

# 青海高原某金矿绿色矿山建设探索与实践

申宁<sup>1,2,3</sup>, 杨德明<sup>1,2,3</sup>, 李帆<sup>1,2,3</sup>, 陈生凯<sup>1,2,3</sup>

(1. 青海省第六地质勘查院; 2. 都兰金辉矿业有限公司; 3. 青海省金矿资源开发工程技术研究中心)

**摘要:**绿色矿山建设是矿业健康可持续发展的时代要求。分析了青海高原某金矿发展短板,从矿区环境、资源开发方式、资源综合利用、节能减排、科技创新与数字化矿山及企业管理等6个方面进行绿色矿山建设实践,研发了科学先进的生产工艺,有效降低环境污染及设备能耗,居住环境明显改善。探索和总结出了适合于青海高原生态脆弱区的“青海高原绿色矿业发展新模式”,以期为类似金矿的绿色矿山建设提供借鉴。

**关键词:**青海高原;绿色矿山;资源综合利用;科技创新;企业管理

中图分类号:TD2

文章编号:1001-1277(2024)06-0096-05

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20240618

## 引言

黄金是重要的战略资源,兼具商品和战略属性,在满足人民生活需要、保障国家金融和经济安全等方面具有重要作用<sup>[1]</sup>。中国黄金行业在快速发展的同时也存在一些问题,主要表现为黄金矿业资源整合进展缓慢、地质勘查工作滞后、深部开采技术亟待突破、加工工艺技术相对落后、黄金市场及保障体系还需进一步完善等。为促进黄金行业转型升级,需尽快进行源头治理,实施绿色矿山建设。

2017年2月24日,工业和信息化部印发了《工业和信息化部关于推进黄金行业转型升级的指导意见》,要求全面建设绿色矿山,提高资源能源利用效率,增加高端新材料有效供给,推动重大示范工程实施<sup>[2]</sup>。绿色矿山是矿产资源开发利用与经济、环境相和谐的矿山,以“保环境、降消耗、持续发展”为目标,是矿业可持续发展的战略选择,是落实企业责任、加强自律,保证矿山企业健康发展的重要手段,是维护社会安定与促进社区和谐发展的重要举措,同时也是生态建设的重要内容<sup>[3]</sup>。

青海高原某金矿是集“探、采、选、尾矿综合利用”为一体的大型黄金矿山企业,矿区地处柴达木盆地南缘,昆仑山中段北坡,区内植被不发达,沙尘肆虐,生态环境十分脆弱。虽然矿山发展为地方经济做出了较大贡献,但在矿山开发利用中还存在一些与经济、生态和社会发展不相适应的矛盾和问题。绿色矿山是矿业发展的必然之路,为顺应新时代发展要求,走绿色高质量发展道路,该金矿深入落实“五大发

展”理念,认真践行“绿水青山就是金山银山”“在保护生态环境的前提下搞好开发利用”理念,以产业“四地”建设为引领,落实国家绿色矿山建设政策要求,结合矿山实际,对标对表,积极开展绿色矿山建设探索与实践。

## 1 青海高原某金矿发展短板

### 1.1 气候环境恶劣

矿区地处柴达木盆地南缘,昆仑山中段北坡,区内地形复杂,山势陡峭险要,地貌上属深切切割高山区,海拔为3 300~4 500 m,相对高差为80~300 m。矿区昼夜温差大、气候干旱少雨、沙尘肆虐,年最高气温28℃,最低气温-30℃,年平均气温4℃~5℃;年均降水量40 mm,蒸发量大于降水量,属典型的高原大陆性气候。矿区植被不发育,仅河床谷地有少量红柳等灌木生长,属高原荒漠区。

### 1.2 生产环境扰动大

该金矿年采选矿石量90万t,年产黄金约2t,主要采用空场采矿法、崩落采矿法采矿,选矿采用常规浮选工艺,浮选尾矿排入尾矿库。生产过程中,采矿废石多、井下裂隙水及废水多、尾矿排放量大、噪声及粉尘污染严重、矿区居住环境差等诸多因素,导致大量土地被占用、地表土壤污染等,对环境造成很大扰动,对职业健康产生较大危害。

