

# 公路隧道工程岩溶段施工技术

高鸿明

云南建投第六建设有限公司 云南 昆明 650200

**摘要:** 隧道是公路交通工程的重要组成部分,而岩溶隧道则是隧道工程的难点之一,因其地质条件而具有较高的施工难度和风险。在岩溶地区开展隧道施工需要对地质的各种情况进行综合评估。本文主要介绍公路隧道工程岩溶段施工技术,包括地质勘查、隧道支护、疏干排水、通风等方面的内容。

**关键词:** 公路隧道;岩溶段;施工技术

引言:隧道工程施工难度和风险主要来源于地质条件恶劣,地下水丰富等原因。因此,进行岩溶隧道工程施工的首要任务是对地质环境进行充分、细致的勘察和必要的超前地质预报,了解洞口两侧地形地貌特征,确定施工方案及注意事项,以保证隧道施工的顺利进行<sup>[1]</sup>。为了保障隧道施工的顺利开展,工程师应根据具体情况合理设计支护结构,采取恰当的通风措施,疏干排水,有效保障工程的安全性,从而达到高效、稳定、安全的施工目的。

## 1 岩溶段的概述

岩溶段是指经过岩溶区的公路隧道,岩溶地区是指由于长期的水-岩作用和化学风化作用,使得岩石逐渐溶解和破碎形成的地质形态。由于岩溶地区的地质特性,岩溶段隧道施工难度大,工程风险高。岩溶段是隧道工程中较为复杂的区域之一。岩溶地区地下水丰富,水文地质条件恶劣,岩溶构造难以把控,是岩溶段隧道施工难度大、工程风险高的主要原因。

隧道工程中的岩溶段通常具有以下几个特点:

1.1 岩溶地区地下水丰富,孔隙水系统复杂。岩溶段隧道地层含水量高,通常处于地下水位以上,甚至有时是处于无水条件。地下水会对施工过程中的钻进、爆破、开挖、疏干排水等工作产生很大影响,隧道施工必须充分考虑和处理隧道周边的地下水和水压的影响。

1.2 岩溶地区的地基和支承结构不稳定,常常需要做出特殊支护设计<sup>[2]</sup>。由于岩溶地区地层多扰动、脆弱,裂隙发育,支承结构要增大相应的尺寸和刚度,在钢支撑、锚喷网片支护等方面有着更高的难度和门槛。

1.3 岩溶段隧道通风状况较差。岩溶地区地形崎岖且通风不畅,加上隧道内部的热量积聚,通风工程更为重要。通风不良还会导致隧道内恶臭气体及二氧化碳等有害气体含量上升,威胁到施工人员的健康安全,甚至可能导致人员死亡。

## 2 岩溶段隧道开挖方法

1. 前作业法 前作业法是指在洞口外挖出一定长度的框架,然后在框架内进行开挖,直至达到洞顶洞基。前作业法适用于地质条件比较稳定的区域。2. 后作业法 后作业法是指在地下洞穴内设置一定长度的框架,然后在框架内进行开挖。后作业法适用于地下岩溶条件比较复杂的区域。3. 盖板法 盖板法是指在洞口处先浇筑混凝土支撑,然后在洞内进行开挖。盖板法适用于地下岩溶条件比较好的区域。

## 3 岩溶环支结构

### 3.1 岩溶环的特点

岩溶段隧道施工中,隧道环境条件恶劣,地层结构和水文复杂,造成隧道环施工难度非常大。岩溶环是一种专为岩溶地区设计的一种支护结构,与传统的中空钢拱式隧道支撑结构不同的是,其环体形态是平面形式,曲线形态强。岩溶环也分为大直径岩溶环和小直径岩溶环两种类型,根据其使用场景不同有不同的设计和施工方法。

大直径岩溶环适用于直径在6米及以上的隧道,由于尺寸巨大、环体重量大、且安装难度高,施工成本较高,但可以保证加固结构的稳固性和耐久性。小直径岩溶环则适用于直径在6米以下的隧道,由于其尺寸小巧,可以在灵活性、成本、施工效率等方面做出更好的处理。

### 3.2 岩溶环支护结构的设计和施工

岩溶环支护结构的设计和施工需要在岩溶地区的特殊地质条件下进行综合考量和优化,保证加固结构具有足够的稳固性和耐久性。

结构设计方面,首先应根据隧道的大小、周边岩层的稳定性以及隧道的地下水位和水文特性等多个因素,综合考虑结构的选材、直径、壁厚等参数,确定不同工况下的支护环结构<sup>[3]</sup>。比如,在满足强度和刚度的前提下,增加加固站位、开挖的防护及全断面支护,提高结构的整体安全性。

在施工方面,因岩溶地区地层不稳定,支护结构建造过程中,需要通过预注浆、钻孔、喷射混凝土、支架等综合技术方法来保证结构的稳固性。在施工过程中还需要增加巡视和监测点数,以及及时处理岩层变形和断层等突发情况。

