Journal of Sensor Technology and Application 传感器技术与应用, 2026, 14(6), 918-925
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/jsta
https://doi.org/10.12677/jsta.2026.146087

Hans汉斯

不同地形条件下货运索道的应用场景与需求研究

何　鑫，易焯怡，陈　燕*

南宁学院交通运输学院，广西　南宁

收稿日期：2026年9月21日；录用日期：2026年10月23日；发布日期：2026年11月3日

摘　要

在中国西南及中西部广大山区，山高谷深、村落分散，公路延伸至此往往意味着巨额投资和大面积开挖。货运索道以架空钢索为“路”，从空中跨越障碍，为这类地区提供了生态代价更低的货运途径。本文围绕山地、峡谷河谷、乡村高半山三种典型地形展开研究：先通过文献梳理与公开案例调研，弄清各地形下索道“运什么、怎么运、为何运”，再横向对比三类场景在运量、跨度、建设与运营模式上的差别，并指出行业当前在智能选线、标准统一、设备复用和运维保障方面的短板。分析表明，三类地形对索道的要求几乎难以相互替代——山地重效率与季节适应，峡谷重载荷与安全冗余，乡村重造价与长期维护，把同一套方案照搬到所有场景并不可行。在此基础上，文章按地形类别给出规划侧重点与关键参数建议，以期为多地形货运索道的项目选型、线路设计与落地实施提供参考。

关键词

货运索道，多地形运输，空中物流，需求差异，规划选型

Application Scenarios and Demand Drivers for Freight Cableways under Different Terrain Conditions

Xin He, Chaoyi Yi, Yan Chen*

College of Traffic and Transportation, Nanning University, Nanning Guangxi

Received: September 21, 2026; accepted: October 23, 2026; published: November 3, 2026

Abstract

Mountainous regions, deep river valleys, and scattered hillside villages cover a large share of China's

*通讯作者。

文章引用: 何鑫, 易焯怡, 陈燕. 不同地形条件下货运索道的应用场景与需求研究[J]. 传感器技术与应用, 2026, 14(6): 918-925. DOI: 10.12677/jsta.2026.146087

western territory, where extending roads means heavy investment and extensive excavation. Suspended on aerial cables, freight cableways cross such obstacles from above and offer a lower-ecological-cost alternative for goods movement. Focusing on three typical terrains—mountainous areas, canyon-valley zones, and high half-mountain villages—this study first clarifies what is transported, how, and why in each terrain through literature review and analysis of public cases, then compares the three scenarios in terms of carrying capacity, span, and construction and operation modes, and identifies current weaknesses in intelligent route selection, standardization, equipment reuse, and maintenance support. The analysis shows that the demands of the three terrains are hardly interchangeable: mountainous projects emphasize efficiency and seasonal adaptability, canyon projects emphasize heavy loads and safety redundancy, while village projects emphasize low cost and long-term maintainability, so a single standardized scheme cannot be transplanted across all scenarios. Differentiated planning priorities and key parameter recommendations are finally proposed for each terrain type, providing a reference for project selection, route design, and implementation of freight cableways in complex terrain regions.

Keywords

Freight Cableway, Multi-Terrain Transport, Aerial Logistics, Demand Heterogeneity, Planning and Selection

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

中国是一个多山的国家，山地、丘陵与深切河谷占了国土面积的相当比重。当工程建设和乡村产业向山区延伸之后，物资“进得去、出得来”便成为现实难题：修建盘山公路需要大量开挖土石方，工期动辄数月甚至经年，对坡面植被与坡体稳定的影响也难以逆转。相比之下，货运索道把运输通道架到空中，线路长度一般只有盘山公路的十分之一至三十分之一，支架基础占地有限，沿线植被基本得以保留。对这类“公路修不起、也不宜修”的地段，索道往往是最现实的选择。

