

软土地区路基填筑施工中沉降控制关键技术分析

李玮涛

云南交投公路工程养护有限公司 云南 昆明 650000

【摘要】：随着我国经济的不断发展，人们对基础设施建设质量要求更加严格，而公路软基工程作为我国基础设施建设的重要组成部分之一，成为人们关注的重点。软土地区路基填筑施工中的沉降控制是保障工程质量与运营安全的核心环节。本文系统分析了软土特性对沉降的影响机制，结合材料创新、工艺优化与智能监测技术，提出了软土地区路基填筑施工中沉降控制关键技术，可使软土地区路基沉降风险有效降低，进一步提升施工效率与环保效益，为软土地区交通基础设施建设提供理论支撑与实践参考。

【关键词】：软土路基；沉降控制；固废基材料；智能监测；轻质土填筑

DOI:10.12417/2811-0528.26.07.025

1 软土特性与沉降机理分析

软土具有诸多特性，如天然含水量高、孔隙比大、压缩性强、抗剪强度低等，软土工程性质对路基沉降的复杂性有着直接影响。在某些软土集中区域，如长三角、珠三角等地域，其软土层厚度可达数米至数十米，这些软土地区的含水量皆超过了液限，会让地基承载力不足，极易出现压缩沉降与侧向挤出现象。沉降过程可分为三个阶段，即瞬时沉降、固结沉降与次固结沉降，其中固结沉降处于核心地位，其发生速率与三个维度紧密关联，如软土渗透性、排水条件及加载速率等。传统的处理方法主要通过高碳排入材料来进行，如水泥、石灰等，这些材料存在一些问题，如成本高、污染重等。例如，采取传统的固化技术，每立方米土方运输成本高达250元，并且这些材料需从外地调运至现场再回填，并且土质要好，且还会引发扬尘与水体污染问题。若引入先进施工工艺，如预压法、强夯法等，其对地质条件敏感，若处理中深度不够或加载过快，又会出现不均匀沉降问题，对路基结构的安全性会受到不利影响。



图1 软土地区路基填筑施工

2 固废基绿色凝胶材料创新应用

对于传统的固化材料来说，其对于水泥、石灰这些高碳排放原料依赖度较高，并且这些材料成本较高，还会造成严重污染。因此，研发团队可引入工业固废资源化利用，以实现技术上的突破。这一材料通过冶炼渣、粉煤灰、建筑垃圾等固废材料为主要原料，再搭配一些碱性激发剂，如电石渣、工业废碱等，通过科学配比、机械活化处理等方式，不需要经过高温煅烧，即可生成具有胶凝活性的复合材料。这一生产过程可使每吨减少0.57吨的二氧化碳排放，降碳率达到了92%，并且这些原材料与传统材料相比，降低了25%以上，有着经济性、环保性特点。材料核心作用机理主要是通过固废中的硅铝酸盐活性组分与激发剂发生水化反应，会生成类水化硅酸钙凝胶（C-S-H）及钙矾石等矿物相，可形成致密网状的结构。该结构让材料有高抗压强度，如28天强度可达到5-8MPa，还可让水稳定性、抗渗性同步提升，将软土层中水分迁移路径有效阻断，还可让孔隙水压力积累减少。在流塑性软土固化中，材料以离子交换与物理填充的双重作用，可将软土中含水量从50%-80%下降至液限以下，可使地基承载力提升2至3倍。例如，在某流域治理工程中，该材料将300万立方米的高含水率渣土得以成功固化，防止了异地堆放污染问题。单项目让工业固废堆积减少了约50万吨，还让碳排放下降了约10万吨，为软土地区绿色施工提供了可借鉴与参考的技术方案。



