

丰满流域墒情自动监测系统的设计与应用

王进¹, 钱昊², 张永鑫¹, 宿磊¹, 李光跃¹, 于承越¹, 王海懿¹, 张孝斌¹

(1. 松花江水力发电有限公司吉林丰满发电厂, 吉林吉林 132000; 2. 南瑞集团有限公司(国网电力科学研究院), 江苏南京 211000)

摘要 土壤墒情对作物生长、节水灌溉、科学用水等有着非常重要的作用。为了准确、迅速地掌握丰满流域土壤墒情信息, 选取安仁村、隆兴村、万宝沟 3 个典型站点, 建立固定墒情自动监测站。以固定墒情自动监测站的设计及应用为例, 阐述了该墒情监测系统的背景、设计及应用情况, 并对系统监测的准确性进行测试与分析。该系统实现了丰满流域土壤墒情监测、信息传输的自动化, 可以实时掌握土壤墒情状况, 进一步为洪水预报工作提供依据。

关键词 土壤墒情; 监测; 准确性测试; 设计及应用

中图分类号 S126 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)15-0222-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.15.063



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Design and Application of Automatic Monitoring System for Soil Moisture in Fengman River Basin

WANG Jin¹, QIAN Hao², ZHANG Yong-xin¹ et al (1. Jilin Fengman Power Plant of Songhuajiang Hydropower Co., Ltd., Jilin, Jilin 132000; 2. NARI Group Corporation/State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing, Jiangsu 211000)

Abstract Soil moisture plays an important role in the use of crop growth, water-saving irrigation and scientific water. In order to accurately and rapidly grasp the soil moisture information in the Fengman Basin, three typical stations, Anren Village, Longxing Village and Wanbaogou Village were selected to establish fixed automatic monitoring stations. Taking the design and application of the fixed moisture automatic monitoring station as an example, the background, design and application of the moisture monitoring system were discussed in detail, and the accuracy of the system monitoring was tested and analyzed. The system realized the automation of soil moisture monitoring and information transmission in Fengman Basin. And it could grasp the soil moisture status in real time and further provide basis for flood forecast.

Key words Soil moisture; Monitoring; Accuracy test; Design and application

土壤墒情是最重要和最常用的土壤信息, 是土壤的重要组成部分, 它对作物的生长、节水灌溉、科学用水等有着非常重要的作用。在土壤墒情自动监测系统诞生前, 我国传统农作物的土壤含水量监测, 全靠人工现场调查, 人工墒情监测信息迟缓, 不能及时掌握相关情况, 且主要靠经验判断, 准确性难以保证。当遇到低温、干旱等重大气象灾害时, 人工监测所带来的上述问题就会暴露出来。随着物联网技术的迅速普及和完善, 人工监测的方式得以逐渐被自动监测取代。土壤墒情自动监测站是可以自动监测土壤墒情的一种仪器。

目前, 国内外自动墒情监测的方法主要分为 3 种^[1-3]。一是固定墒情站自动监测技术。可以用来测定固定点的墒情, 先在多个固定点连续测定墒情, 然后利用空间插值法计算监测区域内墒情^[4]。二是移动墒情自动监测技术。通过利用移动便携式仪表在不同采样点进行不定期、不定点墒情测定, 通过数理和地统计分析得到区域墒情^[5-6]。三是遥感墒情监测技术。利用卫星和机载传感器从高空遥感探测地面土壤水分^[7], 可以及时发现旱情、动态跟踪旱情变化、预测旱情发展趋势、评估抗旱成效的基础数据, 快速准确地获取田间土壤墒情信息^[8]。固定墒情监测站具有成本低、时效性强、准确性高等优点, 因此可得到广泛应用。笔者针对固定墒情自动监测方法来阐述其设计方法及实际应用, 并进行监测准确性分析。

1 系统背景

丰满流域气候, 夏季主要由太平洋季节风、冬季主要由西伯利亚高压所控制, 严寒而漫长; 夏季受东南季风影响, 湿

热同季, 南来气旋活动频繁多暴雨天气。流域多年平均降水量为 500~1 020 mm, 降水量年内分配极不平均, 6—9 月降水量占全年降水量的 70%~80%。

