

云雾山隧道岩溶发育特征及治理

薛斌^{1,2}, 张民庆²

(1. 中铁第四勘察设计院, 武汉 430063; 2. 铁道部宜万铁路建设指挥部, 湖北恩施 445000)

[摘要] 对隧道揭示岩溶、岩溶特征及处理措施进行了详细介绍, 并对不同岩溶类型提出针对性的治理对策。同时强调在遭遇大规模高压富水充填溶腔时, 对宏观地质背景的分析 and 认识在决定治理方案时的重要作用。提出长大岩溶隧道施工时遇到大规模岩溶时有针对性的采用绕避方案, 及时调整施工组织, 确保工期目标的实现。

[关键词] 云雾山隧道; 岩溶; 发育特征; 治理

[中图分类号] U455.49 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2009)12-0061-08

1 工程概况

云雾山隧道全长 6 640 m, 位于新华夏系第三隆起带(川鄂褶皱带)内鄂西恩施市白果坝和小溪沟之间(DK242+084~DK248+724), 为中低山区, 海拔高程在 800~1 750 m 之间, 隧道进口标高 801 m, 自进口至出口为单面上坡, 平均纵坡为 1.1%, 隧道最大埋深 800 m。隧道自进口依次为 315 m 三线车站隧道, 282 m 双线隧道, 215 m 燕尾式隧道, 其余均为两条单线隧道。为满足隧道进口端车站排水及加快施工进度, 在进口端线路左侧设置长 641 m 横

洞一处^[1]。

2 隧道工程地质、水文地质条件

隧道通过的地层为寒武系、奥陶系灰岩, 其中穿越寒武系地段约 6 000 m(下统天河板组、石龙洞组; 中统高台+茅坪组、光竹岭组; 上统耗子沱群), 穿越奥陶系地段约 600 m(下统南津关组、奥陶系分乡组—牯牛潭组; 中上统庙坡组—五峰组), 全隧均位于可溶岩地段, 岩溶发育, 地下水丰富, 为典型的背斜核部汇集地下水, 两翼分流分散排泄水动力模式^[2](见图 1)。

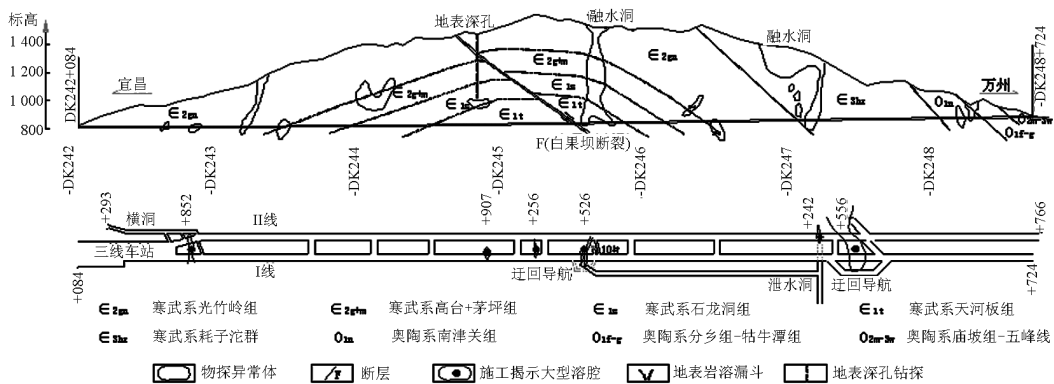


图 1 云雾山隧道工程地质及岩溶分布图

Fig. 1 Engineering geology and cave distribution of Yunwushan Tunnel

[收稿日期] 2009-10-29

[作者简介] 薛斌(1982-), 男, 四川金堂县人, 工程师, 研究方向为隧道工程设计与管理; E-mail: tsyxb@vip.163.com

隧道区内发育白果坝暗河系统和大鱼泉、小鱼泉、恶水溪和洞湾4个管道流系统,综合前期勘探分析这些暗河和管道流对隧道无直接影响^[1]。

根据隧道穿越地层和水文条件,将隧道划分为3个地质单元,分别为隧道进口 DK242 + 084 ~ DK244 + 018 段,位于白果坝背斜 SE 翼斜坡区,地表岩溶发育程度相对较弱,难以形成大型岩溶管道和管道流,涌突水规模较小,但存在山地台原(核部)补给区循横向裂隙、溶隙向东翼分流并向白果坝暗河排泄的径流途径,在高台茅坪组相对隔水层的界面附近可能发生较大规模的涌突水突泥。DK244 + 018 ~ DK246 + 751 段主要位于白果坝背斜核部,处在地下水深部循环带,岩溶发育较弱,洞体及其上部有相当厚度的弱岩溶发育地层阻隔,岩溶和岩溶水相对较少,但由于发育有区域性白果坝断裂,将浅部岩溶水导入洞内,可能发生涌水突泥。DK246 + 751 ~ DK248 + 724 段位于白果坝背斜 NW 翼,岩溶发育程度高,形成的较大型管道流多在该段;由于山顶部岩溶水向 NW 侧分流,多在寒武系顶部、下奥陶系底部隔水层界面处汇集,沿纵向运移,发育规模较大的岩溶管道、暗河和大泉(见图2)。

