

高压富水充填溶腔释能降压技术

张梅, 张民庆, 朱鹏飞, 黄鸿健

(铁道部工程管理中心, 北京 100844)

[摘要] 高压富水充填溶腔具有水量大、水压高、规模范围大、充填介质复杂的特征, 工程施工风险极高, 采用传统的注浆法进行处理, 受地层的不均一性、材料选择、技术水平的影响, 难免会出现注浆盲区, 施工中一旦注浆盲区被高压水击穿, 将会发生大规模突水突泥, 造成灾害。针对宜万铁路所遇到的高压富水充填溶腔, 通过科技攻关, 提出采取释能降压新技术进行处治。经现场实践, 安全、经济、可靠, 并取得了成功。释能降压技术是针对高压富水充填溶腔采取有计划、有目的的精确爆破揭示, 从而释放溶腔所存储的能量, 降低施工及运营过程中水土压力对隧道形成影响, 之后, 通过配套处治措施完成溶腔治理。

[关键词] 高压富水充填溶腔; 释能降压技术; 精确爆破; 安全设计

[中图分类号] U459.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2009)12-0013-07

1 前言

宜万铁路东起宜昌东站, 西至万州站, 全长 377 km, 是目前国内外已建和在建工程中地质条件最复杂的工程。全线共有隧道 159 座, 总长 339 km, 占正线总长度的 60%。隧道穿越地层有震旦系、寒武系、奥陶系、泥盆系、石炭系、二迭系、三迭系、侏罗系、白垩系以及第三系、第四系地层, 主要岩性为滨海至浅海相的碳酸盐类岩石, 约占全线的 70%。隧道工程主要地质问题有: 暗河、岩溶及岩溶水、岩堆、断层破碎带、煤层、瓦斯、高地应力和天然气等, 其中, 岩溶及岩溶水处治难度最大, 施工风险极高。

宜万铁路隧道工程施工中, 岩溶极其发育, 多次遭遇高压富水充填溶腔。针对高压富水充填溶腔, 国内外通常做法是采用注浆法施工, 对于压力相对不高、水量相对不大、充填介质较好的充填溶腔, 取得了理想的效果, 工程得以安全顺利通过。但对于水压高、水量大的充填溶腔, 虽经注浆, 但受注浆技术的控制, 难免存在注浆堵水盲区。在注浆完成后开挖过程中, 注浆盲区被高压水击穿, 发生突水突泥灾害, 造成经济损失和人员伤亡, 同时施工受

阻。铁道部宜万铁路建设指挥部针对深埋高压富水岩溶隧道施工中所遇到的高压富水充填溶腔, 经过长时间研究和工程实践探索, 提出了释能降压法。经专家论证, 并经野三关、大支坪、云雾山、马鹿箐隧道高压富水充填溶腔验证, 实现了高压富水充填溶腔重大突破, 保证了施工安全, 节省了投资, 经评估对环境没有影响。

2 释能降压法可行性研究

释能降压法是指在隧道施工中遇到高压富水充填溶腔时, 选择适当时机采取有计划、有目的的精确爆破, 把溶腔爆开, 释放溶腔中储存的高压水, 削减势能, 降低泥水压力, 从而消除隧道施工中的高风险, 然后进行安全清淤、加强支护、快速通过、及时施作底部结构和二次衬砌等配套处治措施来完成溶腔段施工的一种新的施工方法。

根据对国内外岩溶隧道施工方法的调研, 没有发现采用释能降压法施工以及有关释能降压法的论述。释能降压法是否可行的关键一是溶腔内的水量是否有限, 能否安全释放; 二是充填物的释放量是否可接受, 清淤是否安全; 三是对环境保护是否有影

[收稿日期] 2009-10-20

[作者简介] 张梅(1958-), 男, 安徽六安县人, 教授级高级工程师, 研究方向为铁路建设管理; E-mail: zhangmei_2008@163.com

