

# 公路软土地基处理技术应用

李 勇

中铁二十局集团市政工程有限公司 甘肃 兰州 730000

**摘要：**本文围绕公路软土地基处理技术展开研究，先剖析软土成因、工程特性及路基常见病害，明确地基处理基本原则。随后分类介绍浅层处理、排水固结、复合地基及新型加固技术，详解各类工艺原理、适用工况与优缺点。同时阐述施工全流程质量管控要点，结合工程实例验证技术可行性。研究旨在为公路软基选型、施工及验收提供参考，保障路基稳定，延长公路使用寿命。

**关键词：**公路软土地基；处理技术；应用

引言：公路是交通基础设施的核心组成部分，工程建设中常遇到软土地质难题。软土含水量高、压缩性大、承载力低，易引发路基沉降、滑移、路面开裂等病害，威胁行车安全和工程耐久性。若地基处理不当，会大幅增加运维成本，缩短道路服役年限。为此，本文深入分析软土地基特性，梳理各类实用处理技术，探讨质量管控措施，助力提升公路软基施工质量，推动交通工程高质量发展。

## 1 公路软土地基特性及病害分析

### 1.1 软土的定义与成因

(1) 软土的界定标准与分类。软土是天然含水量高、压缩性大、承载力低的饱和黏性土，行业内通常以天然含水量大于液限、孔隙比大于1.0作为核心界定标准。按照成因和土质成分，公路沿线软土主要分为淤泥、淤泥质土、泥炭质土等类型，这类土质普遍颗粒细腻、胶结性差，属于不良工程地基土，会直接影响公路路基稳定性。(2) 公路沿线软土的形成条件与分布规律。软土多形成于静水、缓流水环境，比如湖泊、沼泽、滨海及河滩地带，在长期沉积、微生物分解作用下形成松软土层。公路沿线软土分布具有区域性，多集中在低洼地带、河谷沿岸及沿海地区，土层分布厚薄不均，常夹杂粉质黏土或粉砂层，给地基施工带来不小挑战。

### 1.2 软土地基的工程特性

(1) 物理特性：高含水量、大孔隙比、低渗透性。软土天然含水量远超最优含水量，部分地段甚至接近饱和状态，土层孔隙比大，内部空隙多且连通性差，渗透性极低。水分难以在短时间内排出，会延缓地基固结速度，大幅延长路基沉降周期。(2) 力学特性：低承载力、高压缩性、触变性。软土地基自身承载能力薄弱，难以承受路基和车辆荷载，在外力作用下极易发生压缩变形。同时，软土受扰动后结构会迅速破坏，强度

骤降，呈现明显触变性，施工扰动会进一步恶化地基性能。(3) 变形特性：不均匀沉降、长期沉降、蠕变特性。软土分布不均会引发路基不均匀沉降，且沉降过程持续时间长，即便公路通车后仍会发生长期沉降。此外，软土在恒定荷载下会持续缓慢变形，产生蠕变现象，加剧路基变形程度<sup>[1]</sup>。

### 1.3 软土地基公路常见病害

(1) 路基整体沉降与不均匀沉降。软土地基受压后固结变形，引发路基大范围整体下沉，土层厚薄不均、土质差异则会造成路段高低不平，破坏路基平顺度。(2) 路基滑移、边坡失稳坍塌。地基承载力不足、边坡坡度偏陡，加上雨水渗入软化土体，容易引发路基侧向滑移，严重时会出现边坡滑塌、路基损毁，危及行车安全。(3) 路面开裂、鼓包、平整度下降。路基不均匀沉降会传导至路面，造成路面横向、纵向开裂，局部鼓起包块，路面平整度大幅下降，不仅影响行车舒适度，还会缩短路面使用寿命。

### 1.4 软土地基处理基本原则

(1) 安全可靠、经济合理原则。地基处理需优先保障路基长期稳定，满足承载和抗变形要求，同时严控施工成本，选用性价比高的方案，兼顾安全性与经济性。(2) 因地制宜、技术适配原则。结合现场软土厚度、土质类型、水文条件，选用合适的处理技术，杜绝盲目施工，让工艺贴合现场实际工况。(3) 施工高效、环保可控原则。选用施工周期短、工序简便的工艺，加快施工进度，同时做好水土保持和扬尘控制，减少施工对周边环境的破坏。

