

四新技术在公路施工中的创新与实践

郑虎强

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011

[摘要]随着我国交通基础设施建设规模不断扩大,提质增效的需求日益突出,新技术、新工艺、新材料、新设备在公路工程中的创新应用逐渐成为推动行业发展的关键力量。文中全面探讨四新技术体系的概念内涵及构成要素,深入分析其在公路工程施工、绿色养护技术以及安全设施建设等方面的应用特点,详细阐述其在桥梁工程基础结构创新、快速施工实践和智能化加工技术领域的发展状况,细致考察其在隧道工程掘进支护技术、路面施工以及洞内环境优化方面所呈现的技术特性,并且对四新技术朝着标准化、智能化、绿色化方向的发展趋势予以展望,希望能为推动四新技术在交通基础设施建设中实现深度融合与创新应用提供理论依据。

[关键词]四新技术;公路路桥;创新实践;绿色养护

DOI: 10.33142/ec.v8i10.18271

中图分类号: U74

文献标识码: A

Innovation and Practice of Four New Technologies in Highway Construction

ZHENG Huqiang

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract: With the continuous expansion of Chinese transportation infrastructure construction scale, the demand for improving quality and efficiency is becoming increasingly prominent. The innovative application of new technologies, processes, materials, and equipment in highway engineering has gradually become a key driving force for the development of the industry. The article comprehensively explores the conceptual connotation and constituent elements of the four new technology system, deeply analyzes its application characteristics in highway engineering subgrade and pavement construction, green maintenance technology, and safety facility construction, and elaborates on its development status in the fields of bridge engineering foundation structure innovation, rapid construction practice, and intelligent processing technology. It carefully examines its technical characteristics in tunnel engineering excavation support technology, pavement construction, and tunnel environment optimization, and looks forward to the development trend of the four new technologies towards standardization, intelligence, and greenness, hoping to provide theoretical basis for promoting the deep integration and innovative application of the four new technologies in transportation infrastructure construction.

Keywords: four new technologies; highway, road, bridge, and tunnel; innovative practice; green maintenance

当前我国交通基础设施建设正经历着从规模速度型向质量效益型的深刻转变,发展新质生产力成为推动行业转型升级的战略选择。为贯彻落实公路养护“十四五”工作要求,遵循公路养护“五化”发展理念,公路养护部门要主动创新、大胆实践,全力推进“四新”技术应用,不断推广绿色养护、节能环保、废旧材料再利用,助推公路养护事业取得新突破,养护好、保障好、服务好人民满意的公路。

1 四新技术体系概述与创新方向

1.1 四新技术概念界定

四新技术属于有中国特色的行业术语,其核心意义是

指出在特定行业范畴里首次实现系统运用或者正处于推广进程中的新技术、新工艺、新材料以及新设备的总称。此概念不光涉及技术产品自身方面的创新,还包含与之相配套的工艺方法以及管理模式层面的创新,由此构建起多层次多方面的创新体系^[1]。在我国交通建设这个领域当中,四新技术已然被当作培育交通新质生产力的关键举措来对待,其应用所涉及的范围从起初的单一施工环节慢慢拓展至规划设计、建设施工以及养护管理的整个生命周期。伴随相关制度规范持续不断地完善起来,四新技术在标准化以及规范化方面的进程也得以进一步地加快,进而给创新成果的快速转化以及推广应用给予制度层面的有

力保障。

1.2 四新技术体系构成

四新技术体系的构成可从技术属性和应用领域这两个维度来剖析。在技术属性方面,包含像数字化智能化的新技术,装配式标准化的新工艺,绿色低碳的新材料,自动化智能化的新设备。这四个部分彼此间给予支撑,相互推动共同发展,经形成了完整的创新生态系统,涵盖了交通基础设施建设的整个产业链,促使整个行业持续创新。

