

# 浑白线枫叶岭隧道病害整治 双侧水沟控制爆破

枫叶岭隧道控制爆破专题组\*

(执笔: 吕毅, 顾毅成)

本文简要介绍了浑白线枫叶岭隧道在不影响运营条件下采用控制爆破开挖双侧水沟的施工和设计主要原则、主要爆破设计参数、施工工艺, 以及爆破对隧道稳定影响的主要观测成果。

## 一、工程概况与施工方案

枫叶岭隧道于1957年10月交付运营, 全长2300.2米, 进口里程为K39+040.05, 出口里程为K41+340.25, 该隧道为封闭式混凝土衬砌, 碎石道床, 设有中心排水沟。

枫叶岭隧道处在长白山林区, 以东西方向穿越哑口。地质为一单斜构造, 岩层走向呈北东 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ , 倾角南东约 $35^{\circ}$ 。岭西由隧道进口至1000米为寒武纪石灰岩夹页岩, 呈松石状态; 岭东由1000米至隧道出口处为奥陶纪石灰岩, 呈次坚石状态。岩层节理发育, 成 $x$ 型。全隧道通过大小断层26处, 错动9处, 辉绿岩侵入岩脉4处, 溶洞16处。

隧道处于地下水丰富地层。地下水分两类, 溶洞水和饱气带水, 前者主要分布在岭东, 后者分布在岭西。由于岩层节理发育, 加之断层和溶洞, 使地下水脉脉相通, 呈网状径流, 又直接受大气降雨、降雪的补给, 使地下水十分发育, 雨季更甚。

在修建隧道时, 虽考虑了水害问题, 曾两次压浆, 注入水泥达3000余吨。但交付运营二十多年来, 峒内漏水仍然十分严重, 全峒漏、滴、渗水总延米, 占隧道全长的67%。1959年7月日降雨量为68毫米时, 全峒漏水, 涌水量为1507吨/小时, 由于峒内常年潮湿, 钢轨及配件锈蚀严重, 雨季经常水浸道床, 水浸轨面达80毫米, 冬季结冰侵限拱部与侧墙积水成冰, 危及行车安全。

为彻底整治该隧道漏水病害, 采取“以排为主, 堵、排结合的综合治水方案”, 其中主要措施之一是将原中心排水沟改为双侧深排水沟, 并在部分边墙增设竖向盲沟, 从而将拱墙背后围岩中的水疏导至底部侧向水沟, 同时采用支承块整体道床, 与新设双侧排水沟配合进

\* 本专题参加单位及人员先后有: 铁道部科学研究院铁建所, 吕毅、赵曙白、杨杰昌、顾毅成、李保国、西南所, 齐景猷、余镇南、刘正雄、刘代寿、阳明德、文学芳; 吉林桥隧大修段; 玄学成。参予本报告数据资料分析者还有张儒林(西南所)、陶喜勤(吉林工电大修组)

行施工。

新设双侧水沟,其断面综合考虑两端路基排水设备断面和已有记载降雨与漏水的关系,以二十年一遇最大日降雨量为139毫米为依据,故选用断面尺寸为 $0.4 \times 0.8$ 米双侧水沟。开挖时,侧向排水沟一侧距线路轨道仅0.33米,另一侧距衬砌边墙0.34米,开口宽度为0.8米,水沟深度超过边墙基础下1.2米。开挖时,还势必切断仰拱,破坏原封闭式衬砌,使隧道衬砌边墙和围岩稳定处于不利情况。

为确保线路稳定和行车安全,最大限度地减少爆破开挖对隧道衬砌和围岩稳定的影响并加快施工进度、改善施工条件,确定以下水沟开挖的施工主要原则:

