



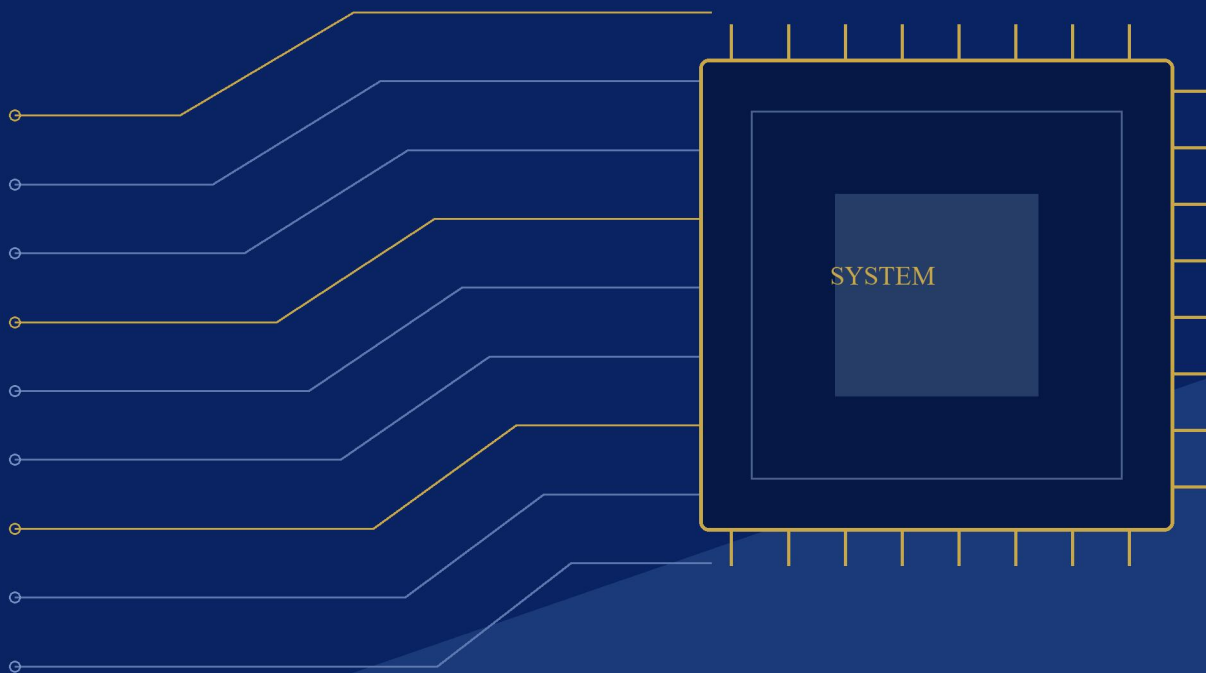
智能工程与科技协会

AIET

WHITE PAPER · AIET

黄金矿山绿色选冶与资源高效利用技术应用发展报告（2025）

矿石性质驱动的全流程协同与绿色工程路径



ARCHITECTURE / CONTROL / VALIDATION

2026年10月28日

aiet.org.cn



出版说明

报告题名	黄金矿山绿色选冶与资源高效利用技术应用发展报告 (2025)
报告副题	矿石性质驱动的全流程协同与绿色工程路径
发布平台	智能工程与科技协会
报告类别	行业研究
作者	郭文军
作者单位	内蒙古西金矿业有限公司
职务	总经理、董事长
发布日期	2026 年 10 月 28 日

编制目的

面向黄金矿山经营、技术与治理人员，构建绿色选冶和资源高效利用的系统分析框架与实施路径。

研究范围

覆盖矿石流管理、破碎磨矿、分选浸出、溶液循环、水能药剂、尾矿尾渣、数据控制、风险治理和生态修复。

研究方法

综合采用政策标准梳理、系统工程分解、物质流分析、风险链分析和生命周期思维，并以公开权威来源校核关键论点。

适用边界

本报告属于行业研究，不替代具体矿山的可行性研究、选冶试验、安全设施设计、环境影响评价、排污许可及其他法定审批。

摘要

黄金矿山绿色转型面临矿石性质波动、资源品位下降、流程分割、数据不连通以及水、能源、药剂和尾矿约束耦合等问题。本报告提出资源识别、工艺适配、循环控制、风险治理、持续改进五层框架，以物料平衡、金属平衡和水平衡为共同事实底座，把矿石类型、参数窗口、跨工段交付、屏障管理和分阶段验证连接起来。报告认为，绿色选冶不是局部环保改造，而是在安全环保边界内由矿石性质驱动的全流程综合价值优化。

关键词：黄金矿山；绿色选冶；资源高效利用；绿色矿山；全流程协同；尾矿治理；数字化控制



目录

编制目的	1
研究范围	1
研究方法	1
适用边界	1
摘要	1
第 1 章 执行摘要	6
1.1 研究对象与核心问题	6
1.2 主要判断	6
1.3 总体框架	6
1.4 读者行动与适用边界	7
第 2 章 研究范围 方法与证据边界	7
2.1 研究范围的工程定义	7
2.2 研究方法	7
2.3 证据层级与引用原则	8
2.4 术语与评价口径	8
第 3 章 黄金矿业价值链与参与者	8
3.1 从资源到产品的价值链	8
3.2 关键参与者及其责任	9
3.3 价值流与风险流的并行关系	9
3.4 价值链协同的组织基础	9
第 4 章 政策 技术与社会环境	10
4.1 法规与产业政策方向	10
4.2 环境与安全约束	10
4.3 技术演进与竞争条件	10
4.4 社会许可与透明度	11
第 5 章 绿色选冶成熟度与演进路径	11
5.1 从合规运行到系统优化	11
5.2 工艺成熟度的关键特征	11



5.3 数字化成熟度的分层	11
5.4 分阶段演进路线	12
第6章 矿石波动与生产运行现状	12
6.1 矿石性质是首要扰动源	12
6.2 运行目标的冲突与漂移	12
6.3 取样与计量的基础薄弱	13
6.4 现场经验难以沉淀	13
第7章 流程衔接与组织协同问题	13
7.1 采矿与选冶之间的信息断点	13
7.2 工段边界引发的局部优化	14
7.3 技术变更缺少全过程管理	14
7.4 协同会议与决策权限	14
第8章 资源配置与经营决策问题	15
8.1 投资评价边界过窄	15
8.2 维护资源与生产计划脱节	15
8.3 试验资源分散与结论不可复用	15
8.4 经营指标缺少价值一致性	15
第9章 数据协同与控制闭环问题	16
9.1 数据孤岛与时间错配	16
9.2 数据质量责任不清	16
9.3 分析结果未进入控制	16
9.4 网络与系统韧性	17
第10章 水 能源 药剂与尾矿系统问题	17
10.1 水系统的数量与质量耦合	17
10.2 能源消耗集中于关键环节	17
10.3 药剂系统的安全与效率	17
10.4 尾矿与尾渣的长期责任	18
第11章 产品质量 利益相关者与终端价值问题	18
11.1 产品质量与金属平衡	18
11.2 内部客户的需求差异	18



11.3 社区与监管关注	19
11.4 技术成果的可复制性	19
第 12 章 全流程绿色选冶总体框架	19
12.1 五层框架与控制逻辑	19
12.2 三个基础平衡	20
12.3 约束下的综合价值评价	20
12.4 治理与责任结构	20
第 13 章 矿石流 流程与标准化机制	21
13.1 地质冶金模型与矿石分类	21
13.2 配矿与堆场管理	21
13.3 流程选择与参数窗口	21
13.4 标准作业与变更闭环	22
第 14 章 数据 指标与分析机制	22
14.1 数据架构与语义统一	22
14.2 指标树与口径管理	22
14.3 分析方法与模型治理	22
14.4 可视化与决策界面	23
第 15 章 核心工艺协同与动态控制机制	23
15.1 破碎磨矿与分级协同	23
15.2 重选浮选与浸出组合	23
15.3 浸出与溶液系统控制	24
15.4 吸附 解吸与电积平衡	24
第 16 章 循环利用与绿色工程机制	24
16.1 分质水循环与污染预防	24
16.2 能源效率与低碳改造	24
16.3 药剂减量与闭路管理	25
16.4 残余物资源化与生态修复	25
第 17 章 风险治理 客户价值与持续运营机制	25
17.1 基于屏障的风险治理	25
17.2 价值交付与客户需求	25



17.3 人员能力与组织学习	26
17.4 持续运营与韧性	26
第 18 章 典型场景与实施路线	26
18.1 场景一 矿石波动导致回收下降	26
18.2 场景二 回水增加引发工艺不稳	27
18.3 场景三 低品位物料的分流利用	27
18.4 分阶段实施计划	27
第 19 章 效果评价 风险合规与持续改进	28
19.1 评价指标与基线	28
19.2 合规管理与证据链	28
19.3 风险评审与独立保证	28
19.4 持续改进闭环	29
第 20 章 适用边界 推广条件与结论	29
20.1 适用边界	29
20.2 推广条件	29
20.3 未来趋势	30
20.4 结论与行动建议	30
参考来源	31

第 1 章 执行摘要

1.1 研究对象与核心问题

本报告研究黄金矿山从矿石进入生产系统到金产品产出、尾渣处置和生态修复的全过程，重点讨论绿色选冶与资源高效利用如何在同一工程体系内协同推进。研究对象不是某一条孤立工艺，也不是某一台设备，而是由矿石性质、采选边界、破碎磨矿、重选浮选、浸出吸附、溶液循环、尾矿管理、能源与水系统、在线监测和组织决策共同构成的生产系统。其核心问题是：在资源品位下降、矿石性质波动、环保安全约束趋严的条件下，矿山如何把回收率、资源利用率、单位消耗、风险控制和生态责任转化为一套可以联合优化的工程目标。

长期以来，生产系统容易按专业和工段分割管理。地质部门关注储量和品位，选矿部门关注处理量和回收率，冶金部门关注浸出与吸附，环保部门关注排放和尾渣，设备部门关注开机率。单个指标得到改善，并不必然带来全流程最优：提高磨矿细度可能增加能耗和泥化，提高药剂浓度可能扩大残余物风险，追求短期处理量可能削弱矿石适配性。报告因此将绿色转型理解为约束条件下的系统优化，而非在既有流程外附加环保设施。[1][3]

