

大跨度隧道溶洞段施工方法与变形控制技术研究

梁 皓

保利长大工程有限公司 广东 广州 511400

摘 要：大跨度隧道在穿越溶洞段时，由于地质条件复杂、施工难度大，常面临施工安全与变形控制等诸多挑战。本文旨在探讨大跨度隧道溶洞段的施工方法，并分析变形控制技术，为类似工程提供参考。通过理论分析与实践总结，提出了一系列有效的施工与变形控制措施，确保隧道施工的安全与顺利进行。

关键词：大跨度隧道；溶洞段；施工方法；变形控制；隧道工程

引言

大跨度隧道在穿越溶洞段时，由于溶洞的地质特性，如空洞、填充物、地下水等，给施工带来了极大的困难。合理的施工方法与有效的变形控制技术是确保隧道施工安全与质量的关键。本文根据贵州都匀至安顺公路项目马鞍山隧道施工情况，从施工方法与变形控制两个方面展开详细研究。

1 大跨度隧道溶洞段施工方法

1.1 溶洞地质勘察与评估

在着手大跨度隧道溶洞段的施工前，详尽而精准的地质勘察与评估是不可或缺的前提步骤。这一过程旨在全面揭示溶洞段的地质特性，为后续的施工决策提供坚实的数据支撑。地质勘察工作将深入探究溶洞的具体位置、规模大小、形态特征、填充物的性质以及地下水的情况等诸多方面。为了实现这一目标，现代科技手段如地质雷达、钻孔勘探等被广泛应用。地质雷达利用高频电磁波对地下结构进行无损探测，能够迅速描绘出溶洞的分布轮廓；而钻孔勘探则通过实地钻探，直接获取溶洞内部的岩芯样本，进而分析其物质组成与结构特征。这些先进技术的综合应用，确保了地质勘察结果的准确性与可靠性，为制定科学合理的施工方案奠定了坚实的基础。

1.2 溶洞处理策略

在大跨度隧道施工中，溶洞段的处理是至关重要的一环。由于溶洞的地质条件复杂多变，处理策略必须根据溶洞的类型、分布范围、岩层稳定性以及地下水情况等综合因素来灵活确定。常用的处理策略包括引流、跨越、加固与清除、注浆以及综合治理等多种方法，每种方法都有其独特的适用场景和优势。

1.2.1 引流

当隧道施工过程中遇到暗河或溶洞内有水流时，引流策略便显得尤为关键。此时，需要采取有效的排水措

施，以确保施工的安全和顺利进行。开凿泄水洞是一种常见的引流方式，通过开凿与隧道平行的泄水洞，将水从溶洞内引出洞外，从而避免水流对施工过程的干扰。同时，还需要对泄水洞进行合理的设计和施工，以确保其排水效果和稳定性。

1.2.2 跨越

对于狭长而较深的溶洞，跨越策略则是一种更为合适的选择。这类溶洞往往难以直接通过回填或注浆等方式进行处理，因此需要考虑采用加深边墙基础、砌筑圬工支墙、筑拱或设置桥台架梁等方式进行跨越。这些措施能够有效地增强隧道的承载能力，确保隧道在穿越溶洞段时的稳定性和安全性^[1]。在具体实施时，需要根据溶洞的形态、规模和岩层稳定性等因素进行综合考虑，选择最为合适的跨越方式。

1.2.3 加固与清除

对于那些停止发育、跨径小、无水的溶洞，加固与清除策略则是一种经济且有效的处理方法。这类溶洞通常不会对隧道的施工和运营造成太大的影响，因此可以通过回填封闭或清除充填物后回填混凝土等措施进行加固处理。回填封闭主要是利用混凝土等材料将溶洞进行填充，以恢复岩层的连续性；而清除充填物后回填混凝土则是在清除溶洞内的杂物和松散物质后，再用混凝土进行回填，以增强溶洞的稳定性。这些措施能够有效地提高隧道的整体承载能力，确保隧道在长期使用过程中的安全性。

1.3 开挖与支护技术

在大跨度隧道施工中，溶洞段的开挖与支护是极为关键且复杂的环节。为了确保施工的安全与高效，必须采用科学合理的开挖方法与支护措施。

1.3.1 台阶法开挖技术

台阶法作为一种常用的开挖方法，在大跨度隧道溶洞段的施工中具有显著优势。该方法通过分台阶进行开

挖,逐步暴露围岩,从而有效减少了一次性开挖对围岩的扰动。这种分步开挖的方式,不仅有利于维护围岩的稳定性,还能为后续的支持工作提供更为有利的条件。在具体实施台阶法开挖时,需要根据溶洞段的实际情况制定合理的开挖顺序与台阶高度。通常,上台阶的开挖应优先进行,并及时进行支护,以确保上台阶的稳定。随后,再逐步进行下台阶的开挖与支护工作。在开挖过程中,还需密切关注围岩的变化情况,及时调整开挖参数与支护措施,以确保施工的安全与顺利进行。

