高海拔山地矿山无人机运输方案可行性研究*

武志伟[1]，陈抒录[2]，胡刚[3]，邵相弟[1]，刘健康[4]

（1.湖南理工职业技术学院， 湖南 湘潭市 411104；
2.湘潭市勘测设计院， 湖南 湘潭市 411100；
3.湖南省地质地理信息所(湖南省地质大数据中心)， 湖南 长沙 410007；
4.中化地质矿山总局湖南地质勘查院， 湖南 长沙 410018）

摘要：高海拔山地因地形地质条件复杂、生态环境脆弱、传统交通基础设施薄弱，严重制约了当地矿业经济的发展。为研究高海拔山地矿山运输方案，以西藏墨脱石锅原矿运输为研究对象，针对其高附加值、易碎损的特点，从技术可行性、经济性、安全性及环境适应性4个维度，对无人机运输、简易索道运输和胶带运输3种矿石运输方案进行对比分析。研究结果表明：在高海拔山地矿山运输这一特定场景下，无人机运输凭借其优异的地形适应能力、高时效性、低货物破损率及低环境影响扰动，可实现点对点运输；由于墨脱石锅原矿产能有限，无人机运输方案在前期基础设施投资与单位运输成本方面均优于简易索道和胶带运输方案，综合优势显著，是解决墨脱石锅原料出藏难题的较优方案；但无人机运输受空域限制与气象条件影响显著，空域申请周期长，管理严格，且该区域气象条件复杂，需严格执行飞行安全规范。

关键词：无人机；矿石运输；墨脱石锅矿；多方案对比；可行性研究

中图分类号：TD57　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1005-2763(2026)07-0242-06

Feasibility Study on Unmanned Aerial Vehicle Transportation Scheme for High-Altitude Mountain Mines

Wu Zhiwei[1], *Chen Shulu*[2], *Hu Gang*[3], *Shao Xiangdi*[1], *Liu Jiankang*[4]

(1.Hunan Vocational Institute of Technology, Xiangtan, Hunan 411104, China;
2.Survey and Design Institute of Xiangtan, Xiangtan, Hunan 411100, China;
3.Geological and Geographic Information Institute of Hunan Province
(Hunan Provincial Geological Big Data Center), Changsha, Hunan 410007, China;
4.Hunan Geological Exploration Institute of CCGMB, Changsha, Hunan 410018, China)

Abstract: High-altitude mountain areas severely restrict the development of the local mining economy due to complex topographic and geological conditions, fragile ecological environments, and weak traditional transportation infrastructure. To study transportation schemes for high-altitude mountain mines, the raw ore transportation of Motuo stone pots in Xizang was taken as the research object. Given its characteristics of high added value and susceptibility to breakage, three ore transportation schemes, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) transportation, simple cableway transportation, and belt conveyor transportation, were compared and analyzed from four dimensions: technical feasibility, economy, safety, and environmental adaptability. The research results indicate that in the specific scenario of high-altitude mountain mine transportation, UAV transportation achieves point-to-point transportation by virtue of its excellent terrain adaptability, high timeliness, low cargo breakage rate, and low environmental disturbance. Due to the limited production capacity of the raw ore for Motuo stone pots, the UAV transportation scheme is superior to the simple cableway and belt conveyor transportation schemes in terms of initial infrastructure investment and unit transportation cost, demonstrating significant comprehensive advantages and making it a preferable solution for transporting the raw materials of Motuo stone pots out of Xizang. However, UAV transportation is notably affected by airspace restrictions and meteorological conditions. The airspace application cycle is long and management is strict, while the complex meteorological conditions in the region necessitate strict adherence to flight safety regulations.

