

文章编号:1000-582X(2009)10-1122-04

电液脉冲有效作用范围的确定

廖振方,潘志敏,汪朝晖,蔡珍红

(重庆大学机械工程学院,重庆400030)

摘要:为确定电液脉冲工作时的电极对数(废水处理)和预估被粉碎矿物的粒度特性,根据电液脉冲一次放电等效作用体积的假设,得出了电液脉冲技术最常用的两种工作模式下的有效作用范围的计算公式。理论分析和电液脉冲处理大肠杆菌溶液与破碎有机玻璃和石英陶瓷的实验结果表明:放电作用下的破坏半径和破碎裂隙的长度与计算值比较吻合,计算值的精度受废水污染程度和固体材料的强度、弹性特性和尺寸的影响,所得出的有效作用范围的公式是可行的。

关键词:电液脉冲;有效作用范围;破坏半径;裂隙

中图分类号:X522

文献标志码:A

Effective working areas of the electro-hydraulic power impulse

LIAO Zhen-fang, PAN Zhi-min, WANG Zhao-hui, CAI Zhen-hong

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: In order to ascertain the numbers of the electrodes (treatment for the sewage) and forecast the grain-size property of the cracked mineral, based on the hypothesis of the equivalent effective volumes of one discharge of electro-hydraulic power impulse technology, the formulas are worked out for computing the effective working areas of the two common working modes. The theoretic analysis and the results of the experiments of the treatment of bacillus coil liquid and crushing of quartz ceramic show that the results conform to the formulas relatively, and the precision of the calculated data has relations with the polluted degree of the sewage, the intensity, elasticity and dimension of the solid material, and the formulas for computing the effective working areas are feasible.

Keywords: electro-hydraulic power impulse technology; effective working areas; breach radius; cracks

电液脉冲技术具有能量集中、效率高、成本低廉、生产过程无污染的特点,其发生器结构简单,无运动件,电气参数调节方便,所获得的压力或射流速度很高(压力可达1 000 MPa)^[1],根据需要整个装置可大可小,机动灵活,因此其越来越广泛的应用于机械、矿山、环保和医疗等领域^[2]。

在应用过程中常常需要考虑一对电极放电时的有效工作范围,以便为确定电极对数(废水处理)或

预估被粉碎矿物的粒度特性提供依据,但目前仍没有相应的理论来进行确定。本文根据有效作用体积的假设,针对电液脉冲技术最常用的两种工作模式^[3-4],即用于废水处理和固体物的处理(如矿物的破碎,铸件的清砂,金属构件的清洗等^[5-6]),给出了相应的计算公式,并结合相应的处理大肠杆菌溶液和破碎有机玻璃和石英陶瓷的实验进行了说明。

收稿日期:2009-03-29

基金项目:国家创新研究群体基金资助项目(50621403)

作者简介:廖振方(1938-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事水射流和物料的特种加工研究,(Tel)023-65103535;
(E-mail)liaozf@263.net。

