

道路桥梁沉降段路基路面设计要点

陈瑞豪

广设计有限公司 浙江 温州 325200

摘要：道路桥梁沉降段路基路面设计需综合地质、结构、材料与施工要素。设计时，应通过地质勘测精准评估软基分布及力学特性，针对性选择水泥喷桩、强夯等加固技术。结构上，需优化基层材料配比，分层压实确保密实度，并采用渐变带、土工格栅实现刚度过渡。材料方面，应优先选用抗变形能力强的沥青混凝土或高耐久性水泥混凝土。同时，完善排水系统，防止雨水下渗软化地基，并通过沉降预测预留变形空间，确保道路桥梁长期稳定性。

关键词：道路桥梁沉降段；路基；路面；设计要点

引言：道路桥梁作为交通网络的关键节点，其沉降段路基路面设计的合理性直接关系到结构安全与行车舒适性。由于软土地基压缩性高、沟壑地段土体稳定性差，加之路堤填筑缺陷、桥头搭板连接不当等因素，沉降问题易引发路面开裂、桥头跳车等病害，威胁通行安全并增加后期维护成本。当前，传统设计方法多依赖经验参数，难以精准应对复杂地质条件与动态荷载作用。因此，系统梳理沉降机理，结合新材料与智能技术优化设计，成为提升道路桥梁耐久性的核心方向。

1 道路桥梁沉降段路基路面沉降机理分析

1.1 地基变形机制

(1) 软土地基是沉降的重要诱因，其自身压缩性大且含水量高，在道路桥梁长期使用中，车辆反复荷载作用与地基自身重量叠加，会不断挤压地基内部水分与孔隙，使地基土体逐渐压缩，进而引发路基路面沉降，尤其在交通流量大的路段，沉降现象更为明显。(2) 沟壑地段地基受地形与地质条件影响，强度普遍较低，且孔隙率高，土体结构稳定性差。当承受上部路基、路面及车辆荷载时，孔隙难以承受压力而被压缩，土体易发生位移与变形，大幅加剧路基路面沉降风险，对道路桥梁通行安全构成威胁。

1.2 路堤变形机制

(1) 黏性土台背回填是路堤施工关键环节，若回填材料压实度不足，土体颗粒间存在较多空隙，且黏性土对含水量敏感，遇雨水或环境湿度变化，含水量波动会导致土体收缩或膨胀，破坏土体稳定性，最终引发路堤不均匀沉降，影响路面平整度。(2) 施工工艺缺陷会直接引发沉降问题，如分层填筑不规范，未按规定厚度、压实度分层施工，导致路堤内部土体密实度不均，存在薄弱区域。在后续使用中，薄弱区域易因荷载作用发生局部塌陷，进而影响整个路基路面的稳定性。

1.3 桥头搭板与伸缩缝连接问题

(1) 桥头搭板与伸缩缝接口若出现阶梯状缝隙，车辆行驶至该区域时会产生明显颠簸，这种颠簸会使车辆对路基路面的冲击荷载大幅增加。长期反复的冲击荷载会不断加剧路基路面的损坏，加速沉降进程，同时还会影响车辆行驶的舒适性与安全性。(2) 搭板支撑不均会破坏其受力平衡，导致搭板发生转动。搭板转动过程中，会使与之连接的路面产生附加应力，应力集中区域易出现裂缝、破损等问题，破损区域进一步发展会加剧路面沉降，形成恶性循环，严重影响道路桥梁的使用寿命。

2 道路桥梁沉降段路基设计要点

2.1 地质条件评价与处理

(1) 地质勘测是路基设计的基础，需通过钻探获取不同深度土层的物理力学参数，如压缩模量、内摩擦角等，同时结合原位测试（如标准贯入试验、静力触探试验），精准识别软基分布范围、厚度及力学性质，为后续处理方案制定提供数据支撑，避免因地质勘察不充分导致设计偏差。(2) 软基处理技术需根据工程实际选择：1) 水泥喷桩复合地基法通过高压喷射水泥浆与土体混合，形成强度较高的桩体，加固效果显著，能有效提高地基承载力，但材料与施工成本较高，更适用于沉降风险高、对地基稳定性要求严格的路段，如桥头衔接区域。2) 强夯法利用重锤自由下落产生的冲击能夯实土体，处理深度可达数米，能改善土体密实度，但施工工艺复杂，需根据现场土层性质（如含水量、颗粒级配）调整夯击能量、间距等参数，避免出现“橡皮土”等问题。3) 塑料排水板法通过在软基中插入排水板，形成竖向排水通道，加速土体内部水分排出，缩短固结时间，适用于含水量高、渗透性差的软土地基，且施工便捷、成本较低，在大面积软基处理中应用广泛^[1]。

