

某复杂地质条件特长隧道勘察技术及主要工程地质问题

孙旭东, 李振团

(贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 拟建某高速公路特长隧道工程地质及水文地质条件复杂, 主要采用地质调绘、机械钻探、大地电磁法、取样试验等综合勘察手段基本查明了隧道地质条件, 判别隧道主要存在的工程地质问题为岩溶(隧道突泥、涌水)、煤层与瓦斯、断层破碎带、边仰坡防护等, 提出了对应的施工建议以减少重大变更设计及安全风险, 对类似隧道的勘察设计具有一定的参考作用。

关键词: 公路特长隧道; 地质条件复杂; 勘察技术; 隧道工程地质问题

中图分类号: U452 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 05—0146—03

1 引言

拟建隧道为高速公路隧道, 隧道左幅长 4090m, 右幅长 4055m。最大埋深 508m。该隧区地处云贵高原乌蒙山脉北段, 黔西高原与黔中山原的过渡带, 地貌类型属溶蚀—侵蚀型低中山地貌, 地表受溶蚀、侵蚀作用强烈, 地势起伏较大。构造部位属于扬子准地台黔北台隆遵义断拱之毕节北东向构造变形区, 从构造行迹的规模和空间展布情况看, 主要为北东向构造和东西向构造, 还有零星的东西向构造、弧形构造。构造样式以宽缓背斜与紧闭向斜组合构成的隔槽式褶皱为主, 间有一些穹窿及构造盆地, 变形强烈, 线性构造形迹优选方向主要北东向。项目区主要构造有龙场向斜、维新背斜、台沙坝断层、古都寨断层、昆寨断层等, 隧道为北北西走向, 与构造形迹走向近 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 斜交, 受此影响, 隧道地层岩性展现出地层岩性重复出现、岩层产状倾角较陡, 地表岩溶发育等特征。本隧道的地质研究拟采用如下技术路线。



图 1 研究技术路线

2 工程地质问题初判

根据前期研究资料及地表调绘, 判别隧道可能存在的主要工程地质问题为以下 5 类。

2.1 岩溶

隧道存在三叠系下统永宁镇组 (T₁yn)、下统栖霞组 (P₁q)、茅口组 (P₁m) 灰岩, 石炭系中上统马平群、黄龙群 (C₂₋₃mp-hn) 灰岩, 下统摆佐组 (C₁b) 白云岩, 奥陶系下统桐梓、红花园组 (O₁t+h) 灰岩、白云质灰岩,

寒武系中上统娄山关群 (∈₂₋₃ls) 白云岩, 岩溶现象主要为岩溶洼地、落水洞、溶洞、溶隙及暗河管道, 受岩性和构造限制, 多呈带状和块状出现。地表调绘发现发育一暗河管道横穿线位, 为附近坡体地表水经汇流进入洼地地下渗后形成岩溶管道, 沿线有多个洼地、落水洞与管道相连, 地表水汇集深入洼地、落水洞补充管道水, 在隧道左侧 11 Km 处凹猪河处 (1544m) 排泄, 出口流量约 500L/s。根据地质调绘及物探结果, 该岩溶管道位于隧道上方 115 ~ 135m, 岩溶管道与隧道存在水力联系, 隧道开挖极易造成管道水下渗, 造成突水、突泥现象。初步判断场地属于岩溶极强发育区域, 对隧道的影响大。

2.2 瓦斯及采空区

隧道主要含煤地层为二叠系上统龙潭组 (P₂l), 另洞身段多处穿越二叠系下统梁山组、石炭系大唐组等含煤地层, 根据地质调访, 场区采空区主要位于龙潭组 (P₂l) 内, 大型煤矿 (狗场煤矿) 开采距离隧道较远, 隧道区域内存在数十个当地村民私采形成的采空煤洞, 其洞口直径一般为 1 ~ 2m, 采深 20 ~ 50m, 以巷道式开采为主, 回采率低, 一般 10% ~ 30%, 该段隧道埋深大 (埋深 316m), 采空区位于隧道上方 260m 以上, 对隧道建设影响小。

