

引用格式：贾开国, 黄保华, 叶丽娜, 等. 国家战略视角下超大特大城市关键基础设施地下化研究与思考. 中国科学院院刊, 2026, 41(2): 296-301, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20251215006.
Jia K G, Huang B H, Ye L N, et al. Study and reflection on undergroundization of critical infrastructure in megacities from perspective of national strategy. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2026, 41(2): 296-301, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20251215006. (in Chinese)

国家战略视角下超大特大城市 关键基础设施地下化研究与思考

贾开国¹ 黄保华² 叶丽娜¹ 郭腾飞³ 易荣^{1*}

1 中国冶金地质总局矿产资源研究院 北京 101300

2 中国国土勘测规划院 北京 100035

3 中交第一公路勘察设计研究院有限公司 西安 710075

摘要 关键基础设施是重要的国家战略资源，事关国家安全与经济社会运行。我国22个超大特大城市因要素高度聚集，关键基础设施布局集中、隐蔽性差，面临现代化战争攻击、自然灾害、设施老化等多重风险。将关键基础设施地下化纳入国家战略，是保障国家安全、推进韧性城市建设、助力高质量发展的必然选择。国际实践已验证地下化在防护、空间优化等方面的优势，“十五五”期间建议通过强化顶层设计、规划管理协同、开展试点示范、创新融合发展等策略，构建中国式超大特大城市发展新范式，筑牢城市安全与发展基座。

关键词 超大特大城市，关键基础设施，地下化，国家安全，韧性城市，高质量发展

DOI 10.3724/j.issn.1000-3045.20251215006

CSTR 32128.14.CASbulletin.20251215006

关键基础设施是国家重要战略资源，是保障国家安全、国民生计和公共利益的能源、通信、交通、医疗、金融服务、政府服务和应急服务等领域的资产、系统和网络。主要包括三大类。①“城市生命线类”基础设施。主要是保障人民生产生活的交通物流、供水供气供电、医疗卫生等设施，这类关键基础设施的

脆弱性在于自然灾害和人为物理破坏，一旦受损，会严重影响城市功能运行甚至带来重大灾难。例如，2025年12月南非茨瓦内市一座重要变电站因电缆被盗引发燃爆和火灾导致该市多个区域供电中断。②“城市生产安全类”基础设施。主要为危险品储库、能源（油、气）储库等生产安全和战略物资储备设施，一

*通信作者

修改稿收到日期：2026年1月8日

旦出现事故或遭到物理攻击破坏,会造成重大人员伤亡和经济损失。例如,2015年天津港“8·12”特别重大火灾爆炸事故造成165人伤亡;③“城市关键信息”基础设施。主要为公共通信和信息服务、能源、交通、水利、金融、公共服务、电子政务、国防科技工业等重要行业和领域,一旦遭到破坏、丧失功能或者数据泄露,可能严重危害国家安全、国计民生和公共利益^[1],这类基础设施存在遭受物理破坏和网络攻击的双重安全隐患。例如,2022—2024年美国国家安全局多次对我国国家授时中心发起网络攻击^①。

当前,我国超大特大城市人口、资源等要素的高度聚集和快速流动,关键基础设施面临超高风险和系统脆弱性,其防护和治理面临诸多挑战,建议将这些城市关键基础设施地下化纳入国家战略,同时构建多层次防护体系,于“十五五”期间重点规划和部署,增强城市风险防控能力和综合治理能力,筑牢我国城市安全发展基座。

1 国内外关键基础设施防护经验

20世纪以来,许多国家高度重视关键基础设施保护工作,根据本国实际关键基础设施防护进行了规划和实践,确保在面临蓄意攻击和自然灾害等应急事件中能够维持基本政府运转和公共服务职能。关键基础设施正日益成为大国地缘博弈的杠杆支点和权力投射的战略通道^[2]。美国国土安全部立法规定了涵盖能源、交通、通信等16个领域的关键基础设施清单,认为这些设施的瘫痪或破坏将对国家安全、公共健康安全产生严重影响。欧盟则发布了《网络与信息安全指令2.0》,将强制性网络安全要求扩展至能源、交通、医疗、数字等关键领域。德国内政部早在2009年制定了国家关键基础设施保护战略,并通过政府、企业和民