1. 为确保运营隧道行车安全,必须采用架设40kgB10.0米三根组纵向扣轨梁和横向支撑木。以保证开挖双侧水沟时线路稳定;
2. 为保证隧道衬砌的稳定性,水沟开挖采用控制毫秒爆破施工;
3. 双侧水沟要交错开挖,严格控制开挖长度和下管长度,要做到随开挖,随下槽,其暴露长度不得超过20.0米;
4. 加强爆破安全检查,于开通前30分钟开始爆破,爆完后由工长亲自检查沟槽有关安全情况和线路轨距、水平、方向、高低、确认达到放行列车条件时,然后按手续向车站办理开通手续;
5. 精心施工;特别是对水沟与侧壁间超挖部分回填200\*混凝土时,要加强捣固,以防边墙变形。

## 二、控制爆破设计施工的主要原则

枫叶岭隧道双侧排水沟开挖,爆破施工受到下面各因素的制约:

- (1) 开挖断面狭小,地层夹制作用大;
- (2) 需切断隧道仰拱,破坏了隧道整体性;
- (3) 开挖断面落在路肩枕木端头内,威胁路基稳定;
- (4) 需确保运营畅通,安全;
- (5) 允许施工的作业时间有限,还要保证施工进度。

根据上述条件和要求,制定了如下控制爆破设计施工的主要原则:

1. 仰拱与基础分层开挖,先破仰拱,后开基坑;
2. 基岩采用浅眼台阶多层开挖方法,以减小地层的夹制作用;
3. 采用非电毫秒起爆系统,减少爆破震动影响,适当加大爆破规模;
4. 严格控制每段爆破装药量,确保隧道衬砌及路基稳定安全;
5. 采用预裂和光面爆破,减少超爆超挖;
6. 两侧水沟交错掘进,控制每侧开挖长度,缩短沟槽暴露的时间;
7. 做好药包防水措施,保证爆破网路联接可靠,避免拒爆;
8. 配备爆破观测仪器,监测爆破对隧道稳定的影响,指导爆破设计。

### 三、爆破主要设计参数及有关工艺

#### 1. 允许起爆的最大药量,

$$Q_{\max} = R^3 \left( \frac{V_{kp}}{\rho K} \right)^{3/\alpha}$$

式中  $Q_{\max}$ ——允许起爆的最大药量, 公斤;

$R$ ——爆源中心到被保护物的距离, 米;

$V_{kp}$ ——介质允许振动速度, 对混凝土,  $V_{kp}=20$ 厘米/秒;

$K$ ——与地震波传播介质有关的系数, 对土壤,  $K=200\sim500$ ; 对岩石,  $K=30\sim70$ ;

$\rho$ ——药包分散修正系数,  $R\leq 1.0$ 米时,  $\rho=0.35\sim0.45$ ;

$\alpha$ ——爆破震动衰减指数,  $\alpha=1.0\sim2.5$ 。

根据以上经验公式计算及现场试验, 确定本工程允许起爆的药量为 900 克, 当采用毫秒爆破并确认各段爆破的震动作用互为独立时, 该药量可以作为段最大装药量的控制依据。

#### 2. 孔网参数 $w$ , $a$ , $b$ , $l_1$

孔网参数按常规浅眼台阶爆破设计, 即:

$$W = \left( \frac{2}{3} - \frac{4}{5} \right) H,$$

$$a = 8d,$$

$$b = (0.7 \sim 0.8) a,$$

$$l_1 = \left( \frac{3}{4} \sim \frac{4}{5} \right) \delta, \quad (\text{适用于爆破仰拱})$$

$$l_2 = (1.3 \sim 1.5) H, \quad (\text{适用于爆破沟槽})$$

以上各式中符号意义为:

$W$ ——最小抵抗线;

$H$ ——台阶高度;

$d$ ——钻孔直径;

$a$ ——炮孔间距;

$b$ ——炮孔排距;

$l_1$ ——适用于爆破仰拱的孔深;

$l_2$ ——适用于爆破沟槽的孔深;

