

# 隧道机械化施工光面爆破技术应用探讨

杜爱军

四川公路桥梁建设集团有限公司机械化施工分公司

**摘要：**光面爆破对隧道内围岩扰动较小，充分利用围岩的自稳性，从而确保隧道施工过程中的安全，同时光面爆破对超欠挖控制较好，减少超挖从而到达一定经济效应。本文以具体工程为例，探讨了光面爆破技术在隧道机械化施工中的应用要点，以供参考。

**关键词：**隧道施工；机械化；光面爆破技术；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.13.021

## 一、工程概况及隧道机械配置情况

西香高速公路盐源隧道位于四川省凉山彝族自治州盐源县境内，全长14.15Km，主洞建筑限界净宽\*净高=10.25\*5m，为双向四车道特长隧道。设置2座竖井，隧道左右洞间距为30m，左洞左侧设1座平行导洞，导洞与主线左洞间距30m，洞门设计为端墙式。隧道地质条件复杂，包含强震区、煤层与瓦斯、岩溶、大变形等多种不良地质。

为横向对比传统隧道施工技术，总结隧道全机械化施工经验，形成一套特长隧道全机械化施工技术，达到机械化减人、降低隧道安全风险，提高工作效率，保障隧道工期以及全隧道推广使用的目的，盐源隧道出口端投入全套机械化设备施工。掌子面至二衬使用设备依次为全电脑版三臂凿岩台车、智能拱锚一体化台车、湿喷机械手、自行式液压仰拱栈桥、自动挂布台车、智能二次衬砌台车、二衬养护台车。

## 二、光面爆破的概念

光面爆破是指在主炮孔起爆后，再起爆光面爆破炮孔，爆落光爆层，使开挖面保持平整光滑，围岩不受明显破坏的控制爆破技术。所谓主炮孔是指爆破主体石方的普通炮孔，光面孔是指沿设计开挖轮廓线布置的炮孔，光爆层是由光面孔爆落的那层岩石。并不是传统认为使用导爆索就是光面爆破，应正确理解光面爆破概念。

盐源隧道出口端机械化施工光面爆破工艺采用三臂凿岩台车钻孔，人工装药，导爆索引爆周边孔的方式。

## 三、光面爆破实行的意义和目的

1、控制并缩短了后续出渣、初支等工序作业时间，带来总工期的缩短，达到隧道贯通时间提前工期效益。

2、由于超挖量较小且轮廓面控制较好，杜绝了初支背后的空洞，避免隧道质量事故、安全隐患。

3、隧道开挖轮廓面平顺光滑，周边围岩不受破坏或破坏较小，更好地发挥围岩的自承能力作用，不易出现掉块或坍塌，保证了初支作业安全。

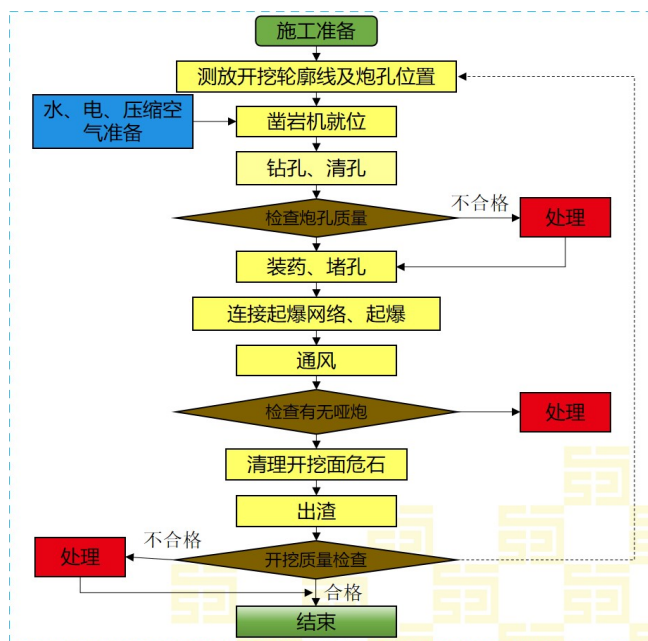
4、有效控制超欠挖后，可以提高拱架安装质量和精度，防水板可以平顺挂设，减少防水板刺破等质量风

