



東南大學
SOUTHEAST UNIVERSITY

研究生讲座报告

贵州脆性灰岩定向聚能爆破损伤机制研究

课程名称: 专业讲座

姓名: 桑阳

学院: 苏州联合研究生院

专业: 岩土工程

学号: 224642

课程老师: 赵学亮

2022 年 9 月 14 日

東南大學講座報告

SOUTHEAST UNIVERSITY

专业： 岩土工程
姓名： 桑阳
学号： 224642

讲座名称： 贵州脆性灰岩定向聚能爆破损伤机制研究

演讲人： 胡杰 讲座日期： 2022 年 9 月 14 日 讲座地点： 线上

一、 研究目的和背景

1. 研究目的：

作为贵州典型的岩溶地貌，岩层主要是石灰岩和石状石灰岩。随着资源开发向深层，石灰岩具有高强度、高脆度和在开发过程中容易变形等复杂岩石特性。累积爆破技术可以有效地定向断裂岩体，减少保留岩体的损伤，并形成规则的等高线表面。因此，研究石灰石的动态特性对于改善累积爆破在贵州省岩溶地质学隧道、矿山和道路等实际项目中的应用具有重要意义。

2. 研究现状：

由于贵州的特殊地形和复杂的岩石地层，挖掘工程受到岩石性能的影响。现在，迫切需要一套针对岩溶地貌的集电爆破技术方案来分析岩石爆破效果和裂纹传播规律。

3. 研究创新：

本讲座全面运用了理论分析、力学 [测试、数值模拟和模型测试的方法。研究了累积爆破对脆性石灰石的定向压裂效应，通过形状电荷盖参数和岩石断裂的传播规律对金属射流的渗透特性。

4. 工程背景

本讲座选取爆破工程实例-桃子娅隧道，位于贵州省遵义市，属于溶蚀-构造中山地貌类型。由于隧道工程周围存在国道、高速公路并靠近居住区，对爆破振动、飞石、爆后边坡稳定性与完整性提出较高要求。隧址区地形复杂，存在隐伏断层、褶皱和岩溶等复杂构造且岩性复杂，主要以灰岩、泥质灰岩和白云岩构成。隧道岩体和围岩强度高、脆性大且易破裂，名属脆性材料。







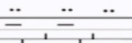
Roof depth /m	Length /m	Columnar	Rock stratum	Rock properties	Excavation prone problems
1 0~58	110		Clay	Gray-black, plastic, Crushed stone powder,	Collapse, blocks falling, roof fall
2 58~192	295		Mudstone	Gray-black, silty, moderately weathered carbonaceous	Loose deformation, Crushing damage, collapse
3 192~243	160		Sandstone	Deep gray, fragile rock	Without self-stability, water gushing of fault
4 243~467	395		Mudstone, Limestone	Gray, Containing plant debris, silty sand	There are hidden caves, water gushing, mud inrush
5 467~693	480		Limestone	Gray-white, medium-weathered limestone, hard rock	Rockburst, flyrocks loose deformation,
6 673~762	430		Limestone	Dark gray, broken rock, hard rock	Rockburst, Gas outburst, high-energy water inrush
7 762~778	360		Marl, Limestone	Black, carbonaceous	Loose deformation, crush damage

图 1: 桃子娅隧道地质信息

二、 研究内容和步骤

1. 理论分析方法

- (1) 爆破原理：定向聚能爆破是指改变普通爆炸柱的结构、形状和材料，在装药柱的平行对称位置保留凹陷，并建立特殊形状的金属盖，它利用瞬时爆破能量对岩体进行定向断裂。

