

日本城市道路韧性规划实践及启示

赵洪彬¹, 何江龙², 卞长志²

(1. 自然资源部国土空间规划研究中心, 北京 100034; 2. 中国城市规划设计研究院, 北京 100037)

摘要: 中国韧性城市规划体系尚处于构建阶段, 城市道路韧性研究主要聚焦于网络韧性评价等理论层面, 规划实践研究相对不足, 对实际建设的指导作用有限。系统梳理日本城市道路韧性规划和管理的实践经验, 包括统一流程标准、推进全国城市紧急运输道路网络划定、强化道路网络与自然灾害特征及应急防灾设施、应急管理措施的信息化关联等方面。进而提出中国城市道路韧性建设应重点推进以下方向: 加快专项规划编制, 统一技术标准; 建立分级韧性道路网络体系, 实现与应急保障设施点的有效衔接; 加强信息化建设, 整合灾害风险数据; 提升脆弱路段工程韧性, 完善韧性交通管控机制。通过系统性规划引领, 促进城市道路韧性水平的全面提升。

关键词: 交通规划; 韧性道路网络; 紧急运输道路; 国土强韧化规划体系; 日本

Urban Road Resilience Planning in Japan: Practices and Implications

ZHAO Hongbin¹, HE Jianglong², BIAN Changzhi²

(1. Research Center of Territorial Spatial Planning, Ministry of Natural Resources, Beijing 100034, China;

2. China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China)

Abstract: China's resilient urban planning system remains in the development stage. Current research on urban road resilience primarily concentrates on theoretical aspects, such as network resilience assessment, while studies grounded in planning practices are relatively limited with little guidance for implementation. This paper systematically reviews Japan's practical experience in planning and managing urban road resilience. Key measures include unifying procedures and standards, promoting the designation of nationwide urban emergency transportation road networks, and strengthening the informatization linkage between road networks and natural disaster characteristics, disaster prevention facilities, and emergency response management measures. Based on Japan's experience, the paper proposes several priority strategies for enhancing the resilience of urban roads in China: accelerating the development of specialized planning and unifying technical standards; establishing a tiered resilient road network system that effectively aligns with emergency support facilities; advancing informatization and integrating disaster risk data; improving the engineering resilience of vulnerable roadway segments and refining resilient traffic management mechanisms. A systematic planning approach is essential to comprehensively improve the resilience of China's urban roads.

Keywords: transportation planning; resilient road networks; emergency transportation roads; national resilience planning system; Japan

收稿日期: 2025-04-21

基金项目: 国家重点研发计划资助项目“基于城市高强度出行的道路空间组织关键技术”(2020YFB1600500)

作者简介: 赵洪彬(1989—), 男, 河南孟州人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为国土空间规划、城市交通规划、韧性交通规划, 电子邮箱 ttbeanbean@126.com。

通信作者: 何江龙(1989—), 男, 北京人, 学士, 助理研究员, 研究方向为社会政策, 电子邮箱 907509322@qq.com。

1 研究背景

近年来, 中国城市自然灾害、公共卫生事件等突发公共事件逐渐增多, 尤其是自然

灾害给城市安全发展带来极为不利的影响, 例如 2008 年“5·12”汶川地震、2010 年“8·7”甘肃舟曲特大泥石流、2012 年“7·21”北京特大暴雨、2017 年“8·26”台风

“天鸽”、2021年“7·20”郑州特大暴雨、2023年海河“23·7”流域性特大洪水等。灾害对城市，特别是开敞的城市道路、公路等基础设施造成的损毁尤为严重，“7·20”郑州特大暴雨灾害中，市政道路损毁2 730处，干线公路损毁1 190处，农村道路损毁6 415处^[1]；郑州市主城区494条道路中断，27处隧道、桥涵因积水长时间断行，道路塌陷2 836处，366条道路出现空洞36处、脱空129处。道路交通设施的损毁，给灾时应急救援和灾后恢复重建带来巨大困难。

截至2024年末，中国常住人口城镇化率已达到67.0%^[2]。越来越多的人口居住在城镇密集地区，人民的基础设施建设成果、重要的财物积累也都集聚在城镇。在自然灾害风险逐渐提高的背景下，城乡的安全发展逐渐得到重视。习近平总书记在《论坚持全面深化改革》中指出：“我们面临的重大风险，既包括国内的经济、政治、意识形态、社会风险以及来自自然界的风险，也包括国际经济、政治、军事风险等”。在该重要思想指导下，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中首次提出韧性城市建设目标，并在党的二十大报告中再次提出该目标。在党的二十届三中全会报告中，进一步指出要“深化城市安全韧性提升行动”。

从韧性城市建设目标的提出到行动的深化落实，可见党和国家对该项工作的重视，也足见其重要性和紧迫性。而道路交通广泛覆盖国土、联系城乡，在防灾、抗灾和救灾中发挥着关键的联络作用，是系统性建设韧性城市和提高国土空间整体韧性水平的重要支撑。在自然灾害趋势、政策要求和实际意

义的三重作用下，中国有关“韧性道路”的研究热度迅速提高(见图1)。

关于“韧性”一词的缘起以及“韧性”与“城市”结合之后的含义，当前研究已基本形成共识。“韧性”的根本含义即“受挫折时候恢复原状”的能力，是一种工程韧性。20世纪70年代，加拿大生态学家霍林(Holling)首次在生态学领域提出“生态韧性”概念，即系统受到干扰或冲击之后，吸收或缓冲干扰并恢复到新的平衡状态的能力，强调抵抗力和恢复力两方面，被认为是现代韧性的起源；通过“韧性三角形”图示来表达扰动下系统韧性的具体内涵，并应用于城市韧性^[3-4]。由此，韧性城市是指在灾害环境中能够承受、适应和恢复的城市^[5]，韧性道路也应是在一定灾害下能够承受、适应和恢复的道路。韧性评价指标体系表明，相较于系统的恢复能力，当前中国提高城市道路韧性水平更重视增强道路基础设施的应对灾害能力(鲁棒性)、网络冗余度和应对灾害时的管理能力^[6]。这些是城市道路韧性规划应该重视的方向。

