

市政道路施工中的深基坑开挖技术要点

文 / 李飞鹏 淮南市建发市政工程有限公司

摘要：市政道路深基坑工程面临复杂地质条件和城市环境约束的双重挑战。以某城市快速路下穿隧道工程为例，研究从地质勘察、支护选型到绿色施工的全过程技术体系。针对渗透性土层提出“管井降水+同层回灌”组合方案，将周边建筑沉降控制在3mm以内；开发基于BIM的工序优化系统，缩短支护施工等待时间40%；创新渣土资源化利用技术，实现65%出土量现场回用。在安全管控方面建立四级预警机制，通过分布式光纤监测实现支护结构裂缝早期识别。绿色施工环节采用智能扬尘控制系统，使作业面PM10浓度稳定低于 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。这些技术措施为城市密集区深基坑施工提供了系统性解决方案。

关键词：深基坑工程；市政道路；绿色施工；智能监测；风险管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.067

引言

当前城市地下空间开发进入高质量发展阶段，市政道路深基坑工程面临更为严格的安全标准和环保要求。随着城市更新进程加快，既有建筑密集区、复杂管网交错带的深基坑施工难题日益凸显。新型城镇化建设推动下，绿色施工理念已深度融入基坑工程各环节，智能监测技术的应用为风险防控提供了全新解决方案。以某城市快速路下穿工程为例，其成功实践验证了精细化管理的必要性，为类似项目提供了宝贵经验。面对土地资源紧张与生态保护的双重压力，深基坑技术创新成为提升城市建设品质的关键突破口。

一、深基坑工程前期策划

（一）地质勘察与风险预判

深基坑工程的安全性与经济性直接取决于地质条件的准确识别与风险量化。在市政道路建设中，勘察需重点解决三个问题：土层渗透系数对降水方案的影响、软弱夹层分布对支护结构的侧向压力预测、地下水位波动与季节性降雨的耦合作用。例如，当粉质黏土层与砂层互层时，采用常规的单排桩支护可能因渗透破坏导致桩间土流失，此时需通过现场抽水试验验证竖向止水帷幕的必要性。风险预判则需建立在地质变异性的概率分析基础上，针对可能出现的流砂、管涌等险情，提前制定动态监测阈值与应急加固预案。某城市快速路项目中，通过钻孔取样结合孔内摄像技术，发现基坑底部存在未探明的断裂带，及时将原设计的放坡开挖调整为预应力锚索复合支护，避免了潜在滑坡事故。

（二）周边环境影响评估

市政道路深基坑的特殊性在于其线性分布对既有管网、建筑物的链式影响。评估需量化两个维度：一是基坑开挖引起的土体位移场对邻近结构物的附加沉降，特别是对年代久远的砖混建筑，当预测差异沉降超过3%时，需采用隔离桩或注浆加固措施；二是施工振动对精密仪器场所的累积效应，例如距离手术室50米内

的基坑爆破作业必须采用静态破碎剂替代。实践中常被忽视的是地下管线的协同变形问题，某次干道改造中，因未考虑给水管接口的柔性变形能力，导致支护结构位移2cm时即引发管道爆裂。这要求评估报告必须包含管线材质、接口形式等细部参数，而非仅标注平面位置^[1]。

（三）施工方案比选与优化

方案决策需平衡工期约束、造价控制与技术可行性三要素。对于开挖深度15米以上的市政基坑，地下连续墙与SMW工法桩的经济性对比不能仅看初期造价，还需计算前者节省的降水周期带来的交通导改费用。优化重点在于关键工序的时空整合，例如在软土地区，可采用“分段开挖+阶梯式支撑”替代传统全断面开挖，使支撑安装与土方开挖形成流水作业，某地铁换乘站项目通过该工艺将工期压缩23%。数字化技术正在改变比选模式，BIM平台可模拟不同支护形式下的土压力重分布过程，直观展示钢支撑轴力超过预警值时需调整的间距参数。值得注意的是，方案最终确定前必须进行多专业耦合验证，包括交通疏导对出土效率的限制、混凝土养护周期与监测频率的匹配度等实操因素。

