

基于分类分级管控的绿道综合安全风险评估体系建构

辜智慧 李佳云 邓蓓瑶 周旭平 范冰 彭雁 张艳

提 要 随着我国绿道建设的大量兴建和投入使用,绿道的综合安全风险问题也越来越引起关注。基于详细的现场调查,通过全面梳理绿道安全问题及其影响因素,辨识绿道安全风险问题,提出基于绿道安全风险的分级分类进行管控的总体思路,并借鉴自然灾害风险评估与交通安全风险评估理论,构建绿道自然环境、设施环境、使用环境三位一体的风险量化评估框架,明确不同类型风险的评估方法。最后,以深圳市为例,运用该风险评估体系对全市绿道网进行综合安全风险评估,并提出了相应的风险管控策略。

关键词 绿道;分级分类管控;综合安全风险;评估体系

Construction of Integrated Risk Assessment System for Greenways Based on Categorical and Hierarchical Control

GU Zhihui, LI Jiayun, DENG Beiyao, ZHOU Xuping, FAN Bing, PENG Yan, ZHANG Yan

Abstract: With massive construction and use of greenways in China, the issue of safety risks has attracted more and more attention. Based on detailed on-site investigation and lessons from natural disaster risk assessment and traffic safety management, this paper comprehensively analyzes greenway safety problems and their influencing factors, identifies greenway risk issues, proposes the idea of risk management based on risk classification. In reference to risk assessment theory, the paper constructs a three-in-one quantitative risk assessment framework for greenways in terms of natural environment, facility environment, and use environment, and clarifies the assessment methods for different types of risks. Finally, the paper applies the risk assessment system to Shenzhen's greenway network and proposes a corresponding risk management strategy.

Keywords: greenways; hierarchical classification control; comprehensive security risk; evaluation system

中图分类号 TU984 文献标识码 A
DOI 10.16361/j.upf.202002006
文章编号 1000-3363(2020)02-0049-07

1 绿道建设实践及其安全风险

绿道是一种线形绿色开敞空间,通常沿着河滨、溪谷、山脊、风景道路等自然和人工廊道建立,内设可供行人和骑车者进入的景观游憩线路,连接主要的公园、自然保护区、风景名胜区、历史古迹和城乡居住区等(芦迪,芦建国,2013)。随着绿道大量兴建与投入使用,绿道已成为市民休闲和游客旅游的重要目的地。与此同时,绿道凸显出的诸多安全问题也越来越引人注目。截止2018年年底,在各大网站、论坛、媒体处共搜索到绿道休闲旅游事故严重案例64起,其中死亡人数38人,重伤人数38人(因摔倒擦伤等轻微受伤事故案例数量众多,未纳入统计)。

目前,国内并未针对绿道建设形成相应的建设安全标准。走在全国绿道建设前沿的广东省2013年提出针对绿道建设的《广东省绿道建设管理规定》,但在“绿道建设”章节中,仅仅是简单地将绿道系统的配套设施按功能进行划分,并未结合安全问题给出具体的绿道建设标准和建议;2016年国家城乡住房建设部印发了《绿道规划设计导则》,在绿道具体建设方面,基于安全问题的考虑针对绿道的坡度和坡长给出了建议,但是不够详细和具体。

作者简介

辜智慧,深圳大学建筑与城市规划学院,副教授,深圳市建筑环境优化设计重点实验室, gzh@szu.edu.cn

李佳云,深圳大学建筑与城市规划学院,硕士生

邓蓓瑶,深圳大学建筑与城市规划学院,硕士生

周旭平,深圳市绿化管理处

范冰,深圳市绿化管理处

彭雁,深圳市绿化管理处

张艳,深圳大学建筑与城市规划学院,副教授,通讯作者, zhyan@szu.edu.cn

学术界针对绿道安全风险问题的研究开展也尚在起步阶段。部分学者基于特定的自然环境要素,对作为“绿廊”的绿道安全展开研究。如:赵志奇(2017)基于绿道边坡稳定性的研究,提出各类边坡的支护设计方案,以解决区域内绿道边坡存在的地质安全隐患;时慧等(2017)基于雨水安全和利用的视角,对绿道设计方法进行完善以防范雨洪灾害;Vanparijs等(2015)认为天气、季节、光环境会对骑行安全事故造成影响;Luymes等(1995)认为光环境、植被影响可视环境,从而作用于人身安全事故率;Asakawa等(2004)重视水环境的影响并展开分析;傅哲泓,等(2018)基于地形变化,通过对绿道骑行速度模拟入手,分析了绿道骑行风险;刘文阁等(2016)通过分析绿道安全问题成因,并考虑了地形及自然环境的因素,采用模糊数学评价法和层次分析法,对绿道系统安全进行综合评价。

还有一些研究从使用者的角度考虑绿道的安全使用问题。如:潘晖婧,等(2014)发现骑行者最关注的安全隐患要素有铺装、隔离设施、机动车路边停车;王芳等(2015)基于实际调查和事故原因统计,认为选线、走向、慢行道环境、交通衔接、服务设施、标识系统等对于绿道安全有重要意义;谢晨昱(2016),肖洁舒(2012)受香港绿道建设启示,强调标识信息系统、配套设施与绿道安全的关系。

