

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.10.013

邓国卫, 郭海燕, 李秀梅. 川藏铁路四川段沿线强风特征及其危险性评估 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(10): 155-166.

川藏铁路四川段沿线强风特征及其危险性评估

邓国卫^{1,2}, 郭海燕³, 李秀梅⁴

1. 四川省气候中心, 成都 610072;
2. 中国气象局成都高原气象研究所/高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 成都 610072;
3. 四川省气象灾害防御技术中心, 成都 610072; 4. 四川省眉山市气象局, 四川 眉山 620020

摘要: 强风是影响川藏铁路安全建设与运营的主要气象灾害之一。为减轻或避免强风灾害对川藏铁路建设与运营安全的影响, 以四川段为例, 利用 200 余个地面区域自动气象站 2009—2022 年的 10 m 高度测风数据, 分析了川藏铁路四川段沿线强风分布特征, 并根据强风对施工期与运营期的不同影响, 分别建立不同评估指标评估其强风危险性。研究结果表明: 泸定县以西路段受高原地形影响, 强风频次较高, 大部路段各月大风日数超过 5 d, 年均极大风速超过 10.0 m/s, 极大风速盛行风向以偏北风为主, 其中理塘和春季分别是大风日数最多的路段和时段。泸定县以东路段受盆地地形影响, 强风频次较低, 全年大风日数可忽略不计, 年均极大风速为 5.0~10.0 m/s, 全年极大风速盛行风向以偏东风为主。川藏铁路四川段沿线施工期与运营期强风危险性等级分布较为一致, 其中较高及以上等级区域均集中于雅江县西部至理塘县路段。基于区域自动气象站数据开展川藏铁路沿线强风特征及其危险性分析更加精细, 可为川藏铁路四川段建设与运营期的强风防灾减灾提供参考。

关键词: 川藏铁路; 强风; 危险性; 评估; 四川

中图分类号: P425.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2024)10-0155-12

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Characteristics and Hazard Assessment of Strong Winds along the Sichuan Section of the Sichuan Xizang Railway

DENG Guowei^{1,2}, GUO Haiyan³, LI Xiumei⁴

1. Sichuan Climate Center, Chengdu 610072, China;
2. Chengdu Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration / Key Laboratory of Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin of Sichuan Province, Chengdu 610072, China;
3. Sichuan Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Chengdu 610072, China;
4. Meishan Meteorological Bureau, Meishan Sichuan 620020, China

收稿日期: 2024-02-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(42175085); 中国气象局决策气象服务专项重点项目(JCZX2023010); 川藏铁路气象服务技术创新团队(XNQYCXTD202201)。

作者简介: 邓国卫, 高级工程师, 主要从事气象灾害风险评估。

通信作者: 郭海燕, 正高级工程师。

Abstract: Strong wind is one of the main meteorological disasters affecting the safe construction and operation of the Sichuan Xizang Railway. In order to reduce or avoid the impact of strong wind disaster on the construction and operation safety of the Sichuan Xizang Railway, this article took the Sichuan section as an example, analyzed the distribution characteristics of strong winds along the Sichuan section of the Sichuan Xizang Railway using wind measurement data from over 200 automatic meteorological stations at a height of 10m over the past 10 years. Based on the different impacts of strong winds on the construction and operation periods, different evaluation indicators were established to evaluate the strong wind risk. The research results showed that the western section of Luding County was affected by the plateau terrain, with a higher frequency of strong winds. Most sections had more than 5 strong wind days per month, and the average annual maximum wind speed exceeded 10.0 m/s. The prevailing wind direction of the maximum wind speed was mainly northerly, with Litang and spring being the sections and periods for the highest number of strong wind days, respectively. The section of the road at east of Luding County was affected by the terrain of the basin, and the frequency of strong winds was relatively small. The number of strong wind days throughout the year could be ignored. The average annual maximum wind speed was 5.0—10.0m/s. The prevailing wind direction for the annual maximum wind speed was mainly easterly. The distribution of strong wind hazard levels along the Sichuan section of the Sichuan Xizang Railway during the construction and operation periods was relatively consistent, with areas of higher or higher levels above concentrated in the western part of Yajiang County to Litang County. A more detailed analysis of the characteristics and hazards of strong winds along the Sichuan Xizang Railway based on regional automatic meteorological station data could provide reference for prevention and reduction of the strong wind disaster in the construction and operation of the Sichuan section of the Sichuan Xizang Railway.

Key words: Sichuan Xizang Railway; strong wind; risk; evaluation; Sichuan

川藏铁路地处我国四川和西藏地区,全长 1 543 km,是西藏对外运输的重要生命线工程,但由于沿线地形高差大,具有多种极端地理环境和气候特征,因此建设施工与运营难度大^[1]. 全国第一次自然灾害综合风险普查显示,大风灾害是川藏地区的主要气象灾害之一. 强风会影响铁路建设与桥梁施工安全,并增加施工费用^[2-3],可造成高速列车限速运行、禁行、异物侵袭和列车脱轨^[4],还可对铁路通信、电力等设施造成危害^[5]. 因此,分析川藏铁路沿线强风特征及其危险性,对川藏铁路建设和运营具有重要意义.

