

# 复杂地质环境下高速公路隧道施工技术 分析探究实践

文 / 郑坤 安徽省交通控股集团有限公司 安徽合肥 230000

**【摘要】**论文基于常见复杂地质环境种类,对复杂地质环境下高速公路隧道施工难点展开分析,同时讨论了地质勘测技术、土方开挖技术、隧道变形控制技术、排水施工技术、隧道支护施工技术、注浆施工技术在高速公路隧道工程中的应用要点,通过研究可知做好基础准备工作、梳理施工技术流程、加强施工现场监督、拟定应急处理计划等措施,是加快高速公路隧道工程的施工进度,确保复杂地质环境下高速公路隧道工程施工质量的可靠措施。

**【关键词】**高速公路隧道工程;施工质量;地质勘测技术

**【DOI】**10.12334/j.issn.1002-8536.2022.27.052

## 引言:

隧道工程作为高速公路工程中的重要组成,具有地质环境复杂度高、施工技术要求较高、施工协调难度较大等特征,尤其是处于复杂地质环境下的高速公路隧道工程,同时也是整个工程施工过程的重点项目。通过整理复杂地质环境的基本特点,筛选相匹配的高速公路隧道施工技术,不仅可以缩减工程项目的施工工期,而且也可以降低工程施工成本,增加高速公路隧道工程所带来的综合效益。

## 1、常见复杂地质环境种类

基于以往的施工经验,常见复杂地质环境类型如下:  
(1)不良地质条件。通常情况下不良地质条件包括了湿陷性黄土、煤层瓦斯、岩溶、泥石流、粉砂层、滑坡等。如若在该类地质上进行公路隧道的施工极易引发下沉、突泥、突水、瓦斯爆炸、围岩变形以及塌方等事故。(2)岩溶。岩溶在我国部分地区较为常见,其会对于公路隧道的施工产生较大影响,并且可能会导致突泥、突水等问题出现。(3)大断层带。在实施深隧道施工时可能会有部分区域性断层问题,从而影响到整体施工。通常该种工程规模较大,而且无法判断大断层带的风险,致使施工成

本高、作业难度大。(4)膨胀岩。在膨胀岩中往往存在许多亲水物质,只要与水接触便会发生膨胀,如果环境中含有较多水分,则会导致其体积变大,产生较大内应力。(5)软弱围岩。软弱围岩的黏结力与承载力较小,只要遇水就极易出现软化,从而引发隧道工程滑坡、裂缝以及塌方等情况。

## 2、复杂地质环境下高速公路隧道施工难点

### 2.1 地质环境复杂度高

在高速公路隧道施工技术体系不断成熟的背景下,高速公路工程的覆盖范围也在不断扩大,如山区、奇特地貌等。这类区域的地质环境复杂度高,存在较多的潜在风险,如瓦斯气体泄漏、溶洞塌陷、滑坡等,降低了施工环境的安全性,而且在高速公路工程的施工期间,由于所处地区的地质环境较差、结构复杂度高,在受到外部作用力时,岩层微弱平衡便会被打破,带来围岩变形甚至坍塌事故,在影响施工进度的同时,也威胁到施工人员的生命安全。

### 2.2 施工协调难度较大

在复杂地质环境下展开隧道工程施工时,也面临着施

工协调难度较大的难点，具体体现在以下几方面：（1）复杂地质环境下的隧道工程作业环境相对恶劣，为确保作业过程的安全性，会多项活动同步进行，如土方开挖的同时进行临时支护作业，隧道工程的作业空间有限，这些施工活动的同时进行会使用到不同类型的施工设备，设备体积相对较大，进一步压缩了工程的可调配空间，增加了施工过程的协调难度。（2）在施工过程中，不同部门的成员负责的工作内容存在一定差异，而且存在交叉作业内容，这也增加了人员调度管理过程的工作难度，影响到施工结果的可靠性。

### 3、复杂地质环境下高速公路隧道施工技术整理

#### 3.1 地质勘测技术

为确保复杂地质环境下，高速公路隧道工程施工活动的顺利推进，首要任务便是做好前期地质勘测工作，根据获取数据来拟定可靠的工程施工方案，加快施工活动的开展进度。在具体的应用过程中，常用的地质勘测技术如下：