险，提升隧道质量，保障运营安全，减少后期运营维护费用。

5、减少洞渣和喷射混凝土耗用量，是先进技术工艺在节能降耗、环境保护方面得到良好应用的典范。

## 四、光面爆破的技术要点

### 1、三臂凿岩台车光面爆破工艺流程



### 2、光面爆破的炮孔间距

为了获得好的光面爆破效果，应根据围岩地质情况合理布置炮孔，计算选取光面爆破参数，处理好光面孔的最小抵抗线  $W$ （即光面层厚度）与孔距  $a$  的关系，该关系用炮孔密集系数  $m = a / W$  表示。

$m$  值的大小对爆破后岩壁的平整度影响很大：若  $m$  过大，光面裂隙还来不及贯通，各孔就已向自由面方向形成爆破漏斗，而在孔间留下凹凸不平的破裂面。反之，若  $m$  太小，孔间裂隙过早形成，爆轰气体提前泄漏，使光面层的破碎效果恶化，产生大块，甚至不能爆落光面层，或孔间破坏严重而形成超挖。所以光面爆破的  $m$  值一般控制在 0.6-0.8 比较合适，地下工程中一般取大值。

光面爆破的炮孔间距理论上可取值炮孔直径的 10-18 倍，考虑到岩体的非均质性和非连续性，通常是炮孔直径的 10-15 倍。坚硬完整的岩体取大值，破碎岩体取小值。

### 3、光爆层厚度与周边孔间距的关系

二者的比值应该在 1.25-1.8 之间。

### 4、钻孔

对周边孔需“准、平、直”，其中“准”为钻孔位置准确、方向准确，“平”为钻孔平行且保持水平，“直”为与隧道轴线垂直。钻孔的水平，影响光面爆破的爆破质量。禁止将炮孔位置定在围岩分层界面上，需在围岩分层界上下各20cm打孔。

5、炮孔的线装药密度

对于普通2号岩石乳化炸药，该值一般为0.2-0.25kg/m。

6、装药结构

宜选用低爆速、小直径炸药卷，且采用径向和轴向不耦合装药结构，采用导爆索起爆；（采用导爆索起爆不一定是光面爆破）周边孔采用分段装药且装药均匀

分布。

7、堵孔

采用炮泥进行堵孔，每个炮孔需堵塞严实。

8、导爆索的起爆与连接方式

采用先堵后连、“T”形连接、紧贴岩壁、连接节点在孔口。

9、延迟时间、起爆顺序

在隧道掘进爆破中，周边光面爆破炮孔应最后一段起爆，它比前一段起爆的炮孔以延迟100-200毫秒为宜。采用电子雷管延迟、间隔起爆。炮孔爆破顺序：掏槽孔→掘进孔→底板孔→周边孔。

10、盐源隧道出口端右洞全断面光爆参数

盐源隧道出口端右洞全断面光爆主要参数									
炮孔名称	孔长(m)	孔深(m)	孔数	装药长度(m)	线装药密度(kg/m)	卷数	堵塞长度(m)	单孔药量(kg)	总药量(kg)
内层掏槽孔	2.9	2.5	14	1.8	0.6	6	1.1	1.8	25.2
外层掏槽孔	3.7	3.4	16	1.8	0.5	6	1.9	1.8	28.8
扩槽孔	3.5	3.4	12	2.4	0.7	8	1.1	2.4	28.8
掘进孔1	3.2	3.2	15	1.8	0.6	6	1.4	1.8	27
掘进孔2	3.2	3.2	13	1.8	0.6	6	1.4	1.8	23.4
掘进孔3	3.2	3.2	17	1.8	0.6	6	1.4	1.8	30.6
底板孔	3.2	3.2	13	2.1	0.7	7	1.1	2.1	27.3
光爆孔	3.2	3.2	58		0.2		3.2	0.5	29
合计			158						220.1
爆破方量 $3m \times 80.87m^3 / m = 242.6m^3$ ，设计进尺 3.0m，单耗 $= 220.1 / 242.6 = 0.91kg/m^3$									

