

基于可选参比电极区域化渗漏检测系统的研究

王伟栋¹, 张清毅¹, 能昌信², 赵青青¹

(1. 中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083;
2. 中国环境科学研究院固体废物污染控制技术研究所, 北京 100012)

摘要: 目前,我国现有填埋场渗漏检测系统对膜下检测电极缺乏必要的保护措施,且检测时采用高压直流并不能很好地消除极化噪声和地电噪声。针对上述两个问题,研究基于可选参比电极区域化渗漏检测系统,设计了电极保护单元和电源控制单元。该系统具更高定位精度、更强抗噪声能力、更长寿命、从而能很好地解决上述问题。

关键词: 电子、通信与自动控制技术其他学科; 高压直流电法; 渗漏检测; 电极保护; 电源控制
中图分类号: X705 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2850(2015)18-1965-06

Electrode block leakage detection system research based on the optional reference

WANG Weidong¹, ZHANG Qingyi¹, NAI Changxin², ZHAO Qingqing¹

(1. *School of Mechanical Electronic & Information Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing, Beijing 100083, China;*
2. *Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Research Institute of Solid Waste Management, Beijing 100012, China*)

Abstract: At present, domestic landfill leakage detection system is lack of membrane electrode necessary protective measures and not good to eliminate polarization noise and electrical noise. To solve the above problems, we design the electrode protection unit and the power control unit, which are based on the leakage detection system of regionalization of optional reference electrode. The system has a higher location accuracy, better noise resisting ability and longer life, thus solving the above problems.

Key words: other subjects of electrics, communication and autocontrol technology; high-voltage direct-current method; leak detection; electrode protection; power control

0 引言

随着我国经济的飞速发展,固体废物的积存量也迅速增加。固体废物的处理方法主要有焚烧和填埋两种。其中,焚烧不仅能分解和破坏废物中有害有毒物质的化学结构,还能显著减少固体废弃物的重量及体积,以便将固体废物安全处置,但该处理方法费用昂贵,易产生二次污染物且存有较大技术风险,因此在我国并未大规模使用^[1]。填埋法是将固体废物埋入地下经过自然界土壤中微生物的长期分解,使垃圾分解成无害的化合物。与焚烧法相比,填埋法凭借成本较低、工艺简单及适宜处置多种类型固体废物等特性,已成为我国处理固体废物的主要方法^[2]。

作者简介: 王伟栋(1989—),男,硕士研究生,主要研究方向:通信与信息系统

通信联系人: 张清毅,副教授,主要研究方向:电磁场理论及其应用. E-mail: zhang_qingyi@163.com

固体废物长期填埋于土壤中会产生渗滤液，以致污染周围土壤及地下水^[3-5]，所以填埋场需要安装防渗膜（HDPE）以保护土壤和地下水不受污染。但是，在施工铺设期间和垃圾填埋过程中，防渗膜均可能发生破损^[6-9]，因此必须对防渗膜进行渗漏检测^[10-15]。其中，高压直流电法因其操作简便、适用范围广、费用低廉等特点成为填埋场渗漏检测的主要手段^[16-18]，并依据此方法为原理制作出多种检测系统应用于填埋场渗漏检测。

目前，国内对填埋场渗漏检测手段，主要有中国环境科学研究院能昌信^[12]研发的土工膜渗漏检测系统（适用于 HDPE 裸膜完整性检测）、区块化快速检测装置（适用于 HDPE 防渗膜保护层和导排层铺设完毕后的完整性检测及垃圾层不太厚的情况下的渗漏检测）；王斌等^[13]研发的防渗层渗漏偶极子检测装置（适用于铺设保护层和导排层后 HDPE 防渗层完整性检测及污水池防渗膜的渗漏检测）；张辰等^[14]研发的分区多点供电实时渗漏检测系统（适用于大型填埋场建设及运营时 HDPE 防渗膜的实时监测）。