以前丰满流域土壤墒情信息化基础普遍薄弱, 主要采用人工现场调查的方式。在墒情信息获取方面, 一般采用人工铝盒取土烘干法及快速测墒仪观测获取土壤墒情数据^[9], 尚未建立信息采集的系统网络体系, 数据的实效性、代表性无法满足防汛抗旱管理工作的要求。因此, 土壤墒情自动监测的推广及应用迫在眉睫。建设丰满流域土壤墒情监测系统, 合理布设土壤墒情监测站, 以承担有关各类数据和旱涝情调查工作, 有利于掌握土壤墒情变化动态, 为洪水预报工作提供依据。

2 系统设计

2.1 站网规划 墒情自动监测站网的规划需要依据丰满流域现状和测站布设原则进行。依据《土壤墒情监测规范》^[10]关于站网布设的要求, “进行墒情监测的代表性地块的选择应考虑其地貌、土壤、气象和水文地质条件以及种植作物的代表性”, 固定土壤墒情信息采集站的布设遵照既能反映区域内旱情分布情况又节省资金的原则进行, 相对较干旱区域土壤墒情信息采集站点适当加密, 较湿润区域相对稀疏。综合考虑以上各布网要素, 此次丰满流域墒情采集系统共建立 3 个典型固定墒情自动监测站, 安仁村的地理位置为 125°49'E、42°02'N, 隆兴村的地理位置为 126°00'E、42°12'N, 万宝沟的地理位置为 126°14'E、42°18'N。

2.2 通信组网 墒情采集系统包括墒情信息自动采集部分和自动报送部分。如图 1 所示, 墒情信息通过传感器采集, 由测站的遥测终端(RTU)存储并转发至测站所属分中心。

作者简介 王进(1983—), 男, 吉林榆人, 从事水文水资源及水利工程施工、维护和管理工作的。

收稿日期 2019-10-25; **修回日期** 2019-11-17

测站与分中心之间的通信采用无线通信方式,双信道备份。此次系统设计以移动 GPRS VPDN 为主信道,电信 CDMA VPDN 为备用信道,且在主信道和备用信道分别安装有移动 SIM 卡和电信 SIM 卡各 1 张。测站系统主信道长期值守,备份信道待命。当主信道不通时,起用备份信道,备份信道值守至主信道恢复后继续待命。

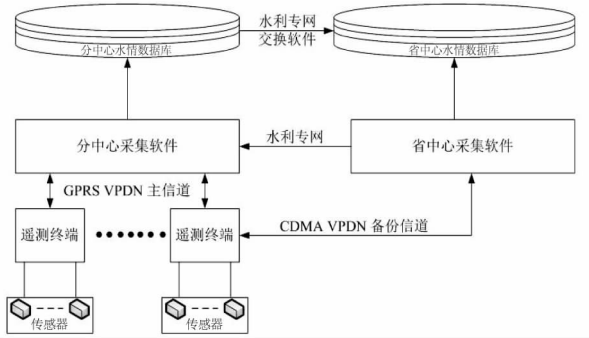


图1 系统通信组网

Fig.1 System communication network

2.3 遥测站设备结构与功能 遥测站设备采用模块化设计,如图2所示,主要由数据采集器、配置单元、通信单元、供电单元和传感器单元组成。传感器单元由3只 Hydra Probe II-NAIWCH 型插针式土壤水分传感器组成,采用三点法布设(地表以下 10、20、40 cm 3 层水平);配置单元选用人工置数仪设备,能够实现站码输入和监测数据现地读取的功能;供电单元主要由蓄电池和太阳能板组成,太阳能板通过稳压模块对蓄电池进行持续浮充,由蓄电池完成对 ACS500 型数据采集器的供电;通信单元分别采用 HD7710 GPRS 模块和 HD7710 CDMA 模块对遥测终端数据进行主备信道上,双信道有效确保了数据上传通道的畅通。

