

公路软土路基沉降变形机理及处理技术

刘 涛

湖北交投建设集团有限公司道路分公司 湖北 武汉 430000

【摘 要】：软土路基是公路工程建设中常见的不良地质路基，具备含水量高、压缩性强、承载力低等工程特性，在荷载与环境因素作用下易出现不均匀沉降、边坡开裂及路基塌陷等病害，直接影响公路通行安全与使用寿命。本文结合公路工程施工实际，分析软土路基基本工程特性，阐述路基沉降变形内在机理，总结现阶段常用的软土路基处理技术，对比各类技术的适用场景与应用优势，并提出针对性施工优化建议，可为同类软土路基施工项目提供技术参考。

【关键词】：公路工程；软土路基；沉降变形；变形机理；地基处理

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.057

国内公路路网建设逐渐向沿海、滨湖、低洼沼泽等地区延伸，该类地区地层中普遍存在着深厚的软土层。软土特有的物理力学性质大大增加了路基施工的难度。公路运营期间，车辆往复荷载、地下水水位变动和温度气候变化都会加重软土路基变形状况。轻则造成路面开裂、行车颠簸，重则造成路基整体失稳，加重后期养护费用，制约区域交通行业的发展。为了从源头上控制软土路基沉降病害，要对变形产生机理进行深入剖析，根据施工现场地质条件选择相应的处理技术来提高路基整体稳定性及承载能力。

1 软土基本工程特性

(1) 含水量与孔隙比偏高：软土内部有许多毛细孔隙，天然含水量大多高于液限标准，某些地方的软土含水量可达百分之七八十，孔隙比一般大于1.0。高含水量特性使土体的抗剪强度很低，受到外力作用后很容易发生压缩变形。

(2) 压缩性能较强：软土的固结系数很小，外部荷载作用下，土体内部自由水排出速度慢，孔隙结构容易被挤压收缩，从而引起沉降变形。相比常规黏性土来说，在相同的荷载作用下，软土的沉降量大、变形周期长。

(3) 渗透性能薄弱：软土的渗透系数较低，竖向渗透性比横向渗透性要小得多，土体固结排水时间长。施工和运营阶段产生的瞬时沉降完成之后，残余固结沉降会持续数月甚至数年，很容易造成后期沉降超标的状况。饱和状态下软土的内摩擦角和黏聚力数值小，没有外部加固措施时，路基边坡和基底土体不能承受上部填筑荷载和车辆荷载，容易产生剪切破坏。

2 软土路基沉降变形机理分析

(1) 瞬时沉降：瞬时沉降主要出现在路基填筑和荷载作用的短时间里，这时土体内部孔隙水还没有被及时排出，土体含水量保持稳定，沉降变形的本质是土体剪切形变。上部填筑层与车辆荷载传到软土地基之后，地基内部的应力平衡状态被

破坏，土体颗粒发生相对滑移和重新排列，松散的絮状结构被压缩调整。此类沉降变形不可逆，变形量主要与软土初始孔隙结构、土体抗剪强度及外部荷载大小有关，一般占总沉降量的15%~25%。瞬时沉降大多和不均匀变形一起出现，是造成路面早期开裂的罪魁祸首。

(2) 固结沉降：固结沉降属于软土路基总沉降的主要部分，也是施工控制的重要方面。外部长荷载持续作用下，地基深层软土孔隙内自由水慢慢往外排，孔隙体积缩小，土体整体被压实，从而出现持续性的沉降。受软土低渗透性特性的影响，排水固结时间比较长。初期排水速度快、沉降速率高，孔隙不断缩小、排水通道变窄时沉降速率才开始减缓。本阶段沉降变形占总沉降量的60%~70%，沉降时长受软土层厚度、渗透系数和排水条件的影响。

(3) 次固结沉降：次固结沉降发生在孔隙自由水基本排出之后，这时外部荷载没有明显变化，孔隙水压力趋于稳定，沉降变形是土体内部颗粒的黏滞流变作用引起的。软土内部的胶体颗粒和吸附水膜会随着时间慢慢发生变化，颗粒之间接触的状态也不断进行微调，土体结构变得更加紧密。该类沉降变形数值很小，但是持续时间很长，在公路运营的后阶段经常发生，容易造成路面长时间的缓慢下沉，降低公路行车的舒适度。

3 常见软土路基处理技术及应用要点

3.1 排水固结处理技术

排水固结技术的核心原理就是改善软土的排水通道，加快土体内自由水的排出速度，缩短固结沉降时间，提高土体的密实度和整体强度，主要适用于厚度大、含水量高的深层软土路基。目前应用最广的为塑料排水板法。该技术施工过程简单，先用专用插板设备将塑料排水板打入指定软土层深度，用排水板做竖向排水通道，配合表层铺设的砂垫层形成完整的排水系

统。之后用堆载预压的方式增大外部荷载，加快孔隙水排出速度，使软土提前完成固结沉降。施工时要严格控制排水板的插入深度和间距，做好板头密封工作，防止泥沙进入板体内造成通道堵塞。同时结合沉降观测数据来控制预压时间，避免后期出现沉降问题。

