

复杂地质超长隧道开挖支护关键技术

胡超杰

(中交二公局萌兴工程有限公司, 陕西 西安 710199)

摘要 在超长隧道工程建设过程中, 开挖深度长特别是在复杂地质条件下容易出现围岩崩裂、地基下沉等情况而导致安全事故。为提升超长隧道开挖工程的质量与安全, 本文以何家坡隧道工程项目为例, 通过分析该隧道工程水文地质条件, 确定隧道工程基本特征, 采用明挖法与新奥法与三台阶法进行隧道开挖, 同时利用超前小导管、钢架支护与喷射混凝土等多项支护技术完成隧道结构的支撑, 确保隧道工程在复杂地质条件下不会受到异常工况影响, 以期提升隧道作业的安全性提供借鉴。

关键词 复杂地质; 超长隧道; 开挖支护; 明挖法; 新奥法

中图分类号: U45

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.014

0 引言

隧道作为我国交通基础设施中极为重要的组成部分, 对高速公路、铁路等交通设施的建设和运营有直接影响。由于我国地形多样, 地貌复杂等原因, 所以隧道建设数量多、长度长, 受到复杂地质影响导致其建设难度大、运行危险高。复杂地质条件主要指的是断层、软弱夹层、岩溶、涌水等, 这对隧道工程施工造成严重影响。复杂地质条件下超长隧道开挖与支护施工对工程的进度、质量、安全、效益、工期等方面造成影响, 甚至引发严重人员伤亡事故, 也会关系到后续交通运行。因此, 深入分析复杂地质超长隧道开挖支护施工技术, 保证隧道施工具备较高的安全性和可靠性, 对提高隧道施工综合效益有积极作用^[1]。

1 工程概况

何家坡隧道位于贵州省贵阳市修文县境, 为我国高速公路系统中极为重要的一部分。该项目采用分离式独立双洞隧道形式, 左线长1 668 m, 最大埋深149.1 m, 右线长1 645 m, 最大埋深155.4 m, 设计时速100 km/h, 为三车道大跨度隧道。

1.1 水文条件

本项目所在地区为长江流域的乌江水系, 水文地质条件复杂性较高。经过现场勘测发现, 该隧道项目施工时地表并未有明显的河流或者溪流经过, 地表水系并不丰富。但是, 由于该区的气候条件比较特殊, 处于亚热带湿润温和型气候区, 夏季降雨量比较大。该气候条件对于本项目所在地区水文条件产生较大影响, 特别是雨季降雨量较大, 极易形成地下水渗流、

脱水等严重事故。为保证本项目施工顺利进行, 施工阶段需采取防水、排水等方式保障隧道的安全性和工程质量。

1.2 地质条件

项目区域位于黔中山原丘陵的中部地带, 地貌特征主要表现为溶蚀—侵蚀以及溶蚀—构造类型。贵阳一侧呈现出中坡地形, 自然坡度在 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 之间; 隧道穿越的山脊部分, 其最高点海拔达到了1 412.0 m。而到古蔺一侧, 地形则变为陡坡, 自然坡度陡增至 38° 至 55° 。整个项目场区的海拔高度范围在1 188.0~1 414.0 m之间, 形成了226 m的相对高差。隧道轴线所经过的区域, 海拔介于1 220.0~1 412.0 m之间, 相对高差为192 m。隧道的进口位于贵阳市修文县小符镇的管辖范围内, 而出口则归属于修文县六广镇。两端洞口附近均有道路相通, 交通条件相对便捷。

2 复杂地质下的隧道开挖及支护施工关键技术分析

2.1 明挖法与新奥法结合工艺

2.1.1 明挖法

开挖作业正式开始前, 要先确认洞内通风系统运行稳定, 使瓦斯浓度持续在安全阈值0.5%以下。采取分层开挖的方式, 在降低瓦斯积聚风险的同时, 将每层开挖深度控制在1.5~2 m之间, 减少对周边土体的扰动。一旦发现瓦斯浓度超过0.8%或出现断层、裂隙等地质异常, 每一层开挖完成后, 立即进行地质情况与瓦斯浓度的实时监测, 并暂停开挖, 加强通风换气, 增设瓦斯抽放钻孔, 确保瓦斯浓度降到安全区间后再继续作业。随着开挖的深入, 每开挖两层, 即3~4 m深度

