

上海北横通道地下隧道沥青摊铺施工管理研究

杨光强

上海城投公路投资(集团)有限公司, 上海

收稿日期: 2026年4月11日; 录用日期: 2026年5月2日; 发布日期: 2026年5月12日

摘要

本文以上海北横通道地下隧道沥青摊铺施工为工程背景, 针对城市核心区地下长隧道施工中交通组织受限、质量控制严苛、环保要求超高、材料供应复杂、交叉作业频繁、结构变形影响等六大管理难点, 从管理者视角提出专项方案前置、三级质量管控、绿色施工落地、多源保障供应、跨方协同调度、动态监测控制等全维度管理策略, 并构建组织、技术、人员、考核、应急一体化落地保障体系。研究结果可为同类城市核心区地下交通工程沥青摊铺施工管理提供实践参考, 实现施工效率、工程质量与城市运营的协同平衡。

关键词

城市地下隧道, 沥青摊铺, 施工管理, 交通导改, 质量控制, 协同管理

Research on Construction Management of Asphalt Paving for the Underground Tunnel of Shanghai Beiheng Passageway

Guangqiang Yang

Shanghai Urban Investment Highway Investment (Group) Co., Ltd., Shanghai

Received: April 11, 2026; accepted: May 2, 2026; published: May 12, 2026

Abstract

Based on the asphalt paving construction of the underground tunnel of the Beiheng Passageway in Shanghai, this paper addresses six major management difficulties encountered during the construction of long underground tunnels in urban core areas: restricted traffic organization, stringent quality control, extremely high environmental protection requirements, complex material supply, frequent cross-operations, and structural deformation effects. From a manager's perspective, it proposes

comprehensive management strategies, including upfront special scheme planning, three-tier quality control, implementation of green construction, multi-source guaranteed supply, cross-party coordinated scheduling, and dynamic monitoring and control. Furthermore, it establishes an integrated on-the-ground guarantee system covering organization, technology, personnel, assessment, and emergency response. The research results can serve as a practical reference for the management of asphalt paving construction in similar underground transportation projects in urban core areas, achieving a synergistic balance among construction efficiency, engineering quality, and urban operations.

Keywords

Urban Underground Tunnel, Asphalt Paving, Construction Management, Traffic Diversion and Reorganization, Quality Control, Collaborative Management

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国城镇化进程持续推进,城市核心区土地资源日趋紧张,地面交通拥堵问题日益凸显,地下长隧道作为缓解城市核心区交通压力、完善城市立体交通路网的关键基础设施,建设规模与施工难度不断攀升[1][2]。城市核心区地下长隧道不仅承担着城市通勤、区域联通的核心交通功能,更是展现城市建设水平与精细化管理能力的重要载体,其施工质量直接关系到城市交通运行效率、行车安全及长期运营效益[3][4]。沥青摊铺作为地下隧道工程竣工交付前的最后一道关键工序,是决定隧道路面使用性能、平整度、耐久性的核心环节,相较于普通市政道路、郊区隧道工程,其施工管理面临着更为复杂的约束条件与更高的标准要求[5][6]。当前,国内工程领域针对地下隧道沥青摊铺的研究,大多集中在施工工艺优化、新材料应用、机械设备改进等技术层面[7][8],针对施工全过程的统筹管理、多部门协同调度、多难点联动破解、管理体系标准化构建等方面的研究相对薄弱,普遍存在重技术、重施工,轻管理、轻统筹的问题,难以完全适配城市核心区地下长隧道施工的复杂管理需求。

本文采用单案例研究法(Single Case Study),以上海北横通道地下隧道沥青摊铺工程为典型案例,该工程地处上海核心城区、具有敏感环境密集、作业面狭窄、大纵坡与急曲线线形复杂、半封闭受限施工、平整度要求严苛等典型特征,在国内城市核心区地下隧道工程中代表性突出、推广价值显著。研究通过项目管理文件、专项施工方案、会议纪要、监理日志、深度访谈及现场实测数据开展多源、多维度数据收集,依托归纳法系统识别并提炼出六大核心管理难点与配套管控策略,形成“问题-策略-保障-效果”的完整逻辑链条,有效提升研究过程的科学性、规范性与透明度。并从施工现场管理者视角全面梳理工程实施中的关键管理痛点,深入剖析难点成因与管控瓶颈,针对性提出全流程、可落地的应对措施,同时构建一体化施工管理保障体系,弥补现有研究中管理与技术融合不足的短板,可为国内同类型城市核心区地下交通工程沥青摊铺施工提供系统化、可复制、强实操性的管理参考,推动城市地下隧道工程施工管理向精细化、标准化、智能化方向转型,最终实现工程建设、城市运营、民生保障三者的协同共赢。