Key words: Unmanned Aerial Vehicle, Ore transportation, Motuo stone pot mine, Multi-scheme comparison, Feasibility study

---

* **收稿日期**：2025-11-07
基金项目：湖南省教育厅科学研究资助项目(24C0950)
作者简介：武志伟(1985—)，男，湖南郴州人，硕士，讲师，主要从事矿山测量和矿山安全方面的研究。E-mail：wzx2212@126.com
通信作者：陈抒录(1989—)，男，湖南郴州人，硕士，高级工程师，主要从事无人机技术应用方面的研究。E-mail：chenshulu@cug.edu.cn

0 引言

近年来,随着低空经济快速发展与无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)技术日益成熟,无人机的应用场景持续拓展,覆盖传统的航拍娱乐、勘察测绘、农业植保、工业巡检及新兴的空中交通[1]、城市低空物流[2]、应急减灾[3]、AI 智能识别[4]等方面,展现出强大的适应性。目前无人机在矿业领域的应用主要集中于矿区三维建模[5]、生态环境监测[6]、地表变形监测[7]、超限越界开采核查[8]、储量计算[9]、生态修复[10-13]等方面,众多学者围绕无人机在矿业领域的应用开展了深入研究,积累了丰富的理论与实践经验。然而,在矿山运输这一核心环节,现有研究多聚焦于公路汽车运输[14]、铁路运输[15]、胶带运输[16]、索道运输[17]及联合运输[18],尚未系统开展无人机在矿山运输领域的应用潜力研究。西藏墨脱石锅是当地非物质文化遗产与特色工艺品,石锅原矿(皂石)质地脆、易破损;加之墨脱地区复杂的地质、气候条件,传统矿石运输方式面临周期长、破损率高、成本不可控等诸多挑战,严重制约了石锅产业的高质量发展。

基于此,本文聚焦高海拔山地矿山运输场景,从技术可行性、经济性、安全性及环境适应性 4 个维度,对无人机运输、简易索道运输和胶带运输 3 种矿石运输方案进行对比分析,为解决高海拔山地矿山运输难题提供科学的技术支撑。

1 研究区概况与运输难点

1.1 研究区概况

研究区位于西藏自治区林芝市帮辛乡根登村附近,平均海拔约 2 000 m。该区域西临雅鲁藏布江,东倚南迦巴瓦峰余脉,地形起伏剧烈,相对高差大,坡度普遍超过 30°,局部陡坡达 60°以上,地处欧亚板块与印度洋板块碰撞前沿,地质活动频繁,气象条件复杂,生态系统极为脆弱。矿体多分布于悬崖峭壁区域,常规车辆无法直达。

1.2 墨脱石锅产品与运输难点

墨脱石锅以当地特有的皂石为原料,具有优异的导热、保温及耐高温特性,产品附加值高。随着旅游业与高端餐饮业的快速发展,市场对正宗墨脱石锅的需求持续增长,已形成初具规模的地方特色产业。

石锅原矿为单块质量 40～50 kg 的圆柱型荒料(见图 1),质地较脆,在运输过程中易破损。传统的运输方式主要依赖人力与畜力,运输效率低下,单次运量不足 100 kg,运输周期长,人力成本高,且运输人员存在从高处坠落等安全风险。受复杂地质条件与险峻地形限制,修建简易公路在经济与生态层面均不具备可行性。因此,探索非道路依赖型、可跨越复杂地形的高效运输方式,成为破解墨脱石锅产业发展瓶颈的关键。



图 1 墨脱石锅原坯

Fig.1 Raw material of Motuo stone pot

2 矿石运输方案

2.1 简易索道运输方案

该方案以架空钢索为承载轨道,通过驱动装置牵引货斗实现物料运输。输送系统主要由线路支架、承载索与牵引索、驱动站、张紧站、货斗及电气控制系统组成。在采矿点与集散点之间布设索道线路,皂石原料在采矿点装入货斗后,由中央控制系统驱动沿索道稳定运行至集散点。

2.2 胶带运输方案

该方案通过在矿点至集散点之间架设封闭或半封闭的输送带走廊,实现矿石连续运输。输送系统主要由输送带、托辊、驱动装置(含电机与减速器)、张紧装置、支架及转载点等核心部件组成。在采矿点将原料连续放置于运行的输送带上,经由输送系统稳定运抵集散点。