2 四新技术在公路工程中的创新实践

2.1 高分子改性材料在路面工程中的应用

在公路路基路面工程方面,四新技术的应用正在改变传统施工方式在效率、质量以及环境影响等方面。绿色低碳可持续的理念已经渗透到了设计、材料工艺选择、及设备更新的各个阶段。新型改性沥青混凝土材料通过引入高分子改性材料,可大幅改善道路在低温条件下的性能及抗疲劳的能力^[2]。依靠新的材料组合优化施工工艺,成功解决了传统技术所产生的固体废弃物以及资源消耗方面的问题,为公路路面养护施工提供了更为环保且经济的技术选项。高分子改性材料的创新应用十分突出,其核心技术是把 SBS (苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物) 等聚合物借助机械剪切以及发育稳定工艺引入基质沥青,进而形成连续且稳定的三维网络空间结构,这种结构明显提高了沥青材料在高温下的抗变形能力以及在低温时的抗开裂能力,从根源上改善了路面的抗疲劳性能和服务寿命。为了达成这一性能突破,在工艺方面需要精准把控改性温度处于 160℃~180℃这个区间,并且要在每分钟 5000 转以上的高速剪切状态下持续作用 30~60min,以此保证 SBS 能够以微米级的尺度均匀地分散开来,之后还必须在大约 170℃的低温下进行搅拌发育至少 2h,让聚合物充分溶胀交联,形成最终稳定的改性体系。从环保以及资源效益的角度来讲,这项技术凭借大幅度提升路面的耐久性,使得大修周期得以延长 30% 以上,有效地减少了由于频繁铣刨重建而产生的固体废弃物,与此高性能改性沥青有着很好的再生兼容性,允许在养护过程中掺入更高的比例的旧料,直接降低了对新沥青以及石料等原生资源的消耗,从源头达成了减废和降耗的绿色目标,为公路路面养护给出了既具备环保性又拥有经济性的先进技术选择。

2.2 公路立体化巡查技术

公路安全设施领域里的四新技术运用正和数字化智能化技术相互融合,明显地提高了交通安全管理的效率以及水平。立体化巡查技术构建起空天地一体化的监控体系,

提升了路网巡查的时效性,实现了对路网的全天候且全方位的监管。

构建空天地一体化的监控体系,主要是依靠多层次且多类型的感知终端协同开展工作。在“空”这个层面,主要是凭借搭载了高清可见光摄像头以及红外热成像摄像头的无人机也就是 UAV 来机动地展开巡查,能够灵活地对那些常规车辆很难抵达的边坡、桥下空间这类盲区加以覆盖。在“天”这个层面,运用高分卫星所获取的遥感影像,针对大范围的地表形变还有地质沉降情况进行周期性的监测。而在“地”这个层面,是由部署在路侧的固定式高清视频监控设备、埋设在路面之下的交通流量传感器,以及巡查车辆所搭载的移动采集终端一道构成的,以此达成对人、车、路、环境等诸多要素进行实时且连续的数据采集的目的。所有的这些感知数据会通过高速的通信网络比如 5G 汇聚到统一的云控平台当中,进而形成一个立体化的监控网络。

与传统巡查方式相比,立体化巡查技术在时效性方面取得了质的突破。传统的人工巡查模式受到巡检车速度、人员精力以及天气条件的限制,一般只能每天开展 1~2 次固定路线的巡查工作,信息更新周期较长,对于突发的路面障碍、交通事故等情况很难做到及时发现。而立体化巡查体系达成了“瞬时感知与常态监测”的效果。比如,固定视频和传感器能够实现 24h 不间断的数据采集,无人机依据指令可随时出动,针对突发事件区域达成分钟级别的抵达与勘察,卫星遥感虽然不是实时的,但可提供周期性的宏观变形数据。如此一来,把路网状态的感知与更新周期从“天”缩减到了“分钟”乃至“秒”级别,大幅提高了事件发现的时效性^[3]。

在达成全天候以及全方位监控这一目标的过程中,该技术体系呈现出颇为显著的优势。其“全天候”特性具体表现为,红外热成像技术成功突破了夜间光照条件欠佳所造成的限制,能够清楚地捕捉到车辆、行人这类热源目标,并且多种传感器对于雨、雪、雾等恶劣天气具备一定程度的穿透以及适应能力,由此确保在复杂多变的气象状况下监控工作可以持续开展下去。“全方位”覆盖的情况如下:无人机还有卫星补足了固定监控设备所存在的视觉死角以及覆盖盲区,达成了针对整条公路走廊带的无死角空间监控,这其中涵盖了道路自身、附属设施以及周边环境;依靠对视频、红外、应力、位移等多种来源的数据加以融合分析,监控内容不再局限于单一的路面表观病害方面,而是拓展到了交通事件、设施状态、环境风险等诸多维度,