不过，现阶段索道的线路选择和设备选型在很大程度上仍依赖工程师的个人经验，现场勘测反复进行，规划周期被拉长，劳动强度居高不下[1]。更麻烦的是，同类经验难以在不同地形之间直接迁移——山地电力施工关心的参数，与峡谷重载吊装、乡村鲜果出山并不相同。为此，本文将地形作为基础分类维度，结合智能传感、PLC 冗余制动与动态索力调节方面的仿真结论[2]，系统梳理三类典型地形下货运索道的应用场景与需求成因，为规划决策提供依据。

在研究方法与数据来源上，本文采用文献研究与案例资料分析相结合的路径：以“货运索道”“山地物资运输”“峡谷跨障运输”“乡村农产品出山”等为主题检索中国知网文献及主流媒体的公开工程报道，筛选出覆盖三类地形、信息相对完整的代表性案例；案例数据均取自公开报道与既有文献，口径以原始来源为准，不作外推修正；三类场景在运输品类、运量、频率、制约因素、设施性质与技术方向等维度上按统一框架逐项比对。受公开数据可得性限制，部分案例的建设投资与运维成本明细无法完整获取，文中仅在数据可核验处给出量化对比，并在结论中说明该局限。

2. 三类典型地形下的应用场景与需求分析

2.1. 山地地形：电力施工物料与高山农产品运输

山地运输场景的共同底色是高差大，从数十米到上千米不等；坡面陡峭、植被茂密、地质条件复杂，

盘山公路土石方量惊人，部分作业点甚至完全不通路。

应用场景一：输电线路施工物资运输

高山输电线路的塔位大多隐藏在崇山峻岭之间。塔材、水泥、砂石要送到塔基，靠人背马驮既慢又危险，常规车辆更是无处停靠，因此山地电力施工几乎离不开货运索道[3]。目前这类施工索道普遍存在几件烦心事：线路路径靠人工确定，多根承载索的耦合计算繁琐，部件缺乏统一标准，前期勘测工作量居高不下。GIS 三维地理信息技术的推广正在改变这一局面——支架选址与线路优化可以交给地形大数据完成，规划周期明显压缩，现场勘测强度显著降低[4] [5]。电力工程之外，西南山区的地勘钻探作业也在大量借助索道转运物资，可见这一模式在工程界已相当成熟[6]。

文献[2]的控制系统仿真给出一组可供借鉴的数据：配置 PLC 五级冗余制动(超速、张力异常、位置偏移、地震探测、人工紧急制动)后，系统响应最快可达瞬时；动态张力控制将钢索张力波动压在±1%以内，较无控制的静态系统下降约 71%，钢索疲劳损耗因此延缓；仿真还显示索道在 0~60˚ 坡度范围内地形适配率达 100%。这些指标对大风频发的山地环境尤为重要。

应用场景二：高山特色农产品出山

高山林果、茶叶品质出众，愁的是下山。论文结合四川南江县国奎家庭农场案例展开深度剖析：四川南江县国奎家庭农场位于海拔 1800 米的光雾山镇，2022 年 10 月成立，以高山种植养殖为主，年产值约 120 万元；对外唯一通道是一条长 3.8 公里、宽不足 1.5 米的崎岖山路，物资运送全靠人力与骡马，2023 年仅运输成本一项即达 12 万元。2024 年 4 月，农场从山脚架设货运索道：索道用电负荷 15 千瓦，农场用电总负荷增至 30 千瓦以上，供电部门为此专门增容一台 50 千伏安变压器——其 700 余斤的设备本体仍靠 19 名员工人力抬运上山，这一细节本身就说明了此类地形“连施工机械都进不去”的通达困境。索道建成后，货斗单次运量 800 斤、单程约 30 分钟、日运输能力 8000 余斤，年运输成本由约 12 万元降至约 5000 元(含三轮车转运油料费)，降幅逾九成；农场高山猪由 40 头增至 100 余头、南江黄羊由约 60 只增至 100 余只，药材种植面积达 1.5 万平方米，年产值突破 150 万元，并提供长期岗位 8 个、临时岗位 20 余个[7] [8]。

