

# 重庆鸡冠石排水隧道光面爆破施工技术

杜运国

(中铁十五局集团,河南 洛阳 471041)

**摘要:**以重庆排水工程鸡冠石隧道为例,重点介绍了城市小断面隧道光面爆破设计、关键施工技术及操作流程。

**关键词:**隧道;光面爆破;爆破参数

**中图分类号:**TV554<sup>+</sup>.1;TU992 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2008)01-0071-04

控制爆破以达到最佳的爆破效果是科技人员关注的焦点。许多工程师们开始从事光面爆破和预裂爆破的研究,其目的是使爆破后的岩石表面能按设计轮廓线成形,表面能较平顺且超、欠挖量最小。它与传统的爆破法相比,最显著的优点是能有效地控制周边眼炸药的爆破作用,从而减少对围岩的扰动,保持围岩的稳定,确保施工安全,同时又能减少超、欠挖,提高工程质量,加快施工进度。我们在重庆鸡冠石隧道施工中,采用光面爆破技术,通过精心设计,进行技术创新,取得了良好的施工效果。

## 1 工程概况

鸡冠石隧道是国家重点环保工程,是重庆市主城排水工程的一项控制工程。隧道全长 3694 m,开挖断面 17.44 m<sup>3</sup>,出露的围岩主要为泥岩、砂岩,部分地段围夹钙质页岩,岩层为微风化~未风化,节理、基岩裂隙水发育,孔隙水含量少。

## 2 光面爆破设计

### 2.1 器材选用

光面爆破器材主要有:炸药、非电塑料导爆系统、毫秒雷管和导爆索等。

周边眼炸药一般选择低爆速、低密度、低猛度、高爆力、小直径、传爆性能良好的炸药。

周边眼使用的雷管一般选择分段多、起爆同时性好的非电毫秒雷管,能提高施工安全,减少爆破振动的作用。

### 2.2 光面爆破参数的选择

#### 2.2.1 周边眼间距 $E$

周边眼间距是直接控制开挖轮廓面平整度的主要因素,一般情况下  $E = (12 \sim 16)d$  (其中  $d$  为炮眼

直径,  $d = 40 \sim 50$  mm)。对于节理较发育、层理明显以及开挖轮廓要求较高的地下工程,周边眼间距可适当减小,也可在两炮眼之间增加一个不装药的导向空眼。

#### 2.2.2 最小抵抗线 $V$ (光面层厚度)

最小抵抗线  $V$  直接影响光面爆破效果和爆破块度,其取值在  $(13 \sim 18)d$  范围内,且  $V \geq E$ ,经验参考值为 0.8,有利于形成光面。

#### 2.2.3 周边眼密集系数

一般情况,以周边眼的相对距  $E/V = 0.7 \sim 1.0$  为宜。

#### 2.2.4 装药集中度 $q$

采用 2 号岩石硝铵炸药进行光面爆破,若预留光爆层,  $q = 0.15 \sim 0.2$  kg/m,若全断面一次爆破,则中硬岩取  $q = 0.20 \sim 0.30$  kg/m,硬岩取  $0.28 \sim 0.35$  kg/m,软岩取  $0.07 \sim 0.15$  kg/m。如果采用其它炸药,则需进行换算,其换算系数  $K$  按下式计算:

$$K = \frac{1}{2} \left( \frac{2 \text{号岩石炸药猛度}}{\text{换算炸药猛度}} + \frac{2 \text{号岩石炸药爆力}}{\text{换算炸药爆力}} \right)$$

我单位在鸡冠石隧道不同岩性的光面爆破参数见表 1。在施工过程中,制定某种岩性的开挖爆破参数时,除查表 1 外,必要时还要在与所做工程地质条件相类似的岩层中进行试验,求得更准确的爆破参数。

### 2.3 各地段的爆破设计

#### 2.3.1 砂岩地段爆破设计

K0+100~330 段隧道开挖出露的围岩为砂岩,中厚层,节理裂隙不发育,整体稳定性较好,隧道开挖采用全断面光面爆破,在施工过程中经过多次爆破试验,最终确定该段隧道爆破周边眼间距为 53 cm,周边眼最小抵抗线 55 cm,  $E/V = 0.96$ ,炮眼布置