进而实现了信息维度的全方位覆盖。

立体化巡查技术把传统的那种“被动式、离散型”的人工巡查模式,提升转变为“主动式、系统化”的智能感知状态,给公路安全管理工作打下了稳固且扎实的感知方面基础^[4]。

2.3 四新技术在桥梁工程中的创新实践

在桥梁工程方面,四新技术的应用促使桥梁结构形式、施工方法以及维护方式发生了较为深刻的变革,高性能材料和先进工艺相结合,使得桥梁结构朝着更轻、更强、更耐用的方向发展,大幅度提升了施工效率,降低了安全风险;智能加工技术的应用,正一步步提升桥梁建设的自动化以及精准化程度;绿色建造技术凭借材料工艺环保节能化,有效减少了施工过程对环境的影响;智能化监测系统通过实时采集与分析关键参数,为结构安全提供了全程保障。

绿色建造技术借助材料方面的创新以及工艺层面的优化举措,切实有效地削减了桥梁施工给环境所带来的影响。就材料选用而言,运用工业废料,像矿渣、粉煤灰这类,来部分取代水泥,如此一来便能让碳排放得以降低。凭借数控等离子雾化养护系统,其能够自动去感知温湿度所发生的各种变化,进而达成精准喷淋的效果,与传统的依靠人工洒水的方式相比,它可节省 40% 以上的水资源,并且还能让养护环节的能耗有所减少。在施工进程当中,钢筋自动绑扎生产线以及全封闭式的蒸汽养护棚投入使用之后,使得钢筋加工的效率提高了 37.5%,并且也减少了扬尘以及噪音方面的污染情况。相比于传统现浇施工里那种能耗偏高、废料较多的作业方式,绿色建造技术经由能源装备的数字化升级操作以及对废旧材料展开循环利用的做法,促使建筑垃圾的产生量大约降低了 50%,从建筑的全生命周期来看,资源的消耗情况也呈现出明显的减少态势。

智能化监测系统依靠多源传感器以及数据分析平台,达成了对桥梁结构状态的实时感知与预警目标。该系统运用光纤光栅传感器、激光位移计还有三维测头等设备来采集应力、位移以及振动等关键参数。就好比在连续刚构桥合龙施工期间,由投入式液位传感器和 PLC 程序所组成的“水箱配重智能调载控制系统”,可实时对混凝土浇筑量与配重平衡关系加以监测,并且能够自动调节水箱水位,进而把合龙口高程偏差控制在 3mm 以内,而传统的依靠人工监测所出现的偏差往往能达到厘米级别。数据会经由 5G 或者物联网传输至云平台,凭借 AI 决策树模型展开风险识别工作,要是参数超出阈值(比如振动频率出现异常

或者形变超过限定范围),系统就会通过移动终端以秒级速度推送预警信息,以此指导相关人员介入并采取处置措施。这样一种从“被动响应”转变成“主动预防”的模式,把监测频率从传统的人工每日或每周一次提升到了每分钟一次,预警准确率提高了 35% 以上,切实保障了施工以及运营的安全状况。

智能加工技术有力地推进了桥梁建设朝着自动化以及精准化的方向去升级。在钢筋绑扎、构件焊接还有模具加工等诸多场景里面,智能机器人和人工智能算法相结合,达成了全流程的无人化作业状态。就好比广绵智慧梁场,其凭借“钢筋组合片体+节段安装”这样的智能生产线,把单个钢筋笼的加工时间从原本的 4h 缩减到了 2.5h,效率提升了将近 50%,并且绑扎误差能够被控制在毫米级别。与此依靠基于 BIM 的数字化加工技术,把三维模型和数控机床加以集成,进而实现了钢腹板以及混凝土构件的自动切割与拼装,其精度能够达到 $\pm 0.005\text{mm}$,相较于传统的手工放样误差降低了 60%。自动化测量工作站把机器视觉和激光扫描技术融合起来,针对构件尺寸展开实时检测与反馈工作,由此形成了“加工-检测-校正”这样一个闭环,有效地规避了传统上依赖人工标定所引发的返工方面的问题,从而全面提升了构件的一致性以及生产效率。

