

公路隧道施工中的新奥法施工技术应用

杨晨¹, 黄军²

1. 浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

2. 浙江交工集团股份有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/ETQM.2026050035

摘 要 : 新奥法 (NATM) 作为现代公路隧道施工的核心工法, 以岩体力学为理论基础, 核心在于充分调动与利用围岩自承能力, 通过“管超前、严注浆、短开挖、强支撑、早成环、勤量测”的十八方针, 实现柔性支护与围岩的协同受力。本文结合典型工程案例, 系统阐述新奥法在公路隧道洞身开挖、支护体系构建、监控量测及二次衬砌等关键环节的技术要点, 分析不同围岩条件下的施工适配策略, 探讨信息化施工与质量管控的优化路径, 为复杂地质公路隧道的安全高效施工提供技术参考与实践借鉴。

关 键 词 : 新奥法; 公路隧道; 围岩自承能力; 初期支护; 监控量测; 施工技术

Application of New Austrian Tunneling Method in Highway Tunnel Construction

Yang Chen¹, Huang Jun²

1. Zhejiang Jiaogong Hongtu Transportation Construction Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 311305

2. Zhejiang Jiaogong Group Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : The New Austrian Tunneling Method (NATM) is the core construction technique for modern highway tunnels. It is based on rock mechanics theory and focuses on fully mobilizing and utilizing the self-bearing capacity of the surrounding rock. Through the 18-character guideline of "advanced pre-drilling, strict grouting, short excavation, strong support, early formation of ring, frequent measurement", it achieves the coordinated force-bearing of flexible support and the surrounding rock. This paper, in combination with typical engineering cases, systematically elaborates on the technical key points of NATM in key links such as tunnel body excavation, support system construction, monitoring and measurement, and secondary lining. It analyzes the construction adaptation strategies under different surrounding rock conditions and explores the optimization paths of information-based construction and quality safety management, providing technical references and practical lessons for the safe and efficient construction of complex geological highway tunnels.

Keywords : new austrian tunneling method; highway tunnel; self-bearing capacity of surrounding rock; initial support; monitoring and measurement; construction technology

前言

随着我国交通基础设施网络向山区、复杂地质区域延伸, 公路隧道作为穿越山岭障碍的关键控制性工程, 其施工质量与安全管控面临严峻挑战。传统矿山法因过度依赖刚性支护、扰动围岩大等弊端, 已难以满足现代隧道工程“安全、经济、环保”的建设要求。新奥法自20世纪60年代引入我国隧道工程领域以来, 凭借其对于围岩自承能力的充分利用、灵活的施工适配性及高效的技术经济性, 已成为山岭公路隧道施工的主流工法。本文立足工程实践, 聚焦新奥法在公路隧道施工中的核心技术应用, 结合不同围岩等级、复杂地质条件下的施工案例, 深入剖析施工流程、关键技术要点及质量安全管控措施, 旨在推动新奥法技术的优化应用, 助力公路隧道工程施工水平的提升。^[1]

一、新奥法施工核心原理与技术体系

(一) 核心原理

新奥法的核心理论依据为“岩承理论”, 摒弃传统隧道施工“以支护承载荷载”的思维, 将围岩视为隧道结构体系的重要组成

部分, 通过合理支护手段调动围岩自身承载能力, 实现围岩与支护的协同受力。隧道开挖后, 围岩会产生轻微变形, 通过及时施加柔性支护 (喷射混凝土、锚杆、钢拱架等), 约束围岩变形发展, 使其在有限变形内形成稳定的“承载拱”, 既保障施工安全, 又实现资源的高效利用。新奥法强调围岩是主体、支护是辅助,

通过控制围岩变形、保护岩体强度、实现结构整体稳定，这一原理使其在软弱、破碎、复杂地质隧道中具备显著优势，也成为现代隧道工程区别于传统工法的重要标志。^[2]

