

文章编号: 1006-4710(2012)03-0330-05

灌区农田输配水渠道流量实时监测系统研究

袁聆钊^{1,2}, 王全九¹, 马娟娟²

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2. 太原理工大学 水利科学与工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 基于自主研发的投入式压阻型液位传感器, 采用技术集成的方法, 研究融明渠均匀流原理、太阳能供电、信号无线变送和隐形水位监测于一体的灌区农田输配水渠道流量实时监测系统。灌区实测流量检验结果表明, 所研究的系统实现了灌区农田输配水渠道流量的远程自动化实时监测, 实用性强、性价比高; 最大水位量测误差为 0.88%, 最大流量量测误差为 1.35%, 且实现了现阶段系统管理的防盗功能。系统对提高我国灌区水量计量的自动化程度, 全面提升灌区信息化水平等具有重要的实际意义。

关键词: 灌区; 输配水渠道; 流量; 实时监测系统

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A

Research on the Real-Time Monitoring System of Water Distribution Channel Flow in Irrigation District

YUAN Lingzhao^{1,2}, WANG Quanjiu¹, MA Juanjuan²

(1. Faculty of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. College of Water Resources and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Based on the input piezoresistance type of self-developed liquid level sensor, the tech integration method is used to study the flow real-time monitoring system of farmland water distribution canal in irrigation district, which can integrate the open canal uniform flow principle, solar power supply, signal wireless transmission and contact water level monitoring into a complete package. The results from the real measured flow tests in the irrigation district indicate that the research system has realized the remote, automatic and real-time monitoring of farmland water distribution canal flow in irrigation district, with strong practicality and high cost-effective ratio; and that the maximum error of water level measurement is 0.88% and the maximum error of water discharge is 1.35%, whereby achieving the function of guard against theft in the current management system. Accordingly, the system is of an important practical significance for improving our country's automation about water measurement and information level in irrigation systems.

Key words: irrigation district; distributed canal; discharge; real-time monitoring system

我国是世界上 13 个贫水国家之一^[1-3], 农业灌溉用水占水资源总量的 73%, 为保持水资源的可持续利用, 必须发展节水型农业。实行农田输配水渠道流量实时监测计量^[4-7] 是发展节水型农业的重要

前提之一。目前, 灌区普遍存在的问题是量水设施不配套, 量水精度不高, 而现有的水工建筑物测流、量水设备测流、流速仪测流及仪表装置测流等方法^[8] 由于操作繁杂、价格昂贵及灌区人员素质等原

收稿日期: 2012-05-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50979065)。

作者简介: 袁聆钊(1963-), 男, 山西应县人, 高工, 博士生, 研究方向为水文学及水资源。E-mail: 13603565933@163.com。

王全九(1963-), 男, 内蒙古丰镇人, 教授, 博导, 研究方向为土壤物理与农业水土工程。

E-mail: wquanjiu@163.com。

因难以在灌区普遍推广。

从目前灌区实际情况出发,有必要研制一种适合灌区特色的农田输配水渠道流量实时监测系统,使农田灌溉用水管理手段信息化、现代化与自动化,满足灌溉系统管理灵活、准确和快捷的要求,在减少灌溉输水调蓄工程的数量、降低工程造价费用的同时既满足用户的需求,又有效地减少弃水,做到适时、适量地供水。

1 输配水渠道流量实时监测原理

灌区渠道横断面常见的有梯形、U型、矩形和圆形断面等,无论何种断面,当通过土建系统使渠道中水流形成均匀流时,其流量可通过明渠均匀流公式计算,即:

$$Q = AC \sqrt{Ri} \quad (1)$$

将曼宁公式代入(1)式^[9],可得:

$$Q = A \frac{1}{n} R^{1/6} \sqrt{Ri} = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3}}{X^{2/3}} i^{1/2} \quad (2)$$

式中, n 为渠道糙率(由渠道材质确定,目前已有大量的糙率资料可供使用); A 为渠道过水断面面积, X 为渠道过水断面湿周, i 为渠道纵坡。

从(2)式可以看出,当通过土建系统使渠道断面形状、尺寸、底坡及糙率确定后,渠道中水流流量仅仅是水深的函数^[9],只要能实时监测渠道中的水深就可以计算出实时流量。

