

文章编号: 1000-582x(2000)06-0001-03

# 等离子体活化水对混凝土力学性能的影响

廖振方, 唐川林, 刘美生, 张风华 TU528.042  
(重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044)

**摘要:** 提出用等离子体活化水来提高混凝土力学性能的新设想。介绍了产生等离子体活化水的装置, 分析了产生等离子体活化水的作用过程。实验数据表明: 利用等离子体活化水来提高混凝土的力学性能是可行的, 所提出的设想是正确的

**关键词:** 混凝土; 等离子体活化水; 电液脉冲

**中图分类号:** TU 528.59

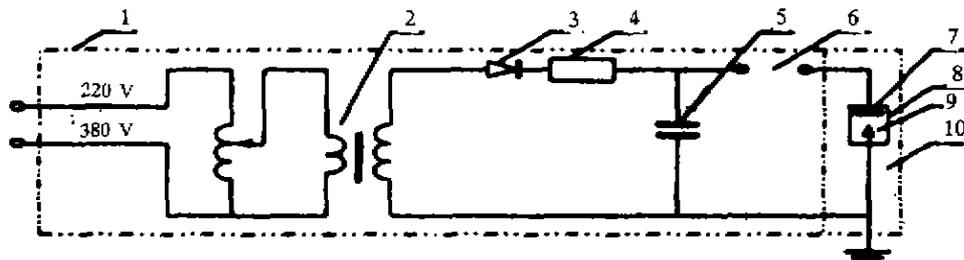
**文献标识码:** A

混凝土是用量大, 用途广的人造建筑材料。长期以来国内外学者在提高水泥浆和混凝土性能及成本降低等方面做了大量的研究工作, 尤其是近二三十年来, 混凝土一直在向快凝、高强、高性能、轻质、复合和节能的方向发展, 例如采用外加剂(减水剂、加速剂、延缓剂、超塑剂等)和外加物(各种纤维、矿物活性材料等)来提高混凝土的性能和强度, 改善其和易性、凝结时间等方面的研究进展有大量报道<sup>[1]</sup>, 但这些方法总因一些工艺因素及成本较高等原因, 限制了它的应用范围。目前, 我国大量使用的混凝土强度仍偏低, 寻求一种经济、简单、有效、性能稳定和可靠且能广泛采用的新方法, 仍是一项急迫的任务。70年代以来我国研究人员

曾用磁化水来改善混凝土性能并取得了一定的成果, 但对其机理的研究较少, 而且磁化水的增强效果很不稳定, 受外界因素的影响很大, 故难以推广。作者通过小批量实验室实验表明: 采用电液脉冲产生的等离子体活化水拌制混凝土, 将使混凝土的主要力学性能(强度和固凝时间)得到较大地提高, 效果稳定且不受地区水质影响。与磁化水拌制的水泥砂浆和混凝土相比, 不仅工艺更简单, 费用也更低廉。

## 1 电液脉冲生产等离子体活化水的原理

电液脉冲生产等离子体活化水的原理, 可用图1予以说明。



1-脉冲电流发生器(包括高压变压器2、高阳硅堆3、限流电阻4、脉冲电容器5、空气开关6);  
10-反应室(由电极7和喷嘴9组成的工作腔8)

图1 电液脉冲生产等离子体活化水的原理示意图

正电极为尖状电极, 负电极也可为尖状电极(根据工作特点, 也可为平板)。电极(正电极和负电极)可

以垂直布置或水平布置。水平布置时, 两电极中心线之距离为放电加工工作间隙; 垂直布置时, 常将反应室

收稿日期: 2000-08-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(59979029)

作者简介: 廖振方(1938-), 男, 四川绵竹人, 教授, 博士生导师, 主要从事水射流和材料的特殊加工。

的壳体作为接地电极,主电极与壳体之距离为放电加上的工作间隙.当施加在空气开关6上的电压能击穿其空气间隙时(击穿每1mm空气间隙大约需3KV电压,改变空气间隙的大小就可改变击穿电压值),反应室10中的主间隙也随之击穿,从而将贮存在电容器5内的能量( $10^3 \sim 10^6$  J)瞬间释放出来,通道内的水将被加热到(20 000~40 000 K)。在这一瞬间的能量密度将被提高到 $10^9$  J/m<sup>3</sup>,从而形成等离子活塞,它以每秒数十到数百米的速度向外迅速膨胀并压缩周围的不可压缩介质(被处理的水),其所产生的冲击压力的峰值高达10~1 000 MPa。当空腔(等离子活塞)内的压力小于外界压力时膨胀停止,但在惯性作用下液流将突然闭合而形成空化流(cavitation flow),使液流作反向运动,空腔内的压力又急剧增加,等离子活塞再次膨胀。这一过程将重复数次并随时间的增加而逐渐衰减<sup>[9]</sup>。在发生上述现象的同时,伴随放电还将产生强电场、强磁场、强紫外线、X射线及强超声波等,从而使反应室内的水发生巨大的变化,瞬间释放大量能量使水分手缔合体分成单分子或较小的缔合水分子,放电通道内水分子发生分裂,根据实验和用统计物理学方法获知,它将裂解成中性成分H<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H、O和带电成分H<sup>+</sup>、O<sup>-</sup>、H<sub>2</sub><sup>+</sup>、O<sub>2</sub><sup>-</sup>和e,中性成分H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H和O可看成理想气体,主要发生变化的是带电成分H<sup>+</sup>、O<sup>-</sup>、H<sub>2</sub><sup>+</sup>、O<sub>2</sub><sup>-</sup>和e等,它们可用一组方程来描述其反应过程<sup>[9]</sup>。计算表明,放电时,即使温度小于或等于15 000 K,也应考虑分子、分子性离子和自由基(原子团)的存在。放电结束后,这一条件成为(水一等离子体)过渡层以及空腔(等离子活塞)振动的主要特征,此时水的性质已发生了某些变化。