韧性城市规划研究表明，当前中国正处于借鉴国外韧性规划经验、结合已有规划实践、将安全韧性理念融入并构建韧性城市规划体系的阶段，尚处于体系搭建的研究时期，韧性规划内容分散于各专项规划^[7]。部分研究已经认识到道路交通在韧性城市建设中的重要作用，建议有条件的城市根据需求编制应急防灾、疏散救援等韧性道路专项规划^[8-12]。在城市道路韧性研究方面，中国侧重于研究不同灾害条件下城市道路韧性的评价方法，通过构建更加科学、精细的模型评价路网整体韧性水平，但尚未系统研究如何提高城市道路韧性及构建韧性道路网络^[13-18]。研究表明，当前对于道路交通基础设施韧性的研究过度集中于网络整体韧性层面，对设施本体的韧性研究较为分散，且缺乏统一、全面的定义和度量标准^[19]。

与城市韧性和城市道路韧性方面的研究成果相比，韧性城市规划尚处于起步阶段，整个体系尚在构建过程中。城市道路韧性作为其中的重要内容，其规划形式和实施成果尚未形成明确结论。现有城市道路韧性研究主要聚焦于网络韧性的理论评价，缺乏对道路网络和基础设施韧性提升的具体规划实践指引，难以将危机意识转化为科学的、具体的行动。只有通过规划切实落实韧性提升要求，才能有效增强城市和道路应对自然灾害

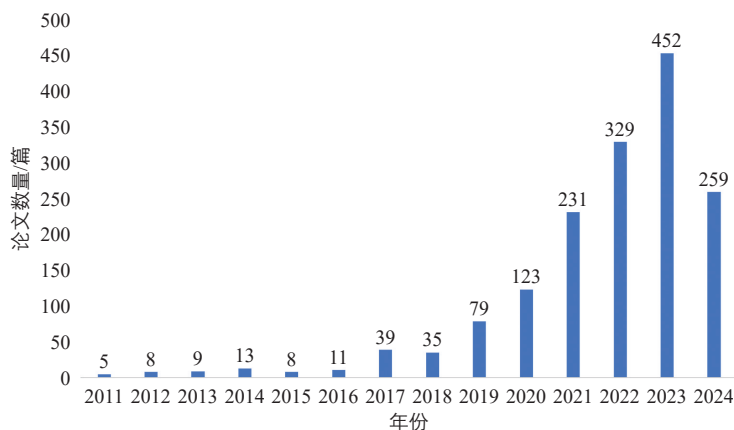


图1 2011—2024年以“韧性道路”为主题的论文数量变化趋势

Fig.1 Changes in the number of publications on “resilient roads” from 2011 to 2024

资料来源：根据中国知网检索结果绘制。

的能力。

日本位于环太平洋地震带上,特殊的地理位置使其成为灾害频发的国家之一。地震、海啸、火山喷发、台风、暴雨和暴风雪等自然灾害给日本的经济社会发展带来巨大破坏以及风险压力,同时也催生了全球领先的防灾减灾的技术方法。本文系统梳理了日本韧性道路网络从立法、规划到计划实施,再到信息化管理的全流程,形成了韧性道路网络构建方法、信息化主要内容和相应管理措施3方面内容,为中国系统性推进城市道路韧性规划建设提供启示与建议。

2 中国城市道路韧性规划发展概况

2.1 规划标准

中国城市道路韧性规划的相关标准主要依据《城市综合防灾规划标准》(GB/T 51327—2018)(以下简称《防灾规划标准》),其他相关交通专项规划标准中的防灾内容则较为原则性。《防灾规划标准》对应急通道的定义与分类、疏散救援出入口及其衔接方式、通道宽度标准、不同应急功能下的应急通道形式以及各类应急保障基础设施(包括应急指挥、交通、供水、电力、消防、避难、医疗卫生和应急物资等设施)的应急交通功能保障等级等内容作出了技术规定^[20]。但内容分散于各个章节,特别是该标准仅适用于城市规划中的防灾规划和城市综合防灾专项规划,导致在其他相关专项规划编制中执行效果不理想。

《国土空间综合防灾规划编制规程》(TD/D 1086—2023)对国土空间综合防灾专项规划的编制内容要点和成果提出了要求。在城市道路交通方面,对省、市、县三级国土空间综合防灾规划中的应急通道提出了“定标准、定数量、定位置”以及布局方面的原则性要求^[21],但未对城市道路韧性规划应当形成的成果进行技术约束。

2.2 发展历程

中国各城市的韧性道路网络通常在城市总体规划的防灾规划内容中有所体现。但由于上一阶段城市发展未能充分重视韧性建设,各城市相关规划的内容完整性和质量参差不齐,大部分城市仅选取部分干线道路作为疏散通道网络,且未进行分级。而后随着《防灾规划标准》出台,部分城市依据该标准在城市综合防灾规划中构建起应急通道网

络,并对网络进行分级,通常包括救灾干路、疏散主通道和疏散次通道。尽管这两种方法构建的韧性道路网络都叠加了相应的应急保障设施点位和地块,但网络和设施之间脱节,应急通道网络的“最后一公里”未能打通,不符合《防灾规划标准》中5.4.1—5.4.3款“城市应急通道应与本标准规定应急保障对象和城市重要公共设施的出入口相衔接”的要求(见图2a和图2b)。