2.3 无人机运输方案

该方案采用大载重、长航时的工业级货运无人机作为运载工具。输送系统主要由货运无人机、简易起降平台(采矿点与集散点各设一处)、地面控制系统、通信中继站、自动装卸货系统及能源补给站(充电或换电设施)组成。无人机按照预设航线,从采矿点装载原矿后飞越山峦沟壑,直接运抵集散点,实现高频次的点对点运输。

3 运输方案对比

根据现场调研,采矿点至集散点的直线运输距

离约为 600 m,相对高差约为 200 m,矿山设计产能约为 300 t/a,以下将从技术可行性、经济性、安全性及环境适应性 4 个维度,对 3 种矿石运输方案进行对比分析。

3.1 技术可行性对比

技术可行性主要从地形适应性、运输能力、技术可靠性 3 个维度进行评价。

(1) 地形适应性。

无人机运输方案可实现点到点的直达运输,地形适应性优势显著;简易索道运输方案可在采矿点与集散点之间架设支架,实现大跨度、高落差的货物直线运输,地形适应性较好;胶带运输受坡度限制较大,地形适应性方面表现一般。

(2) 运输能力。

无人机运输方案。现场配置 2 台大疆 FC100 型工业级货运无人机(1 台备用),单次吊运 1 块原矿,无人机巡航速度为 4～5 m/s,单程飞行距离约为 600 m,空中飞行时间为 120～150 s;采矿点装载与集散点原矿卸载各需 60 s,单次循环耗时 4～6 min。考虑电池更换及气象异常等因素,取循环时间上限 6 min,单日可循环约 80 块,按单块原矿 50 kg 计,日运输能力约为 4 t。受区域复杂气象条件影响,年有效工作日约为 160 d,运输能力约为 640 t/a。大疆 FC100 无人机主要技术参数见表 1。

表 1 大疆 FC100 无人机主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of DJI FC100 UAV

最大起飞质量/kg	最大飞行时间/min	最大飞行速度/(m/s)	最大抗风速度/(m/s)	最大上升/下降速度/(m/s)	防尘防水等级
149.9	28	20	12	5	IP55

简易索道运输方案。结合现场调研与矿方实际需求,考虑大跨度、大高差陡坡地形及皂石易碎特性,索道设计运行速度约为 1 m/s,采用单斗运输,单次吊运 4 块原矿,1 h 运输能力(Q)计算见式(1)。

$$Q=\frac{3\ 600\times W}{L/V+t_1+t_2} \tag{1}$$

式中:W 为单斗载重,取 0.16 t;V 为索道运行速度,取 1 m/s;L 为货斗间距,取 600 m;t_1、t_2 分别为起点和终点的装卸时间,各取 120 s。

经计算,简易索道单日运输能力为 5.48 t,机械运输受气象条件影响较小,年有效工作日约为 220 d,运输能力约为 1 200 t/a。

胶带运输方案。目前当地尚无矿山企业采用胶带运输方案,参考《带式输送机设计计算方法》(GB/T 36698—2018)及文献[19]中露天石灰石矿山胶带运输参数,结合皂石易碎的特性对输送机运行速度的限制,胶带单日运输能力不低于 50 t,年有效工作日约为 220 d,运输能力约为 1.1 万 t/a。

