

公路桥梁沉降段不良地基处理方法研究

马 超

安徽省新路建设工程集团有限责任公司 安徽 阜阳 236000

【摘要】：公路桥梁沉降段属路桥病害高发区，不均匀沉降、承载力不足与抗渗抗变形能力偏弱直接影响行车安全及工程寿命，本文针对这些问题采用换填找平、复合加固和防渗加筋等技术开展处置，并优化浅层置换、分层压实、桩基复合、挤密改良、高压注浆与土工加筋等施工工艺。经系统处理后沉降差异得到控制，地基承载力提升，土体抗渗及抗变形性能获得改善，可消除桥头跳车、路面开裂等病害，保障路桥衔接平顺，为公路桥梁沉降段不良地基治理提供可靠技术路径。

【关键词】：公路桥梁；沉降段；不良地基；地基处理；沉降控制

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.029

引言

公路桥梁沉降段作为路基与桥台的关键衔接部位，地质条件复杂且受力状态特殊，长期荷载与水文环境作用下易产生沉降失衡、结构失稳等问题，制约交通路网安全高效运行。随着交通建设向高质量、长效化方向迈进，沉降段地基稳定性与耐久性面临更高要求，聚焦不良地基引发的沉降不均、承载力不足、抗渗抗变形薄弱等核心问题，依托适配性处理技术及精细化施工管控，能够全面提升地基综合性能，保障路桥结构长期稳定，为工程建设与运维提供坚实支撑。

1 公路桥梁沉降段不良地基处理研究背景及价值

公路桥梁沉降段处于路桥衔接的关键构造区域，受地基土质差异、荷载传递不均及填筑施工复杂性影响，极易出现沉降失衡与结构受力异常等问题，直接引发跳车、路面开裂及桥台疲劳损伤等病害，既降低行车舒适性与通行安全性，也大幅缩短路桥工程整体使用寿命^[1]。高等级公路与城市路网建设标准持续提升，传统单一处理手段已无法满足沉降控制及长期稳定需求，针对不良地基开展处理研究工作，能够精准适配软土、湿陷性黄土等多种复杂地质条件，借助科学加固技术提升地基承载力与密实度，有效控制工后沉降差异，保障路桥衔接平顺性并降低后期养护成本，为公路桥梁工程高质量建设与长效运营提供可靠技术支撑方案。

2 公路桥梁沉降段不良地基现存问题及影响因素

2.1 地基沉降不均匀问题突出

公路桥梁沉降段位于路基与桥台的衔接过渡位置，地基土体类型、密实度及压缩特性存在天然差异，软黏土、淤泥质土、湿陷性黄土等不良土质分布不均，直接造成沉降速率与沉降量失衡，路基填筑厚度、压实工艺差异以及车辆动荷载反复作用会进一步放大差

异沉降，形成明显沉降差与错台现象，持续破坏路面结构层连续性，引发路面开裂、坑槽及桥头跳车，降低行车舒适度与通行安全，同时加剧桥台与路基衔接部位的结构受力失衡，加速构件疲劳损伤，缩短工程整体服役周期与使用年限，成为路桥工程运营阶段最常见且影响广泛的病害类型。

2.2 地基承载力不足影响结构安全

公路桥梁沉降段承受桥台结构自重、路基填土荷载与车辆动荷载共同作用，对地基承载能力提出严格要求。饱和软黏土、松散填土、湿陷性黄土等不良地基天然密实度偏低、压缩性偏高，自身承载力仅能达到 50 至 100kPa，难以满足路桥结构长期稳定所需的受力标准，承载力不足会引发地基持续塑性变形，导致路基整体下沉、桥台偏移及结构开裂，直接威胁路桥主体结构安全。长期荷载作用下薄弱地基无法实现有效应力传递与荷载分担，容易出现局部失稳及整体滑移，增加工程病害治理难度与安全风险，必须借助针对性加固手段将承载力提升至设计要求的范围区间。

