

沥青路面薄层修补施工工艺及质量控制对策探析

李宗檀

新疆北方建设集团有限公司 新疆 奎屯 833200

摘要：沥青路面薄层修补是针对表层病害的一种预防性养护技术，其厚度通常为 15~40mm，具有施工快速、交通干扰小、资源节约等显著优势，但在材料特性、受力模式及施工工艺方面均不同于常规罩面。本文系统分析了薄层修补的技术特征与适用条件，从材料选择与配合比设计、原路面处理、混合料拌和运输、摊铺碾压及接缝处理等环节论述了施工工艺的技术要点，并据此提出原材料质量控制、施工过程动态调控、质量检测验收及常见缺陷预防等系统性对策。研究表明，薄层修补的质量成败取决于材料适配性、工艺精细度与层间协同性的统一，须建立以层间粘结和薄层压实为核心的质量控制体系。

关键词：沥青路面；薄层修补；施工工艺；质量控制

引言

沥青路面在荷载与环境作用下易出现裂缝、松散、麻面、轻微车辙及抗滑性能下降等表层病害，若不及时修复，水分侵入将引发基层损坏，加速结构破坏。薄层修补作为预防性养护的重要手段，凭借厚度小、施工快、成本低、开放交通早等优势被广泛应用。然而，实践中常出现早期剥落、推移、开裂等问题，主因在于忽视其与传统热拌沥青罩面的本质差异：薄层散热快、温度敏感性强、压实窗口窄，且与原路面的粘结界面是薄弱环节，界面处理不当极易导致层间剥离。施工中若简单套用常规经验，难以满足其特殊质量控制要求。本文从材料选型、施工工艺与质量控制三方面，系统阐述薄层修补的技术特性与管理要点，揭示其区别于常规沥青施工的特殊规律，旨在为工程规范化实施与长效性能保障提供理论支撑和实践指导。

1 薄层修补技术的基本特征与适用条件

1.1 薄层修补的技术内涵与功能定位

薄层修补是指采用专用沥青混合料，在既有沥青路面上加铺一层厚度不超过 40mm 的表面处治层，用以恢复路面使用功能、延长路面使用寿命的养护作业。其技术内涵可从三个层面理解：从结构功能看，薄层修补属于功能性恢复而非结构性补强，主要解决抗滑、防水、平整度和外观等表层功能衰减问题，不承担提升路面结构承载能力的任务。从材料特性看，薄层修补通常采用细粒式或砂粒式沥青混合料，最大公称粒径不超过 9.5mm，以保证薄层条件下混合料的均匀性和表面纹理质量。从施工特征看，薄层修补要求快速施工、快速开放

交通，一般当天施工、当天或次日即可放行。薄层修补的功能定位决定了其适用场景是对结构强度尚好、仅表层功能退化的路面进行预防性或矫正性养护。

1.2 薄层修补的主要类型与材料体系

根据所用材料的不同，薄层修补可分为热拌薄层、温拌薄层和冷拌薄层三大类。热拌薄层采用传统热拌沥青混合料，施工温度高，压实效果好，是当前应用最广泛的类型，但其能耗和排放较大。温拌薄层通过添加温拌剂降低施工温度，在保持接近热拌性能的同时减少了能源消耗和沥青老化。冷拌薄层以乳化沥青或改性乳化沥青为胶结料，在常温下施工，便捷环保，但初期强度形成较慢，多用于应急修补或低等级公路。近年来，高性能薄层材料不断涌现，如高黏度改性沥青薄层、纤维增强薄层和树脂改性薄层等，它们针对特定病害（如高寒地区抗裂、重交通抗滑）具有更好的适应性。薄层混合料的级配类型普遍采用 SMA-5、SMA-8、AC-5、AC-8 等细级配，亦可采用开级配磨耗层（OGFC-5）用于排水和降噪功能路面。

1.3 适用范围与技术要求

薄层修补的适用条件需从原路面状况和工程环境两方面判定。原路面应具有足够的结构承载力，弯沉值满足要求，不存在严重的网裂、沉陷或基层松散等结构性病害；原路面的病害类型以表面裂缝、松散、集料磨光、抗滑不足及轻微车辙（深度不大于 15mm）为主。若原路面存在结构性病害，必须先进行深层处治，再进行薄层修补，否则薄层将在短期内发生反射裂缝或结构性破坏^[1]。工程环境方面，施工气温不宜低于 10℃，雨

天和路面潮湿时不得施工；薄层修补路段的纵坡不宜过大，弯道超高段应特别注意材料流动性的控制。此外，交通组织也是薄层修补的重要前提，需根据修补厚度和粘结料类型合理确定养生时间和开放交通时机。