2. 工程背景与施工特征

上海北横通道是中心城区超长超大地下快速通道核心组成部分,全长约 19.1 公里,地下隧道段沥青

摊铺施工覆盖大纵坡、急曲线、窄作业面等复杂场景，兼具 $\leq 3 \text{ mm}/3\text{m}$ 的高平整度要求、环保零投诉、施工与城市交通并行等严苛特征。工程地处上海核心城区，隧道内作业空间有限，最小作业面仅 7 m，且需在保障双向单车道通行的前提下组织施工，同时周边紧邻居民小区、学校等敏感区域，对施工过程中的交通疏导、质量把控、环保达标、工序衔接等管理工作提出了超常规要求。作为沥青摊铺施工管理方，需在兼顾城市正常运营的基础上，破解多维度施工制约，实现工程质量与施工效率的双重保障。

3. 地下隧道沥青摊铺施工核心管理难点及应对策略

3.1. 交通组织与导改管理

城市核心区交通繁忙的现状决定了隧道沥青摊铺施工无法实施长期全封闭作业，需在保障双向单车道通行的前提下划分作业面，施工与通行边界的动态管控要求极高。分阶段施工涉及路面翻交、管线复位等工序，易引发区域交通拥堵，且天目路转盘、铁路等交叉点的导改方案需经交警、住建、街道等多部门审批，协调流程复杂、周期长。施工期间的交通拥堵、车辆剐蹭等突发情况易引发居民抱怨，对管理方的应急调度能力提出严苛要求。在此背景下，以最小程度影响城市交通为原则，构建全流程交通管理体系，从管理维度、实施策略、操作要点、预期效果四个方面制定具体实施措施，具体内容见表 1。

Table 1. Implementation measures for traffic organization and diversion management

表 1. 交通组织与导改管理实施措施

管理维度	实施策略	操作要点	预期效果
专项方案前置	先建后拆再建	联合交警、住建、街道制定专项方案，优先建设临时通行设施，完成后再拆改原有设施	减少封路总时长，缩短多部门协调周期，降低施工前期筹备难度
分区分时施工	夜间为主·白天为辅	隧道内摊铺作业仅在 22:00~次日 6:00 开展，地面衔接路段早高峰 7:00~9:00、晚高峰 17:00~19:00 仅做路面维护	全程避开交通高峰时段，减少施工对城市主干道通行的影响
智能交通疏导	智能管控 + 现场指挥	施工沿线布设 8 处智能诱导屏，搭建临时交通指挥系统，每处作业面安排 2 名专人现场疏导	提前引导车辆绕行，实时管控施工区域交通流，减少现场拥堵节点
应急保障处置	快速响应机制	制定交通拥堵、车辆剐蹭等专项应急预案，配备 3 辆应急清障车、6 名应急处置人员，就近布置应急点位	突发情况 15 分钟内到场处置并恢复通行，有效减少居民投诉率

从表 1 中可知，交通组织与导改管理通过多部门协同前置规划、错峰划分施工时段、智能手段现场疏导、快速响应突发情况，结合半幅通行、窄作业面特点采用临时通道先建后拆与夜间错峰作业，形成全链条管控体系，可有效实现施工与城市交通通行的平衡，最大限度降低施工对核心城区交通的影响。

3.2. 施工质量全过程管控

隧道内密闭的特殊施工环境使得沥青混合料降温速度快，压实作业易出现空隙率超标问题，且大纵坡、急曲线的场景特征，对路面平整度管控的技术与管理监督要求双重提升。施工过程中纵横向接缝数量多，管理不到位易引发路面渗水、行车跳车等质量缺陷；隧道口、互通匝道等关键节点受结构变形影响大，质量监测与动态调整的管理流程需精准落地。质量管控涉及摊铺、压实、接缝处理等多个环节，任一环节的管控缺失都会直接影响路面使用寿命与行车安全。针对这一难点，应从管理维度、实施策略、操作要点、质量指标四个方面制定具体实施措施，构建全流程质量管控体系，具体措施见表 2。

