

国省干线公路预防性养护技术分析

文 / 刘恩召 广州市从化区道路事务中心

摘要：国省干线公路在全国交通体系中占据重要地位，是沟通与衔接不同地区的关键基础设施，为确保国省干线公路能够始终处于良好技术状态，应做好预防性养护工作。基于此，文章采用案例研究法，选取广州市从化区国省干线公路工程为实例展开具体分析。该国省干线公路在长期通行期间虽保持着优异状态，根据 2024 年国公路技术状况检测报告，国道 PQI 达 91.63，省道 PQI 91.08，但已出现轻微病害，为避免轻微病害转化为结构性损坏，需运用预防性养护技术进行处理。

关键词：国省干线公路；预防性养护；裂缝处置；车辙修复；抗滑性能

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.069

引言

国省干线公路在长期运营中，受到交通荷载、气候条件等因素的影响，会出现病害问题，影响国省干线公路的结构稳定性，严重时甚至会增大通行风险。因此，国省干线公路通常会采用预防性养护的方式，改善国省干线公路的运行状态，优化公路结构，避免轻微病害进一步恶化发展为严重病害。

一、工程概况

(一) 基本概况

为增强该次研究的现实意义，结合从化区国道 G105 线为实例展开具体分析。从化区国道 G105 线属于从化区尤为重要的国省干线公路，是连接广州城区和韶关市的

重要通道，并且作为“环两山”高质量发展公路建设示范区，打造广州北部山区生态旅游公路具有重要的助力作用。从化区国道 G105 线全长约为 74.62km，属于双向四、六车道，道路等级为一级公路和二级公路，设计时速 60-80km/h，路基宽度为 15.5-30m，沥青混凝土路面结构上面层为最大公称直径 13mm 的细粒式改性沥青层，厚度为 4cm，中面层为最大公称粒径 20mm 的中粒式改性沥青层，厚度为 6cm，下面层为弯拉强度 5.0MPa 的水泥混凝土路面，厚度为 26cm。据当地交通统计，日均交通量约为 1.99 万辆，其中中大型货车占比约为 29.14%。图 1 为从化区国道 G105 线地理位置。

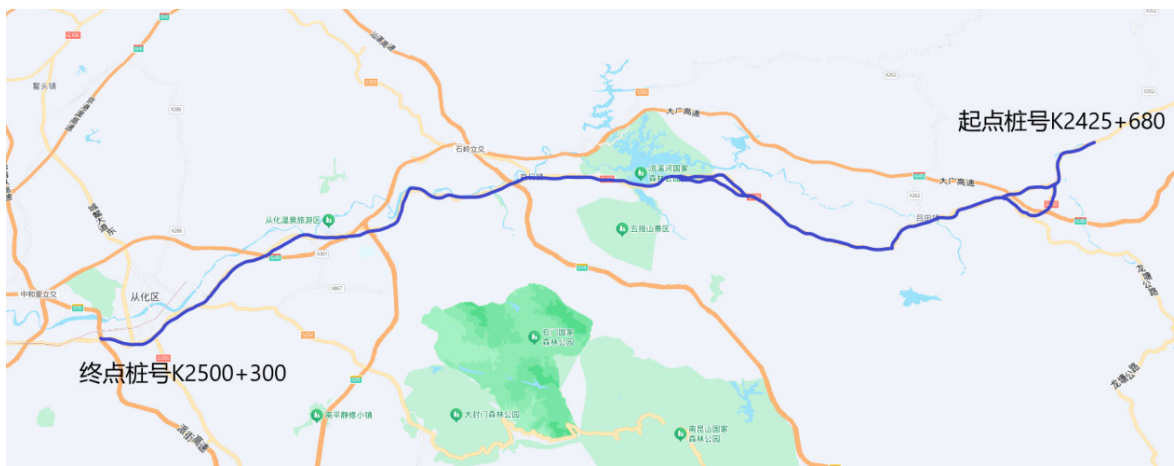


图 1 从化区国道 G105 线地理位置

(二) 养护需求分析

根据 2024 年公路检测报告数据显示，国道 G105 线公路路面技术状况指数、行驶质量指数 RQI 分别为 92.98、92.52，但在局部路段出现了轻微病害。对轻微病害的问题表现进行总结，如下所示：（1）横向裂缝。受到基层反射裂缝与温度应力影响而产生的裂缝，裂缝之间的平均间距为 35.6m，宽度处于 0.3~0.8mm 之间。

