

# 交变电流在仿生非光滑表面电渗中作用原理的试验研究\*

阎备战 丛茜 任露泉 李安琪  
(吉林工业大学) (吉林省生物研究所)

**提 要** 利用生物体表交流电渗作用的信息, 将交流电引入仿生非光滑表面电渗技术中, 并进行了试验研究, 考察了交流电的频率对电渗效应的影响, 利用试验优化技术对交流电的频率、电压两个因素进行了二元二次回归组合设计的试验, 建立了显著的回归方程。对交流电在仿生非光滑表面电渗技术中的应用打下了理论基础。

**关键词** 交流电 仿生非光滑表面 电渗 试验研究

## Experiment and Study on the Action Principle of Alternating Current in Electroosmosis on the Soil Bionic Nonsmooth Surface

Yan Beizhan Cong Qian Ren Lu-quan Li An-qi  
(Jilin University of Technology, Changchun) (Jilin Research Institute of Biology)

**Abstract** According to the information of surface electroosmosis on the creatures, alternating current was used in electroosmosis on the soil bionic nonsmooth surface, and was experimented on. The effects of frequency of alternating current on the soil adhesion was studied. Using the experimental optimization technique, the effects of frequency and voltage of alternating current on the soil adhesion were tested, and a notable regression formula was obtained. The theory basis was founded for the application of alternating current in bionic nonsmooth surface electroosmosis.

**Key words** Alternating current Bionic nonsmooth surface Electroosmosis Experiment study

土壤中的水分以水合阳离子的形式存在, 带有正电荷, 在外加电场作用下将会向负极移动, 这种电动现象称为土壤电渗<sup>[1]</sup>。土壤电渗的这种作用, 对于地面机械触土部件的减粘脱附有重要意义, 并且在工程实际中形成土壤电渗技术, 通常电渗技术采用直流电作为电源, 以触土部件作为负极, 适当安排正极, 利用电渗现象使土壤中水分析出, 在土壤与触土部件接触表面形成较厚的水膜, 则可减小触土部件的工作阻力或减少其土壤的粘附。例如, 在桩基的施工过程中采用电渗方法, 可以降低沉桩阻力, 提高沉桩速度<sup>[2]</sup>; 将电渗技术应用在耕作机械上, 可以减少粘附, 降低犁耕阻力<sup>[3]</sup>。依据仿生学提供的生物体表电渗

收稿日期: 1996-10-09

\* 国家教委博士基金(9418508), 吉林省科委青年基金资助(943514)

阎备战, 博士生, 长春市人民大街142号 吉林工业大学, 130022

信息,使电渗技术从分离式发展到了整体表面式,而且这种低压,多极的表面电渗方法,比以往的分离式电渗具有更好的应用效果。

生物体表电渗的作用原理作为电渗技术的仿生学依据,还需作深入探讨。仿生非光滑表面电渗技术通常使用直流电,而生物体表的电位和极性都是交变的。因此,研究交变电流对电渗效应的影响,对研究生物体表电渗的作用原理,对电渗技术的理论发展和实际应用都有重要意义。

### 1 试验原理与方案

对生物体表电位的测试表明,生物体表的电位和极性时刻都是在变化的<sup>[4]</sup>。试验结果还表明其变化的复杂程度与其运动的复杂程度有关,当运动剧烈时,电位的峰值大,波形复杂。图 1 为蚯蚓体表电位的测量结果。

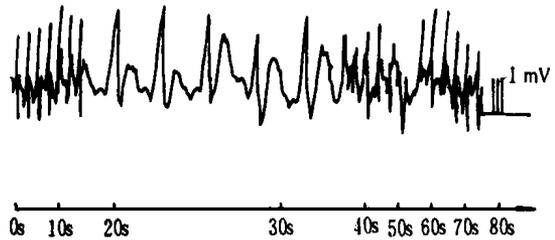


图 1 蚯蚓体表电位

因此,生物体表电渗不同于直流电渗,其体表电位的波形对电渗效应有重要影响作用。所以,采用交替变化的电流进行非光滑表面电渗试验,将更接近生物体表电渗的实际作用情况,更有利于探明生物体表的作用原理和交流因素对电渗效应的影响作用。