从经济性看，该案例的效益来自三个层面：其一，运输环节年直接节约成本约 11.5 万元，且摆脱了对日益紧缺的背运人力的依赖；其二，运输能力跃升使种植养殖规模扩张成为可能，带动年产值由约 120 万元增至 150 万元以上；其三，用电增容与电气化改造(智能养殖棚、烘干房、冷冻库)以索道通达为前提，索道实际成为整个农场现代化改造的先导工程。与之对照，若改建通行公路，3.8 公里盘山路线需大规模开挖山体，投资体量远超家庭农场承受能力，且对坡面植被的破坏不可逆——这正是引言所述“公路修不起、也不宜修”情形的微观注脚，也与文献[1]关于索道线路长度仅为盘山公路 1/10 至 1/30 的结论相互印证。

需要说明的是，该案例索道的分项投资明细(设备购置、支架与基础、电气配套等)公开资料未见完整披露，本文不作推测性拆分，上述量化对比仅基于可核验的公开运行数据，详见表 1。

Table 1. Key indicators of the Guokui family farm before and after the freight cableway was put into operation
表 1. 国奎家庭农场货运索道建成前后关键指标对比

指标	建成前(2023 年)	建成后(2025 年报道口径)	数据来源
对外通道	3.8 km 土路(宽不足 1.5 m)，人力/骡马运输	货运索道(2024 年 4 月投运)	[7] [8]
日运输能力	最多几百斤	8000 余斤	[8]
单次运量与单程时间	-	800 斤/斗，约 30 分钟	[7]
年运输成本	约 12 万元	约 0.5 万元(含转运油料费)	[7] [8]

续表

年产值	约 120 万元	超 150 万元	[7] [8]
带动就业	-	长期岗位 8 个、临时岗位 20 余个	[8]

归纳起来，山地索道以单向运输为主，货物从工程建材、高山农产品到生活物资不一而足；运量随季节明显起伏，施工期集中运工程料，采收期集中出山货；业主最敏感的是运输效率的提升幅度。

2.2. 峡谷河谷地形：跨障重载工程运输

峡谷的关键词是“隔”：河谷水面构成天然屏障，两岸高差常常不对称，彼此之间缺乏可通行的地面联系；架桥或绕行公路的投资动辄巨大，个别地段在技术上根本无法实现。

在峡谷地段修建桥梁、水电站或输电线路时，货运索道可以从河谷上空直接把重型物料送往对岸，不少工程甚至只有这一条可行的物料通道[9]。技术形态上，工程索道已发展出单承载索、双承载索、四承载索等多种类型，单次承载能力从数吨覆盖到百吨级，可按工程规模灵活匹配[10]。设计端的难点集中在大跨距下的支架滑移、载荷不均匀分布与索－荷耦合动力分析，对索系计算和安全冗余设计的要求都相当苛刻。

重载峡谷索道一般需开展刚柔耦合动力学验算；当单跨达到 400~1000 米时，除承载索抗拉安全系数满足 GB 50127-2020 对货运索道不低于 3.0 的要求(重载工程宜从严参照客运索道取 3.15 [11])外，还应引入索力实时监测，并借鉴 PLC 多级制动保护逻辑，防备两岸地质不对称引发的载荷突变。已有水电站项目实测单次吊装达 60 吨，采用多级接力方式完成两岸建材转运[2]。

此类索道的需求特征可以概括为：重载突出，单次数十吨；跨度大；绝大多数属于临时性工程配套，工期结束即停用；常以多级接力方式组织运输；可靠性与安全冗余被置于首位。

2.3. 乡村高半山地形：农业产业物流通道

高半山村寨散布在半山腰，交通基础设施薄弱，人口分散，生产物资进村与农产品出村“两头难”，物流成本长期偏高；同时单批货量小、发运频次高，与工程运输的“大而重”恰好相反。

应用场景一：果树产业运输

汶川垮坡村地处高山峡谷，当地青红脆李过去全靠人背下山，费工费力，磕碰损耗也大。双线循环式货运索道建成后，1500 斤货物 8 分钟即可完成转运，时间节省九成以上，背运人工成本减少约八成，坏果率明显下降。另有乡村配置 700 米单线循环索道，挂载 20 个吊篮、每篮载重 100 斤、一分钟运行一趟，正好接得上果品连续采收的节奏；在 1.6~2.5 m/s 的运行速度下配合动态张力控制，吊篮晃动小，鲜果磕碰损伤随之减少。