2 薄层修补施工工艺的系统分析

2.1 原路面处理与界面准备

原路面处理是薄层修补施工的首要环节，其质量直接决定层间粘结效果和薄层服役寿命。处理内容包括病害预处理、界面清洁和界面处治三道工序。病害预处理是对原路面裂缝进行灌缝处理，对松散区域进行挖补找平，确保原路面表面平整、密实且无松动颗粒。界面清洁采用机械清扫配合高压空气吹扫，彻底清除表面的泥土、浮尘、油污和松散集料，必要时使用高压水冲洗并充分晾干。界面处治是喷洒粘结层材料，常用的有乳化沥青、改性乳化沥青或热改性沥青，喷洒量应精准控制，一般以 $0.4 \sim 0.8 \text{ kg/m}^2$ 为宜，过少粘结力不足，过多则可能形成润滑层导致薄层滑动。喷洒后应等待破乳或挥发至适当黏度后再进行薄层摊铺，其间应对喷洒区域进行保护，防止二次污染。

2.2 混合料拌和与运输控制

薄层修补混合料的拌和工艺与传统沥青混合料基本一致，但因其最大粒径小、沥青含量较高，对拌和温度和控制要求更为严格。拌和温度过高会使沥青过度老化，降低粘结力和低温抗裂性；温度过低则混合料和易性不足，影响摊铺和压实质量。拌和时间应确保所有集料颗粒被沥青均匀裹覆，但不宜过长以免沥青膜变薄或集料破碎。薄层混合料通常采用连续式或间歇式拌和机生产，生产前应对计量系统进行校准，确保矿料级配和沥青用量的精确性^[2]。运输环节中，由于薄层修补通常工程量较小，运输距离一般不长，但需注意保温覆盖，防止表层混合料降温结壳。运输车辆的车厢应涂刷防粘剂，装料时采用“品”字形分层装料以减少离析，运输过程中应加盖篷布保温防雨。

2.3 摊铺工艺与厚度控制

摊铺是最大挑战在于厚度极薄条件下的均匀摊铺和厚度精度控制。摊铺前，应精确放样并设置引导线，摊铺机采用自动找平装置控制高程和厚度，熨平板应预热至规定温度。薄层摊铺的厚度控制误差要求严格，一般不超过 $\pm 5 \text{ mm}$ ，过厚造成材料浪费和表面泛油，过薄则影响耐久性和抗滑性能。为达到厚度精度，可采用等厚摊铺法，即通过调整摊铺机的振捣和夯实参数，使混合料在熨平板后获得初始密实度，同时利用超声波或激光测

距系统实时反馈厚度信息。摊铺速度不宜过快，一般控制在 $1.5 \sim 3.0 \text{ m/min}$ ，以保证熨平板前混合料料位稳定和足够的初始压实度。摊铺过程中应保持连续匀速，减少停机，避免形成横向接缝。对于小面积修补或不规则区域，可采用人工摊铺配合小型振动平板夯，但人工摊铺的效率和平整度均逊于机械摊铺。

2.4 碾压工艺与压实质量控制

碾压特殊性在于薄层厚度小、散热快、压实温度窗口狭窄，要求碾压作业必须在有限的时间窗口内高效完成。碾压分为初压、复压和终压三个阶段。初压紧随摊铺机后进行，采用双钢轮压路机以较低速度静压 $1 \sim 2$ 遍，使混合料初步稳定并获得初始平整度。复压采用振动压路机进行高频低幅振动压实 $3 \sim 5$ 遍，是薄层获得最终密实度的主要阶段，振动频率宜控制在 $40 \sim 50 \text{ Hz}$ ，振幅以 $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$ 为宜，避免大振幅造成的材料推移和表面破碎^[3]。终压采用胶轮压路机或钢轮压路机静压 2 遍，消除轮迹并进一步提升表面致密度。薄层碾压中应特别注意：压路机的行进速度宜控制在 $2 \sim 4 \text{ km/h}$ ，不得在碾压面上急转弯或紧急制动；碾压应遵循“紧跟、慢压、高频、低幅”的原则；碾压段长度应根据气温和混合料降温速率合理确定，一般控制在 $20 \sim 30 \text{ m}$ 。由于薄层温度下降很快，实际操作中有时需要缩短碾压段落长度并增加压路机台数，以保证在混合料温度降至最低压实温度之前完成全部碾压工序。

2.5 接缝处理与养生开放交通

纵向接缝应设置在摊铺机拼缝位置，采用热接缝工艺时，后摊铺的混合料应搭接于已摊铺层上一定宽度，碾压时骑缝碾压并切除多余部分；采用冷接缝时，应对已铺层边缘进行切割，涂刷粘结料后再摊铺相邻带。横向接缝是薄层修补质量的薄弱部位，宜采用垂直切缝方式，在摊铺新混合料前在接缝面涂刷粘结沥青，摊铺后采用跨缝碾压方式处理，并用 3 m 直尺检查平整度。养生期的确定取决于粘结层材料和薄层混合料的类型。热拌薄层通常在碾压完成、表面温度降至 50°C 以下时可开放轻交通，重型交通需待混合料进一步冷却至常温后方可通行。养生期间应禁止车辆在修补面上急刹车和转弯，防止薄层被剪切破坏。