2 流量实时监测系统集成

农田输配水渠道流量实时监测^[10]实际上主要是对标准断面渠道中的水深进行实时监测。水位传感器将监测到的水深信号通过太阳能无线变送器和GPRS网络传送到监控中心,在监控中心由配套软件将水深信号转换成相应的实时流量,从而实现输配水渠道流量的远程实时监测。所研究的监测系统在结构上包括土建系统、水位采集系统、信号传输系统、太阳能供电系统及信号接收系统等。

2.1 土建系统的需求与功能分析

目前,我国农田输配水渠道具有断面形式多(矩形、梯形、U型、弧形、圆形、曲线形等)、渠道建材种类杂(土渠、混凝土渠、浆砌石渠等)、水位变化幅度大(设计、最小和加大流量)和输送水质复杂(含沙水流与中水等)等特点,同时,还要充分考虑设备的防盗。为此,土建系统要满足的需求与功能为:

1) 监测装置应安装在足够长的直段正坡渠道上

由于监测系统采用的测流原理是以明渠均匀流

为前提的,所以监测装置安装区段必须具备形成明渠均匀流的渠床条件,即渠床断面形状、尺寸均匀一致、纵坡为正坡且坡度一致、渠床表面糙率一致,并至少有100 m的长度,监测设备安装在安装区段的中点位置。

2) 水位监测井预留足够的沉沙深度

这是由输配水渠道输送含沙水流的要求决定的。水位监测井通过连通管与渠道水流发生水力联系,由于渠道中的少量泥沙会通过联通管道进入监测井,监测井传感器以下应预留5 m以上深度的沉沙井。监测井断面为圆形断面,直径0.3 m。

3) 监测井的清淤

为减少进入监测井的泥沙量,在联通管道渠道侧设置细目拦沙网。此外,在非监测时段对井中泥沙使用淤泥泵进行清淤。

4) 所有监测设备实现掩埋或高位架空

由于目前水电设备被盗和被破坏的问题较严重,为确保监测设备安全,应将所有设备掩埋或高位架空。

土建系统示意图如图1所示。

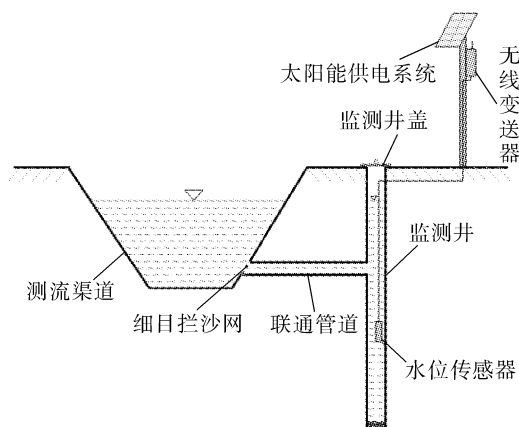


图1 渠道输水实时自动监测计量系统示意图
Fig. 1 Schematic drawing on real-time automatic monitoring and metering system of channels water

2.2 水位采集系统

水位采集系统主要是通过安装在监测井中的水位传感器获取渠道中的水位信息,并通过高程换算得到渠道中的水深。

2.2.1 传感器原理

水位传感器采用自主研发的投入式压阻型水位传感器,其原理是通过感受水压力来获取水位。在传感器的硅膜片上做四个等值电阻的应变元件构成惠斯登电桥,当硅膜片受到水压力作用时一对桥臂上的电阻变大,而另一对桥臂上的电阻变小,电桥失去平衡,从而输出一个与水压力成正比的电压值。

2.2.2 温度影响消除算法

压阻式水位传感器的缺点是受温度影响较大,为确保传感器的测量精度可采用(3)式算法消除温度对压力信号造成的干扰。

水位传感器由压力传感器与温度传感器两部分组成,用压力传感器的输出电压 U_p 和温度传感器的输出电压 U_T 来描述压力参量 P ,即:

$$P = f(U_p, U_T) \quad (3)$$

由二维坐标 (U_i, U_{Ti}) 决定的 P_i 在一个平面上,可以利用二次曲面拟合方程,即二维回归方程描述为:

$$P = \alpha_0 + \alpha_1 U_p + \alpha_2 U_T + \alpha_3 U_p^2 + \alpha_4 U_p U_T + \alpha_5 U_T^2 + \varepsilon \quad (4)$$