应用场景二：深山村物资通道

凉山州悬崖村对原有废弃电站货运索道进行了改造利用：改造后单次运载 5 吨、垂直落差近千米、单程约 40 分钟，水泥、砖块等建设物资直接输送上山，村庄人居环境改造与基础设施建设明显提速，深山村落的建材输入难题就此化解[12]。该案例的价值还在于“存量利用”：通过改造报废电站索道而非新建，投资规模显著低于新建项目；5 吨级单次运载、近千米垂直落差的指标也表明，工程级索道经检测加固后可转入民用场景运行，为 5.2 节提出的临时索道复用评估流程提供了实例参照。

乡村高半山索道的运输需求呈现“高频次、小批量、双向流动”的特点——山货向外输出、农资与生活物资向内输入；村集体和农户对建设造价与运维费用高度敏感；设备正朝着简易化、易维护的方向演进。

三类典型地形下货物运输需求特征的横向对比见表 2。

Table 2. Horizontal comparison of freight transport demand characteristics across three terrain types
表 2. 三类地形货物运输需求特征横向对比表

对比维度	山地地形	峡谷河谷地形	乡村高半山地形
主导运输品类	工程建材、农林产品、生活物资	大型工程重型设备、建材	果蔬农产品、农资、村民生活物资
单次运量	轻量到中重载均有，跨度大	重载为主，单次可达数十吨	小批量，轻–中载为主
运输频率	季节波动大，施工期/采收期高频	建设期高频，完工后停用	全年高频，持续稳定
核心制约因素	地形起伏多变、极端天气影响运营	大跨距索系受力、复杂地质条件	投资回报周期长、后期运维能力不足
设施性质	临时工程/永久产业设施兼有	大多为临时工程索道	偏向永久产业配套设施
技术发展方向	GIS 智能选线、模块化支架	多承载索耦合计算、重载系统标准化	低成本、简易智能、易维护

3. 制约货运索道效益的核心因素

3.1. 自然地理因素

1) 地形高差与山体坡度直接决定线路走向和支架的布设位置。支架间距是一个典型的“两难”变量：间距缩小，单座支架的高度可以降低，但支架数量增多，总造价随之上升；间距放大，支架数量减少，钢丝绳与支架结构却要更粗更强，设备采购成本相应上涨，建设过程必须在技术要求与经济投入之间寻找最优平衡点[1]。

2) 气象条件同样左右着索道效益。强风、降雪、冰冻都会迫使索道停运，直接侵蚀全年有效运营天数；方案选型阶段就应当结合当地气候特点，把防风、除冰、防腐设计一并考虑进去[3]。

3.2. 运输规模与经济性

1) 货物的重量、体积与运输时效决定系统选型：高山农产品等轻型货物适合单线循环式索道，单次运量 100~1500 斤；工程物料等重型货物则需选用双承载索乃至四承载索索道，单次运量可达 5~60 吨以上[10]。

2) 从能耗看，索道单位运距能耗仅为卡车的 1/10~1/20，运营端优势明显；但索道前期设备与土建的一次性投资额度差别较大，项目是否划算要结合总运量做全生命周期成本测算，不能只盯购置价格[4]。

3.3. 政策与环境约束

生态保护红线内的审批门槛较高；不过，货运索道“低开挖、少尾气”的环保属性，又使其成为生态敏感区域运输方案的优先选项。临时施工索道涉及临时用地审批，永久产业索道则需完成规划立项，这些程序的实际办理周期，都会直接影响项目落地进度。

4. 现存问题与发展挑战

4.1. 行业层面的突出问题

规划设计依赖经验：索道线路规划较多依靠现场勘测与工程师主观判断，基于地理信息的智能决策工具普及不足，前期勘测量大，方案与实际工况“两张皮”的情况时有发生[1] [5]。