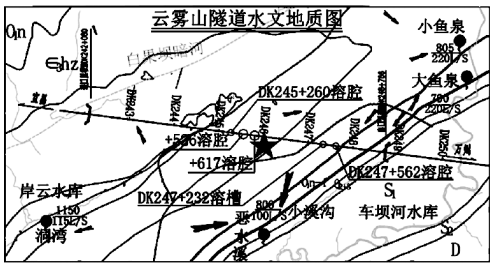


图2 云雾山隧道水文地质图

Fig.2 Yunwushan Tunnel's hydro-geological

左右,洞底为黏土、块石堆积,经勘探确定堆积层厚约2 m,以下为完整基岩。溶腔位于岩溶发育垂直渗流带内,基本处于水平岩溶发育带的上限地段,溶腔主要沿岩层走向发育,为古暗河通道,位于地下水位之上,为过水廊道,主要承接过路水,并经溶腔大厅向底部岩溶管道排泄,实测水量约2 000 ~ 5 000 m³/d。图3为852岩溶平面图。图4为小间距段横断面图。

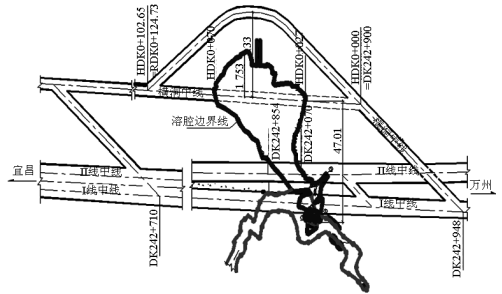


图3 852岩溶平面图

Fig.3 852 cave plan

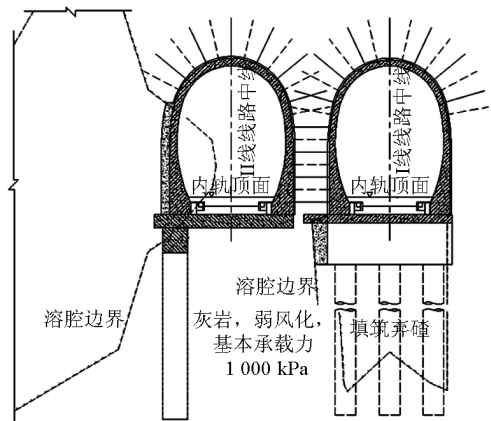


图4 小间距段横断面图

Fig.4 Small-pitch lining

3 岩溶揭示及治理

在云雾山隧道施工中,共揭示对隧道工程施工产生影响的岩溶11处,其中规模较大,处理周期在3个月以上的岩溶6处。

3.1 DK242 + 852 岩溶(无填充岩溶大厅)

2004年10月27日至12月10日,施工先后通过横洞、I线揭示溶腔大厅,溶腔大厅沿线路纵向长约40 m,横向宽度大于60 m,最高处顶板距路肩高约20 m,竖向发育至隧底以上24 m。受节理发育影响,溶腔顶板岩体破碎,局部地段洞顶附有黏土等充填物,洞顶偶见掉块现象发生,掉块体直径为0.3 m

根据揭示的溶腔形态、规模,及时采取了横洞绕行保证隧道正常施工,对溶腔处理采用如下方案。

1)对隧道影响范围溶腔顶板不稳定体进行清理,并采用锚喷加固。喷锚网支护参数为:采用 $\phi 22$ 砂浆锚杆,长3 ~ 6 m,网喷混凝土厚10 ~ 15 cm, $\phi 6$ 钢筋网间距20 cm \times 20 cm。

2)隧底采用桩基承台、桩基托梁结构进行跨越。

3)隧道结构外空腔部分采用100 cm厚的C20混凝土护拱,并在拱顶以上2.5 m范围内采用吹砂回填。

4) 承台底 1 m 范围内设置双层 $\phi 100$ 纵横向透水盲管,盲管纵横向间距 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$,盲管与通往 II 线位置泄水孔内设置的 $\phi 200$ 透水 PVC 盲管采用三通管连接。将水引至 II 线左侧落水洞内。