(4) 式中, $\alpha_0 \sim \alpha_5$ 为常数, ε 为高阶无穷小。

若各常数已知,则二维回归方程式就确定了。采集到两个传感器的输出值 U_p 和 U_T 后,代入(4)式就可以计算出传感器的被测参量 P ,消除温度对压力的影响。

常数 $(\alpha_0 \sim \alpha_5)$ 根据传感器标定,输入输出值由最小二乘法确定。即:

在压力传感器量程范围内确定 n 个压力标定点,在温度传感器工作温度范围内确定 m 个温度标定点。第 k 点的标定值 P_k 与计算值 $P_k(U_p, U_T)$ 之间存在误差 Δ_k , 其方差 Δ_k^2 为:

$$\Delta_k^2 = [P_k - P_k(U_p, U_T)]^2 \quad k = 1, 2, \dots, m \times n \quad (5)$$

均方误差 R_1 为最小,即:

$$R_1 = \frac{1}{m \times n} \sum_{k=1}^{m \times n} [P_k - (\alpha_0 + \alpha_1 U_k + \dots + \alpha_5 U_{Tk}^2)]^2 = R_1(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_5) \quad (6)$$

令:

$$\frac{\partial R_1}{\partial \alpha_0} = 0, \frac{\partial R_1}{\partial \alpha_1} = 0, \frac{\partial R_1}{\partial \alpha_2} = 0, \frac{\partial R_1}{\partial \alpha_3} = 0, \frac{\partial R_1}{\partial \alpha_4} = 0, \frac{\partial R_1}{\partial \alpha_5} = 0$$

可得6个方程,即可解得6个未知数。整理后可得求解常数 $\alpha_0 \dots \alpha_5$ 的方程组为:

$$\begin{aligned} \alpha_0 L + \alpha_1 E + \alpha_2 F + \alpha_3 G + \alpha_4 H + \alpha_5 I &= A \\ \alpha_0 E + \alpha_1 G + \alpha_2 H + \alpha_3 J + \alpha_4 K + \alpha_5 L &= B \\ \alpha_0 F + \alpha_1 H + \alpha_2 I + \alpha_3 K + \alpha_4 L + \alpha_5 M &= C \\ \alpha_0 G + \alpha_1 J + \alpha_2 K + \alpha_3 N + \alpha_4 O + \alpha_5 P &= D \\ \alpha_0 H + \alpha_1 K + \alpha_2 L + \alpha_3 O + \alpha_4 P + \alpha_5 Q &= T \\ \alpha_0 I + \alpha_1 L + \alpha_2 M + \alpha_3 P + \alpha_4 Q + \alpha_5 R &= S \end{aligned} \quad (7)$$

根据实验标定点的输入标准值 P_k 和 T_k 以及两

传感器相应的输出值 U_k 和 U_{Tk} ,可计算得到 A, \dots, D, E, \dots, T 等值,从而可联立求解方程组,于是常数 $\alpha_0, \dots, \alpha_5$ 得以确定。利用所求得值即可确定二维回归方程。

建立温度参量的二维回归方程,为:

$$T = \beta_0 + \beta_1 U_p + \beta_2 U_T + \beta_3 U_p^2 + \beta_4 U_p U_T + \beta_5 U_T^2 + \varepsilon_T \quad (8)$$

基于均方误差最小原则确定常数 β_0, \dots, β_5 的方程组为:

$$\begin{aligned} \beta_0 L + \beta_1 E + \beta_2 F + \beta_3 G + \beta_4 H + \beta_5 I &= A' \\ \beta_0 E + \beta_1 G + \beta_2 H + \beta_3 J + \beta_4 K + \beta_5 L &= B' \\ \beta_0 F + \beta_1 H + \beta_2 I + \beta_3 K + \beta_4 L + \beta_5 M &= C' \\ \beta_0 G + \beta_1 J + \beta_2 K + \beta_3 N + \beta_4 O + \beta_5 P &= D' \\ \beta_0 H + \beta_1 K + \beta_2 L + \beta_3 O + \beta_4 P + \beta_5 Q &= T' \\ \beta_0 I + \beta_1 L + \beta_2 M + \beta_3 P + \beta_4 Q + \beta_5 R &= S' \end{aligned} \quad (9)$$