1.2 主要判断

第一，资源高效利用的起点应前移到矿石可选性与矿石流管理。稳定、可解释的矿石分类和配矿规则，能够减少后续工段被动补偿。第二，流程优化应围绕价值回收、物质循环和风险负荷建立联动指标，避免用单一回收率代表综合绩效。第三，水、药剂、能源和尾矿并非生产的附属项，而是决定工艺窗口和许可边界的关键资源。第四，数字化的价值不在于仪表数量，而在于数据能否支持预警、诊断、控制和复盘。第五，绿色矿山建设必须进入设计、运行、闭矿和修复的全过程，并形成可审计的责任链。[2][4]

这些判断共同指向一个结论：黄金矿山的技术进步应从“局部设备升级”转向“矿石性质驱动的全流程协同”。企业需要把地质模型、试验结果、生产参数、质量结果、物耗数据和环境风险置于同一决策框架，明确不同矿石类型的推荐路线、控制边界和异常处置。只有当技术路线能够随矿石变化而调整，资源效率与环境绩效才可能同时改善，而不是相互抵消。

1.3 总体框架

报告提出“资源识别—工艺适配—循环控制—风险治理—持续改进”五层框架。资源识别层回答矿石是什么、价值在哪里、波动如何分区；工艺适配层确定破碎、分级、预选、磨矿、重选、浮选或浸出的合理组合；循环控制层管理水、药剂、溶液、热量和可回收物质；风险治理层覆盖氰化物、尾矿、渗漏、扬尘、职业健康和生态扰动；持续改进层通过指标、数据、试验和变更管理把经验转化为标准。五层之间通过物料平衡、金属平衡、水量平衡和风险台账建立接口。

该框架不预设所有矿山采用同一流程。氧化矿、硫化矿、含泥矿、难处理矿和低品位矿在矿物组成、金的赋存状态、渗透性与耗药特征上差异显著。工艺选择必须由试验、矿石性质和全生命周期约束共同决定。对具备堆浸适应性的矿石，应重点控制粒度、渗透、布液、溶液平衡和防

渗；对需要磨矿浸出的矿石，应关注解离、泥化、药剂选择和尾渣管理；对可预富集或分流的物料，应评估早抛废对能耗、水耗和尾矿量的系统贡献。

1.4 读者行动与适用边界

管理者可据此判断现有改造方案是否真正跨越了工段边界，技术人员可用框架定位波动来源并组织试验，环保与安全人员可将风险要求前置到工艺决策，投资与项目团队可通过阶段门审查控制技术和合规风险。推荐的第一步不是立即采购设备，而是建立统一基线：形成矿石类型图谱、全流程物料与金属平衡、主要消耗与风险清单，并识别最影响综合价值的三个约束点。

本报告提供行业层面的分析框架和示例路径，不替代矿山项目的可行性研究、选冶试验、安全设施设计、环境影响评价、排污许可、职业健康评价或法定审批。文中没有使用材料未证明的具体项目、专利、客户和经营数据，也不对任何企业作达标或绩效背书。实施时应以矿体条件、当地法规、经验证试验、设计文件和现场风险评估为依据。

第2章 研究范围 方法与证据边界

2.1 研究范围的工程定义

本报告将“绿色选冶”定义为：在满足安全、环境和产品质量要求的前提下，以更少的资源消耗和更低的全生命周期风险实现目标金属的合理回收。定义中的“合理”强调不能脱离经济品位、矿石性质和风险条件追求理论极限；“全生命周期”则要求同时考虑建设、运行、异常、停产、闭矿和修复。研究边界从矿石交付点开始，覆盖矿石流管理、破碎筛分、预选、磨矿分级、重选浮选、浸出、固液分离、吸附解吸、电积精炼、回水回用、尾渣与尾矿管理，并延伸至与这些环节直接相关的能源、药剂和监测系统。

资源高效利用包括三个层次。第一是金属回收，即减少可回收金在各损失点的流失；第二是伴生资源、废石、尾矿、水和药剂的合理利用或减量；第三是通过流程稳定、设备可靠和风险预防减少无效加工。三者需要在相同时间尺度和边界条件下比较。若只计算选厂内部回收率而忽略采矿贫化、库存变化、溶液系统滞留和尾矿长期风险，结论可能偏离真实价值。

研究路径

问题识别	证据校核	系统建模	路径设计	分阶段验证
------	------	------	------	-------

图 2-1 本报告的系統研究路径

2.2 研究方法

报告采用政策与标准梳理、系统工程分解、物质流分析、风险链分析和生命周期思维相结合的方法。政策与标准用于确定法定与行业约束；系统工程分解用于识别工段接口；物质流分析围绕矿石、金属、水、药剂和固体残余物流向建立平衡；风险链分析从危险源、屏障、监测、响应和恢复五个环节评价控制完整性；生命周期思维用于避免把运行期的负担转移到尾矿、闭矿或生态修复阶段。

技术判断遵循“性质—机理—参数—结果”的证据链。先确认矿石矿物组成、金的赋存和粒度特征，再解释分选、浸出或吸附机理；随后确定可控制参数和观测指标，最后评价回收、消耗、稳定性与风险结果。任何工艺路线都应通过代表性取样和分阶段试验验证，不能仅凭相似矿山经验直接套用。国际指南用于补充治理理念时，也应服从中国现行法律法规和项目所在地要求。[6][7][8]

2.3 证据层级与引用原则

报告优先使用法律法规、政府部门政策、国家标准、生态环境技术文件及国际组织发布的标准和指南。政策目标用于描述行业方向，不被改写为单个企业已经实现的绩效；技术标准用于界定设计与管理底线，不被简化为单一数值；国际自愿性框架用于提示全生命周期治理和独立保证机制，不替代国内强制要求。来源在参考文献中提供直达链接，正文只引用与论点直接相关的内容。

申请材料仅证明作者身份、工作单位、职务、专业领域、研究方向、题名和目标平台。材料没有提供具体矿山项目、工艺参数、回收率、经济效益、专利或客户证据，因此报告不作相关事实陈述。涉及流程参数和工程效果的内容均采用条件式分析或“行业典型场景”“示例路径”表述，实施前必须重新试验和论证。

2.4 术语与评价口径

报告所称“回收率”原则上指一定结算周期内目标金属进入产品的比例，但必须标明边界、取样和库存处理方法；“资源利用率”是更广义概念，包含金属回收、伴生资源利用和废弃物减量；“水循环率”必须同时说明补充水、回水、库存变化和水质约束；“单位消耗”应以处理矿量、入选金属量或产品量为分母，并保持口径一致；“稳定性”应由波动、越限时长、恢复时间和异常频次共同描述。

评价不以单项最大化为原则，而采用底线指标、效率指标和韧性指标三类组合。底线指标用于确认安全、环保和质量约束；效率指标衡量回收、能耗、水耗与药耗；韧性指标观察面对矿石波动、设备故障和极端天气时的响应能力。只有三类指标同时进入决策，才能防止短期产量改善掩盖长期风险积累。

第3章 黄金矿业价值链与参与者

3.1 从资源到产品的价值链

黄金矿业价值链始于勘查和资源评价，经过矿山设计、采矿、矿石运输与堆存、选矿或冶金、金产品精炼，再进入销售和循环利用。绿色选冶位于价值链中段，却同时受上游资源模型和下游产品、残余物管理制约。地质模型决定矿石类型和品位分布，采矿方式影响贫化与损失，堆存和配矿影响入选稳定性，选冶流程决定金属去向、消耗和尾矿性质，尾矿与水系统又反过来限制生产强度。

因此，价值链不应被理解为单向传递。生产数据需要回馈资源模型，选冶试验需要影响采矿分区，尾矿与水质变化需要反馈到药剂制度和产能计划。若信息只向下传递，系统会把上游不确定性变成下游波动；若建立闭环，矿石响应可以逐步沉淀为可执行的配矿、控制和投资规则。

3.2 关键参与者及其责任

企业内部至少涉及资源地质、采矿、计划调度、选矿、冶金、化验、设备、能源、环保、安全、采购、财务和信息化等角色。资源地质负责矿石属性及不确定性表达；采矿与计划负责可采单元和供矿序列；选冶团队负责路线和参数；化验负责样品质量与结果可追溯；设备能源团队保障能力和效率；环保安全团队定义风险边界；财务和经营团队把技术变化转化为价值判断；信息化团队维护数据接口与权限。

外部参与者包括设计院、试验机构、设备与药剂供应商、监测机构、监管部门、社区和独立评估方。外部服务可以提供专业能力，却不能替代矿山经营主体的责任。对关键试验、设计变更和风险评价，应明确输入数据、假设、适用范围和验收标准，防止“交付报告”与“现场可执行”脱节。供应商性能数据应通过现场条件验证，不能直接等同于生产承诺。

3.3 价值流与风险流的并行关系

每一条价值流都伴随风险流。提高破碎强度可能改善粒度，却增加粉尘、噪声和能耗；增加浸出强度可能提高溶出，却增加药剂库存、溶液管理和尾渣控制要求；扩大尾矿回水可能降低新水取用，却改变水质并影响浮选或浸出。系统设计需要在流程图之外建立风险流图，标明危险物质、关键屏障、监测点、异常去向和责任人。

风险流图的意义在于识别“接口风险”。许多重大问题并非发生在成熟工段内部，而发生在交接处，例如矿石类型变更未传递、槽罐液位与生产计划不一致、检维修隔离与控制系统状态不同步、尾矿库库容与雨季计划脱节。把接口写入控制标准和交接清单，比单纯增加层级审批更能改善执行。

3.4 价值链协同的组织基础

跨部门协同需要共同对象和共同语言。建议以“矿石批次或矿石类型—推荐流程—关键参数—结果—异常”为基本数据单元，避免各专业使用互不对应的日报。月度经营复盘应同时呈现金属平衡、主要消耗、设备可靠性、环境风险和库存变化，并解释偏差的因果链，而不是把指标并列展示后各自说明。

