

浅埋暗挖法在隧道项目建设中的实践

周贤培

海南交投项目建设管理有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i3.8779

[摘要] 浅埋暗挖法是隧道工程施工中常用的一种施工方法，在隧道工程中得到广泛应用，如城市隧道、地下管廊等浅埋隧道均可以用浅埋暗挖法进行施工。通过对隧道工程施工情况进行研究，总结浅埋暗挖法的基本原理及特点，提出浅埋暗挖法在施工过程中存在的问题以及解决措施，包括施工工艺改进、围岩支护、沉降控制等方面内容，以期更好地指导隧道工程施工，提高施工质量和安全性，为类似隧道工程采用浅埋暗挖法施工提供借鉴和依据。

[关键词] 浅埋暗挖法；隧道项目；施工实践；围岩支护；沉降控制

Application of Shallow Buried Tunnelling Method in Tunnel Construction Projects

Zhou Xianpei

Hainan Jiaotou Project Construction Management Co., Ltd.

[Abstract] The shallow buried tunneling method is a widely adopted construction technique in tunnel engineering, extensively applied to urban tunnels, underground utility tunnels, and other shallow-buried tunnel projects. Through comprehensive analysis of tunnel construction practices, this study summarizes the fundamental principles and characteristics of the shallow buried tunneling method, identifies challenges encountered during implementation, and proposes targeted solutions—including process optimization, surrounding rock support systems, and settlement control measures. These findings aim to enhance construction guidance, improve project quality and safety standards, and provide actionable references for similar tunnel projects utilizing this construction approach.

[Key words] shallow buried excavation method; tunnel project; construction practice; surrounding rock support; settlement control

引言

伴随我国城市化进程加快，城市中隧道数量日益增多，特别是城市浅埋隧道由于受到周围建筑、地下管线、道路交通等多种因素制约，在施工过程中对于施工方法安全性、环保性和灵活性要求越来越高。浅埋暗挖法因不需要大量拆迁工作、对地面交通影响小以及能够适用于多种不良地质条件等原因而被广泛应用于城市浅埋隧道工程施工中，但是目前一些浅埋暗挖法施工的隧道工程却出现了施工技术不当、围岩支护不足以及沉降过大等现象，严重影响了工程质量和安全，因此针对浅埋暗挖法施工技术在隧道工程项目上应用进行探讨并提出合理建议就显得尤为重要。

一、浅埋暗挖法的核心原理与技术特点

浅埋暗挖法是在浅埋地层中，在不影响地面的情况下，采用暗挖的方法修建隧道的一种施工方法，其基本理念是“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”，注重施工过程管理及围岩稳定性的维护^[1]。其优点明显，首先是适用范围广，可以应用于粉质黏土、砂层、岩层等各种复杂地质条件下，尤其是对于城市浅埋隧道来说，可以避免大量拆迁工作以及道路封闭带来的不便；其次灵活性好，可以根据隧道截面大小、地质情况选择不同的施工方法，适用于各种规模的隧道工程；第三是对外界干扰小，在施工过程中不需要大面积挖掘地面，可以很好地防止对周围建筑物、地下管道造成损害，同时也可以大大降低施工过程中产生的灰尘、噪声等环境污染问题；最后是施工困难较大，由于浅埋地层承受较大荷载作用下，

围岩较不稳定。

二、浅埋暗挖法在隧道项目建设中的实践难点与现存问题

(一) 地质条件复杂, 围岩稳定性控制难度大

浅埋隧道一般位于城市繁华地带, 地质条件复杂, 容易出现粉质黏土、松散砂层、丰富的地下水资源等不良地质现象, 造成围岩不稳固而施工困难。一些项目由于前期地质勘查工作不到位, 不能准确了解地质条件以及地下水的位置, 从而使得施工设计不合理, 在开挖时可能出现围岩坍塌、涌水涌砂等情况。浅埋地层受到地面荷载、车辆行驶等原因造成围岩受力情况十分复杂, 如果支撑不够及时或者不足, 则容易发生围岩位移、隧道下沉的情况。

