

凌云县沙里至彩架村排涝隧洞工程地质条件分析与评价

顾 城

广西水利电力勘测设计研究院有限责任公司, 广西 南宁 530023

[摘要] 拟建排涝隧洞工程位于喀斯特强岩溶发育地区, 岩溶地质问题较为复杂。采取地质测绘、钻探等多种手段查明了工程区的地质条件, 并对隧洞主要工程地质问题进行评价, 提出相应的处理措施建议, 能为岩溶发育地区长隧洞的勘察提供参考。

[关键词] 岩溶; 隧洞; 排涝工程

DOI: 10.33142/ec.v6i3.7968

中图分类号: P64

文献标识码: A

Analysis and Evaluation of the Engineering Geological Conditions of the Drainage Tunnel from Shali to Caijia Village in Lingyun County

GU Cheng

Guangxi Water & Power Design Institute Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530023, China

Abstract: The proposed drainage tunnel project is located in a region with strong karst development, and the karst geological problems are relatively complex. Various means such as geological mapping and drilling have been used to identify the geological conditions of the project area, evaluate the main engineering geological problems of the tunnel, and propose corresponding treatment measures and suggestions, which can provide a reference for the investigation of long tunnels in karst developed areas.

Keywords: karst; tunnel; drainage project

1 工程概况

广西凌云县沙里瑶族乡位于凌云县东南部, 距离凌云县城 42km。汛期 5~8 月受锋面和台风天气系统的影响, 常发生大雨、暴雨, 强降雨积水主要通过地表的消水洞向地下河通道排泄。多年来, 由于天然消水洞及地下暗河的泄洪能力有限, 大雨、暴雨的积水无法快速排向地下暗河下游, 因而导致沙里乡洪涝灾害频发。

为解决沙里瑶族乡的洪涝灾害问题, 凌云县水利局决定实施《广西凌云县沙里至彩架村排涝二期工程》。根据设计方案, 该项目的建设内容为新建排涝明渠及排涝隧洞。其中, 新建排涝隧洞长约 8350m, 项目工程等级为 V 等, 工程规模为小 (2) 型, 工程级别为 5 级。

2 工程区地质条件

2.1 地形地貌

凌云县沙里瑶族乡整体位于云贵高原向东南倾斜延伸部位。沙里乡西部、北西部一带属于岩溶地区, 地貌上属于侵蚀—溶蚀峰丛洼 (谷) 地地形。在沙里谷地内以水的侵蚀作用为主, 而在洼地地形中, 以溶蚀作用为主, 洼地排列方向有北西及南西向两组, 地面山体多形成塔状, 深部岩溶发育, 受构造影响, 沿断裂形成的地下岩溶管道互相组成网状, 水的排泄条件很好, 深部岩体侵蚀—溶蚀作用也很显著, 封闭洼地雨后一般很少积水, 地表水迅速排泄到地下暗河, 流向浩坤水库澄碧河谷。

沙里谷地标高 402~450m, 峰顶标高 900~1100m, 洼地标高 650~800m。沙里乡东部、南东部一带属于侵蚀—构造中、低山中切谷地形。峰顶标高 800~1300m, 沟谷

标高 300~600m, 深切 >500m, 沟谷多呈“V”形谷。

2.2 地层岩性

场工程区围内出露的地层有泥盆系 (D)、石炭系 (C) 以及第四系 (Q)。由老到新分为:

(1) 泥盆系上统 (D₃): 浅灰、少许深灰色 厚~巨厚层状灰岩。出露于澄碧河谷浩坤水电站库区一带。

(2) 石炭系 (C) 在工程区分布最广, 包括:

石炭系下统 (C_{1y}): 灰~深灰色灰岩, 一般为中厚~厚层状, 局部夹薄层状, 弱~微风化, 岩溶较发育。主要出露于隧洞进、出口区域。

石炭系下统 (C_{1d}): 灰、浅灰色灰岩, 一般为中厚~厚层状, 局部夹薄层状, 弱~微风化, 岩溶较发育。主要出露于隧洞进、出口区域。

石炭系中统 (C₂): 灰~灰白色灰岩, 一般为厚~巨厚层状, 弱~微风化, 岩溶较发育。

石炭系上统 (C₃): 灰~灰白色少许深灰色灰岩夹少许白云岩, 一般为厚~巨厚层状, 弱~微风化, 岩溶较发育工程区内出露较多。

(3) 第四系坡残积层 (Q^{ed}) 为黄褐色、黄色、棕黄色黏土夹少量碎石, 土质稍密实~中等密实, 呈可塑~硬塑状态, 厚度 1~5m。分布于沙里乡东侧、南东侧一带砂泥岩地区。