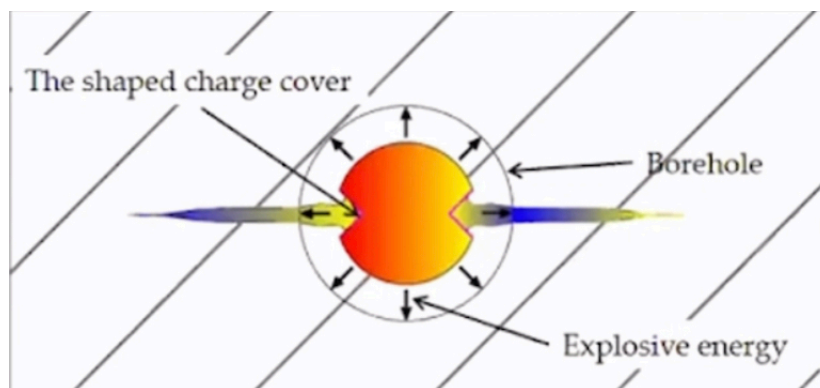


图 2: 定向聚能爆破原理

- (2) 金属射流渗透效应分析：聚能效果受聚能罩材质、角度、炸高、罩壁厚、装药密度、有罩与无罩等多因素影响，本文在结合前人与团队的研究基础上，将深入研究聚能罩角度对其聚能效应的影响。

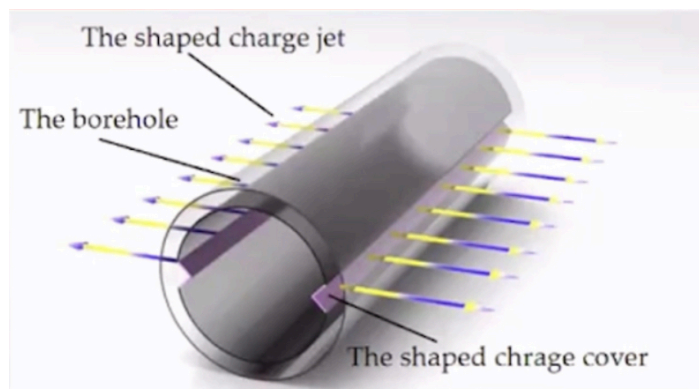


图 3: 金属罩射流

2. 研究过程

- (1) 模型相似性分析：

1. 贵州喀斯特地貌地区的地质分析：脆性是岩石质量的一个特征，可以通过反映变形的小变形破坏，以及岩石在荷载下的断裂特征。岩石脆性与矿物共沉积、杨氏模量、泊松比、孔隙流体、拉伸强度、抗压强度、内摩擦角和 P-S 波速率有关。本讲座中采用的脆性分析方法为单轴压缩试验和巴西劈裂试验。

Number	Strength(MPa)	Ultimate strain	Poisson's ratio
1	106.47	0.0022	0.17
2	102.18	0.0024	0.18
3	110.29	0.0020	0.16
Average value	106.31	0.0022	0.17

Number	Peak load (kN)	Tensile strength(MPa)	Relative strain
1	8.29	4.22	0.0037
2	7.89	4.83	0.0045
3	9.77	4.98	0.0053
Average value	8.65	4.68	0.0045

图 4: 脆性试验结果

2. 脆性评价：根据 HUCKA 和 DAS 提出的脆性评价公式，岩石脆性特征与 B1、B2 和 B3 正相关。张春生等研究表明，锦屏大理岩、白鹤滩隐晶质玄武岩和杏仁状玄武岩均为脆性岩石，工程应用多以 B1 值作为评价脆性指标。根据贵州桃子垭隧道灰岩力学参数分析，得出灰岩矿 B1 值为 22.1 均大于三种岩石 B1 值，说明本试验灰岩矿为典型脆性岩石。