二、深基坑支护技术实施

（一）支护结构体系选择

深基坑支护结构的选型需综合考虑地质条件、开挖深度、周边环境及施工周期等因素。在市政道路工程中，常见的支护体系包括排桩+内支撑、地下连续墙、SMW工法桩及土钉墙等，每种结构适用场景不同。例如，排桩+内支撑适用于开挖深度10~15m且周边存在敏感建筑物的工况，其优势在于刚度大、变形可控，但内支撑体系会占用坑内空间，影响土方开挖效率。地下连续墙则更适用于深度超过15m或需兼作永久结构的基坑，其整体性好、防渗性能强，但造价较高且施工周期长。SMW工法桩在软土地区应用广泛，通过型钢与水泥土搅拌桩的组合形成复合支护，兼具经济性和施工便捷性，但需

严格控制型钢插入垂直度以避免应力集中^[2]。土钉墙适用于开挖深度小于12m且土质条件较好的情况，其依赖土体自稳能力，造价低且施工速度快，但在高水位或松散砂层中易发生局部坍塌。某城市主干道下穿隧道工程中，原设计采用排桩支护，但因地下管线密集导致桩机无法就位，最终调整为钻孔灌注桩+预应力锚索的复合支护，既避开了管线干扰，又通过锚索替代内支撑优化了施工空间。支护选型还需结合动态调整机制，如监测数据超出预警值时，可增设临时钢支撑或调整锚索预应力值，确保结构安全。

（二）地下水控制技术应用

市政道路深基坑的地下水控制是确保施工安全的核心环节，需根据水文地质条件选择降水、截水或回灌等方案。在渗透系数较大的砂层中，管井降水是常用手段，通过合理布置井点间距和抽水速率，可有效降低坑内水位，但需警惕降水引起的周边地面沉降。对于渗透性较差的黏性土层，可采用轻型井点或电渗降水，但需注意电极布置密度对降水效率的影响。截水帷幕则适用于高水位或邻近水体的情况，如高压旋喷桩、TRD工法连续墙等，可阻断地下水渗流路径，但需确保帷幕深度穿透透水层进入相对隔水层，避免底部绕渗。在敏感环境区域，如邻近历史建筑或重要管线时，单一降水可能引发不均匀沉降，此时需采用回灌技术平衡地下水损失。此外，季节性降雨对基坑稳定性的影响不可忽视，尤其在南方多雨地区，需设置完善的排水系统，包括坑顶截水沟、坑内集水井及应急抽排设备，避免暴雨导致坑内积水引发支护结构失稳。

（三）变形监测与动态调整

深基坑施工过程中的变形监测是风险防控的关键，需建立涵盖支护结构位移、周边地表沉降、地下水位变化及支撑轴力等多参数的实时监测体系。支护结构水平位移通常采用测斜仪监测，精度需达到0.1mm/m，当累计位移超过设计值的70%时，应立即启动预警机制。周边地表沉降监测点布置需覆盖基坑影响范围，一般按0.5~1.0倍开挖深度设置，沉降速率超过2mm/d或累计沉降超30mm时，需分析原因并采取加固措施。支撑轴力监测可反映支护结构受力状态，轴力异常增大可能预示土压力分布不均或局部超挖，需及时调整开挖顺序或补加支撑^[3]。某快速路下穿通道工程中，监测发现钢支撑轴力在开挖至第4层时骤增20%，经排查发现该区域存在局部流砂，随即采用注浆加固（见图一）并增设临时支撑，避免了支护体系失效。动态调整不仅依赖监测数据，还需结合地质雷达、光纤传感等新技术，实现对隐蔽病害的早期识别。例如，分布式光纤监测可捕捉支护桩身的微小裂缝发展，为预加固提供数据支持。