(4) 第四系岩溶谷地冲积层 (Q^{al}): 上部为黄褐色、黄色、灰褐色黏土, 分布于沙里谷地。

(5) 第四系河床冲洪积层 (Q^{ap}): 砂砾石、淤泥等河床、河沟冲积物。

(6) 第四系崩积物 (Q^{col}): 滚石、块石、孤石夹黏土等, 松散状, 分布于灰岩地区坡脚。

2.3 地质构造

根据现场地质测绘成果, 隧洞轴线沿线虽未与区域性断裂相交, 但由于工程区位于凌云旋卷构造体系南部, 褶皱及派生地断裂发育。工程区内主要发育断层 5 条。对工程影响较大的是隧洞进口处的弄广—沙里环形断层 (F1、F2) 以及不明性质断层 (F3)。其余断层距离拟建隧洞较远, 影响微弱。

(1) 弄广—沙里环形断层 (F1、F2): 根据现场地质测绘成果, 该环形断层由两条压扭性旋扭断层 (F1、F2) 构成, 大致平行展布, 间距 1~1.5 公里, 长 55 公里, 被百劳—彩屯张扭性断层切割明显地分为两部分。断裂面倾向北东或南西、南东, 倾角多在 70 度以上。以最外的一条断距较大, 局部大于 1000 米, 造成了中三叠统一部分和整个二叠系缺失。该断层距隧洞轴线较远, 对工程影响微弱。

(2) F3 断层: 根据现场地质测绘成果, 该断层所处位置未见明显的构造痕迹, 裸露岩层也未见明显的产状变化, 断层大致为 NE 走向, 性质不明。

根据地质测绘成果, 隧洞沿线岩层产状倾向较缓, 主要为 $N25\sim45^\circ E$, $SE\angle5\sim20^\circ$ 或 $N25\sim45^\circ E$, $NW\angle5\sim20^\circ$, 局部为 $N19^\circ W$, $SW\angle6\sim18^\circ$ 。岩体中发育以下几组节理、裂隙: ① $N65\sim80^\circ E$, $SE\angle75\sim85^\circ$; ② $N60\sim80^\circ W$, $NE\angle85\sim90^\circ$; ③ $N60^\circ W$, $SW\angle80\sim88^\circ$; ④ $N20^\circ E$, $NW\angle75\sim85^\circ$ 。节理、裂隙多闭合, 面平直粗糙, 延伸较长; 少数裂隙有溶蚀现象, 宽度较大。

2.4 水文地质条件

根据地质测绘成果, 工程区内地表河流不发育, 沿线洼地集水面积较大, 但基本未见有积水现象, 原因为地下岩溶通道发育, 大气降水落到地面后迅速沿岩溶裂隙、通道下渗, 而后迅速往地下河汇集。因此, 工程区内地表径流不发育。

工程区地下水主要接受大气降水补给, 工程区内地表径流不发育, 地表水经岩溶裂隙、通道迅速排到地下河, 受构造线影响, 地下水径流方向大都呈北东向南西方向, 排泄方式为裂隙渗流型及岩溶管道径流型。

根据现场钻孔的压水试验成果分析, 其岩溶裂隙不发育处渗透性一般为弱透水, 但岩溶裂隙发育处为中等~强透水, 溶洞发育处为强透水。

2.5 岩体物理力学性质及参数建议值

勘察过程中, 共取钻孔岩芯 12 段进行了室内岩石试验, 根据有关规范对岩土物理力学性质参数取值的原则, 在室内岩石试验成果基础上, 综合现场勘察成果, 提出工程区岩、土体物理力学参数建议值, 详见表 1。

3 主要工程地质问题及评价

隧洞沿线地层起伏, 岩溶发育, 洼地、落水洞、溶蚀裂隙等普遍发育, 地下水位一般高于洞身, 隧洞沿线水文地质与工程地质条件复杂, 局部可能存在涌水、突泥问题。

沿线岩层倾角较缓, 岩层面与陡倾角节理组合对顶拱围岩稳定不利, 极易出现掉块现象。根据工程地质测绘成果结合钻探和物探成果: 隧洞进出口围岩类别为 IV~V 类, 隧洞洞身 III 类围岩占 75%, IV 类围岩占 17%, 溶洞发育段占 8%。

(1) 隧洞进、出口洞脸边坡稳定问题

根据勘察成果, 隧洞进口边坡为顺向坡, 隧洞出口边坡为反向坡, 岩层面较平缓。

根据设计方案, 隧洞进口边坡开挖高达 9~10m, 由于边坡覆盖层均为崩积层, 且该层力学性质较差, 较松散, 进出口开挖边坡稳定性较差。设计方案须考虑充分的护坡措施, 以避免隧洞进口洞脸边坡在隧洞开挖过程中受到扰动, 而再次产生滑动。确保隧洞进口洞脸边坡稳定及施工安全。由于隧洞进口边坡的崩积层较厚, 且崩积层中含有大量不稳定的孤石、巨石、块石等危岩。在隧洞开挖过程中, 由于崩积物较松散, 受到扰动后有危岩滚落的隐患。设计方案必须考虑采取充分的防护措施, 以避免隧洞进、出口边坡处的孤石、巨石滚落, 确保施工安全。

