

隧道系统锚杆施工探讨

武晋锋

山西晋通公路工程监理有限公司 山西 晋城 048000

摘要: 系统锚杆作为隧道支护体系的重要构件,在控制围岩变形、提升结构稳定性方面发挥着不可替代的作用。本文探讨了人工钻孔与凿岩台车两种主流施工方法的适用性差异,凿岩台车设备选型需根据隧道规模和施工条件确定。通过优化人工钻孔工艺、改进施工措施,可显著克服人工施工的固有缺陷,为复杂工况下的隧道安全建造提供理论支撑与技术路径。

关键词: 系统锚杆;工作原理;钻孔;隧道支护

引言

在隧道工程建设中,围岩稳定性至关重要,它直接关系到施工安全与运营质量。系统锚杆作为隧道支护体系的关键构成,通过将围岩与稳定岩土层相连,能有效增强围岩自稳能力、控制变形。然而,隧道系统锚杆施工工艺复杂,人工钻孔施工存在孔位精度难把控、径向施工困难等问题,凿岩台车施工对设备选型与操作要求高。深入探讨隧道系统锚杆施工,对优化工艺、提升质量、保障隧道安全建设与运营意义重大。

1 背景与现状

1.1 背景与意义

随着交通建设的蓬勃发展,隧道工程能够有效缩短行程距离,提高运输效率,适应复杂地形条件,在隧道工程中,系统锚杆作为一种重要的支护手段,对于确保隧道围岩的稳定性至关重要。在开挖过程中,会破坏原有的地层应力平衡,导致围岩出现变形、坍塌等问题。系统锚杆通过将围岩与稳定的岩体连接在一起,形成一个共同承载的体系,有效地约束围岩的变形,提高围岩的整体强度和稳定性。它能够增强围岩的自承能力,防止围岩的松动和坍塌,为隧道的施工和运营安全提供可靠保障^[1]。

隧道系统锚杆的现实意义。在施工方法方面,不同的施工方法直接影响着施工效率、成本以及锚杆的支护效果。选择合适的施工方法能够提高施工质量,缩短施工周期,降低工程成本。如凿岩台车施工相较于人工钻孔,具有高效、精准等优势,能够大大提高施工效率,同时保证锚杆的安装质量。

1.2 国内外现状

国外在隧道系统锚杆起步较早,取得了一系列重要成果。在施工方法上,研发了多种先进的钻孔设备和施工工艺,如大型自动化凿岩台车,能够实现高效、精准的钻孔作业,大大提高了施工效率和质量。在作用机理方面,通过大量的现场试验和数值模拟,建立了较为完善的锚杆力

学模型,深入分析了锚杆与围岩之间的相互作用机制。

国内对隧道系统锚杆的研究也在不断深入。在施工方法上,积极引进和消化国外先进技术,同时结合国内工程实际情况进行创新。目前,国内人工钻孔、凿岩台车等施工方法并存,并在一些特殊地质条件下探索出了针对性的施工工艺。在作用机理研究方面,国内学者通过理论分析、室内试验和现场监测等多种手段,对锚杆的作用效果进行了深入研究。例如,针对黄土隧道、软岩隧道等特殊地质条件下的锚杆支护问题,开展了大量研究工作,提出了一些适合国内地质条件的锚杆设计和施工理论。

2 隧道系统锚杆概述

2.1 定义与分类

隧道系统锚杆是指在隧道施工中,为了保证围岩的稳定性,在隧道周边按一定格式布置的锚杆群。它通过将拉力传至稳定岩土层,从而对隧道围岩起到支承、加固等作用,是隧道支护体系的重要组成部分。

按锚固形式,隧道系统锚杆可划分为全长黏结型锚杆、端头锚固型锚杆、摩擦型锚杆和其他类型锚杆。按受力状态,隧道系统锚杆可分为非张拉型锚杆和张拉型锚杆,张拉型锚杆又分为张拉锚杆和预应力锚杆^[2]。本文以长黏结型锚杆为主要探讨的对象。