3 种运输方案日、年运输能力对比见图 2。

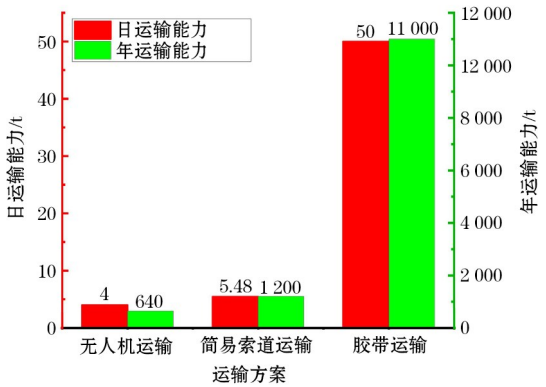


图 2 运输能力对比

Fig.2 Comparison of transportation capacity

(3) 技术可靠性。

通过实地调研国内无人机矿山运输企业,目前无人机矿山运输事故偶有发生,主要原因为矿区遗留未拆除的简易索道钢索超出无人机避障系统探测范围,根据现场实践数据统计,事故平均发生频率约为每 4 个月 1 次。简易索道与胶带运输机均为成熟机械化运输系统,只要日常维护得当,可靠性较高。

3.2 经济性对比

本研究采用年度总运营成本与单位运输成本作为核心经济评价指标,各项成本主要由初期投资建设与年度运营成本两部分构成。

3.2.1 简易索道运输成本构成

(1) 初期投资估算。参考《架空索道工程技术标准》(GB 50127—2020),结合国内多家索道制造安装企业的公开报价与历史项目数据,单线循环式货运索道的综合造价(含设备、钢索、支架)为 80 万～150 万元/km。考虑到研究区施工难度,本项目取上限值 150 万元/km。土建与安装费用估算为 80 万元,设计与监理费用为 20 万元,初期投资总额为 250 万元。

(2) 年度运营成本估算。能源成本约为 5 万元/a;维护费用按初期投资的 3%计,约为 7.5 万元/a;1 名操作维护人员年工资为 15 万元;保险及管理费用按初期投资的 1.5%计,约为 3.75 万元/a。年度总运营成本约为 31.25 万元。

3.2.2 胶带运输成本构成

由于墨脱石锅矿山产能较小,目前尚无企业采用胶带运输方案,本方案仅做理论对比分析。

(1) 初期投资估算。依据《带式输送机工程设计规范》(GB 50431—2008)及《西藏自治区建设工程计价定额》(2025 版),参考矿山、港口等领域项目数据,胶带运输系统综合造价(设备+土建)为 200 万~400 万元/km,本项目取 350 万元/km。设计与监理费用为 40 万元,初期投资总额约为 390 万元。

(2) 年度运营成本估算。能源成本约为 5 万元/a;维护费用按初期投资的 3%计,约为 11.7 万元/a;1 名操作维护人员年工资为 15 万元;保险及管理费用按初期投资的 1.5%计,约为 5.85 万元/a。年度总运营成本约为 37.55 万元。

3.2.3 无人机运输成本构成

(1) 初期建设投资。无人机作为新兴运输设备,目前尚无统一的计价标准。参考现场采用的设备配置(大疆 FC100 型搭配第三方定制货箱),单台无人机价格约为 15 万元,配备 2 台共计 30 万元;地面系统(包括起降平台、通信系统、装卸系统、电池组等)投资约为 35 万元;系统集成与培训费用约为 10 万元。初期投资总额约为 75 万元。

(2) 年度运营成本估算。能源成本约为 1 万元/a;维护费用按初期投资的 8%计,约为 6 万元/a;1 名操作维护人员年工资为 15 万元;电池折旧费用约为 3 万元/a(按 30 块电池计);保险及管理费用按初期投资的 2%计,约为 1.5 万元/a。年度总运营成本约为 26.5 万元。

3 种运输方案的经济指标对比见表 2。

表 2 矿石运输方案经济指标对比

Table 2 Comparison of economic indicators for ore transportation schemes

运输方案	年度总运营成本/万元	单位运输成本/(元/t)	初期投资总额/万元
简易索道运输	31.25	1 041	250
胶带运输	37.55	1 251	390
无人机运输	26.50	883	75

由表 2 可知,在小规模运输(年运输量 300 t/a)场景下,无人机运输方案的经济性优势显著。简易索道与胶带运输因固定投资较大,难以在小规模运营中体现规模经济效应;而无人机运输方案在运营成本与初期基建投资两方面均具有明显优势。

