

# 公路深厚软基动态监控方法及分析

张红卫 杨长清 符瑞良 王信 欧科敏  
中建五局土木工程有限公司, 湖南长沙 410004  
DOI:10.33142/ec.v2i2.156

[摘要]路基沉降是影响高速公路建设质量与安全的重要因素之一, 本文首先总结了深厚公路软基动态监控技术, 依托实际工程, 制订了完善的监测方案, 并选取典型段面分析了路基沉降观测数据, 得出采用预应力管桩、水泥土搅拌桩、塑料排水板处理软基效果较好, 能够满足软基处理质量要求。

[关键词]软基; 路基沉降; 动态监控

## Dynamic Monitoring Method and Analysis of Highway Deep soft Foundation

ZHANG Hongwei, YANG Changqing, FU Ruiliang, WANG Xin, OU Kemin

China Construction Fifth Engineering Bureau Civil Engineering Co., Ltd., Changsha, Hunan, China 410004

**Abstract:** Subgrade settlement is one of the important factors that affect the quality and safety of highway construction. Firstly, this paper summarizes the dynamic monitoring technology of the deep soft foundation of the highway, and relies on the actual project to make a perfect monitoring scheme, and selects the typical segment surface to analyze the observation data of the subgrade settlement, the conclusion is that using prestressed pipe pile, cement soil mixing pile and plastic drainage board to treat soft foundation is effective and can meet the quality requirements of soft foundation treatment.

**Keywords:** soft foundation, subgrade settlement, dynamic monitoring

### 1 概述

关于软基沉降问题的研究, 主要集中在沉降的预测方面, 对于现场动态监控技术、沉降分析及数值模拟方面等较少。黎玉、金亮星等<sup>[1-2]</sup>对采用塑料排水板堆载预压法处理的软基进行监测分析, 分析了地面沉降及分层沉降数据, 得出采用塑料排水板堆载预压法处理软基效果较好。龙浪波<sup>[3]</sup>采用双曲线法, 对加固后的软土地基沉降进行预测, 推算出了地基的固结度及最终沉降量。郭策、张学峰等<sup>[4-5]</sup>针对预应力管桩处理的软基进行沉降监测分析, 得出预应力管桩处理软基的沉降具有瞬时性。贺志勇等<sup>[6]</sup>依托实际工程, 分别运用双曲线法、指数曲线法和幂多项式法进行预测, 结果表明: 采用3阶多项式拟合时, 幂多项式法具有较高的预测精度。骆行文等<sup>[7]</sup>阐述了软土路基沉降变形监测目的、监测仪器的埋设方法和监测方法。

### 2 深厚公路软基动态监控技术

#### 2.1 动态监控技术要点

##### 2.1.1 动态监控目的

动态监测与分析是公路软土地基处理中的重要组成部分。动态监测与分析的主要目的是验证处理效果、根据实际工程的进度和地基变形实测数据及时调整设计参数, 有效控制填筑速率, 确定实际超载高度、二次开挖和修建路面时间, 分析计算各阶段合理预抛高和预留宽度、确定沉降土方等重要参数。动态监测工作宜由有资质的第三方承担。

##### 2.1.2 监测设计内容

沉降及稳定的监测设计: 沉降板、位移桩、测斜管等布置设计及工程数量、典型断面的设置和监测内容。根据工程要求, 提出填筑期、预压期、路面施工期等沉降速率控制指标和侧向位移的控制指标。根据监测分析结果, 及时优化设计参数。

##### 2.1.3 动态监测分析

路堤填筑前, 应根据设计文件的要求, 及时埋设观测标志及观测仪器, 并对沉降和侧向位移进行定期观测。对观测数据进行整理和分析。根据沉降速率和侧向位移速率的分析结果, 提出填筑控制建议; 根据沉降和固结分析结果, 评价处理效果, 提出是否需要调整预压期和超载厚度等设计调整建议, 提出预留沉降建议值。根据沉降观测结果, 提供路基沉降土方量, 校验路基填筑标高。

