

# 公路改扩建工程新旧路基拼接处的差异沉降控制标准

杨红福

云南云岭高速公路工程咨询有限公司 云南 昆明 650041

**【摘要】：**公路改扩建工程中，新旧路基拼接处的差异沉降是制约工程质量的关键问题。差异沉降易引发路面开裂、结构失稳，影响行车安全与道路使用寿命。需明确差异沉降的影响因素，包括地基承载力差异、新旧路基材料性质不同、施工工艺差异等；分析现行控制标准的适用性，涉及沉降量限值、沉降速率等指标；并探索有效的控制技术，如地基处理、路基加筋、排水系统优化等。通过系统研究，为制定科学合理的控制标准提供依据，以保障公路改扩建工程的结构稳定性和运营可靠性。

**【关键词】：**公路改扩建；新旧路基拼接；差异沉降；控制标准；沉降控制技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.01.041

## 引言

在公路改扩建工程中，新旧路基拼接处的差异沉降是影响工程质量与运营安全的突出问题。这种差异沉降源于地质条件、材料性质、施工工艺等多方面因素的耦合作用，不仅会导致路面早期破坏、路基稳定性下降，还会威胁行车安全并增加运营成本。如何科学构建新旧路基拼接处差异沉降控制标准，实现工程安全、结构耐久与行车舒适的平衡，成为行业关注的焦点。深入探究其产生机理、优化控制标准、评估实践效果，对提升公路改扩建工程质量具有重要意义。

## 1 新旧路基拼接处差异沉降的产生机理与危害表现

### 1.1 差异沉降的产生机理

新旧路基拼接处的差异沉降源于多因素耦合作用，核心在于新旧路基及地基在物理力学性质、受力状态和时间效应上的显著差异。地质条件方面，原有公路地基经长期荷载作用已趋稳定，土体孔隙比降低、密实度提高；新建路基下方地基处于初始受力状态，土体骨架未完成固结变形，这种固结程度的时空差异直接导致沉降速率与最终沉降量不同。软土地区尤为明显，旧路基下卧层土超孔隙水压力基本消散，新路基加载引发新的孔隙水压力积聚与消散，形成明显沉降差。路基材料性质差异是关键诱因，旧路基填料经长期压实与自然固结，颗粒级配、压实度及含水率稳定，回弹模量较高；新建路基虽严格控制压实度，但新填料孔隙结构、颗粒间黏聚力与旧路基存在固有差异，相同荷载下压缩变形更大。且新旧路基界面处理质量影响应力传递效率，界面若有松散层或结合不良，会导致应力集中，加速差异沉降。施工工艺与荷载条件变化进一步加剧差异沉降；旧路基已适应运营期间周期性车辆荷载；改扩建中，新路基承受自身填土荷载、施工机械集中荷载及未来交通量增长附加应力，

荷载类型与量级突变打破了路基受力平衡。同时，新路基施工的分层填筑厚度、压实机械选型等参数若与旧路基有偏差，会导致刚度分布不均，形成沉降变形“薄弱界面”。

### 1.2 差异沉降的危害表现

新旧路基差异沉降对公路结构的危害具有渐进性和累积性，首先体现为路面结构早期破坏。沉降差超限时，路面基层与面层产生附加拉应力，超过材料抗拉强度后，拼接界面出现横纵向裂缝。裂缝影响平整度，还成为雨水下渗通道，导致路基土含水率升高、强度降低，形成“水毁-沉降加剧-裂缝扩展”恶性循环。沥青路面可能引发面层破碎、错台，水泥混凝土路面易出现板角断裂、脱空，显著缩短使用寿命。对路基结构稳定性而言，差异沉降导致结合部剪切变形，不均匀沉降产生附加应力超过路基容许强度时，严重时引发滑坡或坍塌。高填方路段，沉降差可能使路基内部产生贯通性剪切面，破坏整体受力平衡。同时，差异沉降影响排水系统功能，拼接处沉降差会导致边沟、截水沟等断裂或错位，排水不畅进一步加剧路基水损害。从行车安全与运营效益看，差异沉降降低路面平整度，车辆行驶产生颠簸、振动，影响驾乘舒适度，增加车辆磨损与能耗。更严重的是，路面病害可能延长制动距离、降低操控性能，增加交通事故风险。修复病害需投入大量养护资金与人力，频繁养护影响公路正常通行，降低运营效率，对区域交通运输经济不利。