(二) 施工工艺不规范, 施工质量难以保障

浅埋暗挖法施工工序复杂, 对于施工工艺的要求较高, 在目前一些隧道工程施工中, 出现施工工艺不符合要求的情况。例如, 开挖工序未能做到“短开挖”, 一次开挖进尺过大, 造成围岩受力时间长而产生变形; 注浆加固不到位, 浆液配比不合理或注浆压力不够, 不能提高围岩承载能力; 支护施工不当, 钢拱架安装位置偏差大或者喷射混凝土厚度不够, 使支护结构达不到要求从而不能起到支护的作用。

(三) 沉降控制不佳, 影响周边环境安全

沉降控制是浅埋暗挖法施工的重点问题, 同时也是施工过程中的一大难题, 直接影响到隧道质量和周围环境的安全性。一方面, 是没有建立健全有效的沉降监控系统, 有的项目只在隧道内布置少量检测点, 忽略了对周围的建筑结构、地下管线、地面等进行检测, 或者检测次数较少, 检测仪器精度不足, 造成不能及时获取到准确的数据而不能了解沉降的变化情况从而不能及时预防沉降所带来的风险。另一方面, 是在沉降控制的技术上使用不当, 在施工中并没有根据隧道所经过的地层条件、周围的情况来制定合理的沉降控制方法, 而是生搬硬套一种方式。

(四) 施工人员专业素养不足, 安全管理存在漏洞

我国一些隧道施工企业的施工人员不足, 技术水平低下^[2]。大多数一线工人是农民工, 未经系统专业的培训, 不了解浅埋暗挖法的主要施工技术和方法及其注意事项, “管超前、严注浆、短开挖、强支护”的施工理念不了解, 在施工中容易出现违章作业、野蛮施工问题, 比如超挖欠挖、支护不到位、注浆压力不足等问题, 这些问题都会降低工程质量, 也会给施工带来很大的安全隐患。施工企业安全管理不到位, 缺乏有效的安全管理制度。安全教育流于形式, 只是进行简单的安全知识普及, 而不能根据浅埋暗挖法的特点有针对性地进行施工风险的安全教育以及应急处理能力的提升, 施工人员的安全意识薄弱, 心存侥幸, 忽视安全生产。

三、浅埋暗挖法在隧道项目建设中的实践应用策略

(一) 强化超前地质预报与不良地质处置技术, 精准把控地质条件

超前地质预报是浅埋暗挖法施工的一项“先导性”工作, 在施工中必须坚持“综合预报、分段实施、动态反馈”的原则, 准确掌握前方地质状况。在施工之前根据隧道前期调查资料利用地质雷达+超前水平钻孔相结合的方式对隧道掌子面附近30~50米范围内进行细致探测, 查明岩层结构、地下水位、围岩软弱夹层、溶洞等地质缺陷位置及范围; 在施工期间使用地震波反射法进行不间断监测并随时补充新的信息以供施工参考。

根据不同的不良地质条件采取相应的处理措施: 对松散砂层、富水粉质黏土层采用“超前小导管注浆+管棚支护”的组合方式, 小导管使用 $\phi 42\text{mm}$ 无缝钢管, 长度为3.5~4.0m, 环向间隔为30~40cm, 管棚使用 $\phi 108\text{mm}$ 钢管, 长度为10~15m, 起到超前支护的作用并防止渗漏水的同时优化注浆工艺, 用水泥-水玻璃双液浆, 降低浆液凝结速度, 尽快达到止水以及对围岩加固的目的。

(二) 规范核心施工工艺, 精准把控关键技术参数

1. 优化超前支护与开挖工法, 减少地层扰动

超前支护对保证掌子面稳定至关重要, 要依据隧道断面大小以及所处地层情况选择适当的支护方式: 小断面隧道在粉质黏土、软岩地层使用超前小导管注浆支护, 在破碎岩层使用超前管棚支护; 大断面隧道使用“大管棚+双排小导管”的组合进行超前支护, 以达到足够的支护强度。加强对超前支护各项参数的控制, 小导管外插角为 $10^\circ \sim 15^\circ$, 管棚外插角为 $1^\circ \sim 3^\circ$, 注浆孔间距为15~20cm, 使浆液充分灌入。