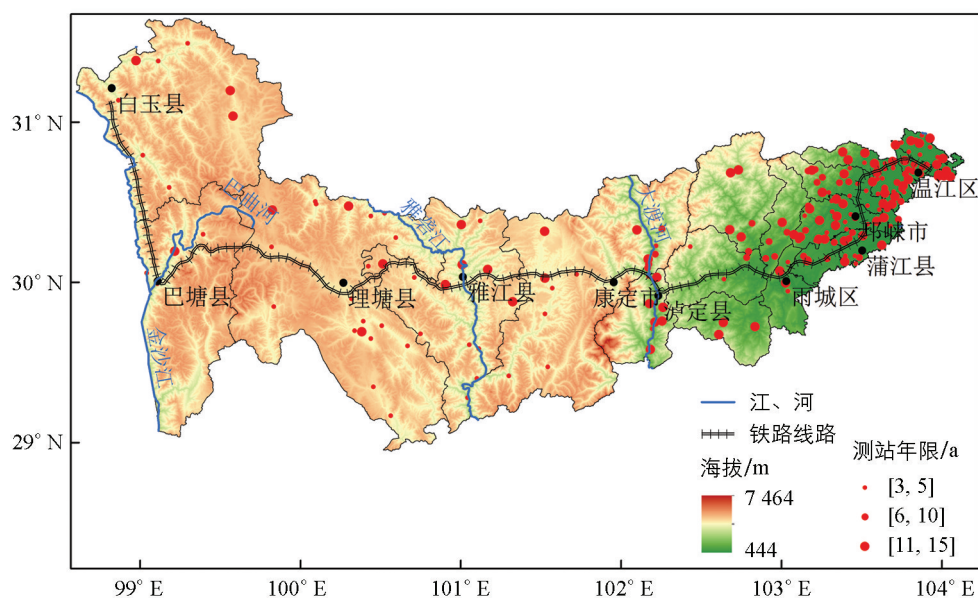
鉴于强风对铁路建设和安全运营有重要影响,国内关于铁路强风灾害的研究较多,主要包括铁路强风灾害特征及其成因分析^[6]、监测与预警技术研究^[2]、风险评估与影响评价^[7-8]、防范与应对措施研究^[9-10]等,但针对川藏铁路沿线强风灾害的研究相对较少. 刘杰等^[11]利用 10 m 高度的 NCEP FNL 再分析风场资料分析了川藏铁路及川藏铁路沿线风场空间分布特征和时间变化规律,指出川藏铁路沿线极大风速呈明显上升趋势;孟少伟等^[12]基于 GIS 空间分析技术,开展了川藏铁路雅安至昌都段易发性评价,发现铁路沿线风吹雪易发性指数高的区域主要分布在新都桥、理塘等地;Nie 等^[13]分析了川藏铁路沿线气候变化影响,指出风速呈上升趋势时,大风灾害风险增大;孔锋等^[14]基于常规国家气象站资料,统计了青藏高原地区最大风速和极大风速特征,发现其波动变化相较于国内其他地区更为明显. 上述研究主要基于再分析和常规国家气象站等资料,所用资料的时空精细度存在一定不足.

川藏铁路四川段全长 470 km, 横跨成都、雅安、甘孜等市(州)近 10 余个县(区)和多条大江大河, 沿线地形复杂, 气候分带明显。目前, 四川境内雨城区以东路段基本建成并投入运营, 以西路段仍处于建设施工阶段。本研究以四川段为例, 利用地面区域自动气象站观测资料, 分析川藏铁路四川段沿线强风空间分布特征, 并根据强风对施工期和运营期的不同影响, 分别评估其危险性, 以期为川藏铁路四川段建设与运营期的气象防灾减灾提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本研究基于气象部门地面气象观测站网, 共收集有川藏铁路四川段沿线附近 20 个县(区)有风要素观测的地面区域自动气象站 287 个, 其测风高度基本位于离地 10 m。考虑到部分区域自动气象站 2009—2022 年观测时间较短或观测数据完整率较低, 同时为尽可能保证高原地区有足够观测站点密度, 按以下 2 个原则对部分站点进行剔除: ① 观测年限低于 3 a。② 数据完整率低于 70%。经过剔除后, 共选出 200 个区域自动气象站, 其中 81 个站观测年限为 3~5 a, 41 个站观测年限为 6~10 a, 78 个站观测年限为 11 a 及以上。将该 200 个地面区域自动气象站自建站至 2022 年的逐日极大风速观测数据(含风速和风向)作为本文研究的基础数据, 数据均来源于四川省气象探测数据中心, 并经过质控。200 个地面区域自动气象站分布及其观测年限如图 1 所示。由于所用区域自动气象站观测资料年限不一, 需进一步探讨不同年限极大风速资料的可比性。鉴于国家级气象站自 2003 年实现自动化观测改造后开始有较为完整的逐日极大风速观测资料, 利用基于研究区所有国家级气象站统计的 2004 年以来日极大风速, 进行 MK(Mann-Kendall)检验^[15](图 2)。由图 2 可知, 2004—2022 年研究区年平均日极大风速为 6.7~7.4 m/s, MK 检验显示, UF 和 UB 两条曲线在临界范围(0.05 水平显著线)内多次相交, 无法判断有明显突变发生, 且 UF 位于临界范围内, 表明过去 19 年区域极大风速变化较为平稳, 趋势变化不显著。因此, 可认为研究区近 2009—2022 年不同观测年限的极大风速资料具有一定可比性。



审图号: 川 S(2021)00059 号。

图 1 川藏铁路四川段地面区域自动气象站分布及观测年限

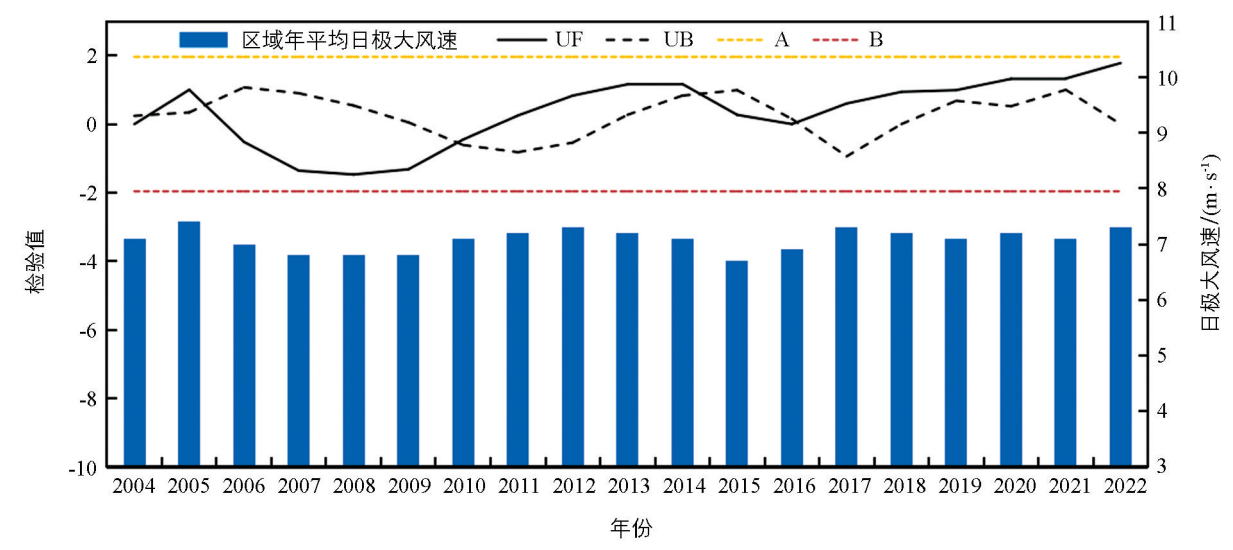


图 2 基于国家级气象站的川藏铁路四川段日极大风速 MK 检验

1.2 研究方法

1.2.1 风速随高度推算

采用风切变幂律公式进行风速随高度变化的推算，公式如下：

$$v_2 = v_1 \left[\frac{z_2}{z_1} \right]^a \tag{1}$$

式中： v_1 ， v_2 分别为高度 z_1 ， z_2 处的风速，m/s； a 为风切变指数，其值大小反映风速垂直切变的强度，常取 $1/7$ ^[16]，但鉴于川藏铁路四川段大部处于高原峡谷区，一般风的垂直切变较大，参考任腊春等^[17]对高原峡谷地区风切变指数的研究成果，取 $a=0.3$ 。

