

# 道路桥梁工程沉降段路基路面施工关键技术探析

文 / 张 曜 济南能源工程集团有限公司

**摘要:** 本文对道路桥梁工程沉降段路基路面的施工关键技术进行深入探析, 分析沉降段施工中常见的技术难题并提出相应的技术对策。通过采用先进的地基加固、沉降监测技术以及创新的施工工艺, 可以有效减缓沉降带来的负面影响, 保证道路桥梁工程的质量和长期使用性能。此外, 随着智能化技术的发展, 基于实时数据监控的沉降预警系统和动态调整施工方案的技术手段, 成为未来沉降段施工技术的关键发展方向。通过研究期望能够为道路桥梁工程施工中的沉降段问题提供切实可行的技术参考, 推动相关领域的技术进步和工程质量的提升, 确保交通基础设施的长期稳定性与安全性。

**关键词:** 道路桥梁工程; 沉降段路基路面; 施工关键技术

【DOI】 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2025. 03. 042

## 前言

沉降段的发生往往导致路面破损、结构不均匀、承载力下降等问题, 这些都会引发频繁的维护和修复工作。通过研究沉降段施工的关键技术, 能够有效提高施工过程中的精准度和控制力, 确保施工质量, 减少由于沉降问题导致的结构损坏和事故发生, 保障道路桥梁的安全性和可靠性。

### 一、沉降段路基路面的特殊性分析

沉降段最显著的特点之一是其不均匀沉降, 由于土体的性质、地质结构或施工工艺等因素的不同, 沉降通常在局部区域显现, 导致路基或路面发生不同程度的沉降。沉降段中的某些部分会出现较大沉降, 而其他部分几乎没有变化, 造成这种现象的原因是土体密实度不均、填土方式不当或地质条件的差异。不均匀沉降容易引发路面裂缝、龟裂、塌陷等现象, 导致道路的平整度和承载能力下降, 从而影响交通安全(图1)。

沉降段的沉降是一个动态过程, 通常分为初期沉降和长期稳定沉降。初期沉降较快, 特别在软土或松散土层中, 因土壤压实不足, 受外部荷载影响显著。随着时间推移, 沉降速度减缓, 主要由土壤固结、压实和应力变化引起。经过较长时间沉降后, 路基和路面的沉降趋于稳定, 幅度减小, 最终趋于平衡。尽管沉降减缓, 仍需定期监测防止再次加剧。



图1 道路不均匀沉降

## 二、沉降段路基施工关键技术

### (一) 地基处理技术

(1) 压实技术。压实是道路桥梁工程中常用的地基处理方法, 通过机械设备对土体进行压缩, 使土壤密实, 从而提高土体的承载能力, 减少沉降。通过使用重型机械如振动压路机、平地机等对土体进行反复压实, 降低土体的孔隙率, 增强土体的密度和抗剪强度。压实不仅能提升土体的稳定性, 还能改善土体的排水性能, 减少软弱土层的沉降, 其压实效果最佳, 尤其适用于干燥的黏性土、沙土、砾石土等。适用于地基深度较浅且土层相对均匀的沉降段, 能够有效提高路基的整体稳定性。

(2) 加固技术。加固技术通过采用各种方法提高土体的强度和稳定性, 通常通过人工或机械手段改善土壤结构, 常见的加固方法有土工合成材料加固、深层搅拌法等。土工布、土工格栅、土工膜等土工合成材料能够改善土体的结构性, 增强路基的承载力和抗沉降能力, 尤其是在软弱地基上, 土工合成材料能够有效分散外荷载, 避免路基沉降过大。土工格栅通过将土工格栅嵌入土层中, 增强土体的抗拉强度, 抑制不均匀沉降和土体变形。土工布和土工膜可以作为隔离层, 避免土壤与填土直接接触, 从而减少沉降和水分渗透带来的不利影响。深层搅拌法通过将水泥、石灰等固化材料搅拌入软弱土层中, 提高土层的强度和稳定性, 通过深层搅拌, 将不良土质转化为更具承载力的土体, 改善路基的沉降性能。

(3) 注浆技术。注浆加固技术是通过向土体中注入一定的浆料如水泥浆、化学浆液等来改变土体结构和性质, 提高土体的承载力和抗沉降能力, 常见的注浆技术包括水泥注浆、化学注浆等。水泥注浆是将水泥浆或水泥浆与添加剂混合后注入土层中, 通过水泥浆的硬化作用, 增强土体的密实度和强度, 降低沉降量。适用于软弱地基、松散土层及不稳定地基的加固, 尤其对于土壤含水率较高的地区, 水泥浆能够有效提高土体的黏结性和承载力。化学注浆采用化学材料如聚氨酯、丙烯酰胺等化学浆液注入土层, 化学浆液与土体发生反应, 形成具有高强度的固结体, 能够大幅提升土体的强度和稳定性。特别适用于湿陷性黄土、膨胀土、砂土等土质, 能够快速提高土体的承载力, 减少沉降和位移。

