

光面爆破技术在隧道施工中的应用

辛文海

青海省交通建设管理有限公司，青海 西宁 810000

DOI:10.61369/ERA.2025070008

摘 要： 光面爆破是指通过对爆破的影响区域和方位进行控制，从而实现了表面的平滑和平整，从而避免了岩石表面的破裂，从而降低了超、欠挖以及支护的工作量，提高了岩石的稳定性，降低了爆破震动对周围环境的干扰，从而实现了岩石开挖面的控制，广泛应用于隧道开挖施工过程中。本文以大河家（甘青界）至清水段公路工程项目—麻尔坡隧道详细介绍了光面爆破的工作机理、参数选定及工艺方法。

关 键 词： 光面爆破；隧道；爆破参数

Application of Smooth Blasting Technology in Tunnel Construction

Xin Wenhai

Qinghai Transportation Construction Management Co., Ltd., Xining, Qinghai 810000

Abstract： Smooth blasting is a technique that controls the range and direction of blasting to make the rock surface smooth and flat after blasting, prevent rock surface cracking, reduce the amount of over excavation, under excavation and support work, increase the stability of rock walls, reduce the disturbance of blasting vibration to surrounding rock, and thus achieve the control of rock excavation contour. It is widely used in tunnel excavation construction process. This article provides a detailed introduction to the working mechanism, parameter selection, and process methods of smooth blasting in the Malpo Tunnel of the Dahejia (Ganqingjie) to Qingshui section highway project.

Keywords： smooth blasting; tunnel; blasting parameters

引言

在隧道开挖作业中测量放线、开挖爆破、铲装运输、围岩排险、初支立架、初支喷混的一个循环的各个工序中，开挖爆破是岩质隧道建设中最为关键的一个环节，直接关系到工程的安全，也关系到岩体（开挖面）的完整性、稳定性、初期支护效率、工程进度及造价。

为了加速隧道建设，保证隧道的安全，提高隧道的施工效率，提高隧道的经济效益，提高隧道的施工效率，有着十分重要的作用。

一、工程背景

大河家（甘青界）至清水段公路工程麻尔坡隧道位于循化县清水乡东侧麻尔坡低中山山麓斜坡区，隧道进口位于麻尔坡村北东侧黄河右岸斜坡中下部地带，出口位于麻尔坡村东侧黄河右岸斜坡中下部河谷区。隧道左右洞长度分别为1785m和1928m为长隧道。采用两台阶爆破。隧址区第四系覆盖层主要由黄土（Q4ml）、粉土、角砾、碎石、卵石等组成；隧道穿越段下伏岩层为白垩系下统河口群上段（K1hka）砂岩、砾岩与泥岩、前震旦系（AnZgr2）片岩等组成。

表1 麻尔坡隧道概况
Table 1 Overview of Malpo Tunnel

项目	起讫桩号	长度	Ⅳ级	Ⅴ级
		m	m	m
麻尔坡隧道	ZK19+934~ZK21+719	1785	1012	643
	K19+810~K21+738	1928	1057	791

二、光面爆破

通过对围岩特征的分析，并参考了国内外同类工程，对光爆炸工艺进行了优选。光爆法的主要参数包括：炮孔直径，周边眼间距，最小抗力，密度，线密度等。

（一）炮孔直径

通常，炮孔径选择在35mm至45mm之间。此次施工阶段所使用的炮孔直径为42mm。

（二）周边眼参数

1. 周边眼间距

在不耦合装药的情况下，光面爆破必须满足孔中静压F低于岩石最大抗压强度但比岩石高的要求。隧洞开挖时，可以参考以下的经验公式（1）进行选择：

$$E=(10-15) \times d \quad (1)$$

E—周缘孔间距厘米

在计算出的炮孔直径的基础上,选择了42cm到63cm的周边并根据本隧道的围岩状况和表2中给出的经验值,选择了50的周边眼间距。

光面层的最小抗力，也就是光面层的厚度，其取值与岩体的
性、地质结构等有关。

光爆层的厚度 V 和外围孔洞的距离 E 之间有非常密切的联系, 其比 $K = E/V$, 即外围孔洞密度。在此基础上, 通过选择 E 、 V 两个参数, 对周边眼密度进行计算, 得到公式 (2)。

3. 线装药密度

表2 光面爆破参数
Table 2 Smooth blasting parameters

岩石种类	饱和单轴抗压极限强度 Rb (MPa)	装药不耦合系数 D	周边孔间距 E (mm)	周边孔最小抵抗线 V (mm)	相对距 E/V	周边孔装药集中度 q (kg/m)
硬岩	> 60	1.25-1.50	550-700	700-850	0.8-1.0	0.30-0.35
中硬岩	30-60	1.50-2.00	450-600	600-750	0.8-1.0	0.20-0.30
软岩	< 30	2.00-2.50	300-500	400-600	0.5-0.8	0.07-0.15