2.3 地基抗渗抗变形能力较差

公路桥梁沉降段地基易受地下水、雨水入渗及毛细水上升影响，软黏土、淤泥质土等土体渗透性差、含水率敏感，遇水后结构强度快速衰减且变形量增大，湿陷性黄土在水分侵入后会发生突发性沉陷，膨胀土则出现干湿循环下的胀缩变形，均会破坏路基与桥台的稳定状态^[2]。不良地基自身抗渗能力薄弱，无法有效阻隔水分侵入与渗流侵蚀，长期作用下会加剧土体软化、孔隙发育及结构松散，降低整体抗变形与抗剪切能力，抗渗抗变形性能不足会持续引发附加沉降与结构开裂，大幅提升工后沉降控制难度及治理复杂性，影响路桥衔接段长期使用性能。

3 公路桥梁沉降段不良地基针对性处理技术

3.1 针对沉降不均匀的换填找平处理技术

(1) 浅层土体置换处置：浅层土体置换处置是解决公路桥梁沉降段不均匀沉降的直接有效手段，清除浅层不良土体并换填性能稳定的材料，从根源上改善路基底部受力条件，提升整体均匀性与稳定性。施工中优先清理表层松散填土、有机质土及压缩性较高的软弱土层，换填材料选用级配合理的砂石、灰土等优质填料，借助材料自身高强度、低压缩性及良好水稳性，替代原有易沉降土体，灰土置换时按照试验确定的配合比均匀拌合，严格控制含水率在最优含水率附近，保障压实后结构密实稳定。换填厚度控制在 0.5 至 1.5 米，分层铺设并充分整平，确保每层厚度均匀、无夹层且无松散区域，完成置换后通过专业检测手段验证压实效果，使垫层整体强度与均匀性满足设计要求，减小路基与桥台间的差异沉降，为后续分层填筑与结构施工提供稳定基础，长期维持路桥衔接段平顺状态。

(2) 分层压实填筑施工：分层压实填筑施工是控制公路桥梁沉降段沉降、提升路基整体性的关键工艺，规范分层厚度、压实参数与填筑流程，实现土体均匀密实，避免局部沉降过大。施工中严格控制每层填筑厚度，机械压实厚度不超过 25 厘米，人工夯实区域不超过 20 厘米，确保压实能量有效传递至填料内部，填筑前对填料含水率进行精准调控，使其处于最优含水率范围，提升压实效率与密实效果。采用重型压实设备按照规范遍数碾压，遵循先轻后重、先边缘后中间的原则，避免漏压与欠压，压实度达到 95% 以上，填筑过程中同步检测沉降与密实度，及时调整施工参数，防止出现松散、弹簧土等质量缺陷。分层压实完成后形成连续均匀的填筑结构，提升路基整体刚度与承载稳定性，减少工后沉降，保障路桥衔接段在长期荷载作用下保持平顺，降低桥头跳车及路面破损风险。如图 1。