## 2 公路改扩建工程差异沉降控制标准的构建与优化路径

### 2.1 控制标准构建的原则与核心指标

差异沉降控制标准的构建需以工程安全性、结构耐久性和行车舒适性为核心原则，同时兼顾技术可行

性与经济合理性。安全性原则要求标准能够有效规避路基失稳、路面断裂等恶性病害，通过设定严格的沉降预警值，为应急处置预留充足缓冲空间；耐久性原则需确保控制指标与道路设计使用年限相匹配，不仅关注施工期与通车初期的沉降达标，更要通过长期变形预测模型，避免短期达标但运营后期因累积变形超限引发结构失效；舒适性原则则需结合车辆动力学仿真，量化不同车型对沉降差的敏感阈值，减少颠簸与振动对驾乘体验的影响，尤其需保障高速公路等干线公路的平顺性要求。核心指标体系应包含沉降差限值与沉降速率两类指标。沉降差限值针对新旧路基拼接界面处的相对变形，直接关联路面结构的受力状态，需根据路面类型差异化设定：沥青路面侧重控制面层与基层的协同变形，避免拉应力集中导致的网状裂缝；水泥混凝土路面则需严格限制板体错台量，防止接缝处产生冲击荷载。同时，该限值需结合路基高度及填料性质动态调整，高填方路段与特殊土路基应适当收紧控制要求。沉降速率指标用于反映沉降发展的动态过程，通过控制沉降随时间的变化速率，避免因变形过快导致结构应力集中，尤其在软土地基路段，需通过速率管控平衡施工进度与结构稳定性。此外，还需纳入地基处理后的承载力均匀性指标，通过平板载荷试验等手段验证新旧路基下卧层的刚度匹配度，确保受力状态的协调性，从根源上减少差异沉降的产生潜力。

## 2.2 控制指标的阈值确定方法

控制指标阈值的确定需结合理论计算、室内试验与工程类比综合论证。理论计算层面，通过建立路基-路面结构耦合力学模型，引入弹塑性本构关系模拟材料非线性行为，分析不同沉降差条件下路面层的应力分布特征，以材料极限强度为约束反算允许沉降差。对于沥青路面，重点关注面层与基层的拉应力超限值，结合疲劳损伤理论考量重复荷载下的累积破坏效应；对于水泥混凝土路面，则需核算板体的弯拉应力与接缝处的剪切应力，同时纳入温度梯度产生的附加应力影响。室内试验通过模拟新旧路基材料的界面特性，采用大型直剪仪开展不同法向应力下的界面剪切试验，结合固结仪测定不同压实度、含水率条件下的压缩曲线与孔隙比变化，获取变形参数与时间效应关系，为阈值设定提供基础数据。工程类比法则需系统梳理同类地质条件下已建工程的沉降监测数据，建立差异沉降量与路面病害类型、发生频率的关联矩阵，总结关联性规律，提炼出经实践验证的安全阈值区间。同时，需考虑区域气候特征的影响，在多雨地区适当提

高排水相关的附加控制要求，强化路基回弹模量的湿度敏感性修正；在冻融地区则需纳入温度变化引发的冻胀融沉修正系数，结合冻胀量与融沉量的叠加效应调整阈值区间。

## 2.3 控制标准的动态优化路径

控制标准的优化需建立“监测-反馈-调整”的动态机制。通过在新旧路基拼接处布设自动化监测系统，实时采集沉降变形数据，结合数值模拟技术预测后续变形趋势，当监测值接近控制阈值时及时启动预警，为现场处理提供决策依据。动态调整机制应区分施工期与运营期两个阶段：施工期重点优化填筑速率与压实工艺，根据沉降速率反馈调整分层碾压参数；运营期则需结合交通荷载变化，对长期沉降控制指标进行适应性修正。多技术融合是标准优化的重要支撑，将地质雷达探测、无人机变形监测等先进技术纳入标准实施体系，提升沉降监测的精度与效率；引入大数据分析方法，建立区域差异沉降数据库，通过机器学习挖掘地质条件、施工参数与沉降规律的内在关联，为标准的精细化修订提供数据支撑。同时，需推动控制标准与新型路基处理技术的协同发展，针对加筋土路基、轻质填料路基等创新结构形式，制定专项补充标准，确保技术应用与控制要求的匹配性。

## 2.4 区域适应性与标准体系完善

控制标准需具备区域适应性调整能力，针对不同地貌单元的地质特征差异化设定指标。在软土分布广泛的区域，因土体天然含水率高、压缩性大，需适当降低沉降速率控制阈值，强化地基预处理的控制要求，如增加排水板间距、延长预压期等，确保地基固结度达标后再进行路基拼接；在云南等红土地区，需重点考虑湿陷性、强水敏感性引发的附加沉降，结合室内浸水试验数据，增设浸水条件下的变形控制条款，明确红土路基处理后的湿陷系数限值，同时要求施工中采取截水防渗措施减少水分侵入；在岩溶发育区，则需补充溶洞处理后的地基均匀性验证标准，通过跨孔声波检测等手段评估溶洞填充体的完整性，避免因局部空洞导致后期不均匀沉降。标准体系的完善还需加强行业协同，推动设计、施工、监测等环节的标准衔接。

