

代娟, 崔新强, 刘文清, 等. 高速铁路气象灾害风险分析与区划方法探讨[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 33–36. [DAI Juan, CUI Xinqiang, LIU Wenqing, et al. Research on Meteorological Disaster Risk Analysis and Regionalization in High Speed Railway [J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(4): 33–36. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2016.04.006.]

高速铁路气象灾害风险分析与区划方法探讨^{*}

代 娟¹, 崔新强¹, 刘文清², 付 佳¹, 刘 静¹

(1. 湖北省气象服务中心, 湖北 武汉 430074; 2. 武汉铁路局, 湖北 武汉 430071)

摘 要: 借鉴已有气象灾害风险区划相关研究成果, 初步探讨高速铁路气象灾害风险分析与区划方法。从气象灾害对高速铁路的影响机理入手, 分析筛选出大风、水灾、雷电、低温雨雪冰冻等气象灾害的风险评价因子, 构建区划评价指标体系, 建立评价模型, 分析制定可体现高速铁路沿线气象灾害风险发生时间、空间、强度可能性的风险区划方案, 为科学制定沿线气象灾害风险区划提供参考依据。

关键词: 高速铁路; 气象灾害; 风险分析; 区划研究

中图分类号: X43; S42; P64; P4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2016)04–0033–04

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2016.04.006

高速铁路是指列车运行速度达到 200 km/h 以上的铁路。由于运速快、运能大、能耗小, 高速铁路在我国得到快速发展。但是运营以来, 由于雷电、大风、暴雨等极端天气而造成的高速铁路安全事件时有发生。2013 年 5 月 26 日武广高铁多趟列车延误近 4 h, 2011 年“7·23”甬温线动车追尾事故, 其直接原因均是雷击导致的供电、通讯设备故障引起的; 2015 年 6 月 17 日渝利铁路发生暴雨水害, 致使百余趟列车停运或改道。随着高速铁路的快速发展, 高铁逐渐成为现代交通出行的首选, 在我国经济建设中发挥着越来越重要的作用。为了保障高速铁路运行安全, 防范或减少气象灾害造成的损失, 了解高铁沿线气象灾害风险的空间格局和内在规律十分必要。

我国高铁建设运营时间较短, 与高铁相关的气象研究较少, 现有的研究成果也多倾向于气象灾害监测防控及分布特征方面^[1–17], 气象灾害风险评估区划方面还少见刊载, 目前还处于探索阶段。2012 年, 王志等根据全国 2001–2010 年 760 站极大风速资料, 结合 360 个地级市的人口、经济等要素, 采用 GIS 技术和自然灾害风险指数, 计算得到以地级市为区划单元的高速铁路大风风险指数区划图^[1]。此种方法绘制的区划图在一定程度上反映了高速铁路经过地区的大风风险指数, 但是针对高速铁路的长距离输送, 以地方人口、经济等要素作为脆弱性因子合适与否值得商榷。

本文拟从气象灾害对高速铁路的影响机理入手, 分析筛选出较为合理的、可操作性强的风险

区划评价因子, 利用气象灾害风险评价理论, 分析制定较为科学的高速铁路气象灾害风险区划方案, 为科学制作高铁沿线气象灾害风险区划、制定减灾规划与措施提供参考依据。

1 高速铁路气象灾害风险性分析

一般来说, 气象灾害风险性是致灾因子(危险性)、承灾体(脆弱性)、孕灾环境(敏感性)及防灾减灾能力综合作用的结果。它的形成既取决于致灾因子的强度与频率, 也取决于自然环境和社会经济背景的易损性, 同时还需考虑一个地区或行业对气象灾害的防御能力。根据气象灾害风险形成机制与风险评价理论函数模型, 考虑各气象灾害危险性、敏感性、脆弱性、防灾抗灾能力等各评价因子对灾害风险的作用方向和大小, 可建立如下灾害风险评价模型:

$$FDRI = (VH^{WH})(VE^{WE})(VS^{WS})(1 - VR^{WR}) \quad (1)$$

式中: VH 、 VE 、 VS 、 VR 分别表示致灾因子的危险性、孕灾环境的敏感性、承灾体的脆弱性和防灾抗灾能力各评价因子指数; WH 、 WE 、 WS 、 WR 是各评价因子的权重值, 表示各指标对气象灾害风险形成的相对重要性。