下为 Hucka 和 Das 提出的脆性评价公式。

$$BI = (YM_{BRIT} + PR_{BRIT})/2 \quad (1)$$

$$YM_{BRIT} = (YMS_c - 1)/(8 - 1) \times 100\% \quad (2)$$

$$PR_{BRIT} = (PR_c - 0.4)/(0.15 - 0.4) \times 100\% \quad (3)$$

(2) 基于 ANSYS/LS-DYNA 的数值模拟：

1. 不同角度的压力神经图。

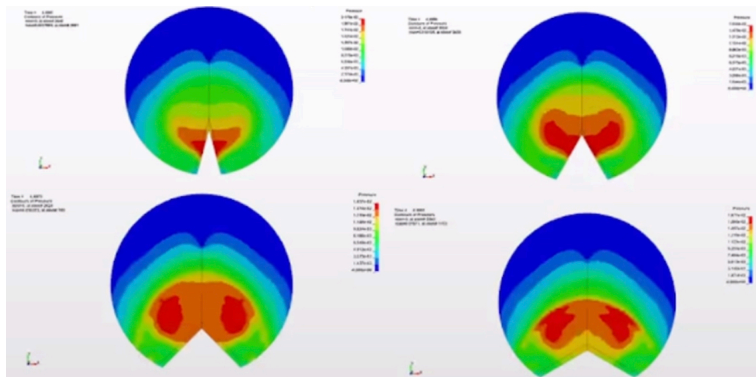


图 5: 压力神经图

图 5 显示，三角形聚能罩的压力分布从罩子的中心扩散到周围，压力分布随着角度的变化而明显不同。当角度为 30° 时，压力集中在罩子的中间。此时，包含的角度很小，导致压力传导有限。在 60° 和 120° 时，压力分布在罩子的上部和中间部分，但压力特征并不明显，因为高压区很小。在 90° 时，压力最接近顶点，高压云是最明显的。根据最终渗透效应图 5，当角度从 30° 增加到 90° 时，渗透深度逐渐加深，但当角度达到 120° 时，渗透深度会降低。能量传输被阻止，渗透结束。最后，根据压力分布、顶点的峰值和最终渗透效应，三角形覆盖层的角度为 90° ，对脆性岩石有很强的渗透效应。

2. 金属射流穿透岩体的影响图

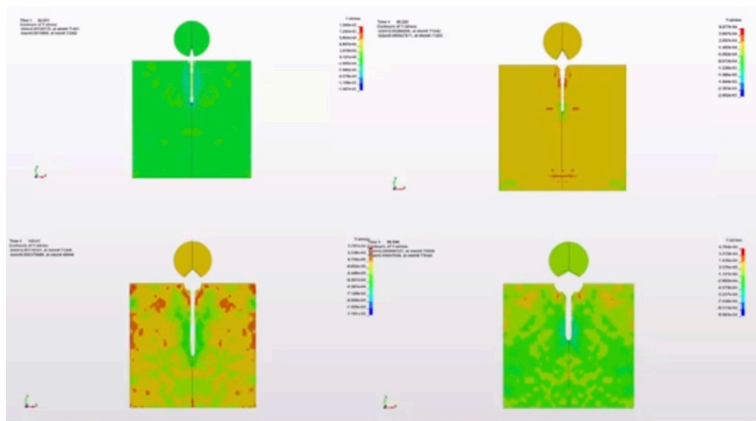


图 6: 金属射流穿透图

- (3) 定向形状电荷爆破测试: 制作了不同角度形状的电荷盖结构，PVC 用作电荷管，铜用作成形电荷盖的材料。根据相似性标准制备了 1 米 X1 米 X0.5 米的模型测试块。通过 in-hole 成像仪获得了孔中的动态视频和整个孔壁的高清裂纹 tr 弹射图。

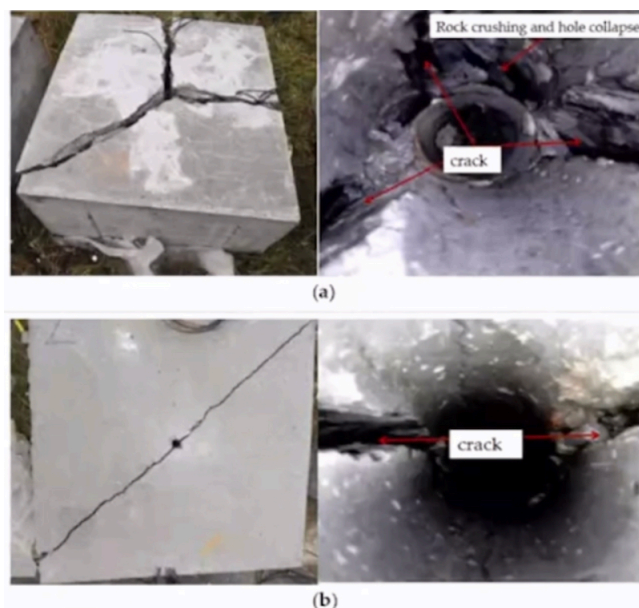


图 7: 爆破试验图

通过对比度测试，从图 7 中可以看出，普通试验块爆炸后产生了三条主要裂缝，该试验块呈扇形，角度约为 120° ，岩体的损伤程度混乱，岩块坍塌。Borehole 成像仪观察了洞中岩壁的粉末和碰撞现象。形状电荷盖试验块爆破后，形成主裂纹，从爆破孔延伸到烯堆积的方向。裂纹宽度小于普通电荷的 c 机架宽度，表面相对舒适，没有大的岩块坍塌。B 矿孔成像仪观察到洞壁上有微妙的裂缝，孔壁相对光滑和稳定。

