

道路桥梁隧道工程施工中的难点和技术对策

张冰

411381*****845X

摘要: 道路桥梁隧道工程是交通运输网络的枢纽与控制性工程,其建设质量直接关系到路网的安全、效率与耐久性。现代此类工程常面临极端地质条件、复杂水文环境、高精度结构要求、密集交通干扰及严苛环保标准等多重挑战。本文系统剖析了在软土地基、高边坡、深水基础、大跨径桥梁、复杂地质隧道等典型场景施工中的核心难点,包括地层不稳定、结构受力复杂、施工风险高、环境影响大等。针对这些难点,论文深入探讨了相应的关键技术对策,如智能化监测与预警技术、预制装配化施工、隧道掘进机(TBM)与盾构技术的创新应用、高性能材料研发、BIM(建筑信息模型)与数字孪生技术的全过程管理等。研究表明,通过集成先进技术、优化施工工艺和强化全周期风险管理,能够有效克服施工难题,提升工程建设的质量、安全与效益,对推动行业技术进步具有重要参考价值。

关键词: 道路桥梁隧道工程; 施工难点; 技术对策; 地质处理; 结构施工; 风险管理; 智能化建造

DOI: 10.69979/3060-8767.26.04.068

引言

交通运输作为国民经济发展的先行官与命脉,其基础设施的现代化水平是国家综合实力的重要体现。道路、桥梁、隧道作为构成综合立体交通网络的关键节点与咽喉工程,其建设规模日趋宏大,技术复杂程度日益加深。随着国家“交通强国”战略的深入推进以及“一带一路”倡议的广泛实施,穿山越岭、跨江达海的超级工程不断涌现。这些工程往往需要在极其复杂和恶劣的自然环境与社会条件下展开,如活动断裂带、深厚软土区、强岩溶发育区、高烈度地震带、生态敏感区以及既有交通干线或城市建筑密集区等。

在此背景下,施工过程不再仅仅是传统的土方开挖与混凝土浇筑,而是演变为一个多学科交叉、多技术集成、高风险与高精度并存的复杂系统工程。从深水桥梁基础在急流中的精准定位与稳固,到长大隧道在高压富水岩层中的安全掘进与支护;从大跨径桥梁在峡谷上空的高精度合龙,到城市地下隧道对既有结构“微损伤”穿越的控制,每一个环节都充满了严峻挑战。这些难点若不能得到有效识别与妥善解决,轻则导致工期延误、成本超支,重则可能引发灾难性安全事故,造成不可估量的人员伤亡、经济损失与社会影响。

因此,系统性地梳理道路桥梁隧道工程施工中的共性及个性难点,并积极探索与之匹配的、具有前瞻性与可操作性的技术对策,已成为当前工程界与学术界共同

关注的核心课题。

1 复杂地质与水文条件下的基础施工难点与对策

基础工程的稳固是整个道路桥梁隧道结构安全的根本。在复杂地质与水文区域,基础施工首当其冲面临巨大挑战。

难点分析: 在道路工程中,软土地基的沉降与滑移、高边坡的失稳、岩溶塌陷区的处理是主要难题。软土具有含水量高、压缩性大、强度低的特点,在其上修筑路基极易产生不均匀沉降,导致路面开裂、桥头跳车。高边坡,尤其是土质或碎裂岩质边坡,在开挖卸荷、降雨渗透等作用下,易发生滑坡、崩塌。对于桥梁工程,深水基础施工难度极大,如水流冲刷对基础的侵蚀、深水条件下的围堰施工与封底混凝土浇筑、河床覆盖层不稳定等。隧道工程则更甚,遭遇富水软弱破碎带时,极易发生涌水、涌泥甚至塌方;穿越瓦斯地层存在爆炸风险;在岩爆倾向的硬岩中掘进,则面临岩体突然弹射破坏的威胁。

技术对策: 针对软土地基,目前广泛采用复合地基处理技术,如水泥搅拌桩、CFG桩、预应力管桩等,形成桩土共同承载体;预压法(堆载预压、真空预压)通过提前完成大部分沉降来减小工后沉降。对于高边坡,采用动态设计、信息化施工理念,结合预应力锚索(杆)框架梁、抗滑桩等综合支挡结构,并建立完善的地表与

深部位移监测系统。在桥梁深水基础方面，大型双壁钢围堰、锁口钢管桩围堰等技术为水下施工提供了干作业环境；大直径钻孔灌注桩结合先进泥浆护壁工艺，确保了深水桩基的承载力与质量；水下不离析混凝土的研发与应用解决了封底关键难题。对于复杂地质隧道，首要任务是做好超前地质预报，综合运用 TSP、地质雷达、超前水平钻探等手段，探明前方地质情况。在此基础上，针对软弱围岩采用超前预注浆、管棚支护等手段加固地层；针对高压富水区，采用超前帷幕注浆形成止水圈；对于硬岩隧道，采用 TBM 掘进可大幅提高效率与安全性，并辅以应力释放孔、喷水降温等措施应对岩爆风险^[1]。