高速铁路气象灾害主要是指高铁运输业所遭受的气象灾害, 一般灾害统计单元为高铁线路区

^{*} 收稿日期: 2016–02–02 修回日期: 2016–03–12

基金项目: 2013 年公益性行业(气象)科研专项经费项目“铁路(高铁)气象监测预警、预报服务关键技术研究”(GYHY201306058)

第一作者简介: 代娟(1968–), 女, 陕西泾阳人, 高级工程师, 研究方向为应用气象. E-mail: 307173466@qq.com

间或区段,而承灾体主要包括高铁线路、桥隧、站场、列车、供电及通讯设施等。

高速铁路是一个集多方面先进技术于一体的运输行业。其列车的运行是智能化自动控制,运行设备及智能控制系统的运转状态直接决定着列车的运行安全^[2]。为了使列车运行高平顺,高铁线路建设多为高架、桥梁、隧道,路轨多为无砟轨道。为了预防和减少极端天气的影响,桥梁隧道设有排水系统,秦岭淮河以北道岔多建有融冰雪装置,新建高铁还考虑在一些风灾高发区建设防风墙。另外,高速铁路建有综合防灾安全监控系统,在新建高铁沿线设有风、雨、雪、温度等气象信息站,其监测信息可实时反馈到调度中心,实现对大风、强降雨、大雪等灾害性天气的监测报警,并依据应急预案采取降速、停运等措施^[2-6]。高速铁路在修建之前,已进行过气候可行性论证,尽量避开气象灾害高发区。因此,在一般的风、雨、雪等天气条件下,高速列车均可正常运行,与其它运输业相比,高速铁路具有较强的抗击风雨雪等气象灾害的能力,气象灾害风险性相对较小。

2 高速铁路气象灾害风险评价因子的选择

影响高铁的气象灾害主要有风灾、水灾、雷电、及低温雨雪冰冻灾害。不同气象灾害影响高铁的方式及主要设施各不相同,风灾主要影响列车,水灾主要影响路轨,雷电主要影响供电设施,低温冰雪灾害主要影响路轨及供电通讯系统,因此,高铁承受不同灾种的脆弱性因子及孕灾环境敏感性因子的选择应该有所差别。下面分灾种对高铁气象灾害风险评价因子进行分析讨论。

2.1 风灾

大风是对高速铁路运行影响最为严重的天气之一,它会使高铁输电线路和接触网产生振动与摆动,大跨度桥梁产生“风振”,但是更主要的还是对列车的影响,高速运行的列车车体与轨道之间的摩擦力较小,当有强风从侧面吹来时,列车的动力学参数,包括脱轨系数、减载率、倾覆系数及轮轨横向力均显著增大,在力矩的作用下极易发生侧翻事故^[7]。因此大风风速与风向都是列车倾覆的重要参数,当线路走向与风向夹角垂直,该路段运行的高速列车受到横风影响,此时列车安全运行的危险度最大,当线路走向与风向夹角小于45°时,该地段的线路主要受侧风影响,存在站停列车溜逸的危险^[8]。

2.1.1 致灾因子危险性

依据大风对高铁的影响机理,大风的危险性评价因子应该选择大风频率、大风盛行风向与线路之间的夹角值。但是,在实际应用中发现风向

与高铁线路之间的夹角处理起来非常麻烦,这是因为气象观测风向(16个方位)实际上是一个角度范围,高铁线路在某个影响区间也不一定都是直线,很难计算一个较为精确的夹角值进行判断。而且,无论什么风向的大风,只要达到某个阈值,就可能给高铁带来危害。因此,可借鉴国内外高速铁路运行管制及管理方法^[18-19]中的相关规定,只考虑大风风速,如,我国“铁路技术管理规程(高速铁路部分)”^[19]第343条规定:在环境风速不大于15 m/s时,列车可以正常速度行使;环境风速不大于20 m/s时,运行速度不大于300 km/h;环境风速不大于25 m/s时,运行速度不大于200 km/h;环境风速不大于30 m/s时,运行速度不大于120 km/h;环境风速大于30 m/s时,严禁动车组进入风区。可用以上不同阈值范围的大风频率作为评价因子,评价模型如下:

$$VH = \sum_{i=1}^n (a_i h_i) \quad (2)$$

式中: VH 为致灾因子危险性指数, h_i 为第 i 个阈值范围的风速频率标准化值, a_i 为第 i 个风速频率危险性权重系数。权重系数可依据不同阈值风速对灾害的贡献大小,采取专家打分结合层次分析法获得,也可依据不同风速的高铁运行限速值进行计算^[1]。

