

浅埋暗挖隧道施工引起的地表塌陷分析及控制研究

任 义

四川路桥盛通建筑工程有限公司, 四川 西昌 615000

[摘要]隧道工程作为现代交通基础设施建设的重要组成部分, 一直以来都扮演着连接城市、改善交通流动的重要角色。近年来, 为满足城市交通日益增长的需求, 浅埋暗挖法隧道施工技术在地下空间利用中得到了广泛应用。这种施工方式以其灵活性和适应性成为解决城市交通拥堵和提升交通效率的重要手段。为了确保浅埋暗挖法隧道施工的高效、安全和环保进行, 深入了解其原理和施工技术显得尤为必要。

[关键词]浅埋暗挖隧道; 地表塌陷; 成因分析; 有效措施

DOI: 10.33142/sca.v7i2.11243

中图分类号: U456.3

文献标识码: A

Analysis and Control Research on Surface Collapse Caused by Shallow Buried and Undercut Tunnel Construction

REN Yi

Sichuan Road and Bridge Shengtong Construction Engineering Co., Ltd., Xichang, Sichuan, 615000, China

Abstract: Tunnel engineering, as an important component of modern transportation infrastructure construction, has always played an important role in connecting cities and improving traffic flow. In recent years, in order to meet the growing demand of urban transportation, shallow buried and hidden excavation tunnel construction technology has been widely used in underground space utilization. This construction method, with its flexibility and adaptability, has become an important means to solve urban traffic congestion and improve traffic efficiency. In order to ensure the efficient, safe, and environmentally friendly construction of shallow buried and concealed excavation tunnels, it is particularly necessary to have a deep understanding of its principles and construction technology.

Keywords: shallow buried and undercut tunnel; surface collapse; cause analysis; effective measures

随着城市化的快速发展, 交通需求的激增成为制约城市可持续发展的瓶颈之一。传统的地面交通设计已经难以满足人们对快捷、便捷出行的期待, 因此地下空间的合理开发和利用变得尤为迫切。基于此, 浅埋暗挖法隧道施工技术因其对地表干扰较小、建设周期短等优势成为城市交通隧道建设的热门选择。然而, 隧道施工涉及的复杂地质条件、地下水问题以及地面沉降控制等方面的挑战也日益显现, 需要系统性的技术方案和科学管理手段来应对。

1 工程概述

隧道工程的成功施工涉及到多方面的考虑, 其中浅埋暗挖法隧道是一种常见的施工技术。本文以三家寨分离式隧道为例(左右线测量轴线间距 25m, 左线起点桩号 ZK217+311, 终点桩号 ZK219+765, 全长 2454 米; 右线起点桩号 K217+322, 终点桩号 K219+765, 全长 2443 米), 该隧道位于川西高原东北部邛崃山脉北端, 中山高山峡谷地貌。隧道进口(久治端)斜坡较陡, 整体坡度 30° 40°, 植被发育, 主要以乔木及灌木为主。

2 浅埋暗挖法隧道施工技术的原理

2.1 浅埋暗挖法隧道施工概述

浅埋暗挖法隧道施工是一种基于新奥法的先进技术, 其核心理念在于同时进行开挖和支护, 以确保施工的高效和质量。在该方法中, 施工人员进行隧道的挖掘的同时, 采用边挖边浇筑混凝土的方式, 迅速形成坚实的支护结构。

隧道的开挖与混凝土浇筑同步进行, 利用围岩结构的自身支撑作用, 实现了施工的高效与有序, 不仅有效降低了施工难度, 同时也显著提升了隧道围岩的稳定性和承载能力。

2.2 浅埋暗挖法在隧道施工中的应用

浅埋暗挖法在隧道施工中的应用不同于传统隧道施工, 其核心特点在于边进行开挖, 边进行混凝土浇筑, 使得支护结构迅速形成。边挖边浇筑的操作方式极大地提高了施工效率, 缩短了工期。新奥法的基础理念结合了大量围岩加固处理措施, 有效发挥了围岩结构的支撑作用, 不仅保证了隧道施工的整体质量, 还降低了施工中可能发生的不稳定因素^[1]。浅埋暗挖法的成功应用不仅体现了其在现代隧道工程中的实用性, 同时也为其他类似工程提供了有益的经验。