（1）地震勘测技术。该技术的勘测原理在于利用地震波的穿透性，采集地震波在不同地层中的反馈数据，搭配三维造景技术来建立该区域的地形图，了解各类地质的分布情况，为应对措施拟定提供良好参考。（2）钻芯勘探技术。通过钻芯取样的方法获取该地区岩石样本，根据反馈的理化性质了解该地区的地质情况，属于常用的地质勘测技术。（3）放射性物探技术。即借助辐射仪、射气仪等设备，通过整理放射性元素射线强度和浓度，来确定该地区地质构造情况。考虑到复杂地质环境多样性较高，因此在地质勘测时多利用两种及以上勘测技术参与地质勘探，以提高勘测结果的准确性与完整性。

#### 3.2 土方开挖技术

##### 3.2.1 光面爆破技术

该开挖技术主要适用于等级在Ⅲ级以上的稳定围岩结构，其开挖原理是利用炸药爆破产生的冲击波与高温高压气体，将炮眼周围岩石进行压缩破碎，随后从掌子面上脱落，形成光滑的爆破面。在技术具体应用中也需要注意以下内容：（1）做好钻孔布局、钻孔深度、钻孔直径等参数的控制工作。基于以往施工经验，钻孔深度不宜超过50cm，钻孔间距在50-100cm，钻孔直径在10-30mm，具体参数需要根据复杂地质环境情况进行确定（如图1所示）。（2）依托相应的计算公式，对于单次所需的炸药总量进行科学计算，炸药按要求填充后，也需要在掌子面附近位置布置高压水管，爆破后利用高压水雾进行降尘，便于后续施工活动的顺利进行。

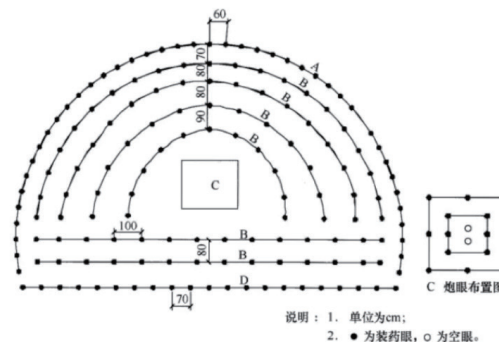


图1 某工程光面爆破钻爆布置示意图

#### 3.2.2 台阶法

在复杂地质施工过程中，台阶法也属于常用的施工工艺，该工艺主要用于Ⅲ、Ⅳ级围岩的开挖施工。在该施工技术的具体作业中也需注意以下内容：（1）基于前期勘察得到数据资料，借助超前支护结构来提升围岩稳固性，随后开始进行上台阶施工，台阶宽度不低于1.5m，形成良好的初期支护空间。（2）参考上台阶施工过程完成下台阶施工，同步做好相应的支护施工，以提高整个结构的稳定性。（3）复杂地质作业环境波动性较强，需做好相应的监测工作，查看结构形变量是否在安全范围内，满足要求后及时进行二次衬砌施工，使隧道结构稳固性得到进一步提升。

#### 3.3 隧道变形控制技术

在复杂地质环境下展开高速公路隧道工程施工时，隧道变形属于常见的施工问题。尤其是处于粉质砂岩、炭质泥岩等软化岩层区域的隧道工程，在施工时若不能做好变形控制，也将增大塌方问题的发生概率。在对此内容进行控制时，多依靠前期监测数据来科学预测塌方概率，提前采取支护措施进行处理，以降低隧道变形问题带来的负面影响。例如，隧道结构的水平收敛数值超过了2mm/d，或者已经出现了较为明显的变形问题，此时也需要及时进行锚杆支护处理，在处理前应在沿着围岩铺设钢筋网，搭配着喷射混凝土技术，可以对隧道形变起到良好的约束作用，提高隧道作业环境的稳定性。

#### 3.4 排水施工技术

复杂地质环境中所存在的溶洞、松软土层具有较强的保水能力，在土方开挖过程容易出现渗水和涌水问题，这也需要采取相关措施来进行排水施工，以减少隧道内积水问题，提高施工环境的安全性。在具体的施工活动中常用的排水技术如下：（1）钻孔排水技术，即在合适位置进行钻孔，缓慢卸载围岩中的水压力，以此来减少围岩变形问题。在技术应用中需要做好钻孔的合理化布局，避免布

局不合理引起水应力集中,引起隧道围岩塌陷问题。(2)排水沟施工,隧道内也会开挖临时排水设施,隧道内的积水都会通过排水沟直接排放到集水坑中,在经过无害化处理后才可以进行排放,防止隧道施工废水污染周围环境。

(3)洞外截水沟施工技术,除了做好内部排水工作外,还需要做好洞外截水沟施工,结合水文地址类型,适当提高截水沟水位,以此来防止外部水倒灌到洞内,确保隧道作业环境的安全性。