1.2.2 横向风压

横向风压是指风对车辆侧面产生的压力，常用于评估横风对铁路和高速公路的影响^[18]。计算公式如下：

$$W = \frac{1}{2} \rho v^2 \tag{2}$$

式中： W 为横向风压，N/m²； v 为横风风速，即风场垂直于轨道的分量，m/s； ρ 为空气密度，kg/m³。

空气密度一般与海拔密切相关，特别是高海拔高原地区，空气密度受海拔影响明显^[19]。考虑到川藏铁路沿线高差大，根据气体状态方程，求得空气密度与海拔关系方程式，用于对川藏铁路沿线空气密度的计算。公式如下：

$$\rho_H = 1.292(1 - 0.006\ 5H/273)^{4.26} \tag{3}$$

式中： ρ_H 为海拔为 H 时的空气密度，kg/m³； H 为海拔，m。

1.2.3 危险性评估与分级

气象灾害危险性是指气象灾害的异常程度，一般采用灾害强度、灾变频率等作为评估指标进行综合度量^[20]。本研究在确定危险性评估指标基础上，采用层次分析法，构建基于 GIS 的加权综合评估模型，开展危险性评估。具体如下：

$$R = \sum_{i=1}^n w_i \times \overline{D}_i \tag{4}$$

式中： R 为危险性评估指数； w_i 为第 i 个指标权重，由层次分析法求取； $\overline{D}_i$ 为第 i 个评估指标归一化值。其中归一化方法如下：

$$\overline{D} = 0.5 + 0.5 \times \frac{D - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \quad (5)$$

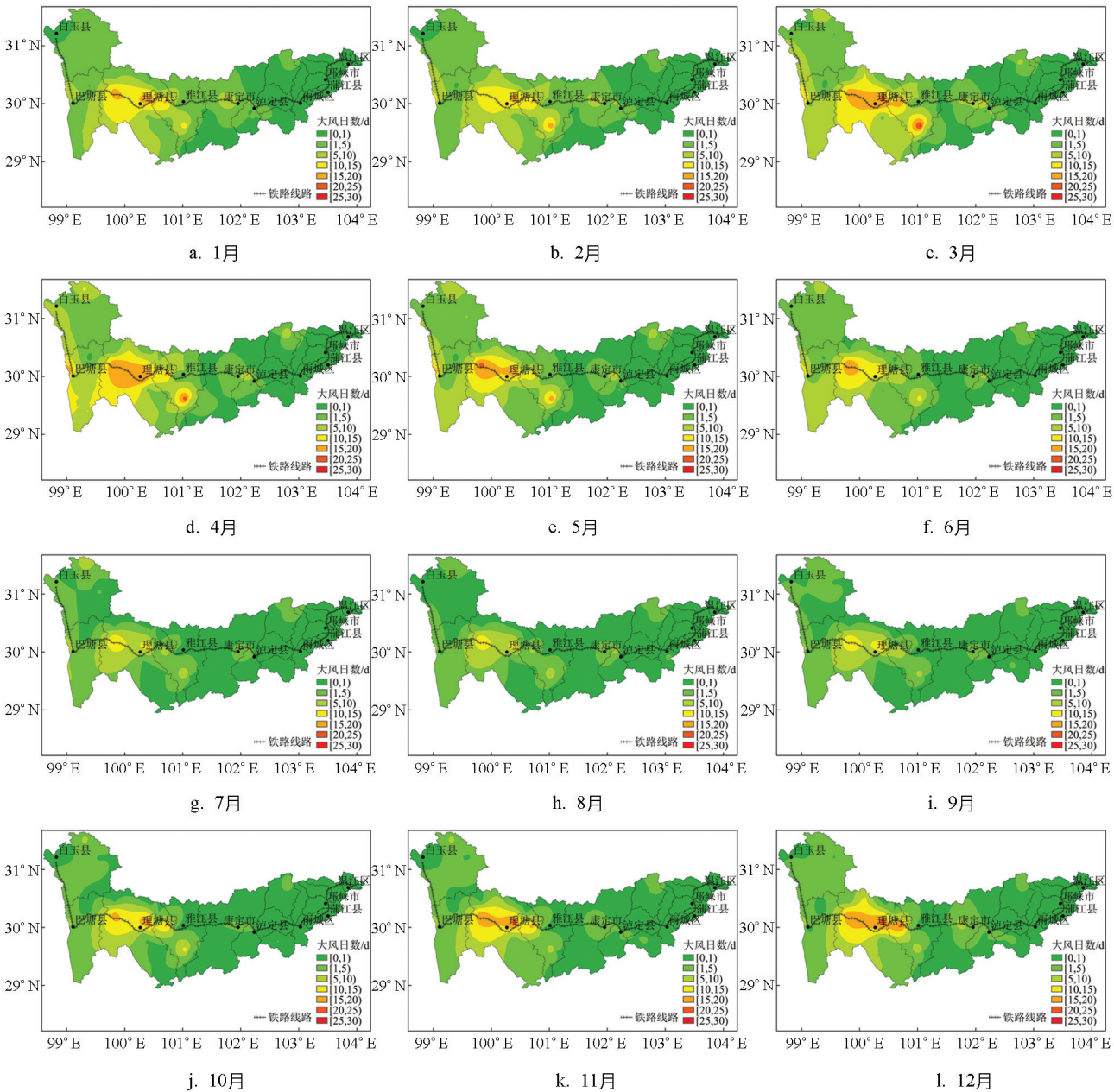
式中: $\overline{D}$ 为归一化值; $D_{\max}$ 、 $D_{\min}$ 分别为 D 的最大值与最小值。

然后, 基于 GIS, 采用自然断点法^[21], 实现分级数据组间差异最大、组内差异最小, 将危险性评估指数划分为低、较低、中等、较高、高 5 个等级。

2 强风特征分析

2.1 大风日数空间分布月变化

气象上一般将 10 m 高度极大风速大于 17.2 m/s(8 级)出现的日数作为大风日数的统计标准。图 3 显示了基于区域自动气象站统计的川藏铁路四川段沿线年均大风日数空间分布的逐月变化。