总体上看,这些研究主要是从某一个特定角度考虑绿道的安全风险问题,能够解决绿道当前存在的某个侧面的具体安全风险问题,但由于缺乏对于绿道系统的综合和整体的安全风险考虑,尚难以全面指导当前的绿道规划建设与管理。在当前各地大规模的绿道网络业已形成或逐渐成形的时期,亟需开展绿道安全风险问题评估体系研究,一方面,为已建成的绿道把握风险来源,防患于未然;另一方面,也为未来绿道建设提供安全标准。

为此,本文在充分考虑绿道安全风险问题特性的基础上,提出基于绿道安全风险的分级分类进行管控的总体思

路,并借鉴自然灾害风险评估与交通安全风险评估理论,构建绿道自然环境、设施环境、使用环境三位一体的风险评估框架,明确不同类型风险的评估方法,以期为我国绿道建设、管理及反思提供参考依据。

2 绿道安全风险问题辨识

2.1 绿道安全风险问题的分类分级

绿道在空间构造上主要由自然因素所构成的绿廊系统和为满足绿道游憩功能所配建的人工系统两大部分组成。理论上讲,凡是发生在绿道空间范围内的安全问题都应纳入安全风险的考虑。这其中,涉及到的安全问题种类非常繁多。有天灾,比如台风暴雨、地质滑坡等;也有人祸,比如骑行摔伤、人车抢道等;有建设的问题,比如绿道建设过程中对自然灾害风险考虑不周,致使绿道途径或导致较多地质灾害隐患;也有管理的责任,比如绿道建成后管养人员不注意维护和监测地质隐患点,导致发生较大的地质灾害;还有使用者自己的问题,比如游人不顾标识警告,从地质隐患点穿越,导致安全事故。为了有效对接绿道安全风险管控,首先就需要对

绿道安全风险问题进行辨识、梳理和分类。

通过文献资料收集与现场调研,我们对绿道相关安全问题进行了全面调查,对绿道安全隐患问题进行列表,发现按照安全问题发生的环境类型不同可以大致分为三大类(表1):

(1) 自然环境风险。即因外部自然灾害导致的绿道本身及绿道使用者的安全风险。自然环境风险往往不是绿道自身所特有,而是与绿道所处的区域环境密切相关。

(2) 设施环境风险。即因绿道自身基础设施环境不完善导致的安全风险。

(3) 使用环境风险。即在使用过程中因使用者个体或群体的行为失当、失控、操作不规范等所导致的安全风险。

上述三大环境中,绿道的自然环境和设施环境都属于静态环境,更多的是需要从绿道建设和维护管理来考虑其存在的安全隐患,而使用环境主要是针对动态使用过程,人为影响因素更大。

而从这些安全风险问题所造成的破坏程度来看,一方面,不同类型的安全风险问题所造成的影响程度不一;另一方面,同一类型的安全风险问题,风险水平较高的所造成的破坏程度较为严

表1 绿道安全风险问题及其与管控的结合

Tab.1 Greenway security risk problems and their incorporation into the management and control

	安全问题	分析方法	管控特征				
			对应阶段	时段性	影响程度	管理可控性	措施类别
自然环境风险	自然灾害引致的安全问题	可量化	建设阶段为主,管理阶段为辅	时段性强,与恶劣天气密切相关	破坏性大,影响范围广	弱,一旦建成很难避免	预防+善后
	蛇虫鼠蚁叮咬、树木断裂等造成的意外伤害	不可量化	管理阶段	时段性弱	局部性影响	弱	预防+善后
设施环境风险	因坡度坡长及道路铺装设计不合理引发的车速过快、打滑等安全问题	可量化	建设阶段为主,管理阶段为辅	时段性弱	局部性影响	弱,一旦建成很难避免	整改+控制
	因设施不足引发的应急响应能力不足等安全问题	可量化	建设阶段+管理阶段	时段性弱	局部性影响	强	增补
	因管理不当造成的意外伤害,如电线外露、地面破损等	不可量化	管理阶段	时段性弱	局部性影响	弱	预防+善后
使用环境风险	因绿道使用者行为冲突引致的安全问题等	可量化	管理阶段	时段性强,节假日需密切关注	局部性影响	强	预防+实时监控
	因不遵守安全管理条例引发的安全事故,如携带火种,不采取安全措施作业	不可量化	管理阶段	时段性弱	局部性影响	弱	预防+善后

资料来源:笔者自绘。

重,需要优先进行管控考虑。因此,需要对绿道安全风险问题进行分级,作为进行绿道安全管控的重要依据。

2.2 与安全风险管控的衔接

由于绿道安全问题种类繁多,为了让绿道安全管控落到实处,根据绿道安全问题的特点来针对性地进行管控设计至关重要。

从风险可控的角度来看,部分安全问题是可以通过量化的分析从而进行安全预防与引导的,而有些安全问题则突发性和偶然性较强,很难进行评估量化。比如同样是使用环境风险,因绿道使用人流、车流过多导致的交通冲突问题可以量化分析,而因不遵守安全管理条例擅自携带火种等引发的安全事故,则较难进行评估量化。