Table 2. Implementation measures for the whole process quality control of construction
表 2. 施工质量全过程管控实施措施

管理维度	实施策略	操作要点	质量指标
三级质量管控	自检 - 复检 - 终检	班组完成工序后第一时间自检，项目部质检员全程复检，公司质量管控部门随机终检，摊铺、压实等关键环节管理人员全程旁站	各工序验收一次合格率 100%，无返工整改情况
样板引路定标	试验段参数核定	在隧道非核心段摊铺 100~200 米试验段，反复调试确定摊铺速度、碾压遍数、混合料出料温度等核心参数	形成标准化施工指导手册，全标段统一施工参数
智能施工赋能	无人摊铺 + 智能压实	采用 RP1005 + RP805IV 双机联铺无人摊铺技术，配备 5 台智能压路机，压实度、摊铺厚度数据实时回传管理后台	路面平整度 $\leq 3 \text{ mm}/3\text{m}$ ，压实度数据可追溯、无偏差
接缝精细化管理	基准预留 + 清尘预热	梯队作业时预留 10~20 cm 暂不碾压作为基准面，接缝处采用高压风机彻底清理粉尘，用热风机预热至 80℃ 后再施工	接缝粘结牢固，无渗水、脱层现象，行车无跳车感
变形动态控制	实时监测 + 参数调整	在隧道口、互通匝道等 12 处关键节点布设监测传感器，每 30 分钟采集一次变形数据，根据数据动态调整摊铺、压实参数	结构变形对路面施工的影响降至最低，路面使用期无变形开裂

如表 2 所示，以三级管控、技术赋能、精细操作为核心，将智能压实技术与大纵坡、急曲线场景深度适配，数据实时回传并联动调整碾压参数，通过层级化验收、标准化定标、智能化施工、精细化处理，形成全维度管控闭环，可有效提升施工质量管控精准度，保障各关键指标达标。

3.3. 环保与文明施工标准化管理

上海中心城区对施工环保提出高标准硬性要求，隧道密闭空间内传统热拌沥青施工产生的烟气、异味易扩散，极易引发周边居民投诉，环保零容忍的要求对施工污染控制提出高要求。施工区域需严格遵循昼间噪声 $\leq 70 \text{ dB}$ 、夜间噪声 $\leq 55 \text{ dB}$ ，扬尘 $\text{TSP} \leq 1.0 \text{ mg}/\text{m}^3$ 的管控标准，对施工过程的精细化管理要求严苛。加上施工周边紧邻居民小区、学校等敏感区域，环保措施需落地到材料选用、机械作业、现场管理等每一个施工环节，标准化管理实施难度大。

面对上述难点，本文提出以绿色施工、标准落地为原则，构建从源头到过程的全维度环保管理体系，针对隧道密闭空间与敏感区域特点，采用低温环保沥青结合在线监测自动管控，优先选用低温环保改性沥青与净味沥青，将施工温度较传统热拌工艺降低 30℃，有毒烟气排放减少 70%，从材料源头从根本上控制烟气与异味污染。在隧道内安装智能抑尘系统与 6 处实时烟气监测设备，设定污染物超标阈值，一旦超标立即自动停机整改，拌合站配备高效脉冲除尘器，骨料堆场采用全封闭钢结构大棚，实现扬尘、烟气的全过程动态监测与管控。对大型施工机械实行固定机位作业，减少设备移机产生的额外噪声，更换 12 台液压伸缩式低噪声设备，夜间施工区域周边设置 2.5 米高隔音屏障，实现噪声的精准管控。并在施工区域实行围挡全封闭覆盖，围挡高度不低于 2.2 米，各施工出入口设置自动洗车台，运输沥青混合料与渣土的车辆采用全封闭罐车，安排专人对施工路段进行常态化保洁，做到“工完、料尽、场清”，全流程达成环保零投诉的管理目标。

3.4. 材料供应与施工保障管理

沥青混合料的温度保障、连续供应、运输效率是隧道沥青摊铺施工顺利推进的基础，低温施工环境

下混合料运输过程中温度损耗大,工程要求混合料到场温度需 $\geq 140^{\circ}\text{C}$,全流程温度管控要求极高。隧道内作业空间狭窄,运输车辆通行效率低,易出现混合料断供问题,直接影响摊铺施工的连续性。工程建设对沥青混合料的需求量大,单一料源存在供应中断的风险,稳定可靠的材料供应体系构建成为施工保障的核心管理重点。