## 2 公路软土地基常用处理技术及应用

### 2.1 浅层软土地基处理技术

(1) 换填垫层法。施工工艺简便，先挖除路基浅层软土，再分层回填碎石、砂砾、素土等优质填料，逐层

碾压夯实,形成稳固垫层。该技术适用于软土厚度不超过3米的浅层地基,施工难度小、见效快,能快速提升地基承载力。优点是施工周期短、造价低廉、质量易把控;缺点是仅适用于浅层软基,深挖换填易扰动周边土体,且填料用量大,受场地运输条件限制。(2)抛石挤淤法。技术原理为利用石块自重挤压淤泥,将软弱土体挤出路基范围,替换为密实的石质地基,增强土体稳定性。施工要点为选用质地坚硬、粒径均匀的石块,从路基中部向两侧循序渐进抛填,借助机械碾压夯实,挤出淤泥和孔隙水。适用工况为流动状态的淤泥、淤泥质土地基,尤其适合低洼积水、施工难度大的河滩、沼泽地带,软土厚度宜控制在4米以内。(3)浅层压实与加固技术。适用于软土含水量适中、厚度较薄的浅层地基,通过机械碾压、重锤夯实等方式,减小土体孔隙比,提升土体密实度和承载力。质量控制核心是把控最优含水量,含水量过高需晾晒,过低需洒水增湿;严格控制碾压遍数、夯实力度,杜绝漏压、欠压,施工后检测地基压实度、承载力,达标后方可开展后续工序<sup>[2]</sup>。

## 2.2 排水固结类处理技术

(1)堆载预压法。通过在路基表面堆放土方、砂石等荷载,挤压软土内部孔隙水,促使土体固结沉降。加载方案遵循分级加载原则,缓慢施加荷载,防止加载过快引发地基失稳滑移。沉降控制需实时监测沉降速率,待沉降稳定后再卸载。工期管控重点是预留充足的预压时间,适合工期宽松、软土厚度中等的公路路段,能有效减少后期沉降。(2)真空预压法。核心原理是利用真空泵抽取密封膜下土体空气,形成负压差,挤压孔隙水排出,实现地基固结。施工流程为铺设排水垫层、打设排水通道、覆盖密封膜、抽真空预压。该技术无需堆载材料,施工占地小,荷载均匀,不会引发地基滑移,适用于饱和软黏土、淤泥质地基,尤其适合沿海、临河软土区域<sup>[3]</sup>。(3)塑料排水板法。属于竖向排水体系,将塑料排水板按正方形或三角形均匀打入软土,作为竖向排水通道,配合表面垫层形成完整排水系统,加快孔隙水排出速度。排水体系布设需把控板长、间距,保证排水通畅。固结效果管控重点是监测孔隙水压力和沉降量,及时调整施工参数,适合深层软土地基,常与预压技术配合使用。

## 2.3 复合地基加固技术

(1)水泥搅拌桩法。分为干法喷粉、湿法喷浆两种工艺,通过机械搅拌,将水泥与软土均匀混合,形成强度高、稳定性好的桩体,与桩间土组成复合地基。成桩质量控制关键是把控水泥掺量、搅拌均匀度,杜绝断

桩、缩颈,施工全程监控钻进速度、喷灰喷浆量,完工后检测桩身强度和地基承载力。(2)碎石桩法。采用振冲设备施工,借助振动和水流冲击成孔,填入碎石并反复振密,形成密实碎石桩体。振冲施工需把控成孔垂直度、深度,填料分次少量进行,保证桩体均匀密实。桩体密实度管控以振动电流为判定标准,该技术能提升地基承载力,加速排水固结,适用于松散软土、粉土地基。(3)CFG桩复合地基。由水泥、粉煤灰、碎石拌合制成桩体,刚度大、承载性能优异,能高效分担路基荷载,大幅提升地基承载力。该技术沉降控制效果突出,可有效抑制不均匀沉降和长期蠕变沉降,施工速度快,适用性强,适合高等级公路、重载路段的深层软土地基加固。

## 2.4 新型软土地基处理技术

(1)固化剂改良土体技术。将专用土壤固化剂掺入软土,通过物理化学反应,改变土体结构,提升土体强度和稳定性,降低压缩性。该技术用料少、施工便捷,环保性强,适合浅层软土改良,能减少填料使用,贴合绿色施工要求。(2)加筋土路基处理技术。在路基填土中铺设土工格栅、土工布等筋材,利用筋材与土体的摩擦力,约束土体变形,提升路基整体稳定性和抗滑移能力。适合软土地基上路堤填筑,能有效减少沉降,增强边坡稳定性,施工灵活,适用范围广。(3)真空-堆载联合预压技术。真空-堆载联合预压技术融合真空预压与堆载预压双重优势,负压吸力与堆载压力共同作用于软土地基,双向挤压土体,大幅加快排水固结速度,缩短施工工期。该技术固结更彻底,沉降控制更稳定,适用于超厚、高压缩性、高含水量的复杂软土地基,处理效果远优于单一预压技术,在大型高速公路、市政道路软基工程中应用广泛<sup>[4]</sup>。

