

文章编号 1001-8166(2004)增-0340-06

# 渝怀铁路圆梁山隧道桐麻岭背斜东翼岩溶涌水突泥灾害与整治方案比选

蒋良文<sup>1,2</sup>, 易勇进<sup>1,2</sup>, 杨翔<sup>1,2</sup>, 陶伟明<sup>1,2</sup>

(1. 铁道第二勘察设计院 四川 成都 610031;

2. 渝怀铁路圆梁山隧道动态设计组 重庆 409800)

**摘要** 圆梁山隧道是在建铁路重庆至怀化线的关键性控制工程,隧道全长11.068 km,最大埋深约780 m。隧道施工穿越桐麻岭背斜东翼时,遇到了水平循环带岩溶强烈发育地段,该地段岩溶十分发育,且连通性好,加之数次强降雨,DK361+764、DK360+873等段多次突发大规模的涌水突泥砂、块石灾害,造成部分施工机具掩埋损毁,施工掘进严重受阻,蒙受巨大的经济损失,初步分析认为涌水突泥与地下暗河或岩溶泉群的主管道网络发生较为密切的联系,可以直接接受大气降水补给。为了确保隧道施工和运营安全,针对背斜东翼段岩溶发育情况、涌水突泥特征及其降雨影响程度,进行了泄水洞排水、平导排水、封堵和堵排结合4个整治方案比选,最终采用了泄水洞方案;2003年5~9月雨季,背斜地区多次普降(特)大暴雨,DK361+764、DK360+873等地段又再次突发大规模的涌突水(泥、砂、块石),都通过兴修的泄水洞排泄掉了,隧道及其衬砌结构安然无恙,表明采用泄水洞方案整治背斜东翼段的岩溶涌水突泥灾害是正确的选择。

**关键词** 岩溶,水平循环带,涌水突泥,灾害,整治方案,桐麻岭背斜,圆梁山隧道  
中图分类号 P642 文献标识码 A

## 1 隧道地质地貌概况

圆梁山深埋特长隧道是在建铁路重庆至怀化线的关键性控制工程,隧道全长11.068 km,隧道进口位于细沙河东岸的瞻家坝,进口里程DK351+465,路肩设计标高549.16 m,出口位于属麻旺河源头的炭厂河西岸,出口里程DK362+533,路肩设计标高503.74 m。隧道为预留复线条件、平导超前施工的单线人字坡隧道,人字坡顶里程DK355+820,路肩设计标高560.52 m。隧道最大埋深约780 m,对应里程DK353+035,路肩设计标高552.16 m。隧道位于川东鄂西褶皱山地与贵州高原的接壤带,地处武陵山脉腹地,穿越乌江与沅江水系分水岭毛坝—

圆梁山地区,为中、低山深切河谷地貌,地形条件十分困难,相对高差500~800 m,地貌形态明显受构造和岩性控制,具条带状展布特征。地质构造异常复杂,属川黔湘鄂褶皱带之秀山穹褶皱束与黔江凹褶皱束接合部,为燕山期形成的北东35°左右的盖层褶皱带,后期遭受了喜山期北东18°左右的褶皱改造。褶皱带南段呈北北东向,向北渐变为北东—北东东向,因而总体形貌呈向北西凸出的弧形。

隧道穿越的主要地质构造为毛坝向斜和桐麻岭背斜及其伴生或次生断裂等构造,其中DK357+665~DK362+533为寒武系( )、奥陶系(O)以碳酸盐岩沉积建造为主构成的桐麻岭背斜地段,岩性主要为灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩、白云岩夹薄层