### 3.5 隧道支护施工技术

#### 3.5.1 超前支护技术

该技术用于隧道工程开挖前,作用是借助提前放入的支护结构,营造良好的隧道开挖环境。在不良地质环境中,围岩的稳定性较差,受外力作用时,很容易出现变形问题,增加施工过程的安全风险。超前支护技术在实际应用中,会利用管棚作为施工载体(进洞前使用大管棚,进洞后使用中管棚来进行超前支护),具体的施工过程如图2所示。在技术应用中 also 需要注意以下:(1)做好施工材料的选择,管棚使用热轧无缝钢管进行制作,管道壁厚为5mm,直径在60mm-80mm,结合现场具体情况进行选择。(2)控制好结构的倾斜角度,外插角度多保持在 $3^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ,所使用拌和泥浆的水灰比不能超过0.5,提高泥浆的流动性,便于后续注浆活动的进行。(3)入洞前的大管棚支护施工也需要提前预设好钢拱架,在实际应用中拱架材料会使用I25b工字钢进行架设,搭配相邻结构处 $\Phi 8$ mm钢筋网片,能够进一步提升结构的支护强度,为后续施工活动的推进奠定基础。

#### 3.5.2 初期支护技术

在高速公路隧道工程的施工中,也会使用到初期支护技术,该技术在应用中,会使用 $\Phi 25$ mm中空锚杆来作为主要的支护结构,提前做好结构承载力的测算工作,如果结构的承载力不低于180kN,那么表示结构承载力满足支护要求。该技术在具体应用中的步骤如下:(1)借

助凿岩机在合适位置进行钻孔作业,钻孔直径和深度与设计图纸保持一致,误差值不超过5mm,达到既定标高后开始进行清孔作业。(2)检查孔底、孔径、孔深质量均满足要求后,依次在孔洞内安装锚杆结构、止浆塞等构件,同步配置相应的水泥浆,其水灰比控制在0.45-0.5之间,而水泥浆的强度不能小于M20,确保注浆后结构的稳定性。(3)在锚杆当中进行连续注浆施工,等待孔内溢浆后停止继续注浆。另外,在支护施工过程中,也需要提前预留好剩余加工量,而锚杆的端口也会和钢拱架焊接在一起,以提升整个结构的稳固性。

#### 3.5.3 喷射混凝土技术

在高速公路隧道工程的施工中,也会使用到喷射混凝土技术,该技术在应用中的操作原理在于,利用钢筋网和高压混凝土在围岩表面形成支撑体系,起到阻止围岩形变的作用。该施工技术在具体应用中的步骤如下:(1)对围岩表面的活动碎石进行清理,形成较为平整的浇筑面。同步拌和高强度混凝土,强度不低于C30,满足要求后再进入下一阶段施工。(2)混凝土在喷射涂抹的过程中,需要确保喷涂面的均匀度,单次喷射的厚度不超过10cm,完成基底喷涂后,会在上方铺设一层钢筋网,然后再进行混凝土喷涂作业。(3)再次喷涂混凝土并完全覆盖钢筋网之后,进入到养护阶段,做好洒水、保温等工作,等待其质量满足要求后可为整个围岩结构提供充足支撑力。

#### 3.5.4 二次衬砌施工技术

除上述提到的施工技术外,在对高速公路隧道进行施工时,也会使用到二次衬砌施工技术。在该技术的施工过程中,会将衬砌模板台车作为主要的施工载体,将场外拌合好的混凝土集中运输到施工区域之后,利用台车进行结构的加固施工。在技术具体的应用中也需要注意以下内容:(1)对围岩的变化情况进行合理筛选,如果隧道断面施工过程的收敛变化率不超过0.2mm/d,此时可以利用该

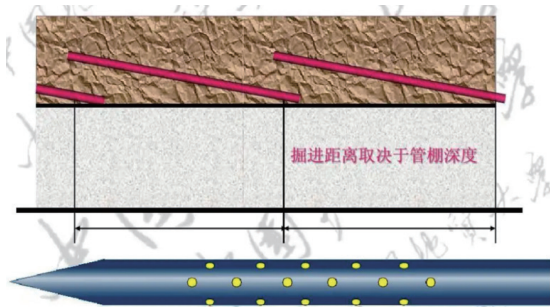


图2 超前支护技术施工示意图

技术展开施工<sup>[1]</sup>。(2)在二次衬砌施工过程中,单次衬砌的长度不能超过12.0m,在衬砌时也会先进行边墙浇筑,等待两侧边墙完成浇筑后再进行拱顶浇筑。(3)混凝土浇筑完成后会存在水化热问题,这也需要在混凝土终凝后2.0h内开始进行,做好保温保湿工作,养护周期不低于14d,以降低结构裂缝问题的发生几率。