空化流(Cavitation flow)使微气泡占据一定空间,使水发生流动,破坏了原来的力平衡,大量的微气泡也是改变水性质的一个重要原因.有了这些微气泡而且还带电荷,它们对放电时的强大瞬时电磁场将产生反力,水分子中的外层电子层重新分布,而表面电荷又不

能补偿(水总体上呈中性的),在微气泡附近由于热、水动力等的原因,静电斥力发生变化,大的缔合水分子中的各氢键(O-H)被断开,形成类似偶极子的状态,于是原有的呈中性的缔合水分子变成孤立的呈强极性的水分子。

综上所述,在电液脉冲作用下,原有的缔合水分子发生裂解,呈现出极强的极性,水分子被激活,处于极活泼的状态.可以这样说,放电的总能量中很大的部分能量都转化为水分子的内能,水分子被激活,我们称这种水叫等离子体活化水或强极性活化水。

影响电液脉冲强弱(亦即强极性活化水性能)的主要因素有:1)放电回路的电气参数(放电电压、电容、电感);2)工作间隙的电阻参数(极间工作间隙的大小、工作介质的导电率等);3)电极结构(形状、安装方式、未绝缘保护的面积等);4)反应室的结构(形状、尺寸、有无聚能装置等).这些因素均应通过正交试验找出最佳值<sup>[10]</sup>。

## 2 实验研究

### 2.1 试件的制备

混凝土试件为100×100×100 mm的立方体,每组相同条件的试件为3个,所测的抗压强度是取其算术平均值后再乘以尺寸换算系数(0.95),骨料为不大于30 mm的碎石,实验中所有试件的配比(重量比)均为:水泥:砂:石:水=1.000:1.211:2.823:0.420。

各试件用标准规定的方法搅拌、成型、振动,自然养护到规定时间后在材料试验机上测试其抗压强度.由于是做对比实验,即用等离子体活化水和自来水拌制的混凝土进行对比,故除所用的水不同外,其他条件均相同并同时测试。

### 2.2 实验结果

选用的水泥为普通硅酸盐水泥,混凝土强度等级为C30,配比如前所述,分别测出3、7、28天各试件的抗压强度,处理结果及实验数据如表1。

表1 等离子体活比水(处理水)与自来水拌制的混凝土抗压强度(MPa)对比实验

序号	水的种类	R3	R <sup>~</sup> 3	提高%	R7	R <sup>~</sup> 7	提高%	R28	R <sup>~</sup> 28	提高%
1	自来水	11.64	10.33		14.85	14.96		30.34	31.09	
2	自来水	9.84			16.02			31.25		
3	自来水	9.50			14.00			31.70		
4	处理水	14.24	14.07	36.24	22.10	21.00	40.37	46.08	46.11	48.11
5	处理水	13.86			21.05			45.62		
6	处理水	14.12			19.84			46.64		

注:R<sup>~</sup>为其算术平均值,抗压强度单位 MPa

### 2.3 电液脉冲作用对水的影响

由于电液脉冲是同一瞬间多种作用的综合效应, 水泥浆经电液脉冲处理后, 使  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  胶凝物贮留于水泥浆的表面, 矿物的无定形成分大大增加, 某些金属阳离子(如钙离子)更易以分散相渗透入水中, 从而大大增加了活性氧化硅的数量。因此, 电液脉冲大大加强了水泥浆晶粒的水化过程, 水泥浆的活化能力大大提高。

在此基础上, 实验研究了电压、脉冲频率、作用时间等对混凝土力学性能的影响, 通过正交试验找出了它们的最佳值。同时还对强极性活化水的时效性(即将强极性活化水放置一段时间)进行了实验, 实验条件不变, 只测试件第 28 天的抗压强度, 实验数据如表 2。

表 2 强极性活化水(处理水)  
时效性抗压强度(MPa)实验

序号	用水类型	放置时间(h)	抗压强度(Mpa)		
			R <sub>28</sub>	R <sub>28</sub>	提高(%)
1	处理水	0	46.08	46.11	48.32
2	处理水	0	45.62		
3	处理水	0	46.64		
4	处理水	1.0	43.34	44.75	43.95
5	处理水	1.0	46.18		
6	处理水	1.0	44.74		
7	处理水	2.5	34.72	34.21	10.02
8	处理水	2.5	36.72		
9	处理水	2.5	31.40		

