

文章编号: 1001-1455(2000)03-0278-05

液相等离子体岩石爆破机理初步研究

田建胜, 谢光中, 谢 峰, 干均奎

(中国矿业大学, 江苏 徐州 221008)

摘要: 建立了以 NaCl 溶液和高能量电容器组构成的等离子体模型试验系统, 并将其用于岩石爆破试验。试验结果表明: 液相等离子体具有破碎介质的能力, 试验系统是可靠的; 与传统的炸药爆破相比, 等离子体岩石爆破具有不产生粉尘、无炮烟、无有毒气体、无抛掷、低噪音等特点。

关键词: 等离子体; 岩石爆破; 模型试验

中图分类号: O539; TD231.1 文献标识码: A

1 引 言

传统的岩石爆破过程是炸药的爆炸能转化为岩石的破碎能的过程。寻求新的、可替代炸药的能源来爆破岩石, 是爆破工作者努力探讨的问题, 等离子体岩石爆破技术就是其中之一。

等离子态是区别于固态、液态和气态的另一种聚集态, 人们称它为物质的第四态^[1]。它是由大量接近于自由运动的带电离子所组成的体系, 从整体上看它是准中性的。等离子体在宇宙中普遍存在^[2], 但在我们居住的地球表面除了闪电瞬间形成的等离子体外, 自然存在的等离子体几乎是没的。在一定条件下, 某些物质受外界能量激发可生成等离子体, 如气体电离生成气相等离子体; 某些液体(如强电解质溶液)受外界能量激发可生成液相等离子体。

与传统的炸药爆破的区别在于, 等离子体爆破是利用离子间的强烈运动, 瞬间产生高温、高压的特性来破碎介质的。等离子体破岩的关键是产生等离子体, 使物质处于等离子态。

我们所做的工作旨在选择合适的等离子体产生方式, 并对其爆破效果做一些初步探索。

2 等离子体产生方法选择

要使物质处于等离子态, 即要在物质中产生大量的正离子和自由电子, 需由外界提供足够的能量使原子(或分子)中的电子所具有的动能超过原子的电离能, 这样核外电子就会脱离原子的约束成为自由电子, 失去电子的原子则成为带正电的离子。如果物质中有足够多的原子被电离, 即存在有大量的自由电子和正离子时, 物质就转变成等离子态。

由此可见等离子体产生的过程实质上是物质原子获得能量而产生电离的过程, 如果物质在瞬间获得足够高的能量而足以形成密度很大的等离子体, 就为爆破岩石创造了必要条件。

除了由自然的雷电现象在瞬间形成不稳定的等离子体外, 在实验条件下, 产生等离子体的方法多种多样, 常用的有以下几种。

* 收稿日期: 1999-07-08; 修回日期: 2000-01-13

基金项目: 煤炭科学基金项目(95 建 10102)

作者简介: 田建胜(1965—), 男, 硕士, 副教授。

(1) 低气压冷阴极放电法

将电极密封在真空容器内,并在两极加上电压,可产生并维持低气压的稳态电弧放电,于是在容器内形成低密度($n=10^{10}\text{cm}^{-3}$)、低温度($T<5000\text{K}$)的等离子体。

(2) 热离子电弧放电法

将有热离子氧化物涂层的阴极安装在直径1cm、长度10cm的放电管内,管内充有0.133Pa的室温水银蒸汽压,放电时可产生 $10^9\sim 10^{13}\text{cm}^{-3}$ 的等离子体。由于等离子体的密度与放电电流成正比,所以其优点是可利用放电电流的大小来控制等离子体的密度^[2]。

(3) Q 装量法

这是一种具有极低的动力温度类等离子体实验装置,可产生碱金属蒸汽等离子体,其密度约在 $10^9\sim 10^{13}\text{cm}^{-3}$ 之间。利用这种装置可对等离子体的漂移波、扩散、电阻率等性质进行研究。

(4) 激光产生等离子体法

激光具有频率响应好和能量集中的特点,利用它作为激励能源可在极小的范围内产生稠密、高温的等离子体。随着大功率激光器的发展,目前已考虑利用激光照射,产生能够进行热核反应的高温、高密度等离子体。

(5) 在强电解质溶液中强放电激发等离子体法

所谓强电解质溶液是指等量不同溶液在外界供给相同能量的条件下得以最多正、负离子对数的电解质溶液。根据原子结构理论,原子内电子受核电场约束力的大小与电子到核的距离成反比,通常把从原子上夺去电子使原子变成正离子所消耗的能量称为电离能,原子半径大的电离能小,反之,电离能则大。例如Na原子半径为 $9.45\times 10^{-2}\text{nm}$,第一电离能为5.14eV;Cl原子半径为 $4.95\times 10^{-2}\text{nm}$,第一电离能为13.01eV。显然,在相同激励能量条件下Na原子易于失去电子成为正离子。

