

# 公路工程施工中深基坑施工技术分析

张腾博

内蒙古晟昱工程监理有限公司 内蒙古 乌兰浩特 137400

**摘要：**公路工程深基坑施工对道路结构稳定性至关重要，需融合地质勘察、支护选型、智能监测等多环节技术。通过三维地质建模优化施工参数，采用钢板桩与锚杆组合支护并验证抗拔力，引入自动化监测系统实现动态预警。分层降水、智能开挖及基底处理技术保障施工质量，针对支护失效、基坑坍塌等问题，运用加固、预警及综合治理策略。创新工艺与智能技术的应用，为深基坑施工的安全性与耐久性提供支撑。

**关键词：**公路工程施工；深基坑；施工技术

## 引言

随着公路工程建设向复杂地质区域拓展，深基坑施工难度显著提升，其质量直接影响道路整体性能。本文聚焦深基坑施工技术，从概述施工关键环节入手，解析开挖、支护、降水及监测等技术要点，结合常见问题提出应对策略。通过探讨智能工艺与创新技术的应用，为优化施工方案、提升工程质量提供思路，旨在为公路工程深基坑施工实践提供专业参考。

## 1 公路工程深基坑施工概述

公路工程深基坑施工是保障道路结构稳定性的关键环节，其施工质量直接影响后续路面铺装、边坡防护及地下管线布设的整体效果。在施工前期，需结合地质勘察数据，对基坑开挖深度、支护结构形式及降水方案进行精准设计，通过三维地质建模技术模拟不同工况下的土体变形趋势，为施工参数优化提供数据支撑。支护体系的选型需兼顾力学性能与施工便捷性，采用钢板桩与锚杆组合支护时，需通过静载试验验证锚杆抗拔力，确保在基坑开挖过程中支护结构的水平位移控制在规范允许范围内。引入自动化监测系统，实时采集基坑周边土体沉降、支护结构内力及地下水位变化数据，通过物联网平台实现监测数据的动态分析与预警，为现场施工调整提供及时依据。降水作业需根据含水层分布特征制定分层降水方案，采用管井与轻型井点联合降水工艺时，需通过抽水试验确定单井出水量及降水半径，避免因降水不当引发周边土体固结沉降。基坑开挖过程中，采用分层分段开挖与及时支护的同步施工工艺，利用液压抓斗与长臂挖掘机协同作业，减少机械扰动对坑底原状土的破坏，同时通过边坡修整机械实现基坑壁的平整度控制，为后续防水层施工创造有利条件。基底处理阶段，需通过平板载荷试验检测地基承载力，对局部软弱夹层采用高压旋喷桩进行加固处理，确保地基承载力满足设

计要求。防水层施工采用热熔法铺设改性沥青卷材，通过超声波检测技术验证卷材搭接质量，避免基坑回填后出现渗漏隐患。基坑回填选用级配砂石材料，采用分层碾压与灌水密实相结合的施工方法，通过环刀法检测回填土压实度，确保回填质量符合结构耐久性要求。

## 2 公路工程深基坑施工技术要点

### 2.1 基坑开挖技术

(1) 采用智能分层开挖工艺，结合BIM技术对开挖区域进行三维分区划分，通过施工模拟确定每层开挖厚度与分段长度，利用无人挖掘机与智能渣土车组成的协同作业系统实现开挖过程的精准控制，开挖面平整度通过激光扫描实时校准，避免超挖或欠挖现象对后续工序造成影响，开挖过程中对暴露的边坡采用即时喷浆固化处理，形成临时保护层以抵抗大气降水对边坡的冲刷。

(2) 开发土方开挖与支护作业的时空耦合控制技术，通过预设开挖步距与支护作业的时间间隔参数，在液压抓斗开挖至设计深度后，立即启动锚杆钻机进行支护作业，利用机械臂的精准定位系统实现锚杆孔位的三维坐标控制，减少开挖面长时间暴露引发的边坡失稳风险，同时采用铣削式挖土机处理坑底边角区域，确保开挖轮廓与设计边线的吻合度。(3) 引入坑底土体扰动控制技术，在开挖机械作业路径上铺设钢板路基箱分散接地压力，通过调整挖掘机铲斗角度控制切入深度，避免机械振动导致坑底原状土结构破坏，开挖至基底设计标高以上30cm时改用人工清底，配合土壤固化剂喷洒工艺增强表层土体整体性，为后续地基处理创造稳定作业面<sup>[1]</sup>。

### 2.2 支护结构施工技术

(1) 创新钢板桩与型钢组合支护体系，通过有限元分析优化钢板桩入土深度与型钢间距，在钢板桩沉桩过程中采用液压振动锤与静压结合的沉桩工艺，利用桩身内置传感器实时监测沉桩阻力变化，根据阻力曲线调整