据收集项目沿线该地层煤矿开采期间测得瓦斯资料及隧道瓦斯测试资料显示, 二叠系中统龙潭组 (P₂l) 煤系地层煤层瓦斯相对涌出量为在 34.2 ~ 35m³/t 之间、绝对涌出量在 3.81 ~ 6.63m³/min 之间, 根据《煤矿瓦斯等级鉴定暂行办法》第九条相关规定, 场区为高瓦斯工区。

2.3 断层破碎带

隧道分别穿越台沙坝断层（与隧道斜交）、古都寨断层（与隧道斜交），该两断层分别为南东-北西、北东-南西走向，与隧道均斜交，断层破碎带宽1~20m，断层破碎带往往形成不稳定结构面，导致岩石松弛、岩石强度下降，岩体的完整性及均一性极差，隧道围岩稳定性变差（围岩级别为V级），且断层破碎带岩质软硬不均，易破碎，强度低，手锤敲击易碎，类似中密碎石土或胶结一般的角砾土，遇水后物理力学性质差。其中台沙坝断层为正断层，其具备导水特征，地下水易富集于断层带及其附近岩体内，隧道开挖揭露时极易产生大规模突水、突泥现象；古都寨断层为逆断层，大部分段落呈压性为主，局部具有张性特征，该断层总体具有阻水特征，地下水流动经过断层时受断层阻隔易汇集于断层附近，对附近岩体进行溶蚀，故断层附近一般岩溶发育强烈，隧道开挖揭露断层时极易对其附近汇水进行集中排泄而造成瞬时突水、突泥现象。

2.4 岩性组合复杂带来的隧道围岩问题

隧道洞身穿过地层主要为T₁yn、P₂l、P₂β、P₁q、P₁m、P₁l、C₃mp、C₂hn、C₁b、C₁d、O₁m、O₁t+h、ε₂₋₃ls，其碳酸盐岩地层T₁yn、P₁q、P₁m、C₃mp、C₂hn、C₁b、C₁d、O₁t+h、ε₂₋₃ls岩性为灰色、灰白色灰岩、白云岩，碎屑岩地层P₂l、P₂β、P₁l、C₁d、O₁m岩性为泥岩、泥质粉砂岩、煤层、玄武岩等，空间分布上为软质岩与硬质岩相间互层结构，在碳酸盐岩与碎屑岩接触面上，往往岩溶发育比较强烈，可能存在较大岩溶裂隙、溶洞及丰富的地下水，隧道穿越时易造成突水、突泥，其洞身段围岩整体稳定性较低。

左幅ZK7+525~ZK7+980、ZK8+430~ZK8+950（右幅YK7+500~YK7+960、YK8+428~YK8+940）两段位于维新背斜核部两翼，岩性为二叠系下统栖霞、茅口组（P₁q+m）灰岩，受台沙坝断层、古都寨断层的影响，岩溶发育，地下水易富集，地表洼地、落水洞极发育，存在暗河管道，物探揭示岩溶管道埋深210m，与隧道相距220m，在构造裂隙和深部岩溶作用下，隧道开挖可能会贯通、袭夺地下河，产生大量涌水，因此隧道开挖应采取特殊施工工艺。另外，其余的灰岩段落可能存在局部岩溶发育现象，也可能产生突泥、涌水现象，设计施工也应引起重视。

2.5 进出口边仰坡

隧道进口边、仰坡：隧道洞门边、仰坡由强风化和中风化灰岩夹泥岩组成，强风化岩体节理裂隙发育，岩体破碎。

左、右侧边坡均为切向坡，洞口位置横坡平缓，边

坡稳定性好，开挖临空后边坡岩体强风化层内易产生楔形坍塌、掉块、碎落现象。洞口纵坡较陡，仰坡为顺向坡，且层间存在软弱夹层，现状稳定，仰坡开挖后易诱发顺层滑移，须对仰坡进行加固防护；