从管控介入的阶段来看,有些安全问题是应该从绿道规划初期就应该考虑的,如自然灾害的风险,坡度坡长导致的骑行超速风险等,因为一旦建成很难避免,只能通过整改+控制的方式进行绿道建设优化,而有些安全问题是可以通过采取一定增补措施降低安全隐患,如因设施不足引发的应急响应能力不足等问题。

根据上述特点,确定绿道综合安全风险评估与管控相结合的基本思路为:

(1) 可量化风险与不可量化风险的差异化考虑。对可量化的风险通过评估,形成与风险关联因子对应的管理策略;对不可量化的部分,则通过日常行为安全操作负面清单管理来降低安全事故发生的概率。

(2) 安全管控贯穿从建设到管理的全过程。首先要加强建设阶段的核查,对风险问题严重的地段或地点要及时进行整改,从根源上避免绿道线路规划不合理、规划配套设施不足等引致的安全问题;同时,在管理阶段对绿道实施属地化管理,将日常管理、定期排查、应急管理、善后管理的各个环节责任到人,做到预防与管控相结合,将绿道安全风险限制在影响最小的范围内。

(3) 预防、控制、整改、善后等多重措施相结合。形成“重点提升+日常

管理+应急响应”的分层次的、多元化的管理系统,通过有效的管理,控制可控环节,预防不可控环节。

3 绿道安全风险评估体系建构

3.1 绿道安全风险综合评估框架

基于前述安全风险问题辨识及其与风险管控的衔接关系,确定了基于自然环境、设施环境和使用环境三位一体的绿道综合安全风险评估框架如图1所示。

3.2 基于分类管控的评估方法

3.2.1 自然环境风险

绿道作为一种功能丰富的绿色开敞空间,其本身自然环境复杂,容易受到自然灾害的影响。虽然自然灾害从发生率来看相对较低,但是一旦发生,具有破坏速度快、破坏范围广、破坏程度

深、救援和恢复成本高等特点。而且,自然环境不仅通过自然灾害直接危及绿道安全,还通过各项因素相互作用,间接作用于交通事故、人身安全事故。如深圳市凤凰山绿道,自建成后处地段出现下沉、开裂,有些地方的绿道还因山体滑坡被迫封闭,多次进行修复加固,仍然存在安全隐患;又如2018年9月17日台风“山竹”过境后,盐田海滨栈道损坏严重。在台风的肆虐下,海滨栈道出现了塌方断裂,有接近600m断成几段发生了位移,只能封锁重建。

对于自然环境风险的评估,主要参考自然灾害风险评估模型,识别各类灾害的致灾因子(表2),根据致灾因子的发生频次、强度等历史数据,对可能发生的自然灾害及其造成的后果进行评估。

经典自然灾害风险定义及等级划分一般采用如下公式:



图1 绿道综合安全风险评估框架

Fig.1 Integrated security risk assessment framework for greenways

资料来源:笔者自绘。

表2 绿道常见自然灾害及其致灾因子

Tab.2 Common natural disasters and the hazards they impose on greenways

灾害类型	致灾因子	参考文献
台风灾害	强风因子、暴雨因子	丁燕,史培军,2002;唐晓春,等,2003
暴雨灾害	短历时强降雨(0.5h、3h)发生频次、 长历时暴雨(24h)发生频次	李军,周成虎,2003;张珍,等,2005
雷电灾害	地闪密度、电流强度	马明,等,2008;许小峰,2004
地质灾害	地质环境因子、地质灾害类型和发育程度、 未来工程建设可能产生的影响程度	牛全福,等,2017;王志恒,等,2014
森林火灾	历史天气记录;地形指标;森林可燃物	牛若芸,等,2006;2007
生态敏感性	河流湖泊;植被类型;地质灾害	陈鹏,等,2013;刘晓南,等,2016

资料来源:笔者自绘。

$$R=P*C$$

P代表自然灾害风险事件发生的可能性分级, C代表自然灾害风险时间产生的后果分级, R代表自然灾害风险。根据自然灾害风险事件的可能性等级分值P和后果C的分值, 建立自然灾害风险分级矩阵, 就可以得到风险等级R的划分(表3)。

表3 自然灾害风险分级矩阵

Tab.3 Natural disaster risk grading matrix

风险等级分值R		后果等级分值C				
		极高	高	中	低	
可能性等级分值P	极高	1	1	2	3	4
	高	2	2	4	6	8
	中	3	3	6	9	12
	低	4	4	8	12	16