响。

在可溶岩岩层地区,由于地形的起伏,在低洼处易形成积水盆地。地表水长时间的溶蚀、侵蚀形成了形状各异的岩溶洼地、槽谷,在水压力作用下,地表水向岩体内富集转为地下水,随着溶蚀和水的不断补给,溶槽、溶腔、管道和暗河内充填大量细砂、砂土、黏土、碎石土等并富水^[1]。岩溶发育的最大特点是溶腔的大小、走向、水量没有一定的规律,事先无法定量的勘测清楚。实践表明,隧道揭示溶腔时排放的为静态岩溶水,每次降雨后排放动态水,设置泄水洞可满足水量排放的要求,接近溶腔时采用控制爆破可以进行安全释放。隧道通过溶腔对于整个岩溶系统来说只是局部,充填物的排放数量有限,可以进行清除,由于消除了高水压风险,清淤是安全的。宜万铁路的高风险隧道均为深埋隧道,处于地下水的垂直或水平径流带中,经环境评估和实践检验,地下水的排放对环境没有影响。

3 释能降压法适用条件和实施时机

当隧道施工中通到高压富水充填溶腔或含水淤泥、砂层填充的溶腔,经评估对环境无影响时,可以采用释能降压法进行施工。

释能降压宜选择在没有雨或少雨的旱季进行。因为“释能降压”后开挖、支护和结构处理需要一定的时间,如果在雨季施工,不断补给的雨水将给施工带来安全隐患。

4 释能降压法的主要内容

释能降压法是针对高压富水充填溶腔的一项综合处治技术,释能降压法实施分为查找溶腔阶段、锁定溶腔阶段、打开溶腔阶段、处治溶腔阶段共四个阶段。释能降压法实施程序见图1。

4.1 查找溶腔阶段

宜万铁路建设初期,对岩溶隧道高风险采取地质素描,TSP,地质雷达,红外探水和超前钻探5种方法进行预测预报。实践证明:地质素描和TSP起到了一定的宏观预报作用,但地质雷达和红外探水对岩溶水难以起到定量分析作用,而超前钻探预报准确率几乎达到100%。因此,后期调整为“地质素描和TSP先行,以钻探为主”的模式进行岩溶及岩溶水的超前预测预报,实践证明,这种预测预报模式简单合理、准确率高。

对高压富水充填溶腔采取释能降压处理,必须

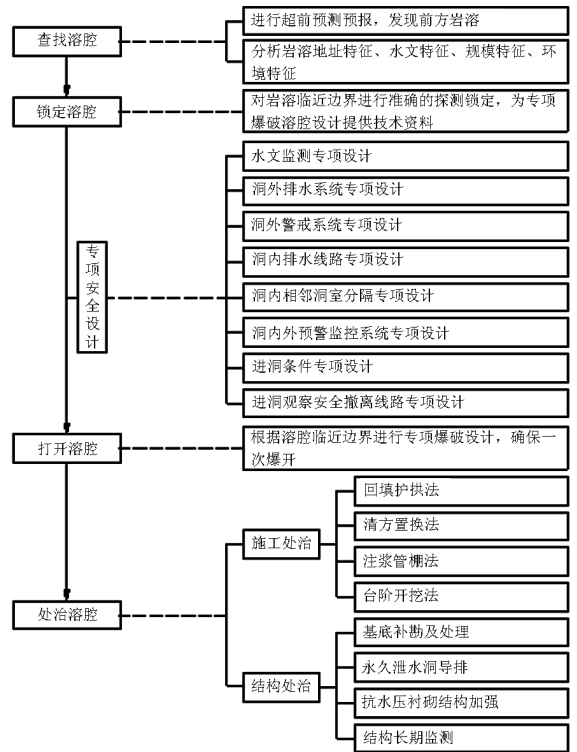


图1 释能降压法实施程序

Fig. 1 Implementation procedure of energesis and depressurization technology

对溶腔充填物性质、溶腔水压力高低、溶腔水量大小和溶腔纵向规模进行确定,对溶腔型态、溶腔规模和溶腔水源进行分析与判断。

【工程实例】云雾山隧道“526,617组合溶腔”特征分析:

1)溶腔规模特征:2008年7月21日,云雾山隧道出口遭遇DK245+617溶腔,经超前探测,确定溶腔纵向规模为DK245+579~+624,长45m。2008年10月5日,进口遇到ⅡDK245+526溶腔,经探测,溶腔纵向发育范围为ⅡDK245+526~+547,长21m,发育高度超过隧道开挖轮廓线外5m。根据超前探测结果,绘制溶腔发育型态见图2。

2)充填介质特征:对钻孔中涌出的砂进行取样筛分,筛分试验表明:砂样粒径大于0.075mm的颗粒含量为97.8%,粒径大于0.25mm的颗粒含量为76.9%,粒径大于0.5mm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,既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。

3)水文特征:现场利用超前探孔进行溶腔放水

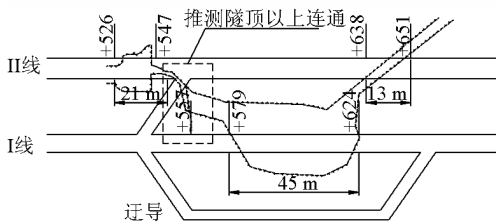
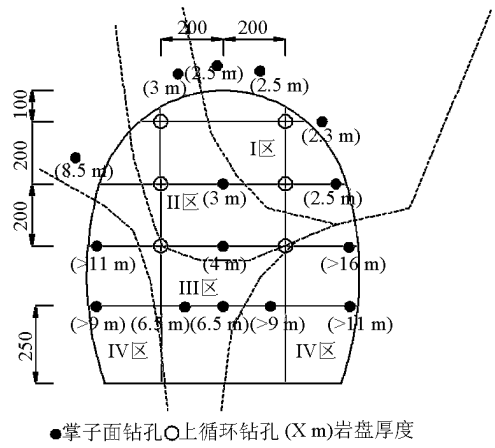


图2 云雾山隧道“526,617 组合溶腔”发育型态图
Fig. 2 Development morphology graph of “526 and 617 composite cavity” of Yunwushan tunnel



●掌子面钻孔○上循环钻孔(X m)岩盘厚度
I区岩盘厚度小于2.5 m III区岩盘厚度4.5~9 m
II区岩盘厚度2.5~4.5 m IV区岩盘厚度大于9 m
图3 云雾山隧道“526 溶腔”边界锁定图(单位:cm)
Fig. 3 The locking - boundary graph of “526 cavity” of Yunwushan tunnel (unit: cm)

试验。由溶腔放水试验得出以下结论:a. 钻孔排水能力与地表降雨有一定的响应关系,地表降雨后,一般1 d内钻孔水量变大,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;b. 水压力测试数据表明,水压力未超过0.8 MPa。水压力与地表降雨有一定的响应关系;c. 钻孔排水对水压力影响不大,通过少量钻孔排水,在短时间内很难将水压力降低。

4) 环境特征:溶腔位置位于白果坝背斜核部,发育白果坝大断层,断层先期为纵张,后期为压扭性,在隧道区表现为逆断层。该处隧道埋深约750 m,地表遍布岩溶洼地、漏斗及落水洞,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。

4.2 锁定溶腔阶段

锁定溶腔是释能降压的关键,它对溶腔精确爆破起到决定性作用。根据计算模拟分析和工程实践验证,对于完整灰岩确定2.5~3 m岩柱作为隧道开挖接近溶腔的临界距离。

隧道接近溶腔时,通过钻探对溶腔临近界面进行区域锁定。原则上对掌子面按上中下、左中右分别布置钻孔,采用风钻钻探,钻深5 m,根据钻进速度、排渣情况、水量大小,按区域确定溶腔岩盘厚度。必要时,可通过取芯进行确认。