沉桩速率, 确保桩体垂直度偏差控制在极小范围内, 型钢与钢板桩的连接节点采用高强螺栓与焊接双重固定方式, 提升整体支护结构的协同受力性能。(2) 研发锚杆与锚索复合支护技术, 采用自钻式锚杆同步完成钻孔与注浆作业, 注浆材料选用超细水泥与硅灰复合浆液, 通过高压注浆泵实现浆液在岩体裂隙中的充分渗透, 锚杆端部与钢腰梁的连接采用可调节式锚具, 便于根据支护结构变形情况进行后期应力调整, 锚索施工中引入预应力损失补偿技术, 通过分级张拉与持荷稳压工艺减少预应力松弛现象。(3) 应用模块化支护结构体系, 针对不同地质条件设计可互换的支护单元, 采用快速连接装置实现支护构件的现场组装, 大幅缩短支护施工周期, 支护结构表面采用防腐涂层与阴极保护联合防护技术, 通过电化学监测系统实时评估防腐效果, 显著提升支护体系在复杂地质环境中的耐久性。

### 2.3 降水排水技术

(1) 开发基于地质雷达探测的含水层精准定位技术, 结合水文地质条件构建三维地下水流动模型, 据此设计分层降水井布置方案, 在富水地层采用大口径管井与微真空井点联合降水系统, 管井过滤器选用桥式滤水管与多层滤网组合结构, 增强对细颗粒土的拦截效果, 微真空井点通过智能真空泵实现真空度的动态调节, 确保降水效率与土体稳定性的平衡。(2) 创新降水与回灌一体化技术, 在降水井外围设置回灌井组, 采用智能流量控制系统根据基坑周边水位变化自动调节回灌量, 回灌水源经深层过滤与水质软化处理, 避免回灌过程中引发含水层堵塞, 通过安装在回灌井内的水质传感器实时监测回灌水体参数, 确保回灌作业不对周边地下水环境造成不利影响。(3) 应用非稳定流降水预测技术, 全面考量基坑所在区域的地质构造、水文条件等复杂因素, 紧密结合基坑开挖进度, 实时且动态地调整降水参数, 保障降水方案的科学合理。采用变频水泵与智能阀门组成的自动降水系统, 实现单井出水量的精准调控。降水时用光纤监测含水率, 优化降水, 有效控制降水引起的地层变形<sup>[2]</sup>。

### 2.4 基坑监测技术

(1) 构建基于北斗定位与三维激光扫描的立体监测网络, 通过安装在支护结构顶部的自动化测斜仪实时捕捉结构侧向位移, 配合布置在基坑周边的分布式应变传感器采集土体变形数据, 所有监测设备采用无线传输模块接入数据处理中心, 形成的变形云图可直观反映基坑整体稳定性状态, 为施工调整提供可视化依据。(2) 开发支护结构内力监测的光纤传感系统, 将光纤光栅传感

器植入锚杆与钢支撑内部, 通过解调仪实时获取应变数据并转换为内力值, 结合温度补偿技术消除环境因素对监测精度的干扰, 同步监测支护结构与周边土体的相互作用关系, 建立内力与变形的耦合分析模型, 提升对支护体系工作状态的预判能力。(3) 应用地下水动态监测与预警技术, 在降水井与观测井内安装全自动水位监测仪, 配合土壤含水率传感器形成地下水监测矩阵, 通过数据融合算法分析水位变化与土体沉降的关联性, 当监测值接近预警阈值时, 系统自动触发声光报警并推送调整建议, 实现降水作业的智能化调控, 保障基坑施工期间周边环境的安全。

## 3 公路工程深基坑施工常见问题及应对策略

### 3.1 常见问题

#### 3.1.1 支护结构失效

支护结构失效多表现为钢板桩接缝处出现塑性变形、锚杆与钢腰梁连接节点产生滑移, 或支护体系整体出现超过设计限值的水平位移, 这类现象往往源于地质条件突变时支护参数未及时调整, 如在软黏土层中钢板桩入土深度不足, 导致桩底发生过量刺入变形。当基坑开挖深度超过预设值时, 支护结构的弯矩分布会出现异常峰值, 若未通过实时内力监测捕捉这种变化, 可能引发型钢支撑的局部屈曲, 而地下水长期浸泡会加剧钢材锈蚀, 降低支护结构的截面承载力, 使原本处于平衡状态的受力体系出现应力重分布, 最终导致支护功能丧失。在复杂地层中, 不同土层的侧压力传递特性存在差异, 若支护结构的刚度分布未与这种特性匹配, 会在土层界面处产生应力集中, 进而引发支护结构的脆性破坏。

#### 3.1.2 基坑坍塌

基坑坍塌通常始于边坡局部土体的滑动, 随后发展为区域性失稳, 其初期征兆包括坡顶出现连续贯通的裂缝, 裂缝宽度随开挖进程逐渐增大, 同时伴有明显的土体下坠声, 这种现象多因开挖过程中未严格遵循分段原则, 在软土地层中一次性开挖深度过大, 导致边坡土体抗剪强度不足以抵抗自重产生的剪切力。当降水系统运行不当使地下水位在短时间内剧烈波动时, 会引发边坡土体的孔隙水压力骤升, 有效应力急剧降低, 在振动荷载作用下极易发生流土或管涌, 进而诱发基坑坍塌。坑底隆起也是坍塌的重要前兆, 当地基承载力无法平衡基坑周边的土压力与水压力时, 坑底原状土会发生向上的塑性挤出, 破坏支护结构与地基土的协同受力状态, 最终导致整体失稳<sup>[3]</sup>。