收稿日期:2004-04-10

\* 基金项目:铁道部科技发展计划项目(编号:2001G009-A-1)资助。

作者简介:蒋良文(1965-)男,四川仁寿人,高级工程师,主要从事工程地质、地质灾害、岩土工程等勘察设计与研究工作。

E-mail: Teydkyjw@263.net, Teydicjw@263.net

泥、页岩、泥灰岩。桐麻岭背斜轴部通过青山、艮山、胰地坡等,长 60 km,平面形态略呈“S”形延伸,存在 3 个高点,可分为南、中、北等 3 段。隧道穿越背斜地段属桐麻岭背斜北段,南由老鸱山进入,其高点位于胰地坡稍北,呈短轴背斜,沿轴向南、北两端逐渐倾伏,向北于大竹园伸出本区;区内长 11.7 km,轴线为  $N20^{\circ} \sim 30^{\circ} E$ ,两翼倾向东缓( $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ )、西陡( $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$ )。轴面东倾,轴部紧密。短轴背斜南段老鸱山至大洞山轴部被断层破坏。背斜核部出露最老的地层为寒武系中统高台组( $2g$ ),两翼依次为寒武系中统高台组( $2g$ )、平井组( $2p$ )、上统毛田组( $3m$ )、耿家店组( $3g$ )和奥陶系( $O$ )碳酸盐岩为主的地层(图 1);背斜地段发育分布  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_{01}$  等 3 条顺地层走向发育的纵向压性断层,受多期构造演化的强烈影响,其核部呈 M 型的复式背斜,顺层裂隙与横向裂隙强烈发育。背斜轴部成山

(NNE 向延伸),两翼成谷,岩溶地貌十分发育,具有明显的台地特征,即标高 1 100 ~ 1 150 m、950 ~ 1 050 m、700 ~ 800 m 三级台地。标高 1100 ~ 1 150 m 台地有几十厘米厚的残积层及形态不完整的古老洼地,标高 980 ~ 1 050 m 台地两翼均有保存,东翼分布于徐家—杨家盖一线,表现为小型的槽谷、洼地、峰丛或缓坡等,缓坡地带也保存有数十厘米厚的残积粘土,西翼分布于三潭村等,表现为缓坡、小型的槽谷和洼地等,标高 700 ~ 800 m 台地在东西两翼均有规模较大的溶蚀槽谷和峰丛地貌,槽谷内发育串珠状洼地,洼地长轴方向与背斜轴部延伸方向一致,因此,背斜地段存在利于岩溶和岩溶水发育的条件。在施工期间,圆梁山隧道桐麻岭背斜东翼即隧道出口段 DK361+764、DK360+873 地段多次发生大规模涌水突泥砂灾害。

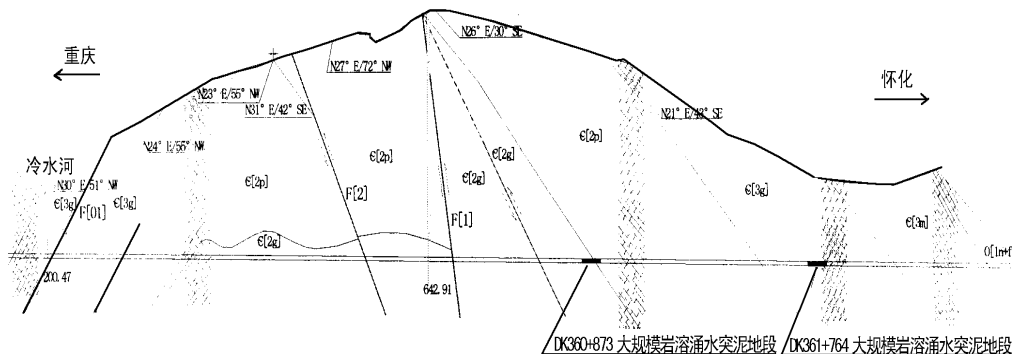


图 1 圆梁山隧道桐麻岭背斜地质剖面示意图(比例 1:10 000)

## 2 桐麻岭背斜段岩溶水补、迳、排特征

背斜东西两翼为志留系非可溶岩所限,四周被地表水系所切割,地表河流切割可溶岩与非可溶岩接触带的标高即为本区岩溶水的排泄基准面,且地表分水岭和地下分水岭基本一致,大气降水为地表水和地下水的唯一补给来源。与背斜轴线走向一致的近南北向的尖山子(标高 1 185.5 m)—圆梁山(1 202 m)—烂板凳(1 156 m)—大洞山(又称大董山,1 151.7 m)—茶园(1 030.4 m)—一线地带为本区背斜东西翼之分水岭。近东西向的老山(标高 1 218.3 m)—尖山子(1 185.5 m)—一线地带为本区背斜西翼之东西向分水岭。该分水岭以南的西翼岩溶水主要以泉或泉群的形式顺层向南纵向排泄为主,局部横向排泄。该分水岭以北的蕨台坝—大洞