【工程实例】云雾山隧道“526 溶腔”界面锁定:云雾山隧道“526 溶腔”确定采取释能降压法处治,在隧道接近溶腔时,采用风钻,并结合深孔钻探对掌子面溶腔进行界面锁定。经钻探锁定,对掌子面前方溶腔划分为4个区域,见图3。区域I岩盘厚度小于2.5 m,区域II岩盘厚度为2.5~4.5 m,区域III岩盘厚度为4.5~9 m,区域IV岩盘厚度大于9 m。因此,爆开溶腔必须打开溶腔区域I和区域II。

4.3 打开溶腔阶段

打开溶腔阶段是指隧道掌子面到达高压富水充

填溶腔临界距离后,采取专项精确爆破设计进行高压富水充填溶腔的爆破揭示,从而对溶腔内所聚积的水和充填物进行释放,消除能量。专项精确爆破设计是根据工程的具体临界距离和断面大小进行专项设计,要求爆破后揭开溶腔断面面积不小于2 m×2 m,以利于高压富水充填溶腔能量的快速、彻底释放。

【工程实例】云雾山隧道“526 溶腔”专项精确爆破设计:根据锁定的溶腔边界,为确保爆破一次成功,对下部岩盘厚度较厚位置施工导洞以形成临空面。根据掌子面岩盘厚度的锁定,进行专项精确爆破设计见图4。

4.4 处治溶腔阶段

4.4.1 施工处治

对高压富水充填溶腔释能降压后,溶腔基本处于0水压,溶腔处理是安全的。溶腔释能降压后,由于受溶腔内充填介质特征、水压力高低、水量大小、释放时机等综合影响,可能会出现3种情况:水和充填介质完全释放、水释放充填介质未释放、水释放充填介质部分释放。根据释能降压后所处的状态,确定施工处治方案。释能降压后溶腔处治方案选择流程见图5。

1) 完全释放状态。通过释能降压,溶腔内水和充填介质完全释放出来称为完全释放状态。这主要与溶腔内水压力大、水量充足、充填介质无黏结力等因素有关,同时,也与地表强降雨相关。这种状态下溶腔施工处理采取回填护拱法。回填护拱法结构模

式见图 6。

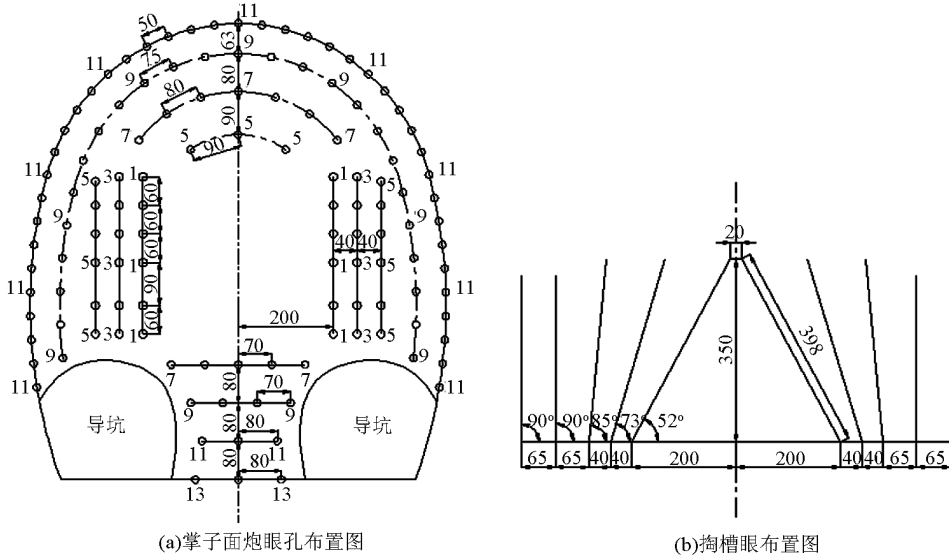


图 4 “526 溶腔”专项精确爆破设计(单位:cm)