治理机制可分三级：班组层解决即时越限和操作一致性，专业层解决参数窗口、设备状态和试验验证，经营层解决资源配置、改造投资和跨部门约束。问题只有在相应层级形成明确责任、时限和验证结果，才算闭环。会议数量并不代表协同质量，关键是同一事实底座、明确决策权和可复查的行动记录。

第4章 政策 技术与社会环境

4.1 法规与产业政策方向

修订后的《中华人民共和国矿产资源法》强调开发利用与保护并重、保障安全、节约集约、科技支撑和绿色发展，并设置矿区生态修复专章；2026年施行的实施条例进一步细化勘查开采、生态修复和监督管理要求。[1][2]对黄金产业而言，工信部等九部门发布的《黄金产业高质量发展实施方案（2025—2027年）》把资源保障、科技创新、产业升级、绿色化、智能化和安全化放在同一政策框架中。这意味着企业评价技术项目时，需要同时回答资源贡献、创新成熟度、环境安全 and 产业化条件，而不能仅计算单一经济指标。[3]

自然资源部等七部门关于绿色矿山建设的通知要求将绿色发展贯穿矿产资源勘查开发全过程，并推动资源开发、综合利用、节能减排、生态修复与数字化智能化协同。[4]对生产矿山而言，绿色矿山不应被处理为一次性申报工程，而应转化为持续运行规则：建设任务要进入年度计划，约束指标要进入日常监测，问题整改要形成证据，重大变化要重新识别环境 and 安全影响。

4.2 环境与安全约束

生态环境部《黄金工业污染防治技术政策》提出源头减量、过程控制、末端治理和资源化利用相结合，重点关注氰化尾渣、含氰废水及重金属污染防控，并鼓励自动化、循环利用、低毒药剂和 有价值组分回收。[5]《黄金行业氰渣污染控制技术规范》则对氰渣贮存、运输、脱氰、利用、处置和监测提出要求。[6]两者共同说明，污染控制不能只依赖末端处理，工艺路线和物料去向本身就是环境管理的一部分。

《金属非金属矿山安全规程》覆盖设计、建设、开采和闭坑全过程。[7]在选冶系统中，安全约束不仅包括机械、电气、起重和检维修，还包括氰化物等危险化学品、有限空间、压力设备、尾矿输送和极端天气。项目改造应把安全设施、联锁、泄压、围堰、事故池、应急电源和人员能力作为完整系统评审，不能在主工艺定型后再补充。

4.3 技术演进与竞争条件

行业技术演进呈现三个方向。其一，资源对象从易选、高品位向低品位、复杂共伴生和难处理矿拓展，矿物学和预处理的重要性上升。其二，传感、自动控制、数据平台和智能分析进入生产系统，工艺优化从经验调整转向基于状态的预测与协同。其三，绿色技术由单点减排扩展到水、能源、药剂、尾矿和生态修复的综合设计。技术竞争的焦点因此从设备参数转向“能否在真实波动下稳定运行并可验证”。

设备大型化和自动化可以降低单位成本，但也会提高单点故障影响和系统耦合。企业不能用“先进设备”替代工艺适配评估。选择方案时应比较矿石适应范围、维护资源、备件可得性、控制接口、人员能力和异常降级模式。对新技术，可采用试验室试验、中试、旁路验证和分阶段放大，明确停止条件与回退方案，以控制从概念到生产的放大风险。

4.4 社会许可与透明度

矿山活动与土地、水资源、社区健康、就业和地方发展紧密相关。绿色转型不仅要求污染物达标，还要求企业能解释风险、公开必要信息并回应利益相关者关切。绿色矿山政策要求建立申诉回应机制，国际尾矿治理标准也强调受影响群体、信息披露和问责。[4][9] 对企业而言，透明度应建立在准确、可验证和分级披露基础上，既不能回避实质风险，也不能泄露个人信息、商业秘密或安全敏感信息。

社会沟通应与技术管理同步。尾矿设施、用水变化、运输扬尘和生态修复等议题，应由技术人员提供边界清楚的数据，由管理者说明责任和行动，并保留反馈闭环。发生异常时，及时、事实化的沟通比模糊承诺更能维护信任。社会许可不是一次宣传活动，而是长期稳定运行、守法合规和可核验证据的累积结果。

第 5 章 绿色选冶成熟度与演进路径

5.1 从合规运行到系统优化

绿色选冶成熟度可分为五个阶段。第一阶段以满足基本安全环保要求为主，数据分散，改进多由问题驱动；第二阶段建立稳定的工艺纪律和关键计量，能够解释主要偏差；第三阶段形成跨工段平衡和矿石类型管理，开始按照综合价值优化；第四阶段实现在线感知、预测控制和风险联动；第五阶段把资源、生产、环境与闭矿责任纳入全生命周期决策。阶段划分不是荣誉等级，而是识别下一步能力缺口的工具。

成熟度不能只看设备自动化率。若流量计、取样器或化验数据缺乏校准和代表性，再多传感器也不能形成可靠决策；若控制系统给出建议但岗位职责、授权和异常处理没有变化，算法无法转化为绩效。评价应同时覆盖流程定义、数据质量、控制能力、人员技能、变更管理和持续改进，任何一项长期薄弱都会成为系统瓶颈。

5.2 工艺成熟度的关键特征

成熟的工艺体系具有四个特征。其一，明确矿石适用范围，对不同矿石类型设置不同处理路线或参数窗口。其二，关键参数之间具有可解释的因果关系，例如粒度、矿浆浓度、溶液化学、停留时间与回收结果之间能够通过试验和生产数据交叉验证。其三，异常状态可识别并有降级运行策略。其四，改造前后采用相同口径测量，结果能够经金属平衡和统计检验确认。

成熟度提升通常不是直线上升。新的矿段、季节变化、设备老化或政策变化都可能使原有控制失效。企业需要设置定期再验证机制：矿石性质显著变化时重做可选性试验，关键设备改造后重建基线，药剂和水源变化时检查相容性，尾矿设施工况变化时复核风险。把再验证写入管理制度，可避免“历史最佳参数”被长期沿用而失去适用性。

5.3 数字化成熟度的分层

数字化可按“看见—理解—预测—控制”分层。看见要求测点覆盖、时间同步和数据可用；理解要求把数据映射到物料流、工艺机理和设备状态；预测要求能够提前识别偏差及其概率；控制

要求在明确边界和人工监督下执行调整。很多项目停留在大屏展示，是因为数据没有与矿石类型、取样结果和操作动作关联，不能回答变化为什么发生以及该如何响应。

数字化建设应优先解决高价值决策。对选冶系统而言，典型场景包括供矿性质波动预警、粒度与负荷协调、浸出溶液状态控制、活性炭系统平衡、尾矿输送异常识别、水系统调度和设备预测维护。每个场景都应明确决策对象、输入质量、响应时间、允许动作、责任人和验证指标，避免把算法准确率当作唯一成效。

5.4 分阶段演进路线

建议先用三个月左右完成基线梳理和测量审计，确认取样、化验、计量和数据接口；随后用六至十二个月建立矿石类型、平衡核算和关键参数窗口；在数据可信后，再选择一个受波动影响显著的场景开展闭环优化；最后把成功方法推广到水、能源、尾矿和生态管理。阶段门应以证据为准，例如平衡差异是否可接受、异常是否可追溯、控制动作是否降低波动，而不是以系统上线或设备到货作为完成标志。

演进过程需要保留人工能力。自动化程度提高后，岗位任务会从频繁手动调节转向状态判断、异常处置和模型监督。培训应包含工艺机理、仪表失效、联锁逻辑、网络中断和手动恢复。只有人员能理解系统为何给出建议、何时不应执行以及如何安全回退，数字化才会增强韧性，而不是制造新的依赖。

第 6 章 矿石波动与生产运行现状

6.1 矿石性质是首要扰动源

黄金矿石的品位、矿物组成、金的粒度与赋存状态、硬度、含泥量、含硫量、耗氧组分和可溶性杂质均可能随矿段变化。若供矿计划只按平均品位组织，选厂接收到的实际可选性可能大幅波动。相同入选品位在不同矿石中可能对应完全不同的磨矿需求、浸出速度和药剂消耗。未被识别的矿石波动会在后续表现为负荷摆动、回收率下降、药耗升高或尾液异常。

常见管理缺口是资源模型与生产控制之间缺少可操作接口。地质模型包含大量属性，但选厂日报只记录吨位和品位；试验报告按样品给出结论，却没有转化为矿石类型和配矿规则；异常发生后能够回溯到某一矿段，却没有修正模型。解决问题的重点不是增加更多分类，而是选择真正影响流程的属性，建立可在采场、堆场和选厂共同识别的类型编码。

6.2 运行目标的冲突与漂移

生产运行往往同时承受产量、回收、成本和交付压力。当考核周期不同或责任分割时，局部团队可能选择对自身最有利的操作。例如上游提高给矿量而下游通过增加药剂补偿，短期处理量达成但单位消耗和尾渣负荷上升；检维修推迟停机可提高当期开机率，却积累故障风险。目标漂移的根源是没有明确综合目标和约束优先级。

应把安全环保底线设为不可交换约束，再以全流程金属产出和综合成本评价效率，并用波动与恢复时间评价稳定性。班次目标、日计划和月度经营指标应保持逻辑一致。若某项调整提高了

回收率，却同时显著增加能耗、药耗或风险，应通过增量价值和全周期成本判断，而不是用单指标排名推动持续加码。

6.3 取样与计量的基础薄弱

金矿生产的决策高度依赖取样与化验。金分布不均、粒度差异和游离金效应可能造成较大取样误差。若样品代表性不足，即使化验精度很高，结果仍可能误导金属平衡。在线仪表也会受到磨损、结垢、密度变化和校准漂移影响。基础测量不可靠时，参数优化容易把噪声当成因果关系。

测量系统应按照决策重要性分级管理。用于结算、金属平衡、关键控制和安全联锁的测点，应明确校准周期、验证方法、冗余或替代测量、数据质量标记和失效处理。取样系统需要检查截取完整性、频率、样品质量、制样损失和留样规则。每次平衡偏差都应区分库存变化、时间错配、测量偏差和真实损失，不能用经验系数长期抹平。

