

该技术适合于厚大矿体的新建和已建地下矿山。

3.1.4 阶段自然崩落法开采技术

3.1.4.1 技术原理

阶段自然崩落法开采技术是指在拉底空间上依靠矿体自身的软弱结构面，在自重应力、次生构造应力作用下使其进一步失稳，通过底部放矿使上部矿岩逐渐崩落，直至上部分层或崩透地表的过程。

3.1.4.2 技术适用性及特点

该技术可使矿石贫化率小于 10%。

该技术适合于厚大矿体和存在一定程度可崩性矿体的新建和已建地下矿山。对于崩落区的残留矿体和本水平矿柱，也可采用自然崩落法平巷回采。

3.1.5 空场法开采技术

3.1.5.1 技术原理

空场法开采技术是指将矿块划分为矿房和矿柱，在回采过程中既不崩落围岩，也不充填采空区，而是利用空场的侧帮岩石和所留的矿柱来支撑采空区顶板围岩。

3.1.5.2 技术适用性及特点

该技术可提高选矿回收率，但由于需要留矿柱而损失大量的矿产资源。

该技术适用于矿石和围岩稳固的水平或倾斜的地下矿体。对于复杂难采矿体如松软破碎矿体、残留矿体等，其综合回采可采用空场法中的房柱法、全面采矿法等技术。对于矿岩稳固条件较好的边角矿，可采用空场法中的全面采矿法、浅孔爆破落矿、人工装矿等技术。

3.1.6 露天转地下联合开采技术

3.1.6.1 技术原理

露天转地下联合开采技术是指矿床埋藏较深而覆盖层较薄时，矿床上部通常采用露天开采，下部则转为地下开采。地下开采方法根据矿体赋存的特点、露天边坡地压情况和露天坑底是否留设境界矿柱等因素确定。

3.1.6.2 技术适用性及特点

该技术适用于新建和已建露天矿山。

3.1.7 挂帮矿回采技术

3.1.7.1 技术原理

挂帮矿回采技术是指在露天矿开采后期，当底部矿体尖灭无延深条件时，采用深部边坡角加陡方法或露天转地下开采的回采技术。采用深部边坡加陡方法回收挂帮矿时，应适当调整边坡治理方案，当影响边坡稳定时，可采取“以坡养坡”办法。若转地下开采，可选用空场法等。

3.1.7.2 技术适用性及特点

该技术可提高回采率、充分利用矿产资源。

该技术适用于露天闭坑矿山与露天转地下开采矿山挂帮矿开采。

3.2 选矿工艺提高矿产资源综合利用率技术

3.2.1 阶段磨矿、弱磁选-反浮选技术

3.2.1.1 技术原理

采用阳离子反浮选或阴离子反浮选技术，经一次粗选、一次精选后获得最终精矿。反浮选泡沫经浓缩磁选后再磨，再磨产品经脱水槽和多次扫磁选后抛尾，磁选精矿返回反浮选作业再选。

3.2.1.2 技术适用性及特点

阶段磨矿、弱磁选-反浮选技术可提高金属回收率，相对减少开采量，从源头削减污染。使用该技术可使铁精矿品位接近 69%，SiO₂ 降至 4% 以下，浮选尾矿含铁 10%~12%。该技术适用于要求高质量铁精矿或含杂质多的磁铁矿。

3.2.2 全磁选选别技术

3.2.2.1 技术原理

全磁选选别技术是指在现有阶段磨矿-弱磁选-细筛再磨再选工艺的基础上，再以高效细筛和高效磁选设备进行精选。高效磁选设备主要包括高频振网筛、磁选机、磁选柱、盘式过滤机等。

3.2.2.2 技术适用性及特点

该技术可提高金属回收率，从源头削减污染。使用该技术可使铁精矿品位达到 67%~69.5%，SiO₂ 含量小于 4%。该技术适用于已建和新建的磁铁矿矿山。

3.2.3 超细碎-湿式磁选抛尾技术

3.2.3.1 技术原理

用高压辊磨机将矿石磨细碎至 5mm 或 3mm 以下，然后用永磁中场强磁选机进行湿式磁选抛尾。

3.2.3.2 技术适用性及特点

超细碎-湿式磁选抛尾技术可提高金属回收率，从源头削减污染。采用该技术可抛出约 40% 的粗尾矿，使入磨物料铁品位提高到约 40%，获得的铁精矿品位 65% 以上，SiO₂ 降至 4% 以下，尾矿品位 10% 以下。但该技术对自动化控制程度要求高。该技术普遍适用于已建和新建磁铁矿矿山，尤其适用于极贫矿。

3.2.4 贫磁铁矿综合选别技术

3.2.4.1 技术原理

贫磁铁矿综合选别技术是指采用高效节能的“多段干式预选-多碎少磨-阶段磁选抛尾-细筛-磁团聚提质-尾矿中磁扫选”整套贫磁铁矿综合利用技术，在破碎系统运用多段磁滑轮预选抛废，提高入磨矿石品位和系统处理能力；利用先进工艺技术和设备，提高破碎产品质量，多破少磨，节能降耗；利用阶段磁选抛尾，充分解离有用矿物与脉石矿物，增产提质；采用“细筛-磁团聚”提质降杂技术，有效分离连生体，提高铁精矿品位；采用尾矿中磁扫选技术，提高金属回收率，减少铁流失；运用高效节能的陶瓷过滤和尾矿输送技术，实现清洁生产。

3.2.4.1 技术适用性及特点

该技术可提高金属回收率，从源头削减污染。
采用该技术可使铁精矿品位达 66.8%，铁回收率 69%。
该技术适用于贫磁铁矿。

3.2.5 连续磨矿、磁选-阴离子反浮选技术

3.2.5.1 技术原理

连续磨矿、磁选-阴离子反浮选技术是指矿石经过连续磨矿，使矿物充分解离，从而进行磁选、浮选等的选别过程。

3.2.5.2 技术适用性及特点

该技术获得的磨矿粒度稳定，选别指标高，可充分利用资源，从源头削减污染。

该技术既可提高进入阴离子反浮选作业物料的铁品位，又可减少矿量，可为浮选作业创造良好的选别条件；浮选作业铁回收率达 90%以上。弱磁选及强磁选精矿合并后给入浮选作业，可避免矿石中 FeO 变化对选别指标的影响；该技术工艺流程紧凑，设备用量较少，便于生产操作管理。

采用该技术可实现铁精矿品位达 67%~68%，尾矿品位可降至 8%~9%。但原矿全部要经过两段连续磨矿，能耗和钢球消耗高，运行成本高。

该技术适用于贫赤铁矿。

3.2.6 阶段磨矿、粗细分选、重选-磁选-阴离子反浮选技术

3.2.6.1 技术原理

阶段磨矿、粗细分选、重选-磁选-阴离子反浮选技术是指对粗粒部分选别采用阶段磨矿、粗细分选、重选-磁选-酸性正浮选流程；对细粒部分选别采用连续磨矿、磁选-阴离子反浮选流程。

