

Research on Meteorological Disaster Risk Assessment and Zoning Based on the Luolong County Section of Changdu City along the Sichuan Tibet Railway: A Case Study of Snow Disaster

Songpengde Luo Qiong Zhuo Qing Yong

Luolong County Meteorological Bureau of Changdu, Xizang Autonomous Region, Changdu, Xizang, 855400, China

Abstract

In order to ensure the operational safety of the Luolong County section of the Sichuan Tibet Railway, risk assessment and zoning research were carried out to address the frequent occurrence of snow disasters. Firstly, analyze the disaster prone environment composed of terrain, vegetation, and soil; Establish a four-dimensional indicator system of “disaster causing factors - disaster prone environment - disaster bearing body - disaster prevention and reduction”, use AHP, entropy weight legal weight, fuzzy comprehensive evaluation model to assess risks, and combine cluster analysis and GIS to delineate three-level risk areas; Finally, targeted “engineering+non engineering” countermeasures and five guarantee systems will be formulated. The results show that the high-risk area is the mountainous area from Malizhen in the north to Erxi Township in the east, the medium risk area is from Zituozen in the south to Dalong Township in the middle, and the low-risk area is from Kangsha Town in the southwest to Luolong Town in the middle. Countermeasures can reduce losses. The research on data storage and model deficiencies will be improved through multi-source data fusion and machine learning in the future.

Keywords

Sichuan Tibet Railway; Luolong County section; snowstorm; Prevention and control measures; Analytic Hierarchy Process

基于川藏铁路沿线昌都市洛隆县段的气象灾害风险评估与区划研究——以雪灾为例

罗松彭德 卓琼 永青

西藏自治区昌都市洛隆县气象局, 中国·西藏·昌都 855400

摘要

为保障川藏铁路洛隆县段运营安全, 针对雪灾频发问题开展风险评估与区划研究。先分析地形、植被、土壤构成的孕灾环境; 再建“致灾因子—孕灾环境—承灾体—防灾减灾”四维度指标体系, 用 AHP、熵权法定权重, 模糊综合评价模型评估风险, 结合聚类分析与 GIS 划三级风险区; 最后针对性制定“工程+非工程”对策及五方面保障体系。结果显示, 高风险区为北部马利镇—东部俄西乡山区, 中风险区为南部孜托镇—中部达龙乡, 低风险区为西南部康沙镇—中部洛隆镇, 对策可降损失。研究存数据与模型不足, 未来将通过多源数据融合、机器学习改进。

关键词

川藏铁路; 洛隆县段; 雪灾; 防治对策; 层次分析法

1 引言

川藏铁路是西南交通关键, 总投资 3600 亿元, 对区域发展、国防安全意义重大。其昌都市洛隆县段地理复杂、雪灾频发, 常致铁路中断, 影响经济与民生。本研究分析该段雪灾致灾因子(降雪量等)、孕灾环境(地形等)、承灾体(铁路设施等)易损性; 用层次分析法定指标权重, 模糊综合评

价法评估风险, GIS 技术做空间区划, 结合历史与实地数据, 为铁路规划运营提供科学依据, 保障安全。

2 雪灾孕灾环境分析

洛隆县地处青藏高原东南部横断山脉北段, 地形复杂, 平均海拔超 3500 米, 念青唐古拉山脉支脉阻挡冷空气与暖湿气流交汇致降雪增多, 山谷易积冷空气形成冷湖效应且易堆积积雪甚至引发雪崩; 其植被类型丰富, 高山草甸可阻积雪移动、降风速, 灌丛能拦积雪、缓融雪, 针叶林可挡降雪、调小气候, 不同植被对雪灾影响各异; 土壤以高山草甸土、棕壤、暗棕壤

【作者简介】罗松彭德 (1984-), 男, 藏族, 中国西藏昌都人, 工程师, 从事综合气象观测研究。

为主，高山草甸土保水强但透气差，棕壤等透气好但保水弱，且土壤含水量高易冻结，阻碍雪水下渗、堆积雪深度，不同土壤条件及冻结情况对雪灾危害程度影响显著。

3 雪灾风险评估模型构建

3.1 评估指标体系建立

雪灾风险评估指标体系含致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性、防灾减灾能力四方面，是准确评估的关键。致灾因子危险性以降雪量、积雪深度、降雪持续时间、风速风向衡量，前三者决定雪灾规模强度，后两者影响积雪分布并可能引发次生灾害。孕灾环境敏感性涵盖地形（山脉影响气流、山谷易积冷空气）、植被（不同类型分别有阻积雪、降风速等作用）、土壤（类型影响雪水下渗，含水量高易冻结加剧危害）。承灾体易损性关注铁路设施（结构材质决定抗灾力）、铁路运营系统（应急预案等应对能力）、沿线居民（居住环境等影响受灾程度）。防灾减灾能力包括预警（预测发布信息）、应急响应（队伍物资处置）、灾后恢复（设施修复与居民救助）能力。计算方法上，气象指标用观测数据，地形用 GIS，植被用遥感与实地调查，土壤用采样分析，易损性与防灾能力用实地调查、问卷等评估。

