

龙麟宫隧道穿越大型溶腔处理技术

黄鸿健, 薛 斌

(铁道部宜万铁路建设指挥部, 湖北恩施 445000)

[摘要] 龙麟宫隧道是宜万铁路 26 座 II 级风险隧道之一, 全隧洞身位于灰岩地层, 隧道洞身标高穿越垂直渗流带。隧道施工中揭示多处大型溶腔, 介绍了隧道揭示的岩溶及发育特征, 对两个特大型岩溶处理方案进行论述; DK232 + 467 大型溶腔是中国铁路建设史上遇到的最大体积空腔, 溶腔防护及施工难度极大, 采用路基填筑 + 明洞结构通过; DK231 + 796 溶腔大跨岩顶顶板处理难度大、施工风险高, 创新地采用了立柱支顶防护进行顶板加固。两个特大型溶腔的成功处理, 可为类似工程的处理开拓思路, 积累经验。

[关键词] 龙麟宫隧道; 特大型溶腔; 处理工艺

[中图分类号] U459 [文献标识码] A [文章编号] 1009 - 1742(2009)12 - 0035 - 06

1 工程概况

龙麟宫隧道是宜万铁路 26 座 II 级风险隧道之一, 位于恩施市白果坝, 为单面上坡的双线隧道, 全长 3 421 m, 为典型傍山隧道(见图 1), 最大海拔高度为 938 m, 相对高差约 400 m, 隧道洞身最大埋深 328 m^[1]。

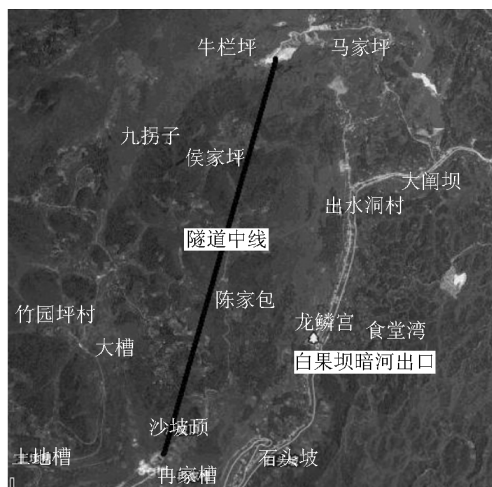


图 1 龙麟宫隧道平面图

Fig. 1 Plan of Longlin Temple Tunnel

隧道位于白果坝背斜南东翼, 洞身穿越寒武系

上统灰岩、白云质灰岩地层, 标高位于垂直渗流带内。白果坝暗河为该区的最低排泄基准面, 暗河出口位于龙麟宫风景区出水洞(标高为 450 m), 根据暗河发育方向分析, 推测暗河在 DK232 附近下穿隧道区(隧道路肩标高为 658.3 m, 推测暗河底标高为 509 m), 暗河系统位于隧道下方 140 m 左右。

2 隧道岩溶揭示统计及岩溶发育特征

隧道共揭示对隧道工程处理产生影响的大型岩溶 10 处, 如图 2、表 1 所示。

揭示的大型岩溶大部分位于前期勘探的物探异常区(EH-4), 综合宜万铁路岩溶隧道统计, 地表物探能宏观的判断岩溶异常, 施工过程中通过超前钻孔和揭示爆破(空腔、半充填无水溶腔), 锁定溶腔规模和对隧道工程的影响。

揭示溶腔以空腔、半充填溶腔为主, 溶腔为无水(或少水)状态, 不聚集水压, 个别溶腔为古暗河通道, 雨季承接过路水。

施工过程中, 为确保施工工期, 充分利用岩溶的可绕避性, 增加横洞 2 座, 迂回绕行导坑 2 处。

3 隧道穿越大型溶洞处理技术

DK231 + 796, DK232 + 467 为两处特大型岩溶

[收稿日期] 2009 - 10 - 29

[作者简介] 黄鸿健(1962 -), 男, 山东蓬莱市人, 教授级高级工程师, 主要从事铁路工程施工与管理; E-mail: hhj201@sohu.com

大厅,具体处理方案如下:

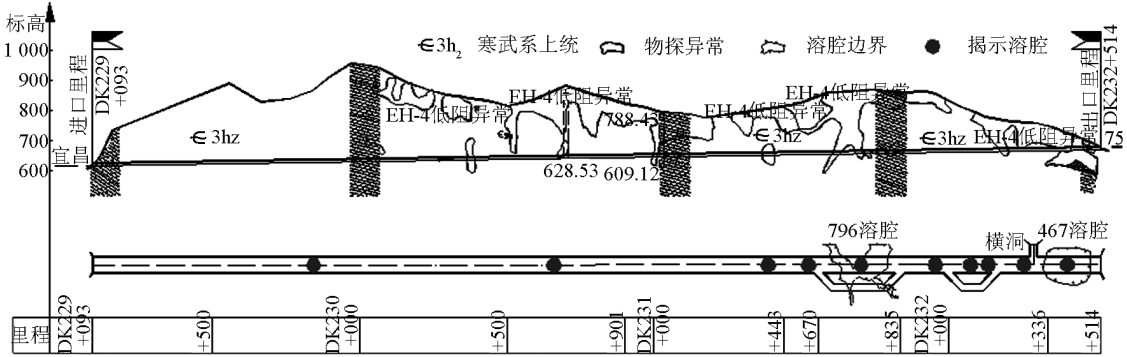


图2 龙麟宫隧道工程地质及岩溶分布图

Fig. 2 Engineering geology and karst distribution of Longlin Temple Tunnel

表1 隧道揭示岩溶统计表

Table 1 Reveals the karst tunnel tables

岩溶发育规模及对工程影响				
岩溶段落	充填情况	水文情况	岩溶发育简述	处理措施
DK229 + 725 ~ + 738	空腔	古暗河通道、雨季承接过路水	与隧道正交,溶腔顶板位于隧道拱腰附近,隧底无发育	隧道结构加强
DK230 + 605 ~ + 630	空腔	无水	空腔跨度约 4 m,与隧道斜交,发育至隧顶以上 20 m,隧底以下 30 m	隧底采用板梁跨越;隧顶采用护拱加强
DK231 + 424 ~ + 459	充填	雨季水量达 200 m ³ /h	掌子面约 1/3 范围充填物为黏土,局部夹块石	超前管棚支护;隧道结构加强
DK231 + 620 ~ + 640	空腔	无水	空腔跨度约 10 m,与线路斜交,发育在隧道拱腰至隧底以下约 20 m	板梁跨越
DK231 + 796	半充填	雨季承接过路水	特大型溶腔	顶板防护、隧底加固、结构加强
DK231 + 955 ~ DK232 + 020	半充填	古暗河通道、雨季承接过路水	发育在隧底,为半充填溶腔,充填物为黏土,局部夹块石	隧底回填注浆加固
DK232 + 030 ~ + 140	半充填	古暗河通道、雨季承接过路水	沿线路纵向 110 m 范围发育 7 个串珠状半充填溶腔,最高至隧顶以上约 30 m,最低至隧底以下可探测深度大于 50 m	迂回绕行;隧底回填注浆加固,板梁跨越;隧顶采用护拱加强
DK232 + 220 ~ + 180	充填	无水	局部夹充填溶槽(溶槽宽约 2 m),充填物为黏土。	超前管棚支护;隧道结构加强
DK232 + 290 ~ + 326	空腔	无水	溶腔跨度约 10 m,与线路斜交,溶腔顶板位于拱顶以上约 20 m,发育至隧底以下约 15 m	隧底采用板梁跨越;隧顶采用护拱加强
DK232 + 467	空腔	雨季承接过路水	特大型溶腔	路基填筑 + 明洞结构

3.1 DK232 + 467 溶腔处理

3.1.1 溶腔发育规模及工程地质、水文地质条件

2005年6月4日,隧道出口施工至DK232+467时,超前钻探探遇空腔,2005年6月18日爆

破揭示特大型溶洞,图3为溶腔仰视图。6月19日顶部覆层(厚度约8m)坍塌。溶腔发育里程DK232+335.6~+506.8,其长轴与线路平行,底部轴长171m,横向宽度65m,溶腔最底部距路肩高度为