Fig. 4 Specialized accurate blasting design of “526 cavity” of Yunwushan tunnel (unit: cm)

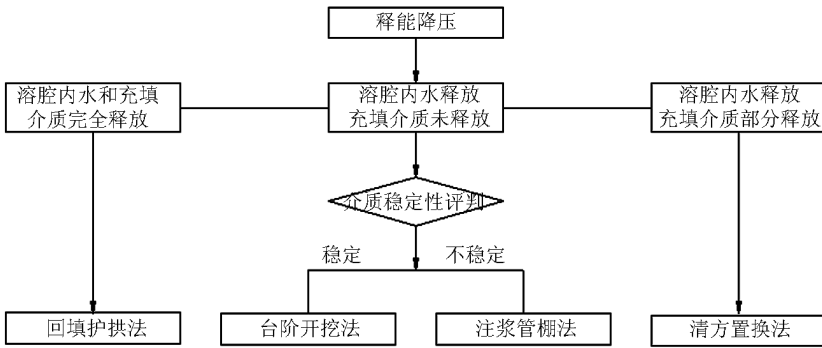


图 5 释能降压后溶腔施工处治方案选择程序图

Fig. 5 Procedure graph of cavity's fathering scheme after energesis and depressurization

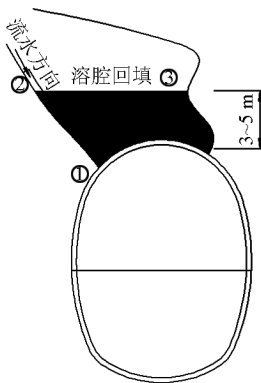


图 6 回填护拱法

Fig. 6 Backfilling and umbrella arch method

2) 水释放介质未释放状态。采取释能降压后水被完全释放,而介质未被释放,这一状态称为水释放介质未释放状态。这主要是由于释能降压时溶腔处于相对枯水季节、溶腔内水压力高但水量不大、溶腔内充填介质为淤泥质或黏土等相对不透水层、溶腔水主要为岩溶发育层面高压裂隙水等情况。这种情况下应对充填介质稳定性进行评判,若充填介质含水量低(一般低于30%),有一定的自稳能力时,可采取三台阶法开挖处理岩溶,见图7。若充填介质含水量高(一般高于30%),掌子面自稳能力差时,应对充填介质进行超前预注浆加固,同时施作超前大管棚进行超前预支护,以防止开挖过程中发生坍塌,见图8。