间社会之间的自愿合作,推动该战略的实施。加拿大编制了《国家关键基础设施战略》以强化加拿大关键基础设施的韧性。我国于2021年发布了《关键信息基础设施保护条例》,明确了保护范围、运营者责任及多部门协同机制,为关键信息基础设施安全保障提供了指导。

2 超大特大城市关键基础设施地下化有助于城市发展与安全

2.1 关键基础设施地下化事关国家安全发展

随着高性能战术打击装备、网络攻击技术的快速迭代,地表基础设施防护压力持续攀升,传统“地上防护”模式已难以适配现代安全防护需求。从近年的俄乌冲突、巴以冲突等多场局部冲突的实践来看,交战双方均将对方能源网络、交通枢纽、通信系统等领域的基础设施作为核心打击目标,此类关键基础设施防护能力已成为影响冲突走向的关键因素之一。相关战例表明,对能源类关键基础设施的系统性打击,会直接削弱被打击方军事行动的可持续性与作战信心;对供水、供电等民生类关键基础设施的破坏,则会进一步加剧人道主义危机,放大冲突带来的综合影响。

在人工智能技术赋能“信息战”“网络战”的背景下,针对关键基础设施的攻击手段呈现出多样化、隐蔽化的特征,这也使得全球范围内关键基础设施面临的安全威胁显著上升。与此同时,部分国家通过立法等方式强化关键基础设施防护举措,而围绕关键基础设施的网络渗透、实体攻击等安全事件也随之增多,凸显出此类设施防护工作的紧迫性与重要性。

从国际经验来看,关键基础设施地下化,能为极端状态下城市运行提供安全屏障。相关研究表明,处在一定厚度的岩土层覆盖之下的地下空间设施,其抗

① 国家互联网应急中心(CNCERT). 关于国家授时中心遭受美国国家安全局网络攻击事件的技术分析报告. (2025-10-19)[2026-01-08]. <https://news.cctv.com/2025/10/19/ARTIG1WFMxk7uWacFF6rbEvA251019.shtml>.

爆性能远远优于地面基础设施。在爆炸冲击波、光辐射、早期核辐射等杀伤性因素作用下，火灾、建筑物倒塌等次生灾害影响下，暴露于地面空间的人员与建筑物，往往难以实现有效防护。以核爆炸冲击波为例，当地面超压达到0.02 MPa时，多层砖混结构房屋将严重损毁；当超压超过0.12 MPa时，地面暴露人员的生存概率极低。而岩土层对冲击波具有显著的削弱作用，即使面临0.1 MPa的冲击波冲击，处于地下设施内的人员也能够得到有效保护^[3]。但是，由于地下空间密闭狭小，当内部发生涝灾、火灾、有毒有害气体扩散时，人员疏散和救援难度较地面大得多，所造成的危害程度将远超地面同类灾害。这提醒我们一方面要充分利用地下空间良好的防灾功能，使之成为城市居民抵御自然灾害和战争灾害的重要场所；同时，要重视地下空间内部防灾减灾技术的研究，加强工程和技术防控，最大限度降低灾害损失。

总体看来，我国超大特大城市关键基础设施布局集中度较高，多数设施暴露于地表，隐蔽性欠佳，防护基础和防护能力相对薄弱。即使通过分散化布局、强化物理防护、构建系统冗余、部署智能化预警等手段能够在一定程度上提升防护能力，但在现代化战争非常规武器空袭、精确打击等场景下，此类设施依然面临较高的安全风险。因此，有必要将超大特大城市关键基础设施地下化纳入国家安全发展战略，使其与地面空间防护系统、网络安全防护体系和智能化预警体系形成互补。在实施路径上，可首先推动超大特大城市中关系国防安全、经济安全与民生保障的大型关键基础设施地下化。例如，战略物资储备库、能源储备设施、数据与算力中心、备用指挥中心、应急避难所等。在地下化建设过程中，应坚持平急两用、平战结合原则，使相关设施平时作为经济发展独立载体，战时可转变为具备防护功能的地下堡垒，为规避现代战争精确打击提供天然屏障。