图3 溶腔仰视图
Fig.3 Caverns upward view

溶腔处地层为寒武系浅灰色中厚—厚层状灰岩、白云质灰岩,局部夹薄层状泥质白云岩。溶腔构造节理和溶蚀裂隙发育,溶腔顶部、侧壁岩体破碎,洞顶及侧壁坍塌掉块现象严重,特别是雨季掉块频繁,所掉块体最大尺寸为 3 m × 4 m × 5 m。溶腔塌塌物堆积于溶腔底部,堆积物块径 0.5 ~ 5.0 m,局部有少量黏土充填,堆积最大厚度 30 ~ 40 m。

白果坝暗河出口高程为 450 m,为区域性最低排泄基准面。DK232 + 467 溶腔底部高程为 590 ~ 612.77 m,位于地下水位之上,为古暗河通道,主要承接大气降水入渗所形成的过路水,最后汇入白果坝暗河系统排泄。50 mm 暴雨汇入量估算为 1 851 ~ 3 300 m³/d,强降雨时估算为 10 000 m³/d。

3.1.2 溶腔处理方案

在揭示溶腔后,进行了多方案的比选,比选方案见表 2:

表 2 比选方案

Table 2 Comparison and selection program

比选方案	主要工程措施	方案优缺点
路基方案	溶腔安全防护;路肩线以上分级刷坡防护;路基填筑及基底注浆加固;明洞结构	优点:溶腔安全防护施工期间安全性相对较高;通过边坡防护和延长明洞,可有效防护危岩落石,确保运营安全 缺点:该隧道为无碴轨道,路基填筑方案可能不满足沉降控制要求

比选方案	主要工程措施	方案优缺点
桥梁方案	溶腔安全防护;路肩线以上分级刷坡防护,路肩线以下通过填筑或支顶防护;桥梁跨越结构;桥梁防护措施(设置拱罩防护)	优点:可满足无碴轨道沉降控制要求 缺点:路肩线以下安全防护工程量较大,施工期间风险高;桥梁防护措施施工困难
改线方案	线路改线,绕避溶腔;对改线影响范围已建工程废弃后重建	优点:可直接绕避溶腔 缺点:线位位于傍山侧,根据勘探情况,岩溶强发育,新线位仍可能遭遇大规模溶腔;废弃工程量较大,废弃重建工程可能遭遇大规模溶腔

根据揭示的溶洞形态、规模及工程地质条件,综合考虑隧道施工及运营安全,采用路基填筑通过(溶腔段调整为有碴轨道)。

1)增设辅助坑道。为解决隧道出口掌子面受阻的问题,在线路 DK232 + 300 左侧设置 1 号横洞绕过溶腔后继续掘进,横洞长 190 m;为方便大型机械进入溶腔作业,在 DK232 + 440 隧道左侧设置 2 号横洞进入溶腔中、底部(距溶腔底约 20 m),横洞长 91 m,该横洞同时作为溶腔的排水通道。

2)溶腔防护及天窗加固。溶腔上部探头部分横向自路肩设计高程以上、纵向自隧道拱顶标高以上依 20 m 一级自上而下清除危石,并采用自钻式锚杆加固,进行喷锚防护。溶腔天窗四周在喷锚防护后设置截水沟,并设置永久性护栏。

3)路基填筑。a. 堆积体加固:溶腔防护过程中,清除的危石及刷坡体自然堆积在溶腔底部,如图 4 所示(堆积厚度约 2 m),因溶腔上小下大,溶腔壁节理裂隙发育,危岩林立,进入溶腔清除堆积体施工风险极大,对松散堆积体推平、回填、碾压后设置碎石桩加固。b. 分层填筑:堆积体处理完成后,对溶腔采用分层填筑、强夯碾压。c. 路基整体填筑完成后,对填筑体进行注浆加固。溶腔处理典型横断面见图 5。

4)隧道口接长明洞:DK232 + 402 ~ + 420 段采用明洞衬砌,考虑路基填筑引起的工后沉降,隧道内轮廓能满足 20 cm 的均匀沉降,隧底增设 0.3 m 厚 C20 混凝土垫层兼作止浆板,进行注浆加固。