技术标准分散、部件标准化不足：多跨、多承载索索道的受力计算复杂，行业统一标准尚待完善；设备零部件定制比例偏高，建设与维修备件成本被持续推高[3]。

临时索道复用机制缺失：大量工程索道属于临时设施，完工后直接拆除报废，设备远未到设计寿命便退出使用，资源浪费明显[10]。与此同时，PLC 冗余制动、动态张力调节等智能控制模块尚未进入通用选型清单。

从标准体系看，现行 GB 50127-2020 的适用范围以双线循环货运、单线循环客运和双线往复客运索道为主，其多项安全参数在条文说明中注明参照欧洲标准并结合我国工程实践确定[11]；而数量庞大的临时工程施工索道与乡村简易循环索道，尚缺乏针对性的专项标准，多承载索耦合计算、智能监测模块接入等也无标准可依——这正是前述“标准分散、部件定制比例高”问题的制度根源。填补这一空白，需要在现行标准框架下补充临时工程索道与简易索道的技术专章，并推动智能控制模块的接口标准化，这是行业标准化工作的近期改进方向。

4.2. 不同地形面临的具体困难

山地地形索道：高海拔风雪、强风天气引起的停运较为频繁，设备抗冻、抗风设计压力大[3]。

峡谷河谷地形索道：超大跨距叠加两岸地质不对称，索系动力学计算与架设施工的风险都偏高[9]。动态张力控制、五级制动等智能方案虽经仿真验证有效，但模块采购成本偏高，实际推广受到限制。

乡村高半山索道：项目总运量有限、投资回收周期长；本地缺少专业运维人员，后期保养能力不足，部分索道面临“建得起、养不好”的风险[12]。

5. 差异化规划建议

5.1. 需求研究小结

三类地形的调研给出一个基本判断：货运索道的核心价值，在于以很小的生态代价接通公路难以抵达的区域；而运量需求、使用周期与成本承受能力在三类场景之间差异悬殊，不存在“一套方案走天下”的通用做法。仿真结果同时提示，引入 PLC 五级冗余制动、动态张力调节与太阳能混合动力，能够明显改善索道的安全性、货物保护水平与绿色运行表现，只是这类智能化装备目前在工程与乡村场景中的普及率还比较低[2]。

就场景画像而言：山地场景工程与农业需求并存，季节性特征突出；峡谷河谷场景以重载临时工程为主，技术难点集中在大跨距索系；乡村高半山场景以永久产业配套为主，最大痛点在于投资回报与运维能力。项目立项之前，应结合地形条件、运量规模与政策环境综合研判，匹配相应的索道技术方案。

5.2. 分地形的规划要点

分地形规划要点中的关键技术参数按三级来源标注：标准规定值直接引用《架空索道工程技术标准》(GB 50127-2020) [11]；文献工程值取自参考文献所载同类工程的实测或设计数据；本文建议值为作者基于案例归纳提出的参考区间，供工程论证时校核使用。

山地施工索道：以 GIS 三维智能选线结合无人机地形点云仿真替代大部分人工勘测，支架跨距宜取 150~250 米、最大弦倾角不超过 45° (前者为文献所载同类工程取值，后者为本文建议值，来源分级见本节首段说明)，以此平衡设备造价与施工难度[1] [4] [5]；风雪多发区域配置风速预警(16 m/s 报警、20 m/s 自动停机，其中 20 m/s 停机阈值与 GB 50127-2020 的风速保护要求一致[11]，16 m/s 报警阈值为本文建议值)、钢丝绳除冰装置，钢结构支架采用防腐抗冻设计，优先选用具备抗风、除冰能力的设备[3]。

峡谷工程索道：推进重型大跨索道成套方案的标准化，完善多承载索耦合计算方法；承载索抗拉安全系数按 GB 50127-2020 货运索道要求不低于 3.0、重载工况从严参照客运索道取 3.15 [11]；单跨 400~1000 米跨越、单次吊装 10~60 吨为文献所载同类工程已实现的指标[10]，大跨距工况增设索系动态监测，健全