2.2 工作原理

隧道系统锚杆的工作原理主要基于将松弛围岩与坚固基岩连接共同受力以及通过施加预应力改良围岩节理、裂隙的作用机制。在隧道开挖过程中,围岩的原始应力平衡被打破,周边围岩会出现松弛、变形甚至坍塌的趋势。系统锚杆通过钻孔安装在围岩中,利用黏结剂将锚杆杆体与围岩紧密黏结在一起,使锚杆与围岩形成一个整体,将松弛围岩的荷载传递到深部坚固基岩上,从而调动围岩自身的承载能力,共同抵抗外部荷载。

2.3 在隧道工程中的重要性

系统锚杆在隧道工程中具有举足轻重的地位,对提高

隧道围岩稳定性、控制变形、增强承载能力起着关键作用。在提高围岩稳定性方面,系统锚杆通过与围岩的协同工作,将围岩锚固成一个整体,增强了围岩的自稳能力。在控制变形方面,锚杆能够有效地约束围岩的变形,特别是对于软岩隧道和高地应力隧道,系统锚杆的支护作用可以显著减小围岩的变形量,保证隧道的净空尺寸符合设计要求。

系统锚杆是隧道支护体系的核心组成部分,与喷射混凝土、钢支撑等支护手段相互配合,共同保障隧道的施工安全和长期稳定运营。它的合理应用能够提高隧道工程的质量和可靠性,降低工程风险,对于隧道工程的顺利建设和运营具有不可替代的重要作用。

3 隧道系统锚杆施工方法

3.1 人工钻孔施工

3.1.1 施工工艺

人工钻孔施工前,需做好充分的准备工作。首先,施工人员要熟悉施工图纸,明确锚杆的布置位置、长度、间距等参数。同时,对所需的施工工具,如风动凿岩机、空压机等进行全面检查,确保其性能良好,能正常运行。在施工现场,要清理作业面,保证作业空间宽敞、安全,无障碍物影响施工。此外,还需准备好防护用品,保障施工人员的人身安全。

测量布孔环节至关重要,它直接关系到锚杆的布置精度。施工人员依据设计图纸,使用测量仪器,如全站仪、水准仪等,在隧道围岩表面精确测量出锚杆的孔位,并做好明显标记。孔位的偏差应严格控制在允许范围内,一般不得超过 $\pm 150\text{mm}$,以确保锚杆的布置符合设计要求,能够均匀地对围岩提供支护力^[3]。

钻孔作业时,施工人员操作风动凿岩机,按照标记的孔位进行钻孔。在钻孔过程中,要控制好钻孔的速度和压力,避免因速度过快或压力过大导致钻孔偏斜、孔径不均匀等问题。同时,要注意观察钻孔情况,如发现卡钻、岩粉过多等异常现象,应立即停止钻孔,采取相应措施进行处理。钻孔深度应符合设计要求,一般允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$,确保锚杆能够达到足够的锚固深度,与围岩形成有效的锚固体系。

钻孔完成后,必须进行清孔操作,以保证孔内清洁,无岩粉、碎屑等杂质。施工人员通常使用高压风或高压水对钻孔进行冲洗,将孔内的杂质吹出或冲出。清孔完成后,要对钻孔进行检查,确保孔深、孔径、孔位等参数符合设计要求。若发现不符合要求的钻孔,应及时进行修正或重新钻孔。

安装锚杆时,施工人员先将锚杆的一端加工成螺纹状,以便与螺母和垫板连接。然后,将锚杆缓慢插入钻孔中,确保锚杆位于钻孔中心,且插入深度达到设计要求。在插

入过程中,要避免锚杆与孔壁碰撞,防止损坏锚杆和孔壁。

注浆是人工钻孔施工的最后一个关键环节,它能够使得锚杆与围岩紧密结合,增强锚固效果。施工人员将配制好的水泥砂浆或其他注浆材料,通过注浆泵注入钻孔中。注浆过程中,要控制好注浆压力和注浆量,确保注浆材料充满整个钻孔,确保锚杆与围岩之间形成牢固的黏结。