3.3 安全性比较

安全性主要从人员安全与货物安全两个维度进行分析。

无人机运输实现了人机分离作业,将人员从危险运输环境中彻底分离,从根本上避免了操作人员的伤亡风险,但无人机坠机可能对地面人员造成潜在伤害。简易索道与胶带运输的主要风险为操作人员的机械伤害风险及巡检人员的高处坠落风险。

货物安全方面,无人机运输的主要风险为坠机导致的货物损毁,据统计,目前出现坠机事件约 4 个月 1 次,事故概率约为 0.2%。简易索道运输因跨越江面或山谷,大风易引起货物摆动,导致原矿破损,据矿方统计,货物破损率约为 5%。胶带运输可通过固定装置将矿石固定,配合橡胶皮带减震,矿石破损率低。

3.4 环境适应性比较

环境适应性主要从生态扰动与占地、噪声污染及碳排放与能耗 3 个维度进行比较。

(1) 生态扰动与占地。无人机运输仅需建设小型起降平台,飞行航线位于空中,对地表植被、动物栖息地、水文系统几乎无破坏,生态扰动与占地最小;简易索道运输主要为塔基占地,对生态的切割效应低于胶带运输;胶带运输需架设连续支架机构,对地表植被破坏较严重,易引发水土流失。

(2) 噪声污染。研究区地处雅鲁藏布江下游拐弯及峡谷段,水流湍急,背景噪声约在 75 dB(A)以上。无人机吊运过程中产生的噪声约 70 dB(A),略低于背景噪声,对周边野生动物和少数居民点造成干扰;简易索道与胶带运输的噪声主要来源为机械摩擦及电机驱动,根据参考文献[20],其运行噪声为 60~80 dB(A),整体大于无人机运输方案。

(3) 碳排放与能耗。3 种运输方案均采用电驱动,均可实现零排放。无人机采用锂电池驱动,电池转换效率为 80%~90%,能耗略高于其他两种方案。与简易索道运输方案相比,胶带运输方案由于具有更多的机械结构,能耗更高。

综上所述,生态扰动与占地方面由小到大为无人机运输、简易索道运输、胶带运输,噪声污染方面由小到大为无人机运输、索道运输、胶带运输,碳排放与能耗方面由小到大为简易索道运输、胶带运输、无人机运输。

4 无人机运输风险与挑战分析

根据现场调研,项目试运行初期,无人机坠机事故平均每半个月 1 次,主要原因为矿区遗留未拆除

简易索道钢索,无人机避障系统无法识别出钢索,且飞手对飞行线路中突发情况处置经验不足。研究区地处雅鲁藏布江沿线,气象条件复杂;针对云雾天气,大疆 FC100 无人机配有前毫米波雷达、后/下视雷达、激光雷达及四目视觉系统,并有 4G 图传模块,可有效提升复杂气象条件下的运行安全。峡谷地带偶有图传信号丢失情况,大疆 FC100 无人机具备信号丢失继续执行任务功能,同时提醒飞手进行手动接管,避免原地悬停或坠机的风险,通过强化人机协同作业,可有效降低坠机事故发生的概率。

5 结论与展望

5.1 结论

综上所述,在墨脱石锅原矿运输场景中,无人机、简易索道与胶带 3 种运输方式各有优劣,无人机运输的核心优势在于优异的地形灵活性、极低的环境扰动以及快速部署能力。该方案契合当前墨脱石锅产业"多矿点、小批量、高价值"的分散式生产模式。尽管其单位运量有限,但可通过石锅成品的较高市场售价予以消化。随着动力电池、自动驾驶技术及航空材料的持续进步,无人机的运载能力与运行可靠性将进一步提升,运营成本有望继续降低。