3.2 DK244 + 907 岩溶(含水充填岩溶管道)

2007 年 6 月 30 日,DK244 + 907 线路左侧拱腰开挖揭示充填溶腔,纵向发育长度 2 ~ 3 m,环向宽度 5 ~ 13.5 m,填充硬塑黏土夹块石,在开挖 2 h 后开始坍塌突泥,为流塑状泥砂,5 h 后突泥发展加快,为泥砂夹块石,总突泥量约 $1\ 100\text{ m}^3$,水量约 $150 \sim 420\text{ m}^3/\text{h}$ 。突泥趋于稳定后进行现场调查,判断为充填岩溶管道,隧道开挖揭示为岩溶管道底部,在隧道顶以上 50 m 存在过水通道。

对该溶腔采用如下处理方案。a. 鉴于该岩溶管道在突泥趋于稳定后仍偶有掉块现象,为确保施工安全,对掌子面采用砂袋封堵,并施作 1 m 厚 C20 混凝土墙封堵,采用泵送混凝土对拱部突泥空腔进行分层回填至拱顶以上 5 m,并施作超前管棚预支护;b. 突泥段开挖时采用 I18 钢架进行加强支护,间距 0.5 m 一榀;c. 对隧道结构进行加强,考虑到该溶腔顶部 100 m 位置为大型物探低阻异常区,隧道结构按控制水量排放时可承担 1 MPa 水压进行加强;d. 在回填层外预留观测孔,在施工期间通过观测孔观测水量水压,在二次衬砌施作后对观测孔采用回填混凝土封堵。

3.3 DK245 + 260 岩溶(富水充填溶腔)

2008 年 1 月,施工至 DK245 + 256 时探遇溶腔,经探测溶洞拱顶以上主要发育里程为 DK245 + 257 ~ + 268,充填物主要为软 - 硬塑、流塑状黏土,主要发育在隧道左侧上部,隧底以下溶洞主要发育里程为 DK245 + 257 ~ + 270,溶洞充填物主要为软塑状黏土(旱季),最深发育至隧底以下约 21 m,实测最大水量 $1\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ 。预测溶洞最大涌水量 $40\ 500\text{ m}^3/\text{d}$,最高水头 100 m。

对该溶腔采用如下处理方案。a. 注浆堵水加固:根据溶腔充填物性质,进行局部注浆堵水加固;b. 超前预支护:溶腔段采用超前管棚预支护,开挖时溶腔段初期支护进行加强;c. 隧底处理:隧底采用桩基承台跨越。

3.4 DK245 + 526,617 岩溶(高压富水充填溶腔)

2008 年 7 月 21 日,云雾山隧道出口 DK245 + 645 掌子面超前探孔时发生突水涌砂,造成 I, II 线发生淹井。通过超前探测确定溶腔在隧道范围发

育 16 ~ 48 m,充填物含粉细砂及黏土,局部为中砂,溶腔水主要受大气降雨补给,推测最大涌水量 $10.8 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,实测最大水压 0.84 MPa。超前钻孔曾发生大量突水、涌砂,单孔涌水量约 $560\text{ m}^3/\text{h}$,喷水距离约 20 m,造成 I 线淹井 935 m,II 线淹井 553 m。图 5 为“526,617”溶洞群平面图。

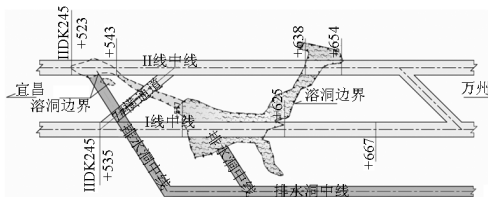


图 5 “526,617”溶洞群平面图

Fig. 5 “526,617” caverns plan

3.4.1 溶腔特征分析

“526,617”溶腔为高压富水充填溶腔,处理难度极大,为确保施工方案的正确和施工安全,在制定方案时,通过以下 3 个方面对溶腔特征进行分析。

1) 溶腔介质特征:对钻孔中涌出的砂进行取样,然后进行筛分。图 6 为云雾山隧道“526,617 溶腔”涌出砂的筛分曲线。根据筛分试验绘制砂样筛分曲线,由砂样筛分曲线可以计算出:砂样粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量为 97.8%,粒径大于 0.25 mm 的颗粒含量为 76.9%,粒径大于 0.5 mm 的颗粒含量为 20.6%。根据砂土分类标准,该砂为中砂。针对高压富水中砂地层,采用普通水泥进行注浆,很难达到满意的注浆堵水效果,即使采用超细水泥进行注浆,技术要求很高,注浆堵水难度仍然很大。