2.2 基层类型选择与优化

(1) 基层作为路基承重结构的关键部分,需根据交通荷载等级(如轻型、重型交通)与地基承载能力选择合适材料:交通量大、荷载重的路段,优先选用强度高、稳定性好的混凝土基层;中等荷载路段可选用碎石或砂石基层,通过合理级配增强整体承载能力,减少路基变形。(2) 施工中采用混合填筑与分层平铺相结合的方式:对不同性质的填料(如黏性土、砂性土)进行混合处理,确保填料均匀性;同时严格按设计厚度分层填筑,每层压实度需达到规范要求(如 $\geq 96\%$),避免因填筑不均或压实不足导致基层沉降、开裂。

2.3 排水系统设计

(1) 为防止雨水渗入地基引发土体软化,需合理设置排水设施:在路基边坡设置急流槽与跌水,快速排出坡面雨水,避免水流冲刷边坡;在路基两侧及顶部设置截水沟,拦截路域外雨水,减少雨水下渗量,从源头降低地基软化风险。(2) 排水沟渠需提升耐久性:采用浆砌片石砌筑或混凝土预制板块铺设,增强沟渠抗冲刷能力,同时对沟渠接口进行密封处理,防止雨水渗漏;此外,定期清理沟渠内杂物,确保排水通畅,避免因沟渠堵塞导致雨水积聚,破坏路基稳定性^[2]。

2.4 沉降预测与补偿措施

(1) 借助地质勘察数据与数学建模(如分层总和法、有限元法)预测路基工后沉降量,根据预测结果在设计阶段提前预留变形空间,如调整路基高程,确保沉降稳定后路面高程符合设计要求,避免出现路面低于设计标高的情况。(2) 设置渐变带或土工格栅实现刚度过渡:在路基与桥台衔接处设置长度适中的渐变带,通过逐渐调整路基填料强度,减少路基与桥台的刚度差异;同时在路基薄弱区域铺设土工格栅,利用其抗拉性能分散荷载,降低应力集中,抑制路基不均匀沉降,提升路基整体稳定性。

3 道路桥梁沉降段路面设计要点

3.1 路面材料选择与配比

(1) 沥青混凝土凭借优异的抗变形能力成为重载路段的优选材料,其柔性特质能适应路基轻微沉降,减少路面开裂风险。在配比设计中,需选用高粘度沥青结合料,搭配间断级配骨料,提升混合料的高温稳定性与抗车辙性能,确保在长期重载作用下仍保持结构完整性。(2) 水泥混凝土虽具备高耐久性,能抵御雨水侵蚀与温度变化,但脆性较大易产生裂缝。设计时需优化配合比,掺入粉煤灰、矿渣等掺合料降低水化热,添加聚丙烯纤维或钢纤维增强抗裂性能,同时控制水灰比 ≤ 0.45 ,提高混凝土的密实度与抗渗性,平衡耐久性与抗裂

性。(3) 碎石基层以经济性优势广泛应用,但其承载力依赖严格的压实度控制。选材需确保碎石颗粒级配连续,最大粒径不超过基层厚度的 $1/3$,压实度需达到 96% 以上;同时在配比中掺入适量水泥或石灰作为稳定剂,提升基层整体强度与水稳定性,避免因基层变形引发路面破损。

3.2 路面结构设计

(1) 路面层次与厚度需结合交通流量精准设计,通常采用多层复合结构。以中等交通量路段为例,上面层选用5cm改性沥青混凝土,利用改性沥青的高弹性提升抗疲劳能力;中面层采用6cm中粒式沥青混凝土,承担主要承重作用;下面层铺设8cm粗粒式沥青混凝土,增强结构整体性与抗变形能力。各层厚度需根据轴载次数调整,重载路段可适当增加下面层厚度至10cm。(2) 变形补偿设计是减少路面裂缝的关键,可采用柔性连接技术,在路面与桥台衔接处设置弹性垫层,缓冲沉降差异带来的应力;也可优化伸缩缝设计,选用模数式伸缩缝,提升其适应变形的能力;对于易发生不均匀沉降的区域,铺设楔形软相位板,通过渐变的厚度实现路面刚度过渡,避免应力集中导致的裂缝产生^[3]。

3.3 施工工艺控制

(1) 摊铺与压实环节需严格遵循操作规范,摊铺设备选用带自动找平功能的沥青摊铺机,确保摊铺速度稳定在 $2\sim 4\text{m}/\text{min}$,避免因速度波动影响平整度;压路机采用“初压静压+复压振动+终压静压”的组合方式,初压温度控制在 $130\sim 150^\circ\text{C}$,复压时碾压次数不少于4遍,最终确保路面平整度误差 $\leq 3\text{mm}$,满足行车舒适性要求。(2) 填料含水量控制直接影响压实质量,施工前需通过试验确定最佳含水量,施工中实时监测填料含水量,确保其控制在最佳含水量 $\pm 2\%$ 范围内。若含水量过高,需采用晾晒或掺加干料的方式调整;若含水量过低,则适量洒水补充,避免因含水量不当导致压实不足或出现弹簧现象,保障路面结构的承载能力与稳定性。