2.3 地面沉降控制的重要性

地面沉降控制在浅埋暗挖法隧道施工防止因施工过程中地下结构变动而引起的地面沉降, 保护周边环境的稳定性和安全性。隧道施工可能导致地表沉降, 进而影响附近建筑物、交通设施等基础设施的稳定性。因此, 科学有效的地面沉降控制不仅保障了周边区域的正常运行, 还直接关系到整个隧道工程的安全性和可持续性。

3 浅埋暗挖法在隧道施工中应用要点

3.1 施工量测

3.1.1 隧道内测量

在浅埋暗挖法隧道施工中, 隧道内测量是确保工程准

精度和质量的至关重要的环节。采用中线法进行测量，其中中线点到直线部分的距离不低于 100m，到曲线部分的距离不低于 50m，以保证测量的全面性和准确性。在三家寨分离式隧道项目中根据工程地质条件，在隧道内部采用水准点进行测量，并确保每隔 100m 设置一个临时水准点，定期复核以保证其准确性。在具体实施中，中线法的应用能够及时发现隧道内部的任何变化和问题，确保施工过程的准确度。水准点的设置按照设计规定进行，这样的规范化操作能够有效提高测量的稳定性和精度。

3.1.2 隧道外测量

在浅埋暗挖法隧道施工中，隧道外测量是为了全面监测工程周边地形，确保施工过程中的稳定性和安全性。由于隧道所在地区地形复杂，采用了先进的 GPS 测量系统进行外部测量。在三家寨分离式隧道项目中，每个洞口位置都精确设置了两个 GPS 测量点^[2]。通过采用三角测量和 GPS 测点闭合的方法，实现了测定点的相互通视，以保障外部测量的准确性，为监测隧道周边地形变化提供了实时而可靠的数据，有效应对了地形复杂性对常规控制测量的不足。通过 GPS 测量系统，工程团队能够及时发现潜在的地质变化和施工影响，为施工提供了可靠的外部地形监测支持。

3.2 洞口施工

3.2.1 洞口土石方开挖

在浅埋暗挖法隧道施工中，洞口土石方开挖是至关重要的工程步骤之一。在三家寨分离式隧道项目中，针对洞口地质条件，采用挖掘机和自卸式汽车的协同作业方式进行土石方开挖。施工团队严格按照自下而上的顺序进行挖掘，确保开挖过程的有序性。同时，刷坡工作根据设计要求进行，边坡和仰坡的防护同时进行，以保障洞口周边地形的稳定性。在面对岩质风化严重、岩体裂隙发育的情况下，施工团队严格遵循“少刷坡、少扰动、强支护、早进洞”的原则，以最小化对地质环境的干扰。在洞口土石方开挖中，由于岩体裂隙发育，为了有效保护周边地质环境，实施了超前预报、超前喷锚网防护、强夯和密实处理等岩质处理原则。当岩体开挖到合适高程后，采取强夯和密实处理，以确保其承载力不低于设计值。若无法夯实带有设计要求的强度和密实度，采用 C25 片石混凝土进行换填，保障岩体在洞口处的稳定性。

3.2.2 洞口岩质处理原则

在浅埋暗挖法隧道施工中，对洞口的岩质进行科学的处理至关重要。针对三家寨分离式隧道项目的洞口岩质情况，施工团队制定了处理原则，旨在确保施工过程中的地质稳定性和安全性。在洞口进行岩质处理前，进行了超前预报和岩体评估。通过岩体勘测，科学判定了岩体的风化程度和裂隙发育情况，为后续处理提供了准确的基础数据。在实际施工中，洞口岩质处理原则主要包括超前喷锚网防护、强夯和密实处理。超前喷锚网防护是通过在岩体表面喷涂锚网，形成临时的支撑结构，防止岩体的坍塌和滑落。在岩体开挖到合适高程后，采取了强夯和密实处理的措施。强夯是通过振动锤等设备对岩体进行打击，使其颗粒重

新排列，提升整体密实度和承载力。密实处理则通过土石方的加固和填充，填补岩体裂隙，增强其整体稳定性。

3.3 明洞施工

3.3.1 明洞施工预备措施

在浅埋暗挖法隧道施工中，明洞施工的预备措施至关重要，这一阶段的科学准备对后续施工的安全和高效进行了有效保障。以三家寨分离式隧道项目为例，施工团队在进行明洞施工前采取了预备措施，以确保工程的平稳进行。施工团队在明洞施工前进行了全面的工程勘测和地质调查，获取了明洞段的详细地质信息，包括岩体的结构、裂隙分布、地下水位等。为后续的明洞施工提供了准确的地质基础，有利于科学制定施工计划和选择合适的支护措施。对隧道内部的岩体和地层进行超前评估，及时发现潜在的风险点，为明洞施工的实际操作提供了科学依据。在具体操作中，在洞口部分，采用了明挖法进行开挖，边挖边衬砌，采用液压钢模衬砌台车进行拱圈混凝土施工。