五、盐源隧道出口端机械化施工光面爆破的效果原因分析

1、光面爆破是个不断适应围岩条件、不断调整方案参数、不断验证、不断效果提升的循环坚持过程，所以必须有设计方案指导施工，盲目凭经验实施只会越爆越差、没有效果、失去信心、回归常规做法。

2、执行效果不佳对应的结果

①三臂凿岩台车受拱架紧跟到掌子面的间距局限，导致臂手钻周边眼时外插角过大，会造成开挖超挖严重、局部又欠挖的现象。

②外插角偏大会造成孔底爆破后与第二次爆破开挖形成较大错台，同时超挖现象普遍。

③周边孔底连续装药，会造成爆破集中，冲击围岩形成较大超挖。

④周边孔间距不均匀造成周边孔间超欠挖，周边孔间距过大，孔间形成欠挖，周边孔间距过小形成孔间超挖，最终反映为光爆面牙搓状。

⑤导爆索连接不规范，容易发生先爆破岩块冲断导爆索出现瞎炮现象。

⑥分段雷管段数使用错误将造成爆破顺序错误，破坏围岩，无法达到光面目的。

3、钻孔及爆破要点掌握

①为确保三臂凿岩台车的钻孔质量，初支到掌子面的距离需要预留2-3榀工字钢间距距离，同时调整开挖、支护施工工序；在保证安全的前提下，根据围岩情况及时调整初支到掌子面的预留距离。

②周边孔外插角度，控制与掌子面夹角为1~2°向外倾斜，外插控制在轮廓线15cm内。

③周边孔采用分段间隔装药，炮孔用炮孔泥堵塞长度宜为50cm，不小于30cm，周边孔的起爆导爆索采用“T”形连接。

④使用分段雷管同次分段起爆，由掏槽孔至辅助掏槽孔、掘进孔、底板孔、周边孔逐排微差起爆，爆破顺序为从掏槽孔开始依次由中心向外起爆，爆破岩层向中心前部抛掷，最后起爆周边孔形成光滑的光爆面。

六、光面爆破与传统爆破经济效益对比分析

通过收集本公司隧道传统爆破的大量数据，与光面爆破数据进行对比，得出下表

盐源隧道出口单循环光面爆破与传统爆破经济效益对比分析表

序号	项目 (一循环)	单位	传统爆破		光面爆破	
			数量	备注	数量	备注
1	围岩超挖量	m <sup>3</sup>	21.6	孔底超挖在 45cm, 平均超挖 30cm	8.64	孔底超挖在 25cm, 平均超挖 12cm
2	喷射砼超用量	m <sup>3</sup>	21.8	喷射混凝土 15% 按照的回弹量计算	9.9	喷射混凝土 15% 按照的回弹量计算
3	周边眼雷管	发	69		5	周边眼用 5 发雷管起爆
4	周边眼炸药	kg	44.1	周边眼一个眼装 3 条 (300g/ 条)	29.4	周边眼一个孔装 2 条 (分段装药)
5	导爆索	m	0		183.75	一个孔用红线 3.75m

说明: 1、进尺按 3m 计算, 开挖轮廓线周长 24m; 2、使用凿岩台车全机械开挖; 3、围岩属于 IV 级。

### 七、光面爆破推行存在的问题和阻碍

通过实践与交流, 发现光面爆破在实际运用过程中存在较大阻碍。

1、现场作业人员往往只强调光面爆破形成平整的开挖面, 即有大量的半壁炮孔痕迹, 才是光面爆破, 而忽视其减弱对围岩的扰动与损伤作用。由此形成了“在坚硬、完整的围岩条件下才采用光面爆破”的不正确的观点。恰恰相反, 对于围岩强度低的软岩或节理裂隙发育的岩体, 更应采用光面爆破。这样, 可以大大减小炮孔的装药集中度, 达到减少超欠挖、减弱围岩损伤的目的。