2.2 关键基础设施地下化事关韧性城市建设

我国超大特大城市建设起步较早，基础设施老化弱化问题显著。近年来，设施设备老化落后引发的燃气泄漏爆燃、供水管网泄漏、路面桥梁坍塌等事故频繁发生，危及人民生命财产安全。2022—2023年，仅燃气管道、电力电缆等爆炸事故，共造成46人死亡、81人受伤，这些事故暴露了我国城市基础设施在日常运行中的脆弱性。另外，关键基础设施的系统性失效可能引发更为严重的连锁反应。相关研究指出，关键基础设施网络的相互依赖加剧了结构脆弱性，能源、交通、通信等系统间的“级联失效”可能导致“一损俱损”的局面^[2]。例如，供电系统中断会导致供水泵站停运、交通信号灯失灵，进而引发城市功能全面瘫痪。

此外，极端天气危及超大特大城市的基础设施安全。我国超大特大城市由于人口高度聚集、排水管网老旧且功能单一，地下深大排水系统投入不足，在发生洪涝、台风、地震等自然灾害时，交通、能源、通讯、医疗卫生等各类关键基础设施极易受到损害。例如，2023年台风“泰利”导致广州主城区多处变电站进水停运，造成30万户居民停电。通过加强关键基础设施防护来推动韧性城市建设已成为全球共识，而“以设施地下化”为代表的传统防护技术同步得到许多国家的高度认可。例如，挪威奥斯陆机场交通管制中心（ATTC）的地下化运营，2022年以色列建成的地下民防血库等^[4]。

因此，通过前瞻性的整体规划与集中建设，有必要将城市运行的核心功能深度嵌入地下空间。具体场景包括：变电站、储能电站等能源设施地下化，保障极端条件下的能源供应与调配；地下水库、雨水调蓄池、再生水处理厂等水资源供给设施地下化，增强城市防洪抗旱与水循环利用；综合管廊、核心通信枢纽等生命线工程地下化，确保电力、通讯、给排水等城市“血管”在灾害中安全畅通。

通过关键基础设施地下化,构建“平灾结合、功能互补、立体防护”的城市韧性强大基底,既能应对日常运行中的安全风险,也能在极端事件中保障城市核心功能不中断,支撑韧性城市“吸收冲击、快速恢复、持续适应”的核心诉求。

2.3 关键基础设施地下化事关城市高质量发展

当前,我国传统基建已近饱和,亟待寻找并推进新型城市基础设施建设场景。在推动城市高质量发展、推进城市更新行动中需要做好科学开发地下空间这篇文章,对扩大投资、拉动内需、解决就业,促进动能转换,激发地下空间经济增长新引擎具有重要价值。关键基础设施地下化作为一项系统工程,不仅直接拉动传统基建领域投资,更能催生新技术、新产业,成为推动经济高质量发展的重要抓手。发展深隧、地下快速路、地下物流及储库等新型地下空间应用场景,培育形成新业态、新产业,将带动钢材水泥等建筑材料、机械设备及施工与管理等行业的发展,提供大量就业岗位。据统计,每开发1公里城市地下隧道,平均消耗钢材约3 000吨、水泥约1.5万吨。2016—2023年,我国仅城市轨道交通、综合管廊、地下停车场等领域,年均增长直接投资规模超过1.5万亿^[5],间接带动上下游产业链就业超过400万人。

从国际经验来看,关键基础设施地下化也是推动城市空间优化和产业升级的重要路径。美国纽约曼哈顿地下综合交通枢纽(grand central terminal)不仅承担着通勤功能,更通过地下商业、文化空间的整合,形成了“地下城市”生态,每年创造经济效益超50亿美元;日本东京通过地下空间开发,将部分变电站、污水处理厂转移至地下,释放出的地面空间用于建设公园、学校等公共设施,既改善了城市环境,也提升了土地利用效率。这些实践表明,关键基础设施地下化不仅是安全防护的手段,更是城市高质量发展的关键途径。