非耦合性是指药筒直径与药筒直径之比,本工程采用的药筒直径为32mm,通常取药筒非耦合系数为1.25-2.5,如式(3)所示。

三、装药结构

The diagram illustrates a segmented explosive cable (导爆索) used in blasting. It consists of three main segments: 装药段 (Charging segment), 空气段 (Air segment), and 堵塞段 (Blocking segment). The cable is shown as a long, thin tube with internal segments. A red line indicates the path of the explosive material, which is segmented. The segments are labeled: 装药段 (Charging segment), 空气段 (Air segment), and 堵塞段 (Blocking segment). The cable is connected to a detonator (导爆索) at the right end.

四、 钻爆设计

(H), 12.54m 宽 (L), 60.77m³长 (S), 钻孔用 TY-28 钻机, 用 2 级乳化炸药, 用导爆绳、无电毫秒雷管起爆, 循环进尺 3m。

槽孔,副孔间距1.2m,排距0.6m。钻孔长度为0.8m, V 为 0.85m。底板上的孔洞应进行合理的加密,一般为1m。按照3.2给出的外围眼参数,图2.3.4显示了炮眼设计图。

名称	孔长 (m)	孔深 (m)	孔数	雷管段位	单孔药量 (Kg)	堵塞长度 (cm)	单段药量 (Kg)
掏槽孔 1	3.53	3.2	8	1	1.7	30	13.6
掏槽孔 2	3.16	3.2	8	3	1.7	30	13.6
扩槽孔	3.04	3.2	8	5	2.6	30	20.8
掘进孔 1	3.01	3.2	6	7	2.1	30	12.6
掘进孔 2	3	3.2	8	9	2.1	30	16.8
底板孔	3	3	14	11	2.1	30	29.4
辅助孔	3	3	19	13	1.2	30	22.8
周边孔	3	3	38	15	0.5	20	19
进尺 (m)	断面 (m ²)	装药总量 (Kg)		钻孔个数 (个)	炮孔密度 (个/m ²)	炸药单耗 (Kg/m ²)	
3	60.77	148.6		109	1.79	0.81	

Fig.2 Blasting parameter table

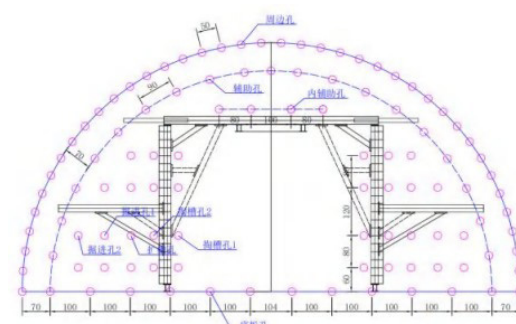


Fig.3 Blast Hole Layout

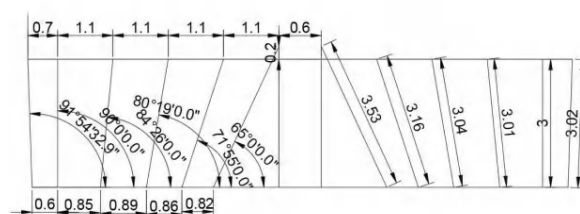


Fig.4 Sectional View of Blast Hole

五、现场验证实施

见图5。



Fig.5 Process Flow Diagram

（二）测量

为确保开挖断面满足设计要求，必须在巷道开挖等高线附近布设周边眼。在周边孔和掏槽孔之间，错开、均匀地设置辅助孔，以保证爆破碎石的粒度满足装渣要求。在钻孔前，勘测员在钻孔前，用红色铅条精确地画出钻孔的中心线、等高线，并将钻孔的位置标注出来，误差不大于3cm，并将报告给隧道技术主管。经勘测，在掌面上用红漆标出了炮眼的起钻点，并要求起钻点严格依照测绘标志上的测点进行钻孔操作。

