

公路隧道工程中的小净距隧道施工技术

杜磊

陕西华山路桥集团有限公司 陕西 西安 710000

摘要: 文章专注于公路隧道工程中小净距隧道施工技术。深度剖析以新奥法为基础的施工原理,详细阐述施工准备至二次衬砌的全流程。着重阐释爆破控制、围岩监控量测、施工顺序优化等关键点,为提升小净距隧道施工质量与安全水平提供全面、系统的技术指引,助力公路隧道建设项目顺利实施

关键词: 公路隧道工程; 小净距隧道; 施工技术

引言

随着公路建设不断向复杂区域延伸,小净距隧道因能高效利用空间、降低成本而被广泛应用。然而,其施工面临中夹岩柱稳定性维护、围岩变形精准控制等难题,对施工技术提出了极高要求。深入探究小净距隧道施工技术,对克服地形阻碍、保障公路隧道工程品质意义非凡,是推动公路基础设施建设发展的关键。

1 小净距隧道施工原理

小净距隧道施工的核心目标是精准把控隧道开挖期间围岩的变形状况与应力重分布态势,全力保障中夹岩柱稳固以及相邻隧道结构安全无虞。其施工原理深深扎根于新奥法理念。新奥法着重强调充分调动围岩自身的自承能力,将围岩视作承载结构的关键组成部分。在开挖方法选取上,依据围岩特性,像台阶法、CD法、CRD法等各有其适用场景,它们通过合理分块、分步开挖,有效降低对围岩的扰动。支护措施同样丰富多样,初期支护涵盖喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢支撑等。喷射混凝土迅速封闭围岩表面,防止风化与松动;锚杆锚固围岩与深部岩体;钢筋网强化喷射混凝土整体性;钢支撑在围岩变形大时提供强力支撑。施工顺序也至关重要,一般先行洞施工并稳定初期支护后,再开展后行洞作业。与此同时,借助在隧道内科学布置监测点,实时监测围岩位移、应力及支护结构内力等数据,依据监测结果及时调整施工参数,实现信息化、精细化施工,从而构建起稳固的隧道承载体系^[1]。

2 小净距隧道施工流程

2.1 施工准备

施工准备是小净距隧道施工顺利推进与质量保障的基石。详尽的地质勘察是重中之重,通过地质测绘宏观把握隧道沿线地形地貌与地层岩性分布,绘制精准地质草图;钻探深入地下获取岩芯样本,分析岩石成分与结构,判断围岩特性,如花岗岩的坚硬程度、页岩的遇

水软化性;物探手段则探测地下断层、破碎带及地下水分布,明确地下水水位、含水层厚度、补给来源与排泄路径,为防水排水方案提供依据。科学规划场地布置,依据施工流程划分材料堆放、机械停放与加工区,钢筋加工棚临近洞口、配备先进设备确保精度,混凝土搅拌站选址合理、计量精准,临时生活设施符合卫生安全标准。施工机械设备选型配置合理,根据围岩条件与隧道尺寸选择凿岩台车,通风设备满足空气供应与有害气体排出需求,支护设备性能可靠、数量充足。材料准备严格检验,钢筋、水泥、砂石料等均符合设计标准。技术交底与安全培训不可或缺,采用图文并茂、现场演示方式,详细讲解工序要点与质量验收标准,针对隧道施工常见风险进行安全培训,提升施工人员安全意识与应急能力,为小净距隧道施工的安全、高效、优质推进奠定坚实基础。

2.2 超前支护

超前支护是保障隧道开挖安全的前置防线。超前小导管注浆原理基于渗透注浆理论,在隧道开挖轮廓线外,以 10° - 30° 的角度,按0.3-0.5米的间距,利用风动或液压钻孔设备打入外径32-50毫米的无缝钢管作为小导管。管壁上梅花形布置直径6-8毫米的注浆孔,孔间距15-20厘米。注浆时,借助注浆泵将水泥浆或改性水玻璃等浆液,以0.5-1.0MPa的压力注入。浆液在压力驱动下,沿围岩裂隙渗透扩散,填充孔隙,胶结破碎岩体,在隧道拱部形成一个厚度0.5-1.0米的加固圈,提高围岩自稳能力,防止开挖时围岩坍塌。超前锚杆则利用锚杆的锚固力和摩擦力,按 15° - 25° 的角度,将长度2-3米的锚杆提前打入围岩,锚杆一端深入稳定岩体1.5-2.0米,另一端外露在开挖面。其工作时,通过与围岩间的粘结力,将开挖面前方不稳定岩体与深部稳定岩体相连,形成一个组合梁结构,增加不稳定岩体稳定性,降低围岩松动和坍塌风险^[2]。