6.4 现场经验难以沉淀

一线人员通常能通过声音、振动、泡沫、矿浆颜色和设备负荷识别异常，但这些经验常以口头方式存在，难以跨班组复用。当人员变化或工况超出熟悉范围时，隐性经验的局限会放大。另一种倾向是用统一操作规程覆盖所有矿石和状态，导致规程过于笼统，不能指导具体决策。

经验沉淀应采用“现象—可能原因—验证动作—允许调整—升级条件”的结构。操作标准既要定义正常窗口，也要列出常见偏差和安全边界；生产复盘应记录调整前提与结果，形成可检索案例。经验转化不是取消人的判断，而是让判断有共同依据、能够被验证，并在新证据出现时更新。

运行诊断还应区分慢变量与快变量。矿体结构、设备能力和尾矿设施容量通常属于慢变量，需要通过计划或投资改变；给料、加药、液位和风量属于快变量，可由操作控制。如果用快变量长期补偿慢变量，系统会出现药耗、能耗和维护负担持续上升的现象。周度复盘应识别哪些偏差已超出操作可解决范围，及时转入工程治理，避免班组为结构性问题承担无限调整责任。

建立现状基线时，建议选取至少一个完整生产周期，把计划矿石、实际供矿、关键参数、产品、尾矿、消耗和异常按时间对齐。基线不是追求一个平均数，而是描述分布、波动和状态转换。只有知道系统在什么矿石和负荷下稳定、在什么条件下失稳，后续改造才能确定真正的对照组和成功标准。

第 7 章 流程衔接与组织协同问题

7.1 采矿与选冶之间的信息断点

采矿计划通常以矿量、品位、剥采比和设备能力组织，选冶系统则更关心硬度、粒度、氧化程度、矿物组成和有害组分。两套计划若只通过日供矿量衔接，选厂无法提前为矿石变化调整流程，采场也无法看到不同矿石在加工端的真实价值。结果是配矿成为临时调度，而不是基于资源价值的优化。

改进接口需要建立“可处理性承诺”。采矿计划除吨位和品位外，应提供矿石类型、关键属性范围和不确定性；选厂应反馈各类型的处理量、回收、消耗和异常；计划部门据此优化堆场与供矿序列。对混矿，应保留来源和比例，避免混合后失去可追溯性。长期看，生产结果还应反校地质冶金模型。

7.2 工段边界引发的局部优化

破碎、磨矿、分选、浸出、吸附和尾矿等工段常有各自控制指标，但物料跨越边界时，质量和时间信息容易丢失。例如破碎产品粒度满足平均值，却因细粉比例升高影响堆浸渗透；磨矿循环负荷稳定，却因过磨增加泥化和耗药；浸出尾液指标正常，却因溶液库存变化掩盖系统损失。局部达标不能证明系统最优。

跨工段指标应围绕交付质量定义。上游不仅交付吨位，还要交付粒度分布、矿浆浓度、矿物解离或溶液状态；下游不仅反馈结果，还要说明对上游扰动的敏感性。关键交付指标应与工艺停留时间对齐，避免使用不同时间窗口比较。发生异常时，由最接近机理的团队牵头，而不是按设备归属推诿。

7.3 技术变更缺少全过程管理

药剂替换、衬板调整、控制逻辑修改、管线改造或处理量提升都可能改变系统风险。若变更只在专业内部审批，相关的安全、环保、质量和维护影响可能被遗漏。临时变更尤其容易长期化，形成与图纸、程序和培训不一致的现场状态。

建议建立分级变更管理：明确变更原因、设计基础、受影响设备与参数、风险评价、验证计划、培训和回退条件；重大变更应组织多专业审查，投运后在规定周期内复核效果。临时变更必须设到期日和责任人。图纸、控制逻辑、操作规程、备件和培训资料要同步更新，避免文件与现场脱节。

7.4 协同会议与决策权限

很多组织通过增加会议应对协同问题，却没有改善决策。会议材料可能是各部门指标拼接，缺少共同问题定义；问题反复出现，但行动项没有验证标准；跨部门事项因权限不清长期等待。高效协同的前提是明确哪些决策由班组、专业负责人或经营层作出，以及何种越限必须升级。

建议设置周度流程稳定性评审和月度资源效率评审。周度评审聚焦矿石变化、平衡偏差、异常和短期试验；月度评审聚焦趋势、瓶颈、项目组合和风险。每项行动应包含目标、责任人、完成时限、验证数据和关闭人。相同问题连续出现时，应转入根因分析，而不是继续用临时措施维持。

第 8 章 资源配置与经营决策问题

8.1 投资评价边界过窄

选冶项目常以新增处理量、回收率增量或直接成本节约计算收益，但忽略矿石适用范围、产能匹配、环境设施、停产切换、维护资源和闭矿责任。边界过窄会高估局部改造价值。特别是低品位资源项目，单位金属产出对应的矿石、能源、水和尾矿量较大，任何小幅假设偏差都可能显著改变结果。

投资评价应从增量物料和风险出发。除资本支出与运营成本外，还应纳入试验与放大、基础设施、备件、培训、许可、监测、残余物管理和退役成本；收益端应区分可持续增量、库存释放和价格因素。对关键假设设置区间和触发条件，比较不同矿石情景下的表现，并检查项目是否把负担转移到下游。

8.2 维护资源与生产计划脱节

高利用率设备若缺少状态监测、备件和计划停机，容易在关键时段发生非计划停机。生产计划偏向最大化当期运行小时，维护计划则需要停机窗口，两者若由不同目标驱动，会导致预防性维护被持续压缩。设备状态下降还会通过粒度、浓度或流量波动影响工艺效果，而不仅是可用率损失。

建议以关键设备功能失效对金属产出、安全环保和恢复时间的影响确定维护优先级。对破碎机、磨机、泵、浓密机、鼓风与供电等瓶颈设备，建立状态指标、故障模式、备件策略和应急能力。生产计划应预留维护窗口，并把检修后的工艺恢复曲线纳入安排，避免设备开机即被要求满负荷。

8.3 试验资源分散与结论不可复用

生产现场经常开展药剂、粒度、浓度或设备参数试验，但若没有对照、稳定期、样本量和干扰因素设计，结果难以判断。多项试验同时进行还会相互影响。成功试验若未记录矿石条件和操作边界，推广后可能失效；失败试验若没有保留原因，同类方案会反复尝试。

应建立年度试验组合，按价值潜力、风险和证据缺口排序。每项试验明确假设、对象、对照、测量方法、停止条件和判定标准，试验期间冻结无关变量或记录干扰。结论分为可推广、需补证和不适用，并说明适用矿石和参数范围。重要试验结果进入工艺标准和模型，而不是停留在个人报告。

8.4 经营指标缺少价值一致性

若处理量、回收率、成本、能耗、水耗和环保指标分别考核，团队会在边界处转移问题。综合价值指标应反映单位资源的可持续产出，同时保留不可突破的安全环保底线。可以用可归属金属产出减去主要增量消耗和风险成本进行经营比较，但模型必须透明，不能用复杂权重掩盖真实数据。

指标体系应包含结果和驱动因素。结果指标用于判断价值是否实现，驱动指标用于提前发现偏差。例如最终回收率是结果，供矿类型稳定度、关键粒度、溶液状态和设备健康度是驱动。经营层关注少量综合指标，专业层保留诊断指标，班组层使用可行动参数。各层口径一致，才能形成从现场动作到经营结果的因果链。

第9章 数据协同与控制闭环问题

9.1 数据孤岛与时间错配

黄金矿山数据来自地质模型、调度系统、控制系统、实验室、设备管理、能源计量和环境监测，采样频率从秒级到月度不等。若没有统一时间基准、物料编码和批次关系，同一生产事件会在不同系统中呈现为无法关联的记录。生产团队可能看到某时刻的仪表变化，却无法对应到矿石来源和化验结果；管理报表则把不同结算周期的数据汇总，掩盖真实因果。

数据协同的基础是主数据和事件模型。设备、测点、物料、矿石类型、班次、样品和工艺路线应有稳定标识；停机、切矿、药剂调整、检修和极端天气等事件应记录开始、结束、原因和影响范围。时间序列数据需要考虑物料停留时间，化验结果要回挂到正确批次。只有做到语义和时间对齐，分析才可能从相关性走向机理解释。

9.2 数据质量责任不清

常见的数据问题包括缺失、漂移、冻结、单位混用、手工补录和异常值被直接删除。若信息化部门只负责系统可用、生产部门只负责使用结果，没有人为数据含义和质量负责，错误会长期存在。用于安全连锁、金属平衡和关键控制的数据，其质量要求显著高于一般展示数据，不能采取相同管理方式。

建议对关键数据指定业务数据负责人，建立完整性、及时性、准确性、一致性和可追溯性规则。数据异常不应简单修补，而应保留原值、质量标记、修正值和理由。模型训练与报表计算只使用符合质量条件的数据，并公开排除规则。测点失效时，应明确替代测量、允许运行时间和维修优先级。

9.3 分析结果未进入控制

许多分析项目能够解释历史，却没有改变现场动作。原因可能是建议不够及时、参数不可操作、权限不明确，或模型没有考虑安全边界。若分析输出只是一份月报，现场仍靠经验实时调整，数据价值无法形成闭环。相反，未经验证的模型直接控制设备，也可能把数据偏差放大为生产风险。

闭环应分级建设。第一层是可视化和报警，帮助人员及时发现越限；第二层是诊断建议，列出可能原因和验证顺序；第三层是受约束的优化建议，由人员确认执行；第四层才是自动控制。每升一级都应验证输入可靠性、模型性能、边界保护、人工接管和故障降级。关键动作应保留审计记录，能够回放“系统看到了什么、为何建议、谁执行、结果如何”。

9.4 网络与系统韧性

生产控制数字化后，网络中断、时钟漂移、服务器故障、权限错误和恶意访问会影响连续运行。工业控制系统与办公网络的边界、远程维护权限和供应商接入需要纳入安全管理。数据备份不能替代恢复能力，企业还需验证在系统不可用时如何保持安全状态、如何手动运行以及如何重建数据连续性。

