

泉城如何建地铁

—来自济南的调查

本报记者 崔 浩

随着城市化进程加速，发展轨道交通对缓解城市交通拥堵具有显著作用。作为全国最后一个开通地铁的副省级城市，素以“泉城”著称的山东省济南市，却面临着“既要保护泉水生态，又要建成地铁”的挑战。济南如何答好发展与保护的必答题？这个地铁建设的“后生”又如何加速冲刺？

泉水是山东省济南市的亮丽名片，赋予这座城市独特气质和魅力。济南南依泰山、北邻黄河，地势南高北低，高差达500余米。潜流的地下水遇到不透水岩层，受阻后大量汇聚，在水平运动强大压力下变为垂直向上运动，大量地下水穿过岩溶裂隙，喷涌而出，形成千姿百态、形态各异的天然涌泉。

然而，独特的泉水资源在成就济南魅力的同时，也给地铁建设带来了巨大挑战。面对特殊的地质条件和施工难题，济南坚持保泉为先，创新实现地铁与泉水和谐共生，并以轨道交通建设带动产业发展，助推现代化城市建设。

泉水保护放首位

天色微亮，黑虎泉畔已人头攒动，72岁的济南市民张爱珍在排队等待接泉水。“老济南人都爱用这一汪清泉泡茶、做饭。”老辈人说，济南的地底下都是活水。泉水咕咚咕咚地涌，就是这座京城的心跳。”

近年来，交通拥堵成为制约济南发展的最大瓶颈，地铁修建提上了日程。然而，在推进地铁建设的过程中，泉水保护是一道难以逾越的障碍。本世纪初，受环境因素影响，趵突泉一度停喷长达548天，敲响了警钟。此外，济南还出现过饮虎池和孝感泉等泉眼消失的情况。因此，不少人认为济南不宜修建地铁，地铁规划一度被搁置。

要确保泉水这一珍贵的城市名片不受损害，首先要回答“哪些区域可以建地铁”“地铁建设会对泉水造成什么影响”。2009年，济南市政府重新启动轨道交通规划研究，山东省地矿局等10余家单位进行了大量的钻探、物探、水文试验等现场勘探工作，基本查明济南城区拟建轨道交通沿线的水文地质条件。

山东省地矿局总工程师彭玉明介绍，经过长期、严密、精细的论证，证明了地铁等重大工程建设和保护泉水不是对立的。他们结合泉域水文地质条件，合理划分敏感区段，提出针对性的地铁建设适宜空间位置和泉水保护措施建议，为济南地铁等重大工程建设提供了可靠地质支撑。

为确保将地铁建设对济南泉水的影响降到最低，济南市轨道交通集团提出“绕避升抬”的泉水保护设计理念，使规划线路绕开泉水敏感区，避开泉水补给通道，临近敏感区的线路采用浅埋敷设方式。

历经5年多深入研究和反复论证，数十名院士、专家多次开展保泉专项论证，专家组一致认为，济南已经具备修建轨道交通（地铁）的条件，泉水保护研究成果准确、完整、可靠，研究目的明确，可作为地铁线网规划的依据。2015年1月，国家发展改革委正式批复济南市轨道交通近期建设规划，济南终于按下了发展轨道交通的启动键。

先易后难攒经验

2019年4月1日，济南首条地铁——轨道交通1号线正式载客运营。全国最后一个副省级城市开通地铁，本是城市交通的里程碑事件，却因其线路走向引起社会关注。甚至有网友开玩笑说，首条轨道交通线路贯穿济南西部新城，避开了所有城区和市内主路，是世界上第一条从郊区开往郊区的地铁。

“尽管在规划阶段已确保线网避开泉水敏感区，但秉持‘慎之又慎’的原则，我们提出了‘先外后内、先易后难’的建设时序。”济南轨道交通集团建设投资公司副总经理刘浩说，地铁一期规划的3条线路，一方面是考虑到济南未来向周边扩张发展的需要；另一方面是线路离泉水核心区较远，修建难度相对较低，能为后期市区修建地铁积累保泉经验。