（2）轻微车辙。经检测后发现案例国省干线公路局部路段存在深度为 8.3mm 左右的车辙，尚未超过养护阈值（12mm），但在夏季高温工况下，会加速公路路面沥青

的老化（3）抗滑能力减弱。该国省干线公路的构造深度发生变化，由 0.68mm 以降低至当前的 0.52mm，在一定程度上削弱了公路的抗滑能力，可增大雨天事故率。

二、预防性养护技术在国省干线公路中的运用措施

(一) 裂缝灌缝封闭处理

结合上述分析可见，国道 G105 线局部路段中出现了横向裂缝，为避免轻微横向裂缝进一步发展，在该次预防性养护期间需进行处理，经技术人员综合分析后，决定运用灌缝封闭技术处理裂缝，完成预防性养护，通过填充密封材料，避免杂质、水分侵入裂缝中^[1]。

在预防性养护施工期间，运用压力超过 0.7MPa 的空气喷射装置，将缝隙中的杂物全面清除，待 95% 的杂物均被清除后，筛选出宽度超过 0.5mm 的裂缝，并准备刀头深度 15mm、宽度 12mm 的专用开槽机，扩大裂缝，并通过开槽扩缝形成宽度与深度比值为 1:1.2 的梯形槽口，为材料充分粘结奠定基础。完成裂缝处理后，合理选取密封胶，在案例工程项目中，所选用的材料为高弹性改性沥青密封胶，其性能规格如表 1 所示，随后将改性沥青密封胶转移到加热罐中，待温度达到 185 ~ 195℃ 区间后，使密封胶在 30s 内通过直径为 10mm 的标准漏斗。

表 1 高弹性改性沥青密封胶的性能指标

指标	单位	性能参数
针入度 (25℃)	0.1mm	50 ~ 90
弹性恢复率 (25℃)	%	≥ 80
软化点	℃	≥ 90
低温拉伸 (-20℃)	%	≥ 40
耐老化性 (RTFOT)	%	≤ ±15

完成裂缝处理与材料准备后，则可进入到灌缝封闭施工环节中，此时借助输出压力为 0.3 ~ 0.5MPa 的气压式灌缝机，将高弹性改性沥青密封胶以匀速的状态灌至裂缝中，要求密封胶的填充率至少为 90%。为保障密封胶的粘结效果，要求环境温度低于 5℃ 或雨天时禁止作业。

(二) 车辙铣刨填补养护

为预防养护轻微车辙病害，案例国道 G105 线干线公路选用铣刨填补技术加以处理，对车辙病害局部区域铣刨，随后重新摊铺，采用该方式而提升公路路面性能，回复平整度。在实际养护施工期间，依托于激光断面仪，对车辙深度进行检测，得出结果后，计算铣刨深度，公式如式 (1) 所示。

$$H = RD + \Delta h \quad (1)$$

式 (1) 中，H 表示铣刨深度，RD 为车辙程度，Δh 代指额外铣刨量，通常取值为 3 ~ 5。经计算后得出，H 为 12.3mm，故为确保养护处理效果，要求在养护施工期间至少铣刨 12.3mm。

铣刨施工期间，借助铣刨宽度为 1.5m 的型铣刨机，精铣刨国省干线公路路段中的车辙区域，为确保铣刨效果，要求铣刨处于 5 ~ 8m/min 区间范围内，同时需将铣刨面平整度控制在 3mm/m 区间范围内。完成铣刨施工作业后，运用压力超过 15MPa 的水枪，将铣刨施工面清理干净，要求无碎屑，界面洁净度超过 95%。铣刨结束后，运用与原路面接近的沥青混凝土材料进行填补，在案例国省干线公路工程中，所运用的材料与中面层材料一致，为最大公称粒径为 20mm 的密级配沥青混凝土，油石比为 4.8%。在填补摊铺施工期间，需注意控制温度，要求摊铺温度处于 160 ~ 170℃ 区间范围内。在该环节中，应依据铣刨深度及压实系数计算得出摊铺厚度，公式如式 (2) 所示。

$$T = H \times K \quad (2)$$

式 (2) 中，T 表示摊铺厚度，H、K 分别代指铣刨深度、压实系数。经计算后，得出结果为 14.76mm，为确保摊铺效果，在预防性养护施工中，按照 15mm 进行摊铺。完成摊铺作业后，借助静线压力 ≥ 350N/cm 的双钢轮压路机初压 2 遍，初压期间将碾压速度控制在 2 ~ 3km/h 区间内，随后运用胶轮压路机复压 3 遍，该环节中将碾压速度调节至 3 ~ 5km/h。进入终压环节后，则选用双钢轮压路机，终压 1 遍即可，并将碾压速度控制在 4 ~ 6km/h 区间范围内。完成碾压后检查路面空隙率与平整度，要求分别低于 6%、2mm/3m。确认空隙率与平整度符合标准后，待路面温度低于 50℃ 后，则可开放交通。