（三）定位

按照炮位的要求进行合理的布孔，掏槽及周边孔的布孔速度要快，布孔误差要小于3cm。

（四）钻孔

按照炮位的布局，将掘进工人的工作范围划分清楚，并将“五点”落实到位（定点，定人，定量，定时间，定奖惩）。

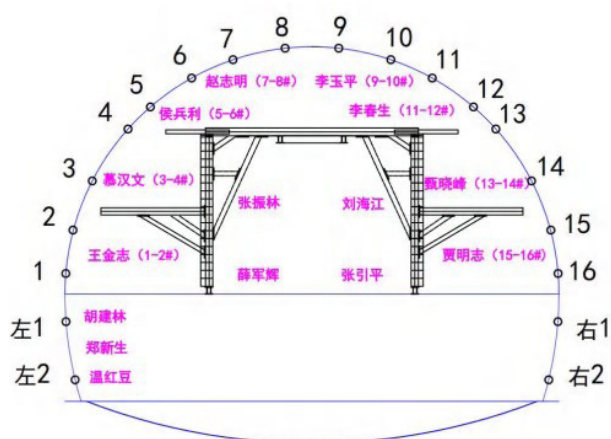


图6 麻尔破隧道上台阶钻孔分工图

Fig.6 Division diagram of drilling on the upper steps of the Malpo Tunnel

（五）装药

炮棒上有各种颜色的标记，以确保炸药到达指定的炮位。



图7 周边孔间隔等距装药

Fig.7 Charge evenly spaced around the perimeter holes

（六）连线

炮身与导爆索相连，孔内有一根导爆绳贯穿成 T 形节，仅用胶带绑好雷管的起爆段。



图8 导爆索“T”型链接

Fig.8 T-type link of detonating cord

（七）起爆

联网之后，在准备引爆之前，要将危险区域内的人员疏散出去，应该设置防护装置的必须设置，并经安全员确认后才能启动，使用非电毫秒雷管引爆。

（八）排险



图9 光爆前排险后超欠挖严重

Fig.9 Serious over excavation and under excavation after clearing risks before the light explosion



图10 光爆后排险后无超欠挖

Fig.10 After the light explosion, there was no over excavation or under excavation after the risk was eliminated

（九）效果检查

光爆法处理后，炮眼的痕迹率可达90~95%，两炮接头的最大孔径为9厘米，超欠挖只有5%；无爆破超欠量（30%）。

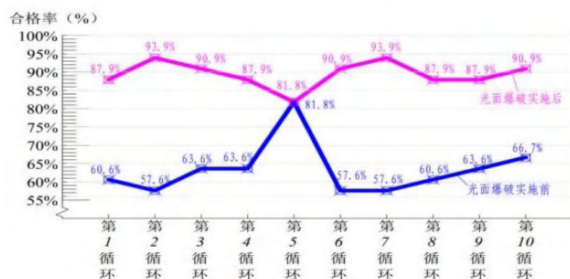


图 11 光爆实施前后炮眼残留率

Fig.11 Residual rate of gun holes before and after the implementation of light explosion

六、 软弱围岩光面爆破重点

1. 光面爆破的核心即是减小周边眼集中装药量，将单节炸药量控制越小，对围岩的扰动越小。
2. 堵塞炮孔可以减少爆破气体能量散失，防止孔口炸药在被引爆前被气体吹出，必须堵塞严密。

3. 最小抵抗线 (W) 是光面爆破又一重要参数，它是周边眼与内圈眼的距离（即光爆圈厚度），炮孔炸药爆炸将会向四周临空面最短的距离产生裂缝，如抵抗线不合理，加之围岩本身裂隙作用，爆炸能量在未贯通周边孔之前就往内圈方向释放，会造成两个周边眼之间出现欠挖。

4. 炮孔质量：“准”位置准，要画弧画炮眼；方向准，掌子面要预留宽度，孔口位置在开挖线以内5cm，孔底在开挖线以外15cm；“平”炮孔水平、平行，难点在开挖台架交界处；“直”炮孔孔底在一个铅直面，爆破后掌子面垂直。

5. 导爆索接头尽量缠绕多圈，绑紧，接头靠近孔口，否则易出现瞎炮。

6. 要设置长效考核奖罚机制，提高工人主动性。

通过对光面爆破进行治理，使隧洞中的超欠量得到了较好的控制，同时也大幅度地降低了喷砼的用量，节约了工程造价，具有较好的经济效益。所以，光面爆破技术对于加快隧道施工进度、保障隧道施工安全、提高隧道开挖的经济效益具有重要意义。

参考文献

- [1] 彭国才. 公路隧道施工技术规范 [J]. 北京：人民交通出版社，2020.
- [2] 夏娟. 论隧道工程的光面爆破特征及参数选择要素 [J]. 住房与房地产，2017, 24: 251.
- [3] 杨新华. 隧道施工中的光面爆破技术及实施要点分析 [J]. 科技经济导刊，2017, 16: 56.
- [4] 方世蓉. 隧道施工中的光面爆破技术及实施要点的研究 [J]. 智能城市，2017, 2: 102-103.
- [5] 凌伟明. 光面爆破和预裂爆破破裂机理的研究 [J]. 中国矿业大学学报，1990, 19 (4): 79-87.
- [6] 凌伟明，杨永琦. 爆生气体在光面爆破中的应用 [J]. 煤炭学报，1990, 15(1): 73-82.