近两年,一些城市开始针对特定灾害编制应急通道网络。其道路网络分级构建思路,或采用传统的高速公路、快速路、主干路分级方法,或沿用《防灾规划标准》的分级思路,方法上依然不统一。同时,网络构建强调以干线道路为主的网络布局,在网络形态和密度上注重均一覆盖,与应急保障设施点位的关系进一步疏离(见图2c和图2d)。值得注意的是,部分城市开始考虑应急通道网络与灾害种类和特征的叠加,这是技术进步的表现(见图2c)。

随着“五级三类”国土空间规划体系的建立,部分城市已经开始编制韧性相关专项规划。例如,北京市已完成韧性空间专项规划和韧性城市建设专项规划的编制工作,上海、南京、合肥等地正在启动韧性空间专项规划的编制工作。作为韧性城市的重要支撑体系,城市道路的韧性提升内容虽被纳入这些规划,但从公开的规划内容来看,尚未形成明确的韧性道路网络体系。此外,中国受灾城市通常编制的灾后恢复重建规划中,有关城市道路的内容多基于评估或破坏情况制定工程实施计划,而非旨在构建具有韧性目标的城市道路网络体系。

可见,目前对韧性道路网络构建的关注仍显不足。尽管《防灾规划标准》等规范性文件提供了基本约束,但当前韧性道路系统仍存在以下问题:功能分类标准不统一,与灾害风险的关联性不明确,以及与应急保障设施点的衔接存在脱节现象。究其根本,在于缺乏系统性的技术方法支撑韧性道路网络的构建,在新一轮专项规划探索中技术方法也相对滞后。

3 日本城市道路韧性规划

3.1 国土强韧化规划体系

日本因其特殊的国土地理、地形和气象特征,多次遭遇大规模自然灾害。相关研究表明,大规模地震灾害发生概率正逐年增

长,异常气象事件的发生频率和强度不断提高。数据显示,1976—2005年,小时降雨量超过100 mm的次数从每10年2.2次增至4.7次。在此背景下,日本于2013年12月颁布《国土强韧化基本法》(以下简称《基本法》),旨在建设强大、韧性的国家,确保抵御大规模自然灾害,保护人民生命财产安全,提升灾害应对能力。

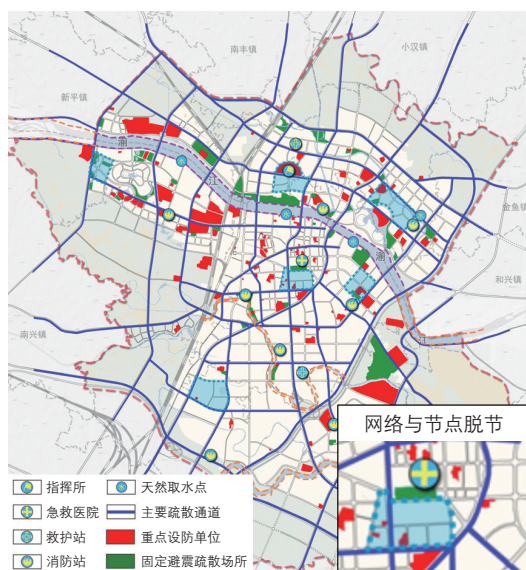
依据《基本法》,为减少灾害损失和缩短恢复重建时间,增强国土韧性以应对预设灾害情景,日本于2014年首次编制“国土强韧化基本计划”(以下简称“基本计划”),并于2018年和2023年结合全国脆弱性评价和最新重大灾害情况进行了修订^[22]。地方层面则编制“国土强韧化地区规划”,作为指导全域国土强韧化工作的专项规划。

此外,根据《灾害对策基本法》,地方还需编制“地区防灾规划”,作为防灾工作的重要指导文件。同时,地方远期发展规划

和其他专项规划也包含韧性和防灾相关内容。以东京都为例,其在《东京都国土强韧化地区规划》中整合了长期发展规划或总体规划、地区防灾规划、区部防灾计划中的国土强韧化内容,以及部分专项事业规划中的相关要素^[23](见图3)。

3.2 韧性道路网络规划

日本韧性道路网络规划以紧急运输道路网络规划为核心,作为国土强韧化规划体系的重要组成部分,其相关内容在地区防灾规划和专项事业规划中均有体现。以日本山形县的防灾规划为例,该规划在灾害对策篇的灾害预防规划部分(第17章)专门编制了紧急运输道路网络等相关内容^[24]。紧急运输道路网络是指在灾害发生后直接用于避难、救助、物资供应等应急活动的道路系统,是保障应急车辆通行的重要交通基础设施,通常包括高速公路、一般国道以及与之相连的干



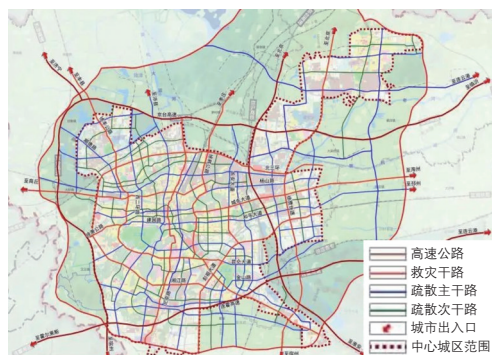
a 城市总体规划中的防灾规划疏散通道



b 城市综合防灾规划中的疏散救灾通道



c 韧性专项规划中的防涝应急通道



d 抗震防灾规划中的避震疏散通道

图2 中国城市相关规划中的疏散救灾通道示例

Fig.2 Illustration of evacuation and disaster relief corridors in China's urban planning

