

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510124583. X

[51] Int. Cl.

G01N 27/12 (2006.01)

G01N 27/416 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008 年 7 月 23 日

[11] 授权公告号 CN 100405048C

[22] 申请日 2005.12.20

[21] 申请号 200510124583. X

[73] 专利权人 中国科学院水利部水土保持研究所

地址 712100 陕西省杨凌示范区邰城路 26
号

共同专利权人 西安理工大学

[72] 发明人 王全九 樊军 赵军 郑纪勇
邵明安 张兴昌 李世清

[56] 参考文献

CN1222676A 1999.7.14

JP11-64259A 1999.3.5

US4654598A 1987.3.31

CN1053127A 1991.7.17

CN2627503Y 2004.7.21

CN1514233A 2004.7.21

US5847568A 1998.12.8

土壤溶质迁移理论研究进展. 王全九. 灌溉排水学报, 第 24 卷第 3 期. 2005

一维土壤水盐运移特征研究. 吕殿青, 王全九, 王文焰, 邵明安. 水土保持学报, 第 14 卷第 4 期. 2000

有限深土体中再分布的土壤水盐运移试验研究. 李毅, 邵明安, 王文焰, 王全九, 张建丰. 农业工程学报, 第 20 卷第 3 期. 2004

审查员 海岩冰

[74] 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司

代理人 李郑建

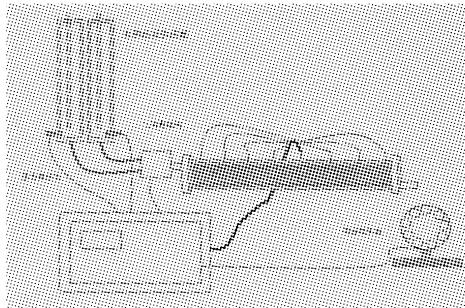
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

土壤水分、溶质运移参数自动测定装置

[57] 摘要

本发明公开了一种土壤水分、溶质运移参数自动测定装置，包括水和溶质供给器、三通电磁阀、压力传感器、土壤水平柱、探针、自动采集器和计算机控制单元；计算机控制单元通过连接线分别与压力传感器、三通电磁阀、探针和溶液收集器连接，控制水和溶质供给器的水、溶质的自动切换，并对溶液收集器中的液体信号自动采集，得到不同土壤水平柱内不同位置的土壤样品的电导率和入渗量，并自动根据采集到的数据计算土壤湿润锋、溶质锋面位置和入渗量随时间变化过程。该装置利用同一土壤样本自动测定土壤水力参数和溶质迁移参数，测定数据求得的参数与实际情况相符。



1. 一种土壤水分、溶质运移参数自动测定装置，其特征在于，该装置包括：

一水和溶质供给器，用于给土柱提供水和溶质，该供给器由两个分别装有水和溶质的有机玻璃管组成，每个有机玻璃管连接有控制水或溶质流出的转换开关，并通过管路与三通电磁阀连接；在每个有机玻璃管液体出口处，分别有用于监测水或溶质的渗入量的压力传感器；

一土壤水平柱，用于放置被测土壤样品，该土壤水平柱上均匀分布有测定电导率的探针，土壤水平柱一端通过三通电磁阀和管路与溶质供给器连通，另一端的下方有一个出流液体的溶液收集器；

一计算机控制单元，计算机控制单元通过连接线分别与压力传感器、三通电磁阀、探针和溶液收集器连接，用于控制水和溶质供给器的水、溶质的自动切换，并对溶液收集器内的液体信号自动采集，得到不同土壤水平柱内不同位置的土壤样品的电导率和渗入量，并自动根据采集到的数据计算土壤湿润锋、溶质锋面位置和渗入量随时间变化过程。

2. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述的测定电导率的探针长 3.5cm，直径 1mm，以每 5 个为一组固定在探头上，其中的 4 个探针以间距 1cm 呈正方形分布，正方形的中心放置 1 个。