#### 2.2 沉降观测

##### 2.2.1 沉降板的布置要求

- 1) 在不处理及预压处理的一般软基路段，纵向设置间距为 200m 左右，当软土深度或填土厚度变化较大时，需根据实际情况加密。
- 2) 沉降板观测断面一般安装在路中线和两侧路肩边缘线上。
- 3) 路中沉降板的设置应防止与通信管道或防撞护栏位置冲突，高速公路埋设位置宜设在路中偏右 0.5 ~ 0.6m。
- 4) 互通匝道观测断面，对于无中间分隔带的单车道匝道等按距右侧路肩 0.25m 设置，超高路段设置于超高侧路肩。对于有中间分隔带的双车道匝道按布置表所定桩号埋设在路中线处。
- 5) 桥涵结构物相邻路段，埋设时应顺沿桥台、通道、涵洞以及河渠的伸展方向埋设。

### 2.2.2 沉降观测精度

沉降观测一般应满足二等水准测量精度要求。

表 2-1 观测精度要求

检测项目	精度要求
地表沉降	±1.0mm
路堤顶沉降量	±1.0mm
路面水平位移、垂直位移	±1.0mm

### 2.2.3 沉降观测频率

路基填筑观测频率：施工期间，每填筑一层后立即观测一次；填筑间歇期间，重点路段每 3 天观测一次；若填筑间隔时间较长，一般每 7 天观测一次；路堤填筑完全进入预压期后，第 1 个月每 7 天观测一次，第 2 个月每 15 天观测一次，第 3 个月每 30 天观测一次，直至预压期结束，多余的填料卸除为止。

路面结构层观测频率：每层加载至少观测一次。若间隔时间较长，第 1 个月每 15 天观测一次，第 2 个月起每 30 天观测一次。

## 2.3 侧向位移观测

侧向位移观测常用有两种方法：位移边桩观测和测斜管观测。对于沿河、沿塘临空面处极限填筑高度以上且路基高度 3m 以上路段，设计路基高度在 4.0m 以上的高路堤（刚性桩处理路段可放宽至 5.0m）应选择典型断面埋设测斜管观测。

### 2.3.1 位移边桩制作

位移边桩用钢筋混凝土制作，规格：0.12m×0.12m×1.5m，采用 C30 混凝土，桩顶中心处插一根  $\phi 10\text{mm}$  埋深 10cm 的钢筋，钢筋顶端露出砼顶面 2 ~ 3mm。

若路基穿越池塘且填平土层厚度超过 1.5m 时，位移边桩难以准确及时反映出软土变形情况，或基准桩布置位置受其它条件限制无法埋设时，改用打设木桩或测斜管观测方法。

### 2.3.2 位移边桩和基准桩布设埋设

位移边桩埋设时，可采用洛阳铲，有条件可采用挖机垂直将桩压入土中压实或钻机成孔埋入，此后用砂、土填充压实，桩周顶部 50cm 用混凝土固定，确保边桩埋置稳固。边桩外露长度  $\leq 10\text{cm}$ 。

沿监测横断面延长线上外端于路基两侧设置基准桩，并保持其与最外侧边桩的距离在 30m 以上，使基准桩不受土体变形影响。

### 2.3.3 斜管的埋设

在设计位置用钻机成孔，钻孔需穿越软土层并进入硬土层 1m 以上，孔深达到要求深度后，逐节放入测斜管，沉管时要注意测斜管的导槽要垂直于路基中心线，节间连接牢固，以免测试过程中卡阻，确保测试精度。沉管后，边填砂边加水，以使砂密实。

### 2.3.4 测斜管和边桩的观测

#### 1) 测斜管观测方法

测斜管埋设后即可读取初始数据。水平位移测试用标定好的测斜仪，先将测斜仪正向放入测斜管导槽中，并慢慢滑至管底，然后慢慢上拉，每米记录一次测斜仪读数，直至测斜管管口，然后反向放入测斜仪，重复上述操作。

#### 2) 边桩观测方法

路基横向水平位移宜采用平距法，桥头纵向水平位移宜采用极坐标法。观测仪器宜采用 J1 或 J2 经纬仪，或相当精度的全站仪。

3) 水平位移测定时间应与沉降监测同步路基填筑一层水平位移应至少观测 1 次，当路基填土高度超过 2.5m 或接近极限填筑高度时，水平位移观测频率与测定时间应与沉降监测同步。

## 2.4 测点保护

沉降板和沉降杆、基点桩、测斜管等各种观测测点的保护由施工单位负责，在观测期间必须采取有效措施加以保护或专人看管。在施工期间应避免施工车辆、压路机等碰撞和人为损坏，除采取有力的保护外，还应在标杆上竖有醒目的警示标志。测量标志一旦遭受碰撞，应立即报告观测单位后复位。