线道路，是日本韧性水平相对较高的道路网络。

日本紧急运输道路网络规划的编制具有充分的法律依据。根据1995年《地震防灾对策特别措施法》第三条第五项规定，各地需在“地震防灾紧急事业五年计划”中规划用于紧急运输的必要道路、交通管制设施、直升机场、港口等设施。1996年，日本国土交通省下发通知，要求各地编制“紧急运输道路网络规划”(以下简称“紧急道路规划”)^[25]。

为确保地震灾害应对措施的有效实施，日本国土交通省专门制定了《紧急运输道路网络规划制定指南》(以下简称《制定指南》)。根据《制定指南》要求，“紧急道路规划”主要包括构建紧急运输道路网络和制定相应管理计划两方面内容，并将紧急运输道路划分为3个等级，着重强调不同等级道路与相应功能节点的衔接。同时，规划要求重点提升1、2级紧急运输道路网络的冗余度和可替代路径选择能力，特别应增强管制路段、狭窄路段以及需要实施防灾措施的韧性薄弱区段的防灾能力^[26](见图4)。

在日本国土交通省的推动下，各地方政府陆续开展“紧急道路规划”编制工作。紧急运输道路网络的适用范围从最初应对地震灾害，逐步扩展至全面应对各种自然灾害。虽然各城市的道路网络结构存在差异，但均严格遵循《制定指南》的分级标准，通过不同等级的紧急运输道路连接相应的应急功能节点。以东京都为例，《东京都地区防灾规划》以地震为主要防范灾种，将紧急运输道路划分为3个等级(见表1)，确保不同等级紧急运输道路在地震灾害中与相应等级枢纽、防灾地点有效连通^[27](见图5)。

3.3 道路韧性提升计划

日本国土强韧化规划体系不仅注重规划编制，还通过设立专门实施机构和制定配套实施计划保障规划落实。在国家层面，依据“基本计划”的指导要求，编制“国土强韧化年度计划”(以下简称“年度计划”)^[28]。“年度计划”针对“基本计划”设定的45项极端灾害情景，详细规定了各政府部门为防范这些情景需要采取的具体政策、重点措施和关键考核指标，并将其纳入政府部门绩效考核体系。为保障实施效果，日本在内阁层

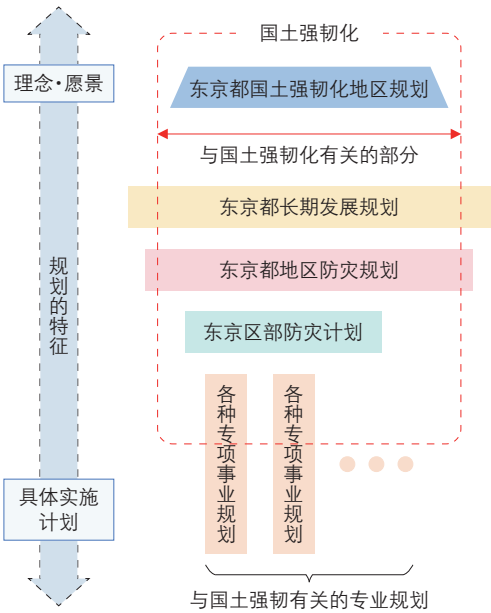


图3 东京都有关国土强韧化的规划体系
Fig.3 Planning frameworks related to national resilience in Tokyo Metropolis
资料来源：根据文献[23]绘制。

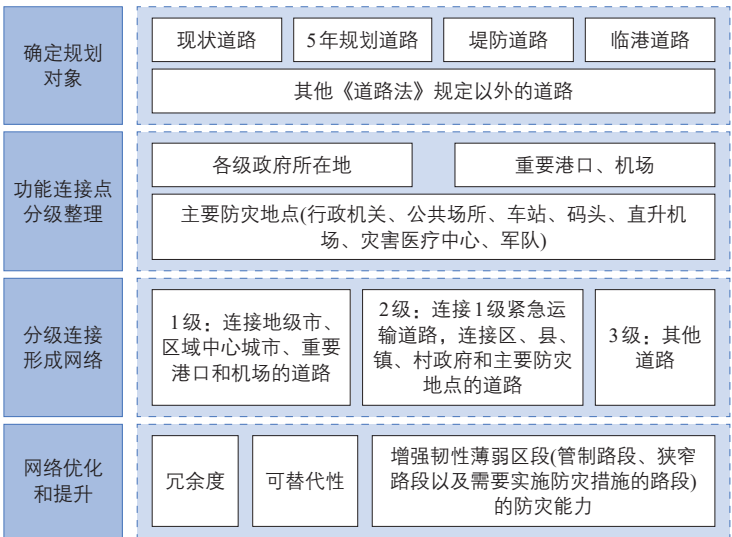


图4 日本紧急运输道路网络规划技术路线
Fig.4 Technical route of Japan’s Emergency Transportation Road Network Plan
资料来源：根据文献[26]绘制。

表1 东京都紧急运输道路等级与功能

Tab.1 Classification and functions of emergency transportation roads in Tokyo Metropolis

紧急运输道路等级	道路功能
1级	与应急措施中承担中枢作用的东京都政府、利川地区防灾中心、重要港口、机场等连接的道路
2级	连接一级紧急运输道路，与区县、镇、村级政府以及主要防灾地点(公安、消防、医疗等灾害初期应对机构)连接的道路
3级	与其他防灾地点(区域运输基地、储备仓库等)连接的道路

