交通工程路基路面施工的关键技术探讨

王怀武

济南市城乡交通运输局　山东　济南　271100

摘　要：路基路面施工质量直接影响交通工程使用功能、使用寿命及行车安全等。本文总结了交通工程路基路面施工中主要技术要点，包括地基处理及路基填筑控制、路面结构层材料配合比及拌合、摊铺和平整度、压实及抗滑控制等内容。主要介绍了软基处理方法（排水固结、复合地基）、高填方路基沉降控制、半刚性基层裂缝防止、沥青路面及水泥混凝土路面施工工艺改进措施以及智能化施工监控技术应用情况。研究认为路基路面施工要以材料、工艺、环境三位一体进行综合管理，而压实均匀性、层间粘结力、温度和湿度敏感性则是影响工程质量最重要因素。同时提出一种过程控制下信息化施工管理模式，有助于提高交通工程路基路面施工水平。

关键词：交通工程；路基施工；路面施工；压实技术；质量控制

引言

近年来，我国公路建设规模不断扩大，但同时也面临复杂地形、高交通量、环境保护要求提高等问题，这对路基路面施工提出新的要求。传统的施工方式依靠人工经验进行判断，施工工艺参数差异较大，造成施工质量不稳定，不能达到现代交通工程对于平整度、承载能力、防排水能力和防止疲劳裂缝等方面的要求。路基路面施工是一个跨学科的过程，涉及到岩土工程、材料学、机械学与自动化等领域，主要问题有以下几个方面：软土地基加固措施，路基填料的选择及其压实控制，路面基层强度提高和防止收缩开裂，沥青混合料配合比确定及温度控制，水泥混凝土路面接缝施工及养生，各层之间粘结和防水等[1]。而且，随着信息化施工的发展，利用 GPS、传感器以及物联网实现对施工现场的有效监管也逐渐取代传统的管理模式。

1 路基施工关键技术

1.1 软土地基处理与加固技术

软土具有高含水量、高压缩性、低强度和低渗透性，易引发路堤过大沉降、不均沉降甚至失稳。常用处理方法包括：（1）排水固结法，通过塑料排水板或砂井缩短排水路径，配合预压荷载促使孔隙水排出，实现施工期主固结；关键在于合理确定排水间距、预压荷载与时间，并结合现场监测动态调整；真空联合堆载预压在真空度≥ 80kPa 时效果显著。（2）复合地基法，采用水泥搅拌桩、旋喷桩或 CFG 桩，由桩土共同承担荷载；水泥搅拌桩适用于软塑黏土及粉土，水灰比宜为 0.45～0.55，提升速度≤ 0.8m/min；对深厚软土可采用长短桩组合，长桩控沉降，短桩提承载。（3）轻质填料法，使用泡沫轻质土或 EPS 块体，其容重仅为常规填料的 1/3～1/5，大幅降低附加应力；现场浇筑需控制湿密度波动在 ±0.5kN/m³ 内，并采取有效防浮措施。

1.2 高填方路基填筑与沉降控制

填料宜选用级配良好、透水性强的粗粒土，细粒土含量不应大于 15%，如果不得不使用细粒土时，则须对其含水量进行控制，在最优含水量 ±2% 以内。分层填筑厚度由所使用的压实机具而定，在使用振动压路机的情况下，松铺厚度不应超过 30cm，而压实厚度不应超过 25cm，每一层都应进行压实度检测，路床顶面以下 0~80cm 处压实度不得低于 96%，而 80~150cm 处压实度不得低于 94%。为减少高填方路基工后沉降，可以采用冲击压实或者强夯补强措施来提高其整体强度[2]。冲击压路机的速度为 12~15km/h，冲击能量为 25~30kJ，每次填高 2~3m 之后进行一次补压，可降低工后沉降 30% 以上；并且要设置沉降观测板，填筑期间每填完一层都要测一次，而在预压阶段每月都要测一次，当连续两个月内每月沉降量均小于 5mm 时，才可以进行道路工程施工。

1.3 路基排水与防护技术

地下水以及地表水渗透是造成路基损坏的重要原因，在进行路基施工时要采取截、排、疏、防等综合措施进行排水，路堑地段应设置在坡顶处设置截水沟，在坡体内布置仰斜式排水孔或者支撑渗沟，其间距为 5～10m；而在路堤地段则需要设置碎石垫层以及透水土工布作为水平排水层，在基底纵坡小于 3% 的情况下还应设置盲沟；对于土质边坡可采用拱形骨架或者土工格室种

草，拱形骨架打入坡体深度不应小于 15cm，混凝土强度等级不应低于 C20；而对于岩质边坡则可采用主动防护网或者锚杆框架梁的方式加固，在锚杆直径为 25mm 的情况下，其锚固长度不应小于 4m；同时对于膨胀土地段还需要加设土工膜防水措施，并且在边坡底部增设抗滑桩或者挡土墙。

