

# 基于聚能效应在某隧道光面爆破施工中的应用

文 / 刘建刚 深圳市城投爆破工程有限公司

**摘要：**针对某隧道大断面Ⅱ级围岩施工爆破过程中存在的平整度较差等光爆效果问题及火工用品耗材成本高等难题，本文以某横岗隧道Ⅱ级围岩上台阶施工段为背景，基于聚能光面爆破的聚能射流原理，对原有传统隧道光面爆破工艺进行技术改造，确定了隧道光面孔的爆破参数和制作流程。通过从光面爆破的炮痕率成型度及经济成本等角度进行分析，结果显示钻孔数量减少约15%，台班作业时间节约约18%，炸药单耗降低10%，有效控制了生产成本，实现了节能减排目标。该聚能爆破技术在本标段的成功应用，为同类标段提供了有力验证，具有推广价值。

**关键词：**聚能管罩；射流；光面爆破；经济效益

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.016

## 引言

相较于传统的隧道光面爆破工艺，通常采用在光面孔中连续布置常规炸药或通过导爆索串联炸药，这不仅会导致超挖或欠挖等现象，扰动原岩应力，削弱围岩的自稳定能力，还会引发一系列不利影响。例如，支护成本显著增加，爆破产生的灰尘量大，严重污染施工环境，影响爆破人员的作业条件。因此，采用聚能爆破技术已成为隧道光面爆破领域的一项创新举措<sup>[1]</sup>。

查阅国内外研究文献，种玉配等<sup>[1]</sup>针对蒙华铁路段家坪隧道的水平砂泥岩地质条件，采用了PVC管聚能爆破法来控制水平岩层的超挖和欠挖量，并探讨了光面爆破与聚能水压光面爆破的光爆效果。宋鹏伟等<sup>[2]</sup>通过综合运用数值模拟和现场实测方法，探索了最优的周边眼装药结构。何满潮等<sup>[3]</sup>研究了聚能爆破孔间距对岩体裂缝扩展效果的影响，指出当炮孔间距为500mm时，能够达到最佳的预裂效果。

结合国内外研究情况，聚能爆破技术的研究与应用主要围绕光面孔间距和装药位置进行，意在挖掘其应用方面的共同特性。鉴于不同隧道的围岩赋存条件各不相同，本文以某隧道大断面Ⅱ级围岩为研究场景，针对传统光面爆破成型率不高、支护成本偏高等方面的弊端，采用聚能管和聚能罩对周边眼装药工艺进行了技术革新，进而满足现场节能减排的标准。

## 一、原有常规光面爆破存在的问题

原有光面爆破技术主要应用于周边孔内，通过使用PVC半管，将导爆索串联常规炸药后再装入孔中。然而，传统的光面爆破存在以下不足：

- ① 周边孔药卷爆破能量过于集中，容易破坏围岩的整体完整性；
- ② 周边孔药量未能充分利用，导致炸药利用率偏低；
- ③ 通常药量较大，可能产生大量有毒有害气体和粉尘；
- ④ 超挖或欠挖现象较为严重；
- ⑤ 工序耗时较长，准备工作繁杂。

## 二、聚能管罩作用原理

与传统的爆破技术相比，聚能爆破主要利用聚能槽在炸药爆破过程中产生的高温高压射流，形成气体压力，从而有效促进岩石破碎。同时，孔口填塞水袋，高温高压产生的水雾有助于降尘。

根据聚能爆破的作用原理，该技术将炸药产生的能量最大限度地利用和发挥。聚能管设置了轴线和切线三个维度上的凹槽，分别沿着围岩爆破方向和隧道断面方向。在围岩光面爆破方向上，爆破时能够切割岩体；在轴线方向上，聚能罩在炸药爆炸时形成高速射流，能够引爆间隔放置的炸药。具体原理如图1所示。

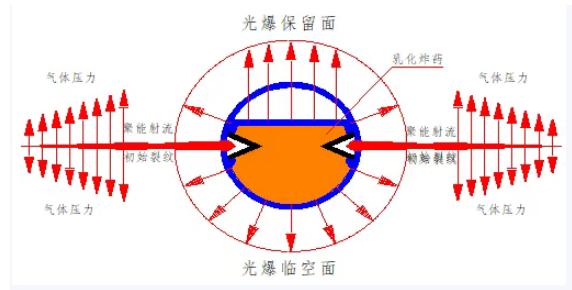


图1 聚能爆破原理示意图

## 三、聚能管罩的构成

聚能管聚能管罩规格尺寸 $\varnothing 30 \times 140 \text{mm}$ ，隧道爆破采用聚能管，其具体示意图2所示



a) 聚能管侧面图（切缝方向）



b) 聚能管正面图（光面爆破线方向）

图2 聚能管示意图

#### 四、聚能爆破在工程中的应用

##### (一) 工程背景

某隧道标段起讫里程为横岗隧道 DK14+850 ~ DK19+930，隧道主要位于微风化花岗岩，采用矿山法施工。标段主要工程内容有：隧道 5080m，其中 II 级围岩 1220m，III 级围岩 2545m，IV 级围岩 1175m，V 级围岩 67m，明洞 73m。开挖主要采用钻爆法。