2.1.2 孕灾环境敏感性

孕灾环境的区域差异,决定了致灾因子时空分布特征的背景。针对大风来说,风形成的原因主要是受地形和气象等因素影响,而这些因子的作用均能在大风发生的强度与频率即致灾因子中体现,所以研究中考考虑大风直接作用于高铁这个特定的个体,它的孕灾环境可不予考虑。

2.1.3 承灾体脆弱性

承灾体是指直接受到灾害影响和损害的人类社会主体,在此就是大风影响区的高速铁路相关设施,即电网、桥梁、列车等。其受损程度除与大风强度有关外,与线路建设标准、防灾工程设施及列车的运行速度^[9-11]、运营密度、客运量均有关系。针对高速铁路来说,运营速度在一定程度上反映了高铁的建设标准,运营速度越高,说明高铁的建设标准越高,受灾的风险性越小。而对行驶中的列车来说,运行速度越高,受大风影响的风险度则越大。相对于以上运行速度影响的两种风险度取向,两者相较取其重,因此主要考虑大风对运行列车的影响。经过某大风影响区段的列车越密集,遭受大风影响的风险性越大,列车客运量越大,受损程度就越大。由于客运量数据变化较大,而运营密度在一定程度上也反映了客运量平均状况,因此,列车运行速度和运营密度可作为脆弱性评价因子。据有关资料介绍,高速铁路防风屏障的防风效果明显,同样大风的情况下,设有挡风墙,可提高车速,减少停运次数^[3],因此防风屏障也应作为脆弱性因子进入评价模型,有无防风屏障可做0、-1处理,有即为

-1(因其对脆弱性的贡献为负值), 无即为 0。评价模型如下:

$$VS = \sum_{i=1}^n (b_i s_i) \quad (3)$$

式中: VS 为承灾体脆弱性指数, s_i 为第 i 类因子标准化值, b_i 为第 i 类因子权重系数。

2.1.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力通常理解为受灾区对气象灾害的抵御能力和恢复程度的能力, 其包括应急管理能力、减灾投入、资源储备等。防灾减灾能力越高, 可能遭受的潜在损失越小, 灾害风险越小。高铁运输业因其特殊的行业属性, 其应急管理、灾害防御及减灾投入主要依赖行业内部管理及资源调配, 与地方经济关联度相对较小^[12-13]。考虑防灾减灾因子的选取既要代表某铁路区间的减灾能力, 还要便于获取及量化分级, 各管区的高铁运营里程在一定程度上体现了某铁路管理区的高铁建设及管理情况, 因此可选择高铁运营里程作为某区间的防灾减灾能力评价因子。

2.2 水灾

水灾主要是指强降雨所造成高铁气象灾害, 主要影响有两种方式: ①强降雨引发的暴雨洪涝、河水泛滥, 直接冲毁路轨、桥梁、通讯电力设施、涵洞和防护工程, 淹没路轨; ②强降雨引发泥石流、滑坡、塌方等地质灾害, 冲毁各种铁路设施、掩埋路轨, 造成列车运行中断、颠覆等事故。

2.2.1 致灾因子危险性

水灾不像风灾那样具有突发性, 而是具有积少成多、循序渐进的规律, 其影响程度, 主要取决于降雨强度和持续时间。可反映某地水害平均状况的因子有: 平均暴雨量、平均暴雨日、日最大降雨量、不同强度暴雨出现频率、或者不同强度的小时雨量出现频率等。日本东海道新干线降雨限速采用的是 24 h 连续雨量 + 小时雨量的综合判断标准^[2]。在我国, “铁路技术管理规程(高速铁路部分)”^[19]第 347 条规定, 遇有降雨天气, 重点防洪堤段 1 h 降雨量达到 45 mm 及以上时, 列车限速 120 km/h; 1 h 降雨量达到 60 mm 及以上, 列车限速 45 km/h; 当 1 h 雨量降至 20 mm 及以下、且持续 30 min 以上时, 可逐步解除限速。依据高速铁路水灾影响机理, 参照国内外铁路相关规定, 水灾风险评价因子可选择平均暴雨量、小时雨量 ≥ 20 mm 以上的不同阈值范围出现的频率, 如 20 ~ 30 mm、30 ~ 40 mm 等出现的频次。评价模型及权重系数的选择可参照式(2)。