### 1.3 水资源循环利用率低

1) 矿区干旱少雨,断裂发育,主要为北西西、北西、北北西向断裂,断裂达10余条,而其中较具规模且与成矿关系密切的主要有Ⅶ、Ⅸ、Ⅹ、Ⅺ等4条,还

有4~5条影响矿体形态、成矿后期形成的南北向断裂<sup>[4-5]</sup>,地下裂隙水资源较丰富。该金矿为地下开采,采矿方法以空场采矿法、无底柱分段崩落采矿法为主,采用平硐+斜坡道开拓方式,中段、分层、采准采切工程较多,导致裂隙水涌出点较多;但掘进时使用地表水,未能将地下裂隙水合理用于掘进工程,造成地下水在重力作用下沿排水沟排出,导致水资源浪费严重。

2)该金矿拥有2个选矿厂,年处理矿石量90万t,年生产时间240d左右,浮选工艺用水量较大。一选厂浮选尾矿经浓密机脱水后,底流泵送至尾矿库,溢流清水返回工艺循环利用;二选厂浮选尾矿自流至尾矿库沉降。矿山各环节用水统计结果见表1。

表1 矿山各环节用水统计结果

Table 1 Statistics of water use in various parts of the mine

用水环节	采矿	除尘	磨矿	设备冷却	冲洗	配药	合计
用水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	900	1 800	15 000	1 110	3 420	18	22 248

#### 1.4 生产低效高能耗

该金矿于2006年建成并投产,选矿厂生产能力为4 000 t/d,选矿设备老旧,自动化程度较低,且设备需全负荷运转才能完成生产任务,造成生产低效高能耗。2019年能源消费统计结果(半年)见表2,各主要耗能环节包括照明、通风设备运转、井下铲运机加油、选矿设备运转、重力机械车辆作业等。

表2 2019年能源消费统计结果(半年)

Table 2 Statistics of energy consumption in 2019 (half year)

指标	消耗量/t	折标系数	标煤量/tce	占比/%
电力	$1.886 6 \times 10^7$ <sup>a)</sup>	1.229 0	2 318.63	94.23
汽油	20.1	1.471 4	29.58	1.20
柴油	77.09	1.457 1	112.33	4.57
合计			2 460.53	100.00

注:a)单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

#### 1.5 生产方式落后

1)该金矿原采矿方法以无底柱分段崩落采矿法为主,而矿体由于严格受Ⅶ、Ⅸ、Ⅹ、Ⅺ等4条断裂控制,且成矿后期断裂发育,多以透镜状、条带状、脉状近平行排列分布,倾向 $20^\circ \sim 52^\circ$ ,倾角 $50^\circ \sim 83^\circ$ ,沿走向、倾向具明显膨大、狭缩、尖灭、再现及分支复合、波状弯曲现象,导致采矿设计难度大,矿石贫化率高、采矿回采率低,废石产生量多,处理难度较大。

2)该金矿机械设备落后、老旧,平巷掘进采用YT-28型气腿式凿岩机,竖井掘进采用吊罐、爬罐方式作业,施工人员直接暴露在易垮塌地区,同时存在掘进作业劳动强度大、安全性差、效率低、工期长等问

题<sup>[6]</sup>。井下人员运输车辆为皮卡,无防爆功能,安全性低。依据矿体赋存条件及开采技术条件,矿山选用无底柱分段崩落采矿法、空场采矿法进行回采,但仍存在矿石贫化率高、采矿回采率低、生产效率低等问题。此外,这2种方法缺少对围岩和地表的保护,随着回采深度增加,地压问题凸显,形成地下采空区和地表塌陷区。

## 2 绿色矿山建设探索与实践

### 2.1 打造“花园式”矿山

针对干旱少雨、生态脆弱的矿区环境,因地制宜地选择适合当地的披碱草、沙棘、红柳等植物,研发了青稞和披碱草混合种植、树木深栽、乔灌木套种等一系列适合矿区的绿化和复垦技术,矿区种植的各类花草达40余种,各类乔、灌木类植物达20余种,矿区绿化面积约23万 $\text{m}^2$ ,形成了沙漠戈壁的一片绿洲。采取硬化、美化、亮化措施,矿区规划建设布局合理,办公、生产、生活实现功能分区,各类设施设备齐全有效,标识标牌规范统一,生产废渣、废油、化验废液及生活垃圾合规处置,基本实现了生活区绿化、硬化、水域的全覆盖。矿区环境干净整洁,打造了“花园式”矿山,创造了拴心留人的矿区环境。矿区环境对比见图1。



图1 矿区环境对比

Fig. 1 Comparison of environments in the mining area

### 2.2 科学合理开发资源

1)地质勘查方面。总结以往探矿经验,整理、归纳、研究前期地质资料,积极开展备采区生产探矿和采矿区勘查,深入研究矿体赋存规律,同时开展矿区深部找矿靶区优选研究。2022年,生产探矿工作结