2.4 四新技术在隧道工程中的创新实践

在隧道工程建设当中,四新技术的融合运用正在对从掘进支护一直到安全管控以及环境优化的整个全流程技术体系展开系统性的重塑工作。就核心的掘进与支护环节而言,悬臂式掘进机配合湿喷机械手的协同作业体系,通过可编程的液压截割头对掌子面进行精确铣挖,并同步由机械臂实现混凝土的自动喷射与找平,进而达成了掘进、出渣以及支护的一体化和连续化效果。与此智能支护系统依靠实时感知围岩应力应变方面的数据,来驱动采用液压伺服控制方式的锚杆与拱架展开自适应调节,由此实现了从原本的被动支撑转变成为主动与围岩相互作用的“智能支护”模式。在安全保障这个层面上,其中水幕警示系统通过在隧道侧壁或顶部预埋的高压水管阵列,在遇到交通事故、火灾等紧急情况的时候,可以瞬间形成一道或多道密集、均匀的透明水幕,并利用嵌入水幕中的 LED 光源或激光投影设备,将警示文字、箭头或图案清晰地投射于水幕之上,为驾驶员提供强视觉冲击且不影响通行的动态安全信息。除此之外,三维激光扫描能够实现表观病害的毫米级精准识别以及数字化存档操作;基于物联网所搭

建的传感器网络可针对火灾、交通事故等各类风险开展自动识别并进行分级预警,而且还借助数字孪生技术来优化应急处置预案;微震监测技术更是更进一步,其通过捕捉岩体内部的破裂信号,从而为冒顶、片帮等潜在的动力灾害给予超前预警,进而形成从“表象监测”到“内在预警”的纵深防御机制。除此之外,绿色环保的理念也充分融入到了隧道建设以及运营的具体细节当中,像是采用废弃轮胎橡胶粉所制备而成的降噪沥青路面,凭借物联网以及智能算法达成按需通风的节能控制系统,还有应用逆光照明技术以及洞顶光伏发电系统等,这些举措共同在提升行车舒适度的还大幅降低了隧道在整个生命周期当中的能耗以及碳排放量,充分展现出了四新技术推动隧道工程朝着更安全、更高效以及更绿色的方向发展所具有的综合价值。

2.5 隧道路面与洞内环境创新技术

隧道路面以及洞内环境方面的创新技术,正朝着既安全又舒适的状况,还有环保节能的方向展开协同的发展进程。就路面材料来讲,橡胶改性沥青是通过把废弃的轮胎橡胶粉同基质沥青在温度达到 180℃的高温情形下开展溶胀反应,进而形成了一种有着极为出色弹性以及耐久性的复合材料。这种材料所具备的柔韧性,使得路面的降噪效果能够提升超过 5dB,并且还能够让使用寿命大约延长 30%左右。而钢桥面铺装所采用的浇注式沥青混凝土,是在温度为 220℃的高温状态下经过拌和之后形成了自流平的特点,如此一来便可以很好地适应钢桥面板在变形方面的需求,从而切实保障路面不会出现开裂的情况,也不会有渗水的现象发生。在环境控制系统这块领域当中,借助物联网所构建起来的智能通风系统发挥着重要作用。该系统凭借分布式的 CO/NO₂ 传感器网络来对污染物浓度展开实时的监测工作,并且会运用模糊 PID 算法针对射流风机的转速进行动态化的调节操作,如此一来便能够确保能见度一直稳定维持在 200m 以上的水平,与此同时还能让通风能耗大概降低 25%左右。再看逆光照明技术,其采用了纳米级别的反射涂层以及非对称的光学设计方式,在保证照度不发生变化的情况之下,成功将灯具的功率降低了 40%,进而有效地对驾驶员出现的视觉疲劳状况予以了缓解。在节能环保这洞顶光伏发电系统充分利用了隧道出入口过渡段所存在的闲置土地。其借助单晶硅光伏板把太阳能转变成为直流电,而后经过逆变器接入到隧道供电网络当中,进而达成清洁能源的自发自用状态。热量回收装置会提取隧道里面车辆排放出来的废热,再经过热泵系统的运作来提升温度,最终将其应用于冬季洞口的