土壤水分、溶质运移参数自动测定装置

技术领域

本发明属于水土保持研究领域，涉及一种测量装置，特别涉及一种土壤水分、溶质运移参数自动测定的装置。

背景技术

对于干旱半干旱地区水资源短缺是制约工农业发展和社会全面进步的重要因素。高效利用有限水资源成为缓减水资源短缺、实现工农业可持续发展，以及生态恢复的重要手段。土壤作为作物生长所需各种能量的供给和存储场所，预测预报和适时调控土壤中物质循环过程是实施农业高效用水与生态环境建设的重要内容。土壤水分不仅是作物各种营养元素的溶剂和载体，也是作物生长必需的营养元素之一，它对于合理调控土壤中物质循环过程起这关键性作用，因此揭示土壤水分运动特征和合理调控土壤水分状况是生态环境建设的基础。

国内外学者已就土壤水分和溶质测定技术、土壤水分运动与溶质运移理论进行了大量的研究工作，并逐步由简单的试验研究发展为利用数学模型来预测土壤水分和溶质运移过程。就数学模拟而言，目前常用 Richards 方程来描述土壤水分运动特征，利用对流弥散理论描述土壤溶质迁移过程，模拟计算的准确性直接取决于所涉及水力参数和土壤溶质迁移参数的可靠性和精度。涉及的主要水力参数是土壤水分特征曲线、非饱和导水率、扩散率，溶质迁移参数包括水动力弥散系数和滞留因子。目前确定参数方法有直接测定法和间接推求法。测定水力参数的直接测定法主要利用张力计、压力膜、离心机测定土壤水分特征曲线，利用降雨入渗、蒸发和积水入渗法来测定非饱和导水率。这些方法概念明确，但耗时、实验费用昂贵、参数的不确定性、

土壤空间变异性往往限制这些方法在田间的应用。同时测定水分特征曲线的样本与进行土壤水分运动研究的样本不相一致，产生样本误差。如果土壤存在层状结构和优先流路径，这些方法的应用存在严重问题。近几十年来，人们为了克服直接测定法中存在的缺点，寻求利用简单方法来估计土壤水分运动参数，如利用土壤颗粒组成来估计土壤水分特征曲线（Arya et al., 1999），并利用已建立的土壤水分特征曲线与非饱和导水率关系预测非饱和导水率，但由于土壤水力特征受到土壤容重和土壤结构的影响，因此利用颗粒组成确定土壤水分特征曲线仍处于理论探索阶段。另外人们可以利用土壤水分运动方程与相应的实验资料，通过数学模型进行参数的反推，但大量研究表明这种方法所造成的参数的不唯一性和方法收敛性限制着这一方法的发展与应用。邵明安（1998）发展了一个积分方法来确定土壤水分运动参数（van Genuchten 模型， 1980）。王全九（2002）发展了利用水平一维入渗试验来推求 Brooks-Corey(1964)模型参数的方法，这一方法仅需测定渗入量和湿润锋随时间变化过程，为确定土壤水力参数提供了有效的理论。

目前测定水力参数的直接测定法主要利用张力计、压力膜、离心机测定土壤水分特征曲线，利用降雨入渗、蒸发和积水入渗法来测定非饱和导水率。这些方法概念明确，但耗时、实验费用昂贵、参数的不确定性、土壤空间变异性往往限制这些方法在田间的应用。同时测定水分特征曲线的样本与进行土壤水分运动研究的样本不相一致，产生样本误差。如果土壤存在层状结构和优先流路径，这些方法的应用存在严重问题。

土壤溶质迁移参数测定常采用穿透曲线来进行确定，这种方法费时、费力。邵明安提出的边界层理论为确定溶质迁移参数提供了有效理论。但目前由于实验系统和研究方法的限制，在测定水力参数和溶质运移所采用的土壤样本不一致，产生了样本误差，因此需要开发利用同一土壤样本测定水力参数和溶质运移参数装置。