(2) 洞室顶拱围岩稳定问题

根据地质测绘成果, 隧洞洞室围岩岩层产状多为近水平状, 岩层面较缓, 且与 2 组陡倾角节理相互切割, 洞顶易出现掉块现象, 需采取支护措施。

(3) 隧洞岩溶问题

隧洞位于侵蚀—溶蚀峰丛洼(谷)地地形, 地下水径流方向为北东向南西的趋势; 工程区为单斜构造, 岩层产状整体稳定, 倾向 SE, 且产状较为平缓, 一般小于 20° , 岩层产状倾向与地形倾斜方向一致, 为地下水的入渗及流动提供了有利条件。隧洞沿线地下水流动通畅, 地下水动力条件好, 极大提高了岩体的溶蚀速度, 导致地下河附近沿线岩体溶蚀强烈

本次勘察根据不同方向的轴线横剖面进行了大地电磁法探测, 成果表明, 隧洞轴线沿线范围于 300~400m、500~600m 高程范围岩溶发育较集中。与该区域的陇朗~弄福地下河沙里段的排泄高程 410~330m 一致。

(4) 隧洞涌水量估算

隧洞沿线峰丛洼地山体雄厚, 汇水面积较大, 岩溶水丰富, 在遭遇强降雨时, 隧洞岩溶突水问题突出, 在施工期间应加强排水并采取预防突水措施。

根据《引调水线路工程地质勘察规范》(SL629-2014) 附录 E 章节中 E.2.5 显示, 当隧洞通过岩溶区, 可采用水均衡法按式概略预测隧洞涌水量, 采用水量均衡法采用如下公式计算:

$$Q_s = (1000 \times \alpha \times W \times A) / 365$$

式中 Q_s : 隧洞通过岩溶含水地段段的正常涌水量, m^3/s ;

A: 隧洞通过岩溶含水地段的地表集水面积, km^2 ;

α : 入渗系数, 按岩溶发育程度确定, 宜采用 0.3~0.5; 此处采用区域水文资料为 0.57;

W: 涌水量计算时段的多年平均降水量, mm。

按照以上公式, 采用凌云气象站统计的多年来年最大

降雨量来计算,从1:1万地形图上量出汇水面积,各隧洞段计算结果见表2所示。

表1 隧洞围岩力学参数建议值表

| 地层 | 围岩类别 | 饱和密度 | 内摩擦角 | 凝聚力 | 泊松比 | 变形模量 | 坚固系数 | 单位弹性抗力系数 | 开挖级别 |
|--|------|-----------------------------|------------|---------|-------|---------|------|----------------|------|
| | | ρ (g/cm ³) | Φ (°) | C (MPa) | μ | E (GPa) | f | K_0 (MPa/cm) | |
| C _{1y} 、C _{1d} 、C ₂ 、C ₃ 、D ₃ | III | 2.69 | 40 | 1 | 0.25 | 6~8 | 3~5 | 35~40 | IX |
| | IV | 2.68 | 32 | 0.4 | 0.32 | 3~4 | 1~3 | 10~15 | VIII |
| | V | 2.68 | 21 | 0.08 | 0.4 | 0.3 | 0.8 | 1~3 | VIII |

表2 隧洞涌水量估算表

| 隧洞桩号 | 入渗系数 α | 汇水面积A (km ²) | 平均降水量W (mm) | | 估算涌水量Q _s (m ³ /d) | |
|----------|---------------|--------------------------|---------------|-------------|---|-------------|
| | | | 枯水期(11月至次年3月) | 丰水期(4月至10月) | 枯水期(11月至次年3月) | 丰水期(4月至10月) |
| 0+8~370m | 0.57 | 4.9 | 116.1 | 1573.3 | 888.4 | 12038.9 |

根据《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50487-2008)附录W的规定,前期勘察阶段无法取得地下水活动状态的完整资料,用地下水活动状态判定外水压力折减系数依据不足,易产生大的偏差,因此将主要根据岩体渗透性指标推测外水压力折减系数,并按不同的围岩类别分别给出外水压力折减系数。III、IV与V围岩外水压力折减系数 β_e 建议值分别为0.4~0.6、0.8与0.9~1。建议施工期间根据地下水活动状态调整外水压力折减系数,以便估算正确的外水压力