注:  $R^*$  为其算术平均值, 抗压强度单位 MPa

### 3 几点看法

1) 试验结果表明, 利用等离子体活化水拌制的混凝土, 混凝土试件的抗压强度提高了 48.32%, 实验结果表明此方法的稳定性好, 能重复实验, 正交实验已找

出最佳参数, 但还有大大提高强度的潜力。因为一些个别试件的强度可提高 80%。

2) 固凝时间能有较大的缩短, 从外观看, 等离子体活化水拌制的混凝土试件具有空隙小、分布均匀、密实性好等特点, 但此指标目前尚未测试。

3) 实验结果表明, 等离子体活化水有一定的时效性, 处理后的水应尽快使用。

4) 不同地区, 水质会有一些不同, 但可通过测出水的电导率, 选择相应的放电距离而获得满意的效果。

5) 电液脉冲装置结构小巧、紧凑, 可与搅拌机配套。

6) 实验指标有限, 仅测了抗压强度, 达到现场应用尚需进行大量深入细致的研究。

#### 参考文献:

- [1] LIAO ZHEN-FANG Design Factors on Electrohydraulic Pulsed Focus Water Jet Generator [A] Proceedings on Water Jet in Beijing [C] 北京, 1987: 44-58.
- [2] 廖振方. 电液脉冲工业废水处理装置 [P]. 中国专利. CN1046317A, 1989.
- [3] 廖振方. 电液脉冲方法洗涤羊毛和羽绒 [J]. 重庆环境科技, 1990, 4(1): 56-58.
- [4] 廖振方. 电液清砂的机理及其有关参数的选择 [J]. 重庆大学学报, 1987, (6): 141-150.
- [5] 廖振方. 饮用水及工业废水的电液脉冲净化及处理装置 [J]. 贵州环保科技, 1999, 3-5.
- [6] 廖振方. 电液脉冲射流最大出口压力的计算 [J]. 高压水射流, 1991, (4): 15-20.
- [7] 廖振方. 利用电液脉冲水-气射流强化模具表面 [J]. 机械, 1990, (1): 7-10.
- [8] 廖振方. 电液脉冲技术在油田集输管网清垢中的应用 [J]. 油气储运, 1997, (6): 31-33.
- [9] Гурейч Л В, Вейч И В Термодинамические Свойства Индивидуальных Вещей [М]. Наука, 1978, pp.496.
- [10] Юткин Л А Электрогидравлический Эффект и его Применение в Промышленности [М] Л. Машиностроение, 1986.

(下转 7 页)

到启示:虚拟仪器不仅可以实现硬件仪器的“软化”,而且可以超越硬件仪器世界所采用的方法。因此,虚拟仪器的开发工作者,思想上不能拘泥于硬件仪器“物理上可实现”的框架束缚,而应该充分利用数学工具,设计出具有“物理功能”的“虚拟”仪器。

参考文献:

[1] ALAN V. OPPENHEIM ALAN S. WILLSKEY WITH S. et al 信号与系统[M]. 刘树棠译 西安:西安交通大学出版社,1998

版社,1998

[2] 楼顺天,李博菡. 基于 Matlab 的系统分析与设计—信号处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1998

[3] LATHI, BP. Linear Systems and Signals[M]. Cunniffed, CA: Berkeley-Cambridge Press, 1992

[4] ANTONIOU A. Digital Filters, Analysis, Design, and Applications [M]. 2nd ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1993

[5] 程佩青. 数字信号处理教程[M]. 北京:清华大学出版社, 1995

### Digital Filtering with Zero Phase Error

Ji Yue-bo, QIN Shu-ren, TANG Bao-ping

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of phase error caused by normal filters in signal processing, summarizes the important meaning of digital filtering with zero-phase error. Puts forward RRF Filtering which is a new way to realize digital filtering with zero-phase error through reversing the time serials of the signal. Another way to realize digital filtering with zero-phase error is suggested through reversing the time serials of normal filter. Testifies the way to realize digital filtering with zero-phase error. Points out how to design the digital filter with zero phase-frequency peculiarity. Solves the problem of phase error in DSP.

**Key words:** zero phase; digital filter; phase; filter; virtual instrument

(责任编辑 成孝义)



(上接 3 页)

### Experimental Study about the Plasma Activated Water on the Performance of the Concrete

LIAO Zhen-fang, TANG Chuan-lin, LIU Mei-sheng, ZHANG Feng-hua

(Mechanical Engineering Institute, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** A new good idea to improve the performance of the concrete by plasma activated water is put forward. The work principle of electrohydraulic impulsed technology for producing plasma activated water is introduced. Some experimental data of improving the performance of the concrete by the plasma activated water are reported. The study shows that improving the performance of concrete by plasma activated water is practical and the view points provided by the authors is correct.

**Key words:** concrete; plasma activate water; electrohydraulic impulsed technology

(责任编辑 成孝义)