发明内容

本发明的目的在于，提供一种土壤水分、溶质运移参数自动测定装置。

为了实现上述任务，本发明采取的技术解决方案是：一种土壤水分、溶质运移参数自动测定装置，其特征在于，该装置包括：

一水和溶质供给器，用于给土柱提供水和溶质，该供给器由两个分别装有水和溶质的有机玻璃管组成，通过马氏瓶原理可以维持恒定的水头。每个有机玻璃管连接到控制水或溶质流出的转换开关，并通过管路与三通电磁阀连接；在每个有机玻璃管液体出口处，分别有用于监测水或溶质的渗入量的压力传感器；

一土壤水平柱，用于放置被测土壤样品，该土壤水平柱上均匀分布有测定电导率的探针，土壤水平柱一端通过三通电磁阀和管路与溶质供给器连通，另一端的下方有一个出流液体的溶液收集器；

一计算机控制单元，计算机控制单元通过连接线分别与压力传感器、三通电磁阀、探针和溶液收集器连接，用于控制水和溶质供给器的水、溶质的自动切换，并对溶液收集器内的液体信号自动采集，得到不同土壤水平柱内不同位置的土壤样品的电导率和渗入量，并自动根据采集到的数据计算土壤湿润锋、溶质锋面位置和渗入量随时间变化过程。

本发明的装置具备以下功能：

- (1) 利用同一土壤样本自动测定土壤水力参数和溶质迁移参数；
- (2) 采用计算机自动控制，实现人机对话；
- (3) 根据测定的有关变量，计算机自动计算相关参数。

附图说明

图 1 是本发明的装置结构示意图；

图 2 是两种质地土壤湿润锋随时间的变化过程；其中图 (a) 是黄绵土润湿峰随时间的变化图；图 (b) 是壤土峰随时间的变化图。

图 3 是不同质地土壤溶质穿透曲线，其中图（a）是黑垆土，图（b）是砂土，图（c）是壤土，图（d）是黄绵土。

图 4 为本发明的试验流程图。

以下结合附图和装置的工作原理和过程对本发明作进一步的详细描述。

具体实施方式

参见图 1，本发明的土壤水分、溶质运移参数自动测定装置，由三部分组成：

(1) 水和溶质供应器，本部分采用马氏瓶原理给土壤水平柱提供水和溶质，由两个有机玻璃管组成，并有控制水或者溶质的流出的转换开关，并通过管路与三通电磁阀连接，在每个有机玻璃管液体出口处，分别有用于监测水或溶质的渗入量的压力传感器。

(2) 土壤水平柱，该土壤水平柱是长 60cm 内径 5cm 的有机玻璃管，在其上面间隔 8cm 插入探针进行电导率的测定，其一端为水或溶液的入口，另一端为出流口，在出流口的下方，有出流液体的溶液自动收集器。

探针以 5 个为一组固定在探头上，长 3.5cm、直径 1mm，四个探针以间距 1cm 呈正方形四周分布，中心处一个。

(3) 计算机控制单元，计算机控制单元通过连接线分别与压力传感器、三通电磁阀、探针和溶液收集器连接，用于控制水和溶液供给器的水、溶质的自动切换，并对溶液收集器内的液体信号自动采集，得到不同土壤水平柱内不同位置的土壤样品的电导率和渗入量，并自动根据采集到的数据计算土壤湿润锋、溶质锋面位置和渗入量随时间变化过程。

溶液收集器选择上海青浦沪西仪器厂的 BS-100A 型号，该溶液收集器采用单片机芯片控制，六位数码管显示，能进行 1 秒—9 小时 59 分 59 秒倒、顺定时控制。试验流程如图 4 所示：

试验过程为：首先按照一定的容重在土壤水平柱中装入被测土壤样品，土壤样品经过风干和过 2mm 筛，将电导率探头插入土壤水平柱中，并和计算机控制单元连接。在水和溶质供应器中分别装入蒸馏水和溶质。