中铁二十一局集团济南地铁4号线02工区项目书记朱斌告诉记者，济南地下水包含部分承压水，如降水抽采未及时有效补给，容易引发土层压缩和地面沉降，严重时可能形成地面塌陷等灾害。因此，济南地铁工程的地下水回灌工作不能等修完再统一进行，必须边修边回灌。为此，济南轨道交通集团集中攻关，研发了基坑降水回灌一体化装置，实现基坑开挖降水与回灌控制地下水水量的动态平衡。轨道交通1号线所有车站建设期内回灌率达到80%，回灌水量1500万吨，真正实现“水从哪里来，再回到哪里去”。

通过不断实践探索，济南轨道交通集团围绕保泉形成了一整套完整的解决方案。



2023年，该集团联合山东省地矿局八〇一地质大队、山东大学共同成立济南泉脉保护技术研究中心。该中心高级工程师黄永亮说，近年来，济南泉水持续高水位喷涌。特别是2022年以来在轨道交通大规模同步建设期间，趵突泉水位达到历史最高的30.27米，这也表明济南轨道交通泉水保护措施科学、合理、有效。

成形起势促产业

济南轨道交通集团总部有一座特殊的“地质博物馆”，收藏着来自各施工单位的岩芯样本，上面密密麻麻贴着样本采集标段以及土质类型：粉土、粉质黏土、砂卵石、辉长岩、闪长岩、碳酸盐岩、石灰岩……几乎涵盖了济南所有地质类型。“保泉是济南修建地铁的首要任务，但复杂的水文地质条件给地铁建设带来了难题。”刘浩说，济南地质环境复杂，孤石密布、溶洞丛生，超高强度岩层及软硬不均、风化不均等不良地质比比皆是，给盾构施工造成了极大挑战。

随着济南地铁一期规划落地，用上“济南造”盾构机的使命落在了济南重工集团身上。济南重工集团有限公司董事长孙国蓉说：“我们迎难而上，不会技术就去学，没有专业人才就去引进，缺少车间就立马去建设。”

2016年5月，由济南重工集团设计制造的山东省首台大直径地铁隧道盾构机“开拓一号”顺利完成组装调试，验收下线。随即迅速投入济南轨道交通1号线王府庄站施工区项目建设，先后“零沉降”安全穿越京沪铁路、京台高速、京沪高铁，顺利完成施工任务。济南重工总经理助理、战略规划部部长于普连说，首台盾构机的出色表现，为企业后来获得订单打下基础。

山东大学齐鲁交通学院院长李利平告诉记者，如今“济南造”盾构机已经进入“2.0智能时代”。为进一步提升装备质量，山东大学联合济南轨道交通集团共同研发了“五官一脑”的智能装备系统，全面提升盾构机的智能感知与智慧决策能力，降低盾构施工安全风险，有效适应复杂多变的施工环境和高水准的技术要求。

乘着轨道交通建设东风，济南重工成为全国盾构机行业的一颗新星。截至目前，济南重工累计生产盾构机140余台，产品进入北京、广州、深圳、南京等14个城市。济南重工智能掘进技术与装备研究院副院长、盾构机主驱动研发团队带头人孟晓宁说：“一开始，我们想先实现‘济南造，济南用’，这个目标已经达成了。接着，我们朝着‘济南造，中国用’的目标努力，现在也部分实现了。目前，我们正全力迈向‘济南造，世界用’，让济南造盾构机走出国门、走向全球。”

在工程建设取得重大成果的同时，济南轨道交通产业也迎来蓬勃发展。“济南造”地铁列车下线、17.5米全球最大直径智能盾构机“山河号”高效投用于济南黄岗路穿黄隧道工程、全国首个“预制叠合”和“永临一体”车站试点建设……一批领先技术和高端装备“首台、首套、首次”竞相涌现。