3.2.6.2 技术适用性及特点

该技术可充分利用资源，相对减少开采量，从源头削减污染。

采用该技术可实现铁精矿品位达 64%~67%，尾矿品位 11%以下，SiO₂4%以下。

该技术适用于脉石非石英的赤铁矿或鞍山地区贫赤铁矿。

3.2.7 含稀土元素等共生铁矿弱磁-强磁-浮选技术

3.2.7.1 技术原理

含稀土元素等共生铁矿弱磁-强磁-浮选技术是指对氧化矿矿石采用弱磁-强磁-反浮选流程，对磁铁矿矿石采用弱磁-反浮选流程。矿石首先通过磨矿使磨矿产品中粒径小于 0.074mm 的占 90%~92%，然后经弱磁选选出磁铁矿，其尾矿在强磁选机磁感应强度 1.4T 条件下进行粗选，将赤铁矿及大部分稀土矿物选入强磁粗精矿中，粗精矿经一次强磁精选(0.6~0.7T)，强磁精选铁精矿和弱磁铁精矿合并送去反浮选，脱除萤石、稀土等脉石矿物，最后得到合格铁精矿。

3.2.7.2 技术适用性及特点

该技术可提高资源综合回收率。

采用该技术可使铁精矿品位达到 60%~61%，铁回收率达到 71%~73%；稀土中矿品位 REO34.5%(回收 6.01%)，稀土精矿品位 REO50%~60%(回收率 12.55%)，稀土总回收率 40.6%。

该技术适用于白云鄂博铁矿石及含稀土元素的铁矿石。

3.2.8 钒钛磁铁矿按粒度分选技术

3.2.8.1 技术原理

钒钛磁铁矿按粒度分选技术是指将选矿尾矿按 0.045mm 粒度分级，大于 0.045mm 粒度的部分采用重选-强磁-脱硫浮选-电选流程，小于 0.045mm 粒度的部分采用强磁-脱硫浮选-钛铁矿浮选流程。

3.2.8.2 技术适用性及特点

该技术可提高资源综合回收率，从源头削减污染，具有较高的经济效益。

使用该技术可使铁精矿品位达到 47.48%，选钛总回收率达 25.01%。

该技术适用于钒钛磁铁矿和钛磁铁矿。

3.2.9 岩石干选技术

3.2.9.1 技术原理

原矿石均匀布料于给矿皮带上，当矿石运转到磁力滚筒时，有用矿物在磁力的作用下吸附在皮带表面，非磁性或磁性很弱的颗粒在惯性作用下脱离磁滚筒表面被抛出。

3.2.9.2 技术适用性及特点

岩石干选技术可提高产品质量，从源头削减污染。

采用该技术时岩石甩出量占出矿量的 6%~8%，混入岩石 90%被甩出。

该技术适用于采用汽车-胶带运输系统的露天矿的磁铁矿石。

3.3 大气污染防治技术

3.3.1 凿岩湿式防尘技术

3.3.1.1 技术原理

通过喷雾洒水捕获粉尘；或对钎杆供水，湿润、冲洗，并排出粉尘，从而从源头抑制产尘。如在水中添加湿润剂，除尘效果更佳。

3.3.1.2 技术适用性及特点

该技术通常用于地下矿山凿岩、爆破、岩矿装运等作业防尘。

3.3.2 穿爆干/湿式防尘技术

3.3.2.1 技术原理

干式防尘技术是指露天矿钻孔牙轮钻和潜孔钻机采用三级干式捕尘系统，压气排出的孔内粉尘经集尘罩收集，粗颗粒沉降后的含尘气流进入旋风除尘器作初级净化，布袋除尘器作末级净化。

湿式防尘技术是指通过喷雾风水混合器将水分散成极细水雾，经钎杆进入孔底，补给粉尘形成泥浆。井口风机的风流将排出的泥浆吹向孔口一侧，并沉积该处。泥浆干燥后呈胶结状，避免粉尘二次飞扬。

3.3.2.2 技术适用性及特点

该技术可减少粉尘和有毒气体等大气污染物的产生，降低作业场所粉尘浓度。

该技术通常用于露天矿穿爆作业防尘。

3.3.3 运输路面防尘技术

运输路面防尘措施主要是沿路铺设洒水器向路面洒水，同时路面喷洒钙、镁等吸湿盐溶液或用覆盖剂处理路面。

3.3.4 覆盖层防尘技术

3.3.4.1 技术原理

通过喷洒系统将焦油、防腐油等覆盖剂喷洒在废石堆表面，利用覆盖剂和废石间的黏结力，在废石表面形成薄层硬壳，从而减少粉尘飞扬。

3.3.4.2 技术适用性及特点

该技术可减少扬尘，降低雨水侵蚀，减少物料流失。

该技术适用于废石场、排土场、尾矿库以及矿石转载点料堆等场所的扬尘控制。

3.3.5 就地抑尘技术

3.3.5.1 技术原理

应用压缩空气冲击共振腔产生超声波，超声波将水雾化成浓密的、直径1~50 μm 的微细雾滴，雾滴在局部密闭的产尘点内捕获、凝聚细粉尘，使粉尘迅速沉降，实现就地抑尘。

3.3.5.2 技术适用性及特点

就地抑尘系统占据空间少，节省场地；使用该技术无需清灰，避免二次污染。

该技术适用于细尘扬尘大产尘点的防尘。

3.3.6 固体物料浆体长距离管道输送技术

3.3.6.1 技术原理

固体物料浆体长距离管道输送技术是以有压气体或液体为载体，在密闭管道中输送固体物料，从而防止粉尘外排。

3.3.6.2 技术适用性及特点

该技术对地形适应性强，占用土地少，基建及运营成本低，环境影响小。

该技术适用于铁精矿的输送作业。

3.3.7 袋式除尘技术

3.3.7.1 技术原理

利用纤维织物的过滤作用对含尘气体进行过滤，当含尘气体进入袋式除尘器后，颗粒大、比重大的粉尘，由于重力的作用沉降下来，落入灰斗，含有较细小粉尘的气体在通过滤料时，粉尘被阻留，气体得到净化。

3.3.7.2 技术适用性及特点

袋式除尘技术除尘效率高，但运行维护工作量较大，滤袋破损需及时更换。为避免潮湿粉尘造成糊袋现象，应采用由防水滤料制成的滤袋。

对布袋收集的粉尘进行处理时可能产生二次污染。

该技术适用于选矿厂破碎筛分系统的粉尘治理。

3.3.8 高效微孔膜除尘技术

3.3.8.1 技术原理

含尘气体进入除尘器后，大颗粒靠自重沉降，小颗粒随气流通过微孔膜滤料被阻留，清洁空气通过微孔膜后排出。粉尘在膜上积到一定厚度时在重力作用下脱落，粘在膜上的粉尘由 PLC 定时控制的高频振打电机振打脱落。

3.3.8.2 技术适用性及特点

高效微孔膜除尘技术具有阻力低、透气性好、寿命长、耐潮、除尘效率高等特点。
该技术适用于矿山破碎筛分系统的粉尘治理，尤其适用于潮湿性粉尘。

3.3.9 高效湿式除尘技术

3.3.9.1 技术原理

颗粒与水雾强力碰撞、凝聚成大颗粒后被除掉，或通过惯性和离心力作用被捕获。

3.3.9.2 技术适用性及特点

高效湿式除尘技术的除尘效率可达 95%，排放浓度达 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。
该技术运行成本低，适用于新建和已建矿山破碎筛分系统除尘。