简易索道运输在稳定、经济的中等规模运输方面具有优势。若未来墨脱石锅产业通过资源整合形成若干相对集中的规模化矿点,且运输需求稳定在较高水平,则建设索道将成为更具经济性的长期解决方案。该方案在运行可靠性与单位成本方面优于无人机,同时在生态友好性上优于胶带运输。

胶带运输则因高额的基础设施投入及显著的生态环境破坏,在可预见的未来均不适用于墨脱石锅产业。该方案更适用于平原、丘陵地区或大规模工业化开采的大型矿山。

5.2 展望

基于本研究结论,建议未来推行"无人机先行、多模式协同"的混合运输策略,分阶段推进高海拔山地矿山运输体系的优化升级。

近期(1～3 a):大力推广与试点货运无人机运输。针对分布分散、交通不便的小型采矿点,率先部署无人机运输网络。可突破运输瓶颈,激活产业发展活力,同时为评估长期运输需求积累关键数据。

中长期(3～10 a):在运输需求稳定增长、采矿点分布相对集中的区域,适时规划建设区域性索道运输干线。无人机可负责将周边零星矿点的原料汇集至索道起点,形成"无人机集货+索道干线运输"的高效协同模式,提升整体运输效率与经济性。

参考文献(References):

[1] 屈若锟,王致远,刘晔璐,等.面向城市空中交通的无人机视觉定位技术[J].航空学报,2025,46(11):386-401.
Qu Ruokun, Wang Zhiyuan, Liu Yelu, et al. UAV visual positioning technology for urban air mobility[J]. Acta Aeronautica Sinica,2025,46(11):386-401.

[2] 杨慧云,李印凤,段满珍.城市物流无人机起降点选址及路径规划[J].科学技术与工程,2025,25(28):12130-12138.
Yang Huiyun, Li Yinfeng, Duan Manzhen. Location selection of take-off and landing points and path planning for urban logistics drones[J]. Science Technology and Engineering,2025,25(28):12130-12138.

[3] 王培栋,汪玲.考虑需求紧迫度的应急物资卡车-无人机联合配送路径优化[J].科学技术与工程,2025,25(28):12231-12240.
Wang Peidong, Wang Ling. Optimization of joint truck-drone delivery paths for emergency supplies considering demand urgency[J]. Science Technology and Engineering, 2025,25(28):12231-12240.

[4] 庞文宇,张小栋,诸伟,等.无人机露天煤矿早期煤火红外图像目标检测识别方法[J].测绘通报,2025(10):63-70.
Pang Wenyu, Zhang Xiaodong, Zhu Wei, et al. An early UAV coal fire infrared image target detection and recognition method in open-pit coal mines[J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2025(10):63-70.

[5] 武志伟,廖文凯,唐金才,等.大高差非煤露天矿山无人机测绘精度及效率对比研究[J].矿业研究与开发,2025,45(12):264-270.
Wu Zhiwei, Liao Wenkai, Tang Jincai, et al. Comparative study on the surveying and mapping accuracy and operation efficiency of UAV in non-coal open-pit mines with large height difference[J]. Mining Research and Development, 2025,45(12):264-270.

[6] 谢君洋,简季,许犇.基于无人机影像的矿山动态监测方法[J].矿业研究与开发,2022,42(2):158-163.
Xie Junyang, Jian Ji, Xu Ben. Mine dynamic monitoring method based on UAV image[J]. Mining Research and Development,2022,42(2):158-163.

[7] 张凌,邱斌,张源.基于无人机倾斜摄影测量技术与 SVR 算法的开采沉陷监测与预计[J].金属矿山,2024(7):168-172.
Zhang Ling, Qiu Bin, Zhang Yuan. Mining subsidence monitoring and prediction based on UAV tilt photogrammetry technology and SVR algorithm[J]. Metal Mine,2024(7):168-172.

[8] 刘一,马灿璇,湛龙,等.基于无人机技术的露天矿山越界开采监测与评估方法[J].中国矿业,2024,33(1):105-113.
Liu Yi, Ma Canxuan, Zhan Long, et al. Monitoring and evaluation method for cross border mining in open-pit mines based on drone technology[J]. China Mining Magazine, 2024,33(1):105-113.