开启计算机控制单元的控制程序（SWSP），水和溶质供应器首先开始供水，控制程序会自动打开三通控制阀的水给土壤水平柱供水，压力传感器开始自动采样记录流入土壤水平柱的渗入量，土壤水平柱上不同位置的探针自动记录电导率的变化过程，以确定湿润峰的位置。直到水渗入到土壤水平柱最后的探针后，土壤水平柱的出流口有溶液流出，被溶液收集器收集，计算机控制单元的溶液自动采集系统开始运行，采集土壤水平柱的出流液体（即流入溶液收集器的液体）。当最后一个探针的电导率稳定后，说明此时土壤水平柱已经完全饱和，根据溶液收集器中的溶液体积和时间可以得到饱和导水率。这时控制程序停止供水，切换转换开关，水和溶质供应器开始供溶质。计算机控制单元同样以上述程序进行采集溶质的流入土壤水平柱的渗入量，溶质峰数据，采集到的出流溶液可以分析以对比确定仪器自动计算参数的准确性。

试验验证：

使用本发明的装置进行湿润峰测量，当水分未到达最后一个探针的探测点之前，装置的读数很小，此时干土壤的相对电导值在 3-6 个读数之间。当湿润峰到达监测点后，装置读数突然增加，读数突然增加的时间就是湿润峰到达监测点的时间。将装置的测定时间与湿润峰位置绘制曲线和人工监测所得到的曲线相比较，二者曲线几乎重合，说明用该装置测定湿润峰和时间的关系十分准确（参见图 2）。

待土壤水平柱中的土壤样品饱和并溶液流出稳定时，换成 KCl 溶液进行 Cl⁻的迁移研究。溶质峰面没到达探测点时，装置显示的相对电导值基本为一恒定值，当溶质峰面到达后，显示数值开始逐渐上升，反映到土壤盐分

上就是土壤溶液浓度开始增加，所绘曲线类似穿透曲线的变化，这种规律的变化说明用该装置探测溶质峰面的可行性。表 1 为各探测点的探针位置及溶质峰到达的时间。

表 1 测量数据

探测点	壤土		黄绵土		黑垆土		砂土	
	d(t)	t	d(t)	t	d(t)	t	d(t)	t
1	3	5.33	3	0.60	3	2.75	3	0.53
2	7	16.20	7	1.42	7	9.92	7	1.73
3	11	29.20	11	2.58	11	16.58	11	2.53
4	15	39.00	15	3.42	15	22.08	17	3.90

下面表 2 中的测量数据是按照边界层理论的三次表达式进行处理，并进行二次多项式拟合，可以得出溶质峰在几种土壤中的数学表达式：

表 2

土样	拟合数学表达式	R ²
壤土（杨凌）	$y=1.4042x^2-0.4583x$	0.9942
砂土（渭河）	$y=0.1896x^2-0.7674x$	0.9176
黑垆土	$y=0.5731x^2-0.2911x$	0.9866
黄绵土	$y=0.2618x^2-1.0579x$	0.6658

由于溶质为非反应性 Cl⁻，首先认定 R=1，所求 D 值如表 3 所示：

表 3

参数	壤土		砂土		黑垆土		黄绵土	
	BTC	边界层	BTC	边界层	BTC	边界层	BTC	边界层
D	0.07	0.06	0.29	0.44	0.14	0.15	0.29	0.32

可见，除砂土外，表 3 中通过边界层得出的 D 值与土壤溶质穿透曲线所得值十分接近。利用边界层方法得出的参数带入 CXTFIT 程序中推求土壤溶质穿透曲线和传统方法（滴定出流液浓度变化）得到的土壤溶质穿透曲线同时绘于图中，见图 3。从图中可知，用该装置测定数据求得的参数与实际情况相符。