2.2.2 孕灾环境敏感性

水灾形成的原因除了与降雨有关外, 还与地形、地质、水系、植被等环境因素有关。洪涝灾害一般发生在地势低洼、排水不畅、江河湖库附近, 即地形越低, 距离江河湖库愈近, 就更易遭受洪水侵袭, 因此可选择高程、河网密度和距离水体远近作为洪涝灾害孕灾环境因子。山洪、滑坡、泥石流等地质灾害一般发生在沟谷、坡地的

一些地质松软或岩石破碎地带, 因此可选择高差和坡度等地形因子, 土壤/岩石类型、植被覆盖率等地质环境因子作为地质灾害的孕灾环境因子。在地质灾害的形成中, 高差越大、坡度越陡, 强降雨所形成的地表径流势能差越大, 对岩石或泥沙的冲刷力越大, 形成山洪泥石流的危险性越高。而植被可以拦蓄雨水、减缓雨水产生地表径流, 并保持水土, 减轻水土流失, 削减地质灾害的危险性。因此, 根据强降水对高铁的影响机理, 主要选择高程、高差、坡度、河网分布(河网密度及离水体距离)、土壤/岩石类型、植被覆盖率等环境因子建立敏感性评价指标体系。

2.2.3 承灾体脆弱性

水灾直接损害的是高铁的轨道设施及经过列车, 同时轨道损毁会造成列车停运、旅客滞留等多种间接损失。因此轨道的建设标准、轨道结构(有砟还是无砟)、列车运营密度、客流量等均可作为脆弱性评价因子。如前所述, 列车运营速度与轨道建设标准, 运营密度与客运量之间有一定关系。经验证明有砟轨道更易遭受水害损毁。因此, 水灾中的脆弱性因子可选择高铁的轨道结构、列车的运营速度、运营密度作为评价因子。

2.2.4 防灾减灾能力

同一高铁区段的防灾减灾能力可选取同样的评价因子, 如 2.1.4。

2.3 雷电等其它灾种的评价因子选择

依据同样方法, 可筛选出雷电的致灾因子为闪电频次和平均强度; 孕灾环境可参照风灾不予考虑; 脆弱性因子可选择列车的运行速度、运营密度。

低温雨雪冰冻灾害的致灾因子可选择降雪日数、冻雨日数、积雪深度在 5 cm 以上的积雪日数、地表温度 < 0 °C 时日降水量 > 2.5 mm 的降水总量; 敏感性因子可选择高度和坡向; 脆弱性因子可选择列车运行速度、运营密度、及道岔是否有融雪功能。

3 高速铁路气象灾害风险区划方案探讨

高速铁路气象灾害风险区划图是标示高铁沿线可能发生的气象灾害风险程度的地图。目前, 大多数气象灾害风险区划图为单幅图, 即针对一种气象灾害, 某一地理单元对应一个相对的年均风险值或风险等级。但是, 气象灾害具有明显的时空分布特征, 其风险应该体现灾害发生的时间、空间、强度的可能性。单幅风险图在一定程度上体现了某灾害风险发生的空间及强度可能性, 但无法体现灾害发生的时间可能性, 这样就无法确定不同时间的防范重点, 或者说相同时间段的重点防范区域。

为了体现风险发生的时间可能性, 可增加分

月风险区划图,组成区划图组。在风险评价因子中,体现时间变化的主要是致灾因子,因此可将各类致灾因子进行分月统计,对各类因子的月数据进行标准化时,分母采用此类因子的年合计值,用此种标准化的致灾因子计算分月风险值,绘制月风险区划图,各月风险区划采用相同的分级标准。

在实际应用中,年综合风险区划图可体现高铁沿线不同区段发生气象灾害的风险大小;分月风险区划图,可体现哪些月份发生气象灾害的风险大,也可体现同月不同区段气象灾害风险分布,从而确定高速铁路沿线某气象灾害的重点防范时段及区段。

4 结语

本文从气象灾害对高铁的影响机理出发,在了解高速铁路建设、运营及管理机制的基础上,借鉴已有灾害风险区划理论,对高速铁路气象灾害风险性进行分析。依据因子筛选原则:选择引起灾害的主控因子,尽量选择易于获取及量化分级的因子,筛选出大风、水灾、雷电及低温雨雪冰冻等气象灾害的各类评价因子组成评价指标体系。从风险区划的实用性出发,在综合风险区划的基础上,增加分月风险区划图,较为全面地体现高铁沿线气象灾害发生的时间、空间、强度的可能性。