3.3.10 旋风除尘技术

3.3.10.1 技术原理

含尘气流沿某一方向作连续旋转运动，粉尘颗粒在离心力作用下被去除。多管旋风除尘器是指通过一组平行的旋风除尘器，应用相同原理而得到较好的效果。

3.3.10.2 技术适用性及特点

多管旋风除尘器结构简单、工作可靠、维护容易、体积小、成本低、管理简便。

旋风除尘技术多用于收集粗颗粒，对于粉尘细微的矿山选矿厂破碎点的粉尘，多管旋风除尘器仅可达 60%~80% 的除尘效率。该技术通常作为矿山除尘系统的前级除尘，以提高除尘系统的总除尘效率。

3.3.11 静电除尘技术

3.3.11.1 技术原理

含尘空气进入由放电极和收集极组成的静电场后，空气被电离，荷电尘粒在电场力作用下向收集极运动并集积其上，释放电荷；通过振打极板使集尘落入灰斗，实现除尘。

3.3.11.2 技术适用性及特点

静电除尘技术的除尘效率通常为 90%~95%，在运行良好的情况下可达 99%。

该技术适用于比电阻在 $10^4\sim 10^9\Omega$ 范围内的矿尘治理。

使用该技术时，设备清灰过程对环境有一定影响。灰斗收集的干粉尘可直接进入选矿流程。

3.3.12 传统湿式除尘技术

3.3.12.1 技术原理

传统湿式除尘技术是指尘粒与液滴或水膜的惯性碰撞、截留的过程。粒径 $1\sim 5\mu\text{m}$ 以上颗粒直接被

捕获，微细颗粒则通过无规则运动与液滴接触加湿彼此凝聚增重而沉降。湿式除尘器主要包括水膜除尘器、泡沫除尘器和冲激除尘器，以冲击除尘器为主。

3.3.12.2 技术适用性及特点

湿式除尘器对粒径小于 $5\mu\text{m}$ 的粉尘捕集效率较低。在北方冬季结冻地区，传统湿式除尘技术的使用受到限制。

3.4 废水控制与治理技术

3.4.1 矿坑涌水控制技术

通常采用以下技术措施预防矿山废水的产生：

- 留足水岩柱；
- 井巷掘进接近含水层、导水断层时，打超前钻孔探水；
- 在井下有突水危险的地区设水闸门或水墙；
- 矿山边界设排水沟或引流渠，截断地表水进入矿区、露天采场、排土场，防止渗漏而进入井下；
- 地下开采时，选择上部顶板不产生或不易产生裂隙的采矿技术，防止地表水进入矿井；
- 露天开采时，下边坡应留矿壁，防止地面水流入采场；
- 对废弃凹地、与井下相通的裂隙、废弃钻井、溶洞等进行排水、填堵等复地措施；
- 对废石堆进行密封或防范处理。

预防和控制矿坑涌水是从源头预防废水产生的重要措施，对已建和新建的矿山均适用。

3.4.2 硫铁矿酸性水控制技术

硫铁矿酸性水是由于硫铁矿 (Fe^{2+}) 的氧化、水解而产生具有腐蚀性的 H_2SO_4 形成。硫铁矿酸性水来源有地下采场、覆盖岩层剥离后露天采场、废石场等，控制措施有：

- 废石场实行分台阶排土，含硫较多的废石或表外矿石集中排放和管理，也可分层掺和石灰粉，废石场储用后及时复垦、植被，以减少硫化矿氧化；
- 在采场、排土场、尾矿库周围修截流水沟渠，对酸性水源上游进行截水，既减少与硫铁矿接触，又可清污分流；采矿技术采用陡帮开采，减少矿体暴露和推迟矿体暴露时间；
- 对产生的酸性废水设截水沟、蓄水池，部分废水经中和泵送回采场，用于采场降尘用水。

3.4.3 酸性废水处理

酸性废水成分复杂多样，在众多方法中，中和法技术成熟，应用广泛。

中和法处理酸性废水是指以碱性物质作为中和剂，与酸反应生成盐，从而提高废水的 pH 值，同时去除重金属等污染物。对于矿山酸性废水，可直接投加碱性中和剂，在反应池中进行混合，发生中和和氧化反应，将 Fe^{2+} 氧化生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，经沉淀去除。常用的中和剂有石灰石、氧化钙、电石渣和氢氧化钠等。处理工艺有中和反应池、中和滤池、中和滚筒、变速膨胀滤池等。

石灰中和法处理技术具有反应速度快，占地面积小，出水水质好，排泥量小，污泥含水率低等优点。但中和反应后生产泥渣，存在二次污染；适用于已建和新建矿山的酸性废水治理。

3.4.4 选矿废水循环利用技术

该技术是采用循环供水系统，使废水在生产过程中多次重复利用，将尾矿库溢流水闭路循环用作选矿生产用水。选矿厂设置废水沉淀池，洗矿水、碎矿水及尾矿水进入沉淀池，经化学沉淀净化处理后，出水全部循环利用，其底流排入尾矿库。

此技术可使选矿废水全部循环利用，从而节省水资源，减少水环境污染。同时选矿废水循环利用可提高选矿指标；该技术适用于已建和新建矿山选矿厂。

3.4.5 含汞废水处理

含汞废水处理方法主要有铁屑过滤法和硫化沉淀法。

铁屑过滤法是指含汞废水经砂滤后，再经铁屑还原处理，在 pH 为 3.0~3.5 时汞离子被还原成金属汞而被过滤去除。

硫化沉淀法是指将废水中悬浮物除去后，加入硫化钠，生成硫化汞沉淀，并加入铁盐或铝盐使之沉淀，焚烧沉淀物可回收汞。经硫化法处理的出水再经活性炭处理，废水中残留的汞被活性炭吸附去除。

3.4.6 含镉废水处理

含镉废水处理技术主要是化学沉淀法，是指在碱性条件下形成氢氧化镉、碳酸镉或硫化镉沉淀。处理时向废水中加碱或硫化钠，在 pH 值达 10.5~11 时，经沉淀去除镉。

3.4.7 含铅废水处理

含铅废水处理可采用化学沉淀-过滤法，是指向废水中加碱或硫化钠维持 pH 值在 9~10 之间使铅沉淀分离，再经过滤或活性炭吸附进一步除铅。处理过程中严格控制 pH 值，若 pH 值在 11 以上时，则形成亚铅酸离子，沉淀物再度溶解。

3.4.8 含铬废水处理

含铬废水处理通常采用化学还原法、钡盐法、电解还原法。

化学还原法是指利用硫酸亚铁、亚硫酸钠、硫酸氢钠等作为还原剂，使六价铬还原为三价铬，然后加碱调节 pH 值，使三价铬形成氢氧化铬沉淀得以去除。

钡盐法是指向废水中投加碳酸钡、氯化钡，形成铬酸钡沉淀。钡盐法除铬效果好，出水可排放或回用。

电解还原法是指在废水中加入一定量食盐，以铁板为阳极和阴极，通直流电进行电解，析出 Fe^{2+} 把六价铬还原成三价铬，形成三价铬和三价铁的沉淀，电解后的水入沉淀池沉淀分离。

3.5 固体废物处置及综合利用技术

3.5.1 铁尾矿再选技术

3.5.1.1 技术原理

铁尾矿按选矿不同阶段可分为浓缩机前、浓缩机至尾矿库前和尾矿库中的尾矿。尾矿再选技术是指对尾矿进行二次选矿的技术，主要有单一磁选；尾矿初选后再选、再磨，尾矿内部回收流程；单一重选及干/湿尾矿再磨的磁选-重选联合流程。