4 道路桥梁沉降段路基路面设计技术创新方向

4.1 新型材料研发

(1) 高延性混凝土(ECC)凭借独特的微观结构设计,抗拉强度可达普通混凝土的 $5\sim 10$ 倍,且具备超强抗裂性与能量耗散能力。在沉降段路面应用中,当路基出现轻微沉降引发路面微裂缝时,ECC能通过纤维桥接作用抑制裂缝扩展,甚至通过自身韧性修复微小裂缝,大幅降低路面破损概率,将路面使用寿命延长 30% 以上,尤其适用于软土地基等易沉降路段。(2) 高性能土工合成材料是地基加固的创新突破,如研发的高强度土工格室,

通过立体网格结构与地基土体形成紧密咬合,可将地基与填料的界面摩擦力提升40%-60%,有效约束土体侧向位移,抑制不均匀沉降;新型土工毡则兼具排水与防渗功能,能快速排出地基内部积水,同时阻隔外部水分渗入,为地基稳定提供双重保障,在沟壑地段等复杂地质条件下优势显著。(3)自修复材料为路面维护提供主动解决方案,目前重点探索的微胶囊自修复沥青,将含有修复剂的微胶囊掺入沥青混合料中,当路面因沉降产生裂缝时,微胶囊破裂释放修复剂,在裂缝处形成新的粘结层,实现裂缝自主修复;纤维增强自修复沥青则通过纤维的吸附与缓释作用,延长修复剂作用时间,进一步提升修复效果,减少人工维护成本与道路养护对交通的影响。

4.2 结构创新设计

(1)组合式桥头搭板打破传统单一材料局限,采用钢-混凝土组合结构:钢板作为受拉区受力构件,混凝土承担受压荷载,二者通过剪力钉连接形成协同工作体系,在减轻搭板自重25%-30%的同时,将抗弯刚度提升50%以上。这种结构能有效抵抗搭板因支撑不均产生的转动应力,减少搭板与路面衔接处的破损,解决传统搭板易开裂、使用寿命短的问题。(2)三维模块化路基通过工厂预制标准化路基模块,模块内部设置钢筋骨架与排水通道,现场施工时仅需通过高强度螺栓拼接组装,形成整体式路基结构。相比传统现场填筑施工,施工效率提升2-3倍,且模块间连接紧密,能有效分散荷载,减少因施工质量不均导致的沉降风险,尤其适用于工期紧张的道路桥梁改扩建工程。(3)可调式伸缩缝通过集成液压或机械调节装置,实时监测伸缩缝处的沉降量:当路基出现沉降导致伸缩缝宽度变化时,调节装置可自动或手动调整伸缩缝的支撑高度与缝隙宽度,避免传统刚性伸缩缝因沉降产生的挤压或拉裂问题,确保伸缩缝始终处于稳定工作状态,减少车辆通行时的冲击荷载,保护路面结构^[4]。

4.3 数值模拟与人工智能应用

(1)多物理场耦合分析突破传统单一因素模拟局限,建立涵盖地基、路堤、路面的三维耦合模型,同时

考虑车辆动荷载、环境温度变化与地下水渗流等多物理场作用:通过有限元软件模拟不同工况下各结构层的应力应变分布,精准识别沉降敏感区域,进而优化路基填料配比、路面厚度等设计参数,使设计方案更贴合工程实际受力情况。(2)机器学习预测模型依托大数据技术,收集大量历史工程的地质勘察数据、施工参数与工后沉降监测数据,通过神经网络算法训练模型:模型可根据新项目的地质条件(如土层分布、含水量)与设计参数,快速预测工后沉降量,预测精度可达90%以上,为设计阶段预留沉降空间、选择处理技术提供量化依据,避免经验设计的局限性。(3)生成式设计(GD)将设计需求(如承载能力、造价预算)转化为算法参数,利用计算机自动生成数十种甚至上百种路基路面设计方案:通过内置的性能评价体系,从结构稳定性、经济性、施工可行性等维度对方案进行评分排序,快速筛选出最优方案。这种设计模式不仅将设计周期缩短40%-50%,还能突破人工设计思维局限,挖掘出更具创新性的结构形式与参数组合。

结束语

道路桥梁沉降段路基路面设计是保障结构安全与运行耐久性的关键环节。通过系统分析地基变形、路堤失稳及连接病害等机理,结合地质勘测、材料优化与结构创新,可有效控制沉降风险。未来,随着高延性混凝土、自修复材料等新型技术以及数值模拟、人工智能的深度应用,设计将向精准化、智能化方向发展。这不仅有助于延长道路桥梁使用寿命,更能降低全生命周期成本,为交通基础设施的可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]杨雪婷.道路桥梁沉降段路基路面施工技术要点研究[J].汽车周刊,2025,(11):129-131.
- [2]聂丹,翁桂林.道路沉降段路基路面设计要点研究[J].低碳世界,2024,(09):115-117.
- [3]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):87-89.
- [4]唐高华.道路桥梁沉降段路基路面施工技术要点分析[J].运输经理世界,2025,(05):50-52.