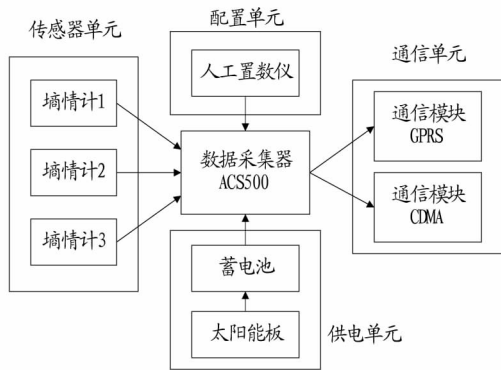


图2 固定墒情自动监测站结构示意图

Fig.2 Structure of automatic monitoring station for fixed moisture

3 系统应用

3.1 现场率定 依据《土壤墒情监测规范》要求:“对不同类型的传感器在使用前均应按常规的率定方法来率定检验。土壤含水量的量测误差应为 $|\delta| \leq 2.5\%$ ”,土壤墒情监测传感器在监测点现场安装前需进行实验室率定,在通过水利部水文仪器及岩土工程仪器质量监督检验测试中心的仪器检测后方可进场安装。在现场安装完成后,仍需要对监测仪器

进行现场率定,以保证监测仪器实际运行测试满足精度要求^[11]。现场率定方法主要包括测定土壤干容重、率定数据要求、人工取样烘干、拟合率定公式、验证等。

由于此次项目中选用的 Hydra Probe II-NAIWCH 型插针式土壤水分传感器输出的信号为土壤导电率,因此需拟合人工烘干法计算出的土壤体积含水量值与监测仪器输出值之间的关系曲线,得出率定公式。在监测站现场,采用人工取土烘干法与自动监测仪器进行对比监测和数据分析,率定计算方法如下:

(1) 测定土壤干容重:

$$\gamma_0 = \frac{W_g}{V} \tag{1}$$

式中, γ_0 为干容重,单位为 g/cm^3 ; W_g 为干土质量,单位为 g ; V 为原状土样体积,单位为 cm^3 。

(2) 土壤重量含水量计算:

$$\omega = \frac{m_{\text{盒+湿土}} - m_{\text{盒+干土}}}{m_{\text{盒+干土}} - m_{\text{盒}}} \times 100\% \tag{2}$$

式中, ω 为重量含水量,单位为%; $m_{\text{盒+湿土}}$ 为铝盒加湿土重量,单位为 g ; $m_{\text{盒+干土}}$ 为铝盒加干土重量,单位为 g ; $m_{\text{盒}}$ 为铝盒重量,单位为 g 。

(3) 根据土壤干容重和土壤重量含水量,计算出土壤体积含水量:

$$\theta = \omega \times \gamma_0 \tag{3}$$

式中, θ 为土壤体积含水量; ω 为土壤重量含水量; γ_0 为土壤干容重,单位为 g/cm^3 。

(4) 拟合率定公式:

$$\theta = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 + \dots + A_n x^n \tag{4}$$

式中, θ 为土壤体积含水量; x 为监测仪器输出值或换算值; n 为阶数(一般为 3 阶),此次项目率定公式选用 3 阶; A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_n 为常数。

在现场率定期间,共完成 11 组人工监测数据和机测数据的采集,数据点尽量在土壤含水量相对较低到饱和范围内均匀分布。全部 3 个固定站点都开展了现场率定工作,率定效果的总体情况良好,量测误差均符合《土壤墒情监测规范》要求。安仁村站地表以下 40 cm 层率定曲线和公式如图 3 所示。

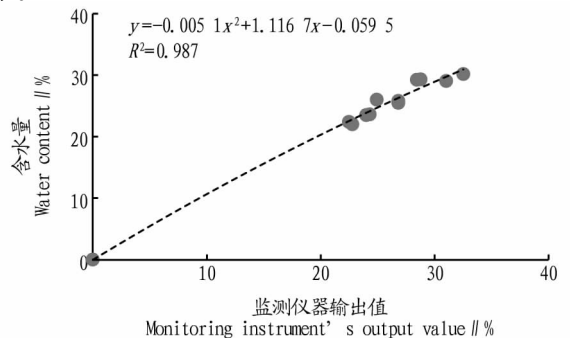


图3 安仁村站地表以下 40 cm 层仪器率定曲线

Fig.3 Instrument calibration curve of 40 cm underground layer of Anren Village Station