采用该分析方法可有效地抑制温度对测量结果的影响。

该传感器的特点是结构易于微型化、测量范围较宽、频率响应好且精度(可达1 mm量级)高,尤其是价格低廉,非常适合在农田灌溉系统中大面积使用,使整个农田输配水渠道流量监测系统的成本大大降低。通常将传感器固定于监测井内低于联接管一定高度的位置。

2.3 信号传输系统

传感器将采集到的水深信号通过电缆送予信号无线变送器,无线变送器将信息通过通用分组无线服务 GPRS^[11-13] (General Packet Radio Service) 通讯网络传输到远离测试点的监控中心。信息传输与网络系统见图2。数据采用 GPRS 网络与监控中心实时通讯,实现数据远程传输,为渠道流量的远程实时监测提供了方便。

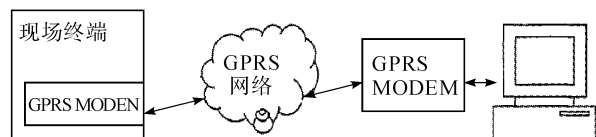


图2 信息传输与网络系统示意图

Fig.2 Information transmission and network system schemes

2.4 供电系统、数据接收与处理

一般情况下农田输配水渠道流量监测地点附近很少有可供直接使用的电源,最理想的供电方式就是利用太阳能为其供电。太阳能供电系统^[14]包括太阳能电池组件、太阳能控制器、蓄电池及逆变器太阳能电池供电等四个部分,不需铺设电缆线路。具体的电气系统工作原理见图3。

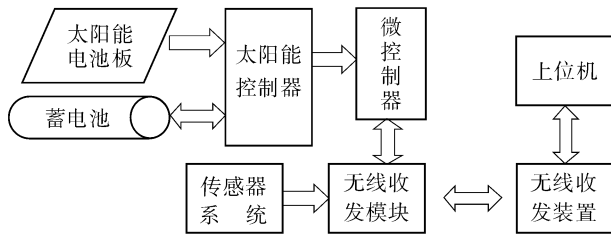


图3 电气系统工作原理图

Fig.3 The electrical system work principle diagram

监控中心通过无线收发装置^[15]接受无线变送器发送的输配水渠道中实时水深信号,由上位机中程序及计算机中配套软件完成水深数据的数据库存储、渠道实时水位与流量以及累计水量等的计算、分析与显示。

3 系统功能特点

该流量实时监测系统可以实现渠道水位与实时流量的实时监测,监控中心可随时查看每个监测点渠道的水位和实时流量,完成数据的存储,自动形成分析曲线与报表,系统能长期持续工作。

系统环境适应性强、计量可靠、运行安全。监测点可实现无人职守,为适应现场的恶劣环境,系统在水深测定功能上采用了求平算法和数据过滤清洗原则,避免杂质数据的存入。系统在实时采集上百次

数据后存入内存盘,通过求平算法得出最终采用数据,保证了每次存入数据的有效性。

系统具有自检功能,每隔2 h自检一次,当有设备损坏时系统会自动判断损坏设备及分析损坏原因,并及时向监控中心报警,同时关闭与损坏设备相关联的其它设备,避免造成更大的损失。

系统采用GPRS作为主要通讯信道,在数据监测频率低或监控中心计算机关机的情况下,系统自动使GPRS进入休眠状态,变自动设置为10 min自醒,节省了联网费用和占频费用。此外,在数据传输时,采用压缩打包型式传递,减少了数据传输流量。

4 应用效果检验

为了检验该监测系统的应用效果,在山西文峪河灌区两支渠上安装了该监测系统,同时,在系统监测位置安装了测针与流速仪,以测针所测水深及流速仪所测流量为准,验证该系统所监测水深与流量的准确性。