（二）技术体系构成

新奥法技术体系以“十八方针”为核心，涵盖四大核心模块：一是超前预支护技术，针对软弱破碎围岩、浅埋段等不良地质，采用管棚、小导管注浆等措施，提前加固掌子面前方围岩，为后续开挖提供安全屏障；二是开挖与支护协同技术，根据围岩等级选择适配开挖方法，严控循环进尺，实现“短开挖、快支护”，减少围岩扰动；三是柔性联合支护体系，以喷射混凝土、系统锚杆、钢拱架、钢筋网为核心，快速构建初期支护，形成与围岩紧密贴合的承载结构；四是信息化监控量测技术，通过实时监测围岩变形、支护应力等数据，动态优化施工参数，保障施工安全与结构稳定。^[3]

四大技术模块相互支撑、环环相扣，共同构成了新奥法动态设计、信息化施工、精细化管控的完整体系。在公路隧道工程实践中，新奥法并非固定不变的施工流程，而是一套可调整、可优化、可反馈的技术系统，能够根据现场地质条件、断面形式、环境要求灵活组合应用，既保证隧道结构长期安全，又能有效控制工程造价与施工工期，是当前山岭公路隧道最具适用性与推广价值的施工方法。

二、新奥法在公路隧道施工中的关键技术应用

（一）不同围岩条件下的开挖方法适配

开挖方法的选择直接影响围岩稳定性与施工效率，需结合围岩等级、隧道断面尺寸及地质条件综合确定。Ⅱ、Ⅲ级围岩（岩体较完整、自承能力较强）时，优先采用全断面法或上下台阶法，全断面法适用于围岩稳定性好、机械设备配套完善的工程，可实现一次性开挖成型，提高施工效率；上下台阶法适用于断面较大或围岩稳定性一般的场景，通过分台阶开挖降低单次开挖扰动。Ⅳ、Ⅴ级围岩（岩体破碎、自承能力弱）时，采用环形开挖留核心土法、CD法或CRD法，环形开挖留核心土法可通过核心土支撑掌子面，控制围岩变形；CD法、CRD法通过分块开挖+临时支护，将大断面拆解为小断面，有效降低软弱围岩施工风险，适用于大断面、浅埋偏压隧道。

（二）支护体系施工技术要点

（1）初期支护施工

初期支护是新奥法的核心环节，需遵循“及时、柔性、封闭”原则，快速形成承载能力。①喷射混凝土：采用湿喷工艺，C25-C30混凝土，速凝剂掺量3%-5%，初喷厚度 $\geq 50\text{mm}$ ，复喷至设计厚度（一般24-28cm），喷头与岩面垂直、距离1.0m左右，螺旋形移动喷射，避免空鼓、脱落，终凝后2h开始养护，养护时间 $\geq 7\text{d}$ 。②系统锚杆：根据围岩等级选择锚杆类型，Ⅳ级围岩采用 $\Phi 22$ 砂浆锚杆，长度3.5-4.0m，间距 $1.0\text{m} \times 1.0\text{m}$ ；Ⅴ级围岩采用 $\Phi 25$ 中空注浆锚杆，长度4.0-5.0m，间距 $0.8\text{m} \times 0.8\text{m}$ ，注浆压力控制在0.5-1.0MPa，确保浆液填充岩体

裂隙，提高围岩整体性。③钢拱架与钢筋网：钢拱架采用I18-I22b工字钢或格栅钢架，Ⅳ级围岩间距1.0-1.5m，Ⅴ级围岩间距0.8-1.0m，横向、高程偏差 $\pm 5\text{cm}$ ，倾斜度 $< 2^\circ$ ，拱脚设置锁脚锚杆加固；钢筋网采用A8钢筋，间距 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ ，与锚杆、钢拱架可靠连接，增强支护整体性。^[4]