目前,我国高铁运营还缺少气象灾害损失方面的资料积累,无法利用灾损与灾害主控因子建立概率关系,只能在了解高铁建设标准及运营机制的基础上,分析其气象灾害风险性,再依据气象灾害学、自然灾害风险管理等基础理论,采用风险指数法、层次分析法、加权综合评分法等数据量化方法,基于 GIS 技术对高铁沿线气象灾害进行风险分析和评价。受数据资料方面限制,本文所选择的评价指标体系及区划方法还存在一定的局限性,有待后期继续研究改进。

参考文献:

- [1] 王志,田华,冯蕾,等. 基于 GIS 的高速铁路大风风险区划研究[C]//第十四届中国科协年会第 14 分会场:极端天气事件与公共气象服务发展论坛论文集,2012.
- [2] 苗宇,蒋大明. 高速铁路安全保障体系及灾害监测报警子系统[J]. 铁道通信信号,1999,35(5):32-34.
- [3] 石锐华,李伟. 高速铁路的灾害防护设计[J]. 铁道工程学报,2008(6):6-9.
- [4] 冯敬然. 高速铁路安全监控系统[J]. 铁道通信信号,2001,37(5):6-10.
- [5] 何华武. 灾害对铁路影响及其防御对策[J]. 中国铁路,2008(10):1-8.
- [6] 王强,李红侠. 我国高速铁路综合防灾报警系统初探[J]. 中国铁路,2001(2):57-58.
- [7] 刘丽霞. 高速铁路防灾气象监测系统设计[J]. 计算机测量与控制,2010,18(9):1979-1981.
- [8] 马淑红,马韞娟. 瞬时风速对高速列车安全运行的影响及其控制[J]. 铁道工程学报,2009(1):11-16.
- [9] 高军. 时速 350km/h 高速铁路客运专线防侧风问题的研究[J]. 铁道技术监督,2007,35(5):4-5.
- [10] 陈锐林,曾庆元. 横风对列车通过曲线限制速度影响的数值研究[J]. 铁道学报,2009,31(1):40-45.
- [11] 马淑红,马韞娟. 我国高铁强风灾风险评估与区划方法研究[J]. 轨道交通,2013(6):94-96.
- [12] 高巍. 论我国铁路灾害及加强抗灾减灾管理[J]. 铁道运营技术,2000,21(1):14-17.
- [13] 张于心,高巍,董慧文,等. 加强铁路运输企业抗灾减灾风险管理[J]. 铁道运输与经济,1999(2):12-13.
- [14] 马韞娟,马淑红,刘志明,等. 高速铁路暴雨灾害防控技术研究[J]. 中国科技信息,2011(6):204-210.
- [15] 关健华,王冠,刘小梅,等. 京沈客运专线辽宁沿线大风及雷暴特征分析[C]//第 29 届中国气象学会年会论文集,2012.
- [16] 冯蕾,陈辉,田华. 影响我国高速铁路运行的灾害性天气时空分布规律[C]//第 29 届中国气象学会年会论文集,2012.
- [17] 张强,杨贤为,张永山,等. 京沪沿线强降水频率及大风频率分布特征[J]. 气象科技,2003,31(1):45-49.
- [18] 日本高速铁路安全对策资料选译[R]. 北京:京沪高速铁路技术研究总体组,2000.
- [19] 中国铁路总公司关于印发《铁路技术管理规程》(高速铁路部分)的通知(铁总科技[2014]172号)[Z]. 北京:中国铁路总公司,2014.

Research on Meteorological Disaster Risk Analysis and Regionalization in High Speed Railway

DAI Juan¹, CUI Xinqiang¹, LIU Wenqing², FU Jia¹ and LIU Jing¹

(1. Hubei Meteorological Service Center, Wuhan 430074, China;

2. Wuhan Railway Bureau, Wuhan 430071, China)

Abstract: Referring to the relevant research results of risk zoning of meteorological disasters, we preliminarily explore the risk analysis and zoning methods of meteorological disasters in high-speed railway. Starting from the impact of meteorological disasters on high-speed railway, we analyze the strong winds, floods, lightning, snow and ice and other meteorological disaster risk assessment factors, construct the evaluation index system, establish the evaluation model, and analyze the risk zoning plan that can reflect the occurrence time, space and intensity of meteorological disasters along the railway line, to provide reference for the scientific development of meteorological disaster risk zoning.

Key words: high-speed rail; meteorological disaster; risk analysis; risk-zoning research