开挖方法选择应遵循“因地制宜、分步开挖、快挖快支”的原则, 依据实际情况来决定: 对于粉质黏土、软岩地质的小断面隧道可采用台阶法进行施工, 上台阶开挖高度为3~4m, 台阶长度为3~5m, 及时对上台阶进行支护; 大断面隧道可采用CD法或CRD法进行施工, 将隧道分成左右两部分、上下台阶, 分步开挖、分步支护, 在中间设置临时中隔壁及临时仰拱, 以减少围岩位移; 而对于松散砂层或富水破碎岩层, 可采用环形开挖预留核心土法进行施工, 在掌子面上保留足够大的核心土区域不少于开挖面积的三分之一, 保持掌子面稳定, 环形开挖每次不超过0.5~0.8m, 开挖后尽快施工初期支护。

2. 精细化注浆加固技术, 提升围岩承载力与止水效果

注浆加固是浅埋暗挖法关键技术, 在实施过程中要严格遵守“严注浆、分层次、足浆量、强补浆”原则, 针对不同围岩条件选择相应注浆方法, 合理确定浆液配合比、注浆压力以及注浆数量等主要因素。对粉质黏土、软岩地段, 可使用水泥-水玻璃双液浆, 水泥与水玻璃体积比为1:0.8~1:1, 浆液初凝时间为30~60s, 注浆压力为0.5~1.0MPa, 以达到及时加固目的; 对于松散砂层, 可用超细水泥浆, 水泥颗粒直径不大于 $40\mu\text{m}$, 提高浆液流动性, 注浆压力为0.8~1.2MPa, 环向注浆范围大于等于2.0m, 形成防渗加固圈; 对于破碎岩石, 可用水泥砂浆, 水泥与砂体积比为1:2~1:3, 注浆压力为1.0~1.5MPa, 充填岩石裂缝, 增强围岩稳定性。

3. 规范初期支护与二次衬砌施工, 形成整体受力体系

初期支护要遵循“强支护、早封闭”，尽早进行，在围岩应力释放之前完成初期支护工作，初期支护由钢拱架+钢筋网+喷射混凝土+锁脚锚杆构成，每个环节都要严格控制其技术指标：钢拱架使用 I18-I22 工字钢，间距按实际情况选取 0.5-1.0m，安装角度不能大于 $\pm 2^\circ$ ，相邻两榀钢拱架通过螺栓固定连接，锁脚锚杆采用 $\phi 42\text{mm}$ 无缝钢管，长度为 2.5-3.0m，每侧一榀钢拱架两根，与钢拱架焊接，避免钢拱架下沉；钢筋网选用 $\phi 6-8\text{mm}$ 钢筋，网格尺寸为 $15\times 15\text{cm}-20\times 20\text{cm}$ ，与钢拱架及围岩密贴，搭接长度不应小于 30cm；喷射混凝土使用 C25-C30 早强混凝土，初次喷射 5cm 厚，然后达到设计厚度，自下而上进行，保证喷射混凝土密实、无孔洞，喷射完毕后及时养护。

隧道开挖到一定距离后，尽早进行二次衬砌，即“初期支护+二次衬砌”的整体受力结构。二次衬砌使用 C30~C40 模筑混凝土，在施工之前将初期支护表面清理干净，铺设防水板，做好防水节点；用台车模板浇筑混凝土，浇筑时分层振捣、连续施工，避免产生冷缝，混凝土浇筑完毕后养护不少于 14 天，达到设计要求。

(三) 构建全流程沉降控制技术体系，实现动态监测与精准处置

在隧道施工之前，对于临近地面沉降敏感区段进行地表注浆加固处理，注浆材料为水泥砂浆，在隧道拱顶以上 1.0-2.0m 范围内进行加固以提高该处地层承载能力，在隧道开挖过程中及时施作超前支护及初期支护，减少围岩裸露时间从而控制围岩初始变形。

建立“三维立体、自动化、全覆盖”沉降监测网，监测点包含隧道内、外部地面道路、房屋建筑基础、地下管线等，使用自动化沉降仪、全站仪、测缝计等高精度仪器进行观测，观测频次根据工程进展而定：开挖面前方 50 米以内每两小时观察一次；50 至 100 米之间每四小时观察一次；100 米以外每天观察一次，及时获取监测信息并上报。