安全冗余设计；施工阶段做好架设安全管控，完工后检测设备剩余寿命，对完好模块拆解编号归档，推动跨项目周转复用[9]。

乡村产业索道：建议将货运索道纳入乡村农业配套基础设施规划，探索“政府补贴 + 村集体/农户运营”的可持续模式；设备选型优先采用单线/双线循环简易机型，吊篮额定载重控制在 50~150 公斤、运行速度 1.6~2.5 m/s (依据垮坡村等公开案例运行参数与文献[2]仿真结果归纳)、发车间隔不小于 12 秒(本文建议值，需结合线路侧形与运载索校核确定)，结构简单、维修便捷；同步开展本地操作人员技能培训，建立季度简易巡检与年度维保制度，补齐后期运维短板[12]。

三类地形货运索道差异化规划的总体框架见表 3。

Table 3. Differentiated planning of freight cableways across three terrain types in terms of policy, technology, and operation
表 3. 三类地形货运索道差异化规划(政策－技术－运营)

地形类型	政策规划	技术规划(含关键参数)	运营规划
山地施工索道	1、临时用地简化审批，落实生态红线管控；2、工程类索道纳入基建配套管理；3、鼓励 GIS 智能选线技术立项支持	1、GIS＋无人机三维选线，支架跨距 150~250 m，弦倾角≤45˚；2、气象防护：风速报警 16 m/s、停机 20 m/s，配置钢丝绳除冰、支架防腐抗冻；3、设备以模块化支架为主，适配工程拆装	1、建设期高频作业，完工评估拆除；2、建立设备台账，尚可复用部件标记入库；3、作业人员须完成高空索道专项培训
峡谷河谷工程索道	1、重大工程配套索道专项备案，落实大跨距工程安全审查；2、建立临时重载索道复用评估流程；3、严格管控河谷岸坡生态开挖	1、多承载索重载系统，承载索安全系数≥3.0 (重载工况从严取 3.15)，单跨 400~1000 m，单次吊重 10~60 t；2、配置索力、位移实时监测系统，采用多级接力运输；3、两岸不对称地质开展动力学仿真验算	1、服务工程工期，工程结束后拆解；2、开展剩余寿命检测，合格部件进入设备周转库；3、第三方机构负责架设与验收安全管控
乡村高半山产业索道	1、纳入乡村农业基础设施，落实财政补贴；2、永久产业索道简化立项审批流程；3、建立乡村索道安全监管清单	1、选用单线/双线循环简易机型，吊篮载重 50~150 kg，运行速度 1.6~2.5 m/s，发车间隔 ≥12 s；2、双向运输、小批量高频次，降低设备定制化占比；3、配置基础风速保护与故障停机保护	1、“政府补贴 + 村集体/农户运营”模式；2、对本村村民开展基础操作与简易维护培训；3、建立季度巡检、年度维保制度，规避“建得起养不好”

与既有研究相比，本研究的改进点主要有三：一是以地形类型为一级分类维度，将“场景画像－核心制约－规划要点”构建为一一对应的决策链条，使规划建议可直接回溯到需求成因；二是对关键技术参数实行“标准规定值－文献工程值－本文建议值”三级来源标注，提高参数的可追溯性与工程可检验性；三是将临时索道复用评估流程与乡村“政府补贴 + 村集体/农户运营”模式组合为制度方案，与参数建议共同回应“建得起、养不好”的落地瓶颈。

6. 结论

围绕山地、峡谷河谷与乡村高半山三类典型地形，本文完成了从场景梳理、需求识别到规划建议的完整论证，主要结论可归纳为以下三点。

第一，地形条件从根本上塑造了货运索道的需求形态。山地场景的本质矛盾是“通不通”，工程与农业两类需求叠加，季节波动显著；峡谷河谷场景的本质矛盾是“过不过”，重载与大跨度把技术难度推向索系动力学的边界；乡村高半山场景的本质矛盾则是“养不养得起”，小批量、双向、高频的运输形态决定了设备必须简单可靠、运维必须本地化。三类场景之间不存在可直接移植的通用方案，规划工作应当从地形需求出发反向确定技术配置，而非用单一标准方案套用所有情形。

