

软土路基处理技术施工工艺与沉降控制研究

段先华

中国水利水电第五工程局有限公司 四川 成都 610066

【摘要】：软土孔隙比大、含水量高，路基加载后孔隙水排出缓慢，容易出现工后沉降和路面不均匀变形。施工中应先核定软土厚度、含水状态与排水条件，再在水泥搅拌桩、排水预压及分层填筑之间选择合适组合。沉降控制不能只在完工时验收，而要把填筑速率、观测频次、孔隙水压及水平位移纳入同一施工节奏。以监测反馈调整加载和间歇时间，可使地基强度增长与路堤荷载增加保持匹配。

【关键词】：软土路基；地基处理；施工工艺；沉降监测

DOI:10.12417/2811-0528.26.18.020

引言

软土路段的沉降与地层压缩性、排水路径、荷载增长速度及施工扰动共同有关。单一换填或增大压实功率只能处理表层问题，下部土体固结仍可在运营期延续。处理方案因而要与土层分布、工期及路堤高度相适应，施工阶段还要留出排水固结时间。观测数据只有与填筑日志、孔隙水压和设备作业记录对应，才能判断沉降加快是正常固结还是稳定性出现异常。

1 软土路基工程特征分析

1.1 软土物理力学性质表现

软土中细颗粒和有机质含量较高，土骨架在原始状态下松散，外部荷载作用后先由孔隙水承担较大比例，随排水进程再转移给土颗粒。排水距离长时，压缩变形往往滞后于路堤填筑，且扰动后抗剪强度恢复较慢。勘察应按路段分层记录软土顶底板高程、地下水位、含水状态和排水边界，将薄层夹砂、厚层淤泥及局部暗浜分开标识。处理范围底标高不宜按一个断面简单外推，软土厚度突变处需要加密勘探点，防止强度较差土层留在处理范围之下。勘察成果还要与施工便道、水塘回填和原路基分布相互校对，原地面高差较大的横断面应分别核定路中、路肩和坡脚土层。勘探孔发现局部夹砂时，还要判断排水通道是否连续，以免将局部透水现象误作整个路段的排水条件。

1.2 软土路基对路面稳定的制约

路堤与软土地基之间的荷载增长不协调时，路堤中心与路肩、一般路段与桥头过渡段会形成不同的变形梯度。工后沉降过快时，路面容易发生纵向裂缝、桥头跳车或排水坡度变形。高速公路软土路基的施工控制已将地基处理与沉降观测作为连续工序^[1]。路堤设计高度、加载面宽和边坡形式应与地基承载能力一起核定，施工计划则要给每级加载留出观察窗口。若位移或孔压变化与填筑量不匹配，现场应停止继续加高，先查

明局部剪切变形或排水通道失效的位置。

2 软土路基处理施工工艺

2.1 水泥土搅拌桩加固工艺

水泥土搅拌桩适用于下部软土需要增加竖向刚度的路段。成桩前应用试桩核定钻进速度、喷浆量和复搅次数，正式作业可将下沉速度控制在 0.6—1.0 m/min、提升速度控制在 0.5—0.8 m/min，并把数值作为试桩后的建议工艺窗口，不作统一限值。一般路段可先用 1.2—1.5 m 的示例桩距布置试验区，再根据钻机电流、泥浆流量和回转速度调整。软土路基的搅拌处理必须保持桩位、桩长与桩体连续性一致^[2]。遇到喷浆中断时，重叠复搅段应跨过中断面，避免留下强度突变带。每台钻机还应按桩号保留开钻时间、到底电流、水泥用量、喷浆时长和复搅记录，记录曲线出现空段或突跳时立即标出桩位。施工班组不能用同一组平均数覆盖单桩异常，否则后续芯样检查难以追回中断时的作业条件。

2.2 排水固结预压处理方式

排水固结预压以缩短孔隙水排出路径为主，适用于工期允许留出预压时间的厚层软土路段。塑料排水板可先用 1.0—1.3 m 间距做小范围工艺比较，打设后检查回带、断带与打设长度，排水板顶端要与砂垫层保持连通。预压荷载不宜一次堆足，可按每级 0.5—1.0 m 的填土厚度分级加载，每级结束后根据沉降速率和孔压消散情况决定是否进入下一级。软土地区道路处理中，排水连通性与加载节奏直接影响差异沉降^[3]。若观测值连续加快，不能用增加荷载的方式赶进度，应延长间歇并检查边坡位移。

2.3 路基分层填筑结构施工技术

路基填筑应先完成垫层、排水系统和观测元件验收，再按横断面对称分层上土。松铺厚度可先按 250—300 mm 作为试

验段控制值,碾压由路肩向中线逐幅进行,同一层高差应在本班次内消除。填土含水状态偏离试验段可压实窗口时,应先翻晒或拌和调整,而不是增加碾压遍数。路堤两侧可每 50—100 m 布设一组水平位移观测点,桥头、箱涵及软土厚度突变处另行加密。新一层填土之前需要复核下层压实状态和沉降点稳定性,避免在未固结土体上连续增荷。