3.5.1.2 技术适用性及特点

该技术内部回收流程可生产品位大于 66% 的铁精矿，单一重选可获得含铁 57%~62% 的铁精矿。该技术可提高金属回收率和资源利用率，减少固体废物排放。适用于已建和新建铁矿山的尾矿。

3.5.2 废石、尾矿生产建筑材料技术

3.5.2.1 技术原理

废石、尾矿生产建筑材料技术是以废石、尾矿作为原料生产建材产品，如空心砖，路面砖、饰面砖、

免蒸砌块，代替黄砂做混凝土骨料等。

3.5.2.1 技术适用性及特点

该技术能够提高尾矿资源利用率，减少尾矿、废石排放和对水体、大气的污染，保护生态环境。该技术适用于已建及新建矿山。

3.5.3 尾矿制造微晶玻璃技术

3.5.3.1 技术原理

针对含钛磁铁矿和高铁尾矿含铁高的特点，以尾矿及石灰石、河砂、石英为原料，生产微晶玻璃。尾矿制造微晶玻璃技术通常采用水淬法，其主要工艺流程如图 5。

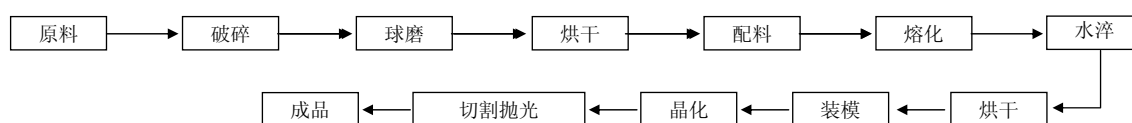


图 5 水淬法微晶玻璃生产主要工艺流程

3.5.3.2 技术适用性及特点

微晶玻璃生产的关键技术是热处理工艺，是尾矿微晶玻璃成核和晶体成长的关键，采用阶梯制度微晶化比等温制度微晶化更有利于提高晶化率和产品性能。

该技术能够充分利用矿产资源，可使尾矿得以资源化利用。

3.5.4 固体废物排放采空区技术

3.5.4.1 技术原理

将采选矿固体废物排放于矿山地下采空区、露天矿坑或地表塌陷区等废弃采空空间。

3.5.4.2 技术适用性及特点

该技术可有效利用采空空间，减少了废石、尾矿的堆放空间，消除或减少废石、尾矿对水和大气环境的污染，改善生态环境。

该技术适用于有地下采空区、露天矿坑或地表塌陷区等废弃空间稳定的矿山。

3.6 生态恢复技术

根据矿山开发的不同时段，实施不同的生态恢复技术。

施工期的生态恢复技术包括开拓运输道路、工业广场、露天矿剥离工序等的生态恢复，主要内容为：选址尽量少占土地，设置表土场，将施工的土石方及剥离的表土集中堆放，以便日后复垦时作为覆土利用。运输道路两侧及工业广场四周设置排水沟，防治水土流失。

运营期对露天开采应边采边复垦，宜使用采掘机械复垦。对缓倾斜薄矿体，剥离表土可边采边回填采空区，使剥离物不占用土地。

闭坑期，对矿山各类废弃地进行全面复垦，其中包括工业广场、露天采空区、地表塌陷区、排土场、尾矿库等。复垦方式应结合当地具体条件，将破坏的土地复垦成为自然生态系统、农林生态系统和城市生态系统。

3.6.1 复垦植被优化技术

排土场复垦时利用开采初期预先剥离、储存的原有表土层作为复垦的覆土回填；或采用尾矿砂回填，铺垫表土复垦。

覆土应保证植物的种植深度，覆土厚度通常为 0.4~0.5m。对适生品种应进行筛选和互生植物配置。若种植粮源性植物，必须通过使用物理、化学、生物技术将土壤中有毒成分降至安全水平。在植被的选择上，优先选择本地性植被，结构上体现出草、灌、乔搭配的复合型模式；覆土与修坡工作要保持与开采、排弃顺序相协调，尽可能利用矿山的采、装、运设备。

复垦植被优化技术可保护大气和水资源，防止污染，充分利用废弃地、恢复生态环境，形成生态型矿山。该技术适用于已建和新建的矿山。

3.6.2 尾矿库无土植被技术

尾矿库无土植被技术是在不覆盖土层的条件下采用生物稳定技术，直接种植有强大护坡功能的植物，建立植被，形成生物坝，使其达到稳定并同时减少对环境的污染。

根据尾矿库不同基质条件，试验实施培肥熟化的植被基质，确定肥料的用量和品种。筛选适生品种，筛选出抗贫瘠、耐热性强、发芽率高、繁衍快、分蘖快、根系发达的品种。配置互生植物，确定种植方式、密度、方法、施肥等。

尾矿库无土植被技术可节约土源和覆土费用；与有土植被相比，节省投资 50%，适用于已封闭和正在使用的尾矿库。

3.7 新技术

3.7.1 充填采矿新技术

原充填工艺已不能满足回采工艺和进一步降低采矿成本或环境保护的需要，因而发展了高浓度充填、膏体充填、废石胶结充填和全尾砂胶结充填等新技术。

高浓度充填技术是指通过特殊设备和造浆技术，按试验的配比加入水泥和其它辅料，将极细粒级的全尾砂直接制备成高浓度砂浆，用以充填采空区。该技术可有效控制回采区域地压，广泛应用于充填采矿矿山。

膏体充填是指把尾矿等固体废物在地面加工成膏状浆体，利用管道泵送到井下工作面，适时充填采空区的采矿方法。

废石胶结充填采矿技术是指以废石作为充填材料，以水泥浆或砂浆作为胶结介质的一种在采场不脱水的充填技术。

全尾砂胶结充填采矿技术是指尾砂不分级，全部用作矿山充填料，适用于尾砂产率低和需要实现零排放目标的矿山。

3.7.2 选矿新技术

“多破少磨”工艺流程是选矿技术的发展趋势，是指从采矿过程中的爆破开始到选矿的入磨，降低入磨矿石粒度，减少选矿磨矿能耗，如利用挤压爆破技术、高压辊磨机等。

选矿新技术和设备包括浮选柱、旋流器分级机、盘式真空过滤机、带式真空过滤机、陶瓷过滤机、高效浓密机、深锥浓密机、高浓度输送技术等。

3.7.3 矿山酸性废水处理新技术

3.7.3.1 电石渣代替石灰处理酸性矿山废水技术

利用新鲜电石渣(含水率 30%左右)乳化制浆来处理矿山酸性废水。采用电石渣可避免采用人工石灰乳制备时造成的石灰粉尘飞扬及易结钙堵塞管道等恶化作业环境、容易发生人员灼伤事故等问题。