$\delta$ ——仰拱厚度。

#### 3. 单孔装药量 $q$ ;

预裂爆破单孔装药量可按下式计算:

$$q_{\text{预}} = \lambda a \delta$$

式中  $a$ ,  $\delta$ 意义同前;

$\lambda$ ——单位面积用药系数, 克/米<sup>2</sup>, 在枫叶岭隧道, 通过试验得出, 对200\*混凝土,

$\lambda = 200 \sim 300$  克/米<sup>2</sup>,  $H$ 大时取小值,  $H$ 小时取大值。

混凝土仰拱控制爆破单孔装药量按下式计算:

$$q_{\text{拱}} = K B \delta a$$

式中  $a$ ,  $\delta$  意义同前;

$B$  —— 仰拱的爆破宽度, 米;

$K$  —— 单位体积用药系数, 克/米<sup>3</sup>, 试验得出, 对200\*混凝土, 一个临空面条件下,

$K = 350 \sim 400$  克/米<sup>3</sup>;

沟槽岩石浅眼控制爆破单孔装药量按下式计算:

$$q_{\text{岩}} = K W l a$$

式中  $W$ ,  $l$ ,  $a$  意义同前;

$K$  —— 单位体积用药系数, 克/米<sup>3</sup>, 试验得出, 对石灰岩, 节理裂隙发育时,  $K = 400 \sim 450$  克/米<sup>3</sup>; 坚硬完整时,  $K = 500 \sim 550$  克/米<sup>3</sup>。

#### 4. 装药结构

沟槽两侧的光面爆破, 采用不偶合装药, 不偶合系数(炮孔直径与药卷直径比)  $D = 2$ , 取得了良好的爆破效果, 爆破后在开挖侧壁均留下半个炮眼痕迹。

#### 5. 导爆管非电毫秒起爆网路

在确保爆破震动对隧道稳定安全的基础上为了加快施工进度, 需适当加大爆破规模, 确定采用导爆管非电毫秒起爆网路, 钻孔按一段允许装药量分成几组, 各组在地面由联接雷管起爆, 为了合理使用各段毫秒雷管并保证各段间隔时间, 连接雷管与起爆药包雷管段号应按下表组合。

连接雷管段号	起爆药包雷管段号	间隔时间(毫秒)	连接雷管段号	起爆药包雷管段号	间隔时间(毫秒)
10	1	380	7	4	200
9	2	310	6	5	150
8	3	250			

#### 6. 开挖步骤

水沟开挖由开始的五步、四步爆破成型, 经试验确定为二步爆破成型:

(1) 爆除仰拱部分, 然后用风镐铲除碎石夹层。钻孔时应先钻检查孔, 检查仰拱厚度, 防止钻透仰拱。靠线路侧炮孔间距及装药量适当减少, 并滞后于靠边墙炮孔及主炮孔起爆。

(2) 爆破基岩层开挖至标高。

炮孔应超钻10~20%; 孔深大于80厘米时, 分二层装药, 底部药包药量占60%, 上部药包药量占40%; 沟帮采用光面爆破, 采用细药卷不偶合装药或木棍间隔装药。

#### 7. 竖向盲沟开挖顺序

竖向盲沟控制爆破应尽量减少超挖, 并注意边墙的稳定, 开挖顺序如下:

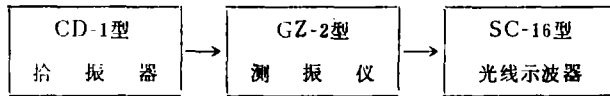
(1) 先开挖仰拱上部边墙1米, 开挖深度为80~90厘米至设计尺寸。采用掏槽爆破逐步扩大, 一次爆破药量不超过900克。