审图号: 川 S(2021)00059 号。

图 3 年均大风日数空间分布逐月变化

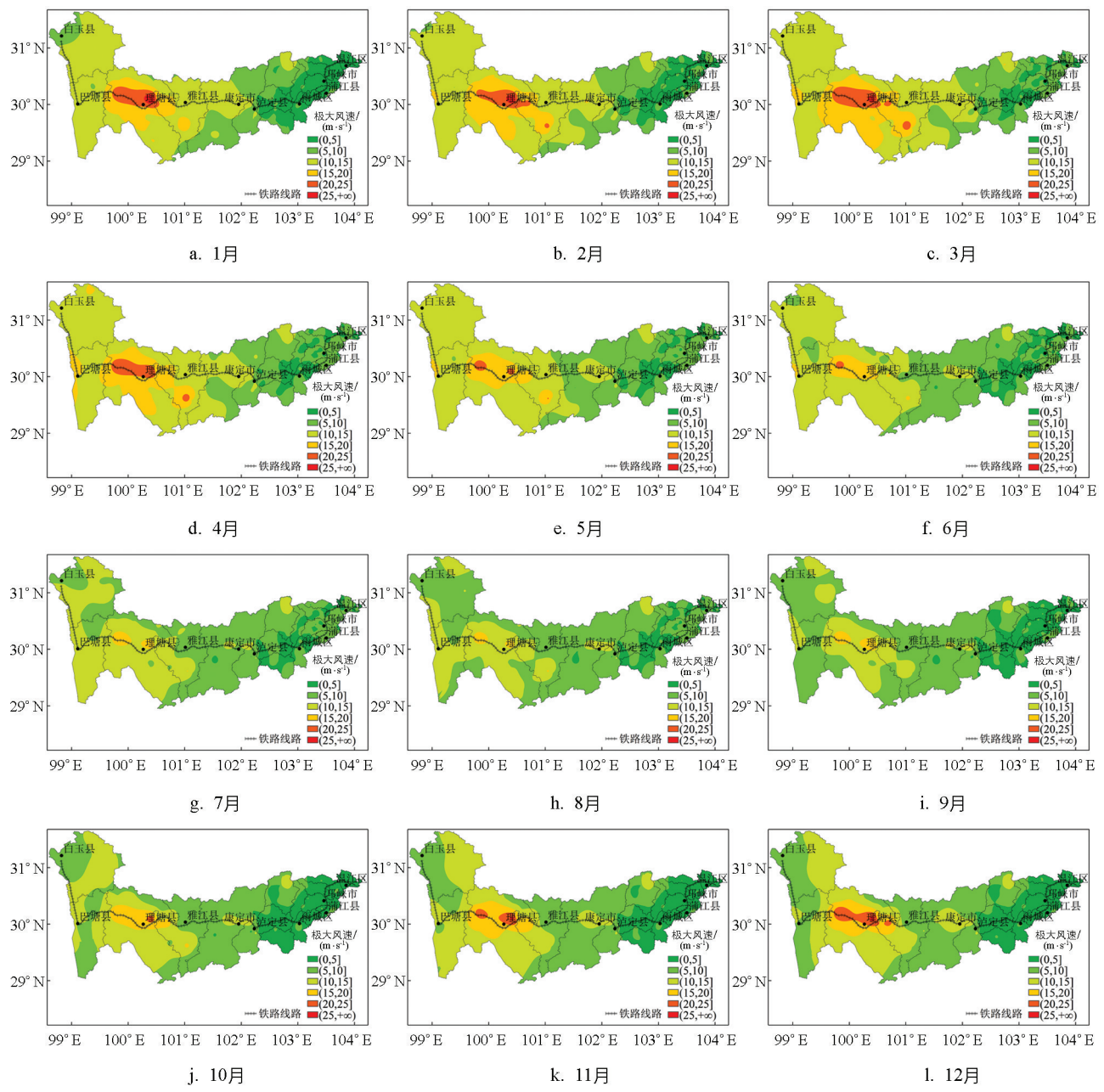
由图 3 可见,在空间分布上,四川段沿线各月大风日数呈现为相似的分布特征.其中,泸定县以东路段受盆地地形影响,全路段各月大风日数基本低于 1 d;泸定县以西路段受高原地形影响,大部分路段各月大风日数超过 5 d,且理塘县路段出现大值中心.在时间分布上,四川段沿线大风日数呈现明显的季节变化.其中,1—2 月大风日数相差不大,最大值分布于理塘路段,但一般不超过 15 d;3—5 月大风日数较为一致,与 1—2 月相比有一定程度增多,特别是雅江县以西路段增加明显,超过 15 d 的区域已覆盖至理塘县全路段;进入 6 月,雅江县以西路段大风日数略有减少,特别是理塘县路段超过 15 d 的区域仅限于理塘县西部;7—9 月,全路段大风日数减至全年最小,除理塘县路段局部为 10~15 d 外,其他路段均在 10 d 以下,特别是雅江县以东路段基本低于 1 d;进入 10 月,雅江县以西路段大风日数略有增加,理塘县路段基本在 10 d 以上;11—12 月大风日数有进一步增加,理塘县路段超过 15 d 以上的大值区范围不断扩大.总体而言,受高原和盆地地形不同的影响,泸定县以西路段各季节大风日数由多到少排序依次为:春季、冬季、秋季、夏季,而泸定县以东路段各季节大风日数均较少;理塘县路段和春季分别是川藏铁路四川段大风日数最多的路段和时段,特别是春季理塘路段,春季各月均有一半以上天数出现大风.

2.2 极大风速空间分布月变化

为进一步分析川藏铁路四川段强风风速特征,对各月年均极大风速进行统计.图 4 显示了基于区域自动气象站统计的川藏铁路四川段沿线年均极大风速空间分布的逐月变化.由图 4 可知,对于泸定县以东路段,年均极大风速一般较小.其中,1—2 月、9—12 月大部路段年均极大风速低于 5.0 m/s,而 3—8 月稍大,部分路段可为 5~10 m/s.对于泸定县以西路段,年均极大风速基本较大.其中,1—3 月年均极大风速超过 10 m/s,特别是理塘县路段大部在 20 m/s 以上;4—6 月,巴塘县至白玉县路段年均极大风速继续维持在 10~15 m/s,而理塘县路段、泸定县至雅江县路段均有减小,其中前者超过 20 m/s 的大值区范围缩小明显,后者低于 10 m/s 的范围不断扩大;进入 7—9 月,年均极大风速进一步减小,基本处于全年最低,其中雅江县至白玉县路段大部为 10~15 m/s,泸定县至雅江县路段大部为 5~10 m/s;10—12 月,年均极大风速逐渐增大,特别是理塘县路段大部增加至 15 m/s 以上.综上可见,泸定县以东路段大部秋、冬季年均极大风速低于 5 m/s,春、夏季为 5~10 m/s.泸定县以西路段大部年均极大风速超过 10 m/s,其中 1—4 月极大风速偏大,7—9 月极大风速偏小.理塘县路段是川藏铁路四川段各月极大风速大值中心,该路段在川藏铁路四川段建设与运营期应加强防风措施.