（2）二次衬砌施工

二次衬砌为安全储备结构，需在初期支护变形基本稳定后施作，采用C35钢筋混凝土，拱墙厚度50-60cm，仰拱厚度50-60cm，抗渗等级 $\geq \text{P10}$ 。施工时采用整体式模板衬砌台车，确保衬砌表面平整、密实，分层浇筑、高频振捣，避免冷缝、蜂窝麻面等质量缺陷；仰拱与边墙整体浇筑，提前施工仰拱，形成“闭合环”，提升结构整体稳定性；防水板采用EVA高分子材料，铺设平整、无破损，与初期支护贴合紧密，止水带安装顺直，确保排水系统可靠。

（三）监控量测与信息化施工

监控量测是新奥法动态施工的核心手段，通过数据反馈及时调整施工参数，保障围岩稳定与施工安全。必测项目包括围岩周边收敛、拱顶下沉、地表下沉及支护应力监测，选测项目包括围岩内部位移、锚杆轴力、爆破振动速度等。测点布置需遵循“断面均匀、重点加密”原则，一般每5-10m设置一个监测断面，软弱破碎围岩、浅埋段加密至2-5m。数据处理时，分析变形速率、累计变形量等指标，当变形速率超过预警值（如周边收敛速率 $> 2\text{mm/d}$ ）或变形趋于不稳定时，立即采取缩短循环进尺、加强支护、注浆加固等应急措施。同时，结合BIM技术、物联网等信息化手段，构建施工监测管理平台，实现数据实时传输、分析预警，提升施工管控效率。

（四）复杂地质条件下的施工优化策略

（1）浅埋偏压隧道施工

浅埋偏压隧道覆盖层薄、围岩受力不均，易出现地表下沉、偏压变形等问题。施工前采用管棚超前支护（ $\Phi 89-\Phi 108$ 大管棚，长度20-30m）加固围岩，控制地表沉降；开挖时采用中隔壁法（CD法）或双侧壁导坑法，分块开挖、分步支护，减少单侧围岩扰动；加强偏压侧支护，增设钢拱架密度、加长锚杆，同步进行地表注浆加固，平衡偏压荷载。

（2）岩溶隧道施工

岩溶隧道易遭遇溶洞、突泥、涌水等风险，施工前通过TSP地质预报、地质雷达等手段开展超前地质探测，明确溶洞位置、规模、充填物类型。对小型溶洞采用回填处理，分层回填大块石、浆砌片石，浇筑混凝土盖板封闭；对大型溶洞采用桥梁跨越或护拱支护方案，避免溶洞坍塌风险。施工中严控爆破振动速度，设置排水系统及时疏排地下水，防止突泥涌水事故。^[5]

（3）断层破碎带施工

断层破碎带岩体破碎、完整性差，易发生坍塌。采用小导管注浆+钢拱架联合支护，小导管长度3.0-3.5m，间距 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ ，注浆采用水泥-水玻璃双液浆，快速胶结破碎岩体；缩短循环进尺（控制在0.5-1.0m），开挖后立即初喷混凝土、安装钢拱架，快速封闭掌子面；加强监测频率，实时掌握围岩变

形动态，及时调整支护参数。

三、新奥法施工质量与安全管控措施

（一）质量管控要点

一是材料管控，严格把控喷射混凝土、锚杆、钢拱架、钢筋等原材料质量，进场时核查合格证、检测报告，按规范要求进行抽检，确保材料性能符合设计及规范要求。二是工序管控，严格执行“开挖—支护—监测—衬砌”的施工流程，每道工序完成后经检验合格方可进入下一道工序，重点控制超欠挖（拱脚和墙角以上1m内断面严禁欠挖）、支护厚度、锚杆抗拔力等关键指标。三是工艺管控，推广机械化施工，采用三臂凿岩台车、湿喷机械手、模板衬砌台车等设备，提升施工工艺标准化水平，减少人为因素影响。