(5) 洞室渗水量估算

由于隧洞埋深大,且基本位于地下水位以下,根据本工程的特点及参照相关工程经验,隧洞渗水量预估如下:
①隧洞进口及一般洞段断面开挖后最大渗水流量为 $q=50\sim 80\text{L}/\text{min}\cdot 10\text{m}$ 洞长;
②溶洞、岩溶裂隙等强岩溶带洞段断面开挖后最大渗水流量为 $q=140\sim 180\text{L}/\text{min}\cdot 10\text{m}$ 洞长;
③隧洞出口洞段断面开挖后地下水渗水流量为 $q\leq 25\text{L}/\text{min}\cdot 10\text{m}$ 洞长。

(6) 岩层岩爆问题

由于工程区受构造影响较小,岩层产状近于水平,构造应力比较小,因此,地应力主要为岩体自重应力。其铅直自重应力 $\sigma_z = \rho \cdot g \cdot H$, ρ 为岩体密度, H 为上覆岩体厚度,本工程岩体为厚层灰岩, $\rho = 2.70\text{g}/\text{cm}^3$ 。根据应力分析及《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50487-2008)附录Q有关章节公式计算;隧洞洞身上覆岩体厚度 $H_{\max} = 520\sim 620\text{m}$ 计算,岩石强度应力比(R_b/σ_z)= $4.18\sim 4.98$ ($\rho = 2.70\text{g}/\text{cm}^3$, $H_{\max} = 520\sim 620\text{m}$, $g = 10\text{N}/\text{kg}$,取饱和抗压强度 $R_b = 70\text{MPa}$),根据《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50487-2008)附录Q表Q.0.2进行评价,洞室开挖中可能产生轻微岩爆(I级),影响深度0.1~0.3m,可根据需要支护进行简单支护。

4 结语

拟建排涝隧洞沿线地层起伏,岩溶发育,洼地、落水洞、溶蚀裂隙等普遍发育,地下水位一般高于洞身,隧洞沿线水文地质与工程地质条件复杂,局部存在涌水、突泥问题。沿线岩层倾角较缓,岩层面与陡倾角节理组合对顶拱围岩稳定不利,易出现掉块现象,须采取支护措施。

(1)隧洞进、口洞脸边坡为土质边坡,边坡覆盖层为崩积物,成分主要滚石、块石、孤石等,松散状,厚度较大,为稳定性差边坡。崩积物变形较大,力学性质稳定性差,受扰动后极易引发新的崩塌,严重危及施工安全。设计方案须考虑对隧洞进口洞脸边坡采取充分的支护措施,以保证施工过程中边坡稳定。

(2)隧洞洞身段沿线属峰丛洼地地貌,地形起伏。隧洞围岩以中~厚层、厚~巨厚层状灰岩为主,局部夹薄层状,岩层稳定产状近水平状,微风化,岩体完整~较完整;沿线地下水水位高于洞顶。沿线岩溶中等发育,岩溶地下水丰富。洞室围岩为微风化灰岩,岩层面较缓,与陡倾角节理相互切割,洞顶易出现掉块现象,须采取支护措施。洞室围岩类别一般为III类,局部薄层及节理密集发育带围岩类别为IV类。由于隧洞大部分位于地下水之下,施工时应采取有效的防水,同时对于局部岩溶发育部位,在施工过程中一定要注意观测,加强超前地质预报,并采取有效的支护措施。洞室围岩III类占75%,IV类占17%,溶洞发育段占8%。

拟建排涝隧洞工程位于喀斯特强岩溶发育地区,岩溶地质问题较为复杂。采取地质测绘、钻探等多种手段查明了工程区的地质条件,并对隧洞主要工程地质问题进行评估,提出相应的处理措施建议,能为岩溶发育地区长隧洞的勘察提供参考。

[参考文献]

- [1]陈长生,李银泉,史存鹏,等.复杂岩溶区深埋长隧洞选线研究[J].人民长江,2022,53(11):91-98.
- [2]刘洪斌.岩溶隧洞充填裂隙渗透性演化规律与隧洞突涌水预测解析方法研究[D].湖北:中国地质大学,2022.
- [3]张小宝,司富安,段世委,等.深埋水工长隧洞主要工程地质问题与勘察经验[J].水利规划与设计,2021(12):55-60.
- [4]朱代强.岩溶地区地下洞室勘测技术研究[J].珠江水运,2016(1):84-85.
- [5]宋嶽,贾国臣,蔡景伟.特殊不良地质洞段隧洞围岩分类的探讨[J].水利水电工程设计,2012,31(2):12-13.
- [6]罗继勇.乐滩水库引水灌区窑瓦-六浪隧洞TBM施工段工程地质勘察与研究[J].广西水利水电,2012(2):11-16.
- [7]王先远,曹梅萍.岩溶地区隧洞工程勘察应用技术的探讨[J].西部探矿工程,2012,24(2):17-21.

作者简介:顾城(1989.9-),男,桂林理工大学,岩土工程,广西壮族自治区水利电力勘测设计研究院有限责任公司,工程师。