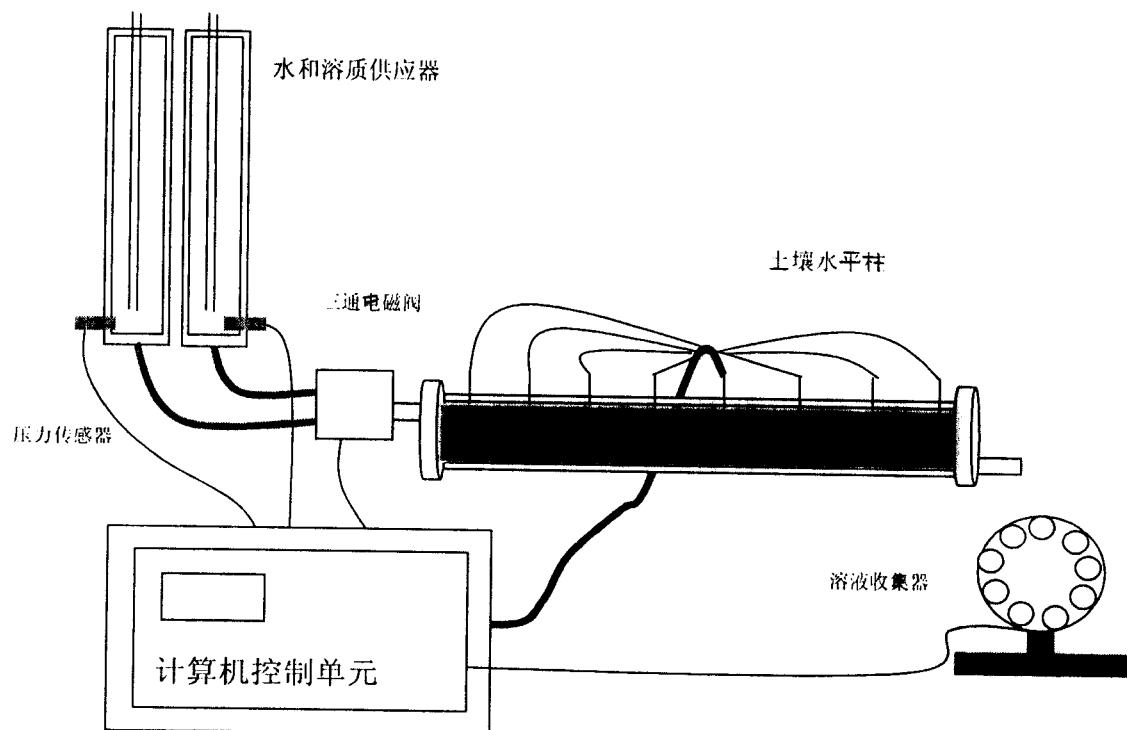


图 1