因此,本文提出锁定 3~5 家资质齐全、产能充足的优质拌合站,形成多料源备用体系,针对隧道窄作业面运输难题,采用单向循环运输与多料源温控保障体系,拌合站覆盖上海不同区域,严格控制运距 $\leq 50\text{ km}$,同时在施工场地周边建立应急料源储备库,储备 7 天施工所需的混合料用量,从源头规避单一料源供应中断的风险。采用保温性能 $\geq 80^{\circ}\text{C}$ 的专用保温运输车运输混合料,车辆均配备温度监测仪,隧道内实行单向循环运输模式,在隧道宽幅路段设置 3 处错峰会车点,安排专人指挥车辆通行,既实现混合料运输的全流程温度保障,又提升窄空间内的运输效率。并向各拌合站派驻 2 名专职管理人员,全程驻站监督,实时监控混合料的配合比、出料温度、生产产量,确保每车混合料均符合施工标准,同时建立 24 小时生产调度机制,搭建拌合站与施工现场的实时沟通平台,实现双方信息同步、高效联动。同时,安排专人每日关注天气预报,提前掌握气温变化情况,遇降温、雨雪等恶劣天气立即启动低温施工应急预案,增加混合料保温覆盖层,适当提高拌合站生产温度,确保低温环境下施工的连续性,从混合料生产、运输、到场到应急保障,全流程实现混合料的连续稳定供应。

3.5. 交叉作业与工序衔接协同管理

隧道沥青摊铺施工并非独立工序,需与地下结构施工、机电安装、排水工程、管线复位等工序同步推进,多工序交叉施工导致作业冲突频发。各参建单位涵盖隧道、桥梁、市政等不同领域,施工计划、资源调配易出现分歧,沟通协调成本高,极易引发工序延误。上道工序的验收标准与下道工序的施工要求衔接不畅,易产生质量隐患,且缺乏统一的现场调度机制,各工序的人员、机械、材料资源冲突频发,整体施工效率偏低。

为解决这一难点,应制定详细的交叉作业错峰施工计划,在多专业交叉场景下采用统一调度与小时级错峰计划,明确工序交接标准,明确沥青摊铺与地下结构施工、机电安装、排水工程、管线复位等各工序的施工时间窗口,每道工序的施工起止时间精确到小时,同时明确各工序的责任单位、现场负责人及衔接对接人。并成立由项目经理牵头的跨方协调小组,建立周协调例会机制,联合交警、设计、监理及各参建单位参会,及时沟通施工过程中的工序冲突问题,当场议定解决方案并明确落实时限。同时,编制工序衔接管理手册,明确每道工序的验收标准、交接流程、时间要求及责任人员,严格执行“上道工序不合格不移交下道工序”的制度,安排专人负责工序交接验收,做好验收记录存档。在施工现场设立总调度室,配备 3 名专职调度人员,统一协调各参建单位的人员、机械、材料资源,根据施工进度动态调配资源,避免资源闲置与冲突,最大限度提升跨方协同施工效率,实现各工序的无缝衔接。

3.6. 施工精度与结构变形动态管理

北横通道隧道多次穿越轨交线路、周边建筑物,施工过程中结构易产生微小变形,此类变形对沥青路面的施工精度与长期稳定性影响显著。隧道内大纵坡 $\geq 5\%$ 路段,沥青混合料摊铺过程中易出现滑移现象,压实作业难度大,固定施工参数极易引发路面车辙等质量问题。结构微小变形具有隐蔽性、动态性的特征,需对关键路段进行 24 小时持续监测,监测数据快速转化为施工调整指令的闭环管理体系构建成为施工精度管控的核心难点。为解决这些难点,本文系统梳理了工程六大核心管理难点、对应解决策略及管理实施核心要点,具体内容见表 3。

Table 3. Overview of six core management difficulties and countermeasures for asphalt paving in the Beiheng Passageway tunnel**表 3.** 北横通道隧道沥青摊铺六大核心管理难点及应对策略总览