图一：注浆加固

三、施工过程安全管理

（一）施工组织与工序衔接

深基坑施工组织设计需要解决空间受限与多工种交叉作业的矛盾。在市政道路工程中，工作面通常呈线性分布，土方开挖、支护施工、降水作业等工序必须形成合理的时空关系。采用“分区跳挖”方式可以避免全断面开挖导致的应力集中，每个作业区控制在30-40米长度，相邻区间保持2倍开挖深度的安全距离。工序衔接的关键在于控制降水超前于开挖的合理时间差，在砂土层中需要提前7天启动降水系统，确保水位降至开挖面以下1米。某城市下穿隧道项目中，通过BIM技术模拟各工序时空冲突点，优化了钢支撑安装与土方运输的作业时序，将支护施工等待时间缩短40%。施工组织必须考虑市政工程的特殊约束条件。白天交通高峰期需要暂停大型机械作业，夜间施工又面临噪音控制要求。采用低噪音液压破碎锤替代爆破施工，配合声屏障设置，可以将施工噪音控制在65分贝以下。材料运输需要与交通管理部门协调制定专用路线，避免因车辆排队影响市民出行。雨季施工时，需要在作业面周边设置排水盲沟和集水井，配备大功率抽水泵组，确保暴雨时能在2小时内排净积水。

（二）人员与机械设备管理

深基坑作业属于高风险施工，必须建立分级安全培训体系。一线作业人员需要接受每日班前教育，重点讲解当日作业风险点和应急避险路线。特种设备操作人员必须持证上岗，每季度进行实操考核，考核内容包含应急状况下的设备紧急制动操作。挖掘机、起重机等大型机械需要设置电子围栏系统，当设备接近基坑边缘2米范围时自动报警并限制操作幅度。某地铁站基坑工程中，通过给所有施工机械安装北斗定位终端，实现了碰撞预警和作业轨迹追溯，有效避免了机械伤害事故^[4]。设备维护需要建立预防性保养制度。液压支护系统每完成一个施工段就要进行油路密封性检测，压力损失超过15%时必须更换密封组件。降水设备需要配置双电源自动切换装置，并每周进行断电应急演练。针对深基坑常见的缺氧环境，必须配备移动式气体检测仪，当氧气浓度低于19.5%或硫化氢浓度超过10ppm时，自动启动强制通风系统。

（三）应急预案与事故防控

深基坑工程必须建立分级响应机制，将事故隐患分为蓝、黄、橙、红四个预警等级。蓝色预警对应支护结构位移速率 1-2mm/d，只需加强监测频率；红色预警则意味着位移超过 5mm/d 或出现渗流失稳征兆，必须立即停工撤人。应急物资储备需要满足 72 小时连续抢险需求，包括速凝水泥、沙袋、型钢支撑等材料，以及大功率抽水泵、应急照明系统等设备。某地下综合管廊项目在基坑东侧预先埋设了抢险注浆管，当监测到局部渗流增大时，30 分钟内就完成了化学灌浆封堵。事故演练要注重实战性。每季度应组织一次全要素应急演练，模拟支护结构失稳、突水涌砂等典型事故场景。演练评估重点考察应急小组的决策效率，从发现险情到启动预案不应超过 15 分钟。医疗救护站必须 24 小时值班，配备针对坍塌伤害的专用急救设备，如液压顶撑器、躯体固定气囊等。与周边医院建立绿色通道，确保重伤员能在 30 分钟内获得专业救治。

四、绿色施工与可持续发展

（一）扬尘与噪声控制

市政道路深基坑施工中的扬尘控制需要采取立体化防治措施。在土方开挖阶段，采用高压雾炮机组形成水雾屏障，配合围挡上部设置的喷雾系统，可将作业面 PM10 浓度控制在 $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下。对于长期裸露的堆土场，覆盖防尘网的同时播撒环保型固尘剂，形成约 3mm 厚的固化层，抗风蚀能力达 8 级风速。运输车辆离场前必须经过自动洗轮机清洗，重点监控轮胎和底盘部位，确保不带泥上路。某城市快速路改造工程中，通过安装扬尘在线监测系统与喷淋设备智能联动，实现超标自动启动降尘，使周边居民区空气质量始终优于二级标准。噪声控制需从源头削减和传播阻断两方面入手^[5]。选用低噪音液压设备替代传统柴油机械，如静音型打桩机的声压级可比常规设备降低 15 分贝。在敏感时段（22:00-6:00）限制高噪声作业，确需连续施工时设置可移动声屏障，采用夹芯铝板结构的屏障隔声量可达 25 分贝。振动较大的破碎作业采用橡胶减震垫基础，能有效降低地面传导噪声。