3) 水释放介质部分释放状态。采取释能降压

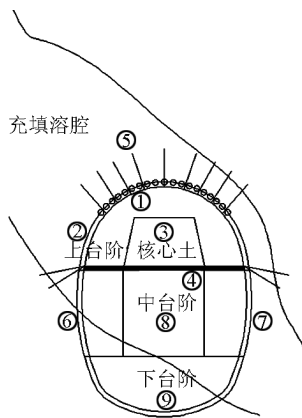


图7 台阶法

Fig. 7 Bench method

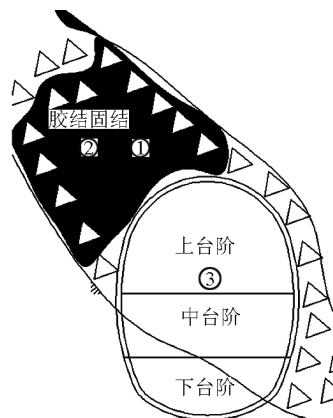


图9 清方置换法

Fig. 9 Clearing and replacement method

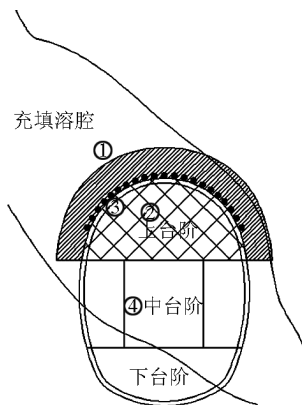


图8 注浆管棚法

Fig. 8 Grouting and pipe-shed support method

后水完全释放,而介质部分释放,这一状态称为水释放介质部分释放状态。这主要是由于释能降压时溶腔处于相对枯水季节、溶腔内水压力不高、水量不大、溶腔内充填介质为块石土等因素。针对这种情况,虽然充填介质块石土有一定的自稳定能力,但由于为松散堆积结构,上部荷载大,若采取注浆管棚法,块石土钻孔时极宜造成卡钻,严重影响注浆管棚施作进度。因此,可采取清方置换法进行处治。清方置换法是采取机械对堆积体进行清方,使堆积体空隙率增大,局部形成空洞,然后采取回灌混凝土或水泥砂浆的方法进行空洞回填,对堆积体进行胶结固结,之后采取三台阶法进行开挖支护。清方置换法结构模式见图9。

4.4.2 结构处治

对高压富水充填溶腔衬砌结构应加强,抗水压等级按现场实测水压数据,并结合地表勘察、地质分

析综合确定,原则上泄水洞时,按抗1.0 MPa水压力为宜。高压富水充填溶腔段初期支护完成后,对隧道基底进行钻探补勘,确定基底岩溶发育深度及基底承载力。原则上,当基底发育深度不超过2 m时,宜采取C25混凝土换填处理;当基底发育深度超过2 m时,换填施工风险大,同时,考虑到长大隧道整体道床对基底沉降要求高,因此,原则上应采用加强板方案或桩基承台方案进行处理。

4.4.3 排水洞及结构长期监测

1) 排水洞导排。为确保隧道投入后运营安全,设置永久排水洞对高压岩溶水进行导排是十分必要的。泄水洞根据溶腔点标高,并结合洞外地形条件设置,原则上泄水洞设置为上坡,标高以低于正洞1.5~2 m为宜,坡度一般为1%~3%。泄水洞断面应能满足排水要求,并结合快速施工要求确定。

2) 结构长期监测。为全面掌握高压富水充填溶腔在施工及运营过程的受力状况,对结构安全性做出评估,应对高压富水充填溶腔进行结构长期监测。监测项目主要有8个,分别为水压力监测、注浆加固圈稳定性监测、围岩与初期支护间接触压力监测、初期支护内力监测、初期支护与二次衬砌间接触压力监测、二次衬砌内力监测、隧道基底沉降监测以及注浆加固圈渗水量监测。

4.5 八项专项安全设计

1) 水文监测专项设计:水文监测内容包括降雨量、涌水量、水压力、地表水位4个方面。

2) 洞外排水系统专项设计:对高压富水充填溶腔实施释能降压前,必须对洞外环境进行调查,查找消水洞,明确排水线路,设置排水沟渠,保证排水通畅。对于洞口及排水下游民房存在安全隐患时,必

须予以拆除。

3) 洞外警戒系统专项设计:实施释能降压前,对洞外警戒系统进行专项设计,设计内容包括警戒区域、警戒时段、警戒标识等。

4) 洞内排水线路专项设计:实施释能降压前,应根据释能降压点所处的位置,以及工程进展情况作出合理的洞内排水线路专项设计。

5) 洞内相邻洞室分隔专项设计:为减少释能降压时水及充填物进入相邻洞室,对相邻洞室产生影响,同时保证溶腔处理期间相邻洞室的正常安全施工,应对相邻洞室横通道之间进行封堵分隔。

6) 洞内外预警监控系统专项设计:为保证释能降压的安全进行,在洞外调度室设置监控中心,分别在洞内释能降压位置、释能降压点后退一个横通道道口位置、隧道洞口、以及洞外排水线路位置安设监控点。密切监控并记录释能降压全过程。