## （二）沉降段土体改良技术

（1）化学固化技术。化学固化是通过将化学固化剂如水泥、石灰、聚氨酯等与土壤混合，利用化学反应提高土体的强度、密实度和稳定性，这种方法适用于软弱或水敏感性强的土壤，能够有效改善土体的物理性质，减少沉降和不均匀变形。通过将水泥浆注入土体或与土壤混合，使其在化学反应后形成稳定的固结体，增强土壤的抗压和抗剪强度。石灰具有较强的吸水性和与土壤反应的能力，能有效稳定膨胀土和湿陷性黄土，防止其在湿润条件下的膨胀和收缩。通过注入聚氨酯类化学材料，使其在土体中扩展并硬化，从而大幅提高土体的承载力和防水性能。

（2）机械加固技术。机械加固通过利用机械设备对土体进行加固、密实，改善土体结构，增强土体的承载力和抗沉降能力，常见的机械加固方法包括深层搅拌法、振动压实法等。深层搅拌法通过专用的深层搅拌机将水泥、石灰等固化材料与土层进行混合，使土体发生物理和化学反应，生成强度较高的固结体，深层搅拌法能够在较深的土层中有效加固土体，改善其承载力和沉降性能。振动压实法通过振动压路机等机械设备对土体进行强力振动，促进土体粒间的相互摩擦与密实，使土体达到更高的密度，提高其承载力，减小沉降。

（3）桩基加固技术。桩基加固技术通过在沉降段区域打桩，形成桩基系统来加固路基土体，这种方法能够有效解决地基不均匀沉降和承载力不足的问题，常见的桩基加固方法有预应力桩、灌注桩等。预应力桩通过打入深桩并施加预应力，使桩基与土层之间形成良好的联结，提高土体的抗沉降能力，预应力桩能够在沉降段区域形成更为稳固的承载体系，防止土体因沉降引起的路面变形。灌注桩利用灌注桩技术在沉降段区域形成桩群，并通过桩与土体的共同作用增加土体的承载力和稳定性。桩基加固技术适用于沉降段的深层土体加固，特别是当地基存在大范围的不均匀沉降或承载力严重不足时，桩基加固技术能够有效改善地基的稳定性。

## （三）沉降段施工的分层技术

每层土体的厚度应根据土质特性、施工设备和土壤压实性确定，一般控制在20-30厘米，以避免压实不充分。每层填筑后需进行充分压实，确保达到设计要求。常用设备包括振动压路机、静压机等，以消除土体空隙，提升承载力。施工时，要保持土体含水量在最佳压实状态，避免过干或过湿影响效果。土体均匀性是关键，避免局部过厚或过薄，保证层次稳定。现代机械化设备，如铲土机、推土机和振动压路机，提高施工精度与效率，减少人工误差。对于软土或高含水区域，注浆技术可提高土体密实度和承载力，注浆后再压实，有效控制沉降不均风险。每层施工后需进行质量检测，确保

压实度和稳定性符合要求。施工过程中，需实时进行沉降监测，并根据数据调整施工方案，确保路基沉降均匀，稳定性达到设计标准。

## 三、沉降段路面施工关键技术

### （一）路面结构设计优化

（1）路面材料选择。对于沉降段，可以选用具有较高弹性的材料，如沥青混凝土、弹性基底材料等，这些材料能够在沉降过程中起到一定的缓冲作用，减少沉降不均带来的应力集中，避免路面出现裂缝或开裂。在沉降段施工中，如果地基土质较软或松散，可选用具有较高抗压强度和耐久性的路面材料，例如高强度水泥混凝土，这样可以增强路面结构的承载能力，有效应对沉降带来的不均匀荷载分布。结合传统材料与现代复合材料可以增强路面整体的稳定性和抗变形能力，这些材料具有较强的抗拉强度和抗疲劳能力，能够提高路面在沉降段中的耐久性。

（2）路面厚度设计。沉降段的路基通常具有不均匀沉降的特性，因此路面厚度设计需要考虑到局部沉降的影响。对于地基沉降较大的区域，可以适当增加路面厚度，以增强其对不均匀沉降的适应能力。同时，在沉降较小的区域，可以减少路面厚度，优化材料使用，降低工程成本。在路面结构中，可采用分层设计的方法，通过不同层次的设计来适应沉降段的特殊性。每一层的厚度可以根据沉降段的土质特性和荷载情况进行合理调整，从而实现更均匀的负荷分配和较小的沉降变形。在设计路面时，可以通过不同层次之间的渐变设计来实现柔性过渡，从而减少因地基沉降差异导致的应力集中。通过合理的厚度设计，逐层增加材料强度和刚度，提升路面对沉降的适应能力。