## 3 公路软土地基处理施工质量控制与工程实例

### 3.1 施工前期准备与勘察管控

(1)地质勘察精准度控制。施工前期需开展精细化地质勘察,合理加密勘探点位,全面探明沿线软土分布、土层厚度、含水量及地下水位,杜绝漏勘、错判。通过现场取样、室内试验测定土体力学指标,绘制详细地质剖面图,找准软弱夹层与不均匀地段,为方案设计提供真实数据,从源头规避地基失稳风险。(2)施工方案比选与优化。结合公路等级、荷载标准、工期及造价,综合对比各类处理技术的适用性,选定安全、经济、高效的施工方案。针对现场地形、水文条件细化工序,调整技术参数,针对薄弱环节制定应急预案。经专家论证完善后定稿,确保方案贴合现场工况,满足承载

与沉降控制要求。(3)材料与设备进场检验。严格把控原材料质量,水泥、砂石、排水板、土工材料等需附带合格证明,进场后抽样送检,不合格材料严禁使用。对桩机、压实机械、监测仪器进行检修校准,保证设备运转正常、仪表精度达标,避免因设备、材料问题影响施工质量。

### 3.2 施工过程质量控制要点

(1)关键工序全程监控。对换填、挤淤、桩基、预压等关键工序实施旁站监管,严守施工规范。换填作业控制分层厚度与压实度,桩基施工严控桩位、桩长及配比,预压施工遵循分级加载原则,禁止超速超载。全程做好施工记录,留存各项参数,实现工序全程可追溯。

(2)沉降与位移实时监测。在路基、边坡布设监测点,实时监测竖向沉降、水平位移及孔隙水压力,设定安全预警阈值。若数据超标,立即停工排查,采取加固、卸载措施。施工期间持续观测,通车后定期回访,掌握地基变形规律,防范滑移、坍塌事故。(3)常见施工故障排查与处理。建立故障应急处理机制,遇到地基隆起、边坡滑移,立即停止加载,加固边坡、疏通排水;出现桩基缩颈、断桩,及时补桩修复;雨天做好围挡排水,减少土体扰动。快速处置隐患,防止小问题扩大,保障施工平稳推进<sup>[5]</sup>。

### 3.3 处理效果检测与验收

(1)承载力检测方法 with 标准。采用平板载荷试验、动力触探、静载试验等规范方法,检测地基承载力,检测点位均匀布设,全面反映加固效果。检测结果必须符合公路工程设计及规范要求,地基承载力达标,且受力均匀,无局部薄弱区域,满足路基荷载承受能力。(2)沉降观测与稳定性评估。汇总全程沉降监测数据,核算最终沉降量、不均匀沉降差,判断地基固结完成度。路基沉降需趋于稳定,沉降速率符合规范限值,无持续突变沉降。结合位移数据,综合评估地基稳定性,确认路基无滑移、变形风险,满足长期通车使用要求。(3)工程验收流程与指标。严格遵照工程规范开展验收,核查地质勘察资料、施工记录、检测报告等全套文件。验收指标包含地基承载力、沉降量、压实度、桩体完整性等,各项指标合格方可通过验收。对不合格路段,限期

整改复检,确保软基处理质量完全达标。

### 3.4 工程实例分析

(1)工程概况与地质条件。某县级公路改建工程,全长2.8km,沿线穿越低洼水田、河漫滩地带,分布淤泥质软土,厚度2-5m,土体含水量高、压缩性大、承载力低,属于典型软土地基,路段通车荷载较大,对路基稳定性要求严苛。(2)软基处理方案选型与实施。结合地质条件,浅层软基采用换填砂砾垫层处理,深层软基采用塑料排水板结合堆载预压法,局部极软路段采用水泥搅拌桩加固。施工全过程落实质量管控,严格执行工序标准,全程监测沉降位移,按设计完成预压与养护工序。(3)处理效果与工程经验总结。经检测验收,地基承载力满足设计要求,最终沉降量、沉降差均在规范范围内,通车后路面平整,无开裂、沉陷、滑移病害,处理效果良好。工程经验表明,软土地基处理需严把勘察、方案、施工、检测四道关口,因地制宜选工艺,全程严控质量,才能保障路基稳固,延长公路使用寿命。

### 结束语

软土地基处理是公路工程的关键工序,直接决定路基稳定性和道路使用寿命。工程实践中,需精准勘察地质条件,因地制宜选用处理技术,兼顾安全性、经济性与环保性。同时要严控施工全过程,做好监测验收,杜绝质量隐患。随着施工技术不断革新,绿色高效的软基处理工艺将得到更广泛应用。后续需持续优化技术方案,积累工程经验,筑牢公路工程地基基础。

### 参考文献

- [1]隋喜忠,矫涛涛.公路工程中软土地基处理技术研究[J].汽车周刊,2024,7(12):132-134.
- [2]张旖旎.公路工程中软土地基处理技术应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023,22(17):117-119.
- [3]何伟龙.公路施工中软土地基处理技术应用研究[J].企业科技与发展,2022,19(5):143-145.
- [4]尹国庆,冯安翠.公路工程软土地基处理技术措施研究[J].运输经理世界,2024,5(17):16-19.
- [5]韦艳卫.软土地基处理技术在公路工程施工中的应用[J].运输经理世界,2023,10(2):22-24.