2 大跨径与特殊结构桥梁施工难点与对策

为跨越宽阔江河、深邃峡谷或繁忙交通线，大跨径桥梁及斜拉桥、悬索桥、拱桥等特殊结构桥梁的应用日益广泛，其施工技术代表了桥梁工程的最高水平。

难点分析：大跨径桥梁施工的核心难点在于结构体系转换复杂、线形与内力控制要求极高、以及施工过程中结构始终处于时变的不稳定或高应力状态。例如，对于预应力混凝土连续梁桥或刚构桥，悬臂浇筑过程中，每一节段的立模标高、预应力张拉值都需精确计算与控制，以保证成桥线形与设计相符，并避免混凝土开裂。对于大跨径斜拉桥，索塔的垂直度控制、长索的制造与安装、主梁的线形与索力同步调整（即“双控”）是技术关键。悬索桥则面临主缆架设精度、索夹与吊杆安装、钢箱梁节段吊装与连接等一系列高精度、高风险作业。此外，大型临时结构如挂篮、缆索吊机、顶推滑移系统的设计与安全控制也至关重要。

技术对策：现代大跨径桥梁施工普遍采用全过程仿真计算与实时监控技术。利用有限元软件对桥梁从基础施工到成桥运营的全过程进行模拟，预测各阶段结构内力和变形，以此指导施工方案的制定。在施工中，通过布设传感器网络（如应变计、倾角仪、GNSS 接收机、激光测距仪等），对关键部位的应力、变形、温度等进行全天候实时采集，并将数据反馈至控制中心，与理论值进行比对分析，及时调整施工参数，实现信息化、动态化的施工控制。在具体工法上，预制装配化技术极大提升了施工质量和效率，如节段预制拼装、钢箱梁整体吊装等。针对斜拉桥和悬索桥，开发了成熟的牵引系统、数字化调索技术和智能张拉设备，确保了拉索安装的精

准与高效。BIM 技术的深度应用，实现了从设计、制造到吊装的全三维可视化管理，便于碰撞检查、工艺模拟和进度控制。

3 长大与复杂环境隧道施工难点与对策

长大隧道、水下隧道、城市地铁隧道等工程，因其隐蔽性、线状分布及环境复杂性，施工风险高度集中。

难点分析：长大隧道施工面临通风、排水、出渣、供电等长距离物流组织难题，以及因工期长而带来的地质不确定性增加的风险。水下隧道（如盾构法施工）需在高水压下保持开挖面的稳定，精确控制盾构姿态，并有效处理穿越江河湖海时的透水、冒顶风险。城市隧道施工则主要在“豆腐里打洞”，对地表沉降控制要求极为苛刻，需确保上方建筑物、地下管线及既有轨道交通的绝对安全。此外，在不良地质段，如断层、涌水带、易燃易爆气体地层的安全穿越，始终是隧道施工的世界级难题^[2]。

技术对策：对于长大山岭隧道，以 TBM（全断面隧道掘进机）法为代表的机械化掘进是主流方向。TBM 集开挖、支护、出渣于一体，具有快速、安全、对围岩扰动小的优点。配套的连续皮带机出渣系统、智能通风系统解决了长距离运输难题。对于软土地区，尤其是城市和地下隧道，盾构法成为首选。泥水平衡盾构和土压平衡盾构能够通过精确控制舱压来平衡开挖面水土压力，维持稳定。同步注浆技术及时填充管片与地层间的空隙，是控制地表沉降的关键。在极高风险地段，采用冻结法、注浆加固等辅助工法对地层进行预先处理。在城市密集区，微振动爆破技术、非开挖顶管技术、以及基于自动全站仪的盾构实时导向系统，共同保障了施工的精准与安全。构建集监测、预警、决策于一体的智能隧道施工管理平台，整合地质预报、变形监测、设备状态等信息，实现了风险的超前预警与闭环管控。

4 高风险作业与施工安全控制难点与对策

道路桥梁隧道工程施工本质上是高风险活动，高空、深水、地下、爆破等作业环节危险源众多，安全管理形势严峻。

难点分析：风险主要来源于几个方面：一是自然风险，如突发的暴雨、洪水、台风、地震等极端天气和地质灾害对在建工程和人员安全的威胁。二是技术风险，如深基坑坍塌、支架垮塌、吊装事故、隧道塌方、涌水、