## 2.5 监测控制指标

### 2.5.1 填筑期控制指标

1) 需要预压路段，在确保路基稳定和满足路基填筑质量的前提下，应合理安排施工顺序，抓紧填筑，以争取更多

的预压时间。

2) 极限填筑高度以内, 填筑速率要求小于  $1.5 \sim 2.0\text{m} / \text{月}$ ; 大于极限填筑高度, 按每 7 天填筑一层 (25cm)。

3) 当采用排水固结法处理地基时, 应控制填筑的速率, 使之与地基的强度增长相适应, 尽量减少附加沉降量。一般路堤, 原地面沉降速率应小于  $15\text{mm}/24$  小时; 对于桥头路堤, 原地面沉降速率应小于  $10\text{mm}/24$  小时。对于真空预压处理路段, 在稳定抽真空时期、填土高度 5m 以下时, 沉降控制速率可适当放宽至  $20\text{mm}/24$  小时。

4) 排水固结法处理以外的路段, 原地面沉降速率应小于  $10\text{mm} / \text{小时}$ 。

5) 各种地基其水平位移应控制在  $5\text{mm}/24$  小时之内。

6) 当观测数据超出以上范围或路堤稳定出现异常情况而可能失稳时, 观测单位应立即通知施工单位停止加载并采取果断措施, 待路堤恢复稳定后, 方可继续填筑。

### 2.5.2 预压期卸载控制指标

采用双标准控制: 即要求推算的工后沉降量小于设计容许值, 同时要求达到以下沉降速率标准时, 方可卸载开挖路槽并开始路面铺筑。

1) 对欠载预压的路段, 按连续两个月的月沉降速率小于  $3\text{mm}$  进行控制;

2) 对等载预压的路段, 按连续两个月的月沉降速率桥头小于  $3\text{mm}$ 、一般路段小于  $5\text{mm}$  进行控制;

3) 对超载预压的路段, 当有效应力面积比小于  $0.75$  并且预压期超过 6 个月以上时, 按连续两个月的月沉降速率小于  $7\text{mm}$  进行控制。有效应力面积比超过  $0.75$  小于  $1.0$  时, 按连续两个月的月沉降速率桥头小于  $5\text{mm}$ 、一般路段小于  $7\text{mm}$  进行控制。有效应力面积比超过  $1.0$  时, 按连续两个月的月沉降速率桥头小于  $3\text{mm}$ 、一般路段小于  $5\text{mm}$  进行控制。

### 2.5.3 面层施工控制指标

填筑沥青混凝土下面层的条件是, 当路堤施工至基层顶面后, 连续两个月的实测沉降速率应小于  $3\text{mm} / \text{月}$ 。

### 2.5.4 缺陷责任期控制指标

初期养护处理标准: 为满足车辆在高速公路桥头行驶过程的平稳、舒适, 在桥头有搭板设置的情况下, 桥头沉降引起纵坡必须小于  $\Delta i=0.4\% \sim 0.6\%$ , 此时桥头允许沉降差应小于  $20 \sim 40\text{mm}$ 。

## 3 依托工程沉降监测与数据分析

### 3.1 工程概况

本项目为浙江省台州市台州湾大桥及接线工程, 线路起点 K111+900, 路线终点 K119+500, 路线全长  $7.6\text{km}$ , 项目位于浙江省东南沿海, 区域软土分布范围较广, 多为淤泥、淤泥质土、局部相变为软塑-流塑状粉质黏土及黏土, 厚度达  $25\text{m}$  多深。

### 3.2 监测方案

考虑到岩土工程的复杂性, 在施工过程中, 必须采取相关的动态观测措施, 密切监控地基的各项技术指标的变化情况, 常用的软基现场观测项目有: 基底沉降观测、侧向变形观测。

#### 3.2.1 基底沉降观测

基底沉降观测是交通建设领域使用广泛的一种观测方式, 即在地基上设置沉降板, 板上接双层套管进行地表竖向位移的测量。测杆四周采用理砌块石进行保护, 范围  $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ , 路堤施工时对测杆亦应有相应的保护措施。在施工加荷期一般每天观测二次, 荷载停歇期的第一周内, 每天观测一次, 以后视沉降变形大小, 每隔 3 天观测 1 次。在路堤下级加荷前, 应连续 3 天每日观测 1 次。当相邻二次观测日沉降量递增较快或观测值接近 (或超过) 控制标准时, 必须增加观测频次, 每日观测频次数增加至 2-3 次。在路堤施工接近设计标高时, 一般也需适当增加观测频次。观测结果应采用专门的表格进行记录, 每个观测值应有对应的坝高、加荷速率、间隙时间、潮位等记录。观测结果应及时整理分析, 以指导施工; 要求当天观测, 当天整理分析, 发现异常, 及时处理。