2 路面基层施工关键技术

2.1 半刚性基层材料配比与拌和质量控制

水泥稳定碎石是目前使用最为广泛的一种路面基层材料，而其施工质量主要取决于集料级配、水泥用量以及含水量等。级配要符合规范规定，最大粒径不大于 31.5mm，小于 0.075mm 颗粒含量不宜大于 5%，否则容易造成收缩裂缝。水泥用量一般在 3%-5%，根据延迟时间试验确定水泥终凝之前可压实的时间一般不超过 3 小时。拌合方式采用厂拌法，使用装有电子称重设备的连续式或间歇式拌合机。经常检查料斗流量，使水泥用量误差不大于 ±0.5%，含水量误差不大于 ±0.5%。混合料出料前须做水泥剂量滴定实验并测定含水量。运输途中用篷布遮盖以避免水分流失，在摊铺时采取分多个位置下料的方法降低离析。

2.2 基层摊铺与压实技术

基层摊铺用稳定土摊铺机进行摊铺，摊铺速度根据拌和站生产能力确定，一般为 1.5 ~ 2.5m/min。螺旋布料器应有 2/3 以上埋入混合料内，并且匀速旋转以防离析。对宽度大于 8m 路面应用两台摊铺机梯队作业，前后不超过 10m，搭接宽度为 20 ~ 30cm。压实方法采取“先轻后重、先慢后快、由低到高”的原则。初压用双钢轮压路机静压 1 ~ 2 遍，复压用重型振动压路机碾压 4 ~ 6 遍，终压用轮胎压路机终压[3]。碾压长度一般不超过 30 ~ 50m，接茬处要留有台阶。压实度检查用灌砂法进行，每一点测量三个点。施工缝应垂直切割，接茬处刷一层水泥浆加强粘结。

2.3 基层收缩开裂防治技术

半刚性基层在干燥或者温度下降时容易出现收缩裂缝，而这些裂缝又会被传到上面的沥青路面上成为反射裂缝。预防方法有：减少细集料以及粉状材料，以减小水泥稳定碎石的收缩量；选用骨架密实型级配，空隙率为 10%-14%；施工期间及时做好保湿养生工作，在基层上覆盖土工布洒水保湿 7 天以上；在半刚性基层顶面铺设应力吸收层或土工格栅；如果裂缝无法避免，在裂缝处铺设聚酯玻纤布或者铺设抗裂贴等。

3 沥青路面施工关键技术

3.1 沥青混合料级配设计与温度控制

沥青路面施工质量主要由混合料级配以及沥青用量所决定。根据不同道路等级及地区气候条件选用适合结构类型，例如 AC 型、SMA 型或者 SUP 型等。对于重要筛孔（4.75mm、2.36mm、0.075mm）筛析结果相差不应超出允许误差范围。而沥青用量应保持在最佳油石比 ±0.3%，不足易造成脱空，过多会产生泛油、车辙等现象。温度是沥青施工的生命线。不同沥青标号有不同的施工温度要求，以 70 号石油沥青为例：加热温度为 150~170℃，石料加热温度为 160~180℃，拌合出料温度为 145~165℃，摊铺温度不得低于 135℃，初压温度不得低于 130℃，终压温度不得低于 80℃。温度过高会使沥青老化，温度过低不能保证压实效果。在运输过程中应用双层防雨被遮盖，在摊铺前检查混合料车体内温度，如果温度高于 195℃或者低于 125℃的混合料禁止使用。

3.2 沥青路面摊铺与压实工艺

当今沥青摊铺机需具备非接触式平衡梁或者 3D 数字摊铺系统来进行摊铺厚度以及坡度的自动调节。摊铺速度一般控制在 2 ~ 4m/min，要均匀、不间断、少停顿。螺旋布料器槽内料位高度应在 2/3 螺旋直径以上以防产生离析现象。摊铺层厚度根据松铺系数来定，该系数通过试验路段获得一般为 1.15 ~ 1.25 左右。而压实步骤很重要。初压用双钢轮压路机先静后振 1 ~ 2 遍，速度为 2 ~ 3km/h；复压用胶轮压路机进行 3 ~ 5 遍，速度为 3 ~ 5km/h，胶轮轮胎气压不得低于 0.55MPa；终压用双钢轮压路机静压 1 ~ 2 遍以消除轮迹。对于 SMA 路面，禁止使用胶轮压路机以防沥青玛蹄脂上浮[4]。在碾压时不能转弯也不能紧急刹车。接茬处采取垂直冷接缝方式，在涂抹粘层油之后再顺缝碾压。