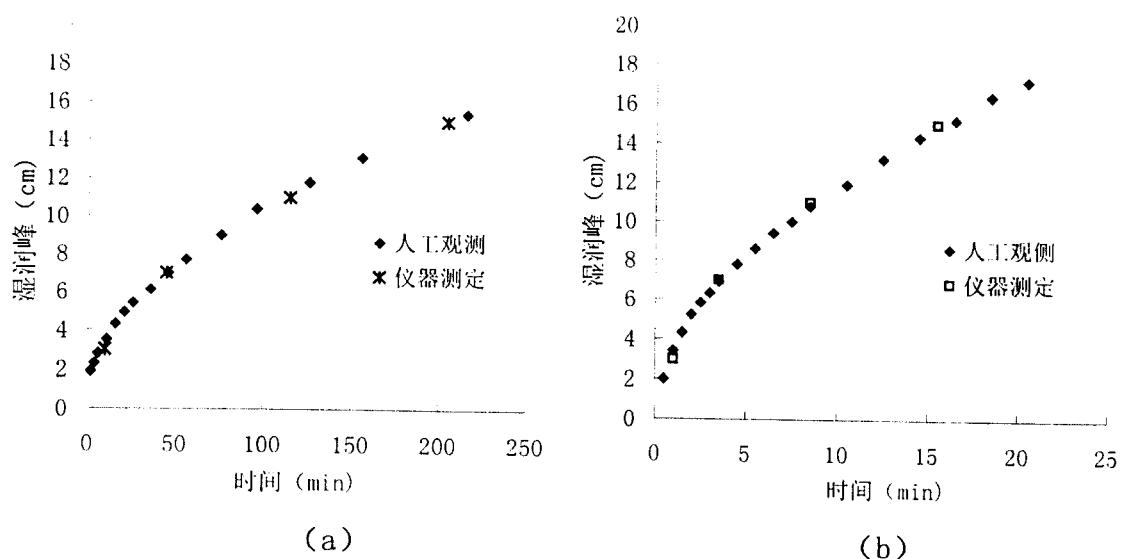


图 2

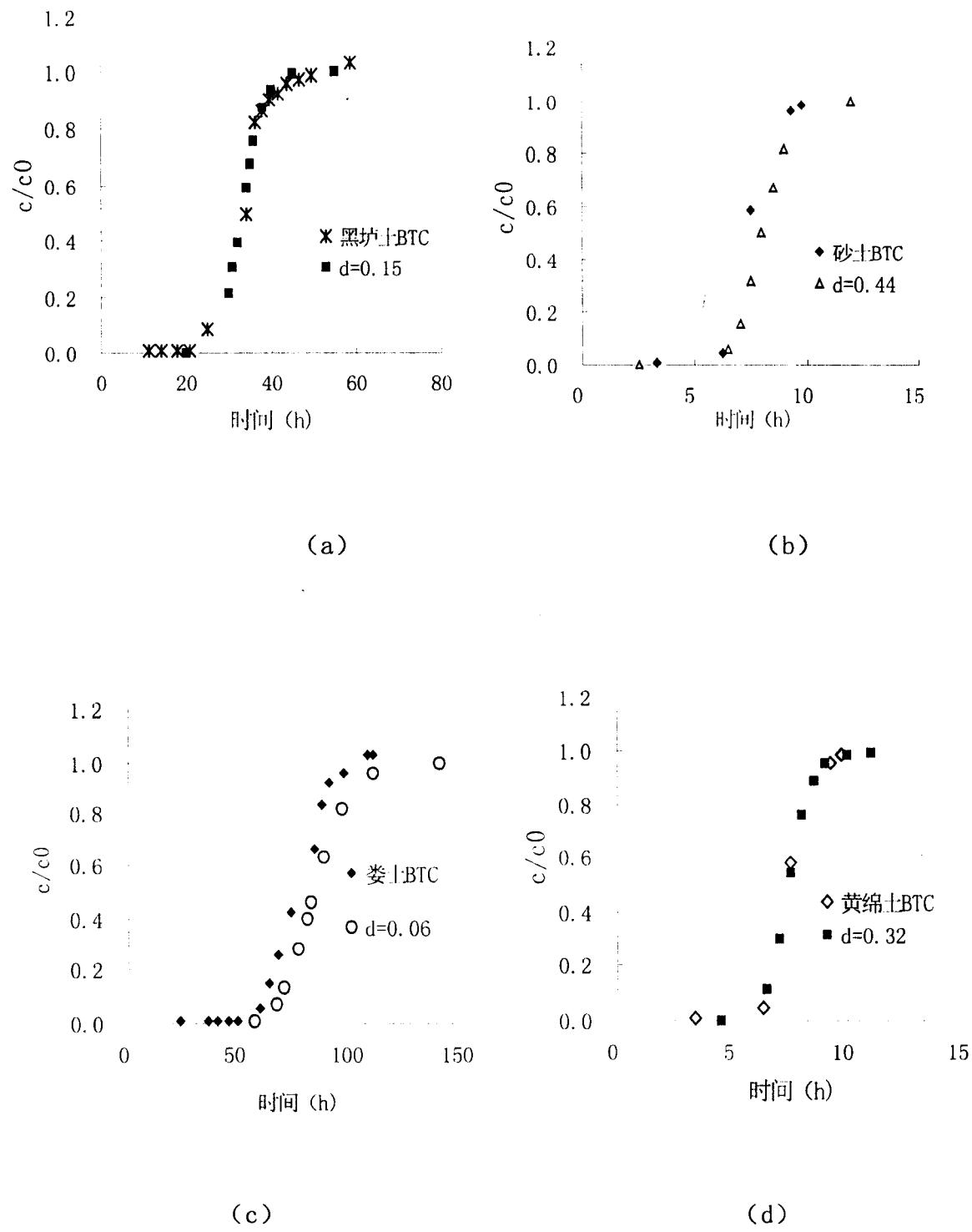