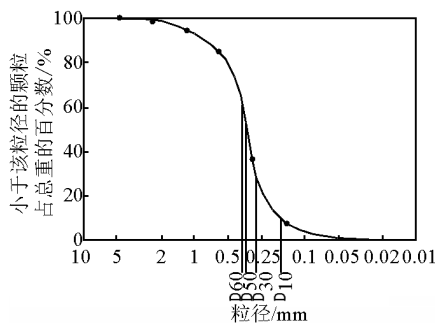


图 6 涌出砂的筛分曲线

Fig. 6 Sand sieve curve

2) 溶腔水文特征:为了进一步摸清溶腔水压力、涌水量和地表降雨量之间的相关性,确定溶腔处理方案,在溶腔附近横通道利用超前探孔进行溶腔放水试验。放水试验自 2008 年 9 月 26 日开始到 10 月 7 日结束,共进行 12 天。试验过程中记录降雨量、溶腔水

压力,以及放水速度和放水量。图7为云雾山隧道“617”溶腔放水数据分析图。由溶腔放水试验数据分析,可以得出以下结论:钻孔排水能力、溶腔水压力与地表降雨有一定的响应关系。同时,由于溶腔内存在充填介质,造成钻孔出现堵塞,从而影响排水能力,钻孔排水对水压力影响不大。因此,通过少量钻孔进行排水,短时间内很难将水压力降低。

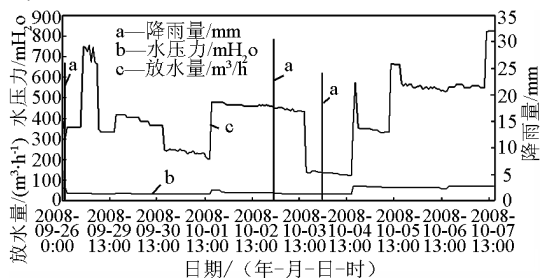


图7 放水数据分析图

Fig. 7 Drainage test data analysis

3)溶腔环境特征:云雾山隧道“526,617”溶腔段围岩为寒武系下统天河板组灰色中薄层泥质灰岩夹灰绿色页岩、细晶灰质白云岩,节理发育,岩体处于较破碎-破碎之间。该段隧道埋深约750 m,地表遍布岩溶洼地、漏斗及落水洞,位于白果坝背斜核部。“526,617”溶腔段为EH-4物探异常区,该区段发育F断层(白果坝大断层),断层先期为纵张,后期为压扭性,在隧道区表现为逆断层。溶腔水主要为地表岩溶洼地汇水,暗河系统对溶腔不形成水力补给。

3.4.2 “526,617”溶腔处理

根据溶洞规模、充填、水量及水压情况,为充分利用枯水季节的有利条件,按照“排水降压、稳步掘进、综合治理”的原则进行处理:

1)排水降压:ⅡDK245+525掌子面直接爆破揭示溶洞(见图8),经过7 h排放,“+617”溶洞群水压降至零(见图9),并在掌子面上方形形成空洞。图10~图13为掌子面溶洞的一些情况。