3.3 沥青路面平整度与层间结合技术

平整度是影响行车舒适性的重要因素，在施工时要用基准线来保证摊铺基准面，基准线桩距为 5 ~ 10m, 拉紧力不得低于 800N。每摊铺 10m 用 3m 直尺检查平整度，其偏差不得超过 3mm。发现问题立即处理直至合格，待面层温度降低至 50℃以下后方可开放交通。层间结合对于整个路面的整体性至关重要。下面层施工之前应在基层上面洒布透层油，宜用乳化沥青或者煤油稀释沥青，用量为 0.7 ~ 1.5L/m2，且必须渗入到下部基层表面一定深度，一般不少于 5mm。上下两层之间也应洒布粘层油，用量为 0.3 ~ 0.6L/m2，待其破乳后再进行上一层施工。粘层油洒布要均匀，不能有流淌或者过厚现象存在。

3.4 沥青路面施工缝处理技术

纵向接缝热接缝，双机梯队进行施工，前一台摊铺机留下 10～20cm 未进行压实部分，由后一台摊铺机进行骑缝压实；冷接缝，先铺带边缘切齐，涂刷粘层油后搭接压实，搭接宽度 5～10cm。横向接缝设在构造物伸缩缝或切缝位置上，接缝面垂直、平整，用 3m 直尺检测其平整度，不符合要求时立即整修。

4 水泥混凝土路面施工关键技术

4.1 混凝土配合比与拌和质量控制

水泥混凝土路面要求抗弯拉强度大于等于 4.5MPa，抗冻等级大于等于 F200。配合比设计主要是水灰比，一般不大于 0.45，而且水泥用量在 300~360kg/m³。粗集料应采用二级或三级级配，最大粒径不大于板厚的 1/3。外加剂可以提高和易性和耐久性。拌制使用强制式搅拌机，搅拌时间不少于 60s。出机坍落度为 10~40mm（滑模施工）或者 10~30mm（三辊轴施工）。含气量普通路面 3%～5%，寒冷地区 4%～6%。运输避免离析以及失水。

4.2 混凝土摊铺、振捣与整平技术

滑模摊铺是目前常用的方法，在摊铺机到位后设定参考线，行驶速度为 0.8～1.5m/min。振捣棒之间的距离不超过 45cm，振动频率大于等于 150Hz。挤压成型后马上进行拉毛或者刻槽，构造深度为 0.6～1.0mm。三辊轴施工适合较短的道路，插入式振动棒振实之后使用三辊轴整平机来回 2～3 遍，刮平后再用刮杠精细整平。整平后马上进行收光以免出现麻面。

4.3 接缝施工与养护技术

接缝是水泥路面薄弱部位。纵向缩缝应在混凝土初凝后及时锯切，深度不应小于板厚的 1/3；横向缩缝间距为 4~6m，用切缝机锯切，在填缝之前清除缝中垃圾并刷界面剂。胀缝设在接近构造物或桥头处，传力杆必须与板面垂直并且涂防锈漆。养护对混凝土强度增长很重要。覆盖湿土工布或者洒养护液，养护时间不应少于 14d, 前七天不得开放交通。冬期施工时要防止冻害发生，当混凝土抗压强度大于等于 5MPa 时才能受冻。

5 结语

交通工程路基路面施工是一项复杂、繁琐、多工种配合的工作。本文总结归纳了软基处理、高填方控制、基层与面层施工、材料配合比、温控、压实整平等方面的技术要点。研究认为：影响路基的主要因素为地基处理与压实，对于软基可采取排水固结或者复合地基法；对高填方要严格控制每层填筑厚度和沉降速度；基层施工要保证级配良好、含水量适宜，半刚性基层出现裂缝可以通过设置骨架密实结构、保湿养生以及设置应力吸收层进行预防；沥青路面主要问题是温度链把控及合理压实施工配合，平整度和平整层之间粘结程度取决于摊铺机自动控制和平整层表面洒布粘油均匀性；水泥混凝土路面要控制好水灰比、接缝施工并且做好养生工作。今后应积极研发基于 AI 技术施工参数实时优化方法及无人驾驶机械设备群组应用，使施工更加快捷、准确、环保。

参考文献

[1] 沙爱民, 陈忠达. 半刚性基层材料收缩开裂机理及防治措施研究 [J]. 中国公路学报,2022,35(6):1-12.

[2] 黄晓明, 赵永利. 沥青路面施工压实工艺与温度控制技术 [M]. 北京: 科学出版社,2021:78-112.

[3] 王秉纲, 郑健龙. 水泥混凝土路面施工关键技术及质量控制 [J]. 公路交通科技,2023,40(4):45-53.

[4] 张肖宁, 王端宜. 沥青路面数字化施工与智能监控技术研究进展 [J]. 交通运输工程学报,2025,25(1):1-14.