束后新增探明+控制矿石量 183 万 t,为采矿设计提供翔实可靠的地质依据,进一步加大了盲矿体,特别是隐伏矿体找矿工作力度,使三级矿量有效平衡,有力增强了地质勘查在矿山发展中的基础作用。

2)采矿方面。面对以往重数量轻质量的问题,结合矿山实际,积极开展采矿方法研究,针对不同矿体形态、品位,使用以空场采矿法为主,充填采矿法、留矿采矿法、无底柱分段崩落采矿法等多种采矿方法灵活运用的采矿模式。针对厚大矿体采用空场采矿法、无底柱分段崩落采矿法、干式充填采矿法,薄小矿体采用留矿采矿法等,在保证采矿量的同时,提高了矿石品位,有效提升了采矿回采率,降低了矿石贫化率,矿石贫化率为 17.87%,采矿回采率为 90.11%。同时,购买低能耗、自动化、智能化的矿山机械设备,如凿岩台车、天井钻机、遥控铲运机、自动装药机、矿山井下专用防爆车辆等,作业效率、安全性大大提高。

3)选矿方面。根据矿石性质特征,不断优化配矿和选矿工艺。深入实行产学研合作、“请进来走出去”战略,与国内高校、科研院所等进行项目合作,开展选矿厂流程考查及诊断、组合用药、高效浮选工艺可行性研究,浮选时间和放大系数的优化研究,扩能改造及实践等。选矿厂设备运转率由 85.35% 提高至 95.90%,磨矿细度  $-0.074\text{ mm}$  占比由 68.91% 提高至 83.22%,在原矿品位降低至  $1.94\text{ g/t}$  的情况下,金富集比大于 11,金浮选回收率由 77.41% 提高至 80.94%,指标改善较好,显著提高了金矿资源的利用率和企业的经济效益<sup>[7-12]</sup>。

### 2.3 实现“三废”零排放

为切实达到废渣、废水和废气“三废”零排放,节约资源,节能降耗,综合利用的目的,因地制宜,就地利用,开展诸多创新性工作。

1)废渣。空场采矿法产生的采空区利用井下产出的废石进行嗣后充填,砌筑岩石封闭墙隔离采空区。地表塌陷坑利用每年掘进的废石进行回填,并在后期进行覆土绿化。剩余废渣用于道路硬化及轨道运输系统垫渣,同时利用井下废渣因地制宜就近建成了 3220 采运矿调度中心(见图 2),极大减少了废渣的排放,实现废渣不出井或少出井,既减少了占地面积,又有效控制了地表塌陷;生活垃圾采取与当地有资质的垃圾处理单位合作,做到定点存放、及时拉运,交由有相关资质的第三方合规处置。

2)废水。矿山进一步完善了选矿废水(选矿工艺排放—尾矿库收集—选矿工艺再利用)、采矿废水(采掘、裂隙产生—井下沉淀池沉淀—采矿再利用)、生活废水(生活产生—处理池处理—绿化及降尘再



图 2 利用井下废渣建成的采运矿调度中心

Fig. 2 Dispatch center for mining and transportation utilizing underground waste materials

利用)的循环利用系统,提高了水资源的循环利用率,回水利用率整体达 95.0% 以上;修建污水处理厂,使用一体化污水处理设备处理生活污水,达到 GB 8978—1996《污水综合排放标准》要求,处理后的污水全部用于矿区绿化、美化。

3)废气。矿山建立了产尘点清单,并在各产尘点采取行之有效的抑尘措施。运矿方式由汽车运输改为轨道运输,减少了运矿过程中的粉尘污染,汽车运输路段采用洒水抑尘。原矿堆场、金精粉晾晒场建有“三围一顶”设施,对选矿厂除尘设备进行技术改造,采用国际先进的矩形等速管除尘技术,实现了车间和除尘设备外排粉尘浓度低于国家标准,回收的粉尘返回车间进行选别,不仅改善和保护了环境,而且提高了资源利用率;将燃煤锅炉供暖改造为高效节能、集中控制的电暖气供暖,杜绝了废气排放。选矿、化验、测试设备齐全、建设规范有序,测试中心配置了酸气、烟尘处理系统,生产过程中产生的酸气、烟尘等有毒有害气体通过处理系统进行回收或达标排放。