(四) 优化地下水综合处理技术，实现止水与排水协同管控

对于城市浅埋隧道地下水问题，采取“以堵为主、以排为辅、堵排结合”的综合措施，在保证有效隔绝地下水的同时加固围岩的基础上进行有序排水，防止地下水对施工以及周围环境产生不利影响。

在止水措施上，根据地下水流态采取不同止水方法：孔隙水采用“超前小导管+双液浆注浆”**形成止水帷幕，小导管双侧布置，环向间距 30cm，纵向间距 1.0m，注浆范围至隧道轮廓线外 2.0m，保证浆液充填岩土体孔隙，封堵地下水；裂隙水采用“围岩径向注浆+超前管棚注浆”，径向注浆孔间距 1.0m，梅花型分布，注浆压力 1.0~1.5MPa，充填岩层裂隙，形成止水层；富水地段采用“超前水平钻孔排水+注浆止水”，首先施工超前排水孔，孔径 $\phi 108\text{mm}$ ，长度为 10~15m，将地下水引入洞内集中排放后，在降低水压条件下进行注浆止水，以达到更好的止水效果。

在排水上采取“分级排水、集中处理、有序排放”，在隧道内设置两侧排水沟以及中间排水盲管，排水沟宽度为 30cm，

深度为 40cm，盲管为 $\phi 100\text{mm}$ 透水管外包土工布，将地下水导入洞内集水井中；集水井位于隧道下坡位置，每隔 50~100m 一个，利用抽水设备将地下水抽出到地面污水处理厂，不得随意排放。排水时要严格控制排水速率，富水地段排水速率不得超过 $1\text{m}^3/\text{h}$ 以免造成附近地区地下水流失而产生地面沉降；并且还要监视排水情况，了解地下水位变动情况，及时改变封堵与排水措施。

(五) 加强技术培训与实操管控，确保技术要求落地执行
对技术管理人员、施工班组长、一线作业人员进行不同培训内容：技术管理人员主要进行超前地质预报、施工方案编制、技术参数确定等方面学习；施工班组长主要进行核心技术施工要点、质量管理要求、施工现场处理问题学习；一线作业工人主要进行超前支护、注浆、开挖、支护等实操技术学习，在具体事例基础上进行实地操作练习，让每个工人学会技术要领以及技术参数。

技术管理人员对每个施工环节、每一种地质情况，向施工班组长及工人进行书面+现场的技术交底，交代清楚施工方法、技术参数、质量标准、安全注意事项等，双方签字确认，保证技术要求传达到位；对于施工过程中遇到的地质变化或者技术变更及时进行补充的技术交底，防止由于信息不对称造成施工误差。

总结：

浅埋暗挖法由于其对周围环境影响较小、适应性较强等特点，在城市浅埋隧道施工中被广泛使用，而其施工质量和安全也直接影响到整个隧道工程的成败以及周围的安全问题。但是目前浅埋暗挖法在实际施工中还存在着一些问题，比如地质条件考虑不足、施工工艺不合理、沉降控制不当、工人素质较低等现象。只有做好施工前的各项准备工作，严格按照施工工艺进行操作，加强沉降管理的力度，提高施工人员的技术水平及管理水平并根据实际情况改善施工方法，才能解决这些问题，提高施工质量和安全性。

参考文献

- [1] 颜社民. 穿越弃碴体地层浅埋隧道暗挖法施工关键技术研究[J]. 建筑技术, 2025, 56(21): 2646-2650.
- [2] 宁绍吉. 浅埋暗挖法在隧道施工中的应用[J]. 汽车周刊, 2025(9).
- [3] 王朝雅, 殷合雷. 浅埋暗挖法在桥梁涵洞隧道工程施工中的运用研究[J]. 葡萄酒, 2024(11): 0031-0033.
- [4] 魏继林. 市政隧道施工浅埋暗挖技术的应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2024(003): 000.
- [5] 贺子健, 曾兴. BP 神经网络与 XGBoost 预测隧道开挖地表沉降[J]. 城市生态建设, 2025, 2(2).

作者简介: 周贤培, 1990年9月15日, 男, 汉族, 海南省文昌市, 中级工程师, 大学本科, 主要从事公路工程项目管理工作。