2.3 极大风速盛行风向空间分布月变化

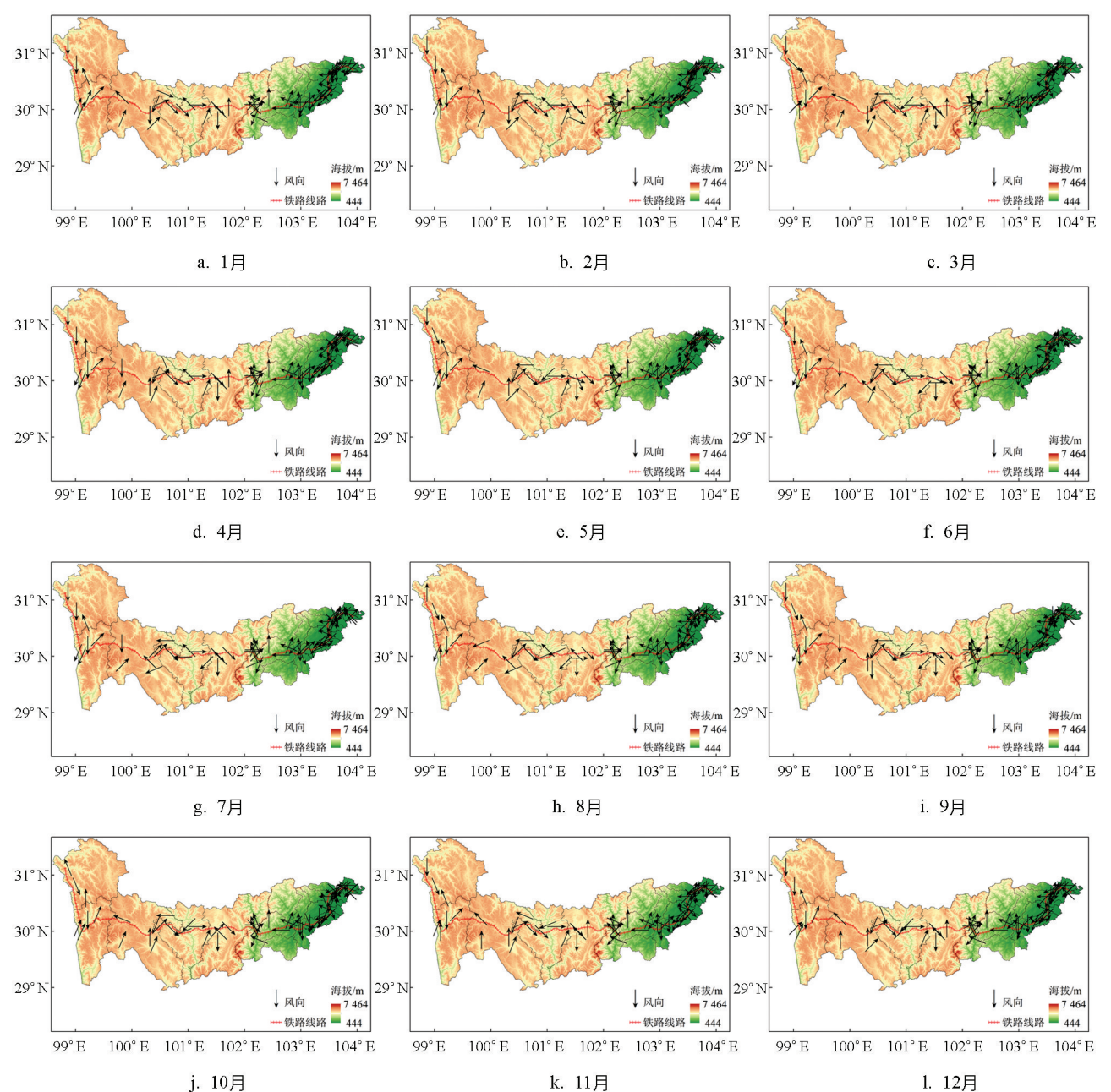
为了进一步分析四川段沿线强风风向特征,本研究根据 16 个标准风向的分类标准,对极大风速风向发生频率最大风向(盛行风向)进行统计,将统计出的风向按照站点位置以箭头形式标注于地形图上.鉴于泸定县以西高原地区气象观测站点较为稀疏,而泸定县以东盆地地区气象观测站点较为密集,对泸定县以西高原地区按照铁路沿线周边 20 km 范围提取站点,对泸定县以东盆地地区按照铁路沿线周边 5 km 范围提取站点.图 5 为铁路沿线极大风速盛行风向逐月变化图.一般盛行风向与地形走势密切相关,由于泸定县以西高原地区山脉河谷主要呈南北走向,而泸定县以东盆地地区与高原呈东西布局,所以本研究对泸定县以西地区重点分析南北风向,对泸定县以东地区重点分析东西风向.由图 5 可知,对于泸定县以西路段,1—3 月和 10—12 月白玉县路段、雅江县至理塘县路段各月



审图号: 川 S(2021)00059 号.

图 4 年均极大风速空间分布逐月变化

极大风速盛行风向以偏北风为主, 理塘县至巴塘县路段、康定市至雅江县路段以偏南风为主, 4—9 月大部路段以偏北风为主. 对于泸定县以东路段, 1—12 月大部路段各月极大风速盛行风向以偏东风为主, 与罗青等^[22]得到的四川盆地西部各季节近地面平均风场呈东风的结论相一致. 高原地区大风日数较多、极大风速较大, 特别是铁路横穿的高原河谷区, 由于峡谷地形对风速的加强和跨河桥梁建设施工的需要, 其往往是铁路建设与运营的重点防风区, 需重点关注其风向特征. 分析高原河谷区的极大风速盛行风向可发现, 铁路横穿的大渡河区 (康定市与泸定县附近) 极大风速盛行风向以偏南风为主, 雅砻江河谷区 (雅江县) 和金沙江区 (白玉县) 以偏北风为主, 而巴曲河谷区 (巴塘县) 1—3 月、10—12 月以偏南风为主, 其他月份以偏北风为主.



