

网络重构成为提升抗风险能力的关键,即通过优化网络结构、节点布局与连接方式,增强其恢复力与适应力。区别于易受单点故障冲击的线性或树状结构,韧性网络强调网状化、多元化布局,如苹果依托全球多源供应商实现快速替代;节点选择需综合考量地理、政治与基础设施等因素,避免单一依赖,汽车企业常在亚、欧、美多地分散设厂与采购,相较于单一区域生产采购模式,可使重大中断后的供应链恢复时间缩短30%–50%;连接优化则体现为强化信息共享与协同,推广多式联运,并融合物联网、大数据、区块链等技术实现全链路实时监控与敏捷响应^[2]。

6.2 多元冗余与弹性库存设计

多元冗余与弹性库存设计是应对国际物流供应链中断风险的关键策略。多元冗余通过在供应商、生产设施和运输路线等环节设置多重备份,提升抗风险能力:电子制造企业若拥有三家以上芯片供应商,短缺期间产能损失平均降低40%;跨国食品企业布局多地加工厂,可在局部停产时快速调产,保障供应连续性与区域适配性。弹性库存则突破传统固定模式,依据市场需求波动、供应链实时状态及成本约束,动态优化库存水平;快时尚品牌依托销售与供应数据实时调整,既保障交付及时性,又避免积压,可降低库存成本15%–25%,并显著提升客户满意度。二者协同,兼顾韧性与效率,增强供应链整体稳健性。

6.3 数字化协同响应机制

数字化协同响应机制是提升国际物流供应链抗中断能力的关键手段。其核心在于依托统一信息平台,实现供应商、生产商、物流商与零售商间的信息实时共享与协同,如沃尔玛通过协同系统与供应商共享实时库存、销售数据及需求预测信息,显著增强供应链透明度、有效缓解牛鞭效应、降低全链条库存成本。同时,融合人工智能、机器学习与大数据分析,对运输时效、库存水平、供应商绩效等多源数据深度挖掘,构建风险预警模型,实现对中断事件的智能预测与阈值自动报警。此外,配套建立快速决策流程与应急指挥机制,辅以模拟演练,全面提升各方协同响应能力。实践表明,健全该机制的企业,应对中断事件的响应时间可缩短50%以上,损失降低20%–30%。

7 政策与治理协同

7.1 跨国监管标准衔接

国际物流中,跨国监管标准不衔接严重阻碍货物流通,尤以检验检疫、技术法规及卫生措施差异为甚,如欧盟严控农残兽残,而部分发展中国家标准较松,常致货物扣留或退运,年损数十亿美元。WTO《TBT协定》《SPS协定》及欧日EPA等推动国际标准采用与互认,提升便利化。但各

国政治、经济、文化背景不同,发达国家重环保与消费者保护,发展中国家重增长与就业,需兼顾实际,通过协商寻求共识。

7.2 公私部门应急协作机制

公私部门应急协作机制对应对国际物流供应链中断风险至关重要。疫情中,政府及时出台财政补贴、通关便利等政策,企业灵活调整产运计划,如客机改货机保障物资运输。健全机制需明确职责:政府主导预案与支持,企业主动响应、共享信息、共商对策,并建立常态化沟通渠道与信息平台。但实践中仍存利益分歧、决策错位及数据安全隐患,亟需完善法规制度保障其高效可持续运行^[3]。

7.3 区域供应链安全倡议

区域供应链安全倡议是保障国际物流稳定的关键举措。APEC等机制推动提升供应链韧性与效率,核心涵盖三大方向:一是物流基建升级,加快港口、机场、铁路等交通枢纽现代化建设;二是贸易便利化,简化通关流程、降低关税壁垒、推动监管标准互认;三是数字经济赋能,构建区域信息共享平台实现风险预警与数据协同,并配套开展应急演练与能力建设。但成员国发展水平与利益诉求差异大,部分国家因产业保护对开放持审慎态度。需通过持续协商与务实谈判寻求平衡,方能切实提升区域供应链安全与稳定。

8 结语

本研究系统识别了地缘政治、自然灾害、网络技术及运营协同等国际物流供应链中断风险源,构建了多源数据融合监测、图神经网络溯源与动态情景推演等识别路径;提出韧性网络重构、多元冗余库存与数字化协同响应等应对策略,并强调政策协同的关键作用,包括跨国监管衔接、公私应急协作与区域安全倡议。未来需深化新型风险识别技术研究,优化韧性与成本平衡机制,融入绿色低碳目标;加强全球治理协调与新兴经济体政策适配性研究。对实践而言,物流企业应建设智能风险监测系统并参与应急协作;制造企业需推进多源供应与数字化协同;政府须强化政策激励、标准对接等国际合作及应急储备体系建设。

参考文献

- [1] 刘佳惠.国际物流对供应链韧性的影响研究[D].新疆农业大学,2024.DOI:10.27431/d.cnki.gxnyu.2024.001349.
- [2] 璟旒.国际贸易供应链韧性评估与风险传导研究[D].天津商业大学,2024.DOI:10.27362/d.cnki.gtsxy.2024.000342.
- [3] 全国智能运输系统标准化技术委员会(SAC/TC 268),全国物流信息管理标准化技术委员会(SAC/TC 267).国际物流供应链系统调度信息交换要求:GB/T 46529-2025[S].中国标准出版社,2025.