1 电液脉冲处理废水时的有效作用范围的确定

1.1 电极有效的作用半径

假设放电一次的作用区域是一个半径为 r 的球形,并将这个区域作为电液脉冲作用的等效作用范围。

那么,经 i 次放电后的细菌数为^[7],

$$\Delta n_i = \frac{n_{i-1}}{V} v, \quad (1)$$

式中: V 为废水处理装置的处理室的容积, Δn_{i-1} 为经 i 为 1 次放电后消灭的细菌数, v 为球形区域的体积。

如果废水中初始的细菌数为 n_0 ,那么经过 1 次脉冲放电后,其细菌数为

$$n_1 = n_0 - \Delta n_1, \quad (2)$$

考虑到(1)式,得

$$n_1 = n_0 \left(1 - \frac{v}{V}\right). \quad (3)$$

第二次脉冲放电作用后,类似可得

$$n_2 = n_1 \left(1 - \frac{v}{V}\right), \quad (4)$$

把(3)式代入(4)式得

$$n_2 = n_0 \left(1 - \frac{v}{V}\right)^2, \quad (5)$$

因此,在 i 次脉冲放电作用后,有

$$n_i = n_0 \left(1 - \frac{v}{V}\right)^i. \quad (6)$$

经过 i 次放电后总共消灭的细菌数用 m_i 表示,则有

$$m_i = n_0 - n_i, \quad (7)$$

把(6)式代入(7)式,得

$$m_i = n_0 \left[1 - \left(1 - \frac{v}{V}\right)^i\right], \quad (8)$$

因此,采用电液脉冲处理废水时,一对电极的有效的作用半径为

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} V \left[1 - \left(\frac{n_i}{n_0}\right)^{\frac{1}{i}}\right]}. \quad (9)$$

1.2 实验室实验

用 3 只量杯(容积为 150 cm^3)分别装入具有不同浓度的大肠杆菌溶液^[8-9],并分别用 A、B、C 表示,A 中约有 75×10^{10} 个细菌,B 中约 225×10^{10} 个细菌,C 中约 45×10^{11} 个细菌。溶液中细菌个数与初始值的比值 $\frac{n_i}{n_0}$ 通过试验确定,利用(9)式计算其作用半径 r_{cm} ,其计算结果如下表所示。

表 1 3 种不同浓度溶液的有效作用半径

放电次数	A		B		C	
	$\frac{n_i}{n_0}$	r_{cm}	$\frac{n_i}{n_0}$	r_{cm}	$\frac{n_i}{n_0}$	r_{cm}
100	0.731	0.482	0.823	0.412	0.682	0.376
200	0.518	0.490	0.669	0.416	0.738	0.379
300	0.359	0.496	0.535	0.421	0.631	0.380
400	0.258	0.495	0.432	0.422	0.539	0.381
800	0.063	0.498	0.180	0.425	0.285	0.383
1 200	0.013	0.506	0.074	0.427	0.159	0.380
1 600	0.004	0.500	0.031	0.427	0.073	0.385

通过试验可得,3 种溶液 A、B、C 的有效作用半径的平均值分别为 $\bar{r}_A = 0.495 \text{ cm}$, $\bar{r}_B = 0.421 \text{ cm}$, $\bar{r}_C = 0.381 \text{ cm}$ 。在过程参数(电容量、电压、电感、废水的电导率、两电极间的极间距离、悬浮在水中的细胞数量等^[10])不变时,计算值与实测数据非常吻合。

2 电液脉冲破碎固体材料时的有效作用范围的确定

采用电液脉冲粉碎或破碎矿物或矿渣时,矿物或矿渣的粒度特性决定于电液脉冲的两个破碎带:过粉碎带和龟裂带^[11]。目前尚没有一套完整的理论,下面是为预估被破碎材料的粒度的一种尝试。

2.1 最大破坏半径的确定

下面的计算是在以下假设条件下进行的。

在 $0 \leq t \leq T/4$ 时间内(T 为放电电流的振荡周期),放电通道内所释放的能量消耗在通道的膨胀并形成第一个破碎带(过粉碎带),等概率振荡所产生的裂纹数应由第一个破碎带的边界沿其所有方向来确定^[12]。

在 $T/4 \leq t \leq nT/4$ 的时间内(n 为是半周期的数量,在这个时间范围内放电通道的阻力处于拟恒定不变的,其值为 $R(t) \approx R(t/2)$),放电通道内所释放的能量决定了主裂隙的长度并被转换成体积的变形能^[13]。

假设有一个立方体试样,它的边长为 $2a$,放电通道的中心作为笛卡尔坐标的原点 c 。该立方体的变形能为^[13]

$$W_a = \frac{4}{3} a^5 \rho D(a). \quad (10)$$

式中: ρ 为材料密度, $D(a)$ 为可碎性准则,在所研究的条件下,它等于

$$D(a) = \frac{7A^2}{a^6} \quad (11)$$

式中: A 为由变形速度所确定的一个参数, 该参数根据文献[14]用下式确定。

$$A = \left[\frac{lW_0 \sum_{i=1}^k \eta_i}{16\pi\rho \ln \frac{l}{R_0}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