山地段大部分背斜西翼岩溶水通过横向裂隙以泉或泉群的形式排泄向冷水河(也称后河)纵向河谷,冷水河的纵向河谷可作为该地段岩溶水局部排泄基准面,该段部分岩溶水和大洞山以北的西翼岩溶水主要以地下暗河或岩溶泉群的形式顺层向北纵向排泄向横向切穿背斜的冷水河谷为主。据调查,在此河谷段内西翼所出露的主要排泄暗河或泉群(如鸦雀口暗河)最低标高为 520 m。

烂板凳—抱木坪—龚家坪一线地带为本区背斜东翼之东西向分水岭。该分水岭以北(抱木坪—黄泥溪—大水井一带及以北)的东翼岩溶水大部分以地下暗河或岩溶泉群的形式顺层向北纵向排泄向冷水河横向河谷,其主要排泄点—头咀暗河出露的标高为 520 m、出露的最低岩溶泉(游鱼泉)标高为 474 m,抱木坪—黄泥溪—大水井地段部分东翼岩溶

水通过横向裂隙以泉或泉群的形式排泄向猪扒河, 泉出露的标高为 650 ~550 m。该分水岭以南(龚家坪—桃子坪—甲洲一带)大气降水渗入地下后, 主要沿纵向层间裂隙和横向裂隙迳流, 向麻旺河排泄, 这可以由麻旺河西岸较为密集的泉点和暗河露头得到证明。由 2 个大泉群组成的娃娃泉群(暗河)是该分水岭以南大部分岩溶水以地下暗河或岩溶泉群的形式主要顺层向南纵向排泄向麻旺河的主要排泄点, 其出露的标高为 430 m 左右, 龚家坪—桃子坪地段部分岩溶水通过横向裂隙以泉或泉群的形式排泄向麻旺河。麻旺河西岸密集的泉点多数出露的标高为 450 ~500 m, 桃子坪东北沟中泉点出露的标高为 600 m 左右。

据调查, 冷水河与猪扒河交汇处标高为 467 m, 在此横穿背斜的河谷地段内所出露的最低岩溶泉(游鱼泉)标高为 474 m, 故认为背斜北端东西翼可能在标高 450 m 以下岩溶基本不发育。背斜西翼蕨台坝—大洞山段, 地下水大部分以向冷水河(又称后河)横向排泄为主, 冷水河标高 660 m 可作为该地段岩溶发育的最低标高。背斜东翼烂板凳以南地区的抱木坪至甲洲一线, 地下水主要以向麻旺河排泄为主, 麻旺河在甲洲的标高 385 m 应可作为该地段背斜东翼岩溶发育的最低标高。

综上所述, 背斜无统一的岩溶水系统, 大气降水为岩溶水的唯一补给来源, 大气降水除部分形成地表径流外, 大部分渗入地下, 形成岩溶地下径流, 最终排向地表水系, 其补、迳、排特点是: 分区段分散补给、主要沿纵向层间裂隙和横向裂隙相对集中迳流、分区段与子系统相对集中以泉、暗河等形式排泄。

### 3 背斜东翼段隧道施工涌水涌泥砂灾害及分析

#### 3.1 施工涌水涌泥砂灾害

隧道出口段施工开挖穿越背斜东翼至核部岩溶水垂直循环带、季节变化带、水平循环带地段, 深部缓流带时, 遇到了东翼岩溶强烈发育地带(即地下暗河或岩溶泉群的管道网络发育地带), 加之数次强降雨, 从而遭遇 DK361 +764、DK360 +873 等地段多次突发大规模的涌水突泥(砂、块石)灾害, 造成施工机具掩埋损毁, 施工掘进严重受阻, 蒙受巨大的经济损失。

#### 3.2 涌水突泥分析

DK361 +764、DK360 +873 等地段各涌水点, 特别是 DK361 +764 涌水突泥具有比较明显的特征,

施工开挖时涌水多表现为喷射涌突水、水浑浊, 并携带大量泥砂, 初始水量特别大, 洪峰持续时间短, 涌水很快锐减而趋于平稳。

DK361 +764 地段涌水突泥点封堵后具有向别处转移的特征, DK361 +764 右侧边墙顺层坍塌倾斜洞穴顶部岩溶管道于 2002 年 2 月 11 日被全部封堵, 地下水被堵于岩溶管道中, 导致水位上升, 水压增大, 地下水为寻找新的出口, 冲破 DK361 +764 线左侧拱腰处相对薄弱的围岩(此处原为一溶蚀裂缝, 图 3), 造成该拱腰处于 2002 年 2 月 22 日和 2002 年 3 月 3 日两次突发大规模涌突水, 涌水过程中夹带大量泥砂和碎块石。后来该通道被碎块石和泥砂封堵, 仅有少量裂隙水流出, 水较清澈。当隧道 DK361 +764 段被清底后, 由于基底上部反压力减小, 地下水冲破左边墙基底较为薄弱的围岩, 致使该处突发大规模涌突水。初步分析认为 DK361 +764 右侧岩溶管道、左边墙拱腰涌水点、左边墙基底涌水点 3 处岩溶水通道应具有密切联系, 应为同一地下水系(图 2)。