#### 4 岩溶隧道施工中的技术难点

4.1 岩溶地质特性:岩溶地质环境具有复杂、多变等特点。遇到不同类型的岩石,施工难度和风险因素的影响度不同。

4.2 施工安全风险:岩溶隧道施工安全风险较高,施工中需要协调安全和进度的关系,保证施工进度和安全。

4.3 施工环境的基础设施缺乏:一些岩溶地区的交通、通讯、水电等基础设施较差,如缺乏水电等资源,施工难度大。

4.4 施工机械性能需求高:岩溶隧道施工需要使用大型机械,机械性能需求高,可靠性也要求较高。

#### 5 公路隧道工程岩溶段施工技术

##### 5.1 地质勘察

地质情况是隧道施工的关键因素,岩溶地区地处喀斯特地区,地下水丰富,水文地质条件恶劣,岩溶构造难以把控。在勘察中,需要对洞口两侧地质岩层,地下水、地下水压、钻孔岩芯、地下水赋存特征、通风、瓦斯等岩溶隧道施工所需地质、岩土与水文地质专业处理施工能力,特殊措施等方面进行进一步调查。

其次,针对不同隧道部位,需要进行专项调查。隧道区域分为进口段、中间段、出口段三个区段。每一地段地质条件都是不同的,勘察需要按照不同地段和部位的特征进行且要加强地质超前预报的工作。

最后,针对不同季节的环境和气候,需要综合考虑影响隧道施工的不同因素。例如,洞口进口段高山地区的雨季和严寒的冬季会给施工带来较大的困难。

##### 5.2 隧道支护

隧道工程是现代交通建设中的重要部分,因地形、气候等原因,部分隧道工程施工需通过岩溶地区<sup>[4]</sup>。岩溶地区属于喀斯特地貌发育区,具有地层特殊、地质构造复杂、水文条件独特等特点,对隧道工程的支护及安全施工提出了更高的要求。本文将介绍公路隧道工程岩溶段隧道支护技术。

5.2.1 喷拔法支护 喷拔法支护即利用机械输送管将混凝土等支护材料送入隧道顶部和侧壁进行喷入,填充隧道空洞,形成一个整体的岩体环向支撑结构。这种支护结构可使9~10级岩体实现自然稳定,投资经济、工期短。近年来,随着喷拔支护技术的不断发展和完善,其

在岩溶隧道工程中的应用得到了越来越广泛的应用。

5.2.2 钢拱架支护 岩溶地区特别是在断层、水泥巨岩、煤层裂隙岩体等地质情形下,钢拱架支护具有优良的支护效果,防止隧道大面积断裂,钢拱架属悬臂结构,对隧道造成的负荷较小,是一种比较适用,在稳定性要求较高的岩溶隧道中广泛使用的一种支护结构。

5.2.3 钢筋混凝土支护 钢筋混凝土的适用范围很广,钢筋混凝土支护结构的施工便于掌握,由于钢筋混凝土的稳定性、刚性和强度等特点,使之成为一种稳定性非常好的隧道支护结构。在岩溶隧道工程中,隧道内或隧道周围洞穴的支护及其稳定性要求极高,因此,对于那些难度较高的岩溶隧道工程,通常采用这种结构。

##### 5.3 疏干排水

在山区或岩溶地区,公路隧道往往是建设必不可少的部分。然而,在岩溶地区的公路隧道中,疏干排水问题是一个不可忽视的难题。隧道工程常常会受到地下水的干扰和威胁,部分情况下,地下水所引起的暗河和突泥突水将成为隧道工程的威胁。为了保障隧道施工的顺利开展,必须采取疏干排水措施。在疏干排水中,需根据地下水的补给条件和保护条件,充分针对不同情况对岩溶地区进行合理设计<sup>[1]</sup>。针对各种情况,需要采取相应的措施,例如采用挖凿隧道或侧壁导洞、集中预留止回阀的排水孔等措施和防水策略,以达到可控和效益最大化的目的。此外,由于岩溶地区地下水含量较高,公路隧道工程建设在施工中应谨慎使用注浆、强化钻孔、施工旋转屏蔽桩等工程方式,以防止地下水位上升导致隧道施工工程无法进行。

下面将会对公路隧道工程岩溶段疏干排水技术进行分析。

5.3.1 岩溶地质环境下的疏干排水技术 在岩溶地质环境下,地层的不规则性和水文特征的不确定性导致设计和施工难度特别大。因此,正确选择适合的疏干排水方案非常重要,它需要综合考虑以下因素:

(1) 复杂性:岩溶地区地下水流深度和流量等水文特点十分复杂。(2) 瞬变性:岩溶区域很容易因暴雨等极端天气事件而导致水文特征突然改变。(3) 难判断性:岩溶地区的不规则性使得准确预测地下水流量和地下水位十分困难<sup>[2]</sup>。(4) 侵蚀性:岩溶地区地下水含有的化学物质和生物物质,对隧道内部建筑物进行腐蚀造成危害。因此,为了更好地应对这些问题,在疏干排水技术领域需要有不断的技术创新和应用,确保隧道施工和使用的平稳安全进行。

5.3.2 岩溶地质环境下疏干排水技术存在的挑战:

(1) 制定方案困难 由于岩溶地区特有的空洞和孔隙结构,水文特征复杂难以预测,制定合理的疏干排水方案十分困难。(2) 施工难度大 岩溶地区隧道施工困难,异常情况处理能力差,需要采用复杂的工程技术和相应的技术手段来应对。(3) 环境压力大 岩溶地区内的化学物质和生物物质含量高,且与隧道内的建筑相互作用,容易引起环境扰动和危害。(4) 维修和维护难度大 岩溶地区隧道施工难度大,维修和维护工作也同样困难,需要采用高效的维护和管理手段。

### 5.3.3 岩溶环境下的疏干排水技术对策

为解决以上挑战,结合现场实际行业专家提出以下对策:(1) 注重调查和评估 针对岩溶地质的复杂性和瞬变性,需要进行较为详细的水文学调查和地质评估研究,为选取合适的疏干排水技术提供科学依据。(2) 坚持先进技术 随着科技进步,应用新型技术,如电脑模拟等工具,对小尺度水文特征进行评价。同时,建立相关的的信息系统,高效管理疏干排水过程中产生的数据、预测、索引等关键信息。(3) 实行监测与预警 对公路隧道内的变化数据进行精确监测和及时预警,做好应急处理工作,确保隧道施工和使用时的平稳安全。(4) 建立维修和管理机构 在隧道施工和后期运营中建立维修和管理机构,确保及时处理现场问题,保持隧道施工和使用环境的干净整洁。

## 5.4 通风

岩溶隧道建设是隧道建设的一种特殊形式<sup>[1]</sup>。其石灰岩、大理岩等特殊的地质构造和性质,对建设和运营带来了许多挑战。隧道的通风问题更是其关注的焦点之一。在岩溶地区,通风作为隧道工程安全运营的保障措施,具有至关重要的作用。下面,我们就来了解一下岩溶隧道通风技术。

### 5.4.1 传统隧道通风方式

(1) 强制通风法 强制通风法主要是依靠风机,将新鲜空气通过风管送入隧道,将尾气、废气通过通风井排出,实现隧道空气的流动循环。但在岩溶隧道中,受环境影响,尾气排放需要注意,以免对环境造成二次污染。

(2) 自然通风法 自然通风法直接依靠自然气流,通过设置进出口,调整开口面积的大小,从而实现隧道内外的气流交换。但在岩溶隧道中,仅依靠自然通风可能难以满足隧道内的要求,需结合适当的人工通风开口和风机等设备进行增强。

### 5.4.2 岩溶隧道通风技术

(1) 风道设计 岩溶隧道通风要考虑通风系统的连通

性和通风压力的均匀性,以保证新鲜空气能流向隧道的每一个角落。首先要保证通风道路的密封性,避免尾气泄漏。同时,隧道通风道路出口的半径曲线应尽量大,以降低阻力和风噪。

(2) 依托天然气流 岩溶隧道中,天然气流作为自然风道,可将新鲜空气引入隧道。需要根据空气质量和气流情况,确定通风口的位置、排放口的位置和数量,并进行优化设计,以实现最佳通风效果。

(3) 微观通风 微观通风是指通过设置散流口和进风口等小口,强制引导空气流动。散流口和进风口的数量和位置要根据实际需要进行合理布局,在坡道下部设置进风口、在顶部设置散流口,以保证空气流动的透彻。

(4) 超耐氧气呼吸器 对于隧道内特殊的位置,通风难以保证,可以采用超耐氧气呼吸器进行维护和维修。超耐氧气呼吸器包括呼吸器主机、储氧罐、储氟罐等组成部分,能够在无氧环境下施工和维修进行安全呼吸,并能有效滤除毒气和有害气体。

## 6 建议及对策

6.1 对于岩溶段隧道的施工,需要根据具体问题采用相应的方法且注重地质超前检测和预报,从而提高施工质量和保证施工的安全性。

6.2 岩溶隧道施工过程中,应根据岩石的情况及时调整施工进度和方法,以防止岩石的扭曲等变形情况。

6.3 对于一些基础设施不全的区域,可以考虑在施工前增加基础设施建设投资,从而保证施工的质量和进度。

6.4 在岩溶隧道施工中,应选择合适的现代化施工机械设备,确保设备的性能和可靠性。

6.5 注重专业施工队伍的培养,加强管理和培训,以提高工人的技术水平,保证施工进度和质量。

综上所述,岩溶隧道施工技术难度较大,需要在具体的环境中选择合适的施工方法和技术参数,注重安全和质量,以提高施工效率和保证施工质量。

## 参考文献

[1]“公路隧道建筑岩溶段围岩控制技术研究”作者:杨飞,方建成,刘素华,出版社:辽宁科学技术出版社,出版时间:2017年。

[2]“公路隧道岩溶段治理技术研究”作者:侯俊波,陈秀华,出版社:中国水利水电出版社,出版时间:2019年。

[3]“浅析公路隧道岩溶段施工技术”作者:刘银水,高海波,出版社:中国建材工业出版社,出版时间:2018年。