试验装置如图 2 所示,采用两种分布形式不同的仿生非光滑表面电渗测盘,如图 3 所示,两极的面积比相同,但分布形式不同,1 号测盘凸起的一极分散为 16 个小的凸包,2 号测盘则分布为 4 个较大的凸包,两极之间由电木板绝缘。试验采用的土壤为黄粘土,取自长春地区,试验前配制含水量为 27.5%。测盘拉脱土样时产生的最大粘附力由计算机记录并处理。

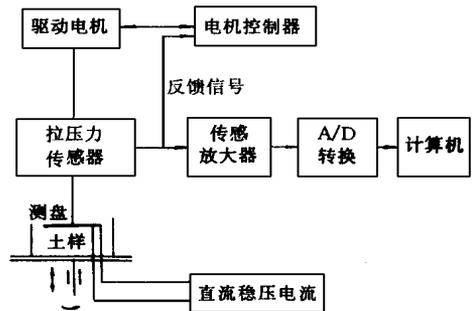


图 2 测试系统示意图

### 2 结果与讨论

#### 2.1 测盘分布形式对电渗效应的影响作用

为考察交流电频率,电压以及电极分布形式对电渗效果的影响作用,固定其他因素条件,针对电极分布形式不同的两个测盘进行粘附力的测量。其他条件分别为,作用电压  $U$

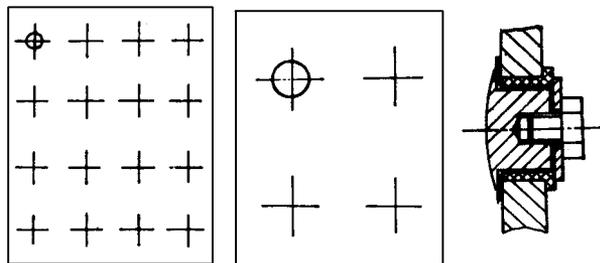


图 3 两种测盘的电极分布形式

$= 6V$ , 电渗时间为  $t = 60 s$ , 比压为  $p = 32.66 kPa$ 。试验结果如图 4 所示

由试验结果根据水膜的五层界面模型进行讨论与分析可知, 交流电在较低频率范围内对减小土壤粘附力有较显著作用, 在较高频率范围内对减小粘附力的作用较小。1 号测盘在较低频率(20 Hz)达到最佳的减粘效果。而 2 号测盘在相对较高的频率(50 Hz)达到最佳的减粘效果。这说明 1 号测盘在较低频率时使界面水膜达到最厚, 而 2 号测盘在较高频率时使界面水膜达到最厚, 因为水膜越厚, 土壤与测盘之间的相互作用越弱, 其减粘效果越显著。因此凸起电极分布集中, 则其达到最佳减粘效果的频率值就高, 如果分布分散则达到最佳减粘效果的频率值就低。这表明在交变电流的作用下, 土壤水由于交变电场的作用而产生运动, 当凸起电极分布集中时, 两电极距离较远, 要使水分子在界面的两极之间充分析出, 必须采用较高的频率, 才能达到最佳的减粘效果, 当凸起的一极分布分散时, 两极之间的距离较近, 用较低的速度就可使土壤中水分子移动, 因此用较低的频率即可得到最佳的减粘效果。

另一方面, 在较高频率范围内, 凸起电极集中分布的 2 号测盘减粘效果优于分散分布的 1 号测盘。这表明, 凸起电极集中分布测盘, 其单个电极的作用范围较大, 可以移动更大范围内的水分子, 这将使得界面中析出更多的水分, 使水膜更厚, 粘附力更小。而分散分布的测盘只能移动较小范围内的水分子, 当水膜厚度达到一定值后, 难以析出更多的水, 因此其减粘效果相对较差。

当频率再增加时, 两测盘的减粘效果越来越不显著, 这说明土壤水此时由于惯性的原因已难以被快速变化的电场所移动。但是凸起电极集中分布的 2 号测盘的减粘效果依然优于分散分布的 1 号测盘。这表明, 凸起电极集中分布时, 其电渗作用范围大, 析出水分多。