序号	核心管理难点	核心应对策略	管理实施要点	管控目标
1	交通组织与导改统筹难	多维度交通管理体系构建	多部门协同规划、错峰分时施工、智能现场疏导、突发快速响应	施工与城市通行平衡，交通类零投诉
2	施工质量全过程管控难	三级质量管控 + 智能施工赋能	全程旁站监督、试验段参数定标、施工数据追溯、细节精细操作	平整度 $\leq 3 \text{ mm}/3\text{m}$ ，工程零质量缺陷
3	环保与文明施工标准化管理难	全维度绿色环保管理体系	源头材料控污、过程动态监测、噪声精准治理、现场标准管理	环保指标全达标，环保类零投诉
4	材料供应与施工保障精细化管理难	多源协同材料供应体系	多料源备用保障、全程温度管控、24 小时调度协同、低温应急处置	混合料连续供应，到场温度 $\geq 140^\circ\text{C}$
5	交叉作业与工序衔接协同管理难	跨方联动协同管理体系	统一调度指挥、错峰规划施工、标准衔接验收、明确责任到人	工序无缝衔接，施工零工序延误
6	施工精度与结构变形动态管理难	变形监测 + 施工参数动态调整	24 小时实时监测、混合料配比优化、精细碾压施工、闭环管理调整	压实度 $\geq 98\%$ ，结构变形对施工无影响

从表 3 中可知，六大核心管理难点的解决策略均围绕工程实际管理痛点制定，各策略的管理实施核心要点突出实操性，实现了难点与策略的精准对应，为现场管理提供了清晰、可落地的实施框架。将结构变形监测数据与摊铺、碾压参数实时联动、动态调整施工工艺，形成监测 - 反馈 - 调整闭环管理，在隧道穿越轨交、建筑段及大纵坡路段共布设 28 处位移、沉降监测点，安装 24 小时实时监测设备，设定变形预警阈值，建立数据异常立即停工整改的机制，从源头规避结构变形对施工精度的影响。针对大纵坡路段的施工特点，优化混合料配比，采用大粒径密级配沥青混合料，将摊铺速度调整至 2~3 m/min，优化碾压顺序为先静压 2 遍再振压 3 遍，提升路面的抗滑与抗车辙能力。摊铺机全程启用自动找平系统，根据路面高程实时调整摊铺高度，压路机严格遵循高频低幅的碾压原则，确保路面压实度 $\geq 98\%$ ，提升整体施工精度。沥青摊铺施工完成后，对施工路段设置 72 小时封闭养护期，安排专人全天候巡查，及时发现并处理早期裂缝、脱层等质量隐患，保障路面的长期使用性能。

4. 施工管理一体化落地保障体系

为确保上述六大核心管理难点的应对策略高效落地，将各项管理要求精准转化为现场实操行动，突破单一维度保障的局限性，从组织、技术、人员、考核、应急五大维度构建相互支撑、协同发力的一体化施工管理落地保障体系，形成全流程、闭环式的管理保障机制，确保各项施工管理策略在现场落地执行，保障施工全过程的标准化、规范化推进，具体实施内容见表 4。

从表 4 中可清晰看到，五大保障维度各有侧重、层层递进，组织保障作为统筹核心，为整体管理工作定方向、划责任。技术保障作为专业支撑，为施工管理提供技术方案与创新手段；人员保障作为执行基础，确保各岗位人员具备胜任工作的专业能力；考核激励作为动力来源，充分调动全员的工作积极性与责任意识；应急保障作为风险兜底，有效规避各类突发情况对施工的影响。同时，建立保障体系落地督查机制，由公司质量管控部门牵头，专人负责各维度保障措施的执行情况跟踪，每月开展一次督查评估，形成督查报告，及时发现并整改执行过程中的问题。通过五大维度保障措施的落地实施与督查机制的常态化运行，为地下隧道沥青摊铺施工管理工作的顺利开展提供全方位、强有力的支撑，最终实现工程“零投诉、零事故、零质量缺陷”的总施工目标。

Table 4. Implementation measures for the integrated construction management on-the-ground guarantee system
表 4. 施工管理一体化落地保障体系实施措施