横岗隧道主要为单洞双线马蹄形结构，其中 DK19+404 ~ DK19+565 段为三线隧道，长度 161m。全隧均采用复合式衬砌结构。

本次技术改造针对现场断面平整度不佳、二次衬砌混凝土消耗量较大以及炸药单耗较高等实际问题，在横岗隧道 DK19+515 至 DK19+565 段的 50m II 级围岩内，采用上下两台阶爆破施工。现对上台阶进行局部性光面爆破技术的探索与实践，以期降低炸药单耗等关键指标。

##### 五、光面爆破工艺

本次在横岗隧道 II 级围岩内采用上下 2 台阶爆破施工，现在对上台阶断面（断面尺寸：11.8m×6.5m，断面大小：73m<sup>2</sup>）进行局部性光面爆破技术性改造探索实践，旨在降低单耗等经济指标。

##### (一) 钻孔

为了提高精度，钻孔在设计预定的位置上进行定位标识，工人采用传统手持式钻机进行钻孔，直径 40mm，钻孔深度 4.0m 左右。

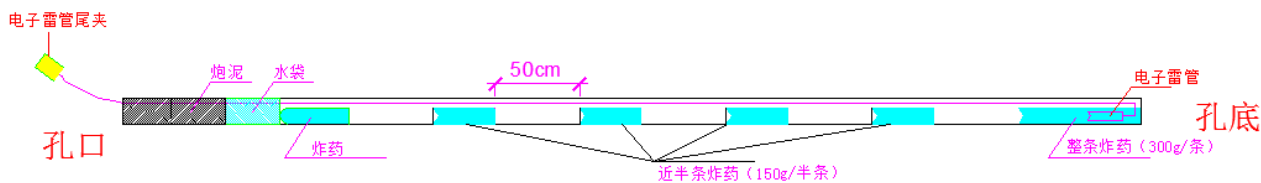


图 4 周边光面孔装药示意图

##### 1. 光面聚能药加工

根据现场隧道围岩的具体情况，工人在现场对隧道围岩的光爆孔药卷进行加工，主要包括以下步骤：

##### 1) 底药制作

将直径为 32mm 的乳化炸药一端切除，然后将聚能管

##### (二) 炮孔布置及装药

根据现场围岩的具体情况，本次施工依据现场台架的高度（3层台架）共布置了 120 个钻孔。具体分布如下：掏槽眼 20 个，采用双重楔形掏槽，孔深范围 2.5 至 4.5m；辅助眼 54 个，孔深约为 4m；底板眼 12 个，孔深同样约为 4m；周边眼 34 个，孔深亦约为 4m。掏槽眼、辅助眼和底板眼均采用连续装药方式，其装药系数分别控制在 0.7 至 0.9、0.5 至 0.7、0.5 至 0.7 之间。具体断面炮孔布孔及雷管段位图详见图 3。

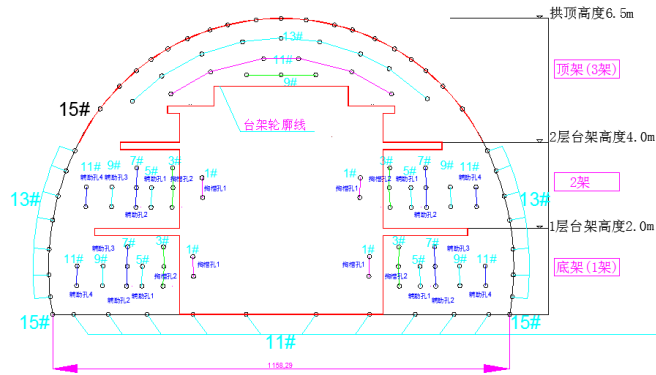


图 3 断面炮孔布置图

周边眼布置孔距为 80cm，采用不耦合间隔装药方式，具体布置如图 4 所示。

插入炸药中，直至聚能管开口处有炸药溢出。

##### 2) 中间药卷制作

将炸药从中间切开，接着将聚能管插入其中，直至聚能管开口处有炸药溢出。

在底部安装一条直径为 32mm 的加强药乳化炸药（插入聚能管，并用胶带固定在 PVC 半管上），同时在底部插入反向起爆雷管。中间段每隔约 50cm 装填半条乳化炸药（插入聚能管，并用胶带固定在 PVC 半管上），接近孔顶处装填半条乳化炸药。待药卷装入孔内后，使用水袋进行压实，随后用袋装炮泥进行填塞。

##### 2. 装药控制要点

##### 1) 技术要点

① 聚能管开口处应朝向轮廓线半圆的圆心；聚能槽的方向是决定隧道光面爆破效果优劣的关键因素，因此要求现场管理人员实时监督，并在现场进行指导，确保切缝方向在轴向方向上保持直线。