3 软土路基施工沉降控制要点

3.1 路基填筑施工参数确定

填筑参数应由试验段、地基反应和设备能力共同确定。现场可把日填筑高度、松铺厚度、碾压遍数、沉降量、水平位移及孔压比 6 个字段纳入同一记录表,并按施工日期对齐。下表数值属于本技术分析的推荐控制窗口,仅用于组织试验段和监测复核,不代表规范限值或实测成果。连续两次观测趋势偏离可接受状态时,技术人员应核对观测时间、仪器高和填土日志,排除测量误差后再调整填筑速率。调整单应记录时间、断面号、前后参数和批准人,下一班组在上土前复核一次,防止新旧参数混用。

表 1 软土路基施工建议控制参数

序号	日填高/m	松铺/mm	观测间隔/h	观测点/个	复核次数/次
1	0.30	250	24	3	2
2	0.40	260	24	4	2
3	0.50	280	12	4	2
4	0.60	300	12	5	3
5	0.40	270	8	5	3
6	0.30	250	6	6	3

3.2 施工过程沉降稳定控制措施

沉降观测要在填筑前取得稳定初值,沉降板、边桩和孔压计的位置应在横断面上——对应。常规填筑期可每 24 h 观测 1 次,荷载突增、连续降雨或位移加快时缩短到 6—12 h; 这些频次是施工组织建议,需要由现场试验段修正。观测不应只比较单日沉降量,还要查看沉降曲线斜率、孔压消散方向和路堤两侧位移是否同步。现场施工与沉降预测之间应保留动态校正

关系^[4]。观测人员还应在同一时段采集各类数据,避免将早晨沉降值与晚间孔压值直接配对。每次更换测量仪器、基准点或操作人员时,可对两个稳定点做一次重复观测,让新旧数据保留可比较的连接段。出现沉降斜率连续增大或水平位移突变时,应暂停加载,增加预压时间并检查排水设施。工艺与监测反馈关系如图 1 所示。

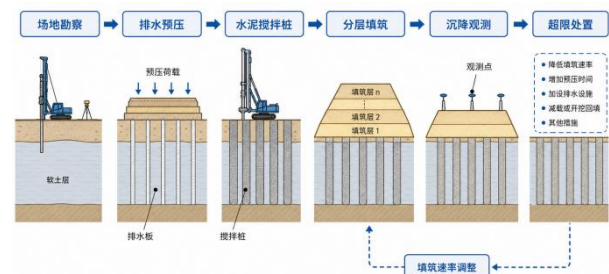


图 1 软土路基处理与沉降反馈流程

3.3 路基沉降处理质量检验方法

质量检验应将成桩质量、排水连通、填层压实和变形稳定分开判读。搅拌桩可按施工批次核对桩位、桩长、浆量和钻机电流记录,并对异常桩位安排芯样或承载复验。排水板应查回带数量、打设长度及与砂垫层的连接状态,填层则按试验段确定的检查点取样。沉降稳定判定宜使用连续时序,不宜用某一天的低值代替整个观察期。交工前可随机抽取不少于 3 个典型断面,将施工参数、质量检验和沉降曲线相互对照;任一断面的记录链不完整时,都要补验或延长观察期。沉降点被施工机械碰动后不得沿用原高程,要以邻近稳定基准点重新引测,并在时序表中标注断点。路肩位移先于中心沉降加快的断面,还要查看坡脚隆起、侧向挤出和排水沟变形,不得只以中心点尚未超限作为继续加载的理由。

4 结语

软土路基处理技术的施工工艺与沉降控制必须共用一套地层、荷载和时序信息。水泥土搅拌桩解决下部刚度不足,排水预压缩短固结路径,分层填筑则控制荷载增长速度。各工艺参数应由试验段修正,观测频次要随填筑、降雨和位移变化调整。当沉降斜率、孔压消散或水平位移出现异常时,暂停加载、查验排水系统并延长观察期,才能避免未完成固结的软土继续承受新增荷载。

参考文献:

- [1] 王磊,吴银娣.高速公路软土路基沉降控制与施工关键技术研究[J].智能建筑与智慧城市,2026,(S1):265-267.
- [2] 王学宾,张美华.城市道路施工中的软土地基处理技术与沉降控制[J].中国住宅设施,2026,(5):158-160.
- [3] 白晶,田银亮.软土地区道路差异沉降控制技术与路基处理工艺优化[J].张江科技评论,2026,(3):84-86.
- [4] 李晟.公路路基工程软土地基处理技术与沉降控制研究[J].汽车画刊,2026,(3):89-91.