3.3.2 明洞施工工艺及支护措施

施工团队在明洞施工中采用了科学合理的工艺和全面的支护措施，确保了整体工程的顺利进行。通过对明洞内部地质条件的提前评估，施工团队能够在施工前了解到潜在的地质风险，从而制定出科学的施工计划和相应的风险缓解策略。在具体的明洞施工中，在洞口岩质较差的情况下，通过合理的超前导管注浆和超前锚杆支护，加强了对围岩的稳定性处理。支护措施方面，对于明洞段，施工团队采用了混凝土衬砌和液压钢模衬砌台车进行拱圈混凝土施工。在软弱围岩和地质条件差的地段，及时进行二次衬砌，有效防范了地表沉降问题。

3.4 洞身施工

3.4.1 辅助施工

在浅埋暗挖法隧道的施工中，特别是在洞身施工前，采取科学合理的辅助施工措施能够有效提升隧道的稳定性和安全性。超前小导管注浆技术主要针对全风化基岩和断层破碎带的情况，通过设置导管长度为 5m、环向间距为 35cm 的导管，使用直径为 42mm 的无缝钢管进行支护。注浆时，采用高压泥浆进行注浆，确保围岩的稳定性。同时，在隧道拱部采用直径为 42mm 的无缝钢管进行支护，这种综合应用有效防范了洞身施工中可能出现的岩体裂隙和破碎问题。在围岩较差的地段，选择直径为 25mm 的药卷锚杆进行支护，通过合理布置锚杆的方向，提升支护效果。

3.4.2 开挖工艺及支护

在 IV 级围岩的情况下，采用台阶法进行开挖，分上下两个部分进行，台阶的长度控制在 5~8m 之间，旨在确保开挖轮廓的圆顺性，同时提高隧道围岩的自身承载能力，降低对围岩的扰动。隧道拱部和边墙采用光面爆破施工技术，通过 YT28 风钻进行钻孔。在上部设立简易的工作台阶，使用反铲式挖掘机将渣土扒到下断面上，并通过装载机运输到隧道外。V 级围岩采用了预留核心土的方法，根据隧道围岩的实际情况合理调整施工工序。开挖、装渣和

运输形成连续的工作环节,确保了开挖后及时进行支护和衬砌工作。在V级围岩的情况下,特别重视了强夯和密实处理,以确保其承载力不低于设计值。如果无法夯实到设计要求的强度和密实度,就采用C25片石混凝土进行换填。开挖工程后,及时进行混凝土衬砌,包括隧道仰拱和侧墙混凝土衬砌。为了提高衬砌的效果,采用了液压钢模衬砌台车进行拱圈混凝土施工。在拱圈混凝土浇筑完成,并强度达到设计强度的50%后,立即进行明洞防水层的施工。该层施工前,需对混凝土衬砌表面进行涂抹,保证平顺光滑,然后再进行防水层的施工^[3]。防水层要确保与边坡、仰坡、排水设施等有良好的接触,封闭迷失,以免发生渗漏问题。

3.4.3 二次衬砌工程

二次衬砌工程是在初次衬砌完成后,进一步巩固和强化隧道结构,是提高隧道的整体稳定性和耐久性,满足不同围岩和地质条件下的工程需求。在进行二次衬砌工程前,需要对初次衬砌的质量进行仔细检查和评估,包括衬砌表面平整度、强度、密实度等方面的指标,确保初次衬砌达到设计要求。在此基础上,进行二次衬砌的设计和施工。二次衬砌的主要材料一般选用高强度混凝土,以确保其具有更高的抗压、抗拉强度和耐久性。施工过程中,采用液压钢模和模板拼装技术,保证衬砌的几何形状和尺寸的精准度。为了提高施工效率,通常采用机械化作业,如泵送混凝土和使用自动化设备进行模板拆除。在进行二次衬砌时,需要特别注意与初次衬砌的衔接,确保两次衬砌层之间的结合紧密,形成整体稳固的结构。此外,根据实际情况,可能需要在二次衬砌中设置附加的加固措施,如钢筋加固、喷锚加固等,以提高隧道的整体抗震和抗变形能力。