上述检测系统针对不同检测环境均能对 HDPE 防渗膜进行检测，但长期运行时，膜下检测电极不仅容易受到膜下渗滤液的影响而被腐蚀，且当检测电极加上高压时容易被极化而造成电极损失，致使检测系统定位精度下降，从而影响检测系统的准确性及稳定性。同时，检测系统采用的高压直流源并不能很好地消除极化噪声和地电噪声，因为地电噪声、电极极化噪声变化缓慢，在一定时间内可以看作是恒定不变的，而系统检测时采用的直流电压源的感应电势也不变，使噪声无法得到很好的抑制。这里研究的可选参比电极区域化渗漏检测系统正是针对上述两大问题对渗漏检测系统的改进与升级。其中，设计出的电极保护单元能使膜下检测电极在填埋场运营时实时受到保护而不受渗滤液的腐蚀，从而延长系统的整体使用寿命；且设计出的电源控制单元将输出的直流电通过指令控制转换为频率可调的交流方波，此时填埋场感应电势将会异号，而地电噪声、电极极化噪声等并无明显变化。将感应电势改变方向前后的采样值相减，感应电势加强而地电噪声、电极极化噪声等可以得到有效抑制，从而增强检测系统对电极极化噪声和地电噪声的抗干扰能力。

1 渗漏检测原理

高压直流电法^[18]的基本原理是利用 HDPE 膜的高阻特性对漏洞进行检测并定位的方法。在填埋场内外各放置一个供电电极，并对其施加高压直流电，通过采集膜下检测电极的感应电势对漏洞进行定位。若防渗膜完好无损，则总回路电流很小（近似为 0），检测层介质中的电势很小且分布均匀。若防渗膜存在漏洞，则场内外供电电极通过漏洞形成回路，检测层介质电势分布会在漏洞附近产生突变，从而可以确定漏洞位置，基本原理如图 1 所示。

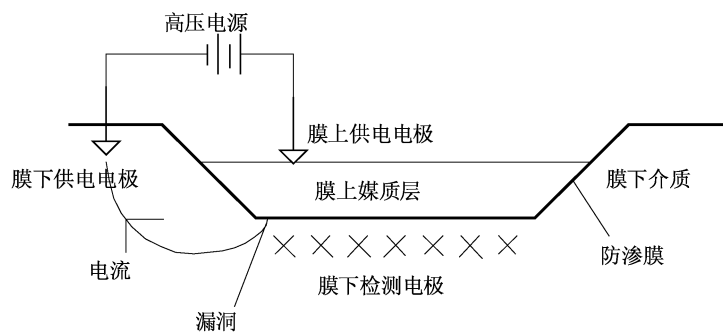


图 1 高压直流电法渗漏检测原理图

Fig. 1 Principle explanation of high voltage direct-current electrical leakage detection

根据以上基本检测原理，在防渗膜下纵横 2 个方向每隔 5 m 设置一个电极，形成电极阵列。图 2 为膜下基本检测单元及检测阵列示意图。由图 2 可知，3×5 个电极构成一个基本渗漏检测单元，3×6 个基本检测单元构成检测阵列。根据填埋场的实际大小以检测阵列为单位进行扩展。在基本检测单元中，选

择 1 个电极作为膜下供电电极，余下 14 个作为检测电极，与膜上的供电电极构成图 1 所示的检测系统。工作时，以基本检测单元为单位，对 3×6 的检测阵列逐个进行操作。