隆兴村站地表以下 40 cm 层率定曲线和公式如图 4 所示。

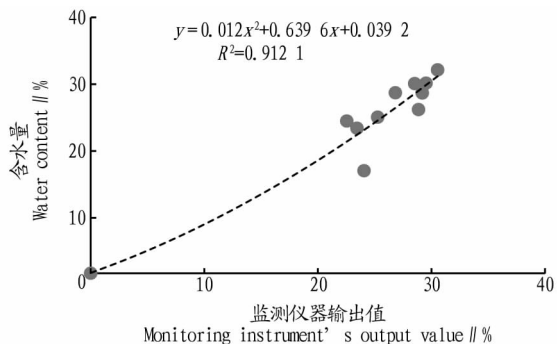


图 4 隆兴村站地表地下 40 cm 层仪器率定曲线

Fig. 4 Instrument calibration curve of 40 cm underground layer at the surface of Longxing Village Station

万宝沟站地表以下 40 cm 层率定曲线和公式如图 5 所示。

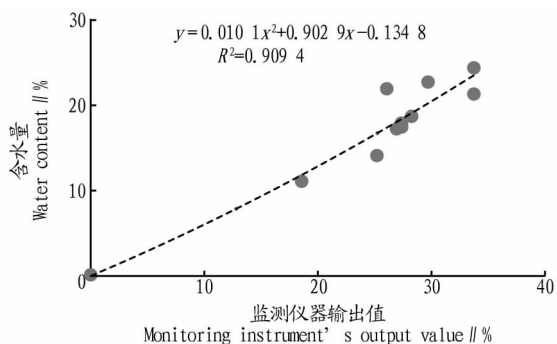


图 5 万宝沟站地表地下 40 cm 层仪器率定曲线

Fig. 5 Instrument calibration curve of 40 cm underground layer at the surface of Wanbaogou Station

3.2 站点设备安装 依照《土壤墒情监测规范》,结合现场的实际情况,固定墒情自动监测站的现场布设如图 6 所示。插针式土壤水分传感器平行于地面安装,开挖剖面与四周相邻物体间距不小于 1 m,传感器在开挖剖面上按采集深度分层埋设,各层传感器水平间距不小于 80 cm,有效减少传感器测量被干扰;安装时应保持探针水平,均匀用力将探针完全插入到原状土内,防止探针与原状土接触不实,影响测量精度;在设备周围安装围栏,保护设备不被人破坏。

4 准确性测试与分析

根据《国家防汛抗旱指挥系统工程项 目土壤墒情监测验收测试办法》和《国家防汛抗旱指挥系统工程项 目土壤墒情监测仪器现场率定方法》的要求,需采用人工取土烘干法与监测仪器采用新率定公式后测得数据进行验证测试,即称为比测验证。针对此次丰满流域墒情监测系统的比测验证,共采集 10 组验证数据,采集土壤避开降雨日及大雨后地表积水日,在测站围栏外 1~2 m 范围内同类农作物田地取样。