1.3.2 双侧壁导坑法开挖技术

对于地质条件较差、围岩稳定性较差的大跨度隧道溶洞段,双侧壁导坑法成为了一种更为适用的开挖方法。该方法通过两侧导坑先行开挖并支护,形成稳定的支护结构后,再逐步扩大开挖断面,最终完成整个隧道的开挖工作。双侧壁导坑法的优势在于,通过两侧导坑的先行开挖与支护,能够有效地控制围岩的变形与位移,提高围岩的稳定性。同时,这种方法还能为后续的开挖工作提供更为安全的作业环境,降低施工风险^[2]。在实施双侧壁导坑法时,需要严格控制导坑的开挖尺寸与支护参数,确保导坑的稳定性与安全性。此外,还需根据施工进度与围岩变化情况,及时调整施工方案与支护措施,以确保施工的顺利进行。

1.3.3 支护措施

在大跨度隧道溶洞段的施工中,支护措施是确保施工安全与围岩稳定的关键。初期支护与二次衬砌是常用的两种支护方式,它们共同构成了隧道的支护体系。初期支护主要采用锚杆、钢架、喷射混凝土等措施。锚杆能够深入围岩内部,提供稳定的锚固力,增强围岩的整体稳定性。钢架则能够形成稳定的支撑结构,承受围岩的压力与变形。喷射混凝土则能够迅速覆盖围岩表面,形成一层致密的保护层,防止围岩的风化与剥落。这些初期支护措施的组合应用,能够有效地提高围岩的稳定性与承载能力,为后续的施工提供有力的保障。而二次衬砌则是在初期支护的基础上,进一步加固隧道的支护结构。它通常采用混凝土或钢筋混凝土等材料,形成一层厚重的衬砌层,进一步提高支护结构的承载能力与耐久性。二次衬砌不仅能够承受围岩的长期压力与变形,还能有效地防止地下水的渗入与侵蚀,确保隧道的长期稳定运行。

2 大跨度隧道溶洞段变形控制技术

2.1 变形监测与预警

在大跨度隧道溶洞段的施工过程中,变形控制是确保工程安全与稳定的关键环节。而变形监测作为变形控

制的基础,其重要性不言而喻。为了实时监测隧道开挖过程中的围岩变形情况,必须科学合理地布设监测点,并借助先进的监测设备与技术手段,对围岩的变形进行精准测量与分析。变形监测的内容十分丰富,主要包括拱顶沉降、围岩水平收敛以及地表沉降等关键指标。拱顶沉降反映了隧道顶部围岩在开挖过程中的下沉情况,是评估隧道稳定性的重要指标之一。围岩水平收敛则体现了隧道两侧围岩向隧道中心线的移动程度,对于判断围岩的稳定状态具有重要意义。而地表沉降则是监测隧道施工对地表环境影响的直观体现,对于保护周边环境、确保施工安全至关重要。在变形监测的方法上,全站仪、水准仪、收敛计等高精度测量设备得到了广泛应用。全站仪能够精确测量监测点的三维坐标,从而准确计算出拱顶沉降与围岩水平收敛等变形量。水准仪则用于测量地表沉降,通过对比不同时间点的测量数据,可以直观地反映出地表沉降的变化趋势。收敛计则专门用于测量围岩水平收敛,其高精度与稳定性为围岩变形的精准监测提供了有力保障。通过实时监测与分析这些关键变形指标,一旦发现变形异常或超出预警值,必须立即启动预警机制,并采取相应的处理措施。这包括但不限于加强支护结构、调整开挖参数、优化施工方案等。通过及时有效的变形监测与预警,可以最大限度地降低隧道施工过程中的安全风险,确保大跨度隧道溶洞段的稳定与安全。

2.2 变形控制策略

在大跨度隧道溶洞段的施工中,由于溶洞段地质条件复杂,围岩性质多变,加之施工方法、支护措施等多种因素的影响,变形控制策略的制定必须综合考虑多方面因素,以确保施工过程中的围岩稳定与隧道安全。

2.2.1 合理设置超前支护

超前支护是变形控制策略中的重要一环,其目的在于提前加固掌子面前方的围岩,减少开挖过程中围岩的变形与位移。在大跨度隧道溶洞段,由于围岩性质往往较为脆弱,因此超前支护的设置显得尤为重要。超前小导管注浆是一种常用的超前支护措施。通过向掌子面前方围岩中注入浆液,可以形成一层坚固的支护层,有效提高围岩的抗剪强度和承载能力。同时,小导管还能起到导向作用,确保注浆的均匀性与密实性。超前锚杆则是另一种有效的超前支护方式,它通过锚杆的锚固作用,将掌子面前方的围岩与隧道支护结构紧密连接在一起,形成稳定的整体结构,从而有效抵抗开挖过程中的围岩变形^[3]。在实施超前支护时,需要根据围岩性质、开挖方法以及支护措施等因素,合理确定超前支护的类