[9] 姚宏岗,秦彩霞,宋炯峰.无人机摄影测量在露天矿山储量动检中的应用[J].测绘与空间地理信息,2025,48(6):201-203.
Yao Honggang, Qin Caixia, Song Jiongfeng. Application of UAV photogrammetry in dynamic detection of open-pit mine reserves[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2025,48(6):201-203.

[10] 朱师欢.倾斜摄影在矿山生态修复工程中的应用研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(8):187-189.
Zhu Shihuan. Application research of oblique photography in mine ecological restoration projects[J]. Geomatics & Spatial Information Technology,2025,48(8):187-189.

[11] 垢元培,张鸽.航测点云数据在矿山修复工程量复核中的研究与应用[J].金属矿山,2024(8):191-196.
Gou Yuanpei, Zhang Ge. Research and application of aerial survey point cloud data in mine restoration engineering quantity review[J]. Metal Mine,2024(8):191-196.

[12] 张鸽,垢元培.利用航测数据进行矿山生态修复土石方量计算模型的研究[J].测绘通报,2023(10):129-134.
Zhang Ge, Gou Yuanpei. Research on calculation model of soil and rock volume of mine ecological restoration using aerial survey data[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2023(10):129-134.

[13] 闻彩焕,王文栋.基于无人机倾斜摄影测量技术的露天矿生态修复研究[J].煤炭科学技术,2020,48(10):212-217.
Wen Caihuan, Wang Wendong. Study on ecological restoration of open pit mines based on UAV oblique photogrammetry technology [J]. Coal Science and Technology,2020,48(10):212-217.

[14] 王新华.某露天矿开拓运输系统研究[J].矿业工程,2022,20(2):10-14.
Wang Xinhua. Study on development and transportation system of an certain open-pit mine[J]. Mining Engineering, 2022,20(2):10-14.

[15] 赵京林,张春阳,王星.庙子沟铁矿开拓运输方案优选[J].现代矿业,2022,38(10):97-100.
Zhao Jinglin, Zhang Chunyang, Wang Xing. Optimization of development transportation scheme of Miaozigou Iron Mine [J]. Modern Mining,2022,38(10):97-100.

[16] 周爱平,曹正远.煤矿胶带运输监控系统技术现状及智能化方案设计[J].工矿自动化,2023,49(增刊2):13-17.
Zhou Aiping, Cao Zhengyuan. Technical status and intelligent scheme design of coal mine belt transport control system[J]. Journal of Mine Automation,2023,49(Suppl.2): 13-17.

[17] 武韩青,夏中原.特高压输电线路典型索道运输方案经济性研究[J].电力勘测设计,2024(10):87-92.
Wu Hanqing, Xia Zhongyuan. Economic study on typical cableway transportation scheme for UHV transmission line [J]. Electric Power Survey and Design,2024(10):87-92.

[18] 王鹏家,周海霖.带式输送机转载溜槽结构优化设计[J].煤矿机械,2024,45(11):14-16.
Wang Pengjia, Zhou Hailin. Optimization design of structure of transfer chute of belt conveyor[J]. Coal Mine Machinery,2024,45(11):14-16

[19] 陈栋.平硐溜井开拓-胶带运输方案在露天矿山的适用条件及相关的安全措施[J].中国矿业,2017,26(9):126-129+147.
Chen Dong. Tunnel and ore pass development-the belt conver scheme's applications condition and related safety measures in the open pit mine development [J]. China Mining,2017,26(9):126-129+147.

[20] 卢松.景区客运索道站房降噪措施研究[J].起重运输机械,2019(14):115-118.
Lu Song. Research on noise reduction measures for passenger ropeway station buildings in scenic spots [J]. Hoisting and Conveying Machinery,2019(14):115-118.