(2) 自下往上分部开挖至设计标高。采用毫秒爆破, 段间隔时间不小于 200 毫秒, 段最大装药量不大于 900 克。

#### 四、爆破对隧道稳定影响的观测

鉴于施工时不得中断运营行车, 而开挖排水沟又必须切断两侧仰拱, 因此, 爆破对隧道稳定的影响, 是人们关心和重视的问题。为此, 该工程组织了爆破对衬砌的震动、应力应变, 声波影响及隧道边墙收敛位移的仪器监测。

震动观测使用的仪器配套系统如下:



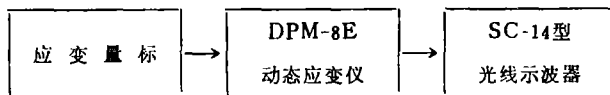
观测点布置在自 K500 至 K680 地段沿隧道沟槽开挖地段的左侧边墙上, 在 K680 断面, 除边墙上的测点安装三向拾振器外, 在拱脚和拱顶也分别安装了三向拾振器, 以观测震动效应在隧道断面上的分布规律。观测共记录了约 600 个爆破震动波形。

声波法主要是测定爆破前后隧道衬砌和围岩中声速变化情况, 从而根据所得数据分析爆破对其破坏影响的大小和范围。

测试使用 SYC-II 型声波岩石参数测定仪和平面换能器, 前置放大式换能器以及一发两收式换能器, 共三种换能器, 第一种换能器用黄油耦合, 后两种用水耦合; 仪器发射频率为 20~30 千周。

结合开挖沟槽的生产性爆破, 先后共进行了 16 次测试, 取得近二百个数据。

对混凝土衬砌进行动力测定的目的是为了了解爆破时衬砌的受力状态, 进而分析爆破对隧道衬砌的稳定性影响。量测使用的仪器配套如以下框图所示:



在 K670 和 K680 二个断面共布置了 4 个观测点, 每个测点安装有环向和纵向应变量表, 先后共进行了 18 次动应变量表。

收敛位移观测的目的是, 考察隧道在开挖沟槽, 切断仰拱, 使衬砌结构的受力状态发生改变的条件下, 边墙是否产生位移, 以及对隧道整体稳定性的影响。

在 K650~K690 地段, 沿隧道两侧边墙, 每隔 5 米布置一对收敛位移观测点, 共布置了 9 对测点。观测使用铁道部科学研究院西南所研制的收敛位移计, 若使用正确、熟练, 其精确度在 ±0.1 毫米以内。这些观测点在爆破前后的十五天中, 共进行了 16 次量测。

为了进一步了解在双侧水沟开挖至整体道床灌筑整个施工期间隧道边墙的稳定情况, 铁建所隧道室还组织了变位的长期观测。

观测断面里程为 K1470, 1480, 1490, 1500, 使用测量仪器是单点锚杆式钻孔位移计,

观测持续时间为14个月。

综合以上各项观测成果,认为:

1. 采用毫秒爆破可以起到降低爆破震动的作用,有利于隧道衬砌及围岩的稳定,并可增大一次爆破的规模,加快工程进度。本工程水沟爆破的各段爆破震动持续时间小于40毫秒,采用非电毫秒爆破,并使地面雷管与起爆药包雷管段号合理组合,段间隔时间可在150毫秒以上,各段爆破震动互为独立,可按最大段装药量作为爆破规模的控制依据。

2. 最大振动速度及最大拉应变在隧道断面上的分布规律是:拱顶最小,拱脚大于拱顶,边墙最大,其数值均属同一数量级。今后运营隧道侧向排水沟槽的爆破开挖,对隧道衬砌的安全监测,可以用边墙的最大振动或最大拉应变值作为控制依据。

3. 该工程的爆破施工对衬砌及围岩的稳定没有影响。可由以下观测数据说明:

(1) 爆破时边墙最大振动速度为2.6厘米/秒,远远小于混凝土产生裂缝的振动速度临界值20厘米/秒;