建议针对关键场景开展失效演练：控制网络中断时联锁是否独立有效，在线分析仪失效时采用何种替代参数，数据平台停机时班组如何记录，恢复后如何防止重复指令。韧性指标可包括检测时间、切换时间、最大可容忍中断和数据恢复点。数字化系统只有在异常时仍保持可控，才真正提升工程能力。

第 10 章 水 能源 药剂与尾矿系统问题

10.1 水系统的数量与质量耦合

矿山水管理不仅是用水量问题。回水比例提高可减少新水取用，但溶解盐、金属离子、悬浮物、有机物和残余药剂会在循环中累积，改变浮选选择性、浸出反应、絮凝沉降和设备结垢。若只考核回用率而不管理水质，系统可能通过增加药剂或排放维持生产，抵消节水收益。

水系统应建立分质分用和动态平衡。清洁水、工艺回水、矿井水、雨洪水、生活污水和事故水按水质和用途管理，明确可接受指标、储存容量、季节变化和异常去向。水平衡至少覆盖进水、产品带水、蒸发、尾矿含水、库存变化和排放。关键水质指标应与工艺结果关联，形成回水上限和处理触发条件。

10.2 能源消耗集中于关键环节

破碎磨矿、输送、泵送、通风、压缩空气和热过程通常构成主要能源负荷。单位能耗受矿石硬度、粒度目标、设备负荷和维护状态影响。用总电耗除以处理量只能描述结果，无法指示改进位置。若为了降低能耗简单放粗磨矿，可能造成回收损失；若设备长期低负荷运行，单位能耗也会升高。

能源优化需要把能量输入与有效工艺作用对应。磨矿应比较粒度生成、解离和能耗，泵送应比较流量、扬程和效率，压缩空气应识别泄漏与无效用气。通过矿石类型和负荷区间建立能耗基线，区分结构性变化与异常。节能项目必须同时验证回收、产能和设备可靠性，避免把能耗降低转化为其他损失。

10.3 药剂系统的安全与效率

药剂效果取决于矿石性质、溶液化学、加药位置、混合条件和停留时间。按固定吨矿单耗加药，面对耗药组分和水质波动时容易过量或不足。过量不仅增加成本，还可能影响后续处理和残余物风险；不足则造成回收下降或过程不稳定。氰化物等危险化学品还涉及采购、运输、储存、配制、使用、应急和退役的全周期控制。[5][10]

药剂优化应先保证计量和混合可靠，再建立以过程状态为依据的加药策略。库存、浓度、流量和残余指标需要交叉核对，异常变化应检查泄漏、仪表和物料性质。国际氰化物管理规范强调生产、运输、储存、使用、应急、培训和公开保证的系统管理，可作为企业完善管理的参考，但具体实施仍须符合国内法规和项目条件。[10]

10.4 尾矿与尾渣的长期责任

尾矿和氰渣不是流程终点，而是长期责任的起点。其粒度、矿物组成、含水状态、残余药剂和污染物形态由上游工艺决定，并影响输送、堆存、渗滤、扬尘、再利用和闭库。若生产优化未评价残余物性质，可能把短期收益转移为长期治理成本。

尾矿治理需要贯穿选址、设计、建设、运行、监测、闭库和后期维护。国际尾矿治理标准提出对受影响群体、综合知识基础、治理责任、独立审查、应急和披露的系统要求。[9] 企业应把库容、坝体状态、排洪能力、在线监测、极端天气和下游暴露纳入生产计划；任何提高处理量的项目都必须验证尾矿系统承载能力和事故水容量。

四类资源系统之间存在共同的容量约束。提高处理量会同步增加电力、补水、药剂配送和尾矿量；提高回水会改变水质与药剂需求；降低粒度会改变能耗、浓密和尾矿沉降。项目论证应绘制资源负荷矩阵，按正常、峰值、检修和极端天气情景核查各系统余量。若任一关键系统缺少可靠余量，主流程名义产能就不是可持续产能。

资源系统还需要设置库存策略。水池、药剂槽、载金炭、尾矿库容和关键备件既不能无限储备，也不能压缩到没有缓冲。合理库存由供应周期、工艺停留、后果和应急能力决定，并设上下限与预警。库存变化必须进入平衡核算，否则容易把暂存在系统内的金属或污染负荷误判为回收改善或风险消失。

第 11 章 产品质量 利益相关者与终端价值问题

11.1 产品质量与金属平衡

金产品价值不仅由产量决定，还受纯度、杂质、含水、计量和结算条件影响。若生产部门只关注系统回收而忽略产品质量波动，可能造成精炼成本、结算扣罚或库存占用。金属平衡也必须覆盖中间库存、循环溶液和在制品，否则产出与入料在短周期内不匹配，容易形成错误判断。

建议把产品质量要求向前传递到工艺控制。对影响吸附、解吸、电积和精炼的杂质，应在矿石分类和溶液管理中识别；对产品计量和取样，应建立双重核对与可追溯记录。金属平衡周期应与工艺停留和库存盘点匹配，既支持日常控制，又能在月度结算时解释差异。

11.2 内部客户的需求差异

采矿、选冶、环保、安全、财务和销售对“好结果”的定义并不相同。采矿关注可执行的供矿计划，选厂关注稳定可选性，环保关注风险负荷和排放，财务关注现金成本与资本效率，销售关注质量和交付。如果缺少共同价值模型，各部门会把不确定性传递给下一环节。

内部客户机制要求每一接口说明输入、质量、时限和异常规则。例如计划部门向选厂交付未来矿石类型和区间，选厂向尾矿管理团队交付尾矿量与性质预测，环保团队向生产提出可操作的水质和库存边界，财务团队明确价值评价口径。接口指标应定期复核，不应只在发生冲突时临时协商。

11.3 社区与监管关注

外部利益相关者更关心风险是否被控制、信息是否可信、问题是否得到回应，而不仅是技术效率。用水、尾矿、扬尘、运输、噪声和生态修复通常具有直接可感知影响。企业如果只披露宏观承诺，却无法说明监测、异常和整改，容易削弱信任。

沟通应以依法披露和风险相关性为原则，提供边界明确、口径一致的数据，说明异常时的响应机制和后续验证。对社区反馈，应记录问题、调查、决定和回复。对监管检查，应确保现场、台账、监测和报告一致。透明度不能替代绩效，但可以促使绩效管理更加可验证。

11.4 技术成果的可复制性

终端价值还包括知识能否在不同矿段、班组或矿山复用。很多改进依赖少数人员或特定工况，一旦矿石、设备或人员变化，效果难以维持。可复制的成果需要说明问题定义、适用条件、控制参数、风险边界、人员能力和验证方法，而不是只展示一个结果数值。

企业应将成熟做法转化为标准作业、设计准则、数据模型和培训案例。复制前先进行差异分析：矿石性质、规模、气候、水质、设施和法规有哪些不同；哪些参数必须重新试验；哪些风险不能照搬。复制后的效果也要按同一评价框架验证，防止把一次成功推广为普遍结论。

成果表达还应区分“技术可行”“生产稳定”和“商业可复制”。实验室结果证明机理，不等于连续生产可靠；短期生产试验证明特定条件有效，不等于不同矿石和季节都适用；单矿山经济可行，也不代表其他场景具有相同成本。分层表达证据强度，可以帮助投资者、监管者和技术团队对结果形成一致预期。

当成果向外部发布时，应公开足以理解结论的范围、方法和限制，同时保护个人信息、商业秘密和安全敏感信息。对关键数字说明时间、边界和计算口径，对示例明确其行业属性。准确披露比夸大宣传更有利于建立长期专业信誉，也能减少技术推广中的误用。

第 12 章 全流程绿色选冶总体框架

12.1 五层框架与控制逻辑

针对前述问题，报告提出五层总体框架。资源识别层建立矿石类型、可选性和不确定性；工艺适配层选择流程组合和参数窗口；循环控制层管理水、能源、药剂、溶液和可回收物；风险治理层设置安全环保屏障与应急；持续改进层通过数据、试验、变更和审计保持能力。五层不是上下级系统，而是互相约束的决策视角。

控制逻辑以矿石类型为起点，以综合价值为目标，以安全环保边界为约束。每种矿石类型对应推荐路线、产能范围、关键参数、预期结果和禁止条件。当实际数据偏离时，先验证测量和矿

石性质，再调整操作；若超出已验证范围，则降级运行或暂停并开展试验。这样可以避免在原因不清时连续加大药剂或负荷。

五层协同框架

资源识别	工艺适配	循环控制	风险治理	持续改进
------	------	------	------	------

图 12-1 绿色选冶与资源高效利用五层框架

12.2 三个基础平衡

框架以物料平衡、金属平衡和水平衡作为共同事实底座。物料平衡说明各流通股质量及库存变化，金属平衡追踪目标金属及重要伴生元素，水平衡连接工艺需求、回用、损失和风险容量。三者采用统一边界和时间窗口，能够揭示局部指标背后的转移关系。

平衡系统应分层运行。班次或日平衡用于发现快速异常，周平衡用于诊断趋势，月平衡用于经营结算和模型校准。短周期允许受停留时间和库存影响，但必须说明；长期差异超出阈值时，需要检查取样、计量、库存和流程泄漏。平衡结果不仅用于报告，还应触发现场行动。

12.3 约束下的综合价值评价

综合价值评价首先检查不可突破的约束，包括人员安全、环境许可、设备设计能力、尾矿与事故水容量和产品质量。满足约束后，再比较可归属金属产出、消耗、维护、库存和长期责任。评价周期应覆盖矿石变化和设施影响，不能只选择最有利的短期窗口。

对于方案比较，可采用多情景分析：基准矿石、偏硬矿石、含泥矿石、低品位矿石及水质不利情景。每个情景计算产能、回收、能耗、水耗、药耗、残余物和风险指标，识别对假设最敏感的因素。方案只有在主要情景下保持可控，并有明确的失效边界，才适合进入放大或投资阶段。

12.4 治理与责任结构

总体框架需要一名对全流程价值负责的业务负责人，协调资源、生产、技术和风险决策；各专业负责人对数据、标准和屏障负责；班组对按窗口运行和异常升级负责；独立职能对关键风险和验证提供监督。责任不应以“参与”表述，而应明确谁提出、谁批准、谁执行、谁验证。