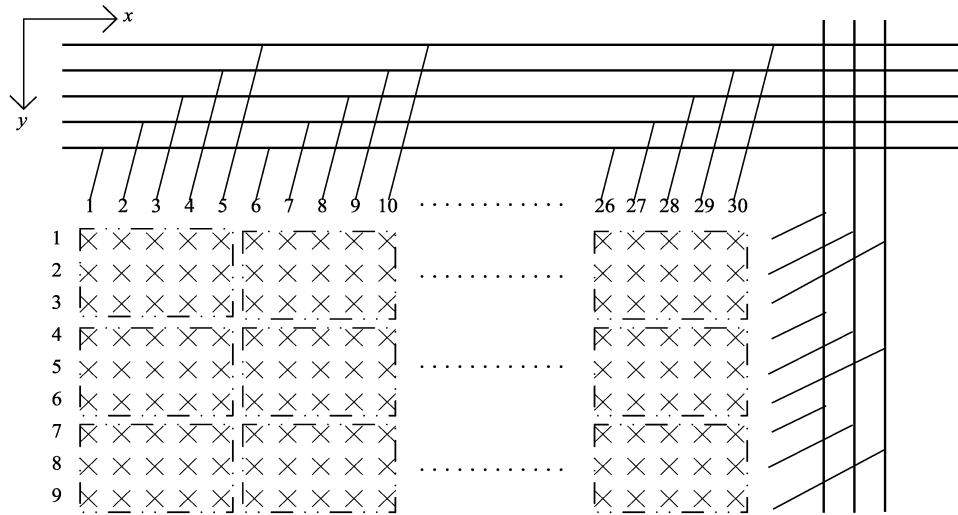


图 2 基本检测单元及检测阵列示意图

Fig. 2 Schematic diagram of basic detection unit and array

2 可选参比电极区域化渗漏检测系统整体结构

可选参比电极区域化渗漏检测系统既可应用于填埋场运营期间的分区、实时渗漏检测，也可应用于填埋场防渗膜施工质量的检测。PC 机通过操作界面控制检测系统的工作流程，同时还要对采样的电势进行分析以便于对漏洞进行定位。检测系统按功能划分由数据采集单元、电极选通单元、电极保护单元、高压直流电单元和电源控制单元组成。图 3 为可选参比电极区域化渗漏检测系统的结构图。

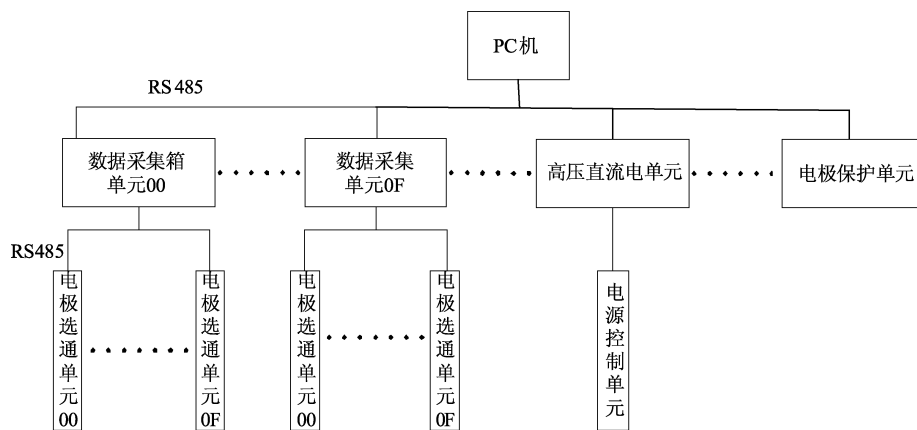


图 3 检测系统结构图

Fig. 3 Structure diagram of detection system

检测系统中数据采集单元和电极选通单元在实际中呈现为 2 个独立的箱体，两者由 RS485 总线进行通讯，且两种箱体都具有各自独立的 ID 号，便于应用到实际时根据填埋场的大小来扩展检测系统。高压直流电单元和电源控制单元呈现为两个独立的箱体，其中电源控制单元通过 RS485 总线与 PC 机进行通讯。当 PC 机发送指令时根据情况需要，以控制高压直流电单元的输出参数。高压直流电单元与电源控制单元则通过 4 个接线端子对电源输出参数进行调节控制。电极保护单元呈现为一个独立的箱体，在

系统检测时断开其连接，在系统停止检测时则将其导通，以保护膜下电极。系统设计时，给每个数据采集单元和电极选通单元各分配一个4位的拨码开关并设置其ID号，则此系统最多有16个数据采集单元，其中每个数据采集单元最多可控制16个电极选通单元。然而，受实际填埋场的面积影响，一般只需1个数据采集单元及1个电极选通单元便可对1个大型填埋场的渗漏情况进行检测。

2.1 电源控制单元

高压直流电单元的任务：负责为检测系统在进行检测时提供高压电源，便于检测电极进行采样。电源控制单元的任务：控制高压直流电单元的输出电压、电流的大小及频率。选用高压直流电单元作为控制对象，且电源带有控制端子，可实现由2个0~5V的弱电压信号控制其输出电压和电流功能。考虑到要将直流信号调控为信号源所需频率可调的方波信号，故采用由可编程逻辑控制器（programmable logic controller, PLC）生成的方波信号来驱动绝缘栅门极晶体管（IGBT）的方案以实现系统功能，其结构图如图4所示。