2.3 隧道开挖

隧道开挖方法的恰当抉择,对小净距隧道施工质量与安全起着决定性作用。当围岩完整性佳、稳定性高时,台阶法为优选。它把隧道断面分为上下台阶,上台阶率先开挖3-5米,为下台阶施工创造条件,上下台阶可并行作业,上台阶钻爆期间,下台阶同步开展出渣、初期支护准备,有效缩短施工循环时长,提升效率,且施工工序简便,便于组织管理。若围岩破碎、稳定性欠佳,CD法与CRD法更为适用。CD法在隧道断面内设置临时中隔壁,将其分成左右两部分,先开挖一侧,随即施作初期支护与临时中隔壁,临时中隔壁通常用工字钢或格栅钢架支撑,再喷射混凝土封闭,待这侧稳定后开挖另一侧,以此减小应力集中,控制围岩变形。CRD法是在CD法基础上,将隧道断面细分,各单元开挖后及时支护并设临时支撑,形成交叉支撑体系,对围岩变形控制效果更好,只是施工工序繁杂,成本较高。在开挖全程,务必严守“弱爆破、短进尺、强支护、早封闭、勤量测”原则。弱爆破借光面或预裂爆破技术,精确计算装药量,严控爆破震动速度。短进尺控制每次进尺在0.5-1.0米。强支护要求开挖后即刻施作初期支护。早封闭需在24小时内完成仰拱施工。勤量测借助全站仪、水准仪等设备,实时监测围岩与支护结构状态,为施工决策提供数据支撑。

2.4 初期支护

初期支护是控制围岩变形的关键环节。喷射混凝土施工采用湿喷工艺,将搅拌好的混凝土通过喷射机,以40-60m³/h的喷射速度,喷射到围岩表面。混凝土在高速喷射下,与围岩紧密粘结,封闭围岩表面裂隙,防止风化和松动,其厚度一般为15-25厘米。锚杆通过钻孔安装,钻孔直径比锚杆直径大15-20毫米,采用水泥砂浆或树脂锚固剂填充,锚固力一般不小于50kN。锚杆将围岩与深部稳定岩体连接,提供锚固力,限制围岩变形。钢筋网一般采用直径6-8毫米的钢筋,网格间距15-20厘米,铺设在喷射混凝土表面,与喷射混凝土和锚杆焊接成一体,增强喷射混凝土的整体性和抗裂性能。钢支撑在围岩压力较大时发挥重要作用,工字钢支撑一般采用16-22号工字钢,格栅钢架由钢筋焊接而成,二者均安装在隧道周边,与喷射混凝土、钢筋网共同组成支护体系。钢支撑能直接承受围岩荷载,防止围岩因变形过大而坍塌。各支护构件协同工作,共同承担围岩压力,有效控制围岩变形^[3]。

2.5 中夹岩柱加固

中夹岩柱稳定性关乎隧道结构安全。对拉锚杆加固

时,在中夹岩柱内,按0.8-1.2米的间距钻孔,安装直径25-32毫米的对拉锚杆。锚杆两端通过螺母、垫板与两侧隧道初期支护或二次衬砌结构连接,施加50-100kN的预应力,将两侧隧道结构连成整体,增强中夹岩柱抗剪、抗拉能力,抵抗因隧道开挖引起的应力变化。中岩墙注浆加固,在中夹岩柱内钻孔,孔深根据中夹岩柱厚度确定,一般为3-5米。注入水泥浆或化学浆液,浆液在压力作用下扩散,填充岩体空隙,改善围岩物理力学性质,提高中夹岩柱强度和稳定性。注浆压力一般控制在1.0-2.0MPa,注浆量根据现场试验确定,确保注浆效果达到设计要求。

2.6 二次衬砌

在初期支护变形稳定后进行二次衬砌施工。首先进行钢筋绑扎,钢筋间距、数量严格按设计要求布置,钢筋搭接长度、焊接质量要符合规范。钢筋绑扎完成后安装模板,模板采用钢模板或组合模板,模板强度、刚度、稳定性要满足混凝土浇筑要求,模板拼接严密,防止漏浆。混凝土浇筑采用分层浇筑,每层厚度30-50厘米,分层振捣,振捣时间控制在20-30秒,确保混凝土密实。混凝土浇筑速度控制在2-3m³/h,避免浇筑过快导致模板变形。浇筑完成后,及时进行洒水养护,养护时间不少于14天,保证混凝土强度正常增长,同时确保混凝土外观平整度符合要求。二次衬砌与初期支护紧密结合,共同承担围岩长期荷载,保障隧道长期运营安全。