（3）沉降段路面结构设计的特殊考虑。沉降段伴随有较为频繁的沉降周期，设计时应结合地基土层的沉降特性和交通荷载进行动态响应分析，确定最优的路面结构和材料配比。这可以有效预测路面在不同沉降周期下的变形趋势，从而采取相应的设计措施避免路面破坏。在沉降段的路面设计中，可以引入一定的沉降补偿设计理念，通过设计柔性较好的路面结构或设置弹性层，能够在沉降发生时实现路面逐步调整，保持路面的平整性。此类设计有助于提高沉降段的使用寿命，减少维修和养护工作量。针对沉降段不同区域存在的不同沉降特征，采用分段设计来针对性地优化路面结构，对于沉降较大或承载力较低的区域，可以进行局部加固设计，采用加强板、钢筋网等结构材料来增强局部路面的稳定性。

### （二）路面施工工艺创新

（1）振动压实法通过振动设备如振动压路机向土体施加动态振动作用，使土体颗粒重新排列并降低孔

隙率，从而增强土体的承载力和抗沉降能力（图2）。振动的频率和幅度可以根据土质的不同进行调整，以达到最佳的压实效果。通过反复振动，土体的颗粒更加紧密排列，减少了土体中的空隙，从而提高了路基的承载力，降低了后期沉降的风险。振动压实法能够更均匀地处理土体，避免了传统填筑方法中可能出现的局部沉降不均，通过精确控制每层土体的振动时间和强度，确保施工过程中的土体均匀沉降。



图2 振动压路机施工现场

(2) 冷再生技术通过机械设备将现有的路面进行破碎、筛分、混合，并添加适量的再生剂如水泥、石灰等后，再进行重新铺设，该过程不需要加热材料，因此比热再生工艺更为环保和经济。冷再生技术通过优化路面结构和材料配比，使路面具备更好的弹性和韧性，能够有效应对沉降带来的应力变化，减少裂缝的产生。冷再生技术能够提高路面的耐久性和稳定性，减少后期因沉降不均而导致的维修需求，此外，该技术采用现场施工，不仅节省了施工材料，还减少了交通干扰和施工周期。在沉降段施工中，采用冷再生技术可以直接利用原有路面材料，避免了土体的过度扰动和不均匀沉降。通过对原材料的优化再生，路面能够实现更加均匀的负荷分配和沉降调整。

(3) 自密实混凝土是一种新型混凝土材料，具有很高的流动性和自密实性。在沉降段的路面施工中，采用自密实混凝土技术可以有效提高路面的密实度和耐久性，减少由于沉降导致的空隙和裂缝。自密实混凝土不需要振动或压实即可实现自密实，其流动性和自填充能力使其能够更均匀地填充模板，并减少施工过程中的气泡或孔隙。沉降段路基存在不均匀沉降的风险，采用自密实混凝土能够更好地填充土体中的空隙，确保路面具有更高的密实性，减少沉降过程中出现的裂缝。由于自密实混凝土具有更好的流动性和填充性，在沉降段施工

中能够更好地适应不均匀沉降的要求，避免路面因不均匀沉降导致的开裂。

### (三) 沉降监测与养护技术

沉降监测系统是通过一系列监测仪器和技术手段，实时监控沉降段的土体和路面变化情况，系统可以提供动态的沉降数据，为施工过程中的调控和后期养护提供科学依据。地基沉降计用于监测路基的沉降情况，可以实时反映沉降变化，并具备较高的精度。地质雷达技术利用高频电磁波探测地下土体的层次和结构，尤其适用于监测沉降段中的不均匀沉降问题，通过地质雷达技术，可以获得土体的密实度、厚度等参数，帮助预测沉降趋势。应变计与位移传感器安装在关键部位，如桥墩、路面等，实时监测地基和结构的变形情况，特别是在施工阶段和后期养护过程中，提供实时反馈。GPS定位系统通过高精度的GPS设备，能够准确监测路面和地基的沉降速度及沉降量，尤其适用于大规模的沉降监测项目。数据采集频率应根据沉降段的特殊性进行设置，施工初期可以采用高频率监测，以便及时发现潜在的沉降问题，随着工程进度的推进，数据采集频率可以适当降低。监测数据的处理和分析通常借助数据分析软件或云平台，实时计算沉降值、沉降速率等，绘制沉降曲线，帮助工程师判断是否超出预期标准，进而做出调整。

### 结论

综上所述，沉降段的施工难点在于不均匀沉降和地基承载力不足，有效的地基处理技术如压实、加固和注浆等，是确保沉降段施工稳定性的重要手段。这些技术能有效减少不均匀沉降，增强路基的承载力。同时，实时沉降监测系统和后期养护措施对于沉降段施工至关重要，沉降数据的持续监控和分析可帮助及时调整施工方案，防止沉降不均等问题对工程质量产生影响。

### 参考文献

- [1] 王慧. 道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术[J]. 四川建材, 2023, 49(07): 107-109.
- [2] 康忠明. 道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术探讨[J]. 石材, 2023, (04): 42-44.
- [3] 张灵通. 道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术分析[J]. 新型工业化, 2022, 12(08): 113-117.
- [4] 王虎. 道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术探讨[J]. 新疆有色金属, 2022, 45(04): 85-86.
- [5] 王寅生. 市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术[J]. 建筑与预算, 2022, (05): 74-76.
- [6] 李鸿. 道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术分析[J]. 住宅与房地产, 2021, (34): 222-223.