5) 施工顺序: 溶腔周边开挖一边坡防护—天窗外护栏、截水沟—危岩清理—隧底堆积体处理—封层填筑—路基、隧道结构。

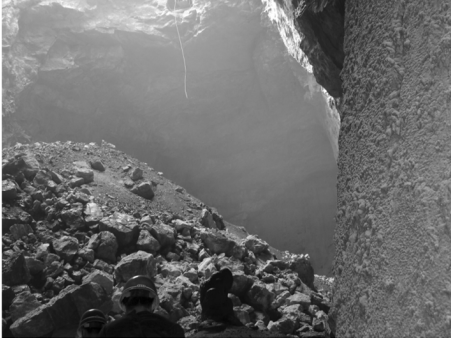


图4 溶腔底部堆积体
Fig. 4 Accumulation of body cavity at the bottom of dissolved

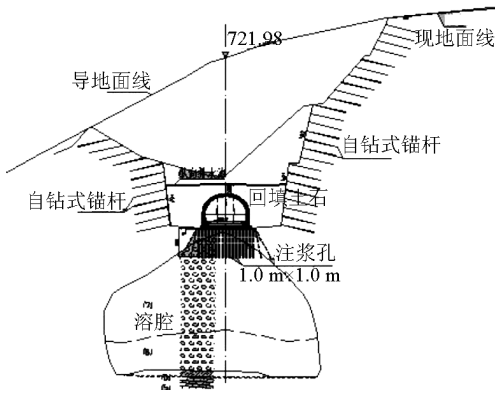


图5 溶腔处理典型横断面图
Fig. 5 Typical cross sections dealing with solvent cavity

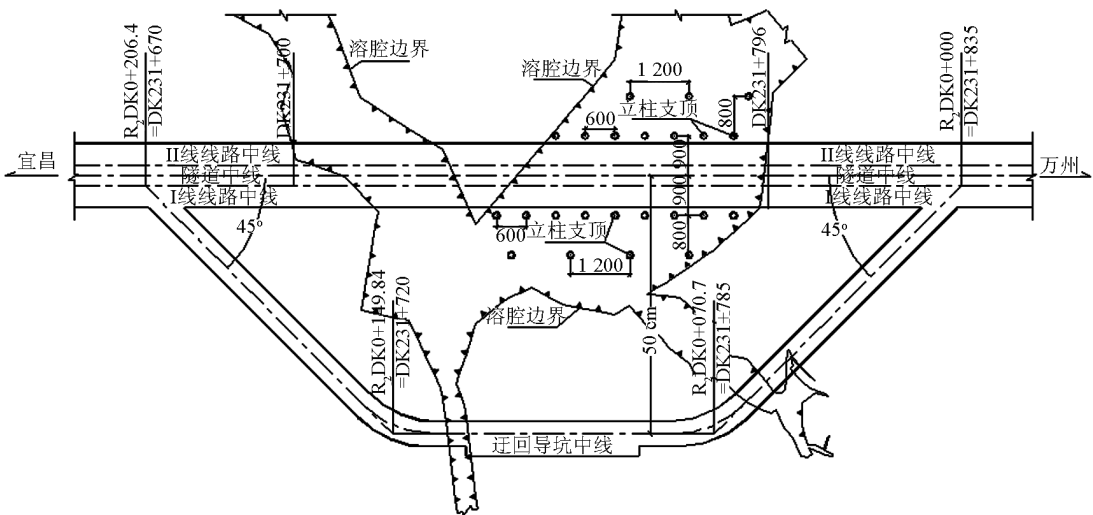


图6 DK231 + 796 大型溶腔平面图
Fig. 6 Large caverns plan of DK231 + 796

3.2 DK231 + 796 溶腔处理

3.2.1 溶腔发育规模及工程地质、水文地质条件

掌子面掘进 DK231 + 796 处, 揭示一特大型溶腔(见图 6), 溶腔纵向发展约 100 m, 横向发展约 150 m, 溶腔顶板(见图 7)在轨面以上 10 ~ 20 m, 溶腔底板在轨面以下 12 ~ 20 m。