图2 软土地基处理的多种方法与技术特点

3 轻质土填筑与干法-湿法-原位固化工艺

为了降低路基自重压迫软土地基,研发人员可开发轻质土填筑技术,主要是在固化土中引入微气泡或EPS颗粒,所制得的轻质材料容重仅为 $1.2-1.5\text{g}/\text{cm}^3$,该压缩模式与普通固化土相比,则提升了30%-50%区间,让沉降现象得到了有效控制。如某跨海大桥连接线工程中,轻质土可运用于桥头过渡段的填筑,这样可让工后沉降量精准控制在5cm以内,可让“桥头跳车”问题得到明显缓解。施工中,可引入干法-湿法-原位固化工艺,该工艺主要是以高效解泥造浆装备来进行软土就地改造。该固定式装备的产能可达 $400\text{m}^3/\text{h}$,该设备与传统设备相比,提升了3倍;还可引入移动式装备,这种设备可随着工地进行迁移,可将软土切碎再进行研磨后,将绿色胶水掺入,形成流态固化土或轻质固化土。这一工艺省去了弃土转运环节,则可以让工程成本节约70%以上,还可防止运输中出现的扬尘与水土流失现象,具有绿色环保性。

4 多功能全过程智能监测系统

软土地基沉降控制过程中,其精准性如何,主要通过实时监测与风险预警。研发部门可积极开发出“多功能全过程智能监测系统平台”,主要集成了核心功能,如全波场弹性波测试、地表沉降观测与桩基位移监测等功能,可实现毫米级透视地下桩基的完整性,可在30秒内发出异常预警。如某航道开挖工程中,系统可对桩基位移信号提前检测到,可防止出现重大事故发生。平台可引入碳汇动态计算模块,可对施工中的碳减排成效实时评估。如,某地铁建设过程中,系统通过对其进行系统性监测显示,以固废基材料的有效应用,再利用原位固化工艺,单项目的碳排放则减少了约1.2万吨左右,这就相当于在地球上种植了约65万棵树,具有很强的绿色生态功能。该技术让“绿色施工”理念从以往的概念层面进行了实践转化,形成了具象化的量化指标,为后续低碳交通建设提供了重要的数据及技术支撑。

5 工艺优化与边界处理技术

软土地区路基的沉降控制,要兼顾工艺参数与边界条件。

参考文献:

- [1] 哈建东.高等级公路软土路基填筑施工技术探讨实践[J].中国设备工程,2022,(06):211-212.
- [2] 詹学贵.公路软基处理及其路基填筑施工技术[J].工程建设与设计,2021,(05):173-175.

对于软土地区的路基处理方式,可引入粉喷桩、预应力管桩等,施工中要严格控制打入的深度、间距及喷粉量。例如,粉喷桩出现喷粉量不足或搅拌不均时,则会出现桩体强度降低情况,这会导致出现局部沉降现象。施工团队则可引入“分层填筑-动态观测”法,可以地表沉降观测以对路基填筑速率实时观测,让每层压实度达到95%以上,防止出现加载过快,导致软土路基出现失稳现象。不同的软土路基的处理方式交界处则是沉降控制的难点。施工团队可引入土工格栅加筋技术,将高强度土工布铺设在交界处,则让分布荷载更均匀,大幅降低不均匀沉降现象。如某高速公路工程施工阶段,引入该技术,则让交界处的沉降差精准控制在2cm以内,确保路面的平整度。

6 排水体系与填料选择优化

排水条件对于软土固结速率有着决定性影响。施工团队可设计“地表-地下”的立体化排水系统,地表设置截水沟、排水盲沟,地下埋设袋装砂井或塑料排水板,会让软土排水固结加速。袋装砂井可以透水性编织袋来保障砂井的连续性,以防止出现缩径现象,其排水效率与普通砂井相比,则提升了40%。填料选择时,要选择兼顾强度与水稳定性。施工中,要优先应用级配良好的碎石、砂砾等透水性材料,将含水量控制在最优范围。对含水量超标的土质,可将生石灰或水泥等掺入进去,对其进行优化、改良,让其压缩性降低。填筑中,要严格实施分层碾压,每层厚度小于30cm,让压实度更均匀。

7 结语

总而言之,软土地区的路基填筑施工中,对于沉降控制可通过融合材料创新、工艺优化与智能监测技术,固废基绿色凝胶材料的应用则实现了“变废为宝”及低碳施工,利用轻质土填筑、原位固化工艺等,则可以让沉降风险与工程成本降低,利用智能监测系统可让其风险预警能力提升。未来,随着技术的进一步推广,软土地区交通基础设施建设将迈向更高效、更环保、更安全的发展阶段。