收稿日期:2007-05-22

作者简介:杜运国(1976-),男(汉族),湖南衡阳人,中铁十五局集团有限公司中南指挥部副总工程师、工程师,交通土建专业,河南省洛阳市红山乡中铁十五局三公司, flo005@126.com。

表1 光面爆破参数表

岩石情况	岩石单轴抗压强度/MPa	周边眼间距/mm	周边眼最小抵抗线/mm	相对距 E/V	装药集中度/(kg·m <sup>-1</sup> )
硬、中硬岩	砂岩厚层、中厚层	550~650	650~750	0.8~1.0	0.25~0.30
	砂岩中薄层	500~600	600~700	0.8~1.0	0.20~0.25
	泥岩中厚层	450~500	500~650	0.8~1.0	0.15~0.20
	泥岩中薄层	20~30	450~500	0.8~1.0	0.10~0.15
软岩	泥岩夹钙质页岩	<20	450~500	0.8~1.0	0.07~0.15

见图1,爆破参数见表2。循环最高进尺2.3 m,平均循环进尺2.2 m,平均炮眼利用率93%,炮痕保存率为90%,平均线性超挖5.0 cm。

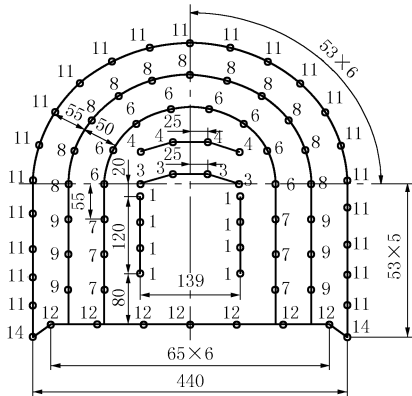


图1 砂岩段炮眼布置图

表2 砂岩段爆破参数配置表

序 号	炮眼 分类	炮眼 数/个	起爆顺序 及分段	炮眼装药量				
				深度 /cm	每孔药卷数 /卷	每孔装 药量/kg	合计药量 /kg	
1	掏槽眼	8	1段	250	9	1.35	12.15	
2	扩槽眼	4	3段/4段	230	6/4	0.9/0.6	4.5	
3	辅助眼	18	6段、7段	230	4	0.6	10.8	
4	内圈眼	17	9段	230	3	0.45	7.65	
5	周边眼	21	11段	230	2	0.45	9.45	
6	底板眼	7	12段	250	7	1.05	7.35	
7	底脚眼	2	14段	230	4	0.6	1.2	
合计							79	53.1

注:采用2号岩石硝铵炸药,规格为:Ø32×200(0.15 kg)药,光爆参数: $E=53$  cm, $V=55$  cm, $q=0.2$  kg/m,开挖断面 $17.44$  m<sup>2</sup>,循环进尺2.1~2.3 m,单位炸药消耗量 $1.38$  kg/m<sup>3</sup>,周边眼采用空气柱间隔装药,使用导爆索和非电毫秒雷管,双雷管引爆。

### 2.3.2 泥岩段爆破设计

K1+800~880段隧道出露的围岩为泥岩,节理裂隙不发育,整体稳定性较好,隧道开挖采用全断面光面爆破,在施工过程中经过多次爆破试验,最终确定该段隧道爆破周边眼间距为49 cm,周边眼最小抵抗线为55 cm, $E/V=0.89$ ,炮眼布置见图2,爆破参数见表3。循环最高进尺2.3 m,平均循环进尺2.2 m,平均炮眼利用率90%,炮痕保存率85%,平均线性超挖7.0 cm。