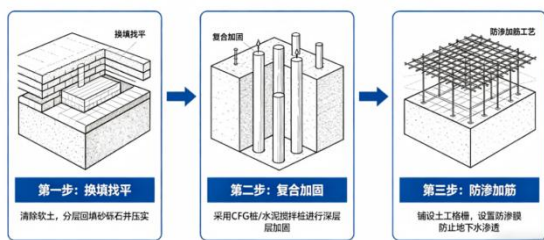


图 1 公路桥梁沉降段不良地基处理工艺流程示意图

3.2 针对承载力不足的复合加固处理技术

(1) 桩基复合基础加固：桩基复合基础加固通过

在不良地基中设置刚性桩体，与原地基土体形成协同受力体系，提升公路桥梁沉降段地基承载力与整体稳定性。常用桩体包括 CFG 桩与水泥搅拌桩，CFG 桩采用水泥、粉煤灰、碎石拌合制成，强度等级处于 C15 至 C30 之间，依靠桩端阻力与桩侧摩阻力共同承担荷载，适用于粉土、黏性土及中粗砂地层^[3]。水泥搅拌桩通过深层搅拌设备将水泥浆与原位土体充分拌合，形成整体性强的水泥土桩体，改善软土、淤泥质土的力学性能，施工时将桩体穿透软弱土层并深入持力层 5 至 20 米，桩径控制在 400 至 800 毫米，桩间距按桩径 3 至 5 倍合理布设，确保桩土荷载均匀分配。加固后形成的复合地基可提高承载能力，有效减少差异沉降与结构变形，为路桥衔接段提供持久稳定的支撑条件。

(2) 深层土体挤密改良：深层土体挤密改良借助外部能量对深层松散土体进行强制密实，消除孔隙、提升土体密度与承载性能，适用于碎石土、砂土、湿陷性黄土及人工填土地基的深层加固。施工中采用重锤从 6 至 30 米高度自由下落，利用强大冲击能使土体颗粒重新排列，压缩孔隙体积，同时加速孔隙水压力消散，实现动力密实与动力固结，夯点按正方形或梅花形布置，间距取夯锤直径 2 至 3 倍，单点夯击次数控制在 3 至 10 击，以最后两击平均沉降量小于 5 厘米作为控制标准。针对黏性土地层设置 1 至 4 周间歇期，待土体内部应力稳定后再进行补夯，避免出现橡皮土现象，经挤密改良后地基承载力可提升至 200 至 300kPa，深层土体整体性与抗变形能力得到有效增强，进一步控制工后沉降与结构变形。

3.3 针对抗渗抗变形差的防渗加固处理技术

(1) 高压注浆防渗固结：高压注浆防渗固结是提升公路桥梁沉降段地基抗渗与抗变形能力的关键技术，借助高压设备将固化浆液注入土体孔隙与裂隙，实现密实、防渗及整体固结多重效果，可针对性封堵地下水渗流通道，阻断外部水分侵入路基内部，避免软土、湿陷性黄土等不良土体遇水软化、湿陷或膨胀变形。浆液在高压作用下充分渗透、劈裂并胶结土体颗粒，填充内部空隙后形成连续完整的固结体，提升土体整体性与抗剪切能力。施工过程中严格控制注浆压力、注浆量与孔位间距，确保浆液均匀扩散且无漏注、无架空区域，兼顾注浆顺序与间歇时间，保证土体固结均匀稳定，处理后地基抗渗性能提升，能抵御雨水及地下水长期侵蚀，减少因水分引发的附加沉降与结构变形，增强路桥沉降段整体稳定性与耐久性能，为长期安全运营和工程寿命延长提供可靠保障。

(2) 土工材料加筋防护：土工材料加筋防护通过

在路基填筑层间铺设高强度土工合成材料,形成筋土协同受力结构,全面提升公路桥梁沉降段地基抗变形与抗渗能力。土工材料具备高抗拉强度、良好耐腐蚀性及均匀受力特性,能分散路基荷载、约束土体侧向位移,抑制不均匀沉降与横向变形。施工时将土工材料平整铺设在填筑层之间,保证搭接长度与锚固力度,避免褶皱、破损或偏移,使其与土体紧密结合形成整体^[4]。填筑碾压过程中保持材料受力均匀且不产生滑移与断裂,进一步提升筋土结合效果,加筋结构可有效限制路基侧向挤出与竖向沉降,提升路基整体刚度与稳定性,同时阻隔毛细水上升,减少水分对路基土体的侵蚀破坏。该工艺施工便捷、适应性强,可与分层压实、换填等工艺协同使用,改善地基抗渗抗变形性能,保障路桥衔接段长期平顺及结构安全。