溶腔地层为灰岩、白云质灰岩局部夹薄层泥质白云岩, 中厚—厚层, 节理较发育。开挖揭露的灰岩层厚为 50 ~ 80 cm, 泥质白云岩软弱层厚度为 10 ~ 20 cm。由于溶腔顶部岩层倾角较小, 发育软弱夹层, 受节理裂隙较发育以及施工震动等原因影响, 溶腔顶部不稳定, 有大块岩石沿软弱层面剥落(见图 8)。DK231 + 705 ~ + 735 段隧底以下 3.0 ~ 8.2 m 为施工回填隧道弃碴, 呈松散状; 以下为施工前溶腔坍塌形成弃碴, 厚约 6 ~ 14.4 m。DK231 + 735 ~ + 800 段隧底以下 0.5 ~ 2.4 m 为隧道弃碴, 以下 2.2 ~ 6.3 m 为溶腔充填物, 充填黏土夹碎石、块石土, 黏土呈软塑状, 块石土呈松散状, $\sigma_0 = 150$ kPa。

溶腔拱顶局部有滴水、渗水现象, 该溶腔为古暗河通道, 雨季时承接部分过路水, 估算过路水最大流量在 6 000 m³/d 左右。

3.2.2 溶腔处理方案

1) 迂回导坑绕行: 为解决 DK231 + 796 掌子面受阻, 溶腔段采用迂回导坑绕行, 迂回导坑长 206.4 m。

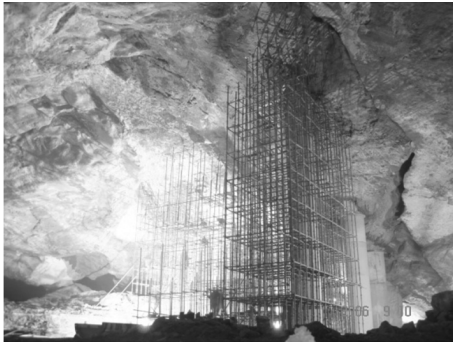


图7 溶腔顶板
Fig.7 Cavern roof



图8 溶腔落石
Fig.8 Falling rock caverns



图9 溶腔大厅立柱支顶
Fig.9 Support pillar of caverns hall roof

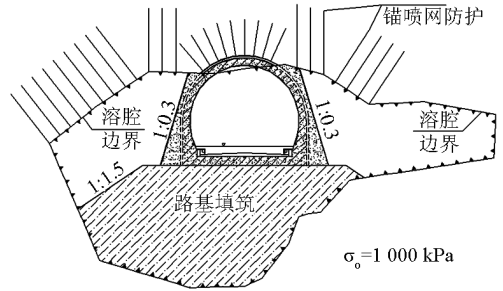


图10 路基填筑段处理典型横断面
Fig.10 Paragraphs dealing with the typical cross section of embankment filling

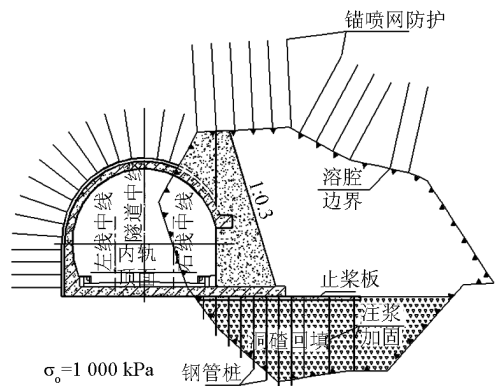


图11 鹰嘴段处理典型横断面
Fig.11 Paragraphs dealing with the typical cross section of olecranon

2) 溶腔防护: a. 采用机械清除溶腔顶部可能塌落的危石, 隧道两侧 8 m 范围以内搭设满堂支架顶至溶腔顶板进行锚喷网防护; b. 立柱支顶: 溶腔大厅段(见图 9, DK231 + 750 ~ + 800) 采用 $\phi 1.4$ m 的立柱支顶, 根据“永临结合”的原则, 隧道每侧设置两排, 靠近隧道两排立柱距隧道中线 9 m, 纵向间距 6 m, 其余立柱根据溶腔顶板稳定情况设置; 立柱采用独立基础, 基础尺寸为 3 m × 3 m × 2 m (长 × 宽 × 高), 采用 C20 混凝土灌注; 立柱采用 C25 钢筋混凝土灌注, 立柱与溶腔顶板间隙采用 M10 水泥砂浆压密, 确保立柱与溶腔顶板密贴。