电石渣处理酸性矿山废水只需少量装卸、运输，节省人力、物力及费用，使废水处理成本显著降低。

3.7.3.2 人工湿地处理技术

利用湿地种植水葱、香蒲、芦苇、菖蒲、凤眼莲等抗酸性重金属废水能力较强的植物处理铁矿排放的酸性重金属废水。

人工湿地法具有建设费用低、易管理、工艺流程简捷的特点，处理后的水可回用或农用，可改善和美化环境。

3.7.3.3 利用尾矿分级溢流液处理酸性矿山废水技术

将尾矿浆经旋流器分级产生的尾矿分级溢流液作为中和剂处理酸性矿山废水。该法产生的中和渣存放于尾矿库内，不用另建矿渣库，既节省了建设投资，又不产生二次污染，处理后出水可满足选矿生产用水水质要求。

4 采选矿工艺污染防治最佳可行技术

4.1 采选矿工艺污染防治最佳可行技术概述

采选矿工艺可分为采矿生产工艺和选矿生产工艺两部分。每部分按整体性原则，从设计时段的源头污染预防、生产时段的污染防治，到闭坑时段的生态恢复，按生产工序的产污节点和技术经济适宜性，确定最佳可行技术组合，以保证生产工艺全过程的污染防治。

图 6 和图 7 分别为采矿工艺和选矿工艺的污染防治最佳可行技术组合。

4.2 采矿工艺减少矿产资源损失最佳可行技术

4.2.1 胶结充填开采技术

4.2.1.1 最佳可行工艺参数

利用胶结充填开采技术采矿时，尾矿充填浆料质量浓度以 68%~75%为宜。

4.2.1.2 环境效益

该技术可提高资源利用率，从源头削减污染；可防止岩层移动和地表塌陷，减少固体废物排放，从而减少二次污染以及对生态环境的影响。

采用该技术可获得回采率 80%~95%，矿石贫化率为 3%~10%；

4.2.1.3 技术经济适用性

该技术充填成本约 30 元/t，胶凝材料占充填成本的 40%~70%。

该技术适用于矿石品位大于 40%的富矿的新建和已建地下矿山。

4.2.2 大间距集中化无底柱分段崩落采矿法开采技术

4.2.2.1 最佳可行工艺参数

采用该技术时，结构参数通常为：分段高度 10~15m，进路间距 15~20m，崩矿步距 2.5~3.2m，一次崩矿量与设备台班效率比 1:(3~4)。通常采用 6m³ 铲运机与之相配套。

4.2.2.2 环境效益

该技术可提高资源利用率，但采用该技术时在顶板崩落后易造成地表塌陷，可能造成生态环境破坏。根据矿山具体条件选择进路间距，采用该技术可使贫化率降至约 10%，矿石回收率达 85%。

