

高速公路隧道施工技术研究

万鉴平

中铁隧道集团三处有限公司 广东 深圳 518000

摘要: 随着交通建设的快速发展,高速公路隧道作为连接不同地区、缩短通行时间的重要工程形式,其施工技术的应用显得尤为重要。本文旨在探讨高速公路隧道施工技术的现状、关键技术、存在的问题及解决方案,以期为未来的隧道施工提供参考和借鉴。

关键词: 高速公路隧道; 施工技术; 关键技术; 解决方案

引言

高速公路隧道建设是现代交通基础设施的重要组成部分,它承载着大量人员和物资的流动,对于促进经济发展和城市间的连接起着至关重要的作用。隧道施工涉及地质、水文、气候等多方面因素,技术复杂,风险较高。因此,深入研究高速公路隧道施工技术,对于提高工程质量、保障工程安全具有重要意义。

1 高速公路隧道施工技术现状

近年来,我国高速公路隧道施工技术的发展步伐稳健且成果显著。在施工技术发展方面,隧道掘进机(TBM)与盾构机等现代化大型施工机械已成为主流,它们凭借高效的掘进能力和精准的施工控制,极大地提升了隧道的建设速度和工程质量。与此同时,数字化、智能化技术的融合应用为隧道施工注入了新活力。BIM技术的引入,实现了工程设计、施工、运维等全生命周期的信息集成与管理,提高了施工效率,减少了资源浪费。地质雷达探测技术等高科技手段的应用,则有效增强了施工前地质条件的探测精度,为施工方案的制定提供了科学依据。然而,高速公路隧道施工技术仍面临不少挑战。地质条件的复杂多变,如软弱围岩、断层破碎带、地下水丰富等,增加了施工的不确定性和风险。施工环境往往恶劣,空间狭窄、通风照明条件有限,对施工人员和设备的安全构成了严重威胁。此外,隧道施工技术要求高,需要精确控制开挖断面、支护结构等,对施工工艺和施工管理提出了更高要求。这些挑战要求我们在未来的施工中不断探索和创新,以应对日益复杂的隧道建设任务。

2 高速公路隧道施工关键技术

2.1 隧道掘进技术

隧道掘进技术是隧道施工的核心技术之一,它直接关系到隧道的施工进度、质量和成本。根据不同的地质条件,隧道掘进技术可分为多种方法,其中主要包括爆

破掘进、盾构掘进和TBM(隧道掘进机)掘进等。爆破掘进是一种传统的隧道掘进方法,它适用于地质条件较为坚硬、岩石完整性较好的地段。通过钻孔、装药、爆破等步骤,将岩石破碎并清除出隧道,形成隧道断面。然而,爆破掘进存在噪音大、粉尘多、对围岩扰动大等缺点,且在某些特殊地质条件下(如软弱围岩、断层破碎带)可能引发安全隐患。盾构掘进则是一种较为先进的隧道掘进方法,它适用于软土地层或中等硬度的岩石地层。盾构机是一种集开挖、支护、推进、排土等多功能于一体的机械化施工设备,它能够在保护周围环境的同时,高效地进行隧道掘进。盾构掘进具有施工速度快、对周围环境干扰小、安全性高等优点,但在硬岩地层中掘进效率较低,且设备成本较高^[1]。TBM掘进机则是硬岩隧道施工中的首选设备。TBM掘进机具有强大的破岩能力和高效的掘进速度,能够适应各种复杂的地质条件。与爆破掘进相比,TBM掘进机具有施工效率高、对围岩扰动小、安全性好等优点。同时,TBM掘进机还能够实现机械化、自动化施工,大大减轻了施工人员的劳动强度。近年来,随着TBM掘进技术的不断发展和完善,其在高速公路隧道施工中的应用越来越广泛。

2.2 隧道支护技术

隧道支护技术是保证隧道结构安全和稳定的关键。在隧道掘进过程中,由于开挖会破坏围岩的原始平衡状态,导致围岩产生变形和破坏。为了控制围岩的变形和破坏,确保隧道的施工安全,必须采取有效的支护措施。常用的隧道支护方式包括钢拱架支护、喷射混凝土支护、锚杆支护等。钢拱架支护是一种通过安装钢拱架来增强隧道围岩稳定性的支护方式。钢拱架能够承受围岩的压力和变形,将围岩的压力传递到隧道底部的稳定地层中。喷射混凝土支护则是通过将混凝土喷射到隧道围岩表面,形成一层坚固的支护层,来增强围岩的稳定性。锚杆支护则是通过在围岩中打入锚杆,将围岩与支