审图号：川 S(2021)00059 号。

图 5 极大风速盛行风向逐月变化

3 强风危险性评估

3.1 施工期强风危险性评估

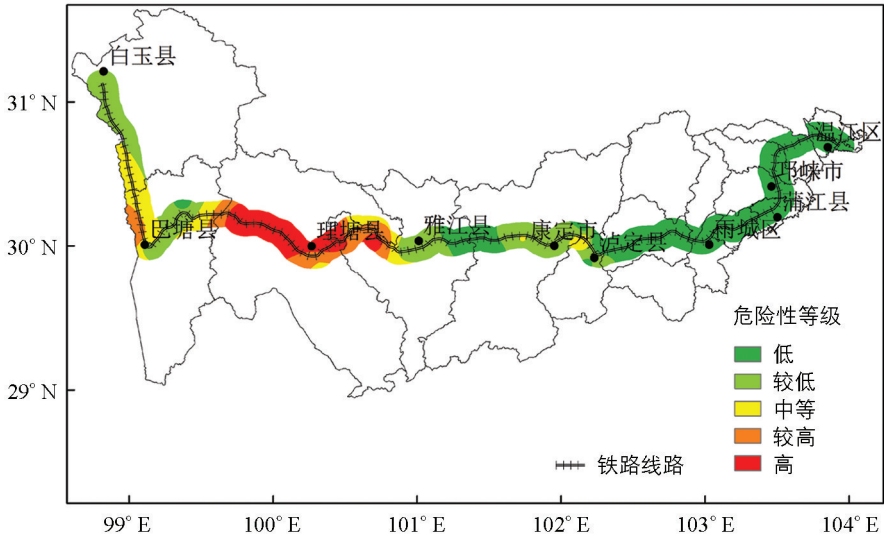
川藏铁路桥隧比超过 90%，存在大量的路基、路堑、桥梁等工程，且工期较长^[12]。强风不仅会影响桥梁等工程建设抗风参数设计，还会影响工程建设的施工安全。因此，评估川藏铁路建设施工期的强风危险性十分必要。根据《铁路工程基本作业施工安全技术规程》(TB10301—2020)和已有研究成果^[23-24]，一般当风力达到 6 级及以上等级，就会对铁路、桥梁等施工造成一定影响。结合川藏铁路沿线大风对建设施工的影响调查，将 6 级及以上大风划分为 5 个不同风灾等级，如表 1 所示。其中，当风力达到 6 级时，高空作业需要采取可靠的安全措施；当风力达到 7 级时，高塔吊需要停工；当风力达到 8 级时，停止一切吊装、高空

作业；当风力达到 9 级时，停止一切施工；当风力超过 9 级时，需对人员、可移动机械等进行撤离。基于危险性评估原理^[25-26]，从强风灾害频次和强度特征出发，将各等级风灾年均出现日数作为危险性评估指标，采用加权综合评估模型，评估铁路施工期强风危险性。根据各等级风灾对川藏铁路施工的影响，运用层次分析法，求取 1 至 5 级风灾各指标权重分别为：0.03，0.07，0.13，0.26，0.51。

表 1 施工期风灾等级划分

风灾等级	风力等级	10 m 高度风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	灾害程度	施工影响
1	6 级	[10.8, 13.8]	轻风灾	高处作业、起重吊装必须采取可靠的安全措施，桩工机械停止作业
2	7 级	[13.9, 17.1]	一般灾	高塔吊停工，工程车辆慢行，桩机顺风停置，并设缆风绳
3	8 级	[17.2, 20.7]	中等风灾	停止一切吊装、高空作业
4	9 级	[20.8, 24.4]	重风灾	停止所有施工
5	>9 级	[24.5, +∞)	极重风灾	可移动机械、人员撤离

图 6 显示了川藏铁路四川段沿线 10 km 缓冲区范围内施工期强风危险性等级。由图 6 可知，泸定县以东路段基本属于低危险性等级，泸定县西部至雅江县东部大部路段属于较低危险性等级。除白玉县北部路段和巴塘县中部路段外，雅江县以西路段基本在中等及以上危险性等级，其中雅江县西部至理塘县路段基本属于高危险性等级。结合地形看，雅江县西部至理塘县路段虽为高危险等级区，但其位于丘状高原，地势相对平坦，而巴塘县西部至白玉县南部路段虽属于中等至较高危险性等级区，但其位于金沙江河谷区，地形高差大，桥梁、隧道等建设工程多且施工难度大，强风孕灾环境敏感。因此，对巴塘县西部至白玉县南部路段的强风影响也应按最高等级防护施工要求应对。