3.2 指标权重确定方法

确定雪灾风险评估指标权重常用层次分析法 (AHP) 与熵权法。AHP 是定性定量结合法, 将问题分目标层 (雪灾风险评估)、准则层 (四评估维度)、方案层 (具体指标), 专家依 Saaty 1-9 标度两两比较构判断矩阵, 用特征根法等算特征向量得权重, 需通过 $CR < 0.1$ 的一致性检验。其能条理化复杂问题, 倚专家经验, 适缺定量数据场景, 但主观影响大、检验繁琐。熵权法是客观赋权法, 依指标数据变异定权重。先标准化原始数据, 算信息熵、差异系数, 再得权重。它数据驱动无主观干扰, 适数据完整场景, 但对数据质量敏感, 难反映指标间关系。实际中可择一使用, 或用组合赋权法结合二者优势, 提升权重科学性^[1]。

3.3 风险评估模型选择

常用风险评估模型含模糊综合评价模型，其基于模糊数学理论，能处理评估中的模糊性与不确定性，适用于雪灾风险这类多因素复杂问题。该模型原理是通过模糊关系合成，将难定量因素定量化。先定因素集（即雪灾评估指标体系）与评语集（如低、较低、中等、较高、高风险）；再做单因素评判构成模糊矩阵，体现各因素对不同风险等级的隶属度；接着用 AHP、熵权法等确定因素权重向量，最后经模糊合成运算得综合评价向量，依最大隶属度原则定雪灾风险等级。应用时需收集整理雪灾相关数据，合理确定因素集、评语集及权重，科学确定隶属度并选合适合成算子。

4 川藏铁路洛隆县段雪灾风险评估结果

4.1 危险性评估结果

基于致灾因子指标体系评估, 雪灾危险性呈显著空间

差异（如图 1）。高危险性区域集中于北部丁青交界山区及东部怒江上游山区，海拔均超 4000 米，念青唐古拉山脉支脉纵横交错。2015-2024 年十年间，这些区域年均发生雪灾 3.2 次，其中重度雪灾 1.1 次。北部山区因处于冷空气迎风坡，冬季北方冷空气与孟加拉湾暖湿气流在此交汇，2022 年 2 月雪灾中积雪深度达 82 厘米，导致川藏铁路施工支线被掩埋，交通中断 5 天。东部山区东北 - 西南走向山脉阻挡暖湿气流，2018 年 1 月强降雪压断 10kV 输电线路 3 处，沿线施工区停电超 28 小时。南部孜托镇周边及西部达龙乡平原区危险性较低，十年间年均雪灾 0.7 次，且多为轻度降雪，积雪深度普遍不足 15 厘米。



四 1

4.2 敏感性评估结果

孕灾环境敏感性评估显示（如图 2），高敏感区主要分布在北部马利镇山区及东部孜托镇周边山地，这些区域山谷深切，植被覆盖率仅 25%-35%。2021 年 3 月马利镇雪灾中，因植被稀疏，积雪直接冲击坡面，引发小规模水土流失，冲刷沟深度达 0.8 米。低敏感区集中于怒江沿岸河谷及西南部康沙镇森林区。怒江河谷地势平缓，2023 年 1 月降雪量虽达 23 毫米，但积雪 2 日内随河流排泄，未造成堆积；康沙镇针叶林覆盖率超 60%，2020 年雪灾中林内积雪深度较空旷地带减少 40%，生态系统受损轻微。



图 2

4.3 易损性与雪灾综合风险评估结果

承灾体易损性评估显示,铁路桥梁与供电线路易损性最高。2022年2月怒江特大桥施工段雪灾中,桥面积雪56厘米致临时钢栈桥裂,36小时抢修恢复;沿线110kV输电线路覆冰超15毫米,3处杆塔断、供电停42小时。铁路运营系统应急能力存短板,2019年12月中部施工区雪灾初,除雪设备调配迟,效率低30%。东部俄西乡居民易损性突出,2021年雪灾中12户房屋损,救援物资迟1天到,高易损区集中于车站选址区等。

模糊综合评价模型将风险分三级:低风险区康沙镇至孜托镇沿线,2015-2024年仅4次轻度雪灾,2023年1月积雪2小时清完;中风险区孜托镇周边等,2020年12月雪灾积雪12厘米,6小时除完;高风险区马利镇至俄西乡山区,2022年2月雪灾致施工停5天、供电停超40小时,损860万元,高风险因海拔高、地形影响及易损性叠加^[2]。