图 3

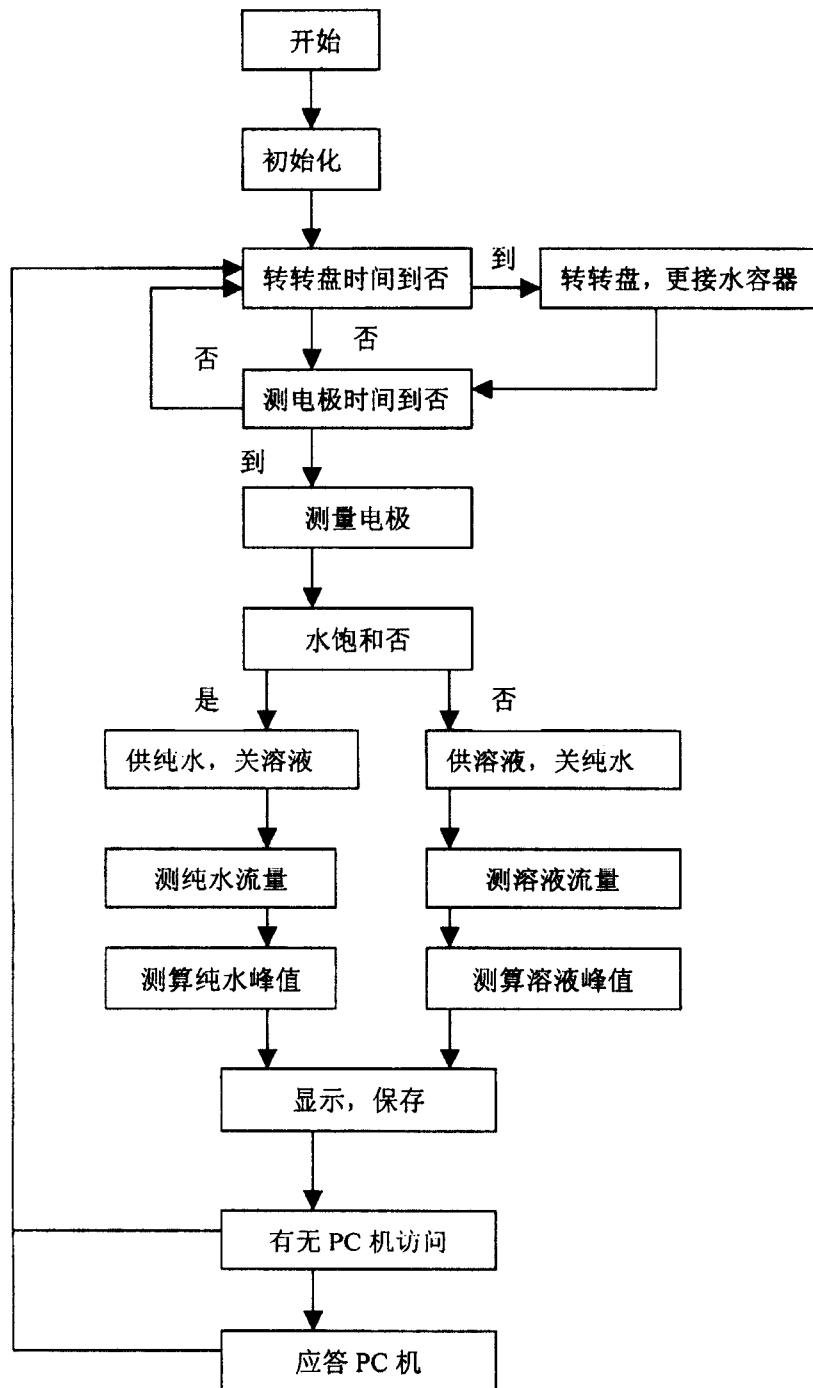


图 4