DK361 +764 从刚开始突水时的间歇性突水、突水高峰前伴随气流、堵水后出水点的多处转移、直至从出水口大量抛射岩块等现象, 分析认为该段岩溶极为发育, 存在许多枝状排水网络, 隧道未直接揭露天然岩溶主管道。

DK361 +764、DK360 +873 等地段各涌水点每次大规模涌突水均会携带大量泥砂和碎块石, 含量可达 35%。这些携带物来源主要有两部分, 一部分为原溶洞、暗河、岩溶管道等的充填物和沉积物, 如 DK361 +764 ~ +758 地段, 顺层发育两条溶蚀大裂隙, 其中, 靠出口端的一条裂隙(即靠洞穴顶面)宽约 0.11m, 充填灰色、黄色淤泥(淤泥质粘性土), 偶夹白云岩、灰岩碎块; 另一条靠进口端(即靠洞穴底面)裂隙宽约 0.4 m, 充填黄色淤泥(淤泥质粘性土)夹灰岩、白云岩碎块石。由于多次大规模涌水突泥, 导致充填物被冲刷带走, 岩层坍塌形成 5.4 m × 3.4 m × 10.0 m (高)的顺层倾斜坍塌型洞穴(图 3)。

携带物另一部分来源于溶腔松动围岩体, 在桐麻岭背斜形成过程中, 岩体受挤压, 后期又受到各种构造运动影响, 形成各种横张节理, 加之风化和溶蚀作用, 岩体较破碎, 溶腔周壁岩体松动, 在地下水强烈的循环交替过程中被携带。

DK361 +764、DK360 +873 等地段各涌水点, 若地表长时间无降雨时, 涌水量较小, 水量稳定, 且基本为清水。当地表降雨, 尤其是(特)大暴雨后, 数

十分钟至数小时,涌水量陡增,并夹杂大量泥砂或碎块石成灾,持续数小时至十几小时,个别数十小时后,水量锐减而趋于平稳,如2002年7月6日特大暴雨1~2小时之后,突发大规模的涌突水、涌砂突泥,瞬时最大流量达 $27.5\text{ m}^3/\text{s}$ ,并堆积上千方的碎块石夹杂大量泥砂,这就表明这些涌突水点与地下暗河或岩溶泉群的主管道网络发生较为密切的联系,可以直接接受大气降水补给。背斜虽不是汇水构造,但受多期构造演化的强烈影响,各方向裂隙裂隙强烈发育,有很好的补给、径流和排泄条件。地表有三级平台,是地下水的主要补给来源,特别是下面两级平台,一为标高在950~1050m左右岩溶漏斗、洼地地带,另一为标高在700~800m左右泡木—桃子坪巨型岩溶槽谷地带,大气降水能够在短时间内被迅速吸收入渗,入渗系数高达0.6~0.8;层面裂隙、溶蚀裂隙和既有的岩溶管道是良好的渗流通道。

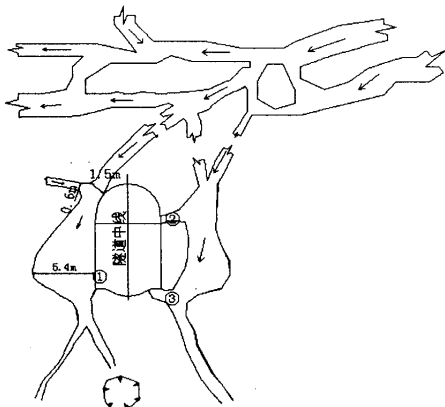


图2 DK361+764岩溶管道连通性示意图

Fig.2 Karst connection in DK361+764

(注:图中 为涌突水点发生先后顺序)