5 雪灾区划与防治对策

5.1 雪灾区划方法与结果

雪灾区划是防治对策制定的核心基础,本研究以聚类分析法处理雪灾风险评估数据,通过挖掘致灾因子、孕灾环境、承灾体易损性等指标的异同,将风险特征相近区域归类,结合GIS技术将川藏铁路洛隆县段划分为三级风险区。高风险区集中于北部马利镇-东部俄西乡山区,平均海拔超4000米,念青唐古拉山脉支脉纵横。2015-2024年该区域年均雪灾3.2次(重度1.1次),因北部为冷空气迎风坡(2022年2月积雪达82厘米),东部山脉阻挡暖湿气流致降雪集中,高海拔低温又使积雪难融。中风险区涵盖南部孜托镇-中部达龙乡,雪灾危险性与孕灾环境敏感性中等,但承灾体易损性较高。2020年12月雪灾中,达龙乡铁路支线积雪12厘米,铁路部门6小时内除雪,未影响运营。低风险区位于西南部康沙镇-中部孜托镇,风险低、敏感性弱、易损性小,十年仅4次轻度雪灾,2023年1月积雪2小时内清理完毕,铁路未受影响。基于GIS的区划图叠加风险等级与地形、铁路线等要素,直观呈现风险分布,为精准施策提供指引。

5.2 不同雪灾区划区域的防治对策

高风险区:工程建钢结构防雪走廊、2.5米高挡雪墙,关键部位装电加热融雪装置;非工程与气象局联动预警,每季度开展雪灾防范培训。

中风险区:工程加固铁路桥梁支撑、完善排水系统;非工程设每周巡查制度,达龙乡设应急物资储备库。

低风险区:工程每半年检修铁路设施;非工程普及防范知识,建居民信息报告制度^[3]。

5.3 防治对策的实施与保障措施

为确保对策落地,从计划、资金、技术、人员、协调五方面构建保障体系。实施计划上,明确任务节点与责任主体。马利镇防雪走廊项目制定详细进度计划,2024年3月开工、10月竣工,施工中严格把控钢结构焊接、防腐等质量要点;非工程措施如应急预案修订、培训演练等,明确铁路部门为责任主体,每半年开展1次应急演练,确保流程顺畅。资金保障上,构建“政府+社会”多元投入机制。2023年政府投入800万元雪灾防治专项基金,用于防雪设施建设与应急物资采购;通过政策引导吸引社会资本300万元,参与新型融雪装置研发与推广,为防治工作提供充足资金支持。技术支撑上,强化产学研合作。与西南交通大学合作研发新型环保融雪剂,融雪速度较传统产品提升40%,且对轨道、土壤腐蚀性降低60%;建立技术咨询机制,邀请灾害防治专家为防雪设施建设、应急预案制定提供技术指导,解决实施中的技术难题。人员培训上,提升专业处置能力。2024年组织2次雪灾防治专项培训,覆盖200余名铁路工作人员、应急救援人员,通过“理论讲解+实操演练”模式,培训内容涵盖雪灾监测、设施维护、应急处置等,显著提升工作人员业务水平。部门协调上,建立多部门联动机制。铁路、气象、应急、交通等部门每月召开协调会议,共享监测数据、会商风险形势;2022年雪灾中,气象部门实时推送降雪数据,铁路部门启动一级应急响应,应急部门调配救援力量,多部门协同处置,较预期减少60%经济损失。

6 结语

本研究针对川藏铁路洛隆县段雪灾,明确致灾因子时空特征与孕灾环境影响,构建“四维度”评估指标体系,结合AHP、熵权法与模糊综合评价模型,划分高(北部/东部山区)、中、低三级风险区,配套分区防治对策与保障措施,成果具理论与实践价值。研究存在不足:数据时空覆盖有限,部分偏远区域数据空白;模型存主观性,难完全模拟雪灾过程。未来将融合多源数据补数据短板,结合机器学习改进模型,深入研究雪灾机制,建动态评估系统,加强部门协作,提升铁路雪灾应对能力。

参考文献:

- [1] 刘杰,楚志刚.川藏地区及川藏铁路沿线风场特征分析[J].气象科技,2023,51(1):142-148.DOI:10.19517/j.1671-6345.20220039.
- [2] 包云,高歌,李亚群,等.基于监测数据挖掘的高铁气象灾害风险评估方法研究[J].灾害学,2022,37(2):44-48.DOI:10.3969/j.issn.1000-811X.2022.02.008.
- [3] 周雪.基于WRF模式的川藏铁路风吹雪易发性研究[D].石家庄铁道大学,2024.DOI:10.27334/d.cnki.gstdy.2024.001154.