3 质量控制体系与改进对策

3.1 施工前质量控制准备

施工前质量控制的核心是做好技术方案的评审和材料的进场检验。技术方案应包括薄层类型选择、配合比设计报告、施工工艺流程图、质量控制计划和应急预案

等内容,需经监理工程师审批后方可实施。配合比设计应在施工前完成,并保留充足的备料时间,不得边施工边调整配合比。材料进场检验按批进行,沥青应检测针入度、软化点、延度和老化试验等全套性能指标,集料应检测级配、含泥量、压碎值和针片状含量等,所有材料检验合格后方可入库使用。同时,应对施工机械进行全面检查和调试,包括拌和楼计量系统的校准、摊铺机熨平板平整度的检查以及压路机振动频率和振幅的标定,确保设备处于良好工作状态。

3.2 施工过程动态质量控制

过程质量控制采用“实时检测+即时反馈”的模式。在拌和阶段,每盘检查各计量秤的读数并与配合比设计值比对,偏差超过允许范围时应及时调整;每班至少两次从拌和楼取样进行级配筛分和沥青含量抽提试验,确保混合料质量稳定。在摊铺阶段,随时用插入式温度计检测混合料温度,用3m直尺检测摊铺后的表面平整度,用无核密度仪或核子密度仪跟踪检测初始压实度。在碾压阶段,逐段检测压实后的密度和厚度,根据检测结果调整碾压遍数和压路机组合^[4]。所有检测数据应记录在案并绘制质量控制图表,当出现异常波动时立即暂停施工、分析原因并采取纠正措施。动态质量控制的核心是“早发现、早干预”,避免质量缺陷累积到无法挽回的程度。

3.3 质量检测验收方法与标准

薄层修补交工验收应按相关规范执行,检测项目主要包括:外观质量(表面平整密实,无泛油、松散、裂缝和轮迹)、厚度(每200m至少检测1点,允许偏差为设计厚度的-5mm~+10mm)、压实度(以芯样密度与马歇尔标准密度的比值计算,不低于96%)、平整度(用3m直尺检测,最大间隙不超过5mm)、构造深度(反映抗滑性能)以及渗水系数(评价密水性)。钻芯取样是检测厚度和压实度的直接手段,但对薄层而言,取芯会破坏修补结构,故应控制取芯数量和位置,取芯后的孔洞需及时用同材料填充压实。无损检测方法如激光平整度仪和红外温度成像仪可在不破坏路面的前提下快速获取大范围的质量信息,有条件时宜优先采用。

3.4 常见质量缺陷的预防与处理对策

薄层修补的常见质量缺陷及预防处理对策如下。首

先是层间脱粘与推移,表现为薄层沿行车方向滑动或局部鼓起,预防措施是强化原路面清洁和粗糙化处理、严格控制粘层油用量和破乳条件,一旦发生脱粘应彻底铲除后重新施工。其次是表面松散与掉粒,主要由压实不足或沥青含量偏低引起,应通过提高压实标准和复核沥青用量来预防,发生松散后需进行局部铣刨重铺。其三是裂缝类病害,包括反射裂缝和温度裂缝,反射裂缝需在原路面处理时对裂缝进行灌缝或铺设应力吸收层,温度裂缝则要求选择低温性能优良的改性沥青并在低温季节停止施工。其四是泛油与抗滑不足,泛油由沥青用量过大或碾压时温度过高导致,抗滑不足则与集料磨光值低或构造深度不够有关,这两种缺陷往往需要重新加铺抗滑表层来解决。

4 结语

沥青路面薄层修补作为高技术敏感性的预防性养护手段,其施工与质量控制具有显著特殊性。本文系统阐述了从原路面处理、混合料生产到摊铺碾压、接缝处理的全流程工艺要点,提出三大核心认识:一是层间粘结可靠性决定修补成败,需在界面处理上投入远超常规路面的质量管控;二是薄层散热快、压实窗口窄,必须坚持“快速摊铺、快速碾压、快速检测”的高效作业原则;三是薄层修补非传统工艺的简单缩放,而需在材料设计、设备选型与现场管理上实现系统适配。未来,随着高耐久材料和智能施工装备的发展,以及数字化监控、智能压实等技术的应用,薄层修补将更高效、耐久,并有望破解温度窗口难控等难题。但无论技术如何进步,对工艺细节的严谨把控和对质量标准的坚定执行,始终是工程成功的核心保障。

参考文献

- [1] 黄晓明,赵永利,张久鹏. 沥青路面薄层罩面技术研究综述[J]. 交通运输工程学报,2022,22(3):15-28.
- [2] 张肖宁,王端宜,李智. 薄层沥青混合料设计与施工关键技术[J]. 公路交通科技,2023,40(1):78-86.
- [3] 王林,孙立军,刘黎萍. 沥青路面层间粘结性能评价方法与影响因素分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2021,49(8):1123-1131.
- [4] 杨军,陈先华,王昊. 温拌薄层沥青混合料压实特性与施工温度窗口研究[J]. 建筑材料学报,2024,27(2):289-296.