(三) 雾封层抗滑性改进

为综合性改善案例国道 G105 线干线公路的路面性能，需针对性改进雾封层的抗滑性能。在预防性养护施工过程中，借助细集料、乳化沥青对路面进行处理。在正式改善养护施工之前，对原路面预处理，具体来看，运用压力超过 10MPa 的高压水枪对公路路面冲洗，用于清除路面表面的松散颗粒与浮尘，完成清洁处理后，采用乳化沥青对低于 3mm 宽度的轻微裂缝处理，要求灌缝材料至少深度至裂缝 5mm 深度处。若路面存在局部病害，则采用铣刨填补的方式进行修复。

进入到雾封层抗滑性能改进施工环节后，采用阳离子型慢裂快凝型乳化沥青材料，其 25℃ 时恩格拉粘度处于 3 ~ 15 之间，粘结强度超过 0.6MPa。为确保抗滑行养护处理效果，需运用乳化沥青制备混合料，其中乳化沥青的用量为 0.8 ~ 1.2L/m²，0.3 ~ 1.2mm 粒径的石英砂作为细集料，撒布量为 200 ~ 300g/m²，同时掺入 3% ~ 5% 的橡胶粉，借助该添加剂而改善封层的耐久性与弹性。雾封层抗滑性能改进施工过程中，采用智能洒布车将如乳化沥青混合料均匀喷洒于表面，并将喷洒速度控制在 3 ~ 5km 区间内，乳化沥青破乳时间调整至 20 ~ 30min，确保充分渗透。与此同时，撒布石英砂，覆盖率 ≥ 80%，采用吨位 8 ~ 10t 的胶轮压路机碾压 1 ~ 2 遍。在雾封层施工期间，需对各项关键参数进行严格控制，具体如表 2 所示。

表 2 雾封层施工关键参数的标准区间

关键参数	单位	标准区间
施工温度	℃	15 ~ 35
空气湿度	%	≤ 80
风速限制	m/s	≤ 4
材料洒布量	L/m ²	0.9 ~ 1.1
撒布覆盖率	%	≥ 85
初凝时间	min	25 ~ 40
开放交通时间	h	≥ 2
施工速度	m/min	3 ~ 5

雾封层施工完毕后，及时进入到养护阶段，要求至少养护 2h，待乳化沥青完全破乳后开放交通^[2]。

(四) 结构补强预防养护

案例中的国道 G105 线局部路段现已出现病害问题，

结构稳定性衰减下降, 故为整体性提高公路性能, 真正实现预防性养护, 在该次施工期间借助复合式结构补强技术进行处理。

在实际施工期间, 依托于落锤式弯沉仪检测案例国省干线公路全路段情况, 经检测后得出, 弯沉值处于 28.5 ~ 35.6 (0.01mm) 区间范围内, 弯沉盆分析后, 最终将案例国道 G105 线公路的补强路段长度确认为 8.2km, 约为总公路长度为 10.9%。对关键路段补强施工之前, 需精细化处理原路面, 在该环节中, 将弯沉值超过 32 (0.01mm) 的区域精铣刨处理, 要求将铣刨深度控制在 6cm 左右, 完成铣刨处理施工后, 借助三维激光扫描仪对路面平整度进行检查, 使平整度误差控制在 $\pm 2\text{mm}/3\text{m}$ 区间范围内, 由此筛选出局部松散区域, 在 0.5 ~ 0.8MPa 的注浆压力条件下, 对该区域进行注浆加固处理, 结合案例国省干线公路工程项目来看, 所运用的注浆材料水灰比为 0.45, 注浆量约为 38.5m³。

完成上述处理工序后, 则可分层补强, 施工期间首先铺设应力吸收层, 此时将 2.8km³ 的橡胶沥青均匀铺设于表面, 并按照每立方米 12kg 的标准撒布碎石材料。在此基础上, 运用 13t 的双钢轮压路机, 反复碾压 4 遍, 待碾压作业结束后, 摊铺高模量沥青混凝土^[3]。

(五) 重载路段专项养护

根据连续观测站交通量统计显示, 国道 G105 线公路通行车辆中, 货车约占 29.14%, 给公路基础设施造成较大压力, 故在该次预防性养护施工期间, 对 9.8km 的重载路段实施专项养护, 主要用于改善该部分路段的路面抗疲劳性能及抗车辙性能, 由此方可最大限度的保障该次预防性养护施工的实际效果。

重载路段专项养护期间, 连续 7d 监测货车轴载, 发现单轴重 $\geq 10\text{t}$ 的车辆占比 41.2%, 最大单轴载达 14.6t, 日均等效标准轴次达 5820 次, 此外, 借助红外热成像技术检测后, 得出重载路段车辙发展速率达 1.2mm/月的结论。故案例国省干线公路尤为重视该次预防性养护施工中的重载路段专项养护作业。