(2) 爆破时混凝土衬砌的最大拉应变小于 $20\mu\epsilon$ ,最大压应变小于 $50\mu\epsilon$ ,均在混凝土弹性变形范围内;其相应的最大拉应力小于5公斤/厘米<sup>2</sup>,最大压应力小于15公斤/厘米<sup>2</sup>,均远小于混凝土的破坏应力;

(3) 爆破前后边墙衬砌内部及围岩内的声波传播速度无明显变化,可以认为衬砌混凝土及围岩没有受到爆破破坏;

(4) 爆破前后边墙收敛位移有正有负,其数值在仪器量测误差范围以内,说明爆破过程中边墙无明显位移。

4. 边墙收敛位移的长期观测表明,从水沟开挖到整体道床灌筑的时间内,边墙有微量位移,平均总位移量为0.355毫米,方向为向围岩一侧位移,但远没有影响边墙的稳定。在整体道床灌筑过程和灌筑以后,位移基本停止。

## 五、整治效果及主要体会

该隧道经新设双侧排水沟及竖向水沟,同时采用喷混凝土、水泥、水玻璃双液注浆、DM-1堵漏、喷涂乳化沥青等综合治水措施,经1983年11月19日工程验交,双侧水沟排水畅通,漏水已明显减轻,消灭了水漫线路、滴漏水成线、冬季刨冰等病害。收到了较好的效果。

开挖水沟每延米单价合52.67元,其中包括人工费30.16元,材料费22.51元。采用导爆管非电毫秒控制爆破施工,最高月进尺达到130米,提高效率185.7%,加快了工程施工进度。两年来,在人身、行车安全方面与设备的稳定,从未发生任何事故,保证工程正常顺利的进行。

通过工程实践,我们的主要体会是:

1. 采取以排为主、堵排结合的综合治水原则,整治隧道漏水病害是正确的,有成效的。改造和增设排水沟,对畅通洞内水流,消灭漏水有着积极的作用,其设计方案与其它综合治理措施,应根据不同隧道条件因地制宜确定;

2. 科研观测数据和施工实践表明,对于IV类围岩的单线隧道,采用控制爆破方法深挖

两侧水沟的施工方法是可行的,只要根据工程实际条件,制定合理的技术措施,可以保证隧道衬砌和围岩的稳定;

3. 双侧水沟控制爆破中有关非电毫秒爆破,预裂爆破、光面爆破、分部开挖等技术措施是正确的和可行的,对加快施工进度、保证安全和工程质量,起到了积极的作用;

4. 在运营条件下进行隧道双侧水沟的爆破开挖施工,施工条件复杂,影响因素众多,必须认真作好施工组织,严格施工管理,健全各项安全制度,精心施工,才能保证施工进度和质量,确保行车安全。

## 中国企业发展的十大趋势

随着经济体制改革的不断发展和新技术革命的冲击,我国企业开始走上一条新兴的充满生机的道路,呈现出了越来越多的促进生产力发展的新生因素,给企业在思想、组织、素质、策略、信息等方面以新的发展和提高,构成了我国企业发展的十大趋势。

一、企业经营由封闭的生产型向开放的生产经营型转化,这种转化使企业出现了生机和活力。

二、企业结构由单纯的生产型向生产、科研、教育系统型发展。

三、企业计划管理由指令型向指导型、市场型、预测型发展。

四、企业领导方式由金字塔式一元化领导向矩阵式多元化领导发展。这种多元化领导,不仅表现在领导和决策体制的多元化上,而且还表现在经营权和监督权分开,甚至和所有权分开造成的企业权力多元体系上。

五、企业管理由行政型、经验型向管理科学型发展。

六、企业生产由大批量、少品种向小批量、多品种发展。

七、企业产品由十几年一贯制向不断更新换代发展。

八、企业领导者由资历化向革命化、知识化、专业化、年轻化发展。

九、企业职工由体力型向脑力型、智能型发展。

十、企业策略由执行型向最佳型发展。

(摘自《企业管理》)