第二，智能控制技术的引入是提升索道安全性与绿色运行水平的有效路径。仿真结果表明，PLC 五

级冗余制动可将系统响应时间压缩至 0.5 秒乃至瞬时，动态张力控制能把钢索张力波动约束在±1%以内；但采购成本偏高、行业普及率低仍是现实瓶颈，智能控制模块的标准化与低成本化应当成为行业下一步的攻关方向。

第三，制度安排与商业模式建设同技术升级同等重要。临时索道复用评估流程、乡村“政府补贴 + 村集体/农户运营”模式、本地运维人员培训机制等制度设计，直接决定索道全生命周期内的实际效益，只谈技术参数而忽视运营制度，难以避免“建得起、养不好”的结局。

本研究尚存局限：案例样本数量有限，分析以定性对比为主，缺少长期运营数据的量化支撑，案例的建设投资明细与长期运维成本也受公开资料可得性限制未能完整呈现；不同经济发展水平地区面对同类地形时的资金承受能力差异，也未充分展开讨论。后续工作可在积累多项目运营数据的基础上，构建覆盖三类地形的索道选型与经济性量化评价模型，并围绕智能控制模块的低成本国产化方案开展深入研究，使差异化规划建议进一步落地为可操作的技术工具。

基金项目

2025 年自治区级大学生创新训练计划项目“多地形的索道运输”(项目编号：S202511549087)。

参考文献

[1] 秦剑, 张飞凯, 张映辉, 彭飞. 基于地理信息数据的货运索道选址及路径规划方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2022, 52(6): 2081-2088.

[2] Chen, Y., Yi, C.Y., Xie, T.T., Zhang, L., He, X. and Lao, Y.Y. (2026) Control System Design for Multi-Terrain Agricultural Transportation: Integrating Cableway and Adaptive Height Adjustment. *Proceedings of the 5th International Conference on Computer, Artificial Intelligence and Control Engineering* (*CAICE* 2026), Hangzhou, 23-25 January 2026, 1133-1139.

[3] 温永亮, 周高乐, 吴怀波, 吴凡, 黄锦. 电力线路山地架空货运索道架设难题及其优化措施研究[J]. 中国设备工程, 2026(1): 247-249.

[4] 秦剑, 张飞凯, 刘晨, 夏拥军. 山区公路与货运索道联合路径规划方法[J]. 山东科学, 2023, 36(3): 90-99.

[5] 李攀, 李志斌, 谢芳毅, 尉涛, 司海青. 三维 GIS 辅助山区输电线路货运索道选线系统设计[J]. 数字技术与应用, 2016(5): 173-174.

[6] 施超平, 李军, 马映辉, 贾宏福. 货运索道在西南山区地勘钻探项目中的应用[J]. 四川地质学报, 2024, 44(z1): 126-131.

[7] 从“人背骡驮”到“空中专列” 云端农场山货“高速”出山——国奎家庭农场变压器增容改造一周年探访记[EB/OL]. 2025-04-18. https://mtz.china.com/touzi/2025/0418/162248.html, 2026-09-24.

[8] 彭滟, 青俊佚, 王琪瑶. 国网巴中供电公司: 抬运 700 斤变压器上山 为深山农场增容[EB/OL]. 2024-04-25. https://m.163.com/dy/article/J0L4J7AJ0530QRMB.html, 2026-09-24.

[9] 王鹏久, 王汜久, 韩学文, 张子跃. 货运索道过桥技术探讨[J]. 青海电力, 2015, 34(3): 17-19.

[10] 于昊, 张君, 苗峰显. 不停运迂回式索道的研制与应用[J]. 青海电力, 2026, 45(2): 71-75.

[11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50127-2020 架空索道工程技术标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2020.

[12] 王鑫, 陈奕宏. 高原架铁索天堑变通途[N]. 西南电力报, 2014-03-30(001).