隧道出口边、仰坡：洞门边、仰坡由强风化强~中风化灰岩组成，强风化岩体节理裂隙发育，岩体破碎。

左、右侧边坡均为切向坡，洞口位置横坡平缓，边坡稳定性好，开挖临空后边坡覆盖层及强风化层内易产生楔形坍塌、掉块、碎落，甚至圆弧滑动。洞口纵坡较陡，为顺向坡，强风化层岩体破碎，呈散体状结构，现状稳定，仰坡开挖易产生楔形坍塌，甚至顺层滑动，须对仰坡进行加固防护；

3 勘察技术手段

根据以上工程地质问题，针对性的采用了加深地质调绘、钻探、大地电磁法、声波测井、瓦斯测试、取样试验等综合勘察手段。

（1）加深地质调绘：对比桥梁及路基工程，对隧道而言，充分的地表调绘以及地质分析更加重要，如对隧道围岩结构面的深入统计分析，对岩溶问题而言，地表出露的岩溶洼地、落水洞、溶洞、地下暗河的分布密度、发育规模、高程等可以有效的指示地下岩溶发育情况，断层破碎带的发育产状、宽度、组成物质对通过隧道段围岩设计可以提供重要证据。

（2）物探：对于特长隧道，贯通性的物探工作已经不可缺少，特别是大地电磁法对于埋深较大的复杂隧道，已可以有效的判别重点部位，在物探工作的基础上进行钻探可以有助于摆脱勘探工作的盲目性。

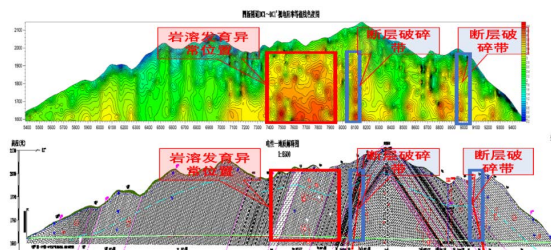


图2 物探断面图

（3）钻孔及孔内工作：①声波测井。对钻孔进行波速测试，计算岩体的完整性系数，根据完整性系数的大小划分岩体的完整程度，并根据完整性系数与岩石单轴饱和抗压强度指标确定岩体的基本质量级别。本次分别对不同岩性的四个钻孔进行了声波测试及岩样试验。最后计算岩体的完整性系数，根据完整性系数的大小划分岩体的完整程度；②瓦斯测试。专业的孔内瓦斯测试

可以获取详细的瓦斯含量、瓦斯压力、煤层爆炸、煤自燃倾向性、含煤的放散初速度、等温吸附系数、坚固性系数、真密度、视密度、水份、灰份和挥发份等相关数据,通过数据分析综合判断该煤层发生瓦斯突出安全事故的风险性较低。提出了隧道相应的高、低瓦斯工区段落。

4 主要工程地质的规模、影响及处治建议

本隧道围岩地层岩性组合复杂,主要工程地质问题为岩溶、瓦斯、断层破碎带。

4.1 岩溶

隧道穿过碳酸盐岩段岩溶发育强发育,存在竖向溶洞等形式的隐伏岩溶风险极高,尤其在碳酸盐岩段、碳酸盐岩与碎屑岩接触部位、断层破碎带两侧岩体,可能存在较大的溶洞、岩溶裂隙以及丰富的地下水。施工中揭露隐伏岩溶(溶洞、岩溶裂隙、落水洞、岩溶漏斗、岩溶管道等)的可能性极大,施工风险极高,开挖揭露溶洞易产生涌水、涌砂、突泥和冒顶等危害。施工中务必高度重视,充分准备、精心施组、超前地质预报、隧道底板岩溶探测、超前钻孔等工作,建立完善的可能遇见各种地质病害(如揭露溶洞、岩溶裂隙、落水洞、岩溶漏斗、岩溶管道、断层破碎带等出现的突泥、涌水、涌砂以及突发性隧道大面积涌水等)的应急处治工程预案,确保隧道施工及运营安全。