#### 3.5.5 注浆施工技术

复杂地质环境下进行隧道工程施工时,也面临着地下水涌水、围岩渗水威胁,为了降低这些因素带来的负面影响,也会使用到注浆施工技术进行加固,以提高隧道结构的防水性和稳固性。该技术在具体的施工中需注意以下几点:(1)做好水泥浆的拌和工作,水泥浆的水灰比控制在0.45-0.50。(2)根据设计图纸中的相关内容,在合适位置进行钻孔,控制好钻孔孔径、深度、间距等参数,复核满足要求后进入注浆施工阶段。(3)注浆时的压力控制在0.6MPa-0.8MPa,保持匀速进行注浆,等待注浆孔溢出泥浆后停止注浆,等待其凝固后会和周围土层形成整体,提升结构的整体强度和抗渗性。

### 4、高速公路隧道施工技术应用时的注意事项

#### 4.1 做好基础准备工作

做好基础准备工作,能够提高所选施工技术的合理性,为后续工作的高效推进奠定良好基础。在具体的实践活动中,需要注意以下内容:(1)对高速公路隧道工程所在区域的基础环境进行整理,包括区域地形、气候条件、水文条件、复杂地质种类、具体分布等,同时也会对该地区的历史资料进行整理,为施工方案的拟定提供良好参考。(2)在BIM技术辅助下,可以根据已有数据来建立三维模型,在模型中会对该隧道工程所在区域的地形进行直观展示,帮助设计人员更加直观的判断出该区域复杂地质种类和施工难度,据此来完成施工方案的拟定,选择契合此类地形的施工技术,以营造良好的工程作业环境,加快隧道工程施工活动的推进速度。

#### 4.2 梳理施工技术流程

梳理施工技术流程,可以确定各环节技术作业要点,充分发挥施工技术的应用效果。在具体的实践活动中,需要注意以下内容:(1)基于高速公路隧道工程所在区域的基础环境来筛选出最为合适的开挖技术、支护技术等,对技术应用过程、各节点质量控制要点等内容进行整理,并以此来拟定相匹配的技术监督管理计划。(2)在工程作业开始前,需要做好施工技术交底工作,帮助施工人员明确施工技术应用时需要注意的内容,提高施工人员工作

过程的目的性。第三,在施工技术交底过程中也需要做好安全意识培训,搭配着绩效考核体系,提高人员对培训活动的重视度,减少个人不合规行为,提高作业环境的安全性。

#### 4.3 加强施工现场监督

加强施工现场监督,能够提高施工问题发现的时效性,降低施工问题的发生概率。从具体的施工情况来看,也需要注意以下内容:(1)利用安全风险评估体系,对于隧道工程作业现场的风险源进行识别,利用量化体系来排序各类风险源的优先级,拟定相应的预防和治理措施,并将其融合到现场监督管理体系中,提升现场监督活动的全面性。(2)利用信息技术对隧道工程施工过程中的相关数据进行整理,根据整理结果来查看问题改进情况、是否存在新问题,在每周例会上也会总结上周遇到的问题 and 处理进度,若持续未得到改进,也会根据奖惩体系对相关负责人进行处罚,以此来营造良好的现场施工环境,减少不确定因素对隧道工程施工进度的影响性。

#### 4.4 拟定应急处理计划

拟定应急处理计划,可以降低问题发生后带来的负面问题,减少隐患问题带来的经济损失。在具体的实践活动中,需要注意以下内容:(1)利用信息技术来整理往年突发事故种类、应对措施,结合该工程所在区域的基础环境,对安全风险源的优先级进行排序,在日常中做好预防工作,将故障发生概率控制在较低状态。(2)在突发事故发生后,也需要及时组织救援队伍、专业队伍前往现场进行事故处理,各部分负责人需保持良好的协作关系,加快突发问题的处理速度,并将问题危害控制在较小范围内,缩减工程的复工间隔。

#### 结语:

综上所述,做好基础准备工作,能够提高所选施工技术的合理性,梳理施工技术流程,可以确定各环节技术作业要点,加强施工现场监督,能够提高施工问题发现的时效性,拟定应急处理计划,可以降低问题发生后带来的负面问题。通过整理复杂地质环境下开展高速公路隧道工程施工时需要注意的内容,不仅可以加快工程项目的施工进度,而且能够提升工程作业质量的可靠性,延长隧道工程的使用寿命。

#### 参考文献:

[1] 杨永贵.复杂地质环境下高速公路隧道施工技术分析[J].科技创新与应用,2022,12(18):154-157.