保障维度	核心职责	具体实施措施	落地要求
组织保障	统筹协调 责任落实	成立沥青施工专项指挥部，设总指挥 1 名、副总指挥 3 名，统筹交通、质量、环保等所有关键管理模块；实行“一日一调度、一周一总结”工作机制，每日召开现场调度会，每周召开工作复盘会	管理责任层层分解、到人到岗，现场问题当日解决，管理策略每周优化调整
技术保障	技术支撑 创新落地	组建由道路工程、智能建造、市政施工等领域专家组成的技术团队，开展技术与管理难点联合攻关；推广无人摊铺、低温环保改性沥青等新技术、新设备；制定“三级技术交底”制度，公司向项目部、项目部向班组、班组向作业人员层层交底	技术方案贴合现场施工实际，交底覆盖率 100%，落实至每一个施工班组、作业人员
人员保障	能力提升 持证上岗	开展环保管控、质量标准、施工安全、智能设备操作等专项培训，邀请行业专家现场授课，培训后组织考核；对摊铺机操作手、压路机操作手、质量监测员等关键岗位人员进行专项考核	全员培训考核合格率 100%，关键岗位人员 100%持证上岗，无无证作业情况
考核激励	绩效挂钩 奖优罚劣	建立质量、进度、环保、安全四维考核体系，制定详细的考核评分标准；考核结果与施工团队及个人绩效薪酬直接挂钩；设立专项奖励基金，对表现优秀的团队与个人给予奖励，对违规操作的严肃追责	考核工作常态化、月度化，奖惩结果及时兑现，形成“奖优罚劣”的正向管理氛围
应急保障	风险防控 快速响应	制定质量缺陷处置、交通拥堵疏导、材料断供应对、环保指标超标处理等多类应急预案；每季度组织一次综合应急演练，针对性开展专项应急演练；按预案要求配备充足的应急物资、设备与人员，就近布置应急点位	应急预案全覆盖，应急演练常态化，应急物资、设备随时可用，突发情况快速响应

5. 结论

本文通过对上海北横通道地下长隧道沥青摊铺施工管理的系统性研究，结合工程现场六大核心管理难点的全维度破解与五大落地保障体系的构建，得出以下结论。

1) 城市核心区地下长隧道沥青摊铺施工的本质，是实现施工需求与城市运营需求的协同平衡。本次研究摒弃了“重技术、轻管理”的传统思维，针对交通导改、质量控制、环保合规、材料供应、交叉作业、变形控制六大痛点，构建了“专项方案 + 三级管控 + 绿色施工 + 多源保障 + 跨方协同 + 动态监测”的全维度管理策略体系。实践证明，唯有将技术创新与管理统筹紧密结合，才能在严苛的环境与高要求标准下，实现零投诉、零事故、零质量缺陷的管理目标。

2) 本研究立足北横通道大纵坡、急曲线、窄作业面、敏感环境等特殊条件，对常规管理措施进行场景化适应性创新：智能压实与复杂线形匹配、动态监测与施工参数实时联动、低温沥青适配隧道密闭空间、单向运输提升窄空间效率、统一调度实现多专业无缝衔接，有效解决传统工艺难以克服的工程难题，研究成果可为同类工程提供可复制范本。

3) 全流程闭环保障体系是管理策略长效运行的基石。构建包含组织、技术、人员、考核、应急在内的一体化落地保障体系，是确保各项管理策略不流于形式、精准转化为施工行动的关键。这一闭环式保障体系，验证了在复杂工程环境下，唯有通过制度与机制的双重保障，才能实现施工管理的全流程稳定与可控，为未来超大城市地下基础设施的建设管理提供了有益的思路与实践路径。

参考文献

- [1] 许正荣. 城市交通压力下的市政道路桥梁设计策略[J]. 中华建设, 2024(8): 91-93.
- [2] 杨延洪, 邓道祥, 施林, 等. 城市隧道和地下立交在城市核心区的应用[J]. 交通世界, 2018(21): 14-17.
- [3] 殷俊. 基于 BIM 三维构件的隧道施工进度精细化管理研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2020.
- [4] 陈晓霖. 浅谈精细化管理在高速公路建设项目施工中的应用[J]. 江西建材, 2017(18): 174.
- [5] 张健. 隧道沥青路面摊铺施工技术探究[J]. 江西建材, 2017(4): 152-153.
- [6] 岳鹏. 隧道沥青路面摊铺均匀性远程实时监控技术研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.
- [7] 王晓磊. 3D 智能化摊铺技术在沥青路面施工中的应用分析[J]. 建设机械技术与管理, 2024, 37(6): 94-95+99.
- [8] 唐新端, 冉德钦, 任广军, 等. 基于隧道沥青路面温拌现场摊铺释放挥发性有机物(VOCs)GC-MS 分析研究[J]. 当代化工, 2020, 49(7): 1460-1463.