

浅埋暗挖隧道洞口段施工技术研究

陈方东 谢鑫浩 薛景志

中国建筑第七工程局有限公司 河南郑州 450000

摘要：浅埋暗挖市政穿山隧道洞口段作为隧道工程与地表环境衔接的关键区域，受山体地形地貌、岩土地质条件及周边市政设施等多重因素影响，施工难度大且风险集中。本文以浅埋暗挖市政穿山隧道洞口段施工为研究核心，结合洞口段“浅埋、偏压、易失稳”的工程特性，深入分析施工过程中的技术难点。从施工前的地质勘察与方案设计入手，重点探讨洞口段超前支护、开挖工艺优化、初期支护及防排水等关键技术的应用要点。研究旨在为浅埋暗挖市政穿山隧道洞口段施工提供技术参考，实现施工安全与工程质量的双重保障。

关键词：浅埋暗挖；市政穿山隧道；洞口段；超前支护；开挖工艺；初期支护

引言

随着我国市政交通基础设施加速建设，市政穿山隧道工程在城市空间拓展与区域联通中愈发重要。浅埋暗挖法因对山体地表扰动小、适应复杂地形能力强，成为市政穿山隧道施工的常用技术。作为施工起始环节，穿山隧道洞口段地质条件尤为复杂，普遍存在山体覆盖层薄、岩土体稳定性差、易受地表雨水侵蚀等问题，加之可能受周边学校、高压铁塔等市政环境约束，极易引发坍塌、变形等事故，阻碍工程推进^[1]。因此，深入研究穿山隧道洞口段施工技术、破解核心难题，对保障施工安全与工程质量意义重大。当前部分工程技术应用与流程管控的不足，更凸显了构建系统解决方案的紧迫性。

一、浅埋暗挖市政穿山隧道洞口段施工前期准备与勘察技术

1. 施工前期准备要点

市政穿山隧道洞口段施工前期准备工作是洞口段顺利施工的基础，主要包括山体场地平整、临时排水系统布设、施工设备调试及材料储备等。场地平整要结合洞口山体地形特点，清理坡体表面的浮石、危石，防止施工中落石事故发生；临时排水系统要重点考虑山体地表水导排，在洞口上方设截水沟，将雨水引至远离洞口的区域，防止雨水渗入山体岩土体而引起软化。施工设备的选择，应结合洞口段开挖方式与支护工艺，尽量采用小型化、灵活性强的设备，适应洞口段狭小的施工空间。在材料储备方面，超前支护所用的钢管、注浆材料及初期支护的钢筋、混凝土等提前进场，并进行质量检验，

保证材料性能符合设计要求^[2]。此外还要做好施工人员的技术交底与安全培训，明确施工流程与质量控制标准，避免因操作不当而引发安全隐患。

2. 地质勘察核心技术

浅埋暗挖市政穿山隧道洞口段施工方案设计的核心依据是地质勘察，重点是要查明洞口段山体岩土体的分布、地质构造、地下水情况及周边市政环境条件。勘察方法应采用钻探、物探、原位测试相结合的综合勘察手段，提高勘察结果的准确性。钻探技术能够直接获取岩土体样本，明确岩土体的物理力学性质，如天然密度、孔隙比、抗压强度等指标，为支护结构设计提供参数；物探技术能够查明山体地质构造分布，如节理裂隙、断层等，常用的物探方法有地质雷达、高密度电法等，其中地质雷达具有探测精度高、速度快的特点，可有效识别地下空洞、富水区域等隐患；原位测试如标准贯入试验、静力触探试验等，能进一步验证岩土体性能^[3]。在勘察过程中尤其要注意地下水的赋存状态，如地下水类型、水位标高、渗透系数等，地下水的存在会使山体岩土体的稳定性大大下降，造成施工风险，因此要预先制定地下水处理方案。与此同时，还应重点勘察洞口附近学校、高压铁塔、村道等市政设施，明确其位置、结构形式、安全距离，为施工中的环境保护提供依据。