## 3 控制标准在典型工程中的实施参数与工艺适配

实践应用中需根据地质条件匹配差异沉降控制参数。在软基路段，采用水泥搅拌桩、塑料排水板等处理时，排水板间距控制在0.8~1.2m，深度穿透软土层至砂层，预压荷载为路基自重荷载的1.2~1.5倍，

预压期不少于6个月，需确保复合地基承载力特征值 $\geq 120\text{kPa}$ 。对于拼接台阶开挖，标准要求每级台阶高度不超过80cm，宽度不小于150cm，台阶内倾坡度控制在2~4%，同时采用重型压路机（激振力 $\geq 40\text{t}$ ）进行碾压，使拼接区域压实度达到96%以上。土工格栅铺设时，其抗拉强度不低于80kN/m，延伸率 $\leq 10\%$ ，铺设层间距为40~50cm，搭接宽度需保持30cm以上并用U型钉固定。

#### 4 多源监测技术在标准验证中的应用与数据融合

现代工程采用自动化监测系统验证控制标准执行效果。静力水准仪系统布设间距为20m，测量精度达 $\pm 0.2\text{mm}$ ，实时监测沉降变化；分布式光纤传感技术沿路基纵向铺设，可检测0.01%的应变变化。某山区高速改扩建项目融合InSAR遥感技术，获取沿线的高程变化数据，空间分辨率达3m，结果显示拼接区域月沉降速率控制在2.8mm/月以内。监测数据通过云平台实时分析，当差异沉降量超过预设阈值（如5mm/周）时自动触发预警，指导现场调整填筑速率或采取加固措施。

#### 5 区域适应性标准的实践检验与参数优化

不同地质条件下控制标准需进行本地化调整（表1）。在软土地区，经真空联合堆载预压处理后，沉降速率限值调整为2mm/月；红土地区强夯处理后，压实度要求提高至97%，湿陷系数控制在0.015以下；膨胀土地区采用石灰改良（掺量6~8%）后，自由膨胀率降至35%以下。某高速公路改扩建工程监测显示，针对软土地基段采用的管桩复合地基（桩径0.4m，桩间距2.5m，桩长16m）使差异沉降控制在3cm内，显著低于规范要求的5cm限值。基于大量工程数据，部分地区将高填方路段差异沉降限值从10cm调整为8cm，并对拼接部位压实度标准提高2个百分点。

表1 不同地质条件下控制标准实践应用效果对比

地质	处理技术	监测周期	沉降差控制值	沉降速率(mm/月)	压实度要求	数据来源
----	------	------	--------	------------	-------	------

条件		(月)	(cm)	月)	求(%)	
软土地区	真空联合堆载预压	24	5.2	2.1	95	JTJ D30-2015
红土地区	强夯+灰土挤密桩	18	4.8	3.5	97	GB 50025-2018
膨胀土地区	石灰改良	12	6.3	4.2	96	JTG D30-2015
岩溶区	注浆加固	36	3.7	1.8	98	GB 50843-2013

#### 6 长期性能评估与标准优化反馈机制

控制标准的效果评估需建立5年以上的长期监测体系。通过对已运营改扩建路段的车辙深度、平整度及裂缝发展等指标跟踪研究对比，发现差异沉降控制在4cm以内的路段，路面使用性能指数（PPI）在运营8年后仍保持在85以上。车载激光弯沉检测显示，严格控制沉降的路段弯沉值年增长量不超过0.02mm，远低于允许值0.05mm/年。基于大量工程实践反馈，现行标准中对拼接部位的材料模量比要求从最初的1.5:1调整为不超过1.2:1，同时对高填方路基地基系数K30要求从110MPa/m提高到130MPa/m。长期评估表明，严格执行优化后标准的项目，在运营期内养护成本显著降低，路面大修周期延长。

#### 7 结语

公路改扩建工程新旧路基拼接处的差异沉降控制标准，是保障道路安全运营的重要基石。明确其产生机理与危害，构建并优化科学的控制标准，再通过实践应用与效果评估不断完善，方能有效化解差异沉降难题。未来需持续结合工程实际，推动控制标准与技术的创新融合，为公路改扩建工程的高质量发展提供坚实支撑，助力打造更安全、耐用的交通基础设施。

#### 参考文献：

- [1] 邱毅.公路改扩建新旧路基差异沉降控制技术应用与效果分析[J].交通世界,2023,(22):46-48.
- [2] 王强.新旧路基拼接台阶处理技术[J].交通科技,2024,(3):55-58.
- [3] 周伟.高速公路拓宽路基差异沉降控制技术研究[J].交通建设与管理,2024,(7):44-49.
- [4] 张军辉,等.湿热地区路堤拼接沉降控制关键技术取得突破[J].科技日报,2024,(6):7.
- [5] 章海明.拓宽公路差异沉降问题的研究现状与成果综述[J].路基工程,2024,(5):1-6.