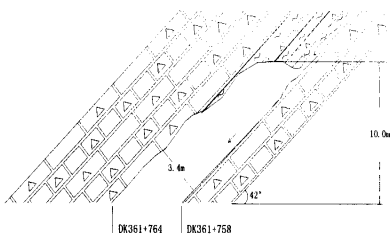


图3 园梁山隧道DK361+764右边  
墙岩溶发育纵断面图

Fig.3 Karst development on the right wall  
of Yuanliangshan tunnel

## 4 整治方案比选

为了确保隧道施工和运营安全,针对背斜东翼DK361+764、DK360+873段以及其它地段掘进、衬砌施作、岩溶发育情况和涌水突泥特征及其降雨影响程度,对背斜东翼段岩溶涌水(泥、砂、块石)的整治方案,考虑泄水洞排水、平导排水、封堵和堵排结合4个方案,分述如下:

(1)泄水洞排水方案。在线路左侧25m处设置泄水洞,泄水洞长度1732m。其纵坡为19%,断面尺寸为 $3.5\text{ m} \times 3.65\text{ m}$ ,并于下部设混凝土泄水槽,其泄水槽泄水高度1.2m。泄水洞设置终点按DK360+800对应平面位置控制。分别于DK361+764、DK360+873段及其它集中出水处设横向引水洞(或集水钻孔),将水引入泄水洞排出。

(2)平导排水方案。将平导PDK360+800~PDK362+574段计1774m,落底1.2m,并于平导下部设混凝土泄水槽,其泄水底面比正洞沟槽盖板顶低1.99m,泄水槽泄水高度1.2m。于DK361+764段及其它集中出水处设横向引水洞(引水槽或集水钻孔),将水引入平导,通过平导排出。

(3)堵水方案。用高压泵送混凝土封堵DK361+764段、DK360+873~+950段所有溶腔和岩溶管道,并对正洞DK361+764段、DK360+873~+950段以及对应平导PDK361+660~+820段、PDK360+820~+980段采用抗水压衬砌,平导强度比正洞略低。

(4)堵排结合方案。堵排结合是指将泥砂、碎块石堵在岩溶管道中,而让清水能够适量流出,简而言之就是排水留泥砂、碎块石。

(5)方案比选。泄水洞排水方案、平导排水方案避免了在隧道洞身范围产生大规模涌水突泥,减小了涌水突泥对隧道洞身及其衬砌结构的直接影响。但将地下水及其携带的大量泥砂和碎块石任意排放,短期内会对该地区的生态环境造成影响,存在导致溶腔规模进一步扩大,引起溶腔坍塌、地面坍塌等隐患,对于平导排水方案由于纵坡限制,携带物容易淤积,后期清淤工作量较大,平导排水方案施作时影响目前隧道施工,其过水能力易受淤积影响,对平导作为运营期间消防救援通道的作用及预留二线均有不利影响,修建复线时仍需另避泄水通道。

堵水方案是让地下水寻找新的出口,重新达到地下水平衡。如果能达到预期效果,会给铁路运营阶段减少很多麻烦。但该方案在实施过程中会受到

很多不可预见因素影响,首先,受到该处高压岩溶水影响,衬砌结构存在一定风险;其次,地下水为寻找新的出口,可能会在洞身其它较为薄弱位置发生涌水突泥,很难确定衬砌结构和注浆加固加强的范围。

堵排结合方案既不会造成泥砂、碎块石大量流失,又不会形成高水压,既不会对隧道衬砌结构构成威胁,又不会对生态环境造成影响。在理论上应为

最合理的,但在目前技术和设备条件下,难以实施,堵水方案工作量大,堵水效果受岩体结构及技术上的影响,效果难预测,且堵水后衬砌将承受较大静水压,已施作衬砌及平导衬砌均需加强,施工难度大、工程量大、投资高,故应采用排水方案。

通过反复方案比选,最终采用了泄水洞方案。各种整治方案的利弊见表 1。

表 1 各种整治方案的利弊对比表

Table 1 Correlation of the different regulatory programs

方 案	环境影响	排水能力	施工难度	运营养护	结构安全	工程投资
泄水洞排水方案	对地表生态环境产生一定影响	满足流量及冲淤要求	容易	清淤量小	安全	较大
平导排水方案	含泥砂量较高的浑水流入炭厂河,将会在短期内对其水质产生一定影响	不满足流量要求,岩溶水携带泥砂时易淤积	较容易	清淤量大;对平导的消防救援功能有一定影响	安全	较小(修建复线时投资大)
堵水方案	无影响		有一定难度	无养护	有风险	大
堵排结合方案	无影响		困难	无养护	安全	大