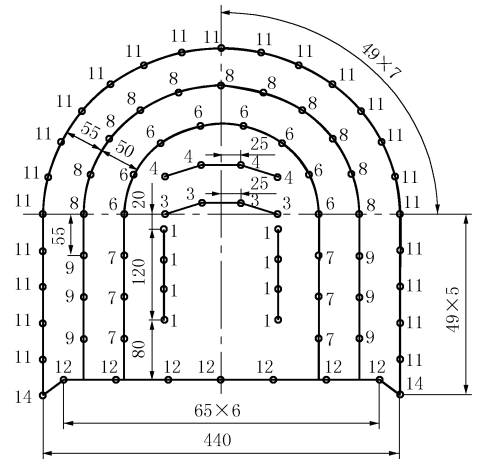


图2 泥岩段炮眼布置图

表3 泥岩段爆破参数配置表

序 号	炮眼 分类	炮眼 数/个	起爆顺序 及分段	炮眼装药量				
				深度 /cm	每孔药卷数 /卷	每孔装 药量/kg	合计药量 /kg	
1	掏槽眼	8	1段	250	8	1.2	9.6	
2	扩槽眼	4	3段/4段	230	6/4	0.9/0.6	4.5	
3	辅助眼	18	6段、7段	230	4	0.6	10.8	
4	内圈眼	17	9段	230	3	0.45	7.65	
5	周边眼	23	11段	230	2	0.3	6.9	
6	底板眼	7	12段	250	7	1.05	7.35	
7	底脚眼	2	14段	230	4	0.6	1.2	
合计							79	48

注:采用2号岩石硝铵炸药,规格为:Ø32×200(0.15 kg)药,光爆参数: $E=49$  cm, $V=50$  cm, $q=0.15$  kg/m,开挖断面 $17.44$  m<sup>2</sup>,循环进尺2.1~2.3 m,单位炸药消耗量 $1.25$  kg/m<sup>3</sup>,周边眼采用空气柱间隔装药,使用导爆索和非电毫秒雷管,双雷管引爆。

### 2.3.3 泥岩夹钙质页岩爆破设计

K2+836~896段隧道出露的围岩为泥岩夹钙质页岩,有2组压性节理,裂隙发育,有地下水,整体性稳定性一般,隧道开挖采用全断面光面爆破,在施工经过多次爆破试验,最终确定该段隧道爆破周边眼间距为45 cm,周边眼最小抵抗线为50 cm, $E/V=0.9$ ,炮眼布置见图3,爆破参数见表4。最高进尺2.4 m,平均循环进尺2.3 m,平均炮眼利用率95%,炮痕保存率80%,平均线性超挖10 cm。

### 2.4 爆破效果分析

在鸡冠石隧道爆破开挖过程中,我项目部针对不同的岩性、岩体结构调整爆破参数,改善爆破效

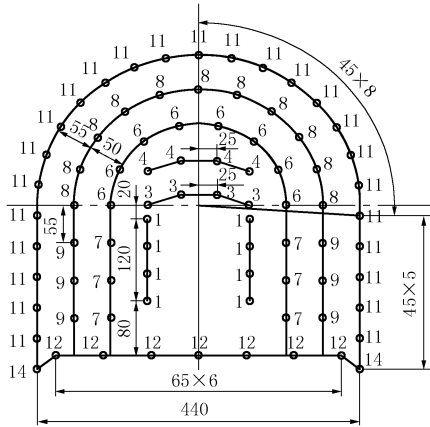


图 3 软岩段炮眼布置图

表 4 泥岩夹钙质页岩爆破参数配置表

序 号	炮眼 分类	炮眼 数/个	起爆顺序 及分段	炮眼 深度 /cm	炮眼装药量		
					每孔药卷数 /卷	每孔装 药量/kg	合计药量 /kg
1	掏槽眼	8	1 段	250	8	1.2	9.6
2	扩槽眼	4	3 段/4 段	230	6/4	0.9/0.6	4.5
3	辅助眼	18	6 段、7 段	230	4	0.6	10.8
4	内圈眼	17	9 段	230	3	0.45	7.65
5	周边眼	25	11 段	230	2	0.2	5.0
6	底板眼	7	12 段	250	6	0.9	6.3
7	底脚眼	2	14 段	230	4	0.6	1.2
合 计		79					45.05

注:采用 2 号岩石硝铵炸药,规格为:Φ32 × 200(0.15 kg)药,光爆参数: $E=45\text{ cm}$ , $V=50\text{ cm}$ , $q=0.087\text{ kg/m}$ ,开挖断面  $17.44\text{ m}^2$ ,循环进尺  $2.2\sim 2.4\text{ m}$ ,单位炸药消耗量  $1.15\text{ kg/m}^3$ ,周边眼采用空气柱间隔装药,使用导爆索和非电毫秒雷管,双雷管引爆。