3 小净距隧道施工关键技术要点

3.1 爆破控制技术

在小净距隧道开挖作业中,爆破施工虽为常用手段,但爆破振动对中夹岩柱及相邻隧道结构存在潜在威胁,精准实施爆破控制技术至关重要。爆破参数优化是核心要点,装药量依据围岩特性、隧道断面尺寸和周边环境,借助经验公式与数值模拟精确计算,力求减少单次装药量以降低振动强度。炮孔间距设置也需谨慎,坚硬围岩可适当加大间距,破碎围岩则需缩小,确保炸药能量均匀分布,避免过度扰动围岩。起爆顺序采用分段微差起爆技术,精确控制各段起爆时间间隔在15-75毫秒之间,使爆破振动波相互干扰削弱,降低整体振动效应。光面爆破与预裂爆破技术也广泛应用,光面爆破通过在隧道开挖轮廓线上布置周边眼,采用小直径药卷和低爆速炸药,严格控制装药量,使爆破后隧道轮廓平整光滑,超挖量控制在10-15厘米,欠挖量不超过5厘米,减少对围岩的扰动。预裂爆破则在主爆区爆破前,沿设计轮廓线爆出一条1-2厘米宽的贯穿裂缝,缓冲和反射主爆区应力波,保护周边围岩。同时,对爆破振动进行实时

监测,在中夹岩柱等关键区域布置监测点,依据《爆破安全规程》设定预警值,一旦超限立即暂停施工,调整爆破参数,确保施工安全^[4]。

3.2 围岩监控量测技术

围岩监控量测作为小净距隧道施工信息化管理的核心手段,发挥着至关重要的作用。在隧道内科学布置监测点是基础工作,对于拱顶下沉监测,一般在隧道拱顶轴线位置设置观测点,采用水准仪或全站仪进行测量,测量精度控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内。周边收敛监测则在隧道两侧边墙对应位置安装收敛计测点,通过收敛计测量隧道周边两点间距离的变化,精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$ 。围岩内部位移监测借助多点位移计,在不同深度的围岩内设置测点,了解围岩内部各层的位移情况,以此分析围岩松动范围。锚杆轴力监测通过在锚杆上安装测力计,实时掌握锚杆所承受的拉力,判断锚杆的工作状态。通过对这些监测数据的收集与分析,能够准确判断围岩和支护结构的工作状态。绘制位移-时间曲线、应力-时间曲线等,若位移或应力随时间增长速率逐渐减小且趋于稳定,表明围岩和支护结构处于稳定状态;反之,若增长速率持续增大或出现突变,则说明可能存在安全隐患。当监测数据超出预警值时,立即采取应对措施。若位移过大,可增加临时支撑、加密锚杆或加大喷射混凝土厚度;若锚杆轴力异常,可考虑增设锚杆或采用预应力锚杆,及时调整施工方法,保障隧道施工安全。

3.3 施工顺序优化

合理规划施工顺序是保障小净距隧道施工安全与质量的关键因素。通常情况下,先行洞施工先行开展,在先行洞初期支护完成并达到一定强度,一般初期支护喷射混凝土强度达到设计强度的80%以上,且位移监测数据显示趋于稳定后,再启动后行洞施工。在施工过程中,

严格把控先行洞和后行洞的开挖错开距离,一般不宜小于15-20米,此距离既能保证先行洞初期支护的稳定,又能为后行洞施工提供一定的保护屏障。衬砌错开距离同样重要,一般控制在30-50米,确保后行洞衬砌施工时不会对先行洞衬砌产生过大影响。先行洞开挖和支护完成后,形成的稳定结构可为后行洞施工提供支撑和保护。后行洞施工时,应采取一系列措施减少对先行洞的影响,如采用弱爆破、短进尺开挖,优化支护参数等。同时,根据围岩条件和隧道设计要求灵活调整施工顺序。若围岩条件较好,可适当缩短错开距离,加快施工进度;若围岩破碎、稳定性差,则需加大错开距离,加强支护措施,确保施工安全和工程质量^[5]。

结语

小净距隧道施工技术在高速公路建设中占据关键地位。合理运用施工原理,严格遵循施工流程,精准把握关键技术,可有效应对施工挑战。面对未来更复杂的地质条件和更高的建设标准,需持续创新探索,完善技术体系,为公路隧道工程的高质量建设筑牢技术根基,推动行业不断进步。

参考文献

- [1]赵健,朱桂君,辛文青.浅埋小净距隧道涌水段微台阶开挖工法研究[J].江苏建筑,2022(S1):68-73.
- [2]张玉强,马桂林.高速公路小净距隧道施工方法研究[J].江西建材,2022(7):209-210,215.
- [3]王伟.软弱地层超小净距隧道超前注浆施工技术[J].交通世界,2022(17):163-165.
- [4]黄胜.高速联络线小净距隧道施工技术要点[J].黑龙江交通科技,2022(3):105-107.
- [5]邬永飞.浅埋偏压小净距高速公路隧道施工难点及处理措施[J].工程建设与设计,2021(8):116-118.