安仁村站地表以下 40 cm 层比测数据如表 1 所示,比测数据比较结果如图 7 所示。

隆兴村站地表以下 40 cm 层比测数据如表 1 所示,比测数据比较结果如图 8 所示。

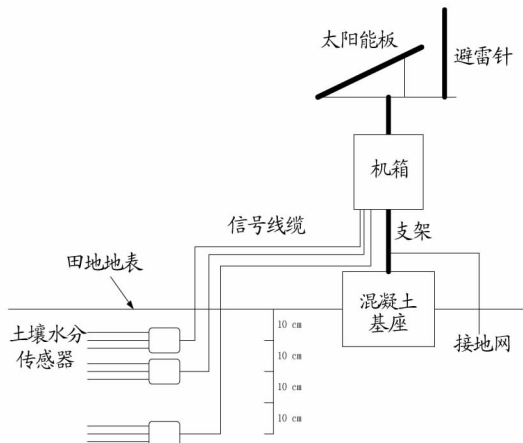


图 6 固定墒情自动监测站安装示意

Fig. 6 The installation of automatic monitoring station for fixed moisture

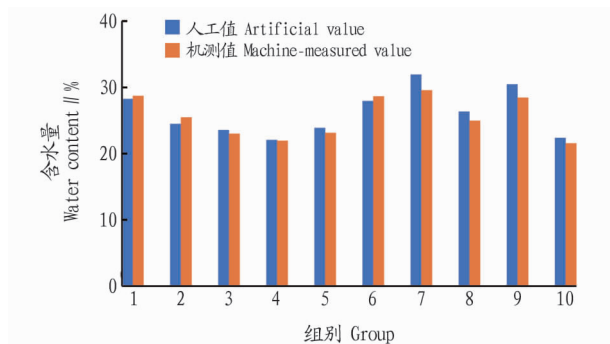


图 7 安仁村站比测数据比较

Fig. 7 Comparison of comparison test data at Anren Village Station

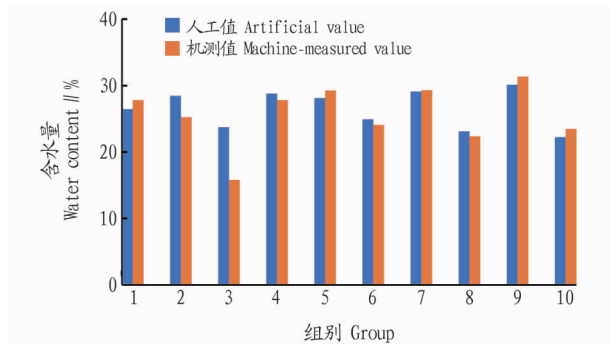


图 8 隆兴村站比测数据比较

Fig. 8 Comparison of comparison test data at Longxing Village Station

万宝沟站地表以下 40 cm 层比测数据如表 1 所示,比测数据比较结果如图 9 所示。

根据《国家防汛抗旱指挥系统工程项 目土壤墒情监测仪器现场率定方法》中关于准确性评估的标注:绝对误差在 ±4% 范围内的数据测次/人工监测的测次 × 100%, 其值 ≥ 80%, 判为率定公式验证通过;其值 < 80%, 则判定为率定公式验证不通过, 应分析原因或重新率定。

针对固定墒情监测站的比测数据进行分析,可以发现全部 3 个站点,每个站点每层土壤监测结果在 11 次比测中的

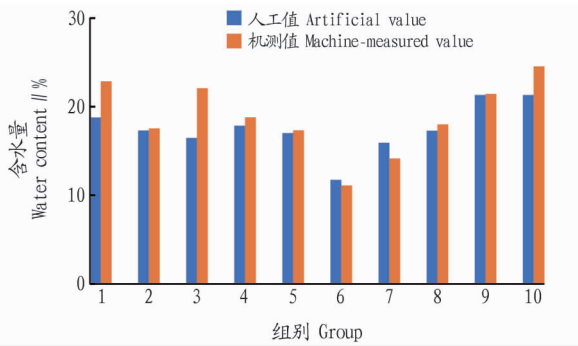


图9 万宝沟站比测数据比较

Fig. 9 Comparison of comparison test data at Wanbaogou Station

误差超过 $\pm 4\%$ 范围的数据最多为2个,准确率均超过80%,因此判为率定公式验证通过。固定墒情监测站的比测结果汇总如表1所示。

5 结论

丰满流域自然状况多变且复杂,迫切需要建设土壤墒情监测系统,以承担有关各类数据和洪水预报的前提工作。基于此,建立安仁村、隆兴村、万宝沟3个典型的固定墒情自动监测站,实现墒情自动监测。经过一段时间的试运行和准确性测试与分析,墒情采集系统在实用性和可靠性上基本达到了要求。系统的建成将实现上述站点墒情信息自动测报、涉及数据通信和信息共享。

表1 固定墒情监测站的比测结果汇总

Table 1 Summary of comparison results of fixed moisture monitoring stations

站点名称 Name of stations	10 cm		20 cm		40 cm	
	误差 $\leq 4\%$ Error $\leq 4\%$	误差 $> 4\%$ Error $> 4\%$	误差 $\leq 4\%$ Error $\leq 4\%$	误差 $> 4\%$ Error $> 4\%$	误差 $\leq 4\%$ Error $\leq 4\%$	误差 $> 4\%$ Error $> 4\%$
安仁村 Anren Village	10	0	10	0	9	1
隆兴村 Longxing Village	10	0	9	1	9	1
万宝沟 Wanbaogou	9	1	9	1	8	2
合计 Total	29	1	28	2	26	4