Real Mountains and Waters, Geomorphology and Infrastructure Integration and Improvement of Space Environment Practice

Huifen Zeng Jian Wang Ruoyu Ge

Sidi (Suzhou) Survey and Design Consulting Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215000, China

Abstract

In the context of the new era, the concept of urban infrastructure development must evolve from a focus on functional needs to an integration of functional requirements with spatial environment enhancement. Drawing on the He Shan Road West Extension Tunnel project as a case study, this paper analyzes and summarizes strategies for infrastructure integration, its adaptability to urban design, and construction techniques for spatial shaping. A comprehensive set of infrastructure integration technologies is proposed. Given the increasing complexity and comprehensiveness of modern infrastructure, the paper offers actionable recommendations to explore more effective innovative models for future urban development.

Keywords

Infrastructure; Urban design; Integration concept

真山真水 地貌赋形 基础设施融合提升空间环境实践

曾惠芬 王健 戈若愚

悉地(苏州)勘察设计顾问有限公司, 中国·江苏 苏州 215000

摘要

新时代背景下,城市基础设施建设理念需要已从功能需求为主发展为功能需求与空间环境提升相融合。结合实际案例何山路西延工程隧道,从城市基础设施融合策略、与城市设计适应性以及在空间塑造方面的建造物化技术等方面进行分析与总结,提出了一套基础设施融合技术。针对基础设施越来越趋向于综合性、复杂性,提出了对策与建议,为未来城市建设发展探索更有成效的创新模式。

关键词

基础设施; 城市设计; 融合理念

1 引言

城市基础设施承载着城市多样化的功能,在城市功能构造与空间、防火避灾、景观环境美化、绿化系统构成等方面具有重要作用^[1]。新时代背景下基础设施建设理念已从功能需求为主,发展为功能需求与环境提升相融合,需要从拓展参与城市建设边界构成、升级开放空间景观品质、重构城市生态安全资源网络的角度,探求新的范式可能^[2]。本文以何山路西延工程隧道为例,探索城市基础设施功能与空间环境提升的融合。

2 城市基础设施融合策略

城市基础设施融合包括规划设计、建造物化和运行维护3个阶段。在规划设计阶段融合策略以规划融合理念引领基础设施建设可持续发展,工程专项规划提前到控规阶段开

展,控制性详细规划与工程专项规划之间形成动态反馈,以城市设计手法,采用多专业协同规划方法,为城镇各类基础设施有序建设建立关联,科学指导城市基础设施建设^[3]。建造物化阶段注重在空间塑造方面的物化技术融合,运行维护阶段采用集约化策略。

早在2010年苏州高新区白马涧周边地区控制性详细规划编制阶段,道路交通专项研究已将何山路西延纳入片区城市设计、控规成果。项目位于苏州市高新区中部白马涧片区,规划功能定位为片区对外重要联系通道,沟通高新区东西部、分流太湖大道的第二通道,完善区域组团道路网络、提升交通联系便捷性。

线主位所经处的山体最大高程为117.3米,跨越高亢平原及丘陵两个地貌单元,路线采用隧道方式穿越贺九岭及支硎山白马涧生态区等,选线原则有:布线尽量避开不可移动文物;越岭隧道从山体比较狭窄的鞍部通过,使隧道净长最短;隧道洞口及隧道内线形符合安全视距要求;隧道进出洞口尽量与地形等高线正交,保证洞口衬砌条件较好。

【作者简介】曾惠芬(1996—),女,中国江苏太仓人,本科,正高级工程师,从事设计研究。

3 城市基础设施与城市设计适应性分析

项目南侧白马涧龙池景区是国家AAAA级旅游景区，占地1.5平方公里，集休闲度假、观光旅游、户外拓展、生态探险、科普教育、田园人文等主题于一体大型综合体验型生态景区。在工程方案研究时，政府在白马涧周边地区控制性详细规划的基础上开展了白马涧片区城市设计，规划建设生命健康小镇。该片区城市道路网已基本建成，规划何山路隧道东西向穿越片区，隧道出入口的布设兼顾龙池景区和生命健康小镇的交通需求，与道路系统互联互通，对道路交通专项规划进行了微调，隧道建设与片区城市开发相融合，助力片区规划落地。隧道规划建设前后的紧凑空间保持一致，白马涧龙池景区在环境、风貌等实现近零影响，实施了基础设施与城市空间的有机融合。