在此基础上，需进一步强化全过程精细化质量管理。首先，要建立全流程信息化溯源体系，利用物联网技术对原材料进场、配合比调试、支护施工旁站、混凝土浇筑等关键环节进行影像与数据留痕，实现质量责任可追溯。其次，针对隐蔽工程实施严管，特别是锚杆注浆饱满度、钢拱架间距与保护层厚度、防水板焊接接头质量等，必须采用地质雷达、超声波检测等专业设备进行无损检测，确保地下结构“内伤”零容忍。最后，深化BIM技术在质量管控中的落地，在施工前建立三维可视化模型，进行施工工序模拟与碰撞检查，提前预判风险点；施工中利用移动终端APP实时上传质量数据，对比模型偏差，实现从“事后验收”向“事前预防”与“事中控制”的转变，确保工程实体质量经得起时间与荷载的双重考验。^[6]

（二）安全管控要点

一是风险防控，针对坍塌、突泥涌水、爆破伤害等主要风险，编制专项应急预案，开展应急演练，配备应急物资（如抢险钢材、水泵、支护材料等）。二是爆破安全，采用光面爆破或预裂爆破技术，严格控制装药量和起爆顺序，降低爆破振动速度（控

制在10–15cm/s），爆破前划定警戒区域，专人值守，确保周边设施与人员安全。三是人员管控，加强施工人员培训，普及新奥法施工原理、安全操作规程及应急处置知识，提高安全意识与操作技能。

为进一步筑牢安全防线，需构建立体化、多层次的安全防护网络。其一，强化源头风险辨识与分级管控，依托地质勘察数据建立隧道施工风险动态图谱，对高风险段落（如富水破碎带、浅埋段）实行“一坡一策、一洞一策”，提前实施注浆加固或超前管棚支护，从源头上削减风险等级。其二，严控特殊工况作业安全，在隧道开挖面作业、临时支撑拆换、洞内通风排烟及高压配电箱布设等环节，严格执行“作业票管理制度”，设立专职安全员现场监护，严禁违章指挥与冒险作业。其三，升级现场安全智能监控，在隧道关键点位布设AI视频监控、气体泄漏报警器、人员定位卡签系统，利用AI算法识别人员未佩戴安全帽、车辆违停、围岩异常变形等风险，实现毫秒级预警与联动拦截，确保新奥法施工在安全可控的轨道上高效推进。^[7]

四、结语

新奥法作为公路隧道施工的核心技术体系，通过充分利用围岩自承能力、柔性支护与信息化监控的有机结合，实现了复杂地质条件下隧道施工的安全、高效与经济。实践证明，该工法在不同围岩等级、浅埋偏压、岩溶、断层破碎带等复杂场景中均具备良好的适配性，其核心价值在于以动态调整的施工策略替代传统静态设计，实现施工全过程的精准管控。未来，随着BIM、物联网、智能化装备等新技术的深度融合，新奥法将朝着“智能化、绿色化、精细化”方向发展，进一步优化施工流程、提升质量安全管控水平。在工程实践中，需结合具体地质条件与工程需求，科学选择施工方法、优化技术参数，强化质量安全管控，推动新奥法技术的持续创新与应用，为我国公路隧道工程的高质量发展提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1] 李明,丁仁洪.隧道工程新奥法施工技术研究[J].工程设计与施工,2022,4(9):95–102.
- [2] 代高飞,应松,夏才初,等.高速公路隧道新奥法施工监控量测[J].重庆大学学报(自然科学版),2004,27(2):132–135.
- [3] 王忠海.新奥法在山区高速公路隧道施工中的应用[J].大众标准化,2025(18):148–150.
- [4] 李先彬,舒志乐,刘保县,等.大断面软岩隧道施工监测分析与应用[J].西华大学学报(自然科学版),2019,38(3):1–7.
- [5] 卡罗Ⅱ号隧道溶洞处置课题组.深埋公路隧道溶洞处置效果分析与隧道结构响应规律研究[J].中国岩溶,2022,41(5):789–798.
- [6] 方子清.高速公路隧道施工技术与质量安全控制策略研究[J].交通科技,2026(1):67–71.
- [7] 中华人民共和国交通运输部.JTG/T 3660–2020 公路隧道施工技术规范[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.