型、参数与布置方式。同时,还需密切关注超前支护的施工效果,及时调整支护参数与施工方案,以确保超前支护的有效性 & 可靠性。

2.2.2 优化开挖方法

开挖方法是影响围岩变形的重要因素之一。在大跨度隧道溶洞段,由于围岩性质复杂多变,因此必须采用合理的开挖方法和开挖顺序,以减少开挖对围岩的扰动,缩短初期支护闭合时间,从而有效控制围岩变形。台阶法作为一种常用的开挖方法,在大跨度隧道溶洞段具有显著优势。通过分台阶进行开挖,可以逐步暴露围岩,减少一次性开挖对围岩的扰动。同时,台阶法的施工灵活性较高,可以根据围岩性质与施工条件灵活调整台阶高度与开挖顺序,以确保施工的安全与高效。除了台阶法外,还可以根据具体情况采用其他开挖方法,如双侧壁导坑法、中隔壁法(CD法)或交叉中隔壁法(CRD法)等。这些方法通过合理的开挖顺序与支护措施,能够有效地控制围岩变形,确保施工的安全与稳定。在优化开挖方法时,需要充分考虑围岩性质、支护措施以及施工条件等多种因素,制定科学合理的施工方案。同时,还需密切关注施工过程中的围岩变形情况,及时调整开挖参数与支护措施,以确保开挖方法的合理性与有效性。

2.2.3 增强初期支护

初期支护是控制围岩变形的关键措施之一。在大跨度隧道溶洞段,由于围岩性质较为脆弱,因此必须采取有效措施增强初期支护的承载能力,以确保施工过程中的围岩稳定。增加锚杆密度、加大钢架型号以及提高喷射混凝土厚度是增强初期支护承载能力的常用方法。通过增加锚杆密度,可以形成更为密集的锚固体系,提高围岩的整体稳定性。加大钢架型号则能够增强支护结构的刚度与承载能力,有效抵抗围岩的变形与位移。提高喷射混凝土厚度则能够形成更为厚实的保护层,防止围岩的风化与剥落,同时增加支护结构的耐久性。在实施初期支护时,需要根据围岩性质、开挖方法以及施工条件等因素,合理确定支护参数与布置方式^[4]。同时,还需密切关注初期支护的施工效果与围岩变形情况,及时调

整支护参数与施工方案,以确保初期支护的有效性与可靠性。

2.2.4 及时施作二次衬砌

二次衬砌是变形控制策略中的重要组成部分。在围岩变形基本稳定后,及时施作二次衬砌可以进一步提高支护结构的承载能力,确保隧道的长期稳定运行。二次衬砌通常采用混凝土或钢筋混凝土等材料,形成一层厚重的衬砌层。这层衬砌层不仅能够承受围岩的长期压力与变形,还能有效地防止地下水的渗入与侵蚀,确保隧道的耐久性与安全性。同时,二次衬砌还能为隧道提供更为平整与光滑的内表面,提高隧道的通行能力与舒适度。在施作二次衬砌时,需要根据围岩性质、初期支护情况以及施工条件等因素,合理确定衬砌材料的类型、厚度与施工方式。同时,还需密切关注二次衬砌的施工效果与隧道运行情况,及时进行维护与保养,以确保二次衬砌的长期有效性与可靠性。

结语

大跨度隧道在溶洞段的施工方法与变形控制技术是一个复杂而重要的课题。马鞍山隧道施工过程中通过综合运用合理的溶洞处理策略、开挖与支护技术以及变形控制策略,可以有效控制隧道施工过程中的围岩变形,确保施工安全和质量。未来,随着工程实践的深入和科学技术的进步,大跨度隧道溶洞段施工方法与变形控制技术将得到进一步完善和发展。

参考文献

- [1]张高虎,叶四桥,曾彬,等.断层带隐伏溶洞群对隧道衬砌受力特征的影响及施工方法研究[J].现代隧道技术,2023,60(S1):65-73.
- [2]柳兵.高速公路隧道穿越溶洞段处治技术及对策[J].城市建设理论研究(电子版),2022,(33):124-126.
- [3]孙振坤,赵启超,陈拔进,等.广东某隧道溶洞处治段支护结构变形及受力特征研究[J].路基工程,2018,(01):129-134.
- [4]王昭根,刘苗,喻义天,等.隧道穿越溶洞对衬砌结构变形及内力影响分析[J].水利水电技术(中英文),2024,55(S2):435-446.