4 城市基础设施在空间塑造方面的建造物化技术探索

2017年何山路西延工程进入实施阶段，秉持“交通引领城市发展，交通组织城市生活”理念，在项目可行性研究阶段，项目团队积极探索源于可持续发展理念的“可持续设计”DFS（Design For Sustainability），深刻思考人类发展与环境问题之间关系，研究基础设施参与城市空间塑造的模式，基础设施具有城市物质系统的复杂空间特征，消除其巨构机理与形态割裂特征，实现城市功能与基础设施虚实空间的紧密融合。基于制约项目的规划、建设条件，提出四项设计原则，具体为：1、遵循安全、适用、美观、耐久和环保的原则，合理选择隧道工法，2、因地制宜、合理布局，重视方案的功能、经济、可实施、可持续发展，3、重视环境和风险控制，贯彻以人为本的设计思想，4、敢于创新，运用四新技术等。建设方案强化了城市基础设施与控制性详细规划协调性，建立持久性生态生产系统，助力社会、生态环境的长期安全发展，合理使用土地资源；交通功能合理，优化出行方式和均衡路网交通；优选隧道工法和结构型式并采用信息化的设计方法；着重处理好隧道通风、降噪和景观的设计，与工程周边环境和谐；重视工程施工与运营阶段的风险控制，建立可靠的综合防灾救援体系。

4.1 项目建设条件

沿线地貌单元以基岩山体为基础的构造-剥蚀低山丘陵地貌，据地貌成因和形态类型的差异性，分为构造-剥蚀低山丘陵（I）和堆积平原（II）二大区。据近年地形形变测量平原区20年间垂直形变速率不到-0.1mm/a，属地壳活动稳定区。拟建场地山体表层以残坡积物为主，层厚2~3m不等，离山体较近地段往下即可见基岩，地质构造稍复杂，未见断裂构造。场区节理、裂隙多呈直立状微张，宽度0.5~3mm，裂隙面附氧化铁薄膜及石英脉。

4.2 空间塑造方面的物化技术融合

在建造物化阶段，物化技术融合策略聚焦建造技术的

创新、绿色和效益性。何山路西延工程最大的“亮点”在高度重视生态环境和保护与利用历史文化遗产。面对全线地形起伏较大、地质条件变化快、环保景观要求高等难点，创新性采取多种结构形式、多种工法组合，项目在观音山路~龙池西路段采用隧道形式，其中穿越支硎山段为山岭隧道，采用钻爆法施工，支硎山以西为白马涧景区范围，采用明挖隧道形式，消除城市道路对景区环境、生态的影响。项目位置毗邻白马涧、花山等4A级景区，隧道穿越山体的段落采用低进洞的暗挖隧道方式保留山体原貌，利用开放空间网络保存了城市的文化历史价值。

预留远期穿越鹿山的主线隧道接口，近期设置与路网相匹配的隧道出入口系统，设匝道接龙池西路，设2对匝道衔接观音山路和龙池东路，完善的地下立交既保护了自然山水环境又四通八达服务于周边路网。

4.3 设计、施工技术的创新性

何山路西延工程为苏州第一座多工法转换、多断面变化的城市隧道，多工法为明挖法、堰筑法、钻爆法、盖挖法，多种结构形式为折板、平板、拱形、单箱结构、双箱结构、四箱结构，不同工法之间采用科学合理的技术措施进行结构受力的转换与过渡。

支硎山隧道围岩大部为质地坚硬的金山石，金山石作为江苏省非物质文化遗产的“金山石雕”的原材料，价值极高。创新实现了在暗挖隧道洞内狭小空间进行台阶切割“金山石”，在隧道施工的同时合理布置洞内空间，专题研究切割、运输等工序，得到相对完整的石料，最大限度保留了“金山石雕”稀缺资源。

隧址区经过市级文保单位魏了翁墓，为避免基坑对墓体影响，经多方案论证采用扰动程度最低的上部吊脚桩+下部放坡开挖并喷锚防护方案。

白马涧龙池素以“水中大熊猫”桃花水母闻名，其依赖于极高的水质标准。为保障景区水系的安全，下穿河塘段隧道采用非常规的分段围堰施工，施工未对景区水系造成影响。

4.4 浅埋小净距隧道施工的突破

受地形地质条件限制，龙池东路山岭隧道左右线净距仅为6m，最大埋深仅16m，为典型的大断面偏压浅埋小净距隧道，若根据规范设计采用常规的中隔壁法会面临洞内施工空间狭小、进度缓慢、中隔壁拆除费时费力等问题。

项目优化隧道工法，创新采用微桩进行联合支护，实现在浅埋偏压等不利围岩条件下台阶法机械化施工，取消了临时支撑的施作和拆除，减少了对围岩的多次扰动，比常规侧壁导坑工法具有施工更安全、工序衔接更紧密、造价更经济的优势。复杂建设条件下软弱围岩隧道台阶法并微桩（锁脚锚管）开挖支护施工方法2024年获评省级工法。

4.5 注重动态设计的信息技术应用

隧道设计、施工全过程应用BIM+GIS数智融合技术对