资料来源: 笔者自绘。

3.2.2 设施环境风险

绿道网络本身的设施环境也会带来安全隐患。如傅哲泓等提出绿道线路设计带来的骑行超速风险; 照明不足带来的夜行安全风险; 标识设施不足带来的安全风险等(傅哲泓, 等, 2018)。这些设施的风险评估往往需要定性与定量相结合。一方面是自身的安全性问题, 如铺装是否适宜于使用者和生态环境; 另一方面则是覆盖率问题, 即该安全性设施是否覆盖了整条绿道。根据这两个原则, 我们对6类绿道相关设施构建了评估指标及其涉及因素。如表4所示。

3.2.3 使用环境风险

相对于自然环境和设施环境这两类静态环境, 使用环境是一种动态的、变化的环境, 相应的, 其风险评估需要实时监测与模拟。对于使用环境风险的评估主要考虑了使用人群、使用方式和使用特征。在借鉴国内外关于绿道容量及服务水平评估模型的基础上, 基于Anylogic仿真软件, 通过实地调查绿道使用者类型分布及其相互干扰的影响因素, 标定仿真参数, 模拟出使用者在绿道中行进的应用场景, 并根据使用者主观评价感受, 得到绿道的服务能力评价。

通过选取多条绿道在不同时间段不同流量下进行观测及访谈, 实地调研使用者的使用空间、安全感受空间及使用

表4 绿道设施环境分类指标与评估方法

Tab.4 Classification index of greenway facility environment and assessment method

设施类型	评价标准	安全指标
道路选线	骑行模拟速度是否超出安全速度	坡度、坡长、曲率的关联关系
铺装	铺装材质及其特性对绿道交通安全性和生态安全性的影响	平整性、防滑性、透水性、致伤性、环境适应性、本土化、污染性
照明	照明覆盖范围	地形变化、设施位置、设施高度、光照夹角
标识	警示标识布设位置合理性	相关灾害空间分布情况、绿道交叉口、设施位置
	导向标识和安全标识的标识内容完整性	
	载体形式合理性	
安监系统	监控设施覆盖率	地形变化、设施位置、设施高度、视野角度
	安保人员应急能力	地形变化、固定安保点位置、物资配置
服务设施	服务设施覆盖率	地形变化、设施位置、步行速度变化
	安保人员步行应急能力	地形变化、固定安保点位置

资料来源: 笔者自绘。

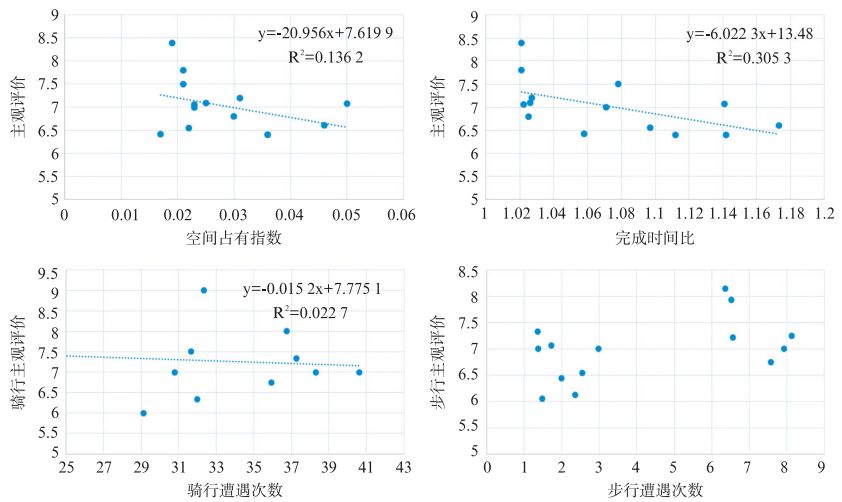


图2 使用者主观评价与监测参数之间的对应关系

Fig.2 Correspondence between subjective evaluation and monitoring parameters

资料来源: 笔者自绘。

评价等数据, 输入到仿真模型中, 得到空间占用指数、动态遭遇次数、完成时间比等三类监测指标的变化, 其中空间占用指数是指: 绿道使用者的理想活动空间面积与绿道实际提供的道路面积之比; 动态遭遇次数是指: 分别以行人和骑行为主体, 根据同步调研的流量去模拟骑行与行人之间的遭遇次数; 完成时间比: 绿道使用者实际通行花费的时间与理想通行时间的比值。最后, 将这些指标与使用者主观评价建立联系。可以发现, 除步行遭遇次数指标外, 其余三类指标与主观评价间存在一定的负相关关系(图2)。

根据以上回归分析结果, 可以得到绿道服务水平的粗略评价标准(表5)。

表5 绿道服务水平评估指标分级

Tab.5 Classification of assessment index of greenway service levels

服务水平	描述	空间占有指标(%)	完成时间比	骑行遭遇次数
A	使用者相互基本无干扰	< 1	< 1.03	< 10
B	使用者相互基本无干扰	< 2	< 1.08	< 20
C	使用者相互干扰较小	< 3	< 1.10	< 35
D	使用者相互干扰明显	< 6	< 1.24	< 50
E	使用者相互干扰较大	< 10	< 1.35	< 100
F	使用者相互干扰严重	> 10	> 1.35	> 100

资料来源: 笔者自绘。

4 深圳市绿道网络综合安全风险评估实践

4.1 深圳市绿道网概况

自2010年起,深圳市以珠三角区域绿道的规划建设为契机,率先开展覆盖市域近2 000km²范围的绿道网规划建设



图3 深圳市绿道网结构图

Fig.3 The structure of Shenzhen's greenway network
资料来源:深圳市城市规划设计研究院,2011.