护结构紧密连接在一起，提高围岩的整体稳定性。在软弱围岩地段或特殊地质条件下，还可采用超前支护技术。超前支护技术是在隧道掘进前，对前方围岩进行预加固处理，以增强围岩的稳定性。常用的超前支护方式包括超前小导管、超前锚杆等。超前小导管是通过在隧道前方围岩中打入小导管，并注浆加固，来形成一道预加固的支护层。超前锚杆则是通过在隧道前方围岩中打入锚杆，并注浆加固，来提高围岩的整体稳定性。

2.3 隧道排水与通风技术

隧道排水和通风是隧道施工中不可忽视的重要环节。排水系统需确保隧道内外的水能够顺畅排出，防止渗水和积水对隧道结构造成损害。在隧道施工过程中，由于开挖会破坏围岩的原始水文地质条件，导致地下水渗入隧道。为了保证隧道的施工安全和结构稳定，必须采取有效的排水措施。常用的排水方式包括设置排水沟、集水井、排水泵等。排水沟用于收集隧道内的地下水，并将其引导至集水井中^[2]。集水井则用于储存和排放地下水。排水泵则用于将集水井中的地下水抽排到隧道外。通风系统则需为隧道施工区域提供必需的新鲜空气，排除有害气体和粉尘，保障施工人员的安全与健康。在隧道施工过程中，由于开挖会产生大量的粉尘和有害气体，如二氧化碳、一氧化碳、甲烷等。这些有害气体和粉尘对施工人员的身体健康构成严重威胁。为了保证施工人员的安全与健康，必须采取有效的通风措施。常用的通风方式包括自然通风和机械通风。自然通风是利用隧道内外的温度差和压力差，通过隧道口或通风竖井进行自然换气。机械通风则是通过安装通风设备（如风机、风筒等），强制进行隧道内外的空气交换。

2.4 隧道衬砌技术

隧道衬砌是隧道施工的最后一道工序，也是保证隧道长期使用的关键。衬砌能够增强隧道的整体稳定性，提高隧道的承载能力和耐久性。常用的衬砌材料包括混凝土、钢筋混凝土等。混凝土衬砌具有施工方便、成本低廉、耐久性好等优点。钢筋混凝土衬砌则具有更高的承载能力和抗裂性能，适用于承受较大荷载或需要更高耐久性的隧道。随着施工技术的进步和发展，预制装配式衬砌技术也逐渐得到应用。预制装配式衬砌技术是在工厂内预先制作好衬砌构件，然后将其运输到施工现场进行组装和拼接。这种技术具有施工速度快、质量可控、环保等优点。预制装配式衬砌构件可以在工厂内进行标准化生产，保证了构件的质量和精度。同时，由于构件是在工厂内预先制作好的，所以施工现场的湿作业量大大减少，降低了施工对环境的影响。此外，预制装

配式衬砌技术还能够实现机械化、自动化施工，提高了施工效率和质量。

3 高速公路隧道施工中存在的问题及解决方案

3.1 地质条件复杂

地质条件的复杂性是隧道施工中不可避免的挑战。隧道穿越的地层可能包括软土、硬岩、断层、破碎带等多种类型，这些不同的地质条件对隧道的掘进和支护都提出了极高的要求。为解决这一问题，首先需要在施工前进行详尽的地质勘察。采用地质雷达、地震波测试等先进技术，对隧道沿线的地质情况进行全面、准确的探测。通过这些技术手段，可以获取地层结构、岩性、含水量、断层位置等关键地质信息，为施工方案的制定提供科学依据。在施工过程中，需要根据地质变化及时调整施工方案。对于软土地层，可以采用盾构掘进等适合软土的施工方法；对于硬岩地层，则可以选择TBM掘进机等高效破岩设备。同时，根据地质条件的变化，灵活选择支护技术，如钢拱架支护、喷射混凝土支护、锚杆支护等，确保隧道的稳定性和安全性。

3.2 施工环境恶劣

隧道施工环境通常十分恶劣，空间狭窄、通风不良、照明不足、噪音大、粉尘多，对施工人员的安全和健康构成严重威胁。为改善施工环境，首先需要加强施工现场的安全监测和预警。安装各种传感器，实时监测隧道内的空气质量、温度、湿度等环境参数，一旦发现异常，立即采取相应措施。同时，建立健全应急预案和安全应急救援机制，确保在发生突发事件时能够迅速、有效地进行应对^[3]。此外，还需要改善施工现场的工作条件。设置通风系统，确保隧道内有足够的新鲜空气流通；安装照明设施，提高隧道内的照明亮度；建立完善的排水系统，确保隧道内的积水能够及时排出。通过这些措施，可以为施工人员提供一个相对舒适、安全的工作环境。