#### 3.1.3 地下水渗流破坏

地下水渗流破坏常表现为支护结构接缝处出现管涌

现象,带出大量细颗粒土,形成直径逐渐扩大的渗流通道。这类问题的出现,往往与止水帷幕的施工质量密切相关,若施工时存在搭接缺陷,在高水头差作用下,地下水便会沿这些薄弱部位发生集中渗漏,进而引发管涌。降水井滤网选型若与土层颗粒级配不匹配,含水层中的细颗粒会随渗流迁移,造成井周土体空洞化,使得基坑周边地面出现不均匀沉降。在承压水地层中,若降压措施不到位,承压水水头压力可能击穿坑底隔水层,形成突涌现象,这种破坏具有突发性,会迅速导致坑底土体结构解体,同时携带大量泥沙的水流会冲刷支护结构基础,加剧结构失稳风险。

### 3.2 应对策略

#### 3.2.1 支护结构加固

针对钢板桩支护体系的局部变形,可采用型钢斜撑与原有支护结构形成空间桁架体系,通过有限元分析确定斜撑的最优布置角度与截面尺寸,利用液压千斤顶施加预紧力使新增结构与原支护体系协同受力,同步采用碳纤维布粘贴技术增强钢板桩受拉区域的承载能力,通过应变片监测验证加固效果。对于锚杆抗拔力不足的情况,开发新型复合锚杆体系,将原有钢制锚杆与玻璃纤维增强塑料锚杆组合使用,利用注浆管在锚杆周围形成扩大头式锚固体,通过高压喷射注浆技术使浆液渗透至周围土体形成网状加固区,提升锚杆与土体的界面粘结强度,同时在锚杆端部安装可调节式锚具,根据监测数据动态调整预应力值。当支护结构出现整体性位移趋势时,采用微型钢管桩与原有支护结构形成组合式挡墙,通过植筋技术实现新旧结构的刚性连接,利用地质雷达探测确定微型桩的入土深度,确保桩体穿透软弱夹层嵌入稳定岩层,形成抗滑支点。

#### 3.2.2 坍塌风险防控

开发基于机器学习的坍塌风险预警模型,通过分析历史监测数据建立支护结构位移、土体沉降与坍塌概率的映射关系,在基坑关键部位布设光纤光栅传感器实时采集应变数据,当监测值达到预警阈值时,自动启动应急加固装置,如快速膨胀式气囊支撑系统,在短时间内形成临时支护阻力。采用超前地质预报技术,在基坑开

挖前通过钻孔声波测试探明前方土层分布特征,对可能存在的软弱夹层提前采用高压旋喷桩进行格栅式加固,形成具有一定刚度的防渗帷幕,同时优化开挖机械的作业路径,利用无人挖掘机的精准控制功能减少对周边土体的扰动,通过激光扫描技术实时修正开挖轮廓,确保边坡坡度符合稳定计算要求。

#### 3.2.3 地下水综合治理

针对止水帷幕渗漏问题,研发新型化学注浆材料与定向注浆技术,通过钻孔成像确定渗漏点精确位置,采用双液注浆工艺使浆液在渗漏通道内快速反应形成高强度凝胶体,同时在帷幕外侧设置渗透结晶型防水涂层,利用土体孔隙水使涂料中的活性成分持续扩散形成自愈型防渗层。开发智能降水调控系统,将水位监测数据与降水设备运行参数进行联动,通过自适应算法动态调整水泵开启数量与抽水速率,在富水地层中采用“深井+浅井”的立体降水模式,深井负责降低承压水水头,浅井控制潜水水位,形成分层止水体系,同步在基坑周边设置地下水水位回灌系统,通过自动流量调节阀维持周边土体的渗流平衡,减少降水引起的地层变形<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述,公路工程深基坑施工需统筹地质条件、技术工艺与智能监测,通过三维建模、协同支护等技术实现精准施工。面对支护失效等问题,创新加固与预警技术可有效防控风险。未来应深化BIM与物联网融合,推动无人化施工与自适应调控技术发展,提升深基坑施工的智能化管理水平,为公路工程结构安全与耐久性奠定更坚实基础。

### 参考文献

- [1]孙鹏.公路工程施工中深基坑施工技术分析[J].工程建设与设计,2025(8):186-188.
- [2]魏福涛.公路工程施工中深基坑施工技术研究[J].中州建设,2024(4):50-51.
- [3]赵万冉.公路工程施工中采用的深基坑施工技术[J].工程机械与维修,2021(6):214-215.
- [4]张勇.公路工程施工中采用的深基坑施工技术研究[J].运输经理世界,2023(23):28-30.