在实际养护期间, 采用水泥稳定碎石注浆技术, 对基层松散路段进行养护, 将注浆压力控制在 0.6 ~ 0.9MPa 区间内, 注浆孔间距 1.2m \times 1.2m, 水泥掺量 12%, 7 天无侧限抗压强度 $\geq 5\text{MPa}$ 。随后对面层进行强化, 上面层采用改性沥青 SMA-13 (掺 0.4% 聚酯纤维), 动稳定度 ≥ 6000 次/mm; 中面层采用高模量沥青混凝土 EME-20, 动态模量 $\geq 14000\text{MPa}$ 。对于衔接界面, 则喷施 SBS 改性乳化沥青作为粘层油, 使层间剪切强度能够始终超过 0.8MPa。在此基础上对接缝进行处理, 纵向接缝采用热接缝技术, 搭接宽度 $\geq 15\text{cm}$; 横向接缝采用平接缝, 错台 $\leq 2\text{mm}$ 。路面温度降至 40℃ 以下开放交通, 重载车辆限速 60km/h 通行^[4]。

(六) 超粘精罩面养护

国道 G105 线局部路段也采用了超粘精罩面养护工

艺, 该工艺即为高韧超薄沥青磨耗层混合料摊铺养护, 厚度仅为 1.5cm。所使用的沥青胶结料是使用经过化学处治的 PG94 型高粘弹聚合物复合改性沥青材料, 其针入度为 30 ~ 60mm, 软化点超过 90℃, 25℃ 下的弹性恢复度 $\geq 95\%$ 。摊铺喷洒实际用量控制在 1kg/m²。对集料的技术指标要求也比较高, 需优先选用粘附性强、耐磨性较好的反击破加工成型集料, 骨料则可选择辉绿岩、玄武岩等, 试验的磨光值 PSV 应 $\geq 42\text{BPN}$, 洛杉矶磨耗损失不超过 20%。细集料主要为机制砂或反击破加工而成的石屑, 保证其加工时的破碎度为 100%, 不掺入杂质, 规格在 0 ~ 3mm 之间。填料方面选用石灰岩经研磨处理生成的矿粉, 若存在泥土杂质需要清除干净, 保证矿粉不凝集成块、干燥, 可以自然流动。热拌混合料需确保和易性良好, 满足路面施工的相关性能, 如孔隙率 ≤ 5 , 油石比 ≥ 7.5 , 在 60℃ 车辙条件下的动稳定性不小于 5000 次/mm, 肯塔堡飞散试验损失 $\leq 8\%$, 15℃, 1000 $\mu\epsilon$ 条件下四点弯曲疲劳 ≥ 20 万次。基于以上技术指标可保证公路超粘精罩面养护到位。

超薄磨耗层的组成材料及制作方法较为简单, 且一次摊铺成型, 在较短时间内便可开放交通。还具有良好的防水性, 沥青吸附在矿粉上, 会形成具有很强吸附性的一层材料, 充分防止水分渗透, 可使水分不会渗透到路基, 保持路基干湿度正常, 不会因强度减小而发生松散现象。总体而言, 该工艺具有抗滑性好、降噪性好、透水性好、使用寿命长等优点, 可一定程度上预防交通事故的发生。

结语

综上所述, 案例国省干线公路工程现阶段存在一定病害问题, 为防止病害恶化, 需针对性采取措施加以处理。结合案例工程项目来看, 可采用灌缝封闭的方式, 阻隔水分下渗, 预防反射裂缝的延展。对于车辙问题, 则通过铣刨填补的方式进行改善与处理, 同时改进雾封层状态, 提高其抗滑性能, 将路面的构造深度能够提升至 0.65mm 以上, 由此减少因路滑而引发的安全事故。

参考文献

- [1] 张伟林. 国省干线公路养护中预防性养护技术的有效运用[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(02): 114-116.
- [2] 丁朝勇. 沥青路面预防性养护技术在国省干线公路养护中的应用研究[J]. 运输经理世界, 2023, (15): 136-138.
- [3] 杨晨光, 马庆伟, 王超. 关中国省干线公路沥青路面预防性养护阈值研究[J]. 上海公路, 2022, (04): 15-18+24+176-177.
- [4] 兰青山. 普通国省干线公路养护中预防性养护技术分析[J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(12): 209-210.
- [5] 袁明园, 徐孝辉, 周华, 等. 普通国省干线公路预防性养护路况标准研究[J]. 公路交通技术, 2021, 37(03): 51-56.