

高速公路养护工程中沉降段路基路面施工技术的应用研究

文 / 郑坤宏 广东省路桥建设发展有限公司路达分公司

摘要：“高速公路”不仅是我国交通系统重要组成部分，还是推动我国城市化建设及社会经济发展的主要原动力。提高高速公路工程质量、加强高速公路养护，都能够延长高速公路的使用寿命，让高速公路更好地服务于城市建设及社会经济建设。高速公路运营中，沉降段路基、路面病害直接威胁通行安全与使用寿命，相关施工技术研究尤为关键。本文围绕注浆加固、换填处理、强夯加固等路基技术，以及路面铣刨重铺、平整度控制、施工监测技术，梳理应用要点，为养护工程提供实操参考，助力解决沉降治理难题。

关键词：高速公路；养护工程；沉降路段；路基路面施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.055

引言

高速公路养护工程是高速公路建设重要工程项目，如果出现施工方法使用不当、施工材料质量不达标、水文气候条件恶劣等问题，不仅会增加路基路面沉降现象发生率，还会降低高速公路使用性能及安全性。沉降段路基路面施工技术是一项专门针对沉降路段路基路面质量及安全问题而衍生出来的专项施工技术，弥补了传统沉降路段处理技术的不足，沉降处理效果很好，同时还能够有效预防路基路面出现严重的裂缝、泛油、车辙等问题，提高高速公路质量及安全性。所以，本文结合相关文献及工作经验，先简单分析高速公路养护工程中发生沉降问题的主要影响因素，然后以某高速公路养护工程为例，从“路基、路面”两个层面分析沉降段路基路面施工技术在高速公路养护工程中的具体应用，最后提出几点预防沉降发生的措施建议。

一、高速公路养护工程中发生沉降问题的主要影响因素

（一）养护施工技术因素

高速公路养护工程不同于普通道路养护，高速公路养护对施工技术的要求非常高，而且每个养护环节都需要有对应的技术标准及质量要求。但通过调查了解到，部分高速公路养护工程施工单位并没有意识到“按照施工技术要求及标准开展养护作业”的重要性，在实际养护工程施工中也没有根据各环节可能会出现的问题去制定施工技术要求及质量标准，使部分路段的危险因素无法被及时发现，从而增加沉降风险^[1]。另外，施工技术人员也属于施工技术因素范畴，缺乏高水平施工技术人员，也会增加施工质量问题发生率，施工质量降低会增加沉降风险。例如，部分施工人员没有规范意识及安全意识，不严格按照要求及标准去施工，而是盲目根据自己的经验去施工，导致技术处理策略缺乏相应的合理性，使得路基沉降问题始终无法得到有效控制。

（二）养护施工材料质量因素

高速公路不管是在建设还是在养护过程中，都对施工材料有着极高的要求。用于高速公路养护的施工材料多样化，不同材料的质量要求不同。部分施工单位

为节省养护前期的时间及成本，会直接选用以往的材料或质量偏低的材料，导致材料与养护实际需求不符，从而增加沉降发生率。忽视养护施工前期的材料质量监测，会使很多质量不达标材料进入养护施工环节，使被养护路段质量降低，例如路基路面承载力下降、路基结构稳定性下降、路面黏合性降低等，导致不均匀沉降、裂缝、泛油、车辙等问题发生，从而导致大面积沉降段发生，降低整条高速公路的降低高速公路使用性能及安全性^[2]。此外，未按照要求开展路基填料的填筑与碾压等作业，也会导致填料含水量不合格等问题发生，从而引发沉降。

（三）养护施工设计因素

高速公路养护工程复杂程度较高，涉及多种技术应用，所以在施工前需要结合设计详细的养护施工方案，以进一步提高高速公路质量的同时，加强对高速公路沉降等病害的预防，达到提高高速公路使用寿命的目的。但部分高速公路养护施工单位或者部门对“高速公路养护施工设计”的重视度并不高，他们更注重养护施工成本的控制，所以在施工前并没有组织专业小组到施工现场进行实地勘察，而且直接根据高速公路原施工方案（初始施工时的方案）设计养护施工方案及技术要求，导致施工方案与实际不符，施工技术要求也与现场施工质量要求不匹配，进而引发路基沉降问题。