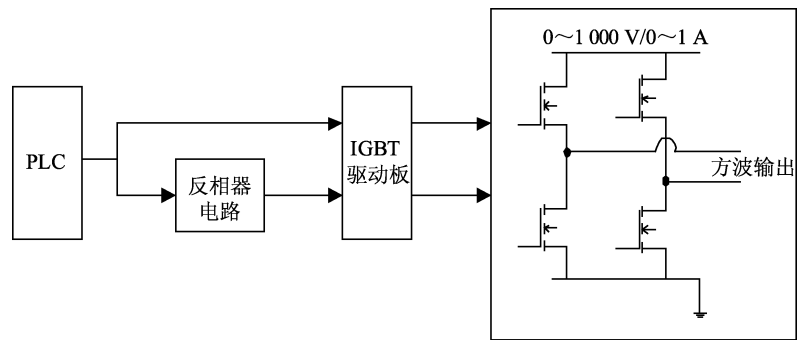


图4 电源控制单元结构图

Fig. 4 Power control unit structure

单元中PLC的型号为S7-224XP，其具有两路模拟量输入一路模拟量输出及14路数字量输入和10路数字量输出，再配置一个西门子EM232模拟量输出模块从而满足控制系统的需求。PLC采用自由端口通信模式，通过RS485总线传输指令。根据用户自定义的通信协议实现PC对PLC的控制，通过控制脉冲的周期和个数而产生频率可调的方波信号，经过后级IGBT驱动板驱动IGBT模组，产生高压级幅值方波从而实现电压、电流和频率的实时在线可调功能。其中，PLC产生的方法信号一路直接连至IGBT驱动板，另一路先经过反相器反相后再连至IGBT驱动板，两路相位相反的信号驱动两块IGBT驱动板的四路驱动，而后再分别驱动4个IGBT单管，通过控制4个IGBT单管的两两开闭进而产生一个幅值频率可调的方波信号源。

2.2 电极保护单元

电极保护单元的任务：防止膜下检测电极因受腐而降低自身导电率，进而影响系统的检测定位精度。图5为电极保护单元电路结构图。该单元由CPU控制电极保护单元的开启与关闭。膜下9×30根电缆引进电极保护单元箱体后，先将每根电缆与G6RL电磁继电器连接，再将9×30个继电器进行3×5区域划分且划分模式与电极选通单元划分模式相对应。则会分出18个区域且每个区域有3×5个继电器，而每个区域的3×5个继电器将通过增加一个G6RL继电器来控制各区域保护状态。整个电极保护单元中有288×(9×30+18)个继电器，考虑到将所有继电器设计在一起会使电路板体积过于庞大，设计中电路板由1块母板和7块子板组成，其中7块子板分别包括1块CPU控制板和6块继电器板组成，CPU板负责控制每个3×5区域的选通，每块继电器板控制4个电极的选通，即控制一个3×5区域的电极保护。在设计中仍选用

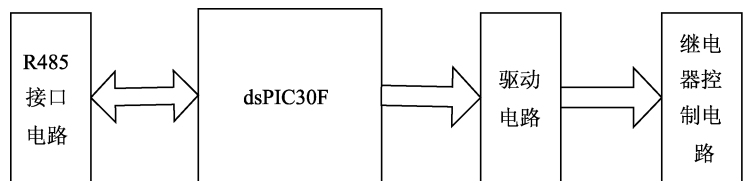


图5 电极保护电路结构图

Fig. 5 Structure of electrode protection circuit

dsPIC30F5011 作为控制核心，上位机通过 RS485 发送命令给控制中心，实现由 I/O 口来控制继电器，进而控制选定区域电极保护的开启与关闭。图 6 为继电器控制结构图。