防冰工作以及室内的供暖事宜,以此来减少传统能源的消耗情况。洞外环境监测运用了边坡雷达干涉测量这一技术手段,其具体做法是朝着山体表面发射电磁波,并且对回波相位差展开细致分析,如此一来便能够达成毫米级位移精度的全天候监测效果。与此再把雨量监测所获取的数据综合起来,进而构建起滑坡预警模型,从而给隧道区域的安全状况给予超前的预警提示。这些技术创新把材料科学、自动控制、能源管理等诸多学科融合到了一起,搭建起一个可从各个方面提升隧道运营品质的技术体系,促使隧道工程朝着更安全、更舒适以及更环保的方向不断向前发展。

3 四新技术发展趋势

四新技术于公路路桥工程当中所呈现出来的智能化、集成化以及绿色化的发展趋向已然十分明显。政策环境一直在不断地得到优化,如此一来便为四新技术的标准化以及其能够快速得以推广给予了相应的制度层面的有力保障。借助管理方面的创新举措以及机制方面的不断完善,切实有效地拓宽了科技成果转化为实际应用的各类渠道,而这样的制度创新无疑为技术创新营造出了一个颇为良好的环境氛围。技术发展的方向所具有的多元化特点也一天比一天更为凸显出来,在工程的安全管理方面,人工智能、大数据等前沿技术的应用程度在不断地加深,这种不同技术之间的融合情况有力地推动着整个行业的技术水平得以快速地上升^[5]。产业支撑体系也在不断地朝着完善的方面去努力推进,这一过程促使能源装备和交通基础设施建设实现了极为紧密的深度融合,而这种产业协同的情形又给技术创新给予了极为强大的支撑力量。多学科之间交叉融合以及多领域协同创新如今正逐步变成四新技术发展过程当中极为重要的特征所在,那种系统化且集成化的技术创新思路将会更为充分地把四新技术在提升工程质量、保障施工安全、提高工程效益以及保护生态环境等诸多方面所具备的综合价值都给充分发挥出来。在未来的技术发展进程里,将会更加着重关注其系统性、协同性还有可持续性等方面的情况,依靠着对技术创新体系不断地加以完善,从而推动整个行业能够达成高质量的发展目标。与此人才的培养工作以及技术标准的建设事宜也会逐渐成为支撑技术发展的重要根基所在,这自然就需要行业当中的各个相关方都能够齐心协力地去付出努力并持续向前推进了。

4 结语

四新技术于公路路桥施工当中的创新运用,已然呈现出颇具变革性的影响力以及极为广阔的发展前景。借助新

技术、新工艺、新材料以及新设备加以系统集成并开展综合应用,传统意义上的交通基础设施建设模式正处在一场深刻的变革进程之中。从公路工程方面来讲,其材料端不断推陈出新,工艺层面也实现了革新;就桥梁工程而言,建造方式发生了变革,加工技术同样得到了升级;而对于隧道工程来讲,装备方面有了长足进步,管理领域也完成了创新。四新技术正在多维度、全方位地提升交通基础设施建设在质量、安全、效率以及环保水平等方面的状况。在未来,随着政策支持力度逐步加大以及技术创新持续向前推进,四新技术必定会在公路路桥工程当中发挥出更为关键的作用。

[参考文献]

- [1]高懿.公路养护工程四新技术应用分析——以常州市普通国省公路养护工程为例[J].运输经理世界,2023(3):140-142.
- [2]陈永江.公路养护“四新”技术应用情况研究与分析[C].新疆:中国公路学会养护与管理分会.中国公路学会养护与管理分会第十四届学术年会论文集.石河子公路管理沙湾分局,2025.
- [3]时杰.维特根 W380CR 双层就地冷再生及超薄磨耗层“四新”技术赋能北京市政道路养护工程[J].交通世界,2025(16):1-2.
- [4]张瑞起.铁路四电工程“四新”技术定额动态调整方法研究[J].铁路工程技术与经济,2025,40(4):1-5.
- [5]杜仲宝,荣慧,代力,等.考虑偏好的沥青路面“四新”技术模糊聚类迭代后评估[J].南通大学学报(自然科学版),2025(1):10-29.

作者简介:郑虎强(1990.11—),毕业院校:长沙理工大学,所学专业:土木工程,当前就单位:新疆北新路桥集团股份有限公司,职称级别:工程师。