3.1.2 技术要点与难点

人工钻孔施工时,孔位准确性的控制是关键技术要点之一。在测量布孔过程中,施工人员需严格按照设计图纸进行操作,使用精确的测量仪器,并多次复核孔位,以减少测量误差。同时,要注意施工现场的环境因素,如光线、地形等,避免因环境干扰导致孔位标记错误。

钻孔垂直度的保证同样具有挑战性。人工操作风动凿岩机时,由于人的体力和操作稳定性有限,很难始终保持凿岩机的垂直状态。为解决这一问题,可采用一些辅助工具,如导向架、定位器等,帮助施工人员控制钻孔方向。在钻孔前,要对凿岩机的钻头进行检查和调整,确保钻头垂直于钻孔平面。

孔径控制也是人工钻孔施工的技术要点。孔径过大或过小都会影响锚杆的安装和锚固效果。在钻孔过程中,要根据设计要求选择合适的钻头直径,并定期检查钻头的磨损情况,及时更换磨损严重的钻头。此外,要控制好钻孔速度和压力,避免因钻孔速度过快或压力过大导致孔径扩大,或因速度过慢、压力过小导致孔径不足^[4]。

人工施工难以径向施工是一个显著难点。在隧道施工中,径向施工能够使锚杆更好地与围岩的应力方向垂直,充分发挥锚杆的支护作用。然而,人工钻孔时,由于受到施工空间、操作角度等因素的限制,很难实现径向施工。例如,在隧道拱顶部位,施工人员难以在狭小的空间内将凿岩机调整到径向方向进行钻孔。为克服这一难点,可采用一些特殊的钻孔设备或施工工艺,如可弯曲的凿岩机钻杆、特制的钻孔支架、更换不同长度的钻杆等方法,以方便施工人员在不同角度进行钻孔操作。

3.2 凿岩台车施工

3.2.1 施工工艺

凿岩台车施工时,首先要确保设备就位准确。在到达施工现场后,操作人员需依据隧道的设计轴线和锚杆的布置位置,利用凿岩台车自身配备的定位系统,如激光导向装置、电子罗盘等,将台车精准定位在作业位置。在定位过程中,要调整好台车的角度和高度,使其钻臂能够准确地对准钻孔位置,同时确保台车稳定,避免在钻孔过程中发生晃动,影响钻孔精度。

定位完成后,便可进行钻孔作业。凿岩台车通常配

备多个液压驱动的钻臂，每个钻臂上安装有独立的钻孔设备。操作人员通过控制台控制钻臂的运动，使钻头按照预定的轨迹进行钻孔。在钻孔过程中，台车的自动化控制系统能够根据设定的参数，如钻孔深度、钻孔速度、推进压力等，自动调整钻孔作业。

安装锚杆环节，凿岩台车可利用自身的辅助设备，如锚杆安装机械手，实现锚杆的快速安装。机械手能够准确地抓取锚杆，并将其插入钻孔中。在插入过程中，机械手会对锚杆进行适当的调整，确保锚杆位于钻孔中心，且插入深度符合设计要求。与人工安装相比，凿岩台车安装锚杆更加精准、高效，能够大大提高施工效率^[5]。

注浆作业与人工钻孔施工类似，但凿岩台车施工时，注浆设备通常与台车集成在一起，实现了注浆的自动化操作。在锚杆安装完成后，通过管道将注浆材料输送到钻孔中。注浆过程中，操作人员可通过控制台实时监控注浆压力和注浆量，确保注浆质量。当注浆达到设计要求后，系统会自动停止注浆，完成整个施工流程。