3 加快推动超大特大城市关键基础设施地下化的策略与建议

关键基础设施地下化本质上是地下空间开发利用深层次功能的拓展,对比地面空间设施或其他功能类型的地下空间设施而言,具有更加特殊的系统性和复杂性。在技术层面上存在复杂地质条件建设难题、复杂环境的保护难题、深层地下空间安全开发利用难题、地下空间设施维护与更新难题等^[6];在管理体系方面存在权属不清、运营主体复杂多元、多头管理、多元化投融资政策引导不足、规划滞后以及相关标准体系不完善等问题。为此,“十五五”期间关键基础设施地下化策略,坚持问题导向,坚持系统观念,立足前瞻思考,合理布局、重点建设、融合发展,形成平时融合建设、急时敏捷响应、战时一体运用的中国式超大特大城市安全发展新范式。

3.1 致远经略:强化顶层设计与战略统筹

① 加强顶层设计。把关键基础设施地下化融入城市更新、韧性城市建设、“两重”政策等重大战略同规划、同部署,与城市发展战略相协调统筹规划,协调联动,统筹地上地下基础设施和区域关键性基础设施一体化布局,合理确定关键基础设施地下化建设规模、时序和发展模式,稳步推进地下关键基础设施建设;② 建立国家层面协调机构。明确统筹协调、保护、监督和管理的具体职能,建立常态化沟通和信息共享机制,共同推进关键基础设施保护工作;③ 加快推进地下化的立法工作。将“超大特大城市关键基础设施地下化”写入相关法律法规。可以借鉴美国《关键基础设施安全法案》经验,明确关键基础设施的认定标准、权属界定、安全标准、管理责任等。围绕复杂地质条件的建设、复杂环境保护、深层地下空间开发、地下空间设施安全运维和更新改造等难题,制定集地下空间规划、设计、施工、防灾减灾以及环境保护等为一体的标准规范体系。

3.2 合理布局：强化“多规合一”与协同管理

建议编制《国家超大城市关键基础设施地下化建设中长期专项规划（2026—2040年）》，着眼于城市群、都市圈，明确重点城市重点基础设施（如核心电网、主干通信网、战略水源、核心数据中心、骨干交通节点、战时指挥所等）分阶段地下化目标、空间布局、技术路线和保障措施，并与国土空间规划、城市总体规划、人防工程规划、综合防灾规划等深度融合于“一张图”管理。

3.3 重点建设：强化试点示范与分步推进

选择重点城市先行先试。在京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝地区等国家战略区域的核心超大城市，选取特定区域与紧迫性基础设施（如排水深隧、地下数据中心、地下变电站、主干通信枢纽、战略物资储库等），开展地下化综合试点，探索经验、形成模式后再逐步推广。坚持分类指导，有序推进，区分新建项目和更新改造项目，明确不同类型、不同等级基础设施地下化的时序、深度和防护要求，优先保障涉及国家安全和城市核心功能的“重中之重”。建立多元化投融资机制，加大中央财政专项资金投入和转移支付力度，探索政府和社会资本合作（PPP）、特许经营等模式，明确回报机制和风险分担。

3.4 融合发展：强化科技视角和安全防护

在技术创新层面，以培育和发展新质生产力为核心导向，设立国家科技重大专项和重点研发计划，集中攻克深层及超深层开发技术、智能建造、高精度地质探测、高性能防护材料、高效节能运维等关键技术；在安全防护层面，建立覆盖全生命周期的安全风险评估、监测预警、应急处置机制。针对地下设施面临的涝灾、火灾、毒气扩散、疏散、检修及运维的脆弱性与复杂性，强化对次生灾害的防控能力体系建设。深化融合“平急两用”功能，推进超大城市平急两用人防工程建设和更新改造，突出平时服务市民生活，急时快速转换为应急避难所的功能。此外，面对