资料来源：文献[27]。

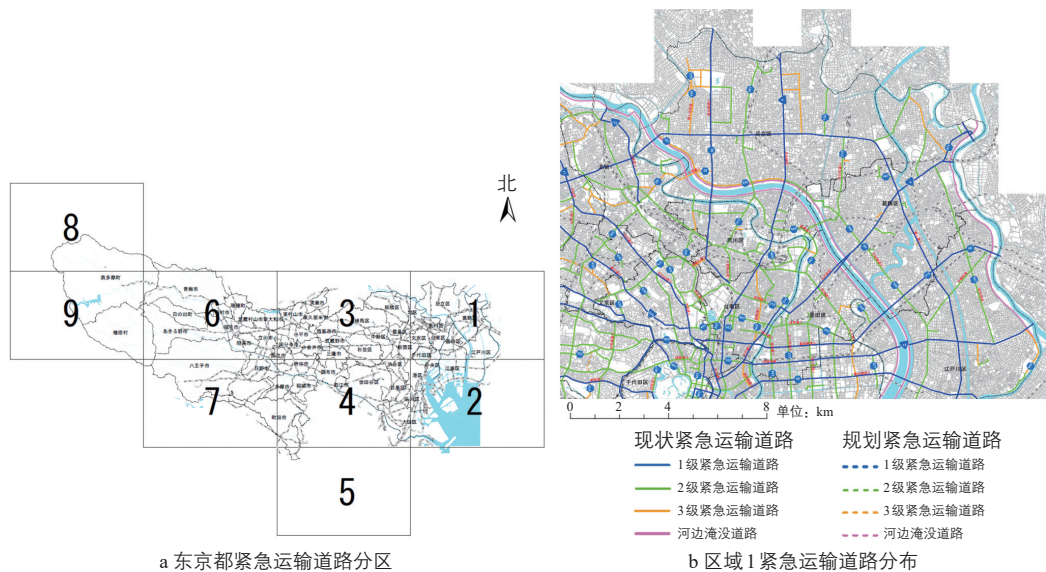


图5 东京都紧急运输道路网络
Fig.5 Emergency transportation road network in Tokyo Metropolis
资料来源：根据文献[27]绘制。

表2 日本《国土强韧化2022年度计划》道路韧性提升部分指标
Tab.2 Selected indicators for enhancing road resilience in Japan’s 2022
Annual Plan for National Resilience

部门	指标	目标值	目标年度
国土交通省	地下空间防洪与应急避难专项规划编制完成率/%	100	2025年
	广域应急联络道路畅通保障率/%	63	2025年
	高等级收费公路优先改造区间开工率/%	47	2025年
	紧急运输道路桥梁耐震化率/%	84	2025年
	紧急运输道路路面和边坡整备率/%	73	2025年
	无电柱化项目开工率(指清除架空电线的路段比例)/%	52	2025年
	1级紧急运输道路关键节点闭路电视监控(CCTV)覆盖率/%	50	2025年
日本警察厅	信号灯备用电源安装台数/台	2 000	2025年
	无人机应急飞行训练覆盖率/%	100	2025年

资料来源：文献[29]。

面专门设立了“国土强韧化促进部”，统筹推进“基本计划”和“年度计划”的实施。

在提升道路韧性方面，国家层面由国土交通省和日本警察厅共同负责，重点推进道路防灾规划编制、区域道路可达性提升、高等级道路和紧急运输道路改造完善、交通信号系统保障以及无人机应急管理训练等关键工作^[29](见表2)。地方层面则严格遵循“紧急道路规划”的具体要求，重点推进紧急运输道路的加固工程，并将这些工程项目纳入地方“国土强韧化地区规划”的年度实施计划

进行统筹管理。

4 日本韧性道路信息化与交通管理

4.1 韧性道路信息化

日本不仅在全国范围内推动各城市规划建设紧急运输道路网络，还对该网络进行信息化整合，通过叠加多元灾害信息、交通管制信息和应急防灾地点信息等，构建了全国统一的灾害风险“一张图”系统。该系统重点整合了洪水、风暴潮、海啸、地震以及地质灾害风险数据，同时融合道路防灾信息，包括紧急运输道路网络、事前通行管制区间、雪灾通行管制区间和道路模拟淹没点等关键数据(见表3)。

通过将紧急运输道路网络与应急防灾地点、灾害风险、交通管制规则等多维信息进行系统集成，实现了基础设施、灾害风险和管理措施的联动。图6展示了东京在洪水灾害下空间的淹没深度与紧急运输道路网络和道路模拟淹没点的关系，可用于判断紧急运输道路的淹没深度、连通情况、淹没风险点情况等。这一创新举措显著提升了居民和基础设施应对自然灾害风险的防灾、抗灾和救灾能力，同时提升了城市韧性管理水平，确保紧急运输道路网络在实际应用中发挥实效。