时,需及时安装钢支撑,支撑间距控制在 0.8~1.2 m 之间,以增强隧道侧壁的稳定性和防止因瓦斯压力或地质变动导致的坍塌。钢支撑的安装需确保垂直度与水平度,并使用专用紧固件进行固定,以提高支撑的整体稳定性。同时,为降低瓦斯突出的风险,每开挖 5 m,需进行一次超前地质预报,采用地质雷达等设备进行探测,提前了解前方 5~10 m 范围内的地质情况,对可能存在的瓦斯富集区域进行预判,并制定相应的开挖策略与瓦斯治理措施。在开挖过程中,还需特别注意开挖面的瓦斯管理,通过合理布置瓦斯排放孔,每开挖 3~5 m,即在开挖面两侧各设置一组瓦斯排放孔,每组包含 3 至 5 个孔,孔径为 100~150 mm,孔深根据地质情况确定,一般为开挖深度的 1.5 倍至 2 倍,有效引导瓦斯向安全区域排放,降低开挖面的瓦斯浓度。同时,为确保开挖过程中洞内空气质量始终维持在安全标准内,需持续进行瓦斯监测与通风管理,每 15 分钟记录一次瓦斯浓度与通风情况,确保瓦斯浓度始终低于 0.5% 的安全阈值。开挖至设计标高后,进行基底清理与平整,使用挖掘机与人工配合,将基底清理至设计要求的平整度,误差控制在 ± 5 cm 以内,确保基底稳定且符合设计要求。同时,对基底进行地质情况与瓦斯浓度的最终检测,确认无误后,方可进行后续的隧道结构施工。

2.1.2 新奥法

掘进作业从精确测量定位隧道断面开始,保证掘进方向与隧道设计轴线相吻合。随后,开挖采用全断面或阶梯式的方式,视围岩的稳定程度和含气量而定。全断面开挖,采用直径通常为 40~50 mm,孔深控制在 3~5 m 之间的风动凿岩机钻孔作业,并根据围岩的硬度和整体性调整孔距,一般保持在 0.4~0.6 m 之间,以保证爆破效果和围岩的稳固。完成钻孔后,起爆采用非电秒雷管,以减少对围岩的扰动和瓦斯的激发,需要严格控制单次起爆药量。在台阶法开挖中,通常将上部台阶高度控制在 3~4.5 m 之间,宽度与隧道设计宽度保持一致,下部台阶与上部台阶施工保持同步,在 1.5~2 m 之间保持高度差,以保证施工的安全和效率。同样采用风动凿岩机进行钻探作业的台阶法开挖,其钻孔参数与整个截面的开挖相仿,但需要注意上下台阶之间的衔接和支撑,防止因暴露在开挖表面太久而造成围岩的不稳定。瓦斯浓度和地质变化的实时监测是开挖过程中的关键。需要持续监测瓦斯浓度,以确保瓦斯浓度低于洞内安全阈值 0.5%。一旦发现瓦斯浓度超标或出现断层、裂隙等地质异常,

应立即停止开挖,加强通风换气,并根据地质条件增设直径一般为 75~110 mm、一般为开挖深度 1.5 倍至 2 倍的瓦斯抽放钻孔,降低瓦斯积聚风险。

随着开挖的进行,为维持隧道侧壁和顶板的稳定,钢支撑与喷射混凝土衬砌应及时安装,钢支架与喷射混凝土的衬砌应在开挖时及时进行,一般控制在 0.8~1.2 m 之间,喷射混凝土厚度需达到设计要求,一般在 10~15 cm,这样才能保证隧道整体稳定性。同时,采用超前地质预报技术,如地质雷达探测,事先了解前方地质情况,预测可能存在的瓦斯富集区,并制定相应的挖掘策略和瓦斯治理措施,通过地质雷达探测、地质雷达检测、地质探测等手段,对可能存在的瓦斯富集区域进行预判,从而达到隧道整体稳定性的目的。完成开挖到设计标高以后,再进行基底的清扫、平整工作,这样才能保证基底稳定,达到设计要求。在清理过程中,为了防止由于基底的清理造成的积聚,对瓦斯浓度需要不断地监测。在完成基底的平整以后,在隧道结构后续施工前,要对地质情况和瓦斯浓度进行最终的检测,确认无误后方可进行。整个开挖过程中,需严格遵守安全规范,确保作业人员配备专业的瓦斯检测仪器与防爆设备,同时实施严格的瓦斯监测与通风管理制度,确保洞内空气质量与安全,为后续的隧道结构施工奠定坚实的基础^[2]。

2.1.3 三台阶法施工工艺

三台阶法开挖作业过程中先进行超前支护施工,每次循环掘进的过程中,其掘进深度不能超过 2 榀钢拱架间距。现场开挖作业阶段采取初期支护施工措施,确保各结构位置支护强度合格,并且落底和掌子面在 35 m 以内。该环节施工中加强喷射混凝土加固处理,确保混凝土结构强度超过 70%,再进行后续台阶部位的开挖作业^[3]。此外,开挖作业阶段对支护结构稳定性展开检测,尤其保证掌子面距离在 50 m 以内再进行开挖施工。上下台阶法开挖作业和三台阶法基本相同,其主要差异是施工过程中采用上下两层开挖作业的方式以提高开挖的效率和质量。

2.2 隧道支护施工关键技术分析

2.2.1 超前小导管支护

(1) 超前小导管支护施工阶段选择合适小导管材料,并加强安装位置的控制。超前小导管支护保证其安装精度合格,并且外插角为 $10^{\circ}\sim 14^{\circ}$,使其支撑的强度合格、围岩稳定性达标。超前小导管布置阶段,在整个环向位置按照 120° 设置,特制的抗瓦斯 4.5 m