（四）水文气候因素

水文气候的变化直接关系到高速公路养护效率及质量，水文气候越稳定则高速公路养护效率越高，因雨水过多、温度过低等恶劣水文气候原因导致的质量问题也越少。但调查发现，我国很多高速公路都建设在远离城区的偏远地区，这些地区可能分布大量山地及河流，其水文气候变化起伏大，例如山地区域及河流区域降雨量及温度变化都比较大，容易导致高速公路出现不同程度的沉降。部分高山地区，在冬季气温较低时还会出现“下层土壤中的水分向上凝聚”的现象，这可能会在路基内部形成冰层，然后在春季气温上升后冰层融化，使路基内部含水量增加，从而降低基层结构稳定性，最后引发沉降问题^[3]。

二、高速公路养护工程中沉降段路基路面施工技术的具体应用

本文以某高速公路养护工程为例，分析如何应用沉降段路基路面施工技术。据了解该高速公路全长130km，车速设计为120 km/h，路面设计为沥青路面，使用年限设计为20年。沥青路面结构由面层、基层、垫层构成（见图1），厚度为60cm。不同结构层的材料及施工参数不同（见表1）。

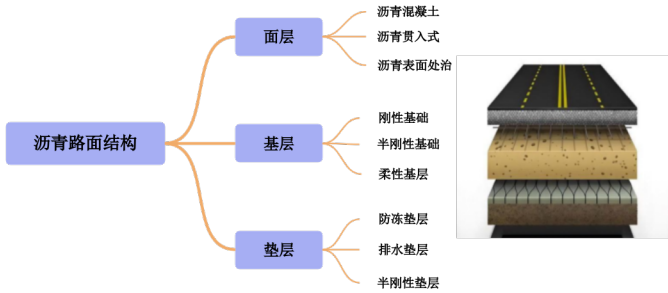


图1 沥青路面结构

表1 某高速公路路面结构及材料参数

| 参数 | 沥青混凝土 面层 | 二灰碎石基 层 | 石灰土底垫 层 |
|----------------------|-------------|------------|------------|
| 弹性模量 E/MPa | 1210 | 1350 | 510 |
| 泊松比 | 0.28 | 0.62 | 0.38 |
| 重度 g/cm ³ | 2.1 | 1.7 | 2.0 |
| 厚度 /cm | 15 | 20 | 25 |

据调查，该高速公路已经使用了8年，部分路段出现了一定程度的变形损坏，道路实际情况难以达到标准要求，需要立即进行养护和治理。负责该公路养护的施工单位，除进行了常规的养护作业外，还应用到了沉降段路基路面施工技术，其目的是加固路面结构，预防公路发生沉降，同时还提高路基路面荷载应力，减少裂缝、泛油、车辙等问题发生。应用到的沉降段路基路面施工技术如下：

（一）沉降段路基施工技术应用

1. 注浆加固技术应用

注浆加固技术主要适用于软土地基或路基局部沉降场景，核心是通过向路基孔隙注入固化浆液，实现土体间填充与密实度改善的双重效果。施工前需先采用地质雷达检测明确沉降区域范围与孔隙分布，避免出现注浆盲区；施工过程中需重点控制注浆压力与浆液配比，常用水泥、粉煤灰、水玻璃类浆液，确保浆液在路基内部均匀扩散，形成连续加固体^[4]。注浆作业完成后，需静置等待浆液完全固化，防止后续施工对加固效果造成扰动。

2. 换填处理技术应用

换填处理技术针对路基沉降严重且土体承载力极差的路段，核心流程为挖除换填，将原有的软弱土层彻底挖除，替换为级配砂石、碎石或灰土等强度更高的填料。开挖前详细调查土壤质量和施工区域的横截面，选用横坡土石方开挖方法。开挖完成后检查路面平整度、计算填筑土方量，然后按照要求将标准量的级配砂石、碎石或灰土等填筑在指定位置。施工时需精准控制换填深度与分层压实度，每层填料铺设后，采用振动压路机与静压压路机组合方式进行压实，确保新填填料与原路基衔接紧密，无空隙留存^[5]。此外，需在换填区域周边设置防渗土工膜，防止雨水渗入新填土层导致土体软化。