为了考察交流电的两个主要参数, 电压、频率对电渗效应的影响, 采用二元二次回归组合设计。

### 2.2 电压、频率对电渗效应的影响

为了定量考察交变电流的两个主要参数, 电压和频率对电渗效应的影响, 采用二元二次回归组合设计优化试验方案, 寻求其回归方程, 采用凸起电极集中分布的 2 号测盘, 其他条件同上, 进行试验研究。因素编码如表 1 所示。试验及计算结果列入表 2。

由表 2 可知,  $x_1$  项系数不显著。而且显著水平都不大于 0.1, 又由,

$$F = \frac{S_{\square}/f_{\square}}{S_R/f_{\square}} = 4.522 > F_{0.05}(5, 6) = 4.39$$

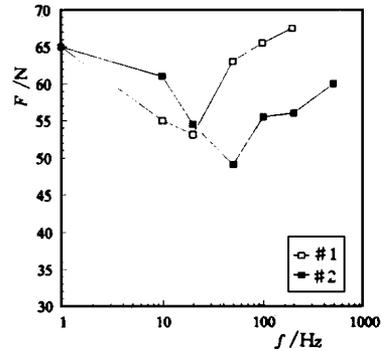


图 4 频率对粘附力的影响曲线

表 1 因素编码表

$x_j$	$U/V$	频率对数值(频率)
+ r*	3 000	1.301(20Hz)
+ 1	3 793	1.424(26.5Hz)
0	7 500	2.000(100Hz)
- 1	11.207	2.576(376.7Hz)
- r	12 000	2.699(500Hz)

\*  $r^2 = 1.464$   $r = 1.21$

表 2 试验数据计算分析表

试验点	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$x_1^2(x_1)$	$x_2^2(x_2)$	$y_i$	$y_i^2$
1	1	1	1	1	1(0.423)	1(0.423)	5.64	31.810
2	1	1	-1	-1	1(0.423)	1(0.423)	3.16	9.989
3	1	-1	1	-1	1(0.423)	1(0.423)	4.01	16.080
4	1	-1	-1	1	1(0.423)	1(0.423)	3.23	10.433
5	1	1.21	0	0	1.464(0.887)	0(-0.577)	3.57	12.745
6	1	-1.21	0	0	1.464(0.887)	0(-0.577)	4.73	22.373
7	1	0	1.21	0	0(-0.577)	1.464(0.887)	6.22	38.688
8	1	0	-1.21	0	0(-0.577)	1.464(0.817)	3.49	12.180
9	1	0	0	0	0(-0.577)	0(-0.577)	4.23	17.893
10	1	0	0	0	0(-0.577)	0(-0.577)	4.26	18.148
11	1	0	0	0	0(-0.577)	0(-0.577)	4.19	17.472
12	1	0	0	0	0(-0.577)	0(-0.577)	4.28	18.318
$D_j$	12	6.928	6.928	4	4.287	4.287	$S = 9.375$	$f = 11$
$B_j$	51.01	0.156	6.563	1.700	-1.242	0.823	$S_e = 0.046$	$f_e = 3$
$b_j$	4.251	0.023	0.947	0.245	-0.289	0.131	$S_{\text{回}} = 7.409$	$f_{\text{回}} = 5$
$S_j$	216.844	0.0036	6.215	0.723	0.359	0.108	$S_R = 1.966$	$f_R = 6$
$F_j$		0.235	405.326	47.152	23.413	7.043	$S_{Lj} = 1.920$	$f_{Lj} = 3$
$\alpha_j$			0.01	0.01	0.05	0.1		

故回归方程置信度为 95%，回归方程为：

$$\hat{y} = 4.251 + 0.947x_2 + 0.425x_1x_2 - 0.289x_1 + 0.131x_2 \quad (1)$$

将编码方程和中心化处理公式代入式中，则有

$$F = 43.326 + 15.239 \lg f + 6.968U - 1.940U \cdot \lg f - 0.206U^2 + 3.842 \lg^2 f \quad (2)$$

式中  $F$ ——粘附力, N;  $f$ ——交流电频率, Hz;

$U$ ——交流电电压, V。

其曲面如图 5 所示。

对回归方程进行分析, 可知在本文限定的条件下, 提高交变电流的频率, 其单独作用的一次项、二次项都使粘附力趋于增大, 而与电压的一次交互作用有利于降低粘附力; 电压作用的一次项不利于减小粘附力, 而二次项有助于降低粘附力。因此提高电渗电压、施加较低的频率, 将是十分有效的方法。