4 浅埋暗挖法隧道施工地面沉降控制措施

4.1 开挖中的地面沉降控制

为确保工程安全和减小对周边环境的影响,采取有效的地面沉降控制措施至关重要。在开挖过程中,通过先进的土力学分析和监测技术,对不同地层的力学性质进行准确评估,制定合理的开挖进度和工艺,避免过大的单次开挖量,有针对性地采用合适的支护措施。通过分段开挖和实时监测地下应力的变化,调整施工方案,降低地面沉降的速率,有助于在保障施工进度同时,最小化对周边地表的影响。采用高效可靠的支护结构,如悬挂式锚杆支护和防水混凝土衬砌,能够有效地分担地下土体的荷载,减轻地面沉降的程度。

4.2 改良土体

在浅埋暗挖法隧道施工中,对于地面沉降的控制,通过对施工区域土体的物理和力学性质进行细致分析,可以采取土体改良手段,以提高土体的抗压强度和减小沉降变形。常见的改良手段包括土体加固、注浆和搅拌桩等。在土体加固方面,通过引入适量的固化剂,如水泥、石灰等,能够显著提高土体的抗剪性和抗沉降性。同时,通过合理的施工工艺,确保改良剂均匀混合,形成坚实的土团结构,有效提升

地基承载能力。在土体中注入稳定剂,改变土体的颗粒结构,提高其稠密度和抗压强度,从而减小沉降变形的发生。注浆材料的选择和注浆参数的控制对改良效果至关重要,需要根据实际工程条件进行科学合理的设计。搅拌桩作为一种机械化土体改良手段,通过旋挖或振动搅拌的方式,将土体与固化剂充分混合,形成均质的改良土体。在实际施工中,选择合适的土体改良手段,并结合工程地质条件和设计要求,实施科学的土体改良,是确保地面沉降控制的重要一环。

4.3 适度排放地下水

在浅埋暗挖法隧道施工中,适度排放地下水,可以有效减缓土体的沉降速度,减轻地面沉降的影响。在施工过程中,通过合理的水文地质分析,确定地下水位的变化范围,并制定相应的排水方案。排放地下水的同时,需要注意监测周边地下水位的变化,及时调整排水量,确保地下水位在合理范围内波动。排放地下水时需考虑对周边环境的影响,采取有效的措施防止地表和地下水体的污染。

4.4 临时支撑施工

在浅埋暗挖法隧道施工中,临时支撑的设计和施工需要综合考虑地质条件、隧道结构、开挖工艺等多方面因素。对于地质条件较差的区域,需要采用适当的临时支撑措施来应对可能的地层不稳定情况,包括钢架支撑、注浆加固等方法,以确保在开挖过程中地层能够得到有效的支撑,减少地面沉降和隧道结构变形的风险。根据隧道的横断面形状和尺寸,选择合适的支撑方式,例如采用拱形钢支撑、锚杆加固等,以确保隧道在施工期间能够稳定地保持形状。通过合理的支撑施工顺序和时机,确保在隧道开挖的同时,临时支撑能够紧密跟随并逐步完善,以最大限度地减少地层变形和沉降对隧道的影响。

5 结束语

浅埋暗挖法隧道施工涉及多个关键环节,包括开挖工艺、地面沉降控制、临时支撑等。在施工过程中,科学合理的设计和施工方案至关重要,旨在确保隧道结构的稳定性和安全性。地面沉降的控制、土体改良、水文条件的合理处理以及施工效率的提升都直接关系到项目的成功实施。在未来的工程实践中,不断总结经验教训,改进技术手段,将为隧道工程领域的可持续发展贡献更多的经验和智慧。

[参考文献]

- [1]王巍.分析浅埋暗挖隧道施工引起的地表塌陷及控制[J].建材与装饰,2020(6):264-265.
 - [2]张腾蛟.浅埋暗挖隧道施工引起的地表塌陷分析及其控制[J].四川水泥,2020(4):280.
 - [3]刘彦良.浅埋暗挖隧道施工引起的地表塌陷分析及其控制[J].建筑工人,2023,44(1):48-51.
- 作者简介:任义(1975.4—),男,西南交通大学,土木工程(工程管理方向),四川路桥盛通建筑工程有限公司,久马高速安全副经理,助理工程师。