4.2 韧性道路交通管理

以紧急运输道路为基础设施，依托信息

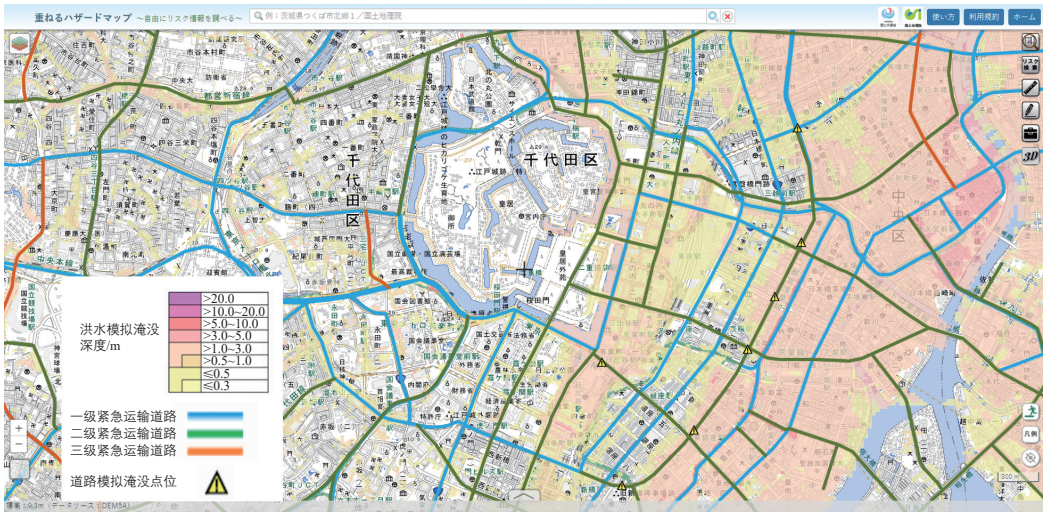


图6 东京洪水灾害下紧急运输道路网络及道路模拟淹没点位分析

Fig.6 Analysis of emergency transportation road network and simulated inundation points under flood scenarios in Tokyo Metropolis
资料来源：根据日本灾害风险叠加地图官网(<https://disaportal.gsi.go.jp/maps/>)信息绘制。

化管理平台，通过系统化的道路交通管理措施显著提升道路韧性水平。主要管理措施包括划定疏散救援路线和路段交通管制两方面：前者着重规划疏散救援路径，提高重大灾害时的避难逃生和救援效率；后者侧重对网络局部路段实施交通管制，避免常发性灾害引发安全事故。

日本各城市的疏散救援路线以紧急运输道路规划为依据，结合重大灾害情景预设和交通管制措施，确保灾害发生时避难、疏散和救援工作的有序开展，同时提升交通运行效率。例如，神奈川县在构建紧急运输道路网络基础上，进一步划定了紧急灾害下的疏散救援通道，优先保障疏散、救援、消防等应急车辆的通行权，其他车辆实施严格的禁行或限行管理(见图7)。

为应对常发性灾害，日本采用管制区间策略，预先确定相关路段的封闭和开放条件，当气象条件达到设定标准时立即实施交通管制。以降雨灾害应对为例，针对山地地区应急救援困难的特点，采取制定事前通行管制区间的措施(见图8)。基于易受灾路段历史灾害数据，判定路段区间禁止通行的降雨量评估规则，当实时降雨量达到阈值时，管理人员立即封闭路段以防止灾害发生。近年来异常降雨频发，局部地区短时强降雨现象增多，传统人工管理难以快速响应。为此，日本优化降雨量评估规则，在连续降雨量指标外新增短时强降雨指标，配套部署远程控制闸机系统，整合雨量监测、CCTV等设备，确保禁行规则高效执行，显著提升路网抗灾能力。此外，日本在应对降雪灾害时

表3 日本灾害风险系统叠加地图图层类别与内容
Tab.3 Categories and contents of overlaid map layers in Japan's disaster risk system

图层类别	图层内容
灾害风险信息	洪水、风暴潮、海啸淹没分析区，地质灾害警戒区、地质灾害危险点、地区土地液化危险度分布
道路防灾信息	紧急运输道路网络、事前通行管制区间、雪灾通行管制区间、道路模拟淹没点
指定紧急避难场所	洪水、崩塌、泥石流、滑坡、风暴潮、地震、海啸、大规模火灾、内涝、火山灾害中对应的避难场所
卫星影像	不同时期全国的卫星影像
标高·地形	高程分层设色图、晕渲图和坡度图
用地特征	地形分类(自然、人工)、用地分类、地震断层、火山基本图等
自然灾害历史点位	洪水、地质灾害、风暴潮、地震、海啸、火山等灾害的历史发生点位石碑分布

资料来源：根据日本灾害风险系统叠加地图官网(<https://disaportal.gsi.go.jp/maps/>)信息整理。

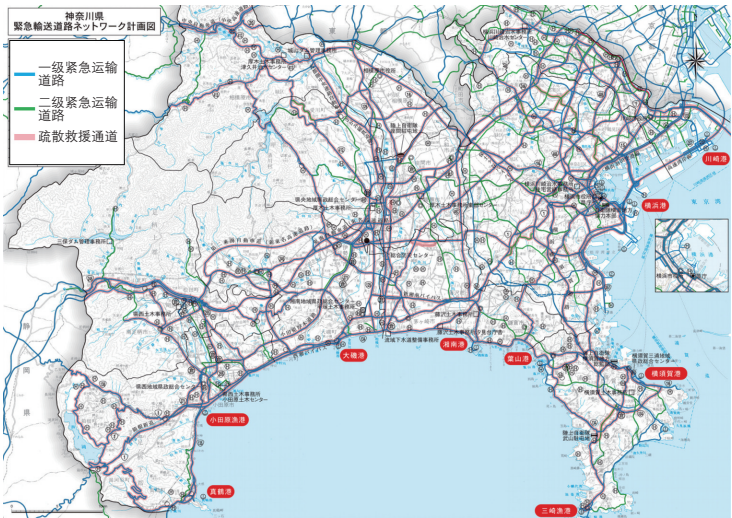


图7 日本神奈川县疏散救援交通组织

Fig.7 Evacuation and rescue traffic organization in Kanagawa Prefecture, Japan
资料来源：根据文献[30]绘制。

也有类似管制措施。

5 启示和建议

本文系统梳理了日本城市道路韧性规划和管理的实践经验。在规划层面，明确了紧急运输道路网络规划在国土强韧化规划体系中的定位，厘清了日本推进紧急运输道路网络工作的具体流程，总结提出日本紧急运输道路网络规划的方法和技术路线。在管理层面，研究了日本基于紧急运输道路网络实施的信息化和交通管理等措施。这些经验对于中国韧性道路网络的规划构建、规划思路和成果的统一，以及韧性道路网络信息化和交通管理水平的提升具有较强的借鉴意义。