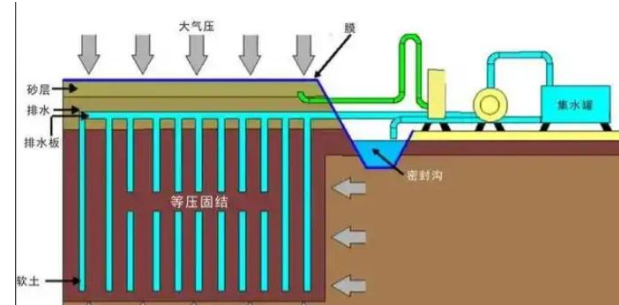
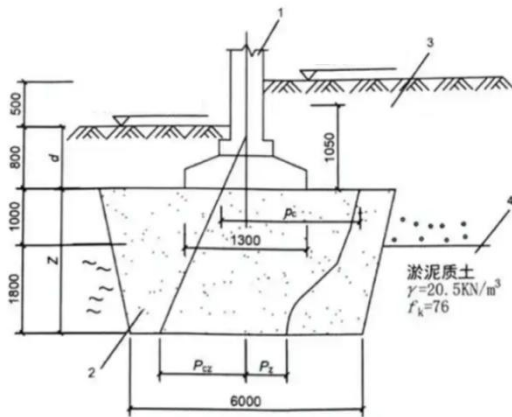


图1 排水固结处理技术

3.2 换填压实处理技术

换填压实技术属于浅层处理工艺，适合于软土层厚度小于3米、沉降控制要求高的路基路段。技术原理就是挖除路基基底范围内劣质软土，用碎石、砂砾、级配砂石等高强度、低压缩性的好材料替换，分层摊铺碾压来提高基底的承载能力，从根本上消除浅层软土沉降问题。施工期间要分层清理基底软土，保证坑底基底平整干燥，填料摊铺厚度控制在20至30厘米之间。碾压作业首先采用重型振动压路机，按照先轻后重、先慢后快的原则进行施工，碾压结束后立即检测压实度、弯沉等主要指标。该技术施工周期短、病害可控性强，但是只能用于浅层软土，深层软土路段采用该技术会大大增加施工成本。



1-强基础；2-砂垫层；3-回填土；4-原土

图2 换填压实处理技术

参考文献:

- [1] 孙利军.软基路段波浪变形机理及不均匀沉降治理措施分析[J].交通世界,2024,(15):86-88.
- [2] 刘洋铭,朱海华,唐国林,等.基于抛石挤淤加固机理的软土路基变形特性及影响因素研究[J].西部交通科技,2023,(7):90-92.
- [3] 瞿生军,韩昭玉,史冠宇,等.软土地区公路路基沉降变形及预测分析[J].水利技术监督,2025,(11):211-215+227.

3.3 复合地基处理技术

当前复合地基技术主要应用于高等级公路深层厚层软土路基的施工中，其基本原理就是将桩基和土体一起承担荷载，分散路基上部荷载，从根本上消除路基沉降、变形问题。目前公路软土路基施工中常用的施工工艺主要有水泥搅拌桩、CFG桩两种。

(1) 水泥搅拌桩：水泥搅拌桩技术依靠专用深层搅拌施工设备，把水泥固化剂和原位软土强制混合搅拌，利用水泥遇水后水化化学反应生成胶结类物质，使松散软弱的原位软土固化成型，形成结构完整、整体性良好的桩体结构。成型桩体和周围没有经过固化处理的原始土体一起组成复合型地基，共同承担路基上部填筑土层的重量和车辆通行时所产生的动态荷载。整体施工工艺成熟，施工过程中不会对周边地质、生态环境造成大的影响，综合施工成本低，性价比高，主要适用于普通干线公路软土路基加固作业。

(2) CFG桩：CFG桩主要使用碎石、粉煤灰、水泥作为基础原材料，用钻孔灌注的方式完成成桩工作。相比水泥搅拌桩，该类桩体结构强度高、竖向承载力大，对路基不均匀沉降问题的控制效果更好。该工艺施工标准高，多用于高速公路、重载公路等荷载压力大、沉降控制要求高的路基工程。施工阶段准确校准桩位、控制桩长、确定桩体间距，严格控制各基础参数；成桩作业结束后应铺设褥垫层，科学调节桩体和土体的受力分配比例，避免桩体单独集中承受荷载，防止桩体开裂、破损，保证复合地基的整体稳定性。

4 结语

综上所述，软土路基沉降变形是由多种因素共同作用而产生的，瞬时沉降、固结沉降和次固结沉降贯穿于公路建设及运营的全过程之中，其中固结沉降是控制路基病害的主要因素。不同的软土路基处理技术适用范围和控制效果不一样，浅层软土先用换填压实技术，深层饱和软土用塑料排水板排水固结技术，高等级公路厚层软土路基推荐用复合地基加固技术。在实际的工程建设当中，施工单位要依照现场地质状况、工期以及成本预算来挑选合适的处理工艺，并且健全全过程的质量检测体系，从各方面控制路基沉降变形，保证公路工程长久稳定安全地运作。