3. 强夯加固技术应用

强夯加固技术适用于碎石土、砂性土等粗颗粒路基的沉降处理，原理是通过重锤下落产生的冲击能，迫使路基土体颗粒重新排列，达成密实度提升、承载力增强的目标。施工前需结合路基厚度确定强夯能级与夯点布置，每遍夯击作业完成后，需测量路基沉降量，待沉降状态稳定后再开展下一遍夯击，通常需完成多遍主夯和1遍满夯。施工期间需避开周边建筑物密集区域，防止强夯振动引发次生问题；夯击作业结束后，需采用灌砂法对路基压实度进行检测，确认达标后才可进入后续路面施工环节，确保路基稳定性符合要求。如下表2所示，为沉降段路基施工技术应用表。

表2 沉降段路基施工技术应用表

| 技术类型 | 核心参数 | 应用效果指标 | 适用场景 |
|--------|----------------------------|----------------|------------|
| 注浆加固技术 | 注浆压力0.3-0.8MPa，浆液配比3:1:0.5 | 路基承载力提升20%-30% | 软土地基、局部沉降 |
| 换填处理技术 | 换填深度1.5-3.0m，压实度≥96% | 路基沉降控制值≤5mm/年 | 软弱土层、大面积沉降 |
| 强夯加固技术 | 强夯能级1000-3000kN m，夯点间距2-4m | 路基密实度提升15%-25% | 碎石土、砂性土路基 |

（二）沉降段路面施工技术应用

1. 沥青路面铣刨重铺技术应用

沥青路面铣刨重铺技术主要针对沉降段出现网裂与沉陷复合病害的场景，核心流程是铣刨破损层、重铺新面层。施工前需先清理路面杂物，采用专业设备对破损区域进行铣刨，确保铣刨面平整且无松散颗粒残留；重铺阶段选用改性沥青和玄武岩集料，摊铺前需检查材料温度与均匀度，避免因材料问题影响路面质量。摊铺过程中需控制设备行走速度，确保新面层厚度一致；摊铺后采用钢轮压路机与胶轮压路机组合压实，同时在新旧

沥青层之间喷洒乳化沥青粘层油，增强层间粘结力，防止后期出现分层开裂，切实恢复路面结构完整性^[6]。

2. 水泥混凝土路面修补技术应用

该技术适用于沉降引发板底脱空、裂缝的水泥混凝土路面，核心思路是针对性修复、结构强化。处理板底脱空时，需先确定脱空范围，再注入水泥浆与膨胀剂类浆液，填充空隙并提升板底支撑力；处理裂缝时，需先用工具清理裂缝内杂物，再注入环氧树脂浆液，注满后用环氧砂浆封堵表面，防止水分渗入。若混凝土板破损严重，需进行整块更换，新板浇筑采用钢纤维混凝土，

增强路面抗裂与承载能力。施工后需做好养护工作,设置临时警示标识禁止车辆通行,待强度达标后再开放交通,避免修复区域二次损坏。

3. 路面平整度控制技术应用

路面平整度控制技术贯穿沉降段路面施工全过程,核心是设备调控、过程监测,避免因平整度不足引发通行隐患。施工时采用摊铺机自动找平系统,结合激光平整度仪实时监测路面高程,及时调整摊铺参数;沥青路面施工中,控制摊铺机行走速度,防止速度波动导致摊铺厚度不均;水泥混凝土路面采用滑模摊铺机连续浇筑,减少施工缝数量^[7]。同时,在路面与路基衔接处设置过渡段,采用渐变式压实方式,缓解刚度突变问题。

(三) 沉降段施工监测与控制技术

该技术核心是实时监测、动态控制,贯穿路基与路面施工全过程,避免因参数偏差引发质量隐患。监测环节需聚焦路基沉降状态、路面高程变化、结构密实度三大核心指标,采用全站仪结合沉降观测点追踪路基沉降趋势,用地质雷达探测路基内部密实度,搭配平整度检测仪把控路面施工精度;所有监测数据需实时录入工程监测系统,确保数据可追溯、可分析。控制层面需建立超标响应机制,若监测发现沉降异常或压实度不达标,立即调整施工参数,如增加压实遍数、优化注浆配比,同时对照公路养护质量标准校验整改效果,形成“监测-分析-调整-复核”的闭环流程,切实保障沉降段施工质量稳定。