（二）渣土处理与资源利用

深基坑工程产生的渣土应采取分类处理和资源化利用策略。开挖前进行土质检测，将可用回填土单独堆放，采用防雨防尘措施保持含水率稳定。某地铁站项目通过现场筛分系统，将约 65% 的出土经改良后用作基坑回填，减少外运量 12 万立方米。对含有建筑垃圾的杂填土，使用移动式破碎筛分设备生产再生骨料，可用于临时道路垫层或砌筑排水沟。泥浆经脱水固化处理后，掺入水泥制成路缘石等预制构件，实现闭环环保循环。建立智能化的渣土运输监管系统至关重要。运输车辆安装 GPS 和载重传感器，实时上传位置和载重信息至管理平台。设置电子围栏确保渣土运至指定消纳场，杜绝非法倾倒。采用区块链技术记录转运全过程数据，包括出土量、运输

轨迹、消纳证明等，形成不可篡改的环保台账。对于含有污染物的特殊渣土，必须委托专业机构进行无害化处理，处理过程接受生态环境部门在线监控。

（三）节能与低碳施工措施

深基坑施工的节能降耗需要贯穿全过程管理。支护结构优化设计可减少 15%-20% 的建材用量，如采用预应力装配式钢支撑替代现浇混凝土支撑，既缩短工期又降低碳排放。现场临时设施采用太阳能光伏板供电，满足办公区和照明用电需求，某项目实测显示可减少柴油发电机使用时间 40%。大型设备选用符合国三排放标准的机型，并加装尾气净化装置，使氮氧化物排放降低 30% 以上。建立施工碳足迹实时监测系统，对主要耗能环节设置控制指标。混凝土养护采用自动喷淋系统配合湿度传感器，比人工养护节水 60%。降水系统安装智能调控装置，根据水位监测数据自动启停水泵，避免能源浪费。推广使用 BIM 技术进行施工模拟，优化机械运行路线，减少无效移动产生的油耗。材料运输优先选择电动车辆，在场区内设置快速充电桩。通过上述措施的综合应用，某下穿隧道项目实现了单方开挖量碳排放较传统工法降低 23% 的目标，为市政工程绿色施工提供了可复制的技术路径。

结语

市政道路深基坑施工技术需要统筹安全、效率与环保三大目标。实践表明，精确的地质勘察和动态调整机制是保障工程安全的基础，某地铁枢纽工程通过及时调整支护方案成功规避了断裂带滑坡风险。智能化监测手段的应用显著提升了风险预判能力，如分布式光纤技术可捕捉 0.1mm 级的结构变形。绿色施工技术展现出显著效益，快速路改造项目采用再生骨料技术减少渣土外运 12 万立方米。这些经验揭示，深基坑工程的技术创新应当立足于实际工况，将传统工艺与现代监测技术有机融合。未来需要进一步研发适应狭小作业面的微型化施工设备，以及更精准的地下水控制模型，持续提升城市地下空间开发的可持续性。

参考文献

- [1] 杨波. 市政道路深基坑安全施工技术研究 [J]. 建材发展导向, 2024, 22 (15): 39-41.
- [2] 林晓清. 市政道路工程深基坑支护施工管理分析 [J]. 散装水泥, 2023, (06): 13-15.
- [3] 刘御刚. 深基坑施工对临近市政道路变形影响分析 [J]. 交通世界, 2022, (31): 43-45.
- [4] 周强. 市政道路深基坑施工技术探讨 [J]. 智能城市, 2021, 7 (17): 157-158.
- [5] 吴建华. 市政道路工程深基坑支护施工管理探究 [J]. 四川水泥, 2023, (03): 197-199.

作者简介：李飞鹏（1991.04），男，汉族，安徽淮南人，工程师，本科学历，二级建造师，研究方向：市政工程。