两监测点渠道断面均为梯形断面、采用混凝土衬砌。实测及监测分别针对较小流量与较大流量进行,共进行了48测次的实测与监测。实测及监测结果及其相对误差见表1。

表1 测试结果和监测结果及其相对误差

Tab.1 Test results and monitoring results and their relative error

监测点	序号	监测结果		实测结果		相对误差(水深相对误差/流量相对误差)	监测结果		实测结果		相对误差(水深相对误差/流量相对误差)
		水深/m	流量/(m ³ /s)	水深/m	流量/(m ³ /s)		水深/m	流量/(m ³ /s)	水深/m	流量/(m ³ /s)	
1	1	0.652	1.81	0.653 7	1.82	0.26/0.55	0.880	3.19	0.883 1	3.21	0.35/0.62
	2	0.654	1.82	0.655 6	1.83	0.24/0.55	0.883	3.21	0.884 6	3.22	0.18/0.31
	3	0.648	1.79	0.649 8	1.80	0.28/0.56	0.879	3.18	0.880 3	3.19	0.15/0.31
	4	0.658	1.84	0.661 4	1.86	0.51/1.08	0.877	3.17	0.880 3	3.19	0.37/0.63
	5	0.652	1.81	0.653 7	1.82	0.26/0.55	0.883	3.21	0.884 6	3.22	0.18/0.31
	6	0.646	1.78	0.647 9	1.79	0.29/0.56	0.880	3.19	0.883 1	3.21	0.35/0.62
	7	0.656	1.83	0.655 6	1.83	0.06/0.00	0.879	3.18	0.880 3	3.19	0.15/0.31
	8	0.658	1.84	0.659 5	1.85	0.23/0.54	0.877	3.17	0.880 3	3.19	0.37/0.63
	9	0.654	1.82	0.653 7	1.82	0.05/0.00	0.880	3.19	0.883 1	3.21	0.35/0.62
	10	0.652	1.81	0.653 7	1.82	0.26/0.55	0.883	3.21	0.884 6	3.22	0.18/0.31
	11	0.656	1.83	0.657 6	1.84	0.24/0.54	0.879	3.18	0.883 1	3.21	0.46/0.93
	12	0.654	1.82	0.655 6	1.83	0.24/0.55	0.883	3.21	0.886 0	3.23	0.34/0.62
2	1	0.730	2.17	0.732 7	2.18	0.37/0.46	0.992	3.44	0.993 5	3.45	0.15/0.29
	2	0.733	2.18	0.737 1	2.20	0.56/0.91	0.995	3.46	0.999 3	3.48	0.43/0.57
	3	0.728	2.16	0.732 7	2.18	0.64/0.92	1.007	3.52	1.012 6	3.55	0.55/0.85
	4	0.739	2.21	0.743 7	2.23	0.63/0.90	0.986	3.41	0.993 5	3.45	0.75/1.16
	5	0.730	2.17	0.734 9	2.19	0.67/0.91	0.994	3.45	0.997 3	3.47	0.33/0.58
	6	0.733	2.18	0.734 9	2.19	0.26/0.46	0.999	3.48	1.003 1	3.50	0.41/0.57
	7	0.726	2.15	0.730 4	2.17	0.60/0.92	1.001	3.49	1.005 0	3.51	0.40/0.57
	8	0.744	2.23	0.748 1	2.25	0.55/0.89	0.995	3.46	0.999 3	3.48	0.43/0.57
	9	0.733	2.18	0.734 9	2.19	0.26/0.46	1.005	3.51	1.008 8	3.53	0.38/0.57
	10	0.735	2.19	0.741 5	2.22	0.88/1.35	0.999	3.48	1.005 0	3.51	0.60/0.85
	11	0.742	2.22	0.743 7	2.23	0.23/0.45	0.995	3.46	0.999 3	3.48	0.43/0.57
	12	0.733	2.18	0.737 1	2.20	0.56/0.91	1.001	3.49	1.006 9	3.52	0.59/0.85

从表1看出,无论是小流量还是大流量,该监测系统所监测的水深与测针所测水深的最大相对误差为0.88%,监测系统所测流量与流速仪所测流量的最大相对误差为1.35%,说明本系统用于灌区农田输配水渠道的流量实时监测是完全可行的。

5 结论

1) 将压阻式水位传感器及其温度影响消除算法应用于农田输配水渠道水位监测是可行的,其测量精度可达1 mm量级;

2) 融明渠均匀流原理、太阳能供电、信号无线变送和隐形水位监测于一体的灌区农田输配水渠道流量实时监测集成系统应用于农田输配水渠道流量的远程自动化实时监测是可行的,水深量测误差最大为0.88%,流量量测误差最大为1.35%;

3) 所研制监测系统可广泛应用于具有多种断面形式的、不同渠道衬砌材料渠床、水位变化幅度大、输送含沙水流及中水的农田输配水渠道;

4) 系统将数据采集、传输、接受与处理、储存等几个功能模块集成在一起,成本低,使用与维护方便,运行稳定、可靠,具有很好的市场发展前景。

参考文献:

[1] 滕流慧,聂建平. 我国节水灌溉技术的现状及发展前景[J]. 水利水电技术,1997,28(3):52-54.
Teng Liuhui, Nie Jianping. Development status and prospect of water-saving irrigation technique in China[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1997, 28(3): 52-54.