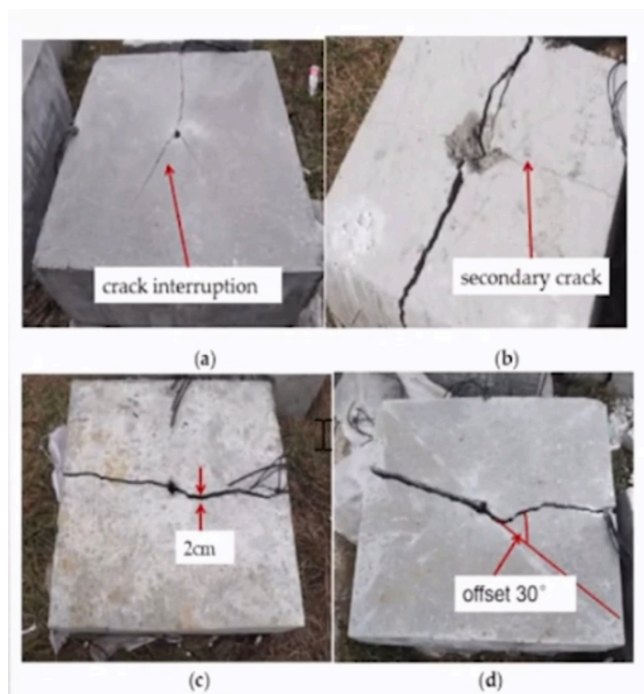


图 8: 爆破试验图

图 8 显示， 30° 形电荷盖爆炸后有三条不规则裂纹，没有完整的通裂纹； 60° 和 120° 形电荷盖爆炸后有主裂纹，两者都在垂直于收集能量的方向产生二次裂纹，并在钻孔中冲孔。其中，当角度为 120° 时，裂纹方向偏差约为 30° 。 90° 形电荷盖爆炸后，形成了完整的穿透裂纹，裂纹的方向几乎与预裂纹的方向相同。裂纹宽度均匀约 2 厘米，没有二次裂纹损坏。周围的岩石相对稳定，预分裂效果最好。

三、 研究软件

Matlab, ANSYS, LS-DYNA。

四、 研究结果与分析

为研究聚能爆破在脆性灰岩隧道中的定向破岩效果，本文以贵州桃子埡隧道为工程背景，采取力学试验、数值模拟和模型试验的方法，对三角形聚能罩不同角度爆破结构进行了对比试验，得到如下结论：

1. 当聚能罩的初始速度 VO 被压碎 $<$ 盖子材料的音量声音 C 时，金属射流渗透形成。介绍了金属射流在定向爆破中定向预裂纹脆性岩石的实验研究。

2. 通过力学试验获得了陶氏工程岩石的力学性能，引入了 HUCKA 和 DAS 脆性评估公式， $B1$,

B2 为 22.1 和 248.76，显示高强度，高脆性，易断裂，脆性石灰岩的评估指标。评估指标是脆性石灰石，为选择类似参数和确定数值模拟和模型测试方案提供了重要依据。

3. 根据对数值模拟结果的综合分析，在成形电荷管的引导作用下，成形电荷盖产生的爆炸气体向成形能量的方向膨胀，从而产生定向穿透效应。在 90° 时，压力云图的范围最大，顶点压力曲线最高，实际渗透率最深，因此 90° 是最好的模拟角度。

4. 通过现场模型测试，当角度从 30° 增加到 120° 时，形状充电盖的有效接触面积和底部边缘的长度增加了 93.2，金属射流的初始速度和穿透宽度也随之增加。根据测试结果，三角形电荷盖的最佳角度为 90° ，结果与理论分析和数值模拟结果一致。该结果对岩溶地区的岩石挖掘、周围岩石控制技术和类似的定向压裂工程实践具有重要意义。