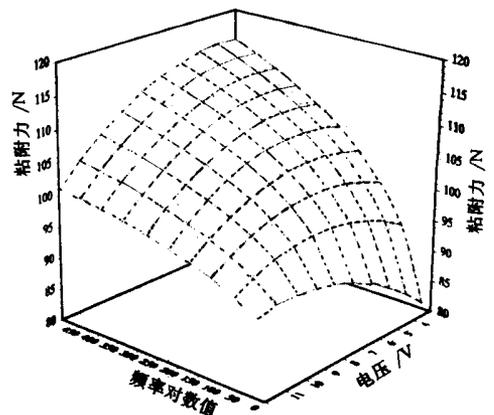


图 5 电压与频率对粘附力的综合影响

### 3 结论

1) 交变电流在低频范围内对电渗效应有显著作用, 在高频范围内影响作用较小, 在对数坐标上近似呈抛物线趋势。这是由于土壤水在低频交变的电场中容易被移动, 而当电场交变频率较高时, 由于惯性的原因, 土壤水难以在

界面中析出。

2) 在相同的两极面积比条件下, 凸起电极分布集中, 则其最佳电渗效果的频率值高, 其中一极分布分散, 则此最佳频率值低。

3) 在较高频率范围内, 凸起电极集中分布其电渗减粘效果显著, 这是由于电极分布集中, 电渗作用范围较大, 能析出较多的水分。

4) 对交流电的频率, 电压两个参数进行二元二次回归组合设计, 得到回归方程, 对一定试验条件交流电渗效果进行了定量分析。为进一步的研究提供了试验方法和理论基础。

### 参 考 文 献

- 1 洪毓康 土质学与土力学 北京: 人民交通出版社, 1987. 26~ 27
- 2 刘成宇 土力学与基础工程(下册). 北京: 中国铁道出版社, 1981. 137
- 3 William J Chancellor. Friction between soil and equipment materials a review. A SAE Paper No. 94~ 1034, St Joseph, M I A SAE, 1994
- 4 吴连奎 非光滑表面电渗及其减粘脱土的试验研究: [学位论文] 长春: 吉林工业大学, 1994
- 5 任露泉 试验优化技术 北京: 机械工业出版社, 1987. 148~ 150

## 欢迎订阅 1998 年农业科技期刊

### 《中国农业气象》

《中国农业气象》由中国农业科学院农业气象研究所主办, 是公开发行的中央级农业气象科技刊物。它精选报道农业气象方面的最新科研成果和论文, 以及现代农业气象科技应用于生产方面的文章。辟有论文、作物气象、农业气候、小气候、农业气象预报、气象灾害及防御、林牧渔业及特产气象、农业气象实用技术、电子计算机、卫星遥感技术在农业气象上的应用和农业气象观测仪器以及国外农业气象文献综述等栏目; 还设有中国气象局农业气象研究所定期发布的气象情报等专栏。读者对象是农业气象科技工作者和广大的农林牧渔业及特产科技人员、气象台站人员、农业管理人员、有关院校师生等。

《中国农业气象》为双月刊, 逢双月出版, 16 开本 56 页, 定价 3.30 元。北京报刊局总发行, 全国各地邮局订阅, 邮发代号 82- 126。国外发行: 中国国际图书贸易总公司(中国国际书店)。本刊地址: 北京市海淀区白石桥路 30 号。邮政编码: 100081

### 《华北农学报》

《华北农学报》是北京、天津、河北、山西、内蒙古、河南六省市自治区农业科学院和农学会联合主办的大农业学术性刊物。本刊为中国自然科学核心期刊, 全国综合性农业核心期刊, 是中国农林数据库、中国科学引文数据库来源期刊及统计源, 曾获得国家优秀科技期刊三等奖。本刊立足华北, 面向全国和全世界, 主要刊载农业各学科的学术论文、研究报告及研究简报, 报道学术动态。

《华北农学报》系季刊, 国内外公开发行, 国内统一刊号: CN 13- 1101/S, 邮发代号: 18- 10, 每份定价 5.00 元, 全年定价 20.00 元。编辑部地址: 河北省石家庄市机场路 14 号河北省农科院内。邮编 050051。