设工作。截止2018年年底,深圳市共建成总长达2 448km的绿道网络,形成“四横八环”的组团——网络型结构(图3)。绿道密度达到1.22km/km²,覆盖密度全省第一。

4.2 深圳市绿道网络综合安全风险评估实践

4.2.1 自然环境风险

通过文献收集及对深圳一线绿道管理人士的访谈等,最终选取台风、暴雨、雷电、地质、森林火灾和生态敏感性6类对绿道影响较大的自然环境要素进行危险性评估(图4)。

以台风灾害为例,台风的致灾因子主要为强风和暴雨。其中强风用台风影响期间的八级以上大风日数、10min

平均最大风速和极端瞬时最大风速三个指标来反映。暴雨因子采用台风带来的暴雨日数、最大日雨量和最大过程雨量三个指标来反映。将上述指标利用加权综合评价法计算,得到各站点的台风危险性综合指数。由于各站点台风危险性指数均较高,最后用克里格插值方法进行空间插值,在GIS中采用自然断点分级法将致灾因子危险性指数按3个等级进行区划,得到致灾因子危险性区划图。

从风险评估结果可以看到,大鹏、梧桐、西坑、以及盐田海滨栈道等地绿道的台风危险性极高。一方面,台风会导致水位抬高、拔树倒屋等安全事故直接威胁人的生命财产安全;另一方面,当路面构造不合理、基础设施不完善、管理服务水平低时,未能及时排出的暴雨易造成交通拥塞与城市内涝,同时还易诱发滑坡与泥石流等次生灾害,加重致灾强度。因此,分布在极高风险区的应提高对台风的防灾减灾能力。针对不同绿道所处的台风环境风险区的不同,分段确定相应的防灾减灾提升改造和管理手段如表6所示。

4.2.2 设施环境风险

针对绿道的道路设施、基础设施、配套设施,采取定量与定性相结合的方式,评估绿道的建设实施存在的安全隐患。得到结果如图5所示。

与一般道路设施相比,绿道所处的地形环境更加复杂多变。因此,评估指标中较多考虑了地形因素与环境。以照明设施为例,照明设施主要通过照明质量作用于绿道安全,而照明质量一方面受设施高度、光照夹角影响,另一方面,与设施位置及其周边环境对光环境的影响有关,地形变化对照明的影响显著。如图6左图所示,因地势遮挡使得未设置照明设施的拐角明显存在照明盲区。因此,在计算照明覆盖率时,应考虑区域内地形变化以及地物遮挡的影响。对绿道内部照明设施进行视域分析,基于设施高度、光照夹角进行修正,将视域分析结果与道路缓冲区做叠加分析,得到受地形变化及地物遮挡影响下的照明覆盖现状图。如图6右图所

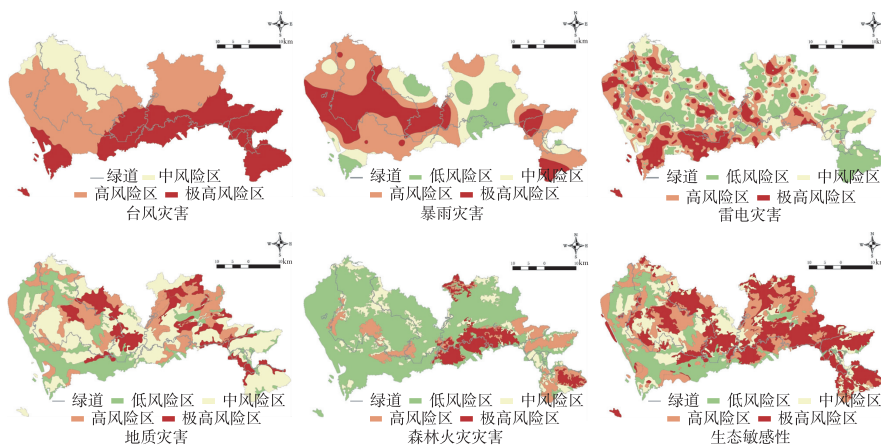


图4 深圳市绿道网的自然环境风险评估结果

Fig.4 Assessment of natural environment risks in Shenzhen's greenway network
资料来源:笔者自绘.