4.2 瓦斯

综合判断该煤层发生瓦斯突出安全事故的风险性较低,但不排除有发生突出的可能。由于地质条件变化大,经对测试孔周边地质条件分析,认为本次测试的227.80m~229.20m煤层瓦斯等数据资料仅代表所测区域煤层向上50m范围内的瓦斯状态,因此结果对该煤层埋深以下、其它区域及个别地质构造带的煤层瓦斯参数仅做为参考数据,在实际工作中应严格遵守相关规定,采取合理的瓦斯区域防突安全技术措施加强对地质构造的超前探测工作,执行先探后掘技术措施,并加强安全管理,确保施工安全,建议掘进过程中必须具备探防工作,在隧道施工中必须按照相关程序进行,防止突出事故,确保安全生产。必须加强通风,防止瓦斯积聚,严禁串联通风、微风、无风作业。

4.3 断层破碎带

隧道穿越两条断层,断层破碎带影响长度约150米。隧道经过断层破碎带时,该隧道施工时可能产生的工程地质问题为突水、突泥、掉块、塌方、围岩失稳等工程地质问题,其中突水、突泥问题对施工安全隐患影响极大,隧道施工中应加强超前地质预报及检测工作,布置

超前探孔进行水压卸荷工作,加强隧道超前支护措施,避免产生地质灾害。

5 探讨及结论

拟建隧道穿越地层岩性较多,地质构造发育,穿越了断层破碎带、背斜等地质构造。洞身段存在岩溶、瓦斯等主要不良地质,工程地质问题复杂,是西南地区具有代表的复杂地质条件的特长隧道。

隧道洞身段存在不良地质:岩溶与瓦斯。特别是可溶岩与非可溶岩接触带,岩溶强发育,存在隐伏溶洞的可能性大,工程风险高,开挖揭露溶洞极易产生涌水、突泥和冒顶等危害,施工中应加强监控量测、超前地质预测预报、超前钻孔等工作指导施工。煤系地层瓦斯段,应按照瓦斯隧道设计,且受构造影响,在煤系地层相邻段落,瓦斯有可能将间断性穿过含煤地层。施工中应加强通风,加强瓦斯等监控量测、地质超前预测预报、超前钻孔设计等工作做好应对瓦斯灾害的工程处治预案。

根据勘察结论中隧道围岩地质情况,结合围岩不良地质段落长度、岩体完整程度、结构面特征等划分隧道围岩级别:Ⅴ级段落占隧道长度的36.7%,Ⅳ级段落占隧道长度的56.5%,Ⅲ级段落占隧道长度的6.8%。计算隧道涌水量为320818m³/d。为类似地质条件的隧道的围岩级别划分及涌水量计算提供参考。

参考文献:

- [1] 任艳斌,郑金田,王晨涛.张承高速公路隧道围岩级别划分问题的探讨:山西建筑.2015.41(09).
- [2] 聂小伍.福建高速公路隧道工程地质勘察浅谈:西部探矿工程.2012.24(01).
- [3] 胡盛明,胡修文.新旧公路隧道围岩分级方法的比较:中国地质大学工程学院.现代隧道技术.2008.45(08).
- [4] 徐亮.公路隧道围岩级别与跨度对衬砌力学特性的影响研究:陕西省.长安大学硕士论文,2017.05.
- [5] 韩剑收.陕北地区隧道围岩级别划分研究:陕西省.西安建筑科技大学硕士论文,2017.02.
- [6] 唐旭,张志强.特长公路隧道交叉区域围岩-结构动态变化规律研究.成都:四川建筑,2021.41(04).
- [7] 王福胜.公路隧道施工过程中围岩快速定级方法调研分析与展望.邢台:邢台学院学报,2017.32(04).
- [8] 王小龙,光明,薛春瑞,戴保库.浅析公路隧道围岩分级的工程作用与意义.内蒙古公路与运输,2014.(03).