治理节奏包括每日状态确认、周度稳定性评审、月度综合价值评审和季度项目审查。重大变更、关键试验和风险越限进入专项评审。所有层级使用同一矿石类型、平衡口径和行动台账，确保现场问题能够上升为资源或投资决策，经营要求也能转化为可执行参数。

框架落地可用一张“价值—约束—行动”总图管理。左侧列出主要矿石类型和价值机会，中部列出工艺能力、资源系统与关键屏障，右侧列出当前行动、责任和验证节点。总图不替代专业流程图，而是让经营层看见技术项目之间的依赖关系。例如提高破碎能力若没有磨矿、尾矿和供电余量，就应被标记为条件性项目，而不是独立收益项目。

决策还应保留不确定性。资源模型、试验放大和市场条件都无法完全确定，可采用区间、情景和阶段性承诺。先为可逆、低风险措施配置资源，再对高资本、不可逆方案设置更严格证据门槛。这样既避免因追求完美信息而停滞，也防止在证据不足时一次性锁定高风险路线。

第 13 章 矿石流 流程与标准化机制

13.1 地质冶金模型与矿石分类

矿石分类应围绕流程响应建立，而不仅是地质名称。建议选择对破碎、磨矿、分选或浸出有显著影响的属性，如硬度、氧化程度、金的赋存、硫化物和黏土矿物含量、耗氧耗药特征及渗透性。通过代表性试验形成少量可操作的矿石类型，并给出属性区间、不确定性和推荐处理方式。分类过细会增加调度复杂度，过粗则无法解释波动，应根据决策价值迭代。

地质冶金模型要连接空间位置与加工响应。采样设计应覆盖矿体变化，测试方法保持可比，模型输出能够进入短中期计划。生产阶段将实际处理量、粒度、回收、消耗和尾矿性质回挂到矿石来源，用于校正预测。模型不是一次交付物，而是随开采推进和数据积累持续更新的经营工具。

13.2 配矿与堆场管理

配矿目标应从平均品位扩展到可选性稳定 and 风险控制。计划可设置品位、硬度、含泥量、硫化物或其他关键属性的区间，并考虑堆场容量、翻堆次数、物料识别和先进先出。对不相容矿石，应保持分区或分时处理，避免混合后丧失选择性。配矿方案还应匹配磨矿、浸出、尾矿和水系统的能力。

堆场是缓冲矿石波动的重要设施，也可能成为信息丢失点。每次入堆、移堆和出堆都应记录来源、吨位、类型和时间，使用清晰的现场标识与数字台账。发生混堆或来源不明时，应降低数据置信度并采取保守参数。盘点差异需要及时处理，避免库存误差进入金属平衡。

13.3 流程选择与参数窗口

流程选择应以矿物学、粒度和试验为依据。重选适合回收一定粒级的游离金，可减轻后续流程负担；浮选可富集含金硫化物，但需管理精矿后续处理和水质；氰化浸出适用性取决于金的暴露、耗氰耗氧组分和杂质；堆浸还高度依赖粒度、团聚、渗透和布液。难处理矿可能需要氧化预处理或其他路线，必须综合评价能耗、排放和残余物。

每一流程建立经过验证的参数窗口，而不是单一最佳点。窗口包括产能、粒度、浓度、pH、溶解氧、药剂浓度、停留时间、温度等关键变量，以及相互作用和禁止区域。参数调整应有优先顺序，避免多个变量同时改变导致因果不清。超出窗口时，系统应触发降负荷、分流、补充试验或管理升级。

13.4 标准作业与变更闭环

标准作业应说明正常启动、稳定运行、切换矿石、停机、检维修和异常恢复，不只列出设备按钮。对关键步骤，写明操作目的、前置条件、允许范围、确认方法和升级条件。图表和流程图保持与现场一致，班组能够快速定位。培训采用情景演练，检验人员面对多重异常时的判断。

标准需要由实际数据维护。试验或改造获得稳定证据后，更新参数窗口、控制逻辑、备件和培训；出现重大偏差时，开展根因分析并验证纠正措施。未经审批的临时做法不能长期存在。通过版本控制和现场核查，确保最新标准真正被使用，而不是只完成文件签发。

第 14 章 数据指标与分析机制

14.1 数据架构与语义统一

数据架构应围绕生产对象组织。矿石批次、设备、流股、样品、测点、班次和事件形成关联，地质、调度、控制、化验、设备和环境系统通过稳定接口交换。主数据变更由业务负责人审核，避免同一设备或物料出现多个名称。时间同步、单位和时区统一，历史数据保留原始值与质量标记。

数据分层可包括原始层、质量处理层、业务主题层和应用层。原始层不可覆盖，保证可追溯；质量层处理校准、缺失和异常，但保留规则；主题层形成矿石、金属、水、能源、药剂和设备模型；应用层支持报表、诊断和控制。分层的目的不是增加技术复杂度，而是防止每个应用重复清洗并得出不同结论。

14.2 指标树与口径管理

指标树从综合价值向下分解为产出、回收、产能、消耗、质量、可靠性和风险，再连接到行动参数。每个指标应有定义、公式、边界、时间窗口、数据源、责任人和适用条件。对回收率、能耗和水循环等常用指标，尤其要说明库存变化、分母和异常数据处理。

指标分为底线、结果、驱动和诊断四类。底线指标触发停止或升级；结果指标评价目标；驱动指标提前反映趋势；诊断指标用于查因。大屏和经营报告只展示与决策相关的少量指标，专业分析保留详细维度。指标数量越多并不代表管理越精细，关键是每个指标能引导正确行动。

14.3 分析方法与模型治理

分析从描述、诊断、预测到优化逐步深入。描述分析确认发生了什么，诊断分析结合机理和事件解释原因，预测分析估计未来状态和不确定性，优化分析在约束下提出动作。统计相关性必须经过时间对齐、混杂因素检查和现场验证，不能将同时变化误判为因果。

模型治理包含版本、训练数据、适用范围、性能、偏差和退出机制。矿石类型或设备改造后应检查模型漂移；输入超出训练范围时，模型应提示低置信度而非继续输出确定建议。关键模型由工艺和数据团队共同负责，变更经过验证。任何自动控制模型都必须受硬边界和独立联锁保护。

14.4 可视化与决策界面

可视化应服务具体角色。班组界面突出当前状态、趋势、允许范围和操作优先级；专业界面支持多变量分析、事件回放和矿石对比；经营界面展示综合价值、主要约束和行动闭环。颜色只用于状态和重点，避免过多装饰。报警应有分级、抑制和确认规则，减少报警洪泛。

每个决策界面都应回答四个问题：现状是否可信，偏差为何发生，下一步可采取什么动作，动作是否在安全边界内。界面上线后通过实际使用评估，包括响应时间、误报、遗漏和行动完成率。若用户仍需导出数据另行计算，说明界面尚未覆盖真实工作流。

数据分析要防止“平均值陷阱”。同一月度平均回收率可能来自稳定运行，也可能来自高低剧烈波动；相同单位能耗可能对应不同硬度和负荷。报表应保留分布、区间和状态分类，在矿石类型、班次、设备状态与季节之间做可比分析。对于低频高后果事件，不能用平均发生率淡化，应单独跟踪屏障状态和最不利情景。

指标发布前需要完成三项核对：数值能否回到原始记录，公式是否与管理定义一致，变化能否得到业务解释。关键经营数字出现重大修订时，应记录原因和影响范围。通过数据血缘和版本管理，避免不同会议使用不同结果。分析团队的绩效也应看建议被采用后的实际效果，而不是模型和报表数量。

第 15 章 核心工艺协同与动态控制机制

15.1 破碎磨矿与分级协同

破碎磨矿的目标不是获得越细越好的产品，而是在合理能耗和产能下实现目标矿物解离。控制应结合矿石硬度、给料粒度、磨机负荷、功率、循环负荷和产品粒度。硬矿进入时，可通过给料、介质和分级协调保持稳定；含泥矿则需关注筛分、黏附和浆体流变。单独调整水量或给料往往只能暂时掩盖问题。

评价磨矿优化时，应同时观察粒度分布而非单一筛下率、目标矿物解离、后续回收、单位能耗和设备磨损。若粗粒回收损失与细粒泥化同时存在，可能需要改善分级效率或实施分流，而不是整体加细。早期预选或预抛废应通过矿石可分性和金损失验证，避免将有价值矿物误弃。

15.2 重选浮选与浸出组合

工艺组合取决于金的赋存。存在可重选游离金时，早收早得可以降低循环金负荷，但重选尾矿仍需进入后续流程；含金硫化物可通过浮选富集，但精矿处理路线决定总体价值；直接浸出适合金暴露和杂质可控的物料。组合设计应比较金属去向、物料量、能耗、药剂和残余物，而不是逐段最大化回收。

对于边界矿石，可采用分流策略：根据在线或快速检测把物料送入不同路线，或调整停留和药剂。分流阈值必须由试验和经济评价确定，并设置误判成本。流程切换时需要考虑系统滞留和混料，不能以瞬时数据评价。产品、中间品和尾矿均应定期开展矿物学检查，确认损失形态是否改变。

15.3 浸出与溶液系统控制

浸出控制围绕金的暴露、pH、氧化还原条件、溶解氧、药剂浓度、矿浆浓度和停留时间。药剂浓度应根据反应需求和风险边界调整，过量不能替代混合、供氧或粒度问题。溶液系统具有循环和库存，局部浓度变化可能需要数个停留时间才反映到产出，控制逻辑必须考虑时延。

堆浸系统还需要管理筑堆质量、粒度和细粉、团聚、布液均匀、渗透和防渗。短路、沟流和局部饱和会使平均布液量失去意义。通过分区流量、压力、液位、溶液品位和堆体状态识别问题，并保持事件记录。极端天气前应复核库容、排水和应急能力，不以提高喷淋强度追赶短期产量。

15.4 吸附 解吸与电积平衡

活性炭吸附系统需要在溶液品位、炭浓度、炭活性、流向和转移频率之间平衡。炭磨损、细炭损失和有机或无机污染会降低有效容量。只提高炭量可能增加在制品和操作复杂度。应建立炭库存与金载量平衡，监测各级溶液和炭状态，优化转移和再生。