2、隧道机械化施工应用普及需要一个过程, 操作工人受制于操作习惯影响对新操作方法接受程度低, 觉得光爆方案中的钻孔精度和装药结构要求影响其工作效率, 方案执行力差。

3、协作队伍未尝到光面爆破对其在施工进度和成本方面的优势, 且协作队伍沿用原来的班组分班管理模式, 开挖班组抵触配合时协作队伍负责人统一协调意愿不强。

4、光面爆破工作一旦在方案执行、班组配合、技术支撑等其中一环出现问题无法实现光爆效果时, 很容易使协作队伍产生怀疑情绪, 从而回归按老习惯钻爆的模式, 故没有长效机制的建立难以形成长期良性循环。

5、在施工过程中, 围岩情况不断变化, 需及时调整周边孔的间距及装药量, 在调整过程中 (经验丰富会直接调整), 可能会出现超、欠挖, 导致开挖过程时间、成本变大, 使班组难以接受。

6、在协助队伍认知中, 一直认为开挖中需保持“宁超不欠”的原则。

7、导爆索产量不足, 难以满足现场光爆施工需求, 且综合计算所得, 使用导爆索的费用高于传统数码雷管费用。

8、安全问题: 目前隧道施工技术规范要求初支紧贴掌子面, 而光面爆破对钻孔时为保证周边眼水平, 需保持初支与掌子面合理间距, 导致与规范发生冲突。

### 八、光面爆破机制建立的建议

1、公司组织成立光面爆破小组 (5人组), 组长1

名, 副组长1名, 组员3名 (可兼职)。组长带队到需要的工地现场分析围岩的情况, 孔的布置, 钻孔精度, 装药用量, 爆破后效果检查、改进方面等进行指导。

2、项目也必须成立光面爆破小组和隧道机械化施工应用领导小组, 组长由项目经理担任, 副组长由项目总工担任, 成员由工程科长、技术员、隧道带班长、凿岩台车操作手、装药班组长为主, 开挖相关人员参加, 每班次进行过程精细化管理。

3、对光面爆破效果进行量化, 孔底超挖不大于 25cm, 平局超挖不大于 12cm, 周边孔残眼保存率硬岩不低于 80%, 中硬岩不低于 70%, 残孔长度不低于钻孔长度的 80% 为合格残孔。

4、制定奖惩制度。首先是过程控制, 以周边眼钻孔间距、光爆层厚度、导爆索连接效果做检查依据; 其次是爆破效果控制, 以残孔率, 爆点位置做检查依据; 最后是超欠挖情况核算经济效益。对比传统爆破经济效益, 按取得的经济效益进行奖惩。节约成本的 20% 奖励现场工人, 10% 奖励队伍, 10% 奖励光爆小组; 若增加成本, 过程控制和爆破效果阶段有不按爆破设计进行操作的情况, 视操作严重程度对责任人进行处罚。

5、由于每个隧道的地质条件不同, 制定效益标准均会有所不同, 但整个光爆过程, 我们应该以激励为主, 奖励发到工人手上, 同时要让协作队伍得到效益, 重在改变施工人员的传统观念, 才能使整个隧道在开挖这一环节取到效果。

### 参考文献

[1] 夏林. 长大隧道机械化施工的光面爆破应用与研究 [J] 黑龙江交通科技. 2023, 46 (09): 141-143.

[2] 关培山. 高原铁路隧道岩爆施工技术研究 [J] 铁道建筑技术. 2023, 5: 180-183+188.

[3] 张永成, 闫有民. 机械化精细钻孔及水压光面爆破技术在隧道施工中的应用 [J] 中国公路. 2020, 15: 100-101.

作者简介: 杜爱军, 1983.9, 男, 汉, 湖北洪湖, 大学本科, 高级工程师, 研究方向: 路基、路面、桥梁、隧道等管理。