式中: W_0 为储存在电容器中的能量, η_i 为确定放电通道释放的能量随时间变换关系的一个系数, R_0 为放电通道的半径, $l=2a$ 为试样的厚度。

根据(10)和(11), 立方体的变形能量为

$$W_d = \frac{28}{3} \rho \frac{A^2}{a} \quad (13)$$

为了破坏该立方体, 根据强度理论其所产生的变形能应不小于

$$W_s = 4a^3 \rho U_s^2, \quad (14)$$

式中 U_s 为临界速度。

这样, 根据 $W_d = W_s$, 就可以确定出立方体的临界尺寸, 它与裂隙的最大长度相对应

$$a_{\max} = 1.23 \left[\frac{lW_0 \sum_{i=1}^k \eta_i}{16\pi U_s^2 \rho \ln \frac{l}{R_0}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (15)$$

临界速度可表示为^[14]

$$U_s = \sigma_{CT} \left[\frac{1 + 0.16 f^{\frac{1}{2}} \ln v_H}{\rho E_{CT}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

因此, 裂隙的最大长度为

$$a_{\max} = 0.46 \left[\frac{lE_{CT} W_0 \sum_{i=1}^k \eta_i}{\sigma_{CT}^2 (1 + 0.16 f^{\frac{1}{2}} \ln v_H) \ln \frac{l}{R_0}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (17)$$

式中: σ_{CT} , E_{CT} 为分别为材料的静强度和静弹性值; f 为普氏系数。

根据半周期的数量 $i=k$ (当电感 $L \approx 10 \sim 20 \mu\text{H}$ 时, $k=2 \sim 3$; $L \approx 100 \sim 500 \mu\text{H}$ 时, $k=4 \sim 5$), 假设放电通道的阻力是拟恒定的, 对不同波阻的放电回路就可以进行分析。

2.2 电液压破碎固体作用范围的试验

为了判断所提出的计算数学模型的正确性, 对一个放电回路进行了实验研究。

试样是用石英陶瓷制作的, 具有等强度和等弹性特性, 把它与有机玻璃试件的电击穿和破碎的相关数据进行比较^[14]。

试验结果和计算获得的最大破坏半径的数值如表 2。

表 2 电液压对有机玻璃和石英陶瓷的破坏半径

材料	参数 W_0/J	$L \times 10^{-6}$ /H	$\sigma_{\max} \times 10^{-3}$ /m(试验值)	$\sigma_{\max} \times 10^{-3}$ /m(计算值)
有机玻璃	704	22.3	31.1	29.9
	704	91.5	40.0	37.8
石英陶瓷	400	12	22.4	20.6
	400	56	25.1	26.8
	400	360	32.4	30.2
	900	12	37.2	40.2

从表中可以看出: 在其它条件相同时, 电感对作用效果的影响非常明显。

3 结 论

在多次放电作用下, 破坏半径变化不大, 即破坏区域几乎不受放电次数的影响; 细菌浓度越大, 则电液脉冲的有效作用半径会有所降低。采用笔者提出的计算公式可以计算固体材料在电液脉冲冲击穿时的裂隙的最大长度。在破碎岩石和矿石时, 计算结果与材料的强度、弹性特性和试件尺寸的大小等有关, 它们对计算精度均有一定的影响。理论分析与实验研究表明: 所得出的有效作用范围的公式是可行的, 其为确定电液脉冲工作时的电极对数(废水处理)或预估被粉碎矿物的粒度特性提供了依据。同时, 对电液脉冲技术应当进行更深入的研究来提高其效率。

参考文献:

- [1] 廖振方, 陈德淑, 苏畅, 等. 矿石及炉渣的电液脉冲破碎和粉碎[J]. 矿山机械, 2004, 31(4): 6-7.
LIAO ZHEN-FANG, CHEN DE-SHU, SU CHANG, et al. Study on crushing and smashing ore and slag by electro-hydraulic impulse technology [J]. Mining & Processing Equipment, 2004, 31(4): 6-7.
- [2] 裴江红, 唐川林, 张凤华, 等. 电液脉冲反应室水处理效果的试验研究[J]. 轻工机械, 2006, 24(4): 140-142.
PEI JIANG-HONG, TANG CHUAN-LIN, ZHANG FEN-HUA, et al. The Study on the Effect of Electro-hydraulic Impulse Reactor for Treating Waste water [J]. Light Industry Machinery, 2006, 24(4): 140-142.
- [3] 廖振方, 汪朝晖, 陈德淑. 利用电液脉冲技术控制水体藻类的研究[J]. 环境工程学报, 2008, 2(4): 450-454.
LIAO ZHEN-FANG, WANG ZHAO-HUI, CHEN

- DE-SHU. Research on controlling algae in water body by electro-hydraulic power impulse technology [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2008,2(4):450-454.
- [4] NAZIR M, KHAN F I. Human health risk modeling for various exposure routes of trihalome thanes (THMS) in potable water supply[J]. Environmental Modelling & Software, 2006,21(10): 1416-1429.
- [5] 唐川林,张凤华,张晓琪. 电液脉冲水射流强化金属表面的研究[J]. 株洲工学院学报, 2005,19(4): 91-94. TANG CHUAN-LIN, ZHANG FENG-HUA, ZHANG XIAO-QI. Study on electro-hydraulic pulsed water jet to intensify surface of metal [J]. Journal of Zhuzhou Institute of Technology, 2005,19(4): 91-94.
- [6] JOYEUX M, BAERT A, CABILLIC P J, et al. Assessment of the health risks from non-compliance with arsenic drinking water parametric value [J]. Toxicology Letters, 2006, 164(supplement 1): 139.
- [7] Малхасян Л Г, Коротков Н В, Викторов В К. Эффективное сечение разрушения при электрогидравлическом ударе [J]. ЭЛЕКТРОННАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ, 1983,3(3):50-51.
- [8] ASADI M, JAMSHID K A, KYANFAR A H. Synthesis, characterization and equilibrium study of the dinuclear adducts formation between nickel(II) Salen-type complexes with diorganotin(IV) dichlorides in chloroform[J]. Inorganica Chimica Acta, 2007, 360(5): 1725-1730.
- [9] NICILAISEN B. Developments in membrane technology for water treatment [J]. Desalination, 2003,153(3):355-360.
- [10] XIA S J, NAN J, LIU R P, et al. Study of drinking water treatment by ultrafiltration of surface water and its application to China [J]. Desalination, 2004, 170(1): 41-47.
- [11] JIANG H, ADAMS C. Treatability of chloro-s-triazines by conventional drinking water treatment technologies[J]. Water Research, 2006, 40(8):1657-1667.
- [12] 张于贤,王红. 电液脉冲水处理装置的实验研究[J]. 环境科学与技术, 2005,28(3):35-37. ZHANG YU-XIAN, WANG HONG. An Apparatus with Electro-hydraulic Impulse for Treating Wastewater [J]. Environmental Science and Technology, 2005,28(3):35-37.
- [13] Власов О Е, Смирнов С А. Основы расчета дробления горных пород взрывом[M]. М. Изд-во АН СССР, 1962.
- [14] Алексеева Т И, Курец В И, Филатов Г П. К вопросу о максимальном радиусе разрушения при электрическом пробое твердых тел[J]. ЭЛЕКТРОННАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ, 1983,3(3):54-57.
- [15] 陈德淑,廖振方. 湖泊水体富营养化的治理 [J]. 重庆大学学报, 2007,30(3):116-119. CHEN DE-SHU, LIAO ZHEN-FANG. Harness of Eutrophication for Lake Water Body [J]. Journal of Chongqing University, 2007,30(3):116-119.

(编辑 张小强)