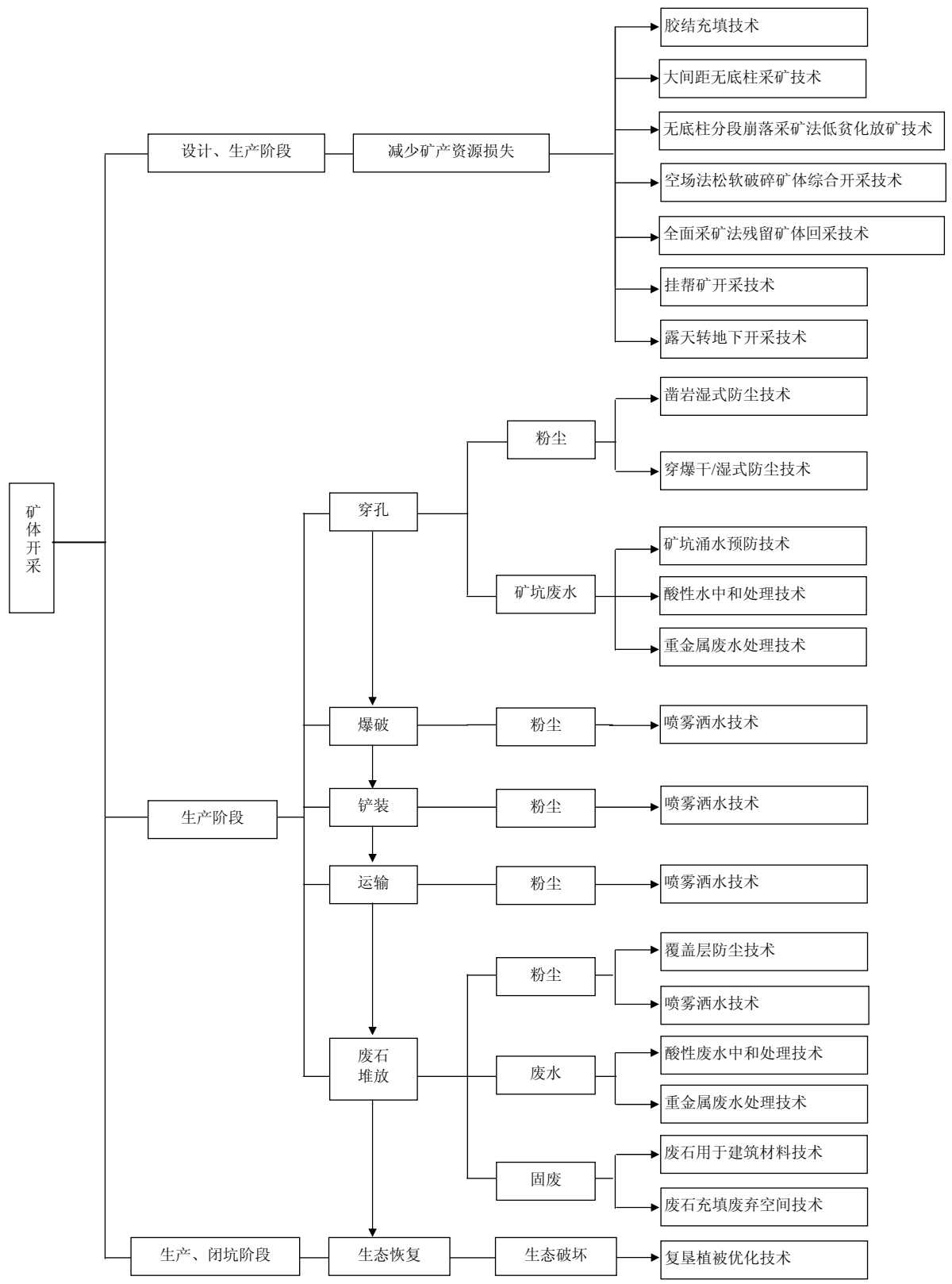


图 6 采矿工艺污染防治最佳可行技术组合图

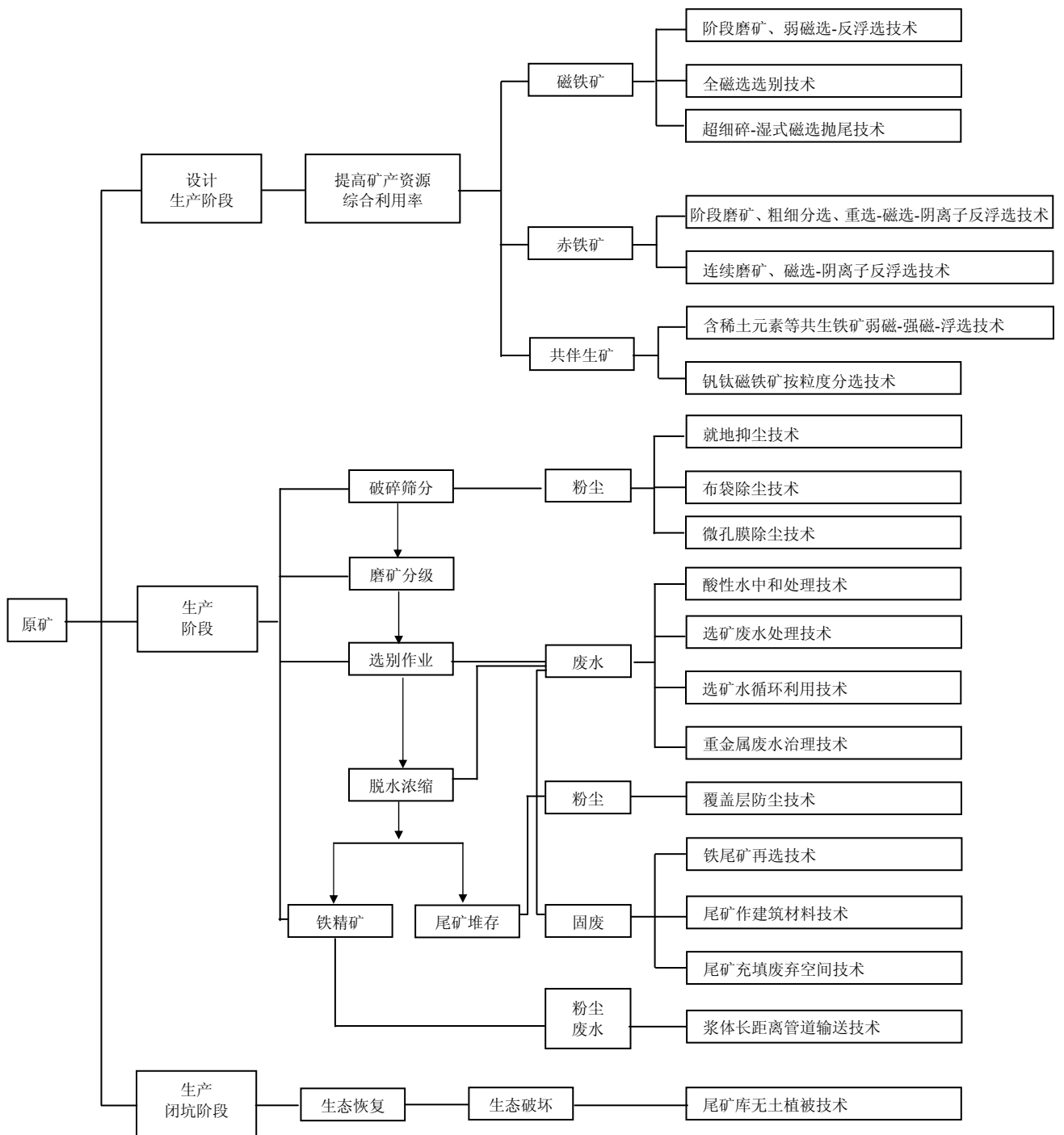


图 7 选矿工艺污染防治最佳可行技术组合图

4.2.2.3 技术经济适用性

采用该技术可节省采准工作量，减少采矿循环次数，提高采矿强度，降低成本约 20%~25%。

该技术适用于采用不同分段高度的无底柱崩落法开采技术的新建和已建厚大矿体地下矿山，在地表不允许塌陷的矿山不宜采用。

4.2.3 无底柱分段崩落低贫化放矿技术

4.2.3.1 最佳可行工艺参数

控制不同步距条件下，控制低贫化放矿的出矿量，提高采矿计量的准确性，严格控制爆破参数。

4.2.3.2 环境效益

该技术可提高产品质量，从源头削减污染。

采用该技术可使贫化率达至约 10%。

4.2.3.3 技术经济适用性

采用该技术采出矿石的岩石含量减少，可降低提升、运输、选矿等工序的费用。

该技术适用于厚大矿体的新建和已建矿山。

4.2.4 空场法松软破碎矿体综合开采技术

4.2.4.1 最佳可行工艺参数

在松软破碎矿体的开采中，根据地压活动规律，确定锚杆类型、布局、密度及柱网参数。通常情况，参数为：锚杆长度 2m，锚杆间距 750mm×750mm，网线尺寸 2.1m×1.2m，网目 100mm×100mm，喷射混凝土厚度 80~100mm，长螺杆长度(外加) 3m。

4.2.4.2 环境效益

该技术可提高资源利用率，从源头削减污染。

采用该技术可使回采率达 80%~90%，贫化率下降至 7%~8%。

4.2.4.3 技术经济适用性

该技术可提高采场生产能力和巷道利用率。采用该技术时，需加强支护，大大增加支护成本。

该技术适用于已建和新建的松软破碎岩体矿山。

4.2.5 全面采矿法残留矿体回采技术

4.2.5.1 最佳可行工艺参数

矿体厚度为 2~3m 时，一次采全厚；当矿体厚度大于 3m 时，分层回采。

4.2.5.2 环境效益

该技术可提高矿产资源利用率，从源头削减污染。

4.2.5.3 技术经济适用性

该技术可回收残矿，适用于薄和中厚（小于 5~7m）的矿石和围岩均稳固的缓倾斜（倾角小于 30°）的已建和新建矿体（含残留矿体）。

4.2.6 露天转地下联合开采技术

4.2.6.1 最佳可行工艺参数

在采用露天转地下开采技术时，按照露天开采和地下开采矿石生产成本相等的原则确定露天开采的极限深度。

露天矿境界内地下采空区顶板上方的岩层厚度受岩体自身强度等内在因素与爆破震动、雨水侵蚀等外在因素综合决定，根据岩石力学试验计算指标确定。

4.2.6.2 环境效益

该技术可增加采矿量，从源头减少污染。

4.2.6.3 技术经济适用性

采用该技术可缩小露天境界，减少剥离量，增加矿石回收量，节省建设投资。

该技术适用于新建和已建露天矿山。

4.2.7 挂帮矿回采技术

4.2.7.1 最佳可行工艺参数

采用挂帮矿回采技术时，为达到中深部边坡加陡效果，通常在已靠帮的上部边坡不做改动、在未靠帮的下部边坡加陡，形成上缓下陡的凸形边坡，最终边坡并段数为 2~3 个以上；提高并段后阶段坡面角到 70°；在边坡面留有挂帮矿的地段，边坡线向原设计境界线外挂；在无矿地段，边坡线尽量向内移动；对采场内压有大量矿石的原有运输线路，线路改道后将矿石采出。部分挂帮矿体可转地下开采。