二、浅埋暗挖市政穿山隧道洞口段关键施工技术应用

1. 超前支护技术

超前支护是浅埋暗挖市政穿山隧道洞口段施工的核心技术之一，核心作用是在开挖前对掌子面前方及周边

山体岩土体进行加固,形成临时支护体系,防止开挖过程中围岩坍塌。根据洞口段地质条件的不同,超前支护技术主要有超前小导管注浆支护、超前管棚支护及超前锚杆支护等,其中超前管棚支护在穿山隧道洞口段应用尤为广泛。超前小导管注浆支护适合于围岩级别较低、节理裂隙发育的洞口段,其施工流程为小导管加工—钻孔—安装—注浆—效果检验。小导管一般采用无缝钢管,根据开挖进尺选定,长3—5m,管壁上设置注浆孔,孔径8—12mm,间距15—20mm。钻孔过程中,精准控制钻孔角度和深度,确保小导管与围岩黏结牢固,安装完毕后采用水泥浆或水泥砂浆注浆,注浆压力根据围岩情况调节,一般为0.5—1.5MPa,通过注浆使浆液填充围岩裂隙,提高岩土体的整体性与承载能力^[4]。

超前管棚支护适用于洞口段山体覆盖层极薄、偏压明显或地质条件极差(如破碎带、富水区域)的情况,如中建七局茶坊路穿山隧道洞口段便采用该技术。管棚通常采用大直径无缝钢管,直径一般80—180mm,长可达10—30m,通过钻机沿隧道开挖轮廓线外侧钻孔植入,形成坚固的棚架结构,为开挖施工提供强有力支护。管棚安装完毕后需及时注浆,浆液可采用水泥浆、水泥水玻璃双液浆等,根据地下水情况选择,保证注浆效果。其优势是支护强度高、跨度大,能有效控制山体围岩变形,保证施工安全。

2. 开挖工艺优化技术

市政穿山隧道洞口段开挖工艺的选择需结合山体地质条件、隧道断面尺寸及支护体系设计,核心原则为“短开挖、弱扰动、快支护”,通过控制开挖进尺与开挖顺序,减少对山体岩土体的扰动,避免围岩失稳。常用的开挖工艺有台阶法、CD法(单侧壁导坑法)、交叉中隔壁法等,需根据工程实际灵活选用。台阶法适用于围岩级别三至四级的洞口段,将隧道断面分为上台阶与下台阶分步开挖。上台阶开挖高度一般为断面高度的1/2~2/3,采用人工或小型挖掘机开挖,开挖进尺控制在1.5m以下,开挖完成后立即进行初期支护;下台阶开挖滞后上台阶3—5m,避免上下台阶开挖相互干扰,同时控制开挖速度,防止围岩暴露时间过长。该方法工艺简单、效率高,适用于断面较小、围岩相对稳定的洞口段。CD法(单侧壁导坑法)在穿山隧道洞口段浅埋暗挖、断层段施工中应用广泛,如茶坊路穿山隧道洞口段便采用该工艺。其核心是通过中隔壁将隧道分为左右两部分,先开挖一侧的上台阶与下台阶,完成初期支护后再开挖

另一侧,使每个开挖断面形成独立受力单元,有效控制山体围岩变形。对于地质条件极差的洞口段,可在CD法基础上增加横向支撑形成CRD法,将隧道分为四个小断面,开挖顺序更合理,支护结构稳定性更强。

3. 初期支护技术

浅埋暗挖市政穿山隧道洞口段初期支护的核心作用是承受开挖后山体围岩释放的应力,控制围岩变形,为二次衬砌施工创造安全条件。初期支护体系通常由喷射混凝土、锚杆、钢筋网及钢拱架组成,根据山体地质条件不同,各组成部分的参数与施工顺序可灵活调整。喷射混凝土施工应在开挖完成后尽快进行,优先采用湿喷工艺,保证混凝土密实度和强度。喷射前需彻底清理岩面,去除浮碴、粉尘并洒水湿润;喷射时控制好喷射角度和压力,喷射角度与岩面垂直,压力一般为0.2—0.4MPa,分两次喷射,第一次喷射厚度3—5cm,初凝后进行第二次喷射,总厚度按设计要求确定。混凝土配合比需结合地质条件调整,加入速凝剂缩短凝结时间,尽快形成支护强度。锚杆施工与喷射混凝土紧密配合,一般在第一次喷射混凝土完成后进行。锚杆的长度、间距及直径根据围岩级别确定,施工中精准控制钻孔深度和角度,确保植入深度符合设计要求,安装完成后及时张拉锁定,使锚杆与山体围岩紧密结合,充分发挥锚固作用。钢筋网与钢拱架需与锚杆牢固连接,形成整体支护体系,钢拱架间距根据围岩稳定性调整,地质条件较差区域需加密布设,如茶坊路穿山隧道洞口段便通过型钢拱架与锚杆的协同作用提升支护效果。