3.3 施工技术要求高

隧道施工技术要求高，需要施工人员具备较高的专业技能和丰富的实践经验。然而，在实际施工中，往往存在施工人员技能水平参差不齐、安全意识淡薄等问题。为解决这一问题，需要加大对施工人员的培训力度。定期组织专业技能培训和安全教育培训，提高施工人员的专业技能和安全意识。同时，引入先进的施工技术和设备，如BIM技术、智能化施工设备等，提高施工效率 and 安全性。通过这些措施，可以确保施工人员能够熟练掌握隧道施工的各项技术，为隧道的顺利施工提供有力保障。

3.4 设备维护难度大

隧道施工所用的设备多为大型机械,如盾构机、TBM掘进机等,这些设备的维护和保养难度较大。一旦设备出现故障,不仅会影响施工进度,还可能对施工人员的安全构成威胁。为解决这一问题,需要建立设备管理系统,对设备进行全面、系统的管理。实施定期维护和保养计划,确保设备处于良好的工作状态。同时,引入物联网技术,对设备进行实时监控,及时发现和处理故障。通过物联网技术,可以实时监测设备的运行状态、工作参数等信息,一旦发现异常,立即发出警报并采取相应的维修措施^[4]。此外,还需要组建专业的设备维护团队,负责设备的日常维护和故障处理。团队成员需要具备丰富的设备维护经验和专业技能,能够迅速、准确地判断设备故障的原因,并采取相应的维修措施。通过这些措施,可以确保隧道施工设备的正常运行,为隧道的顺利施工提供有力保障。

4 案例分析

4.1 天麻高速隧道建设案例

天麻高速公路穿越云南省文山州,连接中越边境的天保口岸与麻栗坡县,全长8公里。其中的那亮弯隧道,全长6公里,是一条全五级千枚岩中长隧道,其围岩中千枚岩的比例高达90%以上。在如此复杂的地质条件下进行隧道挖掘,难度极高。千枚岩质地脆弱,遇水易软化,导致施工过程中频繁出现围岩变形、涌水等问题。项目团队采取了“机械开挖为主、爆破为辅”的策略,并结合双层超前支护技术。通过向岩壁打入超前支护,缩小岩层间隙,防止松散围岩从拱顶坍塌。同时,采用长支护筒和双层超前支护设计,显著提高了支护的整体强度。最终,那亮弯隧道右幅以安全“零伤亡”、质量“零缺陷”的标准顺利贯通。该项目的成功实施,不仅验证了双层超前支护技术在复杂地质条件下的有效性,也为类似地质条件下的隧道施工提供了宝贵经验。

4.2 南阳山隧道超前预支护长大管棚施工技术案例

南阳山隧道穿越泥岩及砂砾交界地层,施工难度大。隧道洞身穿越的地层为松散、富水砂砾层,砂砾层无任何自承能力,要求管棚自身受力能力要强。松散砂砾层的地质条件导致隧道开挖过程中极易出现冒顶塌方现象,围岩稳定性极差。项目团队采用了超前预支护长大管棚施工技术。通过注浆改善松散破碎岩层的物理力学性质,在拟开挖段上方形成具有较强承载能力的整体排架式加固拱圈。同时,选用 $\phi 133$ mm长大管棚,利用其较大的刚度和承载能力,有效阻止了围岩变形。施工流程包括施工准备、管棚工作室制作、搭设操作平台、测量定位、钻机就位、管棚加工、钻孔与清孔、管棚安装、浆液制备与注浆等步骤。在施工过程中,严格控制管棚的打入角度和注浆压力,确保施工质量。采用超前预支护长大管棚施工技术后,南阳山隧道的施工安全性和稳定性得到了显著提高。该技术有效解决了松散砂砾层地质条件下的隧道施工难题,为类似地质条件下的隧道施工提供了有力支持。

结语

高速公路隧道施工技术的研究与应用对于提高工程质量、保障工程安全具有重要意义。未来,随着科技的不断进步和施工工艺的不断完善,隧道施工技术将朝着更加高效、安全、环保的方向发展。同时,加强施工人员的培训和管理,提高施工技术水平,也是推动隧道施工技术进步的重要途径。

参考文献

- [1]童柳才.高速公路隧道施工技术及管理要点探究[J].居业,2025,(01):67-69.
- [2]李天.高速公路隧道施工技术与质量控制探究[J].汽车周刊,2024,(10):139-141.
- [3]李顺兵.高速公路隧道施工技术与质量控制分析[J].交通科技与管理,2024,5(16):76-78.
- [4]张龙.高速公路隧道施工技术及管理要点分析[J].运输经理世界,2024,(22):92-94.