4.2.7.2 环境效益

该技术可减少资源损失，从源头削减污染。

4.2.7.3 技术经济适用性

该技术可实现矿产资源回收，增加经济效益。

该技术适用于新建和已建的露天闭坑矿山。

4.2.8 最佳可行技术及适用性

钢铁行业采矿工艺减少矿产资源损失最佳可行技术见表 1。

表 1 钢铁采矿生产工艺减少矿产资源损失最佳可行技术及适用性

最佳可行技术		环境效益	适用条件
充填法	胶结充填开采技术	回采率 80%~95%，矿石贫化率 3%~10%；资源利用率高，相对减少开采量	品位大于 40%的富矿的新建和已建地下矿山、具有高经济效益的共生伴生矿石矿山敏感区
崩落法	大间距集中化无底柱分段崩落采矿技术	矿石回收率 85%，贫化率 10%，相对减少开采量	采用不同分段高度的无底柱崩落法开采技术的新建和已建厚大矿体地下矿山
	无底柱分段崩落采矿法低贫化放矿技术	贫化率 10%左右	厚大矿体的新建和已建矿山
空场法	空场法松软破碎矿体综合开采技术	回采率大于 80%，贫化率小于 8%；充分利用资源	松软破碎岩体的已建和新建矿山
	全面采矿法残留矿体回采技术	提高资源回收率，减少开采损失率，相对减少开采量	薄和中厚（小于 5~7m）的矿石和围岩均稳固的缓倾斜（倾角小于 30°）的已建和新建矿体（含残留矿体）
露天转地下开采及联合开采技术		提高矿产资源开发利用率，稳定矿山产量	已建和新建露天矿山
挂帮矿回采技术		提高回采率，充分利用资源	露天闭坑矿山

4.3 选矿工艺提高矿产资源综合利用率最佳可行技术

选矿工艺提高矿产资源综合利用率最佳可行技术见表 2。

表 2 选矿工艺提高矿产资源综合利用率最佳可行技术及适用性

最佳可行技术	环境效益	适用条件
阶段磨矿、弱磁选-反浮选技术	铁精矿品位 69%，SiO ₂ 降至 4% 以下；金属回收率高	要求高质量铁精矿以及含杂质多的已建和新建磁铁矿矿山
全磁选选别技术	铁精矿品位 67%~69%，SiO ₂ <4%，金属回收率高	已建和新建矿山的磁铁矿
超细碎-湿式磁选抛尾技术	抛出 40%粗尾矿，铁精矿品位 65%，SiO ₂ <4%，金属回收率高	已建和新建磁铁矿矿山，具有普遍性，尤其适用于极贫矿
连续磨矿、磁选-阴离子反浮选技术	铁精矿品位 67%~68%，尾矿品位 8%~9%，金属回收率高	已建和新建的贫赤铁矿
阶段磨矿、粗细分选、重选-磁选-阴离子反浮选技术	铁精矿品位 65%~67%，SiO ₂ <4%，金属回收率高	已建、新建脉石非石英的赤铁矿，鞍山地区贫赤铁矿
含稀土元素等共生铁矿弱磁-强磁-浮选技术	铁精矿品位 60%~61%，稀土精矿品位 ERO50%~60%，综合回收率高，资源利用率高	已建和新建的含稀土铁矿，白云鄂博铁矿石
钒钛磁铁矿按粒度分选技术	铁精矿品位达到 47.48%，选钛总回收率达 25.01%，资源综合回收率高	已建和新建的钒钛磁铁矿、钛磁铁矿
岩石干选技术	甩出混合岩石 90%，提高产品质量，从源头削减污染	已建和新建的采用露天汽车-胶带运输的磁铁矿石

4.4 大气污染防治最佳可行技术

4.4.1 凿岩湿式防尘技术

4.4.1.1 最佳可行工艺参数

湿式凿岩工艺中水压不低于 304kPa，风压大于 5.07MPa；喷雾洒水工艺中喷雾器水雾粒度宜为 100~200μm。

4.4.1.2 环境效益

该技术从源头减少粉尘产生量并防止粉尘飞扬。

4.4.1.3 技术经济适用性

该技术通常用于地下矿山凿岩、爆破、岩矿装运等作业。

4.4.2 穿爆干/湿式防尘技术

4.4.2.1 环境效益

钻机三级干式捕尘系统的除尘效率达 99.9%，排放粉尘浓度可降为 6mg/m³；其他措施可减少粉尘和有毒气体产生，减少大气污染。

4.4.2.2 技术经济适用性

该技术适用于新建和已建的露天矿山穿爆作业。

4.4.3 覆盖层防尘技术

4.4.3.1 最佳可行工艺参数

料堆表面形成的硬壳厚度为 10~20mm，壳体应致密连续、无裂隙。

4.4.3.2 环境效益

该技术可减少扬尘，粉尘浓度达 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，可减少料堆雨水侵蚀和物料流失，防止水土污染。

4.4.3.3 技术经济适用性

该技术适用于新建和已建矿山排土场、尾矿库以及矿石堆存点等料堆的防尘。

4.4.4 就地抑尘技术

4.4.4.1 最佳可行工艺参数

超声雾化器工作时压缩空气压力为 0.3~0.4MPa，水压为 0.1~0.15MPa，耗气量为 $0.08\sim 0.1\text{m}^3/\text{min}$ ，耗水量为 0.3~0.5L/min。

4.4.4.2 环境效益

该技术显著降低产尘点扬尘浓度，无需清灰，避免二次污染。

4.4.4.3 技术经济适用性

就地抑尘技术比其他除尘系统节省 30%~50%投资，节能 50%，且占据空间小，节省场地。

该技术适用于矿石破碎、筛分、皮带运输转载点等细尘扬尘大的产尘点，对呼吸性粉尘捕获效果更佳。

4.4.5 固体物料浆体长距离管道输送技术

4.4.5.1 最佳可行工艺参数

根据运行要求确定管道输送参数。确定参数时应考虑停泵再启对管道压力、堵管的影响，进行浆体水击及过度过程分析计算，考虑气囊及加速流的产生及预防，进行线路选择及优化等。

对长距离细颗粒粘度高的精矿管道，通常选用隔膜泵。

4.4.5.2 环境效益

由于输送管线埋入地下，不占用或占用土地少；建成后土地可复垦利用；管线沿程污染小。

4.4.5.3 技术经济适用性

该技术的基建投资和运营成本比铁路运输低 30%~50%。

该技术适用于新建和已建矿山输送铁精矿。

4.4.6 袋式除尘技术

4.4.6.1 最佳可行工艺参数

气布比为 0.8~1.2m/min；系统阻力小于 1500Pa；系统漏风系数小于 3%。

4.4.6.2 环境效益

对于粒径 $0.5\mu\text{m}$ 的粉尘，除尘效率为 98%~99%，总除尘效率可达 99.99%，排放浓度可达 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 或更低。

4.4.6.3 技术经济适用性

布袋除尘器一次性投资约为 10 元/(m³·h)，换料、电耗等运行费约 60 元/万 t 矿石。
该技术适用于已建和新建选矿厂破碎筛分系统除尘。

4.4.7 高效微孔膜除尘技术

4.4.7.1 最佳可行工艺参数

高效微孔膜运行阻力应小于 1300 Pa，粉膜透气度为 1.2 m·min⁻¹，清灰剥离率达 98.4~100%。

4.4.7.2 环境效益

除尘效率大于 99%，选矿厂破碎筛分系统中的粉尘排放浓度为 30~50mg/m³。

4.4.7.3 技术经济适用性

该技术适用于新建和已建的矿山破碎筛分系统粉尘治理，适用于潮湿性粉尘。

4.4.8 最佳可行技术及适用性

钢铁行业采选矿工艺大气污染防治最佳可行技术及适用性见表 3。

表 3 钢铁行业采选矿工艺大气污染物防治最佳可行技术及适用性

防治阶段	最佳可行技术	环境效益	适用条件
工艺过程	凿岩湿式防尘技术	从源头减少粉尘产生量，防止粉尘飞扬	已建和新建地下矿山凿岩、爆破、岩矿装运等作业
	穿爆干/湿式防尘技术	钻机三级除尘效率达 99.9%粉尘排放浓度<6mg/m ³	已建和新建露天矿山穿爆作业
	覆盖层防尘技术	粉尘浓度<1mg/m ³ ，减少扬尘、雨水侵蚀和物料流失	已建和新建矿山排土场、尾矿库以及矿石堆存点等料堆的防尘
	就地抑尘技术	降低产尘点扬尘浓度，避免二次污染	已建和新建矿山矿石破碎、筛分、皮带运输等扬尘点，对呼吸性粉尘捕获效果更佳。
	固体物料浆体长距离管道输送技术	少占用土地，管线沿线无污染	已建和新建矿山铁精矿输送
末端治理	袋式除尘技术	除尘效率>99%，排放浓度<20mg/m ³	已建和新建矿山破碎筛分系统除尘
	高效微孔膜除尘技术	除尘效率>99%，排放浓度 40~50mg/m ³	已建和新建矿山的破碎筛分系统亲水性粉尘