7) 进洞条件专项设计:根据水文监测数据分析,研究地表降雨与洞内排水关系,制定出相应的隧道安全进洞条件。

8) 进洞观察安全撤离线路专项设计:通过监控系统掌握掌子面释能降压情况,释能降压后,一般在24 h后确定无异常时方可进洞观察。为避免进洞观察时出现掌子面不可预见突发性突水时,应选择设计好的合理线路进行撤离。

5 释能降压法与注浆法经济技术比较

1) 安全性:采用释能降压法可以消除突水突泥的高风险,而注浆法受目前国内施工水平和施工工艺的限制,很难达到理想的效果,安全风险依然存在。如大支坪隧道“4·30”突水突泥就是在注浆完成后开挖时发生的。

2) 进度:注浆法处理溶腔进度平均为10~15 m/月;释能降压法处理溶腔进度平均为20~30 m/月。

3) 工程费用:注浆法处理高压富水充填溶腔工程费用每延米为15万~20万元,而释能降压法为5万~10万元。

4) 工程可实施性:注浆法工艺复杂,注浆效果不易控制,一般需要专业注浆队伍。而采用释能降压法,释能降压后采用常规施工技术,工程可实施性好,效果好。

6 结语

1) 释能降压法处理高压富水充填溶腔是富水岩溶处治技术的思想创新,它突破了传统的注浆法、冻结法,其技术丰富、全面、先进、可靠,是一项针对高压富水充填溶腔处治的创新工法。通过宜万铁路多个高压富水充填溶腔的实践检验,释能降压法是安全的、快速的,工期和造价是合理的、科学的,它填补了国内外高压富水充填溶腔处治技术的一项空白。

2) 释能降压法是针对复杂高压富水充填溶腔,进行有计划、有目的的精确爆破揭示,从而释放溶腔所存储的能量,降低施工及运营过程中水土压力对隧道形成影响,之后,通过配套处治措施完成溶腔治理。释能降压法共分为四个步骤和八项专项安全设计。四个施作步骤分别为:查找溶腔阶段、锁定溶腔阶段、打开溶腔阶段和处治溶腔阶段。八项专项安全设计分别为:水文监测专项设计、洞外排水系统专项设计、洞外警戒系统专项设计、洞内排水线路专项设计、洞内相邻洞室分隔专项设计、洞内外预警系统专项设计、进洞条件专项设计、进洞观察安全撤离线路专项设计。总结释能降压法二十四字施工方针:探介质、锁边界、选时机、精爆破、严监控、畅排放、细处理、勤检查。

3) 释能降压法处理高压富水充填溶腔与注浆法、冻结法相比,更加安全可靠,进度可提高50%~70%,造价减少50%~80%,且对环境没有影响,是一项具有极大推广应用价值的创新技术。

参考文献

- [1] 工程地质手册编写委员会. 工程地质手册(第三版)[M]. 北京:中国建筑出版社,1992

The energesis and depressurization technology of filling solution cavity of high pressure and rich water

Zhang Mei, Zhang Mingqing, Zhu Pengfei, Huang Hongjian

(*Engineering Management Centre of Ministry of Railways, Beijing 100844, China*)

[**Abstract**] Filling solution cavity of high pressure and rich water have the characteristics features of abundant water, high pressure, large scale and complicated filling medium. Its engineering construction risk is extremely high. The conventional grouting method is affected by inhomogeneity stratum, the choices of material and technique level, so the grouting blind area is difficult to avoid. Once the grouting blind area is breakdown by high pressure water during the process of construction, It will generate large - scale water and mud outburst which cause a disaster. By tackling key problems in science and technology, adopting the energesis and depressurization technology is advanced to father filling solution cavity of high pressure and rich water on Yichang-Wanzhou Railway. It is safe, economical, credible and successful by local practice. The energesis and depressurization technology is adopting arranged and purposeful accurate - blasting to open out solution cavity, to release stored energy, to reduce tunnel's influence by water pressure during the process of construction and to finish farthering solution cavity by related measures.

[**Key words**] filling solution cavity of high pressure and rich water; the energesis and depressurization technology; accurate blasting; safety design