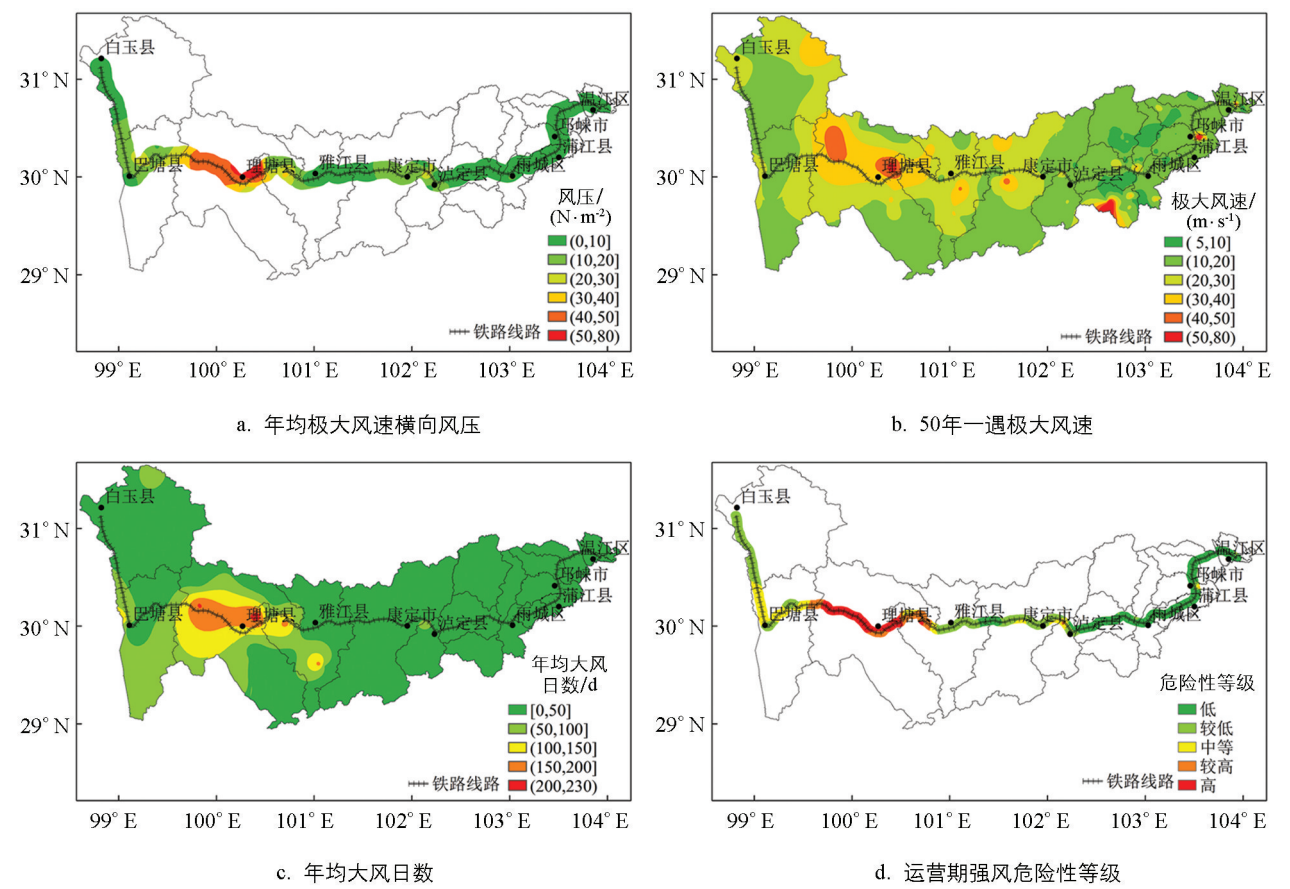
审图号：川 S(2021)00059 号。

图 6 施工期强风危险性等级

3.2 运营期强风危险性评估

与施工期不同，运营期需要考虑强风对铁路基础设施、列车运行稳定性、异物吹入铁路轨道等的影响，因此在选取强风危险性评估指标方面存在明显差异。横风可使车体产生较大的侧向风压，降低列车运行的稳定性。铁路基础设施建设一般会考虑强风影响，但对强风的考虑往往限定在某一重现期条件下。而异物吹入轨道一般出现在大风天气。因此，选取列车年均极大风速横向风压、50 年一遇极大风速和年均大风日数作为川藏铁路运营期强风危险性评估指标。以离地 2 m 高度作为列车高度，首先基于

10 m 高度极大风速观测值,运用公式(1)计算 2 m 高度极大风速值,然后根据 2 m 高度极大风速及其对应 10 m 高度风向和铁路走向,采用公式(2)和(3)统计列车年均极大风速横向风压,并基于 2 m 高度逐月极大风速统计值,采用 WeiBull 分布函数计算列车 50 年一遇极大风速^[27]. 图 7a 显示了川藏铁路四川段沿线 10 km 缓冲区范围内列车年均极大风速横向风压. 泸定县以东路段列车年均极大风速横向风压基本低于 10 N/m², 泸定县以西路段以理塘县最高,大部路段超过 40 N/m²,其次为泸定县至康定市东部和巴塘县至白玉县南部,大部路段为 10~20 N/m²,康定市西部至雅江县东部和白玉县北部较小,大部路段低于 10 N/m². 图 7b 显示了 2 m 高度列车 50 年一遇极大风速空间分布. 泸定县及其以东路段 50 年一遇极大风速低于 20 m/s,康定市至雅江县路段基本为 20~30 m/s,理塘县最高,大部路段超过 30 m/s,巴塘至白玉路段基本为 10~30 m/s. 图 7c 显示了年均大风日数空间分布. 年均大风日数超过 150 d 的路段主要分布于理塘县,雅江县以东路段基本低于 50 d.



审图号: 川 S(2021)00059 号.

图 7 运营期强风危险性评估

基于上述评估指标,采用加权综合评估法,评估铁路运营期强风危险性. 根据《铁路技术管理规程(高速铁路部分)》和兰新客运专线实践^[28],当环境风速(约 2 m 高度观测值) ≤ 15 m/s 时,可以正常速度行驶;当环境风速 ≤ 20 m/s 时,运行速度 ≤ 300 km/h;当环境风速 ≤ 25 m/s 时,运行速度 ≤ 200 km/h;环境风速 ≤ 30 m/s 时,运行速度 ≤ 120 km/h;环境风速 ≤ 35 m/s 时,运行速度 80 km/h;环境风速 > 35 m/s 时,停运. 综合考虑不同环境风速对铁路运营影响,采用层次分析法,得到列车年均极大风速横向风压、50 年一遇极大风速和年均大风日数等 3 个指标权重分别为: 0.4, 0.3, 0.3. 图 7d 显示了川藏铁路四川段沿线 10 km 缓冲区范围内运营期强风危险性等级. 泸定县以东路段基本属于低危险性等级,泸定县以西至雅江县路段大部属于较低危险性等级,雅江县以西至理塘县路段大部属于较高及以上危险性等级,其中理塘县

路段属于高危险性等级, 巴塘县路段大部属于中等危险性等级, 白玉县大部属于较低危险性等级。综上所述, 运营期应加强对雅江县以西至理塘县路段的强风防范。对于康定市和巴塘县出现的中等危险性等级路段, 由于大部是在河谷区, 地形复杂, 孕灾环境敏感, 也应加强强风防范。

4 结论与讨论

本研究基于地面区域自动气象站 10 m 高度的风观测资料, 统计分析了川藏铁路四川段沿线的大风日数、极大风速及其盛行风向的空间分布特征, 并根据施工期与运营期强风的不同影响, 建立不同指标分别评估了强风危险性, 得到如下结论:

1) 泸定县以西路段受高原地形影响, 大部分路段各月大风日数超过 5 d。理塘和春季分别是川藏铁路四川段大风日数最多的路段和时段, 特别是春季理塘路段, 各月均有一半以上天数出现大风。泸定县以东路段受盆地地形影响, 路段各月大风日数基本低于 1 d。