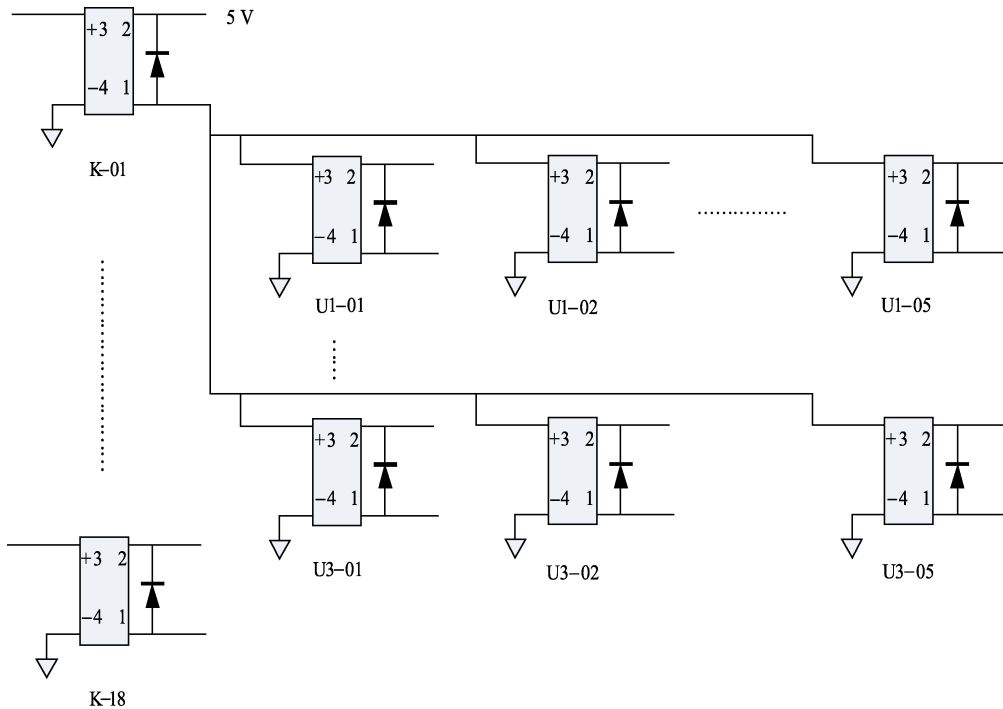


图 6 继电器控制结构图
Fig. 6 Relay control structure

2.3 电极选通单元

电极选通单元的任务：由数据采集单元发出的指令选择电极的连接或断开，并将连接的电极传递给数据采集单元由其进行数据分析、处理，该单元主要由 MCU、信号调理电路、485 通信接口和 I/O 继电器控制单元组成。MCU 通过 485 总线与上位机通信，通过 I/O 口控制继电器的通断，从而控制基本检测单元中电极的连接，图 7 为电极选通单元结构框图。

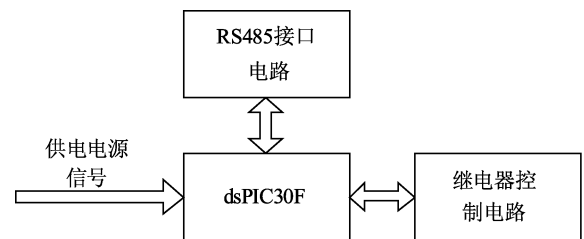


图 7 电极选通单元结构框图
Fig. 7 Structure of electrode gating unit

2.4 数据采集单元

数据采集单元的任务：当 PC 机发出指令对电极选通单元进行控制连接时，电极选通单元传递给数据采集单元的电极将有三种不同的处理方式，一是给此电极加低压用于检测其与膜下媒质的接触电阻施工质量是否良好；二是给此电极加高压使其成为供电电极；三是将此电极接入检测电极并采集此电极的电势数据。此外，数据采集单元还将采集到的电势分布数据进行分析、处理并储存，且在 PC 机需要时将其发送给 PC 机。

3 结论

可选参比区域化渗漏检测系统中电极保护单元能很好地保护膜下电极不受损失，从而延长系统使用寿命，增加系统稳定性；且电源控制单元能将高压直流源转化为交直流可调的信号发生源，从而增强了系统的抗噪声能力，进一步提高检测系统的定位精度、抗噪声能力。

[参考文献] (References)