日益严峻的网络安全形势，加快零信任架构的全面部署，从组织架构、流程制度、技术手段等多个层面进行系统性变革。

参考文献

- 李智. 超大特大城市风险防控研究——以城市关键基础设施为例. 中国经贸导刊, 2023, (9): 76-79.
Li Z. Research on risk prevention and control in mega cities: Taking key urban infrastructure as an example. China Economic & Trade Herald, 2023, (9): 76-79. (in Chinese)
- 曾庆鸣, 毛维准. 关键基础设施武器化攻防——一项面向国家安全的推演实验. 国际安全研究, 2025, 43(6): 70-97.
Zeng Q M, Mao W Z. Weaponization of critical infrastructure: A simulation experiment in offensive and defensive modeling for national security. Journal of International Security Studies, 2025, 43(6): 70-97. (in Chinese)
- 童林旭. 地下空间与城市现代化发展. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
Tong L X. Underground Space and Development of Urban Modernization. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005. (in Chinese)
- 郭东军, 吴艳华, 赵洪旭, 等. 关键基础设施防护规划的国际经验与启示. 城市规划学刊, 2025, (1): 111-119.
Guo D J, Wu Y H, Zhao H X, et al. Exploring critical infrastructure protection planning: Insight from international experience. Urban Planning Forum, 2025, (1): 111-119. (in Chinese)
- 中国工程院战略咨询研究中心. 2024中国城市地下空间发展蓝皮书. 北京: 中国工程院战略咨询研究中心, 2024.
Strategic Consulting Research Center of the Chinese Academy of Engineering. 2024 China Urban Underground Space Development Blue Book. Beijing: Strategic Consulting Research Center of the Chinese Academy of Engineering, 2024. (in Chinese)
- 朱合华, 丁文其, 乔亚飞, 等. 简析我国城市地下空间开发利用的问题与挑战. 地学前缘, 2019, 26(3): 22-31.
Zhu H H, Ding W Q, Qiao Y F, et al. Issues and challenges in urban underground space utilization in China. Earth Science Frontiers, 2019, 26(3): 22-31. (in Chinese)

Study and reflection on undergroundization of critical infrastructure in megacities from perspective of national strategy

JIA Kaiguo¹ HUANG Baohua² YE Lina¹ GUO Tengfei³ YI Rong^{1*}

(1 Institute of Mineral Resources Research, China Metallurgical Geology Bureau, Beijing 101300, China;

2 China Land Surveying and Planning Institute, Beijing 100035, China;

3 CCCC First Highway Consultants Co. Ltd., Xi'an 710075, China)

Abstract Critical infrastructures are vital strategic resources, directly impacting national security and the operation of economy and society. Twenty-two megacities and large cities in China, due to the concentration of resources and poorly concealed distribution of critical infrastructure, face multiple risks such as warfare attack, natural disaster, and facility aging. Incorporating the undergroundization of critical infrastructure into national strategy is an imperative choice for national security, resilient city, and high-quality growth. International practices have proven the advantages of underground development in terms of protection and space optimization. During the 15th Five-Year Plan period, it is recommended to adopt strategies such as strengthening top-level design, coordinating planning and management, launching pilot demonstrations, and promoting innovative and integrated development, so as to establish a new paradigm for the development of Chinese super-large and mega cities and consolidate the foundation for urban safety and development.

Keywords megacities, undergroundization, critical infrastructure, national security, resilient cities, high-quality development

贾开国 中国冶金地质总局矿产资源研究院地下空间工程中心主任, 正高级工程师。主要研究领域: 城市地质调查、地下空间资源开发利用、城市地下空间探测等。E-mail: 603324797@qq.com

JIA Kaiguo Senior engineer (professor level), director of the Underground Space Engineering Center, Institute of Mineral Resources Research, China Metallurgical Geology Bureau. His research focuses on urban geological survey, utilization of underground space and resource, urban underground space exploration, etc. E-mail: 603324797@qq.com

易荣 中国发展战略学研究会地下空间发展战略专业委员会主任, 中国冶金地质总局矿产资源研究院原院长, 教授级高工。长期从事城市地下空间资源开发利用理论研究工作。E-mail: yirong@cmgb.cn

YI Rong Director of Professional Committee on Underground Space Development Strategy of Chinese Association of Development Strategy Studies, senior engineer (professor level), and CPC party secretary of the Institute of Mineral Resources Research, China Metallurgical Geology Bureau. He has long been engaged in the theoretical research on the development and utilization of urban underground space resources. E-mail: yirong@cmgb.cn

*Corresponding author