参考文献

- [1] 杨绍辉,杨卫中,王一鸣.土壤墒情信息采集与远程监测系统[J].农业机械学报,2010,41(9):173-177.
- [2] 王振龙,王兵,汪灶建.农田墒情监测预报和抗旱信息系统设计与实现[J].农业工程学报,2006,22(2):188-190.
- [3] NAGARAJAN R, MAHAPATRA SUBRATA. Land based information system for drought analysis [R]. 2000.
- [4] 梁凤国,高香凯,牟保全.辽宁省土壤墒情测报与抗旱决策支持系统初步设计[J].东北水利水电,2002,20(12):3-4,55.
- [5] 郭海华,邹文安.移动墒情自动测报系统设计的思考[J].水利发展研究,2016,16(4):63-65,72.
- [6] 郑徽平.移动墒情监测系统的结构、设计与应用[J].安徽农学通报,2009,15(17):128-129.
- [7] 邹春辉,陈怀亮,薛龙琴,等.基于遥感与GIS集成的土壤墒情监测服务系统[J].气象科技,2005,33(S1):161-164,180.
- [8] 何厚军,姚保顺,陈亮,等.墒情遥感监测指数对比分析与灌区应用研究[J].测绘与空间地理信息,2016,39(6):40-42,46.
- [9] 杨卫中,王一鸣,石庆兰,等.吉林市土壤墒情监测系统开发及利用[J].农业工程学报,2010,26(S2):177-181.
- [10] 中华人民共和国水利部.土壤墒情监测规范:SL 364—2015[S].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [11] 水利部国家防汛抗旱指标系统工程项目建设办公室. NFCS2-ICS-ST-05 土壤墒情监测仪器现场率定方法.办计[2014]58号[S].北京:水利部,2014.
- [12] 谭会泽,冯定远.蛋白质氨基酸金属螯合物在动物营养中的应用研究进展[J].广东饲料,2001,10(6):29-32.
- [13] ERICSON C, ASHMEAD D H. Enhancing solubility of iron amino acid chelates and iron proteinates; United States 6716814B2[P]. 2004-04-06.
- [14] ALLEN L H. Advantages and limitations of iron amino acid chelates as iron fortificants[J]. Nutrition reviews, 2002, 60(S7):18-21.
- [15] 丁保森. 甘氨酸螯合铁及其纳米脂质体研究[D]. 无锡:江南大学, 2010.
- [16] SAJADI S A A. Metal ion-binding properties of L-glutamic acid and L-aspartic acid, a comparative investigation[J]. Natural science, 2010, 2(2): 85-90.
- [17] ZHANG T, WEN S H, TAN T W. Optimization of the medium for glutathione production in *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Process biochemistry, 2007, 42(3):454-458.
- [18] 刘建华. 谷胱甘肽及衍生物与金属离子相互作用理论[D]. 无锡:江南大学, 2012.
- [19] LIU J H, XIA X L, LI Y, et al. Theoretical study on the interaction of glutathione with group IA (Li^+ , Na^+ , K^+), IIA (Be^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+}), and IIIA (Al^{3+}) metal cations[J]. Structural chemistry, 2013, 24(1):251-261.
- [20] 王玉莹,陈锡威,冯凤琴,等.酪蛋白磷酸肽的研究进展[J].食品工业, 2014, 35(5):204-208.
- [21] 高然,陈俊德,易瑞灶,等.酪蛋白磷酸肽金属矿物质螯合物的研究进展[J].中国食品添加剂,2015(12):167-171.
- [22] MORR C V, HA E Y W. Whey protein concentrates and isolates; Processing and functional properties[J]. Critical reviews in food science and nutrition, 1993, 33(6):431-476.
- [23] NOYELLE K, VAN DAEL H. Kinetics of conformational changes induced by the binding of various metal ions to bovine α -lactalbumin[J]. Journal of inorganic biochemistry, 2002, 88(1):69-76.
- [24] PERMYAKOV E A, SHNYROV V L, KALINICHENKO L P, et al. Binding of Zn(II) ions to α -lactalbumin[J]. Journal of protein chemistry, 1991, 10(6):577-584.
- [25] SUN W, HAN Y Y, JIAO K. Voltammetric albumin quantification based on its interaction with carminic acid[J]. Journal of the serbian chemical society, 2006, 71(4):385-396.
- [26] 李沅知. 活性炭粒子电极改性及其三维电极反应器处理 EDTA 废水的研究[D]. 长沙:中南大学, 2014.

(上接第188页)