#### 3.2.2 侧向变形观测

侧向变形采用预埋测斜导管用测斜仪进行测量, 具体由测斜器、电缆、斜导管组成。本工程中, 在镇压层中埋设测斜管, 用于观测地基土水平位移变化情况, 从而有效地控制地基的稳定。套管采用高压聚乙烯内十字槽型管, 用活动式测斜仪进行测量, 测出地基土在荷载作用下的侧向位移大小和速率, 绘制出荷载、侧向位移随时间变化曲线, 作为控制加荷速率的依据之一。测斜管管口高程需一次接到高潮位以上, 管外用金属护管保护。施工加荷期间要求每天观测二次, 加荷停歇期的第一周内每天观测一次, 以后视侧向变形大小, 2-3 天或一周观测一次, 观测结果绘制成侧向变形随深度变化的曲线。

#### 3.2.3 地基孔隙水压力观测

通过孔隙水压力观测, 可掌握填筑期地基土体中孔隙水压力增长与消散情况和土体的固结状态。通过分析计算, 绘出荷载、超静孔压随时间变化曲线, 以孔压系数控制填土速率。孔隙水压力计的金属套管顶高程必须位于平均潮位以上, 所有孔隙水压力计的电缆线均位于套管内, 引至管口扎牢。施工加荷期间每天观测二次, 加荷停歇期第一周内每天观测一次, 以后视孔压消散情况, 2-3 天或一周观测一次, 观测结果绘制孔隙水压力随荷载与时间变化曲线。

### 3.3 数据分析

全线软基处理有 13 段路基进行预应力管桩进行处理, A、D 匝道 2 段路基采用塑料排水板进行处理, 有 8 段路基采用水泥搅拌桩进行处理。每一段都设置沉降观测板, 分析沉降数据随时间的变化关系, 分析每种处理方式的效果, 从