瓦斯爆炸等。三是管理风险,包括现场组织混乱、违章指挥、违章作业、安全防护不到位、应急预案流于形式等。这些风险相互交织,在复杂工程中呈现出动态性、耦合性和突发性的特点,传统管理模式难以完全覆盖^[3]。

技术对策:现代工程安全管理强调从“被动应对”向“主动防控”转变,核心是构建全员、全过程、全方位的风险预控体系。技术上,大力推广安全本质化设计,如在设计阶段就考虑施工安全通道、永久结构与临时结构结合等。广泛应用智能化安全监控手段,如基于视频AI的行为识别系统,自动抓拍未戴安全帽、未系安全带等违章行为;在危险区域设置电子围栏和人员定位系统;对大型起重设备、架桥机、盾构机等关键设备安装状态监测与防碰撞系统。管理上,全面推行安全风险分级管控与隐患排查治理双重预防机制。通过危险源辨识、风险评估,确定重大风险点并制定专项方案和应急预案。利用BIM+GIS技术进行施工过程安全模拟与交底,提高作业人员风险意识。同时,建立高效的应急响应机制,配备专业的应急救援队伍和装备,定期开展实战演练。引入工程保险和第三方安全评估,利用市场机制转移和分散风险。

5 生态环境敏感区施工难点与对策

随着生态文明建设的深入推进,在自然保护区、水源地、风景名胜区等生态敏感区进行工程建设,环保要求空前严格^[4]。

难点分析:施工活动可能对生态环境造成多方面的不利影响:开挖弃渣占用土地、破坏植被,可能引发水土流失;隧道施工排水可能改变地下水流场,影响居民用水和地表生态;桥梁施工对水生生物栖息地造成干扰;施工噪声、扬尘、废气污染影响周边环境;施工便道等临时设施可能分割动物栖息地。如何在保障工程顺利实施的同时,最大限度地减少对生态环境的干扰和破坏,实现“绿色施工”,是当前面临的重大挑战。

技术对策:“生态优先、绿色发展”的理念必须贯穿于设计、施工、运营全周期。在设计选线阶段,就应进行详细的生态环境影响评价,优先采用桥隧代路、合并施工便道等环境友好型方案。施工过程中,推行“零开挖”进洞技术,减少洞口边仰坡开挖;对隧道涌水进行沉淀净化处理后达标排放或循环利用;桥梁桩基施工

采用环保泥浆,减少水体污染。对于弃渣,遵循“先拦后弃”原则,建设规范的弃渣场,并实施坡面防护与复绿;积极研究弃渣的资源化利用,如加工成骨料或填料。控制施工扬尘采用洒水车、雾炮、车辆自动冲洗装置;控制噪声采用低噪音设备、设置隔音屏障^[5]。此外,应用植被混凝土、生态袋等新技术进行边坡快速复绿。建立施工期环境监测体系,对水质、空气质量、噪声、振动等进行定期监测,确保各项指标符合环保要求。

6 结语

道路桥梁隧道工程施工是一项与自然条件激烈对话、与工程技术极限持续博弈的复杂实践。本文系统论述了在复杂地质水文、大跨特殊结构、长大复杂环境、高风险作业及生态敏感区等核心场景下的施工难点,并相应阐述了以智能化、信息化、机械化、绿色化为特征的一系列关键技术对策。可以看出,现代施工技术的发展已不再是单一技术的突破,而是呈现出多技术融合、全周期管理、人机环协同的鲜明趋势。BIM、数字孪生、物联网、人工智能等新一代信息技术与工程建设的深度融合,正推动施工方式向“感知、分析、决策、执行”的智能化闭环演进。

然而,技术进步永无止境,新的工程挑战也必将伴随超级工程的诞生而出现。因此,持续推动技术创新与管理革新,强化跨学科交叉研究,培养高素质复合型工程人才,构建更为完善的工程标准与安全体系,是保障我国道路桥梁隧道工程建设高质量发展、从“工程大国”迈向“工程强国”的必由之路。

参考文献

- [1]李庆良.道路桥梁隧道工程施工中的难点和技术对策[J].中华建设,2025,(10):150-152.
- [2]付旺.道路桥梁隧道工程施工中的难点和技术对策[J].建材发展导向,2024,22(22):90-92.
- [3]徐来明.道路桥梁隧道工程施工中的难点与养护技术分析[J].散装水泥,2024,(04):74-76+82.
- [4]盛建军,苏卫.道路桥梁隧道工程施工中的难点和养护技术[J].中国高新科技,2024,(03):146-148.
- [5]王亚芬.分析道路桥梁隧道工程施工中的难点和养护技术[J].四川建材,2023,49(03):174-175+194.