4. 防排水技术

浅埋暗挖市政穿山隧道洞口段防排水质量直接关系到工程质量和使用寿命,需坚持“防、排、截、堵相结合,因地制宜,综合治理”的原则,构建完善的防排水体系,防止地下水入侵隧道,避免山体围岩软化和支护结构腐蚀。地表防排水是第一道防线,除在洞口上方设置截水沟外,需对洞口周边坡体进行防渗处理,采用喷射混凝土或浆砌片石封闭坡体表面,减少雨水渗入。对于地表塌陷区域或裂缝,用水泥砂浆灌注填充,阻断雨水下渗通道。如茶坊路穿山隧道洞口段便通过洞顶截水沟与坡体封闭处理,有效控制了地表水下渗风险。洞内防排水主要包括围岩注浆堵水、初期支护背后排水及防水层施工。围岩注浆堵水多与超前支护结合,利用超前小导管或管棚灌浆堵塞围岩裂隙,切断地下水通道;初期支护背后设置排水盲管,沿隧道轮廓线布置,间距2—3m,

将支护背后积水引入洞内排水系统；防水层在初期支护完成且表面平整后施工，采用“土工布+防水板”的复合体系，防水板采用热熔焊接，焊缝需严密无渗漏，施工完成后必须进行充气试验检验防水效果^[5]。洞内排水系统由纵向排水管、横向排水管及集水井组成，纵向排水管沿隧道两侧布置，收集盲管排出的积水，通过横向排水管引入集水井，再由水泵抽排至洞外。施工中需保证管道连接通畅，坡度符合设计要求，避免积水倒灌。

三、施工监测与动态调整技术

浅埋暗挖市政穿山隧道洞口段施工监测是施工的“眼睛”，通过实时监测山体围岩及支护结构的变形数据，及时掌握施工安全状态，为施工参数调整提供依据，实现动态施工管理。监测内容主要包括围岩收敛、拱顶下沉、地表沉降及支护结构应力监测等。围岩收敛监测采用收敛计，在隧道开挖断面的边墙及拱腰位置设置监测点，间距根据围岩条件确定，一般5—10m。开挖初期监测频率为每日1—2次，变形稳定后适当降低，监测数据及时整理分析，绘制收敛曲线，判断围岩变形趋势。拱顶下沉监测采用水准仪或全站仪，定点在拱顶中心，与围岩收敛监测同步进行，拱顶下沉量是判断围岩稳定性的核心指标，超过预警值及时停工，加强支护。地表沉降监测对浅埋穿山隧道洞口段尤为重要，沿隧道轴线两侧，横距2—5m，纵距5—10m布置监测点，监测频率与洞内一致。严把地表沉降控制在允许范围之内，不影响周边学校、道路等市政设施安全。支护结构应力监测采用在钢拱架、锚杆及喷射混凝土内部布置应变计或压力盒，使支护结构处于安全承载状态。洞口段施工安全的关键是根据监测数据进行施工参数动态调整。当监测资料表明围岩变形速率加快或超过预警值时，应及时采

取缩短开挖进尺、加强超前支护、加密钢拱架间距等措施；变形趋于稳定时，适当调整施工参数提高效率。

结束语

浅埋暗挖市政穿山隧道洞口段施工技术的核心就是针对“浅埋、偏压、易失稳”的工程特性，建立“浅埋、偏压、易失稳”的施工设计体系。构建“超前加固—优化开挖—强支护—严排水—勤监测”的完整技术体系。施工前需采用综合勘察手段明确山体地质条件与市政环境因素，为方案设计提供依据；超前支护需根据地质条件选择合适形式，确保加固效果；初期支护需保证各组成部分施工质量，形成整体受力体系；防排水需构建地表与洞内结合的立体体系，阻断地下水影响；施工监测与动态调整则是保障安全的重要手段，实现信息化施工管理。本文研究成果可为同类市政穿山隧道工程提供技术参考，助力提升施工安全与质量水平。

参考文献

- [1] 姚磊. 浅埋暗挖隧道不同开挖进尺研究分析[J]. 建材技术与应用, 2025, (04): 56-60.
- [2] 范永慧. 浅埋偏压隧道洞口段盖挖施工稳定性分析[J]. 现代交通技术, 2024, 21(05): 45-49.
- [3] 郭翔. 浅埋暗挖隧道洞口段施工技术[J]. 四川建材, 2024, 50(08): 149-151.
- [4] 王伟, 蔡玉洁. 浅埋暗挖法施工技术在公路隧道施工中的运用分析[J]. 科学技术创新, 2021, (13): 102-103.
- [5] 魏鑫. 隧道拓宽暗洞开挖支护施工关键技术研究[J]. 福建建设科技, 2024, (05): 92-94+108.