- [1] 钱剑杰, 蒋旭光, 王飞, 等. 含氟氯类危险废物焚烧灰渣的熔融特性研究[J]. 环境科学报, 2011, 31 (11): 2499-2505. QIAN J J, JIANG X G, WANG F, et al. Study on the melting characteristics of slag from the incinerator of hazardous wastes containing fluorine and chlorine[J]. Acta Scientiarum Circumstantiac, 2011, 31(11): 2499-2505. (in Chinese)
- [2] 宁平. 固体废物处理与处置[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. NING P. Solid waste treatment and disposal[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. (in Chinese)
- [3] 刘瑞强, 熊振湖, 郭森, 等. 垃圾卫生填埋场防渗层的设计[J]. 环境卫生工程, 2002, 10 (2): 62-64. LIU R Q, XIONG Z H, GUO S, et al. Structural design of the impervious liner in sanitary landfill site[J]. Environmental Sanitation Engineering, 2002, 10(2): 62-64. (in Chinese)
- [4] TEGENFELDT J, SJOBLON R, AREVIUS A. Electrokinetic monitoring of synthetic geoclayliners[J]. Applied Clay Science, 2003, 23(1-4): 211-218.
- [5] CREGORY P V, STEPHEN K P, PATRICK H. Monitoring leaks from storage ponds using resistivity methods[J]. Geophysics, 1991, 56(8): 1267-1270.
- [6] DARILEK G T, MENZEL R, JOHNSON A. Minimizing geomembrance liner damage while emplacing protective soil[C]// Geosynthetics'95 Conference Proceedings. Nashville: 1995: 21-23.
- [7] LAINE D L, MIKLAS M P. Detection and location of leaks in geomembrance liners using an electrical method: case histories[C]// Proceedings of the 10th National Conference Superfund'89. Washington D C: 1989: 27-29.
- [8] DARILEK G T, PARRA J O. The electrical leak location method for geomembrance liners[J]. Journal of Hazardous Materials, 1989, 21(2): 177-187.
- [9] LAINE D L. Analysis of pinhole seam leaks located in geomembrance liners using the electrical leak location methods: case histories[C]// Geosynthetics'91 Conference Proceedings. Atlanta: 1991: 26-28.
- [10] BONAPARTE R, GROSS B A. Field behavior of double-liner systems[J]. Geotechnical Special Publication, 1990 (26): 52-83.
- [11] OTHMAN M A, BONAPARTE R, GROSS B A. Preliminary results of composite liner field performance study[J]. Geotextiles and Geomembranes, 1997 (15): 289-312.
- [12] 能昌信. 填埋场渗漏检测高压直流电法的研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2005. NAI C X. Study on leak detection of high voltage direct current in landfill[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2005. (in Chinese)
- [13] 王斌, 王琪, 董路, 等. 垃圾填埋场土工膜渗漏电学检测法的研究[J]. 环境科学研究, 2003, 16 (2) : 54-57. WANG B, WANG Q, DONG L, et al. Study on electrical leakage detection for geomembrance liners used in landfill[J]. Research of Environmental Sciences, 2003, 16(2): 54-57. (in Chinese)
- [14] 张辰, 能昌信, 王振翀. 基于分区多点供电的填埋场渗漏实时检测系统研究[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(11): 148-151. ZHANG C, NAI C X, WANG Z C. Landfill real time leakage detection system based on subarea multipoint power supply[J]. Environmental Science and Technology, 2012, 35(11): 148-151. (in Chinese)
- [15] YANG P, NAI C X, YANG G X, et al. Comparison of two theoretical models for electric leak location at landfill[J]. Journal of Shanghai University: English Edition, 2007, 11(3): 304-308.
- [16] 王斌, 王琪, 董路, 等. 垃圾填埋场人工衬层渗漏的电学法检测研究[J]. 环境科学研究, 2004, 17 (4): 63-66. WANG B, WANG Q, DONG L, et al. Study on electrical method to detect leaks on landfill geomembrance liners[J]. Research of Environmental Sciences. 2004, 17(4): 63-66. (in Chinese)
- [17] ROLLIN A, MARCOTTE M, JACQUELIN T. Leak location in exposed geomembrance liners using an electrical leak detection technique[C]// Proceedings of Geosynthetics'99. Boston: 1999: 615-626.
- [18] 杨丹, 祁士华, 邢新丽, 等. 成都经济区有机氯农药异常区大气影响推断[J]. 环境科学与技术, 2010, 33 (9): 6-9. YANG D, QI S H, XING X L, et al. Deducing atmosphere impact in abnormal region of organochlorine pesticides in Chengdu economic region[J]. Environmental Science and Technology, 2010, 33(9): 6-9. (in Chinese)