4.5 废水控制与处理最佳可行技术

钢铁行业采选矿工艺废水控制与处理最佳可行技术见表 4。

表 4 钢铁行业采选矿工艺废水控制与治理最佳可行技术及适用性

废水来源或种类	最佳可行技术	适用条件
矿坑涌水	采矿矿坑涌水控制技术	已建和新建矿山，敏感区
酸性废水	中和法	已建和新建矿山，敏感区
含汞废水	铁屑过滤法、硫化沉淀法	已建和新建矿山，敏感区
含镉废水	化学沉淀法-硫化法	已建和新建矿山，敏感区
含铅废水	化学沉淀法-硫化法	已建和新建矿山，敏感区

续表 4 钢铁行业采选矿工艺废水控制与治理最佳可行技术及适用性

废水来源或种类	最佳可行技术	适用条件
含铬废水	药剂还原沉淀法、电解还原法、钡盐法	已建和新建矿山，敏感区
选矿废水	絮凝-沉淀，循环利用	已建和新建矿山，敏感区

4.6 固体废物处置及综合利用最佳可行技术

4.6.1 铁尾矿再选技术

4.6.1.1 环境效益

减少尾矿固废排放量，提高铁的回收率。通过再选工艺内部回收流程，可提高品位大于 66%的铁精矿产量，单一重选可获得含铁 57%~62%的铁精矿。

4.6.1.2 技术经济适用性

该技术适用于已建和新建的铁矿山的尾矿。

与只进行处理原矿选矿相比，采用该技术可增加产量，可降低成本。

4.6.2 废石、尾矿用于建筑材料技术

4.6.2.1 最佳可行工艺参数

生产尾矿地面砖时应控制尾矿粒级比例，粒级比例要求可参照表 5。

表 5 生产尾矿地面砖尾矿粒级比例表

粒级/目	+55	-55+100	-100+200	-200
混合样 (%)	37.0	31.0	22.5	9.5

尾矿建材地面砖应达到下列质量要求：抗折强度 $>40\text{MPa}$ ，吸水率 $<8\%$ ，耐磨耐抗长度 $<35\text{mm}$ ，抗冻融损失 $<20\%$ 。

4.6.2.2 环境效益

提高尾矿资源利用率，减少尾矿、废石排放，消除和减少尾矿、废石环境污染。

4.6.2.3 技术经济适用性

该技术经济效益显著，适用于已建和新建矿山。

4.6.3 尾矿制造微晶玻璃技术

4.6.3.1 最佳可行工艺参数

原料主要为高铁尾矿和含钛磁铁矿。产品应达到以下要求：抗压强度： $1.25\text{ t}\cdot\text{cm}^{-2}$ ，弯曲强度： 37.3 MPa ，防震能力：2.5，莫氏硬度：6，耐酸性（ $1\%\text{H}_2\text{SO}_4$ ）：0.11%，耐碱性（ $1\%\text{NaOH}$ ）：0.15%，密度： $2.63\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，光泽度 5~100。

4.6.3.2 环境效益

该技术可提高尾矿资源利用率，减少尾矿、废石排放，消除和减少尾矿、废石的环境污染。

4.6.3.3 技术经济适用性

采用尾矿制造微晶玻璃技术可获得显著经济效益。

4.6.4 固体废物排放采空区技术

4.6.4.1 最佳可行工艺参数

采空区固体废物回填量：采出 1t 矿石可回填 0.25~0.4m³ 的固废。

4.6.4.2 环境效益

该技术可减少废石、尾矿的排放状况，消除或减少废石、尾矿对环境的污染，改善生态环境。

4.6.4.3 技术经济适用性

该技术可节省尾矿库建设工程投资，适用于有地下采空区、露天采坑或地表塌陷区等废弃空间稳定的新建和已建矿山。

4.6.5 最佳可行技术及适用性

钢铁行业采选矿工艺固体废物处置及综合利用最佳可行技术见表 6。

表 6 钢铁行业采选矿工艺固体废物处置及综合利用最佳可行技术及其适用性

最佳可行技术	环境效益	适用条件
铁尾矿再选技术	再选的铁精矿品位 66%，减少固体废物排放，提高资源利用率	已建和新建矿山尾矿，敏感区
废石、尾矿用于建筑材料技术	减少排放，减少和消除对大气和水系污染	已建和新建矿山，敏感区
尾矿制造微晶玻璃技术	减少排放，减少对大气和水系污染	已建和新建矿山
固体废物排放采空区技术	减少排放，减少和消除对大气污染和对水系污染	有地下采空区，露天坑或地表塌陷区等稳定废弃空间的矿山，敏感区

4.7 生态恢复最佳可行技术

钢铁行业采选矿工艺生态恢复最佳可行技术见表 7。

表 7 钢铁行业采选矿工艺生态恢复最佳可行技术及适用性

最佳可行技术	技术指标和环境效益	适用条件
铁矿复垦植被优化技术	保护大气和水资源，恢复采区生态环境，充分利用废弃地	已建和新建矿山 已建和新建矿山的选矿作业，敏感区
尾矿库无土植被技术	植被覆盖率 90%，控制水土流失、抑尘	已建和新建矿山的选矿作业，敏感区

4.8 采选矿工艺污染防治最佳环境管理实践

为保证最佳可行技术的应用效果，采取如下最佳环境管理实践：

- 矿产资源综合开发规划和设计阶段包含资源开发利用、生态环境保护、地质灾害防治、水土保持和废弃地复垦等内容，充分考虑低污染、高附加值的产业链延伸建设和多元化经营建设。
- 根据矿山地质条件以及矿石性质，采用适宜的采矿技术，提高资源利用率。
- 对于采、选矿过程产生的废水，根据用水水质要求实现废水梯级利用。

- 采选矿生产中采用低噪声设备或采用隔声减震措施，控制噪声源强。
- 加强采矿点排土场和拦渣坝及选矿厂尾矿库的管理和维护，防止扬尘和溃坝。
- 坚持开采与恢复并举，根据复垦条件选择不同的复垦模式。
- 加强生产设备的使用、维护和检修，保证设备正常运行。
- 重视污染物的监测和计量管理工作，定期进行全厂物料平衡测试。
- 加强操作管理，建立岗位操作规程，制定应急预案，定期对职工进行技术培训和演练。