## 5 结 语

圆梁山隧道出口段施工开挖穿越背斜东翼地段,遇到了东翼水平循环带岩溶强烈发育地带,加之数次强降水,遭遇 DK361 +764、DK360 +873 等地段多次突发大规模的涌水突泥砂、块石灾害,造成部分施工机具掩埋损毁,施工掘进严重受阻,蒙受巨大的经济损失。为了确保隧道施工和运营安全,针对桐麻岭背斜东翼段岩溶涌水突泥灾害特征及其降雨影响程度,进行了泄水洞排水、平导排水、封堵和堵排结合四个整治方案比选,最终采用了泄水洞方案;2002 年 10 月~2003 年 4 月施工了泄水洞方案;2003 年 5~9 月雨季,圆梁山隧道桐麻岭背斜地区多次普降(特)大暴雨,DK361 +764、DK360 +873 等地段又反复突发大规模的涌突水(泥、砂、块石),都

通过兴修的泄水洞排泄掉了,隧道及其衬砌结构安然无恙,表明采用泄水洞方案整治背斜东翼段的岩溶涌水突泥灾害是正确的选择。

## 参考文献(References):

- [1] 铁道部第二勘测设计院·圆梁山深埋特长隧道工程地质勘测报告[R]. 铁道第二勘察设计院档案馆, 2000.
- [2] 四川省地质局南江水文地质工程地质大队·1:20 万区域水文地质普查报告(酉阳幅)[R]. 成都:四川省地质局, 1979.
- [3] 张俤元,王士天,王兰生编著·工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社, 1994.
- [4] 铁道部第二勘测设计院地路处编著·岩溶工程地质[M]. 北京:中国铁道出版社, 1984.
- [5] 中国科学院地质研究所岩溶组编著·中国岩溶研究[M]. 北京:科学出版社, 1987.

THE CALAMITY OF THE WATER AND MUD-ROCK POURING  
UP FROM KARST AND THE CHOOSING OF THE RENOVATE  
SCHEMES AT EAST WING OF THE DONGM ALING  
ANTICLINE IN THE YUANLIANGSHAN  
YUHUAI RAILROAD TUNNEL

JIANG Liang-wen<sup>1,2</sup>, YI Yong-jin<sup>1,2</sup>, YANG Xiang<sup>1,2</sup>, TAO Wei-ming<sup>1,2</sup>

(1. The Second Railways Survey & Design Institute, Chengdu 610031, China;

2 Dynamic Design Team at the Yuanliang Mountain Yuhuai Railroad Tunnel, Chongqing 409800, China)

**Abstract:** The Yuanliangshan tunnel is a key control project, which lies between Chongqing and Huaihua. It extends 11.068 km and the most depth in the tunnel is 780 m. When it cuts across the east wing of the Dongmaling anticline, the building encounters the sector which develops an endless loop type that contains lots of and well-connected Karst, in addition to much of powerful rainfall. There were extensive water and mud-rock pouring up time and again on the DK361 +764, DK360 +873, which cause lots of machines and tools buried or damaged, and the building tunneling met with obstruction seriously. We had to sustain tremendous loss in economy. Through analysing tentatively we think that the poured up water and mud-rock have contacts intently with the main piping network of the underground river or Karst fountains, which receive rainfall. There falls torrential rain of many times in anticline areas in rainy season from May to September of 2003. DK 361 +764, DK360 +873 again extensive welling up and dash forward by water (mud, sand, stones) happened suddenly and continuously. Fortunately, the tunnel and lining cuttings are safe and sound by draining the water-mud-stones through sluicing hole. That indicates it is a correct choice to adopt the scheme that renovating east wing of anticline well up water dash forward calamity by sluice hole mud in the Karst. In order to guarantee the safety of the tunnel building and its operation and in view of the development of the karst and features of the poured up water and mud-rock and effect degree of the rainfall in the east wing of the anticline, we compare with the choice in the sluicing-hole drain, flat-guide drain, sealed-block and block-drain, and finally we adopt the first one.

**Key words:** Karst; Level endless loop type; Water and mud-rock pouring up; Calamity; Repairing scheme; The Dongmaling Anticline; The Yuanliangshan Tunnel.