4)节能降耗。坚持“降本增效、提质增效、节约增效”的经营理念,通过多方考察调研,积极借鉴国内先进矿山企业的高效节能工艺、设备,持续进行节能改造工程,淘汰了一批高能耗、低效率、危险系数高的老旧设备,积极引进新型低能耗、高效率、安全的设备,涵盖生产生活等各个方面,尤其是 2021 年钢胶复合衬板和橡胶衬板替代金属衬板的成功实施,球磨机能耗降低 20%,节能成效明显。

5)噪声。对选矿厂噪声最大的球磨机衬板材质和类型进行了分析研究,采用钢胶复合衬板和橡胶衬板替换金属衬板,一、二选矿厂噪声分别降至约 75 dB、40 dB,实现选矿厂噪声和厂界噪声均低于国家有关标准。

### 2.4 科技创新发展

1)科技创新。建立健全企业技术创新体系,完

善产学研用协同创新机制,拥有一支集地质勘查、采矿、选矿、实验测试、机械、安全、经济等专业的技术研发团队,以青海省金矿资源开发工程技术研究中心和省级企业技术中心为创新平台,围绕产业链部署创新链,大力实施产业化创新。近年来,实施省级科研项目5项、州局级科研项目6项、公司级科研项目42项,获得省级科研成果12项,授权发明专利3件、实用新型专利29件,获得各类科技成果奖励16项,发表科技论文100余篇。积极开展“全员促创新”活动,鼓励全体员工参与自主创新,获得奖励的创新项目达327项。2016年至今,研发投入共计10 137.62万元,占营业收入的4.47%。通过研发费用税前加计扣除及享受高新技术企业税收优惠政策,共计为企业减免企业所得税4 233.03万元。通过科技创新引领发展,有效降低了生产成本,提高了企业的经济效益,有力促进了生产力的发展,为矿山可持续、高质量发展提供了动力源泉。

2)数字化矿山。持续完善矿山 Micromine 三维软件数据库,形成地、采、测为一体的三维可视化建模管理;建成集井下安全避险“六大系统”管控(见图3)、采矿生产调度、轨道运输调度为一体的数字化矿山综合调度平台;完善尾矿库视频监控系统,实现对尾矿库坝体、回水设备、回水泵房等关键部位的24 h监控。设立小型气象站,对矿区内降雨量、蒸发量、空气湿度等参数进行观测统计,为尾矿库安全高效运行积累了可靠的气象数据。通过对地、测、采、选、尾矿各环节的改造,实现了矿山生产的机械化、可控化、可视化、数字化。

## 2.5 精细化管理

1)矿山成立了绿色矿山建设领导小组,建立了绿色矿山建设管理体系,结合实际制定并出台了《绿色矿山建设企业标准》,对标对表将绿色矿山建设任务及要求分解到各部门,并签订目标责任书,落实考核制度,加强绿色矿山建设宣传教育,压实绿色矿山建设责任。例如:春季土地解冻后,积极行动,把植树造林种草作为每一位公司员工的“必修课”。

2)严格遵守《矿产资源法》等法律法规,采矿(许可)证、安全生产许可证、排污许可证等各类证照齐全有效,认真执行《矿产资源开发利用方案》《矿山地质环境保护与治理恢复方案》《矿山土地复垦方案》等,实现矿产资源开发利用活动依法有序开展。

3)开发过程中严格执行“边开采、边治理、边恢复”“谁开发、谁保护、谁破坏、谁治理”的原则,最大限度地有效利用和保护土地资源。按照环境恢复与土地复垦方案,有序推进复垦工作,做到资源开发利用方案、矿山地质环境保护与土地复垦方案同时设



图3 井下安全避险“六大系统”控制中心及井下避险硐室  
Fig.3 "six systems" control center and underground refuge chamber for underground safety and refuge

计、同时施工、同时投入生产和管理,确保区域整体生态功能得到保护和恢复,与周边自然环境协调共生。建立危险废物台账,制定危险废物应急预案,设备废油及化验废液交由有资质的第三方合规处置。

4)建立环境监测长效机制,开展矿区粉尘、地表水、生产废水、噪声、土壤等环境监测,构建应对突发环境事件的应急响应机制,切实加强环境管理与监测工作,取得了环境管理体系认证。

5)严格落实企业安全生产主体责任,建立健全安全生产管理机构、人员和管理制度,加大安全投入,完善安全设施设备。根据不同岗位开展有针对性的“三级安全教育”工作,层层落实安全生产责任制,努力打造本质安全型企业。配齐配强安全管理人员,实现了生产各环节有专、兼职安全员24 h跟班巡查,大力开展隐患排查治理工作,从源头杜绝事故的发生。制定完善各类制度和事故应急预案,积极开展应急救援演练,提高应急救援能力。2018年、2019年连续两年荣获“省级安全生产先进企业”。