4 公路桥梁沉降段不良地基处理应用效果及管控要点

(1) 沉降不均匀问题处理应用成效:采用浅层土体置换与分层压实填筑相结合的处理方式,能从根源上解决公路桥梁沉降段不均匀沉降问题。浅层置换清除了压缩性高、稳定性差的软弱土体,换填后的灰土或砂石垫层强度稳定、压缩性低,能够形成均匀受力的基础结构,缩小路基与桥台之间的沉降差值。分层压实填筑严格控制每层厚度与压实标准,使路基整体密实度一致,避免局部松散引发的突变沉降,经系统处理后路桥衔接段的差异沉降可控制在较低水平,日沉降速率稳定小于1毫米每天,连续观测7天无明显波动,彻底消除桥头错台与跳车现象。路面结构层保持连续平顺,行车舒适性与安全性明显提升,同时减少了因沉降不均带来的路面开裂、桥台受力失衡等次生病害,延长道路桥梁整体使用寿命,降低后期养护与维修投入,为工程长期稳定运营提供坚实保障。

(2) 承载力不足问题处理应用成效:桩基复合加固与深层土体挤密改良技术应用,能全面提升公路桥梁沉降段地基承载能力并满足结构长期受力需求。桩基复合基础借助桩土协同承载,将原本仅50至100千帕的地基承载力提升至200至300千帕,刚性桩体

穿透软弱土层直达持力层,荷载传递稳定可靠,避免地基塑性变形与局部失稳。深层挤密改良依靠强夯动力作用,使松散填土、湿陷性黄土等土体颗粒紧密排列,消除内部孔隙并提升整体刚度与密实性,加固后地基可稳定承受桥台自重、路基填土及车辆动荷载共同作用,不发生持续沉降与偏移,路基与桥台结构受力均衡,有效避免路基滑移、桥台开裂等安全隐患。各项指标均能满足高等级路桥工程设计要求,全面增强结构安全性能与长期耐久能力,保障运营阶段可靠使用。

(3) 抗渗抗变形问题处理应用成效:高压注浆防渗固结与土工材料加筋防护综合应用,能增强公路桥梁沉降段地基抗渗及抗变形能力。高压注浆封堵土体内部裂隙与孔隙,形成完整防渗固结体,阻断地下水及雨水侵入路径,防止软土软化、黄土湿陷与膨胀土胀缩变形。土工材料加筋结构约束土体侧向位移,分散荷载应力并提升路基整体刚度,抑制不均匀变形与横向扩张^[5]。处理后地基抗渗性能提升,水分侵蚀带来的强度衰减与附加沉降得到控制,土体在干湿循环与荷载反复作用下仍保持稳定,地基抗剪切、抗变形能力增强,工后沉降量控制在3厘米以内,路基与桥台衔接状态稳定,路面结构不出现开裂、破损等病害,全面提升路桥工程在复杂水文与地质条件下的适应能力及长期使用性能,保障运营阶段安全可靠。

5 结语

公路桥梁沉降段不良地基科学处理是保障路桥衔接平顺、消除运营病害的核心环节,针对不均匀沉降、承载力不足及抗渗抗变形能力差等问题,采用换填找平、复合加固、防渗加筋等针对性技术,能改善地基受力状态与物理力学性能。各项工艺实施后沉降差异得到控制,地基承载与抗变形能力提升,能够长期抵御荷载与环境侵蚀,合理选用处理方案并落实全过程质量管控,可减少工后病害并延长工程使用寿命,为公路桥梁安全稳定运营提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 齐杰.公路桥梁沉降段路基路面处治技术及质量控制[J].交通世界,2024,(20):189-191.
- [2] 李东.公路桥梁工程沉降段的路基路面施工分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(15):166-168.
- [3] 王伟伟.公路桥梁沉降段路基路面施工技术要点研究[J].运输经理世界,2024,(11):34-36.
- [4] 吴强.公路桥梁工程沉降段道路施工技术研究[J].运输经理世界,2023,(27):61-63.
- [5] 王志瑜.市政路桥沉降段路基路面施工技术探索[J].居舍,2022,(04):45-47+50.