通过对比分析,我们采用在强电解质溶液中强放电激发产生等离子体的方法。该方法的关键是在放电能一定的条件下,选择合理的强电解质溶液,以产生较大密度的等离子体。

通过实验^[3],我们得到一定配比的NaCl溶液,对其实施强放电,放电电源瞬间释放的最大能量为150kJ。假设用此能量对Na进行第一电离,那么预算可产生的离子对数为

$$n \approx 1.8 \times 10^{23}$$

在电源输出最大能值时可获得量级为 10^{23} 的离子对数,显然这是密度较大的等离子体。

3 等离子体运动产生高温、高压的机理

等离子体是由能导电的带电离子(正、负离子)所构成的导电流体,与一般流体不同。所以它除了遵从流体力学方程外,还遵从麦克斯韦方程。

等离子体内由于离子群体间电性的相互作用,在“离子”存在的区间内出现振荡。等离子体振荡时形成横波和纵波^[1]。由于正、负离子的电性和质量都各不相同,使它们在等离子体振荡和波的产生及传播方面表现出明显不同的性质,主要是各自的振荡频率有较大差异。

正离子、负离子等离子体的振荡频率分别为

$$\omega_{\text{pi}} = [n_0^+(e^+)^2 / \epsilon_0 m^+]^{1/2} \quad (1)$$

$$\omega_{\text{pe}} = [n_0^-(e^-)^2 / \epsilon_0 m^-]^{1/2} \quad (2)$$

式中: n_0^+ 、 n_0^- 为正离子、负离子的平衡值; e^+ 、 m^+ 为正离子的电量值和质量; e^- 、 m^- 为负离

子的电量值和质量。

这种振荡正是我们在岩石爆破时所需要的。因为通过离子的激烈振荡可在瞬间使等离子体区间内产生高温高压,形成离子的集群运动,迅速扩张形成冲击波,从而将离子波能量传播到岩石中去,使岩石中的天然缺陷得到增大,达到等离子体爆破岩石的目的。

4 等离子体岩石爆破模型试验

试验中采用在强电解质溶液中强放电的方法产生等离子体。因此试验的关键是准备强电解质溶液和产生液相等离子体的工作能源。其次是制作试验用的岩体试块和混凝土试块。

4.1 强电解质溶液的选择与配制

自然界中强电解质的种类很多,如 CuSO_4 、 NaCl 、 KCl 等,根据试验的要求,所选的溶液应能在相同的激发能量下产生更多的离子对数,从而使之足以形成等离子体波,产生高温高压,破碎岩石。因此,选择第一电离能较低的电解质为宜。

通过分析,决定采用 NaCl 溶液为母液,添加一定量化学药剂,构成强电解质溶液^[3]。

4.2 放电电路电容与峰值电压的设计计算

试验采用耐高压、大容量电容器储存能量,然后由放在强电解质溶液中的同轴电缆放电产生等离子体。其中储能电容器由 36 个容值为 $36\mu\text{F}$ 的电容器并联形成,电容器组的总容值为

$$C = 1.296\text{mF}$$

根据一般岩石破碎的压力所对应的能量值^[4],应使工作电源的储能达到 150kJ ,于是,根据式 $W = CV^2/2$,求得电容器组充电电压的最高峰值电压为

$$V = \sqrt{2W/C} = 15.2 \text{ kV}$$

式中: W 为电能; V 为电压。

表 1 为电容器组在不同充电电压下的最大储能值、所产生的等离子体波的计算压力及对应潜能的炸药量。表中炸药为 2[#] 岩石,其爆热为 2152kJ/kg 。

表 1 不同充电电压时的最大储能、计算压力与相应的炸药量

Table 1 The maximum energy storage, calculated pressure and correspondence explosive quantity with vary charge voltage

充电电压/kV	最大储能/kJ	计算压力/kPa	炸药量/g
5	16.2	565.4	7.53
8	41.5	1449.8	19.3
10	64.8	2266	30.1
12	93.3	3258	43.4
15	145.8	5082	67.8

4.3 等离子体爆破试验试块制作

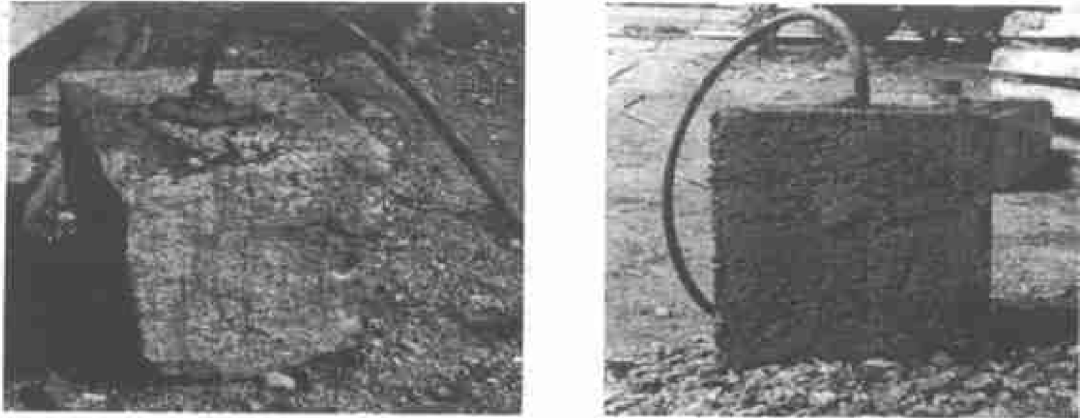
根据等离子体爆炸压力预测,决定对表 2 所列的两种试块实施等离子体爆破,以检测等离子体爆破岩石的能力、效果及所建立的试验系统的可靠性。