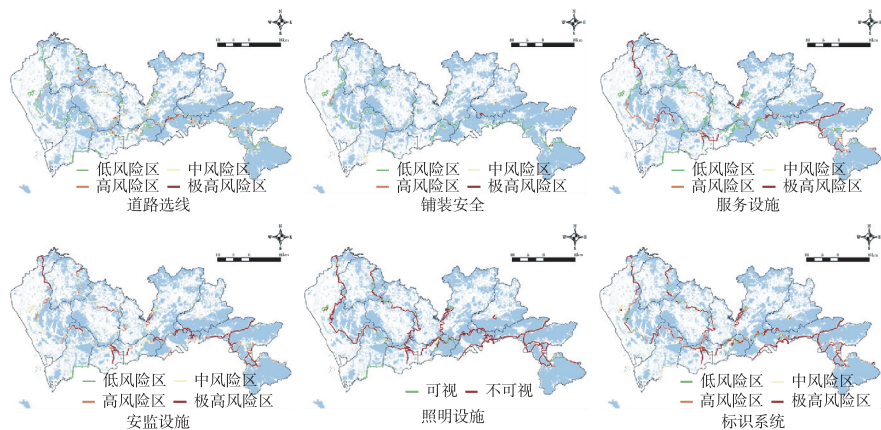


图5 深圳市绿道网的设施环境风险评估结果

Fig.5 Assessment of facility environment risks in Shenzhen's greenway network
资料来源:笔者自绘.

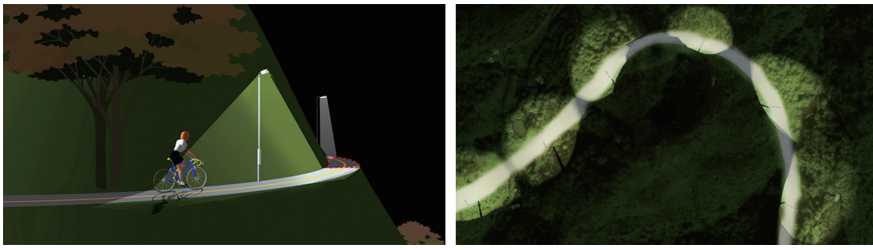


图6 地形变化对照明面积影响的意象图及绿道夜间照度分析

Fig.6 Image map of influence of terrain change on illumination area and analysis of night illumination of greenway
资料来源：笔者自绘。

表6 台风灾害危险性等级及相关策略建议

Tab.6 Typhoon risk rating and recommended mitigation strategies

策略建议	中等风险区	高风险区	极高风险区
1. 选线避开该风险区域			√
2. 选线与水体保持安全距离		√	√
3. 增强路面的排水、防滑性能	√	√	√
4. 综合利用生态护坡或工程护坡,并结合截排水设施保障安全		√	√
5. 布设防风林以抵御台风		√	√
6. 布设救生圈、救生衣、救援绳等救援物质保障滨水、滨河、滨海路段的安全		√	√
7. 推进排水渠加盖工作	√	√	√
8. 灾前预警排查,灾后及时恢复		√	√
9. 布设护树桩加固树木,并定期修剪易折植被		√	√
10. 布设铁索等防风能力强的安全防护设施			√
11. 基础设施形式低矮,且材质应耐侵蚀			√

资料来源：笔者自绘。

表7 照明设施风险评估及相关策略建议

Tab.7 Assessment of lighting facility risks and recommended mitigation strategies

策略建议	覆盖区	非覆盖区
1. 根据绿道地形需求、使用需求优化照明设施具体位置与间距		√
2. 因地势地物及地形起伏阻挡光照的路段,缩小灯具间距	√	
3. 急转弯处的灯具不得安装在直线路段灯具的延长线上	√	
4. 利用照明标明高差边界起警示作用	√	
5. 提升设施载体安全性。如,材质耐侵蚀	√	
6. 定期巡逻,排查并处理存在安全隐患的设施或路段	√	√
7. 缺少照明设施的绿道,需控制使用人群的进入时间		√
8. 在台风、地质灾害高风险区,选用形式低矮的灯具	√	
9. 在生态敏感区选用安全照明形式,照明强度不得严重影响区域内生物	√	
10. 预留光线廊道,借用周边光源		√
11. 定期修剪遮挡光照的植被,或移除遮挡光照的其他设施	√	
12. 自然灾害预警后排查设施及电路隐患,灾害及时检修维护设施及电路	√	

资料来源：笔者自绘。

表8 深圳湾绿道实测评价与模拟服务水平评估对比

Tab.8 Comparison of the evaluation of the Shenzhen Bay greenway and the evaluation of the simulated service level

时间	实测绿道人数	主观评价	空间占有指数(%)	完成时间比	骑行遭遇次数	服务水平
17:30—17:40	150	8.4	1.9	1.021	33	B
18:00—18:10	150	7.8	2.1	1.021	31	C
18:30—18:40	167	7.1	2.3	1.022	32	C
19:00—19:10	207	6.8	3.0	1.025	38	C
19:30—19:40	190	7.2	2.5	1.026	37	C
20:00—20:10	215	6.5	3.1	1.027	41	D