果,当光面爆破参数位于表 1 所示光面爆破参数范围内时,爆破效果较好,平均炮眼利用率、炮痕保存率较高,超欠挖较少。

### 3 光面爆破施工工艺

#### 3.1 布眼

钻眼前,由测量人员用红油漆准确绘出开挖断面的中线和轮廓线,标出周边炮眼位置,误差  $\geq 5\text{ cm}$ 。

#### 3.2 钻眼

钻眼时,先定位开眼,轴线与隧道轴线保持平行,先用短钻杆定位,再用长钻杆加深。操作平台就位后按炮眼布置图正确钻孔,掏槽眼和周边眼的钻眼精度要控制在  $5\text{ cm}$  以内。要求施钻工人要熟悉炮眼布置图,能够熟练的操作凿眼机械,特别是周边眼,要由经验丰富的老钻工施钻,准确控制周边眼外插角,眼深  $3\text{ m}$  时外插角  $< 3^\circ$ ;眼深  $5\text{ m}$  时外插角  $< 2^\circ$ ,尽可能使两茬炮交界处台阶小于  $15\text{ cm}$ ;并根据眼口位置岩石的凸凹程度调整炮眼深度,以保证炮

眼底在同一平面上。

#### 3.3 清孔

装药前,用炮钩和高压风将炮眼内石屑清理干净,以便装药。

#### 3.4 装药

按炮眼设计图和确定的装药量自上而下分片分段进行,雷管对号安设,定人、定位、定段别,按要求用炮泥堵塞,堵塞长度  $\leq 30\text{ cm}$ 。

#### 3.5 联结起爆网络

常用孔内控制微差爆破,若一次爆破孔眼数量较多,而雷管段数不够用时,可采用孔内、孔外混合及串联、并联混合网络实现其微差爆破,充分保证起爆的可靠性和准确性。

#### 3.6 瞎炮处理

发现瞎炮,首先查明原因。如果是孔外的导爆管损坏引起的瞎炮,则切去损坏部分重新连接导爆管即可;如因孔内导爆管损坏或其本身存在的问题引起的瞎炮,则参照《铁路隧道安全技术规则》(TBJ 404-87)有关条款处理。

### 4 光面爆破施工技术要点

#### 4.1 提高钻孔利用率技术

为了提高钻孔利用率,除了优化施工方案,选配先进的机械设备和选派优秀的施工队伍外,施工人员还要熟悉掌握钻爆作业中的关键技术。

##### 4.1.1 掏槽眼

掏槽眼采用了斜眼掏槽,角度为  $70^\circ\sim 73^\circ$ ,布置在开挖面的中偏下  $50\text{ cm}$  的部位,掏槽眼比辅助眼深  $20\text{ cm}$ ,操作方便,掏槽效果较好。

##### 4.1.2 辅助眼

按照钻爆作业的炮眼布置图均匀布置,辅助眼采用连续装药反向起爆,装药系数为  $0.5\sim 0.6$ ,断面较大时采用较小数值,施工中根据爆破效果,进行了调整,鸡冠石隧道装药系数一般为  $0.6$ 。

##### 4.1.3 周边眼和底眼

周边眼应做到“准、齐、平、直”,即钻孔位置准确;炮眼底部要整齐(在同一平面内);炮眼“平直”即炮眼之间要平行。炮眼外插角一定要控制在最小范围内,保证眼底不超过开挖断面轮廓线  $10\text{ cm}$ 。底眼一般比周边眼深  $20\text{ cm}$ 。

#### 4.2 提高光面爆破效果技术

(1) 根据围岩特点合理选择周边眼间距及周边眼的最小抵抗线。周边眼的间距要根据现场地质条件和岩性,视岩石的抗爆性、炸药性能、炮眼直径和

装药量而定。一是当断面较小或围岩软弱、破碎或在曲线、折线处开挖成形要求较高时,周边眼间距宜取较小值;二是正常情况最小抵抗线应小于周边眼间距,软岩在取较小周边眼间距的同时,抵抗线要适当增大;三是对于软岩或破碎性围岩,周边眼的相对距(周边眼间距/周边眼最小抵抗线)应取较小值。

(2)控制光面眼的药量,并使炸药沿炮眼全长合理分布。

(3)控制光面爆破周边眼的外插角方法是采用长短两种型号钻杆,开钻时首先用短钻杆定位,再用长钻杆加深。为保证隧道开挖后符合设计轮廓线,周边眼不能偏离设计轮廓线,周边眼间距误差 $<5\text{ cm}$ ,爆破效果最佳。因凿眼机外形尺寸的限制,钻孔时要有个向外倾斜的角度,一般外斜角控制在 $2^\circ\sim 3^\circ$ 。