2) 泸定县以东路段大部秋、冬季年均极大风速低于 5 m/s, 春、夏季为 5~10 m/s。泸定县以西路段大部年均极大风速超过 10 m/s, 其中春季最大, 夏季最小, 各月极大风速大值中心均出现在理塘县路段。关于极大风速盛行风向, 泸定县以西大部路段以偏北风为主, 泸定县以东大部路段以偏东风为主, 其中, 大渡河区以偏南风为主, 雅砻江河谷区和金沙江区以偏北风为主。

3) 施工期强风危险性评估结果表明, 巴塘县西部至白玉县南部路段属于中等及以上危险性等级, 雅江县西部至理塘县路段属于高危险性等级, 但巴塘县西部至白玉县南部路段位于金沙江河谷区, 地形高差大, 强风孕灾环境敏感, 对巴塘县西部至白玉县南部路段的强风也应按最高等级防护施工要求应对。

4) 运营期强风危险性评估结果表明, 理塘县路段大部位于高危险性等级, 属于运营期应加强强风防范的重点区域。其中, 理塘县路段列车年均极大风速横向风压超过 40 N/m^2 , 50 年一遇极大风速超过 30 m/s, 年均大风日数超过 150 d。对于康定市和巴塘县内出现的中等危险性等级路段, 由于大部是在河谷区, 地形复杂, 孕灾环境敏感, 也应加强强风防范。

影响川藏铁路强风灾害风险的因素很多, 也较为复杂。鉴于川藏铁路沿线地理位置特殊、地形复杂、桥隧比高、施工难度大且周期长, 获取川藏铁路沿线较为翔实的孕灾环境和承灾体易损性数据十分困难。因此, 本研究主要分析了川藏铁路四川段强风灾害致灾因子危险性。为了克服沿线测风站点稀疏的缺点, 本研究尽可能收集地面区域自动气象站的测风数据开展分析。与以往研究^[11-12]相比, 本研究指出了理塘县路段是大风频次较高、风速较大区域, 并分别给出了川藏铁路四川段施工期和运营期危险性评估结果, 评估结果更为精细, 也更有利于为川藏铁路四川段的建设与运营提供指导。但需指出的是, 地面区域自动气象站大多设立在河谷或山谷区, 其区域研究结果的代表性可能会存在一定不足。

参考文献:

- [1] 兰恒星, 张宁, 李郎平, 等. 川藏铁路可研阶段重大工程地质风险分析 [J]. 工程地质学报, 2021, 29(2): 326-341.
- [2] 苏延文, 颜永逸, 曾永平, 等. 复杂山区铁路大跨桥梁施工大风监测预警技术 [J]. 铁道标准设计, 2020, 64(S1): 204-207.
- [3] 郑贺民. 克塔铁路大风地区施工增加费用分析及对策研究 [J]. 铁路工程技术与经济, 2022, 37(2): 18-21.
- [4] 李德仓, 陈晓强, 孟建军, 等. 恶劣环境下铁路行车安全研究综述 [J]. 交通信息与安全, 2022, 40(4): 26-37.
- [5] 刘琪, 肖天贵, 刘孙俊, 等. 藏中地区影响通电线路安全的气象环境的多尺度变化特征研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(4): 127-134.
- [6] 孙玫玲, 张赛, 马京津. 津秦高速铁路沿线风况特征 [J]. 生态学杂志, 2019, 38(11): 3487-3495.

[7] 包云,李亚群,马祯,等. 基于监测数据挖掘的高速铁路大风危险性评估研究 [J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(9): 82-87.

[8] 任丽媛,张希帆,孙玫玲,等. 天津高铁沿线风致轻漂浮物入侵灾害气象风险分析及应用 [J]. 气象, 50(6): 756-769.

[9] 孟祥连,李鲲鹏,谢胜波,等. 兰新高铁大风区风况特征及防风工程设计分区 [J]. 中国沙漠, 2018, 38(5): 972-977.

[10] 王玉环. 大风区高速铁路接触网 AF 线抗风研究 [J]. 铁道标准设计, 2018, 62(10): 164-169.

[11] 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.

[12] 孟少伟,冯涛,张广泽,等. 川藏铁路雅安至昌都段风吹雪空间分异特征及易发性评价 [J]. 地球科学, 2022, 47(3): 987-994.

[13] NIE S Y, MA J. Analysis of the Impact of Climate Change on the Areas along the Sichuan-Tibet Railway [J]. OALib, 2021, 8(7): 1-16.

[14] 孔锋,孙劭,王鹏. 1961—2018 年中国风速均值和极端值的时空演变特征 [J]. 灾害学, 2021, 36(2): 89-96.

[15] 薛雨婷,李谢辉,王磊,等. 1976—2017 年西南地区夏季不同等级降水时空变化特征 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(2): 137-145.

[16] 宫靖远,贺德馨,孙如林,等. 风电场工程技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 16-25.

[17] 任腊春,钟滔,李良县. 高原峡谷风电场微观选址方法研究 [J]. 水力发电, 2015, 41(1): 82-94.

[18] 牛迪宇,包云轩,袁成松,等. 江苏省典型高速公路强风和强横风时空分布特征 [J]. 自然灾害学报, 2017, 26(4): 63-76.

[19] 白树华,卢继平. 西藏高原的气候环境对风力发电的影响分析 [J]. 电力建设, 2006, 27(11): 37-40.

[20] 宋建洋,柳艳香,田华,等. 我国高速公路大风灾害风险评估与区划研究 [J]. 公路, 2018, 63(12): 182-187.

[21] 邓国卫,卿清涛,徐金霞,等. 四川省水稻综合气象灾害风险区划 [J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(5): 621-630.

[22] 罗青,廖婷婷,王碧菡,等. 四川盆地近地面风场及污染物输送通道统计分析 [J]. 环境科学学报, 2020, 40(4): 1374-1384.

[23] 彭光辉,钱立军. 大风条件下跨海桥梁建造施工作业条件研究 [J]. 施工技术, 2019, 48(5): 25-28, 37.

[24] 李凯,谈秉峰. 大风环境下主塔安全防范措施 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2018, 35(5): 94-97.

[25] 章国材. 自然灾害风险评估与区划原理和方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2014: 15-25.

[26] 徐金霞,郭海燕,代涛,等. 四川泸州长江河谷地带雷电危险性评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(2): 160-169.

[27] GUSCLLA V. Estimation of Extreme Winds from Short-Term Records [J]. Journal of Structural Engineering, 1991, 117(2): 375-390.

[28] 姜萍,潘新民,薛俊梅,等. 新疆铁路沿线最强风区大风特征对比分析 [J]. 气象与环境学报, 2020, 36(5): 69-75.

责任编辑 包颖

崔玉洁