解吸、电积和精炼受上游杂质和批次节奏影响。上游应提供稳定的载金炭质量，下游反馈解吸效率、电积状态和杂质趋势。检修和批次安排需要与吸附系统协调，防止炭库存或溶液库存异常。整个金房区域执行严格的安全、计量、权限和双人核对，确保金属流向可追溯。

第 16 章 循环利用与绿色工程机制

16.1 分质水循环与污染防治

水循环首先进行水质分区。高质量补充水优先用于对水质敏感的环节，工艺回水根据盐分、悬浮物和残余药剂决定去向，受污染雨水和事故水单独收集。通过储水设施、管网和在线监测实现调度，避免清污混合后扩大处理量。水平衡与天气预报、生产计划和尾矿库运行联动。

污染防治优先于末端处理。通过减少跑冒滴漏、优化冲洗、提高浓密和过滤效率、控制药剂和回收有价值组分，可以降低废水负荷。确需处理时，根据污染物形态选择工艺，并验证处理产物去向。回用水质必须满足生产适用性，不能仅以排放标准判断可回用。

16.2 能源效率与低碳改造

能源管理从负荷画像开始，识别基荷、随产量变化的有效负荷和异常损失。大型电机、泵和风机通过效率曲线、变频控制和系统阻力优化提升效率；磨矿通过矿石分型、负荷控制和分级改善减少无效能量；余热和压力能在技术经济可行时回收。任何改造都要验证工艺结果和设备寿命。

低碳评价应避免只计算设备铭牌节能。基线需校正矿石硬度、处理量、环境温度和产品质量要求，改造后在相同口径下比较。用电结构变化、可再生能源和储能可纳入规划，但必须满足连续生产和安全需求。碳指标与能源、产量和矿石条件关联，才能支持真实决策。

16.3 药剂减量与闭路管理

药剂减量不是简单降低设定值，而是提高有效利用率。措施包括改善配制浓度和混合、校准计量泵、优化加药点、根据矿石和水质动态调整、减少短路与泄漏，并回收可利用组分。药剂试验同时评价回收、选择性、尾液、尾渣和后续处理，避免在前端减量却增加后端负担。

对氰化物等关键物质，建立从供应商资质、运输、接收、储存、配制、使用、在线监测到应急和退役的闭路台账。容器、管线、阀门和围堰按风险等级检查，事故池与处理设施保持可用容量。培训覆盖接触防护、泄漏隔离、救援和报告，演练结果用于改进设施与程序。[6][10]

16.4 残余物资源化与生态修复

废石、尾矿和氰渣的资源化必须以安全和环境风险可控为前提。潜在路径包括回填、有价值组分再回收、建筑材料利用等，但需依据成分、浸出特性、放射性、物理性能和长期稳定性开展评价，并符合相应标准和许可。资源化不能成为降低处置责任的名义安排，去向和质量需可追溯。[5][6]

生态修复应在生产期同步规划，明确土地利用目标、地形重塑、水土保持、土壤和植被恢复、监测与资金安排。边开采边修复可以减少累积扰动并验证方法。闭矿方案随矿山计划更新，最终地貌、排水和设施稳定性按长期风险评价。修复效果以生态功能和持续稳定为导向，而不只看短期绿化面积。[1][4]

第 17 章 风险治理 客户价值与持续运营机制

17.1 基于屏障的风险治理

风险治理应从危险源和后果出发，识别预防、检测、控制、缓解和恢复屏障。对氰化物泄漏、尾矿输送破裂、槽罐溢流、停电、极端降雨和关键设备失效等场景，明确每道屏障的功能、责任、性能标准和验证频率。检查不能只确认设施存在，还要确认在需要时能够动作。

关键控制应进入班组确认和管理审计。在线联锁、液位、压力、渗漏检测、围堰、事故池、备用电源和应急物资分别设定状态要求。屏障失效时，根据剩余保护能力决定降负荷或停产。风险台账与生产计划、检维修和变更管理联动，防止在屏障不可用时继续提高负荷。

17.2 价值交付与客户需求

客户价值既包括稳定、合格的金产品，也包括可预测交付、合规运行和风险透明。内部客户通过交付标准衔接，外部客户和利益相关者通过质量、责任和信息获得信任。企业应把质量、环境和安全要求转化为流程输入，而不是在产品或报告完成后才检查。

需求变化需要正式评审。产品规格、原料结构、产量计划或披露要求发生变化时，评估对矿石选择、工艺、设备、残余物和人员的影响。销售承诺不得超越已验证产能和质量窗口。对监管与社区关切，提供准确的监测和整改信息，并说明适用边界，避免用宣传性语言替代事实。



17.3 人员能力与组织学习

复杂系统的稳定运行依赖跨专业理解。岗位能力模型应覆盖工艺机理、操作技能、风险控制、数据判断和异常处置。新员工完成基础培训和现场验证，关键岗位定期复训，重大变更前开展专项培训。培训考核不只测试记忆，还通过模拟情景观察判断和沟通。

组织学习来自试验、事件和日常偏差。近失事件和小幅越限具有预警价值，应鼓励报告并保护事实讨论。复盘聚焦系统原因，包括目标、设计、程序、资源和监督，而不是简单归责个人。纠正措施要验证有效性，并跨相似设备和流程检查共性风险。

17.4 持续运营与韧性

持续运营要求系统在矿石变化、设备故障、供应中断和极端天气下保持安全可控。关键物资和备件根据交付周期与失效后果设置库存，备用设施定期带载测试，供应商方案评估替代性。生产计划设置合理缓冲，不把所有能力用于常态最大负荷。

韧性评价关注检测、响应、恢复和学习。企业可记录异常发现时间、受控时间、恢复时间、金属损失、环境影响和措施关闭周期。演练应涵盖夜班、通信中断和多重故障，不预先告知全部细节。演练发现的问题进入投资和培训计划，形成从风险识别到能力提升的闭环。

持续运营还需要管理关键知识的单点依赖。对核心控制逻辑、工艺模型、设备参数和应急程序，至少安排交叉培训和代理责任，重要配置保留受控备份。岗位交接既移交当前状态，也移交未解决问题、临时措施和假设。人员变化不应导致风险台账和工艺边界重新从零建立。

面对外部供应中断，企业应识别关键药剂、备件、分析耗材和技术服务的替代方案，并在使用前验证相容性。替代并不只是采购问题，可能改变工艺、质量和残余物性质，因此仍需执行变更管理。通过情景推演预先确定优先级和降级产能，可减少紧急情况下的仓促决策。

第 18 章 典型场景与实施路线

18.1 场景一 矿石波动导致回收下降

行业典型场景是新矿段投产后，磨机负荷、粒度和浸出指标同时波动，团队通过增加药剂和降低处理量维持回收。实施路径首先冻结非必要调整并核查取样、计量和矿石来源；随后将新矿段样品按矿物学、硬度和耗药特征分型，开展可选性与诊断试验；再把类型编码接入供矿计划，设置配矿区间和对应参数窗口；最后通过一段稳定生产周期验证回收、产能、能耗与尾渣变化。

该场景的里程碑包括：建立可信基线，形成矿石类型与响应关系，完成受控生产试验，发布配矿和切换标准。地质团队负责来源和代表性，选冶团队负责试验和参数，计划团队负责供矿序列，化验团队负责数据质量，经营层批准产能与风险权衡。若新矿石超出已验证范围，应保持分区管理并安排补充试验。

实施路线

基线诊断	试验验证	工程改造	运行固化	持续优化
------	------	------	------	------

图 18-1 从诊断到固化的分阶段实施路线

18.2 场景二 回水增加引发工艺不稳

另一典型场景是为降低新水取用提高回水比例后，浮选、絮凝或浸出效果出现季节性变化。实施时先建立水平衡和水质画像，识别盐分、悬浮物、金属离子和残余药剂的积累；通过小型或旁路试验确定敏感指标与可接受范围；随后实施分质分用、必要处理和动态调度，并在生产界面显示水质与工艺结果的关联。

里程碑包括完成水系统流向核对、确定关键水质阈值、改造采样与储存、验证雨季和枯水期方案。环保团队负责水质与合规边界，工艺团队评估相容性，设备团队保证管网和处理设施，计划团队协调库存。成效不能只看回水率，还要同时观察新水量、药耗、回收、排放和异常频次。

18.3 场景三 低品位物料的分流利用

低品位物料是否进入主流程、堆浸、预选或暂存，需要基于可选性和全周期价值判断。示例路径是先按矿石性质和空间分布建立候选分流单元，开展粒度、预选、重选或浸出试验，计算不同路线的金属回收、处理量、能耗、水耗、药耗和残余物；对关键假设进行价格、回收和成本敏感性分析，再选择小规模验证。

实施需设明确停止条件。若金损失、渗透、药耗或环境风险超出边界，应暂停放大。通过验证后，建立分流检测、堆场隔离、批次追踪和结算口径。该场景不意味着所有低品位资源都适合开发，决定应服从资源条件、许可、安全、市场和闭矿责任。

18.4 分阶段实施计划

第一阶段为零至三个月的基线期，完成材料核对、矿石类型初步定义、物料金属水平衡、关键测点审计和风险清单。第二阶段为三至九个月的稳定期，修复测量与标准，建立配矿和参数窗口，选择一个高价值场景开展受控试验。第三阶段为九至十八个月的协同期，打通计划、控制、化验、设备和环境数据，形成周月评审机制。第四阶段在证据充分后扩展预测和优化控制。

每个阶段设置进入和退出条件。未达到数据质量和安全边界，不进入自动优化；试验未覆盖主要矿石和季节条件，不扩大应用；项目收益无法经平衡和相同口径验证，不宣告完成。实施组合由经营负责人统筹，技术、环保、安全和财务共同审查，确保资源投入集中在真正限制综合价值的环节。

实施计划应同步安排沟通与能力建设。项目启动时向班组说明问题、边界和数据用途，避免把监测理解为单纯考核；试验期间由操作人员参与现象记录和异常判断；形成新标准后，通过现场演练确认理解。供应商或外部专家的工作须由内部技术负责人接收，完整移交模型假设、配置、源数据和维护方法，避免项目结束后系统无人维护。