资料来源：笔者自绘。

示,将绿道实际地形与照明设施布局相叠加,可以发现部分路段存在照明缺失的情况,尽管缺失路段并不长,但是却处在危险性较高的转弯路段。

结合评估结果以及对绿道照明设施的实地调研情况,提出照明设施的相关安全策略建议如表7所示。

4.2.3 使用环境风险

使用环境风险评价是一个动态的过程,需要结合绿道的实时使用过程或预测使用流量进行评估。

以深圳市湾绿道一段500m长度的封闭绿道为例。通过监测其进出口使用人群流量及其行为特征,并对其使用感受进行调查,同时,将这些实际观测数据输入到Anylogic仿真模型中,得到相应的监测参数及服务水平评估结果(表8),发现两者的吻合度较高,可见该评估方法具有一定的可靠性。

在管理中,可依据模拟得出的服务能力,控制进入绿道的进入人数,以便于绿道更好地服务于使用者。这一服务能力动态模型还可以和基于视频监控系统的客流量计算结合,监测绿道承载力实时变化,动态展现风险水平,为管理者提供动态管理建议,以保障绿道使用安全、提升绿道服务水平、实现绿道智能化管理。

5 结论

绿道作为线型公共活动空间,具有一定的特殊性。既会受到自然灾害环境的影响,也具有道路安全风险的特点。本研究在对绿道安全风险问题进行辨识的基础上,提出了分类分级进行安全管控的总体思路。研究借鉴自然灾害风险评估与交通安全风险评估理论,构建了绿道自然环境、设施环境、使用环境三位一体的风险评估框架,并针对不同风险类型的特点明确评估方法,确定分级标准。研究最后将这一评估体系运用于深圳市绿道网络的评估实践,全面核查和展示深圳市绿道网络存在的各项安全问题,进而有助于提出针对性的管控策略,实现绿道的精细化与智能化管理。

参考文献 (References)