6)在做好生产经营发展的同时,主动履行企业社会责任,扎实落实“脱贫攻坚”,提出了“快乐主动扶贫、稳健快速脱贫”的扶贫工作思路,与7个贫困村进行了对口帮扶。因地制宜地采取扶贫措施,为脱贫攻坚做出了应有的贡献。此外,主动参与企业所在地的新农村共建,与当地群众营造了友好沟通、和睦相处的氛围,有力促进了企地和谐,得到了当地农牧民群众的赞颂和表扬,多次荣获县“民族团结进步先进企业”和州“社会扶贫先进企业”荣誉称号。

### 3 结 语

“绿水青山就是金山银山”，绿色矿山是矿业发展的必然选择。青海高原某金矿从矿区环境、资源开发方式、资源综合利用、节能减排、科技创新与数字化矿山及企业管理等6个方面进行深入探索与实践，坚持可持续发展，坚持节约优先、保护优先，在开发中保护，在保护中开发。通过多年探索与实践，先后获得各级“绿色矿山”称号，成为“全国绿色高质量发展二十佳矿山”。探索和总结出了适合于青海高原生态脆弱区的“青海高原绿色矿业发展新模式”，并成功通过了科技型企业 and 高新技术企业认定，为矿山高质量发展奠定基础。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王寿成,王京. 黄金战略重要性的变化与展望[J]. 中国国土资源经济,2019,32(5):33-37.
- [2] 丁汇锋,邱守文,杜永良,等. 红庆河煤矿绿色矿山建设实践[J]. 中国煤炭,2023,49(增刊1):103-106.
- [3] 黄金行业将全面建设绿色矿山[N]. 中国矿业报,2017-02-

10.

- [4] 马麟,孙江雄,祁有民. 青海都兰县五龙沟金矿床地质特征与矿床成因[J]. 矿产勘查,2021,12(9):1888-1897.
- [5] 李新本,祁焕斌,朱战挺. 深水潭金矿床成矿后期断裂构造研究对矿山实际生产的作用[J]. 能源与环保,2021,43(9):149-152,158.
- [6] 黄毅. 无底柱分段崩落采矿法地压控制[J]. 技术与市场,2012,19(4):103-104.
- [7] 明平田,周学其. 某难处理金矿选矿厂扩能改造及实践[J]. 黄金,2017,38(3):54-58.
- [8] 明平田,邢晴晴,洪秋阳. 某低品位难选金矿选矿厂流程考察及诊断[J]. 矿产综合利用,2018(1):128-132,114.
- [9] 明平田,李飞. 某微细粒蚀变岩型金矿高效浮选新工艺研究[J]. 矿产综合利用,2019(5):127-133.
- [10] 李飞,明平田. 某难选金矿高效浮选工艺可行性研究[J]. 有色金属(选矿部分),2019(6):50-57.
- [11] 明平田,李飞,熊召华,等. 某难选金矿选矿厂浮选时间和放大系数的优化研究[J]. 黄金科学技术,2022,30(4):623-631.
- [12] 赵开乐,张文谱,杨耀辉,等. 柴达木盆地某金矿石提质降杂试验[J]. 金属矿山,2023(4):110-116.

## Exploration and practice of green mine construction in a gold mine in Qinghai Plateau

Shen Ning<sup>1,2,3</sup>, Yang Deming<sup>1,2,3</sup>, Li Fan<sup>1,2,3</sup>, Chen Shengkai<sup>1,2,3</sup>

(1. Qinghai 6th Institute of Geology and Mineral Exploration; 2. Dulan Jinhui Mining Co., Ltd. ;

3. Engineering and Technology Research Center for the Development of Gold Mining Resources in Qinghai Province)

**Abstract:** Green mine construction is the era requirement for the healthy and sustainable development of the mining industry. This study analyzed the development shortcomings of a gold mine on Qinghai Plateau and practiced green mine construction from 6 aspects: mine site environment, resource development methods, resource utilization, energy saving and emission reduction, technological innovation and digitalized mining, and enterprise management. Scientifically advanced production processes were developed to effectively reduce environmental pollution and equipment energy consumption, leading to a significant improvement in the living environment. The exploration and summary of the "New Model of Green Mining Development on Qinghai Plateau" suitable for eco-fragile areas in Qinghai Province aim to provide a reference for the construction of green mines similar to gold mines.

**Keywords:** Qinghai Plateau; green mine; comprehensive utilization of resources; technological innovation; enterprise management