表 2 等离子体爆破试验试块的基本特征

Table 2 The basic characteristics of the specimen used in plasma blasting

名 称	尺寸/mm×mm×mm	孔径/mm	孔深/mm	$\sigma_c / (\text{kg}/\text{cm}^2)$
砂岩试块	500×500×700	200	500	523
混凝土试块	500×500×700	200	500	410

其中混凝土试块的强度为养护 28 天的强度。试块中的炮孔用于埋放放电电极和灌放强电解质溶液。试块爆破前状态如图 1 所示。



(a)砂岩试块 (b)混凝土试块
(a)The sandstone specimen (b)The concrete specimen

图 1 等离子体爆破试验前试块状态

Fig.1 The specimen state before plasma blasting test

4.4 等离子体爆破试验

1997 年 8 月 9 日在山东泰安物测队进行等离子体爆破试验。首先在混凝土试块的炮孔内倒入配制好的 NaCl 溶液,然后放入放电电极并封堵炮孔,开始给电容器组充电,电压升至 10kV 时,接通高电流开关的点火开关,在放电瞬间,随着一声低沉的闷响,混凝土试块破碎,摊



(a)砂岩试块 (b)混凝土试块
(a)The sandstone specimen (b)The concrete specimen

图 2 等离子体爆破试验结果照片

Fig.2 Photographs of plasma blasting test

散在直径约为 1.5m 范围内的地面上,无抛掷现象。试验结果如图 2(a)所示。

对砂岩试块也进行了同样爆破试验。按试验设计,对电容器组应充电至 15kV,但因试验前两天泰安经常下雨,空气十分潮湿,当电容器组电压升至 7kV 时,高电流开关自行导通放电,试块被炸成 3 块,每一块上都出现了长度不一的微裂纹。结果没能象混凝土试块那样形成碎块(见图 2(b))。

通过两组试验的观察发现,液相等离子体爆破过程中不产生粉尘、无炮烟和有毒气体,且破碎介质没有抛掷,噪声低。这对实现爆破作业的连续性,提高安全性等都有重要意义。

5 结 论

(1)试验表明,在强电解质溶液中实施强放电瞬间产生的高温、高压的液相等离子体具有破碎岩石类介质的能力;

(2)液相等离子体岩石爆破试验系统是可靠的,在进一步开发后,有良好的应用前景;

(3)等离子体爆破技术与普通炸药岩石爆破相比,具有不产生粉尘、无炮烟和有毒气体、无抛掷、低噪音等特点,对于提高岩石爆破效率,实现爆破作业的连续性等有重要意义。

由于条件所限,我们仅在液相等离子体岩石爆破技术的机理研究方面进行了初步的探索,仍有很多与等离子体爆破技术有关的问题有待进一步的研究开发,如不同强度岩石爆破与等离子体激发能关系的研究;实用性液相等离子体岩石爆破系统的开发研制等。

对山东省泰安物测队的技术人员们在试验过程中所给予大力支持与帮助表示衷心感谢。

参考文献:

- 1 克拉尔 N A, 特里维尔皮斯 A W. 等离子体物理学原理[M]. 郭书印. 北京:原子能出版社, 1993. 1—103.
- 2 孔杏凡. 等离子体及其应用[M]. 北京:高等教育出版社, 1982. 1—76.
- 3 中国矿业大学等离子体研究课题组. 等离子体岩石爆破技术及机理研究总结报告[R]. 徐州:中国矿业大学建筑工程学院土木工程系, 1997.
- 4 李冀祺, 马素贞. 爆炸力学[M]. 北京:科学出版社, 1992. 97—185.

Preliminary Study on Mechanism of Liquid Plasma Rock Blasting

TIAN Jian-sheng, XIE Guang-zhong, XIE Feng, GAN Jun-kui

(China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract: This paper analyzes the mechanism of liquid plasma rock blasting. A liquid plasma generating system has been built and tested. It consists of NaCl solution and a high-energy capacitor array. The experimental results show that the liquid plasma is capable of breaking medium, and the testing system is reliable. Compare with traditional explosive blasting, the liquid plasma rock blasting has many advantages, it dose not produced dust, mist, poisonous gases, throwing, noise and so on. The development of the technology is very important, especially; it makes the rock blasting more efficient and continuous.

Key words: plasma; rock blasting; test model