2)稳步掘进:释能降压后,消除了溶洞群突水、突泥的安全隐患,在各项安全保障措施下,对各掌子面前方溶洞直接爆破揭示,逐段稳步掘进。

3)隧道结构:采用加强型复合式衬砌,开挖轮廓线外空洞部分回填2~3 m厚混凝土形成护拱。

4)排水洞:为保证隧道运营安全,在线路右侧30 m设长约2.5 km的排水洞,在隧道拱部截排“+617”溶洞群岩溶水,以保证运营安全。

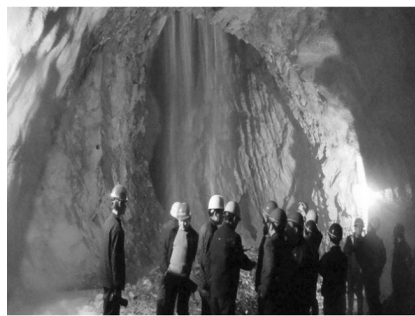


图8 ⅡDK245+525爆破后掌子面情况

Fig. 8 ⅡDK245+525 situation after the bursting of tunnel face

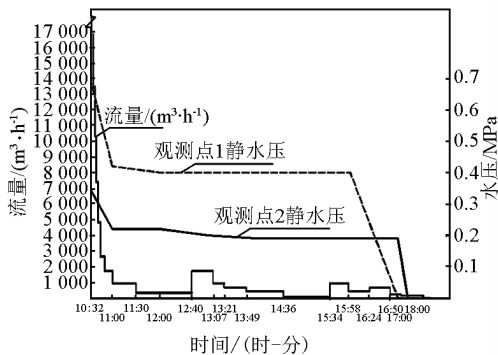


图9 爆破后“+617”溶洞群水压降至零

Fig. 9 “+617” cave base pressure dropped to zero after the blast



图10 掌子面揭示溶洞

Fig. 10 Revealed cave from tunnel face



图11 掌子面涌泥砂、块石

Fig. 11 Burst silt, rock from tunnel face



图 12 掌子面涌泥砂

Fig. 12 Burst silt from tunnel face

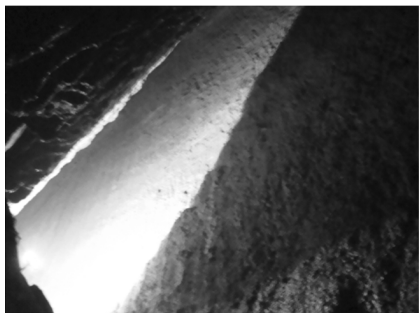


图 13 II 线揭示溶洞(高陡狭长裂隙)

Fig. 13 Revealed cave from II - line
(high and steep narrow fissure)

3.5 DK247 + 242 岩溶(过水岩溶管道)

2007 年 4 月, II DK247 + 232 ~ + 240 开挖时在边墙及隧底揭示一条 35 ~ 80 cm 宽的斜向贯通溶槽, 隧底溶槽流水面距轨顶高度约 2.5 m。水质清澈, 暴雨期间涌水量为 15 000 ~ 18 000 m³/d, 基本无水压, 裂隙与地表降水联系较为密切。溶槽外周边基岩较完整, 溶槽出水向右侧向下排泄, 施工时在隧底预留原过水通道并对隧道结构进行加强。2008 年 4 月 19 日恩施地区降雨量 134 mm, 降雨开始 2 h 后, 该段(该处埋深 450 m)二次衬砌表面出现射水现象, 对应 I 线里程水沟底出现小股冒水, 8 h 透过二次衬砌累计出水 15 400 m³, 造成 II 线掌子面淹井 420 m。据统计此次突水造成该段二次衬砌拱腰至边墙部位出现 20 条裂缝, 裂缝长 0.5 ~ 7.3 m, 呈密闭状, 裂缝均残留水痕, 此后又发生多次强降雨, 其中 2008 年 7 月 21 - 22 日降雨量 134 mm, 溶槽突水涌入隧道内 15 980 m³。

通过 II DK247 + 232 ~ + 240 段溶槽地质补勘, 溶槽周围基岩完整, 无其他岩溶异常。经过一年多水文观测及分析, 溶槽岩溶水对地表降水(尤其是大到暴雨或间断性暴雨)反应敏感, 一般降雨后 0.83 ~ 6 h 水量增加; 暴雨或特大暴雨期间, 降雨不到 1 h 溶槽水量即显著增大; 降雨量达 57 mm 以上

时(2008 年 5 月 27 日数据), 溶槽自身即不能及时排泄增加的水量, 短时间内会蓄高水压, 岩溶水衰减时间与降雨时间有关。鉴于 II DK247 + 232 ~ + 240 段溶槽水压在地表强降雨期间会短时间内蓄高, 存在突涌水的风险, 为保证施工及运营安全, 在线路右侧增设排水洞, 将溶槽突涌水汇集后排至地表径流小溪沟内。

3.6 DK247 + 562 岩溶(贫水大型充填溶腔)

2005 年 10 月 13 日, 隧道开挖至 DK247 + 562 时揭示大规模充填溶洞, 溶洞发育在 I 线 117 m, II 线 137 m, 向线路左侧发育, 宽度大于 60 m, 隧顶以上发育高度大于 100 m, 隧底以下发育深度大于 80 m。溶洞充填物为块石土、黏土, 隧底充填物基本承载力 150 ~ 300 kPa, 块石土层中存在较多缝隙, 具有架空现象; 在迂回导坑附近发育一处岩溶漏斗, 洞径 3 ~ 10 m, 空腔, 周边为基岩, 斜向右下发育, 深度大于 30 m。