3.2.2 设备选型与操作要点

不同类型的凿岩台车具有各自的特点和适用条件。单臂凿岩台车结构简单、体积较小、灵活性高，适用于小断面隧道或隧道施工空间有限的部位。双臂凿岩台车作业效率较高，可同时进行两个钻孔的施工，适用于一般规模的隧道工程，是较为常用的一种类型。三臂及以上的多臂凿岩台车则具有更高的作业效率，能够同时进行多个钻孔的施工，适用于大型隧道或工期紧张的工程，如大型水利枢纽工程中的引水隧道施工。

在操作凿岩台车时，安全至关重要。操作人员必须经过专业培训，熟悉凿岩台车的结构、性能和操作方法，取得相应的操作资格证书。在作业前，要对台车进行全面检查，包括机械部件、液压系统、电气系统等，确保设备处于良好的运行状态。检查轮胎或履带的气压是否正常，各润滑点是否润滑良好，钻具是否安装牢固等。在作业过程中，要注意周围环境的安全，避免与其他施工设备或人员发生碰撞。

4 克服人工施工不能径向施工问题的措施

4.1 技术改进措施

采用特殊钻孔工具是实现人工径向施工的有效途径之一。例如，可弯曲钻杆的应用能够有效解决人工施工在空间受限情况下难以径向钻孔的问题。这种钻杆采用特殊的材料和结构设计，具有良好的柔韧性，能够在狭小的空间内实现弯曲，从而调整钻孔方向，达到径向施工的要求。采用可弯曲钻杆，施工人员能够灵活地调整钻孔角度，成功实现了拱顶部位的径向钻孔，提高了锚杆的支护效果。

改进钻孔工艺也是关键技术手段。预定位钻孔工艺通过在钻孔前设置精确的定位装置，能够确保钻孔方向准确无误。在定位过程中，利用高精度的测量仪器，确定钻孔的位置和角度，并通过固定装置将钻孔设备固定在预定位置，从而保证钻孔过程中设备不会发生偏移，实现径向施工。此外，采用分段钻孔工艺，先进行浅孔钻进，再逐步加深钻孔深度，也有助于控制钻孔方向，提高径向施工的准确性^[6]。

4.2 施工工艺优化

优化施工流程可以显著提高人工施工的准确性和效率。在施工前，对整个施工过程进行详细规划，合理安排各工序的先后顺序和时间间隔，能够避免工序之间的干扰和冲突。例如，在隧道施工中，合理安排开挖、初喷混凝土、锚杆施工等工序的顺序，确保在进行锚杆施工时，围岩已经得到初步稳定，为人工径向施工创造良好条件。同时，采用流水作业法，将施工过程划分为多个作业段，每个作业段安排专门的施工人员进行操作，能够提高施工的专业化程度和效率。

结束语

本论文探讨隧道系统锚杆施工方法及作用。施工方法上，详述人工钻孔与凿岩台车施工。人工钻孔流程含准备、测量布孔、钻孔、清孔、安装锚杆及注浆，技术要点为控制孔位准确性、钻孔垂直度与孔径，通过可弯曲钻杆、预定位钻孔工艺等特殊工具与改进工艺，解决人工难以径向施工的问题。凿岩台车施工流程包括设备就位、钻孔、安装锚杆和注浆，设备选型需依隧道规模与施工条件：单臂台车适用于小断面隧道，双臂台车适用于一般规模隧道，多臂台车适用于大型隧道，操作时需严守安全注意事项并做好设备维护。随科技进步与隧道工程发展，隧道系统锚杆研究及应用前景广阔，有望为隧道工程安全高效建设贡献更多力量。

参考文献

- [1]王梦恕.中国隧道及地下工程修建技术[M].人民交通出版社,2020
- [2]Hoek E.岩石隧道支护设计实践指南[J].国际岩石力学学报,2022,39(4):1021-1035
- [3]刘泉声等.软弱围岩隧道系统锚杆支护机理研究[J].岩土力学,2023,44(2):521-530
- [4]ASTM D4435-21岩锚测试标准规范[S].美国材料试验协会,2021
- [5]朱合华.数字隧道技术进展与应用[J].隧道建设,2024,44(1):1-10.
- [6]公路隧道施工技术规范.JTG/T3660-2020.