3) 隧道结构。隧底空腔段 (DK231 + 705 ~ + 735) 采用路基填筑(见图 10) + 整体隧道结构; “鹰嘴”段(见图 11, DK231 + 735 ~ + 755) 为控制隧道结构的不均匀沉降, 右侧隧底钢管桩加固, 上部采用偏压式隧道结构; 大厅段(见图 12, DK231 + 755 ~ + 796) 隧底充填洞渣及深层充填型溶腔采用钢管桩及注浆加固相结合处理措施, 上部采用框架结构支顶。

4 结语

随着我国铁路的发展推进, 岩溶隧道的修建将

大规模开始, 其中有相当比例的岩溶隧道位于垂直渗流带内, 在遭遇大型溶腔(以无水、少水的半充填空腔为主)时, 需要通过方案比选, 科学进行施工组织安排, 确保施工安全和工期目标的实现。龙麟宫隧道在遭遇大型溶腔时采用的工程措施, 为以后类似工程的处理积累了经验。

1) 通过对宜万铁路 EH-4 地表物探异常与实际揭示岩溶的比较, 隧道遭遇的大型溶腔均位于物

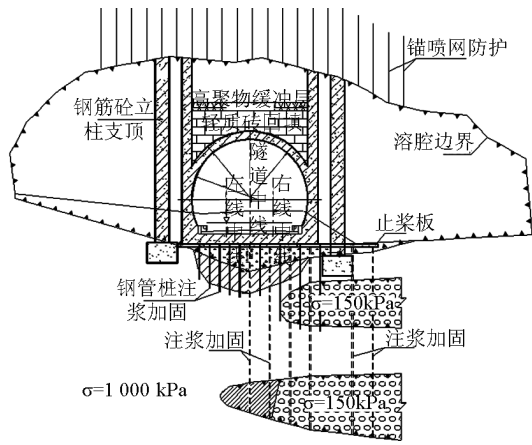


图 12 溶腔大厅段处理典型横断面
Fig. 12 Caverns paragraph dealing with the typical cross section of the hall

探异常区域,因此,在岩溶隧道的勘探过程中,进行沿隧道线路纵向的地表物探是必要的,并通过对地质资料的综合分析,对施工期间的超前地质工作进行指导。

2) 施工期间,对隧道穿越垂直渗流带的超前地质预报应以超前钻孔(非取芯孔)为主,原则上—孔贯通即可,在探遇到溶腔时,根据充填介质的工程地质特性确定加深方案;探遇无水空腔时,原则采用爆破揭示,爆破揭示后做好相关安全防护工作;探遇充填溶腔时,原则上通过增加钻孔数量和长度确定对溶腔影响范围,确定加固方案。

3) 在遭遇大型(特大型)溶腔时,应科学比选方案,确保施工及运营安全。同时结合工期目标,必要时采用迂回绕行开辟工作面,确保工期目标的实现^[2]。

4) 对大跨溶腔大厅顶板的加固,溶腔立柱支顶技术是可行、有效的施工方案,可结合揭示溶腔的具体情况进行推广。

参考文献

- [1] 铁道部宜万铁路建设指挥部. 宜万铁路岩溶隧道修建技术总结资料[M]. 恩施: 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 2009
- [2] 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 processing technology of Longlin Temple Tunnel through a large cavern

Huang Hongjian, Xue Bin

(Yichang-Wanzhou Railway Construction Headquarters of Ministry of Railways, Enshi, Hubei 445000, China)

[Abstract] Longlin Temple Tunnel is one of the 26 risk II tunnels on Yichang-Wanzhou Railway. The whole tunnel locates in limestone strata, and the standard height of the whole tunnel is through a vertical seepage zone. In construction process, several large caverns were revealed, whose karst and development characteristics were introduced, and the processing methods of two super-large karsts were discussed. DK232 + 467 is the biggest cavern in the construction history of China railways, and cavern protection and construction are extremely difficult. Subgrade filling and opencut tunnel were adopted. The large span roof of DK231 + 796 cavern is very difficult to process and its construction risk is high. Supporting columns were creatively used to support cavern roof. The successfully processing experience of the two super-large caverns will provide reference for similar projects.

[Key words] Longlin Temple Tunnel; super-large cavern; processing