- [1] ASAKAWA S, YOSHIDA K, YABE K. Perceptions of urban stream corridors within the greenway system of Sapporo, Japan[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 68(2-3): 167-182.
- [2] 陈鹏, 庄孔造, 蔡莺春. 厦门城市空间拓展的生态敏感性评价[J]. *地球信息科学学报*, 2013, 15(3): 389-394. (CHEN Peng, ZHUANG Kongzao, CAI Luchun. Ecological sensitivity assessment of bay-type city in Xiamen[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2013, 15(3): 389-394.)
- [3] 丁燕, 史培军. 台风灾害的模糊风险评估模型[J]. *自然灾害学报*, 2002(1): 34-43. (DING Yan, SHI Peijun. Fuzzy risk assessment model of typhoon hazard[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2002(1): 34-43.)
- [4] 傅哲泓, 张子璇, 刘懿, 等. 绿道骑行安全风险评估方法研究: 以深圳市梧桐绿道为例[J]. *中国安全科学学报*, 2018, 28(10): 169-175. (FU Zhehong, ZHANG Zixuan, LIU Yi, et al. Research on method of evaluating greenway cycling safety risk: a case study of Wutong greenway, Shenzhen[J]. *China Safety Science Journal*, 2018, 28(10): 169-175.)
- [5] LUYMES D T, TAMMINGA K. Integrating public safety and use into planning urban greenways[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1995, 33(1): 391-400.
- [6] 李军, 周成虎. 香港暴雨中心迁移与滑坡位置关系分析[J]. *水土保持学报*, 2003(6): 133-136. (LI Jun, ZHOU Chenghu. Spatial and temporal relationship between rainstorm center and landslide occurrence in Hong Kong[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003(6): 133-136.)
- [7] 刘文阁, 杨熙宇, 黄江锋. 绿道系统安全评价体系架构初步研究[J]. *交通与运输*, 2016(2): 127-130. (LIU Wenge, YANG Xiyu, HUANG Jiangfeng. Research of an evaluation system for greenway system safety[J]. *Traffic & Transportation*, 2016(2): 127-130.)
- [8] 刘晓南, 程炯, 李毓. 珠海市陆域空间生态敏感性评价与生态安全对策[J]. *安全与环境学报*, 2016, 16(3): 354-360. (LIU Xiaonan, CHENG Jiong, LI Cheng. Ecosystem sensitivity assessment and corresponding ecological security countermeasures for Zhuhai land space[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2016, 16(3): 354-360.)
- [9] 芦迪, 芦建国. 探索绿道可达性和使用者活动程度的关联——以美国巴尔的摩市“TCB”绿道为例[J]. *中国园林*, 2013, 29(7): 72-75. (LU Di, LU Jianguo. Explore the relevance between greenway accessibility and users' activity level: a case study of "TCB" greenway trail at Baltimore, USA[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2013, 29(7): 72-75.)
- [10] 马明, 吕伟涛, 张义军, 等. 我国雷电灾害及相关因素分析[J]. *地球科学进展*, 2008(8): 856-865. (MA Ming, LÜ Weitao, ZHANG Yijun, et al. Analysis of lightning disasters in China and their correlative factors[J]. *Advances in Earth Science*, 2008(8): 856-865.)
- [11] 牛全福, 冯尊斌, 张映雪, 等. 基于GIS的兰州地区滑坡灾害孕灾环境敏感性评价[J]. *灾害学*, 2017, 32(3): 29-35. (NIU Quanfu, FENG Zunbin, ZHANG Yingxue, et al. Susceptibility assessment of disaster environment for landslide hazard based on GIS in Lanzhou area[J]. *Journal of Catastrophology*, 2017, 32(3): 29-35.)
- [12] 牛若芸, 翟盘茂, 余万明. 森林火险气象指数的应用研究[J]. *应用气象学报*, 2007(4): 479-489. (NIU Ruoyun, ZHAI Panmao, SHE Wanming. Applied research on forest fire danger weather index[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2007(4): 479-489.)
- [13] 牛若芸, 翟盘茂, 孙明华. 森林火险气象指数及其构建方法回顾[J]. *气象*, 2006(12): 3-9. (NIU Ruoyun, ZHAI Panmao, SUN Minghua. Review of forest fire danger indexes and their calculation methods[J]. *Meteorological Monthly*, 2006(12): 3-9.)
- [14] 潘晔婧, 朱玮, 王德. 基于路径选择行为的自行车出行环境评价和改善[J]. *上海城市规划*, 2014(2): 12-18. (PAN Huijing, ZHU Wei, WANG De. Evaluation and improvement of bicycle travel environment based on the cycling route choice behavior[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2014(2): 12-18.)
- [15] 深圳市城市规划设计研究院. 深圳市绿道网专项规划[R]. 2011. (Urban Planning & Design Institute of Shenzhen. Shenzhen greenway network special plan[R]. 2011.)
- [16] 时慧, 李运远, 戈晓宇, 等. 华北地区城市浅山区海绵绿道设计方法研究——以石家庄鹿泉区山前大道为例[J]. *北京林业大学学报*, 2017, 39(11): 82-91. (SHI Yi, LI Yunyuan, GE Xiaoyu, et al. Design methods of sponge greenway in urban shallow mountainous area in northern China: taking the greenway of Luquan district in Shijiazhuang as an example[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2017, 39(11): 82-91.)
- [17] 唐晓春, 刘会平, 潘安定, 等. 广东沿海地区近50年登陆台风灾害特征分析[J]. *地理科学*, 2003(2): 182-187. (TANG Xiaochun, LIU Huiping, PAN Anding, et al. Analysis of disastrous features of landing typhoon in coastal regions of Guangdong province in recent 50 years[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2003(2): 182-187.)
- [18] VANPARIJIS J, PANIS L, MEEUSEN R, et al. Exposure measurement in bicycle safety analysis: a review of the literature[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2015, 84: 9-19.
- [19] 王芳, 陈金华, 汪秀芳. 绿道休闲旅游安全管理对策研究[J]. *北京第二外国语学院学报*, 2015, 37(7): 70-77. (WANG Fang, CHEN Jinhua, WANG Xiufang. The study on safety management countermeasure of greenway leisure and tourism[J]. *Journal Beijing International Studies University*, 2015, 37(7): 70-77.)
- [20] 王志恒, 胡卓玮, 赵文吉, 等. 基于确定性系数概率模型的降雨型滑坡孕灾环境因子敏感性分析——以四川省低山丘陵地区为例[J]. *灾害学*, 2014, 29(2): 109-115. (WANG Zhiheng, HU Zhuowei, ZHAO Wenji, et al. Susceptibility analysis of precipitation-induced landslide disaster-pregnant environmental factors based on the certainty factor probability model—taking the hilly area in Sichuan as example[J]. *Journal of Catastrophology*, 2014, 29(2): 109-115.)
- [21] 肖洁舒. 麦理浩径对我国绿道建设的启发[J]. *中国园林*, 2012, 28(6): 16-20. (XIAO Jieshu. The enlightenment of MacLehose trail to greenway construction in the Mainland[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2012, 28(6): 16-20.)
- [22] 谢晨昱. 论香港绿道对广州绿道建设的启示[J]. *城市地理*, 2016(20): 279-280. (XIE Chenyu. On the enlightenment of Hong Kong greenway to Guangzhou greenway construction[J]. *Cultural Geography*, 2016(20): 279-280.)
- [23] 许小峰. 雷电灾害与监测预报[J]. *气象*, 2004(12): 17-21. (XU Xiaofeng. Lightning induced disasters and its detecting and forecasting[J]. *Meteorological Monthly*, 2004(12): 17-21.)
- [24] 张珍, 李世海, 马力. 重庆地区滑坡与降雨关系的概率分析[J]. *岩石力学与工程学报*, 2005(17): 3185-3191. (ZHANG Zhen, LI Shihai, MA Li. Probability analysis of relationship between landslide and rainfall in Chongqing area[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2005(17): 3185-3191.)
- [25] 赵志奇. 城市绿道边坡灾害的分析与治理: 2017年第九届边坡工程大会[C]. 中国浙江宁波, 2017. (ZHAO Zhiqi. Analysis and governance of urban greenway slope disaster: the 9th slope engineering conference in 2017[C]. Ningbo, Zhejiang, China, 2017.)

修回: 2020-02