项目组合可按“基础能力、快速改善、结构改造”三类管理。基础能力项目修复测量、标准和风险屏障；快速改善项目在现有设备上优化控制；结构改造项目解决产能或流程瓶颈。三类项目

的收益周期不同，但存在先后依赖。基础测量未完成时，结构改造的收益很难被可靠证明；风险屏障不足时，任何增产项目都不应优先。

第 19 章 效果评价 风险合规与持续改进

19.1 评价指标与基线

效果评价采用底线、效率、稳定性和能力四组指标。底线组包括安全环保越限、重大屏障状态和产品合格；效率组包括可归属金属回收、处理量、单位能耗、水耗、药耗和残余物；稳定性组包括关键参数波动、异常频次、恢复时间和计划达成；能力组包括数据质量、标准执行、试验闭环和人员胜任。指标应明确边界、时间窗口和置信度。

基线需覆盖有代表性的矿石、负荷和季节，排除或单独标记重大停机和库存变化。改造前后使用相同取样、计算和价格假设，必要时通过配对或分层比较控制矿石差异。短期改善需要经过足够运行周期验证，尤其是涉及尾矿、水质和设备寿命的项目，不能以试运行最佳周作为长期效果。

绩效闭环



图 19-1 绩效指标与持续改进闭环

19.2 合规管理与证据链

合规体系应把法律法规、许可证、标准和企业控制转化为责任清单。每项要求对应适用设施、控制措施、监测记录、报告频率和责任人，变更时及时更新。矿产资源开发、生态修复、污染防治、危险物质和矿山安全分别有不同监管逻辑，但在现场通过同一流程和设备交汇，需要统一协调。[1][2][5][6][7]

证据链要求现场状态、仪表数据、化验记录、台账和对外报告一致。自动采集不能替代校准和人工核查，手工记录也应有审批与防篡改措施。发现偏差时先控制风险，再保留事实、调查原因和验证整改。对无法即时关闭的问题，设置临时屏障、期限和升级机制。

19.3 风险评审与独立保证

高后果设施和关键控制需要与日常生产相对独立的评审。尾矿设施、氰化物系统、事故水、重要联锁和闭矿方案可根据风险等级安排内部独立审查或外部专业复核。评审范围包括设计基础、实际状态、监测趋势、变更、应急和人员能力，结论应形成可追踪行动。[9][10]

独立保证不等于把责任转移给评审方。经营主体仍需提供完整信息、审查意见和资源，并确认措施关闭。对外认证或自愿性规范可增强治理，但不能替代法定许可和监管。评审频率应随设施状态、后果和变化调整，重大异常后及时开展专项复核。

19.4 持续改进闭环

持续改进采用“发现—优先—实施—验证—标准化”闭环。问题来源包括指标偏差、现场观察、近失事件、审计、员工建议和利益相关者反馈。优先级按安全环保后果、金属价值、频次和解决难度确定，防止资源被大量低价值事项分散。实施措施有负责人、时限、资源和验证方法。

验证通过后，将结果更新到模型、操作标准、维护策略、培训和投资准则；未达到预期则保留失败原因，调整假设或停止项目。经营层按季度审查改进组合，既看收益，也看风险降低和能力建设。持续改进的目标不是保持项目数量，而是让系统对变化的识别、响应和学习速度不断提高。

改进闭环还需要防止成果回退。对已经关闭的重大问题，可在三个月或一个代表性生产周期后复查，确认措施仍在执行、指标没有反弹、人员变化没有削弱控制。若结果依赖临时人员、额外加班或持续人工补偿，就不能认定为稳定解决。只有措施进入标准流程、资源配置和日常监督，并在正常条件下持续有效，问题才真正关闭。

企业可以每年选择少量代表性项目进行效益后评估，比较最初假设、实际投入、生产影响和长期维护成本。后评估不以追责为目的，而是改进下一轮项目筛选和放大规则。成功与失败都应形成可复用知识，逐步提高投资判断的准确性。

第 20 章 适用边界 推广条件与结论

20.1 适用边界

本报告适用于黄金矿山采选冶系统的规划、诊断、改造和运行管理，可为低品位资源利用、绿色矿山建设和数字化改造提供框架。不同矿床、矿石类型、开采方式、工艺路线、气候和法规条件差异显著，文中机制不能替代具体项目试验、设计和审批。涉及氰化物、尾矿、危险废物和生态修复时，应采用更严格的现场风险评价和法定要求。

报告不提供固定回收率、药剂浓度、粒度或投资收益基准，因为这些参数必须由矿石性质、设备和试验确定。行业典型场景不代表作者或所在单位的实际项目，也不构成对任何技术供应商的推荐。对外使用时，应避免把条件性分析改写为既有业绩或保证性承诺。

20.2 推广条件

推广首先需要可靠事实底座，包括代表性取样、计量、化验、物料与金属平衡以及矿石来源追踪。其次需要跨专业治理，使资源、生产、环保、安全、设备和财务对同一目标和边界作出决策。再次需要分阶段验证，从试验室、中试或旁路到生产放大，每一步都有停止和回退条件。最后需要把结果标准化并持续审查。

若企业尚未具备完整数字平台，也可从少量高价值数据和人工闭环开始。优先修复关键测量、矿石分类和异常记录，再逐步自动化。相反，若数据质量、责任和操作标准尚不稳定，直接引入复杂算法往往难以持续。技术先进性应以现场可用、风险可控和结果可验证来判断。

20.3 未来趋势

黄金产业将继续面对资源保障、深部开采、复杂低品位矿利用和绿色安全约束。传感、矿物识别、先进控制和智能分析有望增强矿石分流、流程预测和设备维护能力；无氰或低氰技术、难处理矿预处理、尾矿再利用和水能源协同将持续发展。[3] 但新技术的规模化需要经过完整的物料、风险和生命周期验证。

治理趋势也将从单项合规转向全过程责任。矿区生态修复、尾矿长期安全、危险物质供应链、气候韧性和信息披露将更多进入经营决策。[4][9] 企业需要把技术能力与透明治理结合，既能提高资源效率，也能说明风险如何被识别、控制和验证。

20.4 结论与行动建议

黄金矿山绿色选冶的本质，是在安全环保边界内，以矿石性质驱动全流程协同，持续提高单位资源的可归属价值。实现这一目标不能依靠单台设备、单项药剂或单个算法，而需要矿石流、工艺流、数据流和风险流对齐。物料、金属和水平衡构成共同事实，参数窗口和屏障管理构成运行规则，试验、变更和复盘构成学习机制。

建议企业按四项行动启动：建立矿石类型与流程响应图谱；重建全流程平衡和关键测量；选择一个跨工段瓶颈开展受控验证；把验证结果写入标准、数据和责任体系。随后再扩展到水、能源、药剂、尾矿和数字优化。管理者最终需要作出的判断，不是是否追求某个最高指标，而是所选择的系统路径能否在主要矿石和风险情景下长期、稳定、合规地创造价值。

对已经具备较好基础的企业，下一步重点是把分散的优化活动纳入统一投资与风险框架，减少重复试验和局部最优；对基础薄弱的企业，优先完成计量、取样、标准作业和关键屏障，不应以复杂平台替代基本管理。两类企业都需要把尾矿、生态修复和闭矿责任前置到当前决策，因为今天的矿石和工艺选择会决定未来长期负担。

本报告的中心命题最终可归纳为：以可验证的矿石知识为输入，以全流程平衡为事实，以安全环保约束为边界，以跨专业协同和持续学习为机制，黄金矿山才能把绿色要求转化为生产能力，把资源效率转化为长期价值。该命题既适用于单项改造的审查，也适用于矿山整体转型的路线选择。



参考来源

- [1] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国矿产资源法（中华人民共和国主席令第三十六号）.
<https://policy.mofcom.gov.cn/claw/clawContent.shtml?id=102538>
- [2] 国务院. 中华人民共和国矿产资源法实施条例（国务院令 第 839 号）.
https://www.cgs.gov.cn/zcwj/202605/t20260521_860440.html
- [3] 工业和信息化部等九部门. 黄金产业高质量发展实施方案（2025—2027 年）（工信部联原（2025）86 号）.
https://www.miit.gov.cn/jgsj/ycls/wjfb/art/2025/art_76166792b70c412eb0c3992fcb92694.html
- [4] 自然资源部等七部门. 关于进一步加强绿色矿山建设的通知（自然资规〔2024〕1 号）.
https://www.cgs.gov.cn/zcwj/202404/t20240423_820787.html
- [5] 生态环境部. 黄金工业污染防治技术政策（公告 2020 年第 7 号）.
https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk01/202001/t20200121_760750.html
- [6] 生态环境部. 黄金行业氰渣污染控制技术规范（HJ 943—2018）.
https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/201803/t20180322_432841.shtml
- [7] 国家市场监督管理总局 国家标准化管理委员会. 金属非金属矿山安全规程（GB 16423—2020）.
<https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/newGbInfo?hcn=4BDAE60EAA106D3B78844741DAF3EBD8>
- [8] International Finance Corporation. Environmental Health and Safety Guidelines for Mining（未载明）.
<https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2000/2007-mining-ehs-guidelines-en.pdf>
- [9] UNEP ICMM PRI. Global Industry Standard on Tailings Management（未载明）. <https://globaltailingsreview.org/global-industry-standard/>
- [10] International Cyanide Management Institute. International Cyanide Management Code for the Manufacture Transport and Use of Cyanide in the Production of Gold（未载明）. <https://cyanidecode.org/wp-content/uploads/2021/06/01-The-Cyanide-Code-JUNE-2021.pdf>
- [11] International Organization for Standardization. Background information and guidance on environmental cyanide analysis（ISO/TR 19588:2017）. <https://www.iso.org/standard/65215.html>



智能工程与科技协会
AIET

黄金矿山绿色选冶与资源高效利用 技术应用发展报告（2025）

矿石性质驱动的全流程协同与绿色工程路径

发布日期

2026年10月28日

aiet.org.cn

行业研究 · 公开发布版