韧性城市建设是异常自然灾害频发背景下城市安全发展的必然诉求。中国韧性城市规划体系尚处于构建阶段，作为韧性城市重要支撑体系的城市道路需要通过规划编制和管理实施进一步提升韧性水平。

5.1 城市道路韧性规划建设

在规划层面，城市总体规划、综合防灾规划和其他防灾专项规划均包含韧性道路相关内容，《防灾规划标准》和《国土空间综合防灾规划编制规程》(TD/D 1086—2023)也对应急救援通道制定了技术规范和成果要求。然而，各项规划中应急通道网络的构建思路与成果要求存在差异，表现为韧性道路功能分类标准不统一、网络与应急保障设施

点衔接不畅、路网与灾害关联性不明等问题。由于规划与标准脱节，且标准内容过于原则化、分散化，导致实施效果不佳，凸显出城市道路韧性规划在技术方法体系上的不足。

结合自然灾害风险普查成果，应优先在重点城市和灾害易发地区推进韧性道路专项规划编制工作，建设统一的韧性道路网络规划技术体系，统筹考虑各种自然灾害特征，构建综合型韧性道路网络或制定分灾种应对方案。应建立2~3级韧性道路功能分类体系，同步实施应急保障设施点的分级匹配，确保较高等级韧性道路连接高等级应急保障设施并实现层级衔接，明确衔接道路的韧性等级，最终形成“灾害特征-韧性道路-应急保障设施点”三位一体的规划成果体系。

5.2 韧性道路交通管理

目前，中国在韧性道路交通管理方面已采取相关措施。例如，广州市在黄埔区30多座市政道路的下穿隧道和涵洞安装了积水自动拦截系统，当隧道内水位超过27 cm时，道闸将自动落下。与此同时，隧道口的显示屏会显示“隧道淹水、禁止通行”的提示并发出警鸣声。在道路积水监测和地质灾害监测等方面，也已部署大量智慧管理设备。

然而，中国绝大部分城市主要依据既有道路隐患点台账，由交通、交警、城管等部门采取常态化预警和灾时人工管控相结合的



图8 日本应对降雨灾害的事前通行管制区间措施示意
Fig.8 Preemptive road access control measures for rainfall disaster response in Japan
资料来源：根据文献[31]绘制。

模式。相较于日本建立的“气象条件-灾害风险-交通管理”联动体系通过气象条件实施交通管理(而非待灾害风险显现后再响应),中国的韧性道路交通管理在预警机制和管控标准严格性方面存在明显差距^[32],格局分散管理,存在统筹不足,手段滞后、效率不高等问题。

在管理实施方面,需加强信息化建设,将规划成果数字化并纳入国土空间规划“一张图”,实现韧性道路网络和应急保障设施点的分级信息化管理;结合灾害风险评估识别高风险路段,提升脆弱区段的工程防护标准,建立灾害特征导向的交通管制方案,并制定韧性提升实施计划;健全脆弱路段的管理维护机制,加强监督管理,切实推动城市道路韧性规划的落地实施。

参考文献:

References:

- [1] 河南省人民政府门户网站. 河南省防汛救灾新闻发布会第十场[EB/OL]. (2021-08-02)[2025-03-20]. <https://www.henan.gov.cn/2021/08-02/2194036.html>.
- [2] 国家统计局. 中华人民共和国2024年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2025-02-28)[2025-03-20]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202502/content_7008605.htm.
- [3] 曾坚, 田健, 王倩雯, 等. 国土空间规划体系中的气候韧性及适灾承洪理论: 以闽三角地区为例[J]. 中国科学: 技术科学, 2023, 53(10): 1713-1727.
ZENG J, TIAN J, WANG Q W, et al. Theory of climate resilience, disaster adaptation, and flood mitigation in territorial spatial planning systems: a case study of the Fujian Delta Region[J]. Scientia sinica (technologica), 2023, 53(10): 1713-1727.
- [4] 鲁钰雯, 翟国方, 施益军, 等. 荷兰空间规划中的韧性理念及其启示[J]. 国际城市规划, 2020, 35(1): 102-110.
LU Y W, ZHAI G F, SHI Y J, et al. Resilience within spatial planning in the Netherlands and its implications[J]. Urban planning international, 2020, 35(1): 102-110.
- [5] 中国标准化研究院, 清华大学, 中国建筑科学研究院有限公司, 等. 安全韧性城市评价指南: GB/T 40947—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 4-23.
China National Institute of Standardization, Tsinghua University, China Academy of Building Research, et al. Guide for safety resilient city evaluation: GB/T 40947—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021: 4-23.
- [6] 曾穗平, 王琦琦, 田健. 应对气候变化的韧性国土空间规划理论框架与规划响应研究[J]. 规划师, 2023, 39(2): 21-29.
ZENG S P, WANG Q Q, TIAN J. The theoretical framework and planning response of resilient territorial space planning in response to climate change[J]. Planners, 2023, 39(2): 21-29.
- [7] 彭翀, 左沛文, 李月雯, 等. 城市空间多风险耦合及规划的韧性应对[J]. 城市规划学刊, 2024(5): 88-97.
PENG C, ZUO P W, LI Y W, et al. Urban multi-risk coupling and resilient responses through urban planning[J]. Urban planning forum, 2024(5): 88-97.
- [8] 仇保兴, 林斌辉, 何毅文. 韧性城市规划建设思路与对策研究[J/OL]. 城市学报, 2024(6): 1-7[2025-03-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1480.C.20241112.1433.004.html>.
- [9] 颜文涛, 任婕, 张尚武, 等. 上海韧性城市规划: 关键议题、总体框架和规划策略[J]. 城市规划学刊, 2022(3): 19-28.
YAN W T, REN J, ZHANG S W, et al. Resilient urban planning in Shanghai: key issues, general framework, and planning strategies[J]. Urban planning forum, 2022(3): 19-28.
- [10] 夏陈红, 朱峻佚, 王威, 等. 超大城市系统风险的韧性治理需求与规划响应策略[J]. 城市学报, 2024(6): 17-23.
XIA C H, ZHU J Y, WANG W, et al. Demand for systematic risk resilience management and planning response strategy in megacities[J]. Journal of urban sciences, 2024(6): 17-23.
- [11] 戴慎志, 刘婷婷, 高晓昱, 等. 国土空间防灾减灾规划编制体系与实施机制[J]. 城市规划学刊, 2023(1): 48-53.
DAI S Z, LIU T T, GAO X Y, et al. Planning and implementation mechanism for disaster prevention and mitigation in territorial spatial planning[J]. Urban planning forum, 2023(1): 48-53.
- [12] 左利兴, 张豪, 张增荣, 等. 城市道路交通应对超标降雨的策略: 以郑州“7·20”特大暴雨为例[J]. 城市交通, 2024, 22(5): 57-65.