溶洞位于垂直渗流带, 主要承接过路水, 过路水可通过各种渠道渗入地下。受施工排水影响, 2008 年 7 月 21 日, 降特大暴雨(95.5 mm)后, 岩溶漏斗和隧底钻孔均出现向外冒水, 说明长期向岩溶漏斗排水, 已部分改变了最初的排水通道, 溶洞局部已堵塞, 造成地表水下渗积聚的水流不能及时排畅, 导致水位急剧上升。图 14 至图 16 分别为“+562”溶洞平面投影图、典型横断面和隧底空溶洞图。图 17 为隧底注浆孔吹风情况, 图 18 为溶洞段隧底钻孔冒水情况。

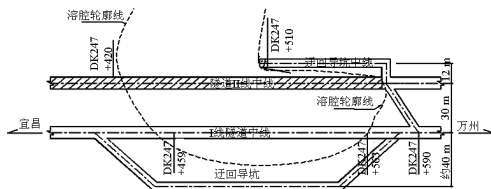


图 14 “+562”溶洞平面投影图

Fig. 14 “+562” cave plan

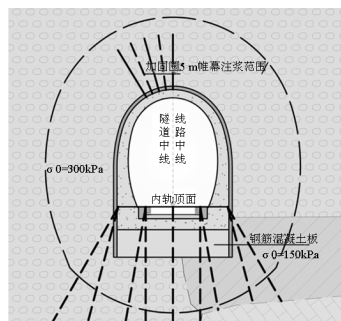


图 15 “+562”溶洞典型横断面

Fig. 15 “+562” cave cross - section



图 16 “+562”溶洞隧底空溶洞
Fig. 16 The empty cave of “+562” cave tunnel bottom



图 18 溶洞段隧底钻孔冒水
Fig. 18 Confined water from tunnel bottom



图 17 隧底注浆孔吹风
Fig. 17 Strong wind from tunnel bottom

根据溶洞发育及充填情况,为保证施工、运营安全,按照“迂导绕行、注浆加固、综合治理”的原则处理。

a. 迂导绕行:为解决施工受阻,在I线右侧30 m位置设长 224 m 的迂回导坑;b. 注浆加固:鉴于充填物发育范围广、自稳能力差,采用超前注浆预加固、超前长管棚预支护措施;c. 隧底处理:隧底溶洞发育深度小于 10 m 段,采用补充注浆加固。隧底溶洞发育深度大于 10 m 段,隧底增设 2.0 m 厚钢筋混凝土板,并对板下 10 m 范围内溶洞充填物注浆加固,控制隧底纵横向差异沉降,隧道采用加强型复合式衬砌。

3.7 岩溶分类及治理对策

1)岩溶分类:根据岩溶发育规模、水量、水压力特征,可将施工中所揭示的 11 个岩溶进行分类(见图 19)。

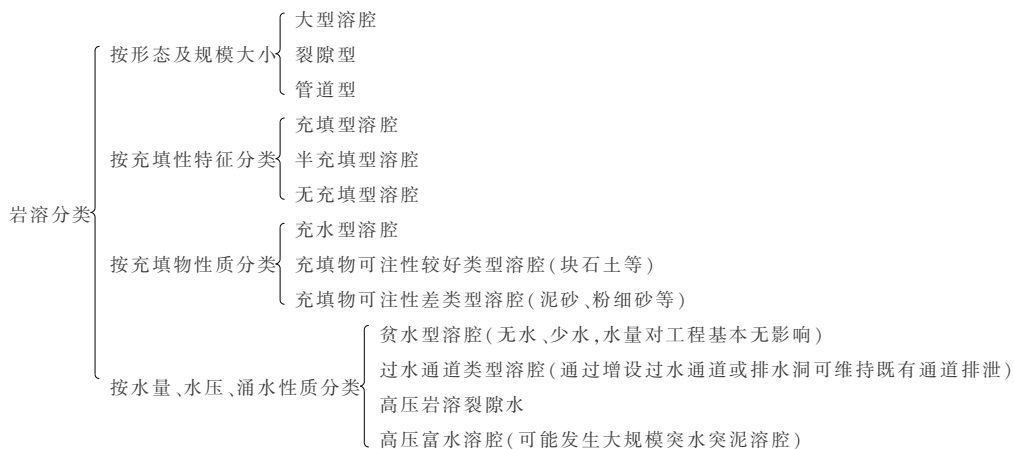


图 19 云雾山隧道岩溶分类

Fig. 19 Yunwushan Tunnel caverns classification

2)岩溶、岩溶水治理对策:根据揭示的岩溶,针对不同类型的岩溶采用有针对性的治理对策(见表 1)。

表 1 云雾山隧道岩溶治理对策

Table 1 Yunwushan Tunnel caverns treatment countermeasures

岩溶类型	溶腔名称	治理对策
无填充岩溶大厅	DK242 + 852 岩溶	a. 隧底采用跨越结构(桩基承台、桩基托梁);b. 隧道结构加强
含水充填岩溶管道	DK244 + 907 岩溶	a. 回填岩溶管道;b. 超前支护加强;c. 隧道结构加强
富水充填溶腔	DK245 + 260 岩溶	a. 超前注浆堵水加固;b. 隧道结构加强