(4)打超前探孔,一是可以先探明隧道的工程地质和水文地质情况,预防突泥突水;二是掏槽减压,增加爆破效果。中空眼施作常用的方法有:一是采用水平浅孔钻机钻孔,钻孔深度可在 $20\text{ m}$ 以上;二是采用普通钻杆钻孔,装少量药进行扩孔,缺点是钻孔深度较浅。

(5)掏槽爆破要超前,掏槽爆破超前有利于增大临空面,提高爆破效果。

(6)掌子面与初期支护拉开距离。围岩条件好时掌子面与初期支护可拉开一定距离,但必须初喷封闭,这样既可以提高周边眼钻孔效果,又不会对安全产生任何影响。

(7)利用残眼影响爆破效果,特别是周边眼更是如此,建议尽量少用或不用上排炮的残眼。

(8)施钻人员和打炮眼时位置要相对固定,分片包干作业,由于人们的视觉和习惯性动作,经常调换不利于控制光面眼的外插角,影响光爆效果。

## 5 体会

(1)光面爆破参数的选定应根据围岩特点进行爆破成缝试验后确定,合理选择周边眼间距及周边眼的最小抵抗线及周边眼的装药量。

(2)周边眼宜采用小直径药卷和低爆速炸药,装药量应具有破岩所需的应力能量,又不致造成对围岩的严重破坏,借助导爆索实现空气间隔装药,使炸药均匀的分布在炮眼内,有利于形成光面。

(3)爆破分段特别需要注意起爆时差,实践证明,起爆时差越小,则光面爆破效果越好,鸡冠

石隧道采用隔段雷管,时差为 $100\text{ ms}$ 。

(4)辅助眼爆破由里向外逐层起爆,起爆顺序不能颠倒,否则光爆破效果不佳,甚至失败。

(5)为使光面爆破产生良好的效果,一是要注意将掏槽炮与辅助炮之间的起爆时差稍加大,保证掏槽区石渣能全部抛出槽口,利于后续辅助眼爆破,二是辅助眼爆破后坑道形状尽量接近开挖轮廓形状,让光面爆破层厚度尽可能一致,利于光面爆破。

(6)采用毫秒雷管微差起爆系统,为了使周边爆破时产生临空面,分段的辅助眼雷管起爆时差尽可能小,周边眼采用导爆索或高精度系列迟发电雷管起爆效果更好,因为采用该系统起爆周边炮眼,即具有同时起爆的爆破威力,容易成形,又可以减少对轮廓线以外围岩的扰动。

(7)严格执行钻眼工艺,使炮眼的位置及方向误差较小,能提高隧道光面爆破质量。

(8)在隧道施工过程中,采用水压爆破技术,即掏槽眼、辅助眼、底板眼采用水压爆破,不但可以提高炸药利用率、提高施工效率、提高经济效益,而且可以降低粉尘、减少环境污染、保护环境和施工人员的身心健康。

## 6 结语

光面爆破是一个综合过程,涉及到许多方面,尤其在小断面隧道爆破中,岩石的夹制作用非常明显,稍不注意,将造成隧道大面积超欠、挖。我们在鸡冠石隧道光面爆破施工过程中,开展了技术攻关,取得了可喜的效果:一是开挖岩面上无粉碎岩石和明显的爆震裂缝;二是节约炸药,起到减少振动的效果,对围岩的震动破坏最小;三是获得良好的爆破效果;四是提高掘进速度,有利于安全施工;五是岩面平整,为锚喷、衬砌等工序创造有利条件,同时还可以减少超挖和回填混凝土的数量。比如象Ⅳ类以上围岩,周边炮眼痕迹保存率可达到 $85\%\sim 90\%$ ,Ⅱ~Ⅲ围岩可达到 $70\%\sim 80\%$ ,周边炮眼痕迹在开挖轮廓面上均匀分布,两茬炮衔接时出现的台阶形误差 $<15\text{ cm}$ 。

## 参考文献:

- [1] 陈豪雄,殷杰.隧道工程[M].北京:中国铁道出版社,1995.
- [2] 刘殿中.工程爆破实用手册[M].北京:冶金工业出版社,1999.