- ZUO L X, ZHANG H, ZHANG Z Q, et al. Strategies for urban roadway traffic in response to extreme rainfall: a case study of the July 20, 2021 torrential rainstorm in Zhengzhou[J]. Urban transport of China, 2024, 22(5): 57-65.
- [13] 徐鹏程, 路庆昌, 李静, 等. 连续暴雨灾害下道路网络时变韧性建模与分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2024, 57(11): 1610-1618.
- XU P C, LU Q C, LI J, et al. Modeling and analysis of time-varying resilience of road network under continuous rainstorm disasters[J]. Engineering journal of Wuhan university, 2024, 57(11): 1610-1618.
- [14] 吕彪, 谢智宇, 康宇翔, 等. 基于动态分流元胞传输模型的城市道路网络韧性评估[J]. 交通运输系统工程与信息, 2022, 22(6): 134-143.
- LYU B, XIE Z Y, KANG Y X, et al. Resilience assessment on urban road network by dynamic shunt cell transmission model[J]. Journal of transportation systems engineering and information technology, 2022, 22(6): 134-143.
- [15] 唐少虎, 朱伟, 程光, 等. 暴雨内涝下城市道路交通系统安全韧性评估[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(7): 143-150.
- TANG S H, ZHU W, CHENG G, et al. Safety resilience assessment of urban road traffic system under rainstorm waterlogging[J]. China safety science journal, 2022, 32(7): 143-150.
- [16] 何祥, 袁永博, 周方, 等. 道路网络路段韧性重要度的EFAST评价方法[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(3): 675-681.
- HE X, YUAN Y B, ZHOU F, et al. An EFAST-based evaluation method for resilience importance of road-network links[J]. Journal of safety and environment, 2023, 23(3): 675-681.
- [17] 吕彪, 高自强, 管心怡, 等. 基于日变交通配流的城市道路网络韧性评估[J]. 西南交通大学学报, 2020, 55(6): 1181-1190.
- LYU B, GAO Z Q, GUAN X Y, et al. Resilience assessment of urban road network based on day-to-day traffic assignment[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2020, 55(6): 1181-1190.
- [18] 干靓, 凌云, 李健. 供需协调视角下城市应急救援可达性评估: 以郑州“7·20”特大暴雨为例[J]. 城市交通, 2024, 22(5): 50-56.
- GAN J, LING Y, LI J. Evaluating urban emergency rescue accessibility from a supply-demand coordination perspective: a case study of the July 20, 2021 torrential rainstorm in Zhengzhou[J]. Urban transport of China, 2024, 22(5): 50-56.
- [19] 黄晓明, 赵润民. 道路交通基础设施韧性研究现状及展望[J]. 吉林大学学报(工学版), 2023, 53(6): 1529-1549.
- HUANG X M, ZHAO R M. Status and prospects of highway transportation infrastructure resilience research[J]. Journal of Jilin University (engineering and technology edition), 2023, 53(6): 1529-1549.
- [20] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市综合防灾规划标准: GB/T 51327—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 23-32.
- Ministry of Housing and Urban Rural Development, PRC. Standard for urban planning on comprehensive disaster resistance and prevention: GB/T 51327—2018[S]. China Architecture & Building Press, 2018: 23-32.
- [21] 自然资源部国土空间规划局, 应急管理部风险监测和综合减灾司, 上海同济城市规划设计研究院有限公司, 等. 国土空间综合防灾规划编制规程: TD/D 1086—2023[S]. 北京: 地质出版社, 2023: 16-27.
- Department of Territorial Spatial Planning of the Ministry of Natural Resources, PRC, Department of Risk Monitoring and Comprehensive Disaster Reduction of the Ministry of Emergency Management, PRC, Shanghai Tongji Urban Planning & Design Institute Co, Ltd, et al. Code of territorial spatial planning for comprehensive disaster prevention: TD/D 1086—2023[S]. Beijing: Geological Publishing House, 2023: 16-27.
- [22] 内閣官房. 国土強靱化基本計画[EB/OL]. (2023-07-28)[2025-03-20]. https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/kihon.html.
- [23] 東京都総務局総合防災部防災計画課. 東京都国土強靱化地域計画[EB/OL]. (2020-03-01)[2025-03-20]. <https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000061/1007561.html>.