岩溶类型	溶腔名称	治理对策
高压富水充填溶腔	DK245 + 526, 617 岩溶	a. 直接揭示;b. 设置排水洞引排水;c. 隧道结构加强
过水岩溶管道	DK247 + 242 岩溶	a. 设置排水洞引排水;b. 隧道结构加强
贫水大型充填溶腔	DK247 + 562 岩溶	a. 超前注浆加固;b. 超前支护加强;c. 隧道结构加强

4 岩溶发育特征

在隧道区段内,共揭示对隧道工程施工产生影响的岩溶 11 处,其中规模较大,处理周期在 3 个月

以上的岩溶 6 处。平均岩溶间距不到 600 m,岩溶发育频度高。针对揭示的 6 处大型岩溶,从岩溶发育规模、水量、水压力等方面进行分析统计,情况如表 2。

表 2 云雾山隧道岩溶发育特征表
Table 2 Developmental characteristics of cavern

溶腔名称及岩溶类型	影响隧道范围	水量水压力特征	地质背景
DK242 + 852 岩溶 (无充填岩溶大厅)	a. 影响线路纵向长度约 40 m; b. I, II 线均发育, I 线规模较 II 线大;c. 施工时通过横洞行	为古暗河通道,位于地下水位之上,为过水廊道,主要承接过路水,并经溶腔大厅向底部岩溶管道排泄,实测水量约 100 ~ 150 m ³ /h,水压力为零	位于白果坝背斜 SE 翼斜坡区,地层为寒武系光竹岭组;隧道标高位于岩溶发育垂直渗流带内
DK244 + 907 岩溶 (含水充填岩溶管道)	a. 影响线路纵向长度约 10 m; b. I 线发育, II 线无岩溶异常	为一充填岩溶管道,隧道开挖揭示为岩溶管道底部,在隧道顶以上 50 m 存在过水通道。实测水量约 150 ~ 420 m ³ /h,预测水头高度约 100 m	刚进入白果坝背斜核部,地层为寒武系天河板组
DK245 + 260 岩溶 (富水充填溶腔)	a. 影响线路纵向长度约 15 m; b. I, II 线均发育,但 II 线仅发育局部岩溶裂隙	实测最大水量 1 000 m ³ /h;预测最高水头 100 m	白果坝背斜核部,地层为寒武系天河板组
DK245 + 526, 617 岩溶 (高压富水充填溶腔)	a. 影响线路纵向长度约 80 m; b. I, II 线均发育大规模岩溶; c. 施工时通过迂回导坑绕行,迂回导坑未探遇岩溶	实测最大水量 5 000 m ³ /h;实测水压 0.84 MPa	a. 白果坝背斜核部,地层为寒武系天河板组;b. 白果坝断裂;c. 构造节理、裂隙发育
DK247 + 242 岩溶 (过水岩溶管道)	a. 影响线路纵向长度约 10 m; b. I 线发育, II 线无岩溶异常	实测最大水量 1 500 m ³ /h;预测排水不畅时水头高度约 200 m	a. 白果坝背斜 NW 翼,地层为寒武系耗子沱群;b. 岩溶发育程度高,形成较大管道流,且与地表连通性好
DK247 + 562 岩溶 (贫水大型充填溶腔)	a. 影响线路纵向长度约 100 m; b. I, II 线均发育大规模岩溶; c. 施工时通过迂回导坑绕行,迂回导坑仅局部探遇岩溶	平时基本无水,大暴雨期间存在返水、渗水现象	a. 白果坝背斜 NW 翼,地层为寒武系耗子沱群;b. 隧顶以上发育高度大于 100 m,隧底以下发育深度大于 80 m; c. 溶洞充填物为块石土、黏土

云雾山隧道岩溶发育具有以下显著特征:

1) 褶皱对岩溶水发育的影响明显。隧道斜穿白果坝背斜,白果坝背斜长约 40 km,宽 10 km,轴向约 N45°E,核部为寒武系地层,两侧由奥陶系—三叠系地层(隧道洞身穿越寒武系、奥陶系),为典型的背斜核部汇集地下水,两翼分流分散排泄的水动力模式。从揭示的岩溶显示,核部岩溶(DK244 + 907 岩溶、DK245 + 260 岩溶、DK245 + 526, 617 岩溶)水量大,水压力高,两翼岩溶(DK242 + 852 岩溶、DK247 + 562 岩溶)水量小,基本无水压;但值得注意的是 DK247 + 242 过水岩溶管道,该岩溶位于白

果坝背斜 NW 翼,因该段地表岩溶漏斗发育,形成与地表连通性好的管道流,从而引起短期水流排泄不畅,聚集高压水头。

2) 张性—压扭性断裂、节理的存在加剧背斜核部岩溶发育^[3]。白果坝背斜核部发育北东向的二次纵张断裂—白果坝断裂,白果坝断裂先期为纵张,后期为压扭性,张性断裂张裂程度大,断裂面粗糙不平,为岩溶水的有利通道;背斜核部岩层中 10°N—15°E 与 35°N~60°W 向两组构造节理、裂隙发育,并在核部交汇。以上不利因素的综合,使背斜核部岩溶(DK245 + 526, 617 岩溶)发育强烈。

3) 岩溶的可绕避性。云雾山 6 处规模较大的岩溶中, I, II 线(线间距为 30 m, 隧道净距约 22 m) 只有一条线发育岩溶, 另一条线无岩溶异常的有 3 处, I, II 线岩溶同时发育的有 3 处, 但均通过迂回导坑(或横洞)进行了绕避, 解决了向前掘进工作面

5 结语

1) 在长大岩溶隧道施工中, 要根据超前地质预测预报分析隧道探遇溶腔的规模、充填介质、水量水压, 更要认真分析宏观工程地质、水文地质背景, 做好水文观测工作, 在遇到类似 DK245 + 526, 617 大型高压富水充填溶腔时, 要通过对溶腔特征的分析, 科学比选决策施工方案, 确保施工安全和质量。

2) 岩溶隧道施工过程中, 一定要加强超前地质预测预报, 规避施工风险。综合利用有效的超前预报手段(云雾山隧道结合宜万线的实际, 采用 TSP, 地质雷达、地质素描、长距离超前钻孔、短距离超前探孔), 同时认识到各种超前预报手段的优势和不足, 综合分析评价确定溶腔对隧道施工的影响。

3) 充分认识和利用岩溶的可绕避性, 合理进行

施工组织安排。云雾山隧道在探遇大规模溶腔时, 坚持两条腿走路: 一是通过超前探测探清溶腔规模和溶腔对隧道施工的影响, 确定施工方案; 二是综合分析地质情况, 通过超前探孔确定迂回方案, 及时调整施工组织, 确保工期目标的实现。

4) 长大隧道反坡施工时, 应做好反坡排水、应急预警系统。DK245 + 526, 617 岩溶出口(反坡)在超前钻孔时仅钻孔出水(单孔水量最大时达 800 m³/h)造成两次淹井, 充分说明了在反坡施工探遇岩溶异常时, 高压富水溶腔对隧道施工的危害, 在超前钻孔时, 应严格按照要求设置闸阀, 防止因钻孔出水造成淹井。

5) 充分认识岩溶水特征, 合理设置排水洞, 确保施工及运营安全。

参考文献

- [1] 铁道第四勘察设计院. 宜万铁路宜昌至万州段新建工程施工图—云雾山隧道设计图[R]. 武汉, 2004, 12
- [2] 铁道第四勘察设计院. 宜万线长大岩溶隧道专项地质勘察—云雾山隧道工程地质勘察报告[R]. 武汉, 2004. 3
- [3] 刘招伟, 张民庆, 王树仁. 岩溶隧道灾变预测与处治技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007

The Karst development characteristics and countermeasure of Yunwushan Tunnel

Xue Bin^{1,2}, Zhang Mingqing²

(1. China Railway 4th Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China;

2. Yichang-Wanzhou Railway Construction Headquarters of the Ministry of Railways, Enshi, Hubei 445000, China)

[Abstract] The revealed karst, karst features and treatment measures are described in detail, and different types of karst-specific countermeasures are put up. At the same time, it is stressed that in the encounter of large-scale high-pressure water-rich cavity filling, macro-scopical analysis and understanding of the geological background governs in determining the treatment schedule. The by-pass schedule pertaining to large-scale karst cavities during construction is put up, and relatively construction organization is modified to ensure the project term target. All these can provide reference for the construction of the long karst tunnels.

[Key words] Yunwushan Tunnel; Karst; development characteristics; countermeasure