[2] 冯广志. 21世纪初我国节水工作的思考[J]. 节水灌溉,2002,(1):1-5.
Feng Guangzhi. Thinking on water saving works at beginning of 21st century[J]. Water Saving Irrigation, 2002, (1):1-5.

[3] 黄修桥,李英能,顾宇平. 节水灌溉技术体系与发展对策的研究[J]. 农业工程学报,1999,15(1):118-123.
Huang Xiuhao, Li Yingneng, Gu Yuping, et al. Study on technical system and development measures of water-saving irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1999, 15(1):118-123.

[4] 樊铭京,马树升,王贵田. 明渠恒定非均匀流渠道流量实时监测方法研究与探讨[J]. 山东农业大学学报,2010,41(3):440-442.
Fan Mingjing, Ma Shusheng, Wang Guitian. Exploration and study on the real-time monitor method of steady non-uniform flow in open channel[J]. Journal of Shandong Agricultural University, 2010, 41(3):440-442.

[5] 苏星. 明渠流量自动测量系统的研究与设计[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2009.
Su Xing. The study and design of open-channel flow-meas-

uring automatic system[D]. Yangling:Northwest A&F University,2009.

[6] 赵斌,匡丽红,黄操军,等. 明渠流量遥测系统的研究[J]. 广东农业科学,2011,(5):197-199.
Zhao Bin, Kuang Lihong, Huang Caojun, et al. Research on remote measurement system of channel flow[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, (5):197-199.

[7] 刘中礼,夏薇,王亨. 基于电磁式流量传感技术的河道智能测流系统[J]. 办公自动化,2010,(8):29-31.
Liu Zhongli, Xia Wei, Wang Heng. The river course intelligent flow measuring system based on electromagnetic flow sensor technology[J]. Office Informatization, 2010, (8): 29-31.

[8] 郝晶晶,马孝义,王波雷,等. 灌区量水设备的研究应用现状与发展趋势[J]. 中国农村水利水电,2008,(4):39-42.
Hao Jingjing, Ma Xiaoyi, Wang Bolei, et al. Research on water measurement equipment and its application and development trend[J]. China Rural Water and Hydropower, 2008, (4):39-42.

[9] 吴持恭. 水力学[M]. 北京:高等教育出版社,1979.

[10] 王晓杰. 明渠自动量水系统的研究与应用[D]. 太原:太原理工大学,2011.
Wang Xiaojie. Study and application of channel automatically measuring system[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2011.

[11] 王德君,任丽荣,郭勇,等. GPRS通信技术在水情自动测报系统中的应用[J]. 现代农业科技,2007,(13):204-205.
Wang Dejun, Ren Lirong, Guo Yong, et al. The application of GPRS communication technique to the water regime forecasting automatic system[J]. Modern Agricultural Science And Technology, 2007, (13):204-205.

[12] 王艳辉,吴峰华. 基于GPRS业务的远程移动监控系统. 仪表技术与传感器[J]. 2006,(7):31-33.
Wang Yanhui, Wu Fenghua. System of remote transfer supervision and control based on GPRS operation[J]. Instrument Technique and Sensor, 2006, (7):31-33.

[13] 贾全明. GPRS无线通信与太阳能供电技术的应用[J]. 中国交通信息化,2010,(8):102-105.
Jia Quanming. The application of GPRS wireless communication and the solar energy supply technology[J]. China ITS Journal, 2010, (8):102-105.

[14] 赵慧. 基于太阳能电动车充电控制系统的研究[D]. 广东:广东工业大学,2005.
Zhao Hui. The study of charging control system based on the solar electrical bicycle[D]. Guangdong: Guangdong Industry University, 2005.

[15] 蔺杰. 水情自动测报系统卫星通信应用研究[J]. 水电厂自动化,2006,(2):57-60.
Lin Jie. The study of satellite communication's application to the water regime forecasting automatic system[J]. Automation of Hydropower Plants, 2006, (2):57-60.

(责任编辑 李虹燕)