目前，济南市初步形成集规划建设、建



2015年1月	国家发展改革委正式批复济南市轨道交通近期建设规划
2019年4月1日	济南首条地铁——轨道交通1号线正式载客运营
2024年11月22日	济南轨道交通3号线二期初期运营，这是二期规划首条开通运营的线路，也是济南首条连接机场的线路
2025年底	济南轨道交通4号线、8号线及高新东区云巴环线等线路将陆续开通运营
到2027年	济南多制式的轨道交通运营里程将超过300公里

轨道交通是现代化城市建设的重要组成部分，具有占地少、运量大、效率高、污染少等优势。自1971年北京第一条地铁正式开通运营以来，我国城市轨道交通建设逐步加速，截至2024年底，全国54个区域中心城市开通运营城市轨道交通线路325条，运营里程超1万公里，极大方便了市民日常出行，缓解了城市交通压力，提升了城市形象和竞争力，为我国经济社会高质量发展提供了有力支撑。

当前，我国中心城市轨道交通建设正逐步由快速规模化向高效网络化升级，但也面临土地拆迁和财政负担压力较大、公里运营成本增加、环境资源约束趋紧等多方面挑战。作为长周期、高投入、系统化的重大基础设施建设项目，城市轨道交通建设应围绕城市现代化发展需要，按照因地制宜、适度超前、安全可靠、提质增效导向，构建高效衔接、立体多元、绿色集约、智慧运维的城市轨道交通体系。

以系统化思维推动轨道交通与城市发展规划、国土空间规划有机融合，立足空间结构、地理环境、人口分布、产业布局等特征，系统提升城市轨道交通的协同性、适应性、融合性。充分考虑“十五五”时期城市群与都市圈发展、产城融合和新型城镇化建设需要，加快综合交通网络功能提升，推动轨道交通特别是市郊铁路建设与城市更新有机融合，为未来城市扩张和能级提升提供发展空间和基础保障。科学评估生态环境、地形地貌、文物保护等外部约束因素，贯彻节能节地节水节材和保护环境理念，合理选择系统制式、敷设方式、规模标准和技术材料，减少项目施工运营对居民生活和城市环境的影响，更好实现绿色低碳高质量发展。

创新发展“轨道+”业态模式，不断提升轨道交通服务品质和生产消费赋能作用，带动沿线空间资源开发、产业集群联动和民生功能集成。积极培育技术研发、装备制造、运维服务等轨道交通产业链群，推广运用人工智能、生物识别、无感支付等技术，建设城轨云和大数据平台，全链条升级智慧城轨服务，提高售检票、乘车智能化水平，构建“轨道+公交+慢行”三网融合绿色交通体系。加强轨道交通场站与周边商业、办公、居住等设施的功能融合和资源整合，以轨道微中心建设为抓手，围绕居民出行场景打造一体化出行和一站式综合服务平台，创新推广“地铁+”“票务+”等多场景联合驱动的轨道交通新模式，形成共建共享共用的轨道交通经济发展生态，探索民生服务与经营并重的现代城市轨道交通发展之路。

坚持存量提质增效与增量协同优化并重，全面提升城市轨道交通的规模效应、网络效能和运营效率。应充分挖掘现有线路资源的利用潜力，加强资产全周期管理，构建集规划、建设、运营和开发于一体的信息资源共享平台，通过灵活编组运行、车次智能优化、车辆基地共用、智慧运维养护等方式降本增效，实现客流需求与运输能力的精准匹配。新建线路要优先考虑与现有线路的网络协同性，科学论证路线选择、建设规模、站点布局、换乘接驳、功能配置和建设时序，在具备客流支撑和资金支持的条件下，努力提升综合收益、建设成本、运营费用的平衡性，量力而行、有序推进。

(作者系山东省习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心特约研究员，山东省宏观经济研究院党委书记、院长)

因地
评

张中英

陈中英