三、高速公路养护工程中预防沉降发生的几点建议

(一) 完善施工技术要求及标准体系

首先,在原有高速公路施工技术要求及标准的基础上,增加完善的高速公路养护质量标准、养护施工技术要求及标准。其次,结合可能发生的施工问题进一步完善养护施工技术要求及标准,提高高速公路养护施工质量,降低因不规范操作导致的养护施工质量问题发生,从而有效预防沉降等风险。最后,将施工人员素质考核、技术考核、上岗要求等列入施工技术要求及标准体系,以规范施工人员的行为。

(二) 加强施工材料质量管控

首先,建立高速公路养护施工材料质量标准体系,并组建专业小组,专门负责施工材料质量检测及管控工作。其次,必须按照施工合同上的技术要求及质量要求等选购施工材料。最后,每个施工环节都要设置材料质量监测岗位,指派专人负责每个施工环节的材料质量检测工作,强化施工材料质量管控,减少有质量问题的材料进入施工环节。

(三) 加强施工设计质量管控

首先,施工前组建专业的勘察小组到施工现场进行实地勘察,使用高精度仪器监测各种数据信息。其次,深入研究原始的高速公路施工设计方案,在这个基础上

筛选关键数据、技术标准及材料质量标准,然后结合现场勘察得到的数据信息设计出合理的高速公路养护施工方案。最后,根据养护施工要求及标准不断调整和优化施工方案。

(四) 加强水文气象监测

首先,施工前组建专业水文气象监测小组,由他们到需要养护的区域或者路段进行至少15天的水文气象监测。其次,对比不同季节、不同路段的水文气候数据,找到最佳时间开展作业,例如山地多的路段最佳养护时间在秋季;河流多的路段最佳养护时间在夏季。最后,引进无人机水文监测技术、智能水文监测技术等先进技术,进一步提高水文气象监测进度及效率,避免和减少因不准确水文气候数据导致的施工误差过大等问题发生,从而提高养护施工质量,降低沉降发生率。

结语

总之,在高速公路养护工程中导致沉降段发生的因素很多,主要包括养护施工技术因素、养护施工材料质量因素、养护施工设计因素、水文气候因素等,要结合实际要求及问题选择合适的沉降段处理技术。沉降段施工技术需依据路基土质、路面类型适配应用,通过技术协同与动态监测保障质量。适用于沉降段路基的施工技术有:注浆加固技术、换填处理技术、强夯加固技术;适用于沉降段路面的施工技术有:沥青路面铣刨重铺技术、水泥混凝土路面修补技术、路面平整度控制技术;以上技术都能够有效提高高速公路沉降段处理效果,提高高速公路质量及安全性。未来若结合智能化监测设备优化技术,可进一步提升养护效率与稳定性,为高速公路长期安全运营筑牢技术支撑。

参考文献

- [1] 马万飞, 苟志孝, 付士博, 等. 公路路基工程沉降段的路基路面施工技术[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(14): 88-90.
- [2] 李静. 道路桥梁沉降段路基路面施工技术要点分析[J]. 汽车周刊, 2025, (08): 247-249.
- [3] 张海军. 公路沉降段路基路面施工技术研究[J]. 运输经理世界, 2025, (14): 49-51.
- [4] 李倩. 沉降段路基路面施工技术在高速公路养护中的应用研究[J]. 运输经理世界, 2025, (04): 149-151.
- [5] 李祥. 高速公路沉降路段路基路面施工技术研究[J]. 交通世界, 2024, (33): 51-53.
- [6] 张吉祥. 高速公路施工中沉降段路基路面的施工技术研究[J]. 运输经理世界, 2024, (32): 34-36.
- [7] 李保泉. 高速公路施工中沉降段路基路面施工技术研究[J]. 运输经理世界, 2024, (22): 44-46.

作者简介: 郑坤宏, 男, 1995年10月, 汉族, 广东省梅州市梅县区人, 助理工程师, 研究方向: 路桥工程。