② 合理规划光爆孔各段的药量分配。

③ 确保钻孔定位精准及装药操作规范。钻孔应在预

设标定的位置进行定位和标识,同时,在装药过程中,需及时清孔,以保证 PVC 半管能够有效插入孔底,从而提升隧道光面爆破的效果。

### (三) 起爆网络

本次起爆采用数码电子雷管联接网络,通过预设的微差时间,前一个段位的炮孔为后一段位的炮孔提供相应的补偿空间和自由面。连接时,将电子雷管尾线卡扣牢固卡紧在专用连接绞线上。网络连接完成后,对整个起爆网络进行组网导通,并使用起爆器下载起爆指令进行起爆。起爆顺序依次为:首先起爆掏槽眼,其次由内向外起爆辅助眼,最后起爆周边眼。

### (四) 堵塞

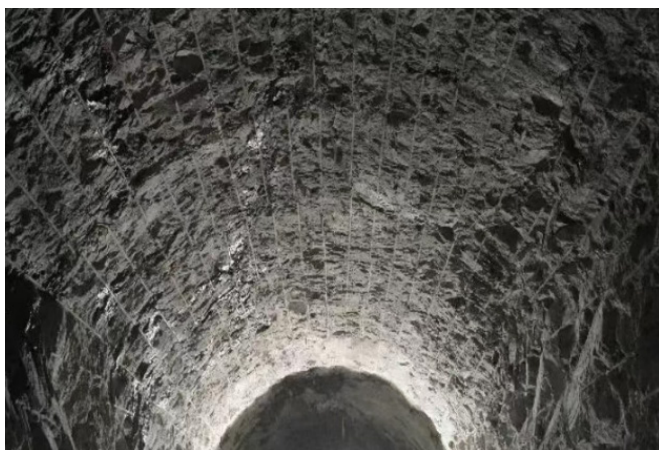
在隧道爆破施工过程中,若不进行炮孔堵塞,将面临飞石和噪声等问题的困扰,同时爆破效果也会大打折扣。因此,必须对炮孔进行堵塞。本次施工采用了水袋与沙袋组合的方式进行堵塞,这一方法有效地提升了炸药的利用率。

## 六、工程效果

采用聚能管后,隧道炮痕率显著提升,成型率亦大幅提高。现将常规爆破与聚能光面爆破的施工效果进行对比,其光面爆破效果如图 5 所示。



a) 常规光面爆破



b) 聚能光面爆破

图 5 隧道聚能光面爆破效果图

### 1) 节约了雷管及导爆索等火工用品的爆破材料

由于聚能爆破产生的能量较为集中,爆破能量利用率高,相较于传统光面爆破的钻孔工艺,光面孔孔间距通常在 60cm 左右,而本次聚能爆破的光面孔孔距为 80cm,有效减少了周边孔的打孔数量,钻孔数量降低了约 15%,从而减少了数码电子雷管的使用量。

同时,聚能光面爆破通过聚能穴的爆破能量射流作用,显著节约了导爆索的使用成本。

初步统计显示,炸药单耗降低了 10%,聚能穴传爆替代了导爆索,炸药、雷管、导爆索等火工品的消耗明显减少,爆破所消耗的炸材成本大约节约了 10%。

### 2) 缩短了打钻等工艺时间

由于钻孔数量的减少,人工机械台班时间得以节约,相较于原有的爆破钻孔时间,大约节约了 18%,显著提高了爆破掘进的施工效率,促进了施工循环效能的提升。

### 3) 降低了有害因素

结合水袋及填塞等技术进行填塞,使爆破能量有效作用于光面孔,大幅削弱了冲击波等灾害影响,减少了振动,同时有效降低了炮烟和粉尘的产生。

## 结语

本文通过对横岗隧道 DK19+515 ~ DK19+565 段(50m II 级围岩)进行试验性技术改造,分析了光面爆破的成型效果及经济成本。结果显示,钻孔数量减少了约 15%,台班作业时间节省了约 18%,炸药单耗降低了约 10%,有效控制了生产成本,实现了节能减排目标,取得了显著的技术和经济效益,具有较高的推广价值。

## 参考文献

[1] 王建国,雷露刚,张丹丹,张丕云,甘会莲,蒋新闻.聚能水压爆破技术研究进展[J].化工矿物与加工,2022,51(11):32-37.

[2] 种玉配,齐燕军,刘书奎.PVC管聚能爆破法在水平砂泥岩隧道中的应用[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2021,40(3):116-120.

[3] 周亦玲,刘鹏舟,李养成.聚能水压光面爆破技术在关山隧道施工中的应用研究[J].施工技术,2018,47(16):44-48.

[4] 李伟,袁绍国,高文磊.聚能水压光面爆破在岩巷掘进中的研究[J].煤炭技术,2019,38(6):25-27.

作者简介:刘建刚(1986-),男,汉族,采矿及爆破工程师,毕业于中南大学,主要从事矿山设计及现场爆破技术与管理。