而指导现场软基处理施工。

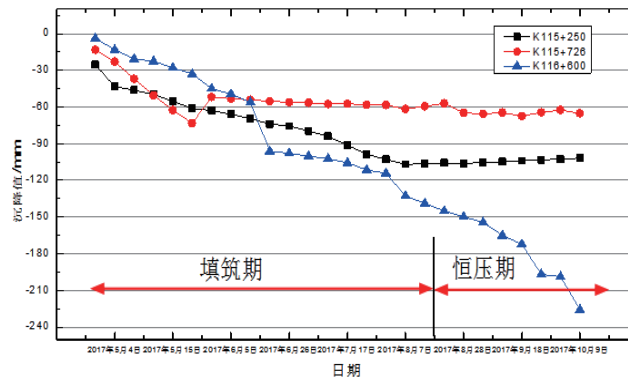


图 3-1 预应力管桩处理段落沉降观测曲线图

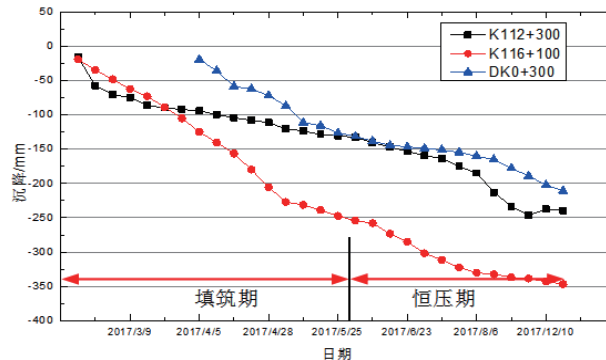


图 3-2 水泥搅拌桩处理段落沉降观测曲线图

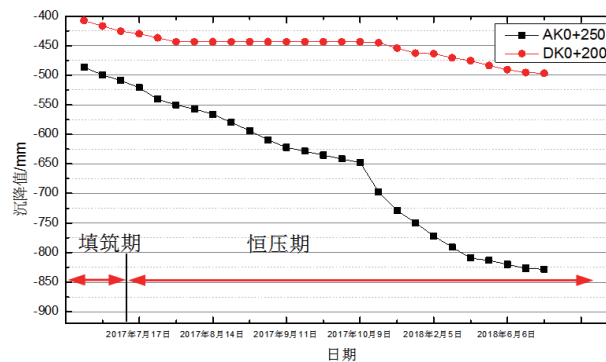


图 3-3 塑料排水板处理段落沉降观测曲线图

以上是分别选取不同路基段落分析沉降数据，选取 K115+250、K115+726、K116+600 段落对预应力管桩处理的软基沉降进行分析，图 3-1 为预应力管桩处理段落沉降观测曲线图。选取 K112+300、K116+100、DK0+300 对双向水泥土搅拌桩处理的软基沉降进行分析，图 3-2 为水泥搅拌桩处理段落沉降观测曲线图。选取 AK0+250、DK0+200 对塑料排水板处理的软基沉降进行分析，图 3-3 为塑料排水板处理段落沉降观测曲线图。

从图 3-1 可看出，采用预应力管桩处理软基，效果明显，路基沉降较小，最大值不超过 240mm，一般段落稳定沉降稳定在 120mm 以内，在填筑期，随着加载的增大，沉降不断增大，至填筑完成，等载预压期，沉降也在增大，但变化幅度较小，沉降基本稳定；通过分析预应力管桩处理的其他段落，沉降值也变化也具有同样的规律。

从图 3-2 可看出，采用双向水泥土搅拌桩处理软基，其沉降最大值较大，K116+100 段沉降最大值达到了 350mm 以上；在填筑期，其沉降增长较快，至填筑完成，沉降已达到 250mm 左右，占了总沉降的 71%。；在恒压期间，其沉降继续增大，但变化幅度较填筑期，已明显变小，逐渐趋于稳定；根据勘察资料知 K116+100 段软土较厚，达到了 11.5m，所以此段沉降较其他段落较大。

从图 3-3 可看出，采用塑料排水板土处理软基，其沉降最大值最大，AK0+250 段沉降最大值达到了 750mm 以上，填筑期及预压期沉降持续增大，至预压期结束，沉降依然在增长，但增长幅度较小，后面仍要加强沉降观测，确保沉降稳定。

综合对比分析可知，在软基处理中，采用预应力管桩处理软基效果最好，沉降稳定较快，需要的预压时间也较短，现场预应力管桩段落基本都已经稳定；水泥搅拌桩处理的软基段落在预压期内沉降也基本稳定，达到设计要求；塑料排水板处理的软基段落沉降较大，预压期较长，受软土深度及含水量影响，在预压期内沉降尚不能完全稳定。

#### 4 小结

从工程实用角度出发,对公路软土地基动态监控技术进行了总结,详细介绍了软基动态监控技术的关键要点、监测内容、沉降观测、位移监测、测点布设及保护、监控指标等主要内容;依托台州湾大桥及接线工程,制定了详细的监测方案,主要分析了软基沉降数据,得到以下结论:(1)在软基线路较长、深度较大的公路工程中,进行软基动态监控是非常必要的,动态监控是保证路堤稳定的有效措施,通过监控数据能指导高填方软基的填筑速率、填筑厚度及预压周期等;(2)分析沉降数据可知,采用预应力管桩、双向水泥搅拌桩、塑料排水板处理深层软基沉降值满足设计要求,预压周期也较短,适用于深厚软基的处理;(3)实际工程中,考虑到每种方法的优缺点,应该多种方法组合使用,满足经济与技术要求。

#### [参考文献]

- [1]黎玉,王齐仁.塑料排水板堆载预压法软基加固监测分析[J].福建建筑,2017(9):80-82.
- [2]金亮星,王守林,陈明.排水板堆载预压加固软基的固结沉降数值模拟[J].地下空间与工程学报,2014(10):1930-1934.
- [3]龙浪波.塑料排水板真空联合堆载预压软基处理沉降监测分析[J].四川建筑,2015(35):86-90.
- [4]郭策,王立峰,陈小乐等.软基沉降监测及处理技术研究[J].黑龙江交通科技,2014(2):73-74.
- [5]张学峰.高速公路软基沉降监测及处理技术分析[J].华东公路,2014(3):21-22.
- [6]贺志勇戴少平.高速公路运营期软基沉降预测分析[J].中外公路,2011,31(1):19-21.
- [7]骆行文,张华,杨明亮.高速公路软基沉降变形监测与控制方法[J].土工基础,2010,24(5):72-75.
- 作者简介:张红卫,湖南长沙人,高级工程师,主要从事公路工程施工管理及技术研究工作。