热轧无缝钢管,直径42 mm、壁厚4 mm。超前小导管支护施工中,为提高其强度应加强安装间距设置,一般为10 cm,采用梅花型布置方式以提高支撑稳定性。

(2)超前小导管注浆加固开始前,对周边采取封闭措施使得混凝土喷射强度合格,提高整个围岩结构的稳定性。(3)注浆加固施工是重点环节,需要将压力设定为0.5~1.0 MPa。注浆作业按照规定顺序进行,从下到上逐步完成并实时关注浆液状态,使其注入后强度、稳定性达到技术标准。(4)注浆施工中检测注浆效果,明确注浆技术标准,达到终止要求后停止注浆。通常来说,注入浆液的过程中,其压力达到0.7~1.0 MPa并且保持15 min,没有出现明显注浆量增加以及压力变化即可停止作业。(5)注浆施工完成后对注浆加固效果展开检测,并预留足够固化时间以提高混凝土结构强度。注浆施工中间隔时间设定时,采用单液注浆达到8 h左右,水泥-水玻璃浆液在4min左右即可。现场开挖作业预留1.5~2.0 m止浆墙,防止施工阶段出现跑浆问题^[4]。

2.2.2 钢架施工

(1)瓦斯隧道中,钢架施工阶段按照技术标准加工成型,并在内部设置螺栓作为连接工具,确保拱架台车拼装的整体性合格。钢架安装前应对混凝土结构强度展开检测,并按照要求进行定位钢筋的焊接连接,使其钢架安装具备稳定性。钢架安装采用纵向连接方式,并对各位置进行混凝土喷射作业,表面平整度达标。拱脚作为重要部分,对其强度和稳定性展开检测,符合技术标准再投入施工。(2)安装后对安装效果展开检测,稳定地基结构并且预留足够尺寸使得强度不受影响。同时,安装阶段对安装的承载力展开检测,和隧道中线保持垂直且倾斜度2°以内,偏离铅垂面5 cm以下。

2.2.3 喷射混凝土

对于隧道开挖施工来说,混凝土喷射作业极为关键,这是稳定围岩结构的重要举措,所以选择合适的混凝土材料并严格控制喷射工艺以提高混凝土结构强度和稳定性。混凝土喷射作业选择合理方式,采取分段、分区方式进行,从下到上逐步完成喷射作业。喷射施工中分段作业长度一般在6 m以内,防止长度过长造成喷射强度不合格。隧道开挖持续进行,喷射作业紧随其后,两者之间间隔距离严格控制,一般喷射混凝土和爆破时间间隔在4 h以上。混凝土材料作为围岩加固的重要部分,加强混凝土材料的生产制作,并保证存放时间不能过长,以免变质影响加固效果。此外,

混凝土喷射作业阶段,在拱顶两侧保持对称进行,覆盖整个钢架结构,并且背面全部填充完成、粘结性能合格^[5]。

2.2.4 锚杆施工

复杂地质超长隧道开挖支护施工中,锚杆施工分为药卷式锚杆和普通砂浆锚杆两种类型。施工要点如下:

- (1)锚杆深度要求:锚杆孔深允许偏差±50 mm。
- (2)普通锚杆施工时明确施工顺序进行钻孔作业,并且注浆完成后再安装锚杆。该工艺方案选择螺纹钢筋作为锚杆,外露120~150 mm,并配置螺母以提高其连接强度。现场注浆施工中采用单管方法进行,使其压力达到0.4 MPa以下,各位置注浆具备均匀性,排除积水提高结构稳定性。
- (3)药卷锚杆应用之前先进行泡水试验,药包处于良好状态,达到干燥度要求,避免出现潮湿等情况影响爆破效果。按照工艺方案将其放入到孔内,并且保护锚杆的螺纹结构不能损坏。锚杆安装时深度符合要求,孔口位置有砂浆流出。根据本项目施工方案,成品药包初凝3 min以上、终凝30 min以下。

3 结束语

复杂地质超长隧道项目工程施工难度较高,现场施工有多方面因素影响施工效果,因此,施工阶段需选择合理施工工艺方案,保证超长隧道施工具备较高的强度和稳定性。根据复杂地质超长隧道施工要求加强开挖支护环节控制,选择先进施工技术,落实各环节控制措施确保开挖支护效果合格。此外,施工阶段实时关注地质条件,并且选用先进的工艺方案和技术措施,确保开挖支护效果合格,满足复杂地质下超长隧道施工要求,提高工程建设水平、延长使用寿命。

参考文献:

- [1] 李强.高速公路隧道开挖与支护加固技术应用研究[J].交通科技与管理,2024,05(16):73-75.
- [2] 闫戈.基于矿山法的地铁隧道开挖及支护施工技术[J].工程建设与设计,2024(14):128-130.
- [3] 王丰景.复杂地质大断面隧道开挖方法研究[J].居业,2024(02):99-101.
- [4] 邓军.基于某公路接线工程的隧道开挖及支护施工工艺[J].山西建筑,2024,50(04):170-173.
- [5] 汪海超.隧道开挖对穿越隧道现有支护系统的影响[J].山西建筑,2024,50(20):175-177.