

基于三维矩阵光电读码电路的低功耗水表设计与实现

陈仲库^{1,2}, 牛小民¹, 张林生², 桑小田¹, 李跃伟², 胡斌²

(1. 汉威科技集团股份有限公司, 郑州 450001; 2. 郑州汉威智能仪表有限公司, 郑州 450001)

摘要: 智能水表为供水公司实时掌握用户用水情况和解决抄表困难问题提供了重要支撑, 但传统的光电直读智能水表存在功耗高, 电路复杂, 体积庞大, 长期稳定性差等问题; 通过对水表关键技术研究分析, 提出了一种基于三维矩阵电路读取字轮码盘的水表设计方案, 它采用 STM8L051 超低功耗单片机为控制核心的分离式 Mbus 通讯电路设计思路, 有效解决了智能水表功耗高和长期稳定性得不到保障问题, 使智能水表小型化; 实验数据表明, 依据三维矩阵电路设计的光电直读智能水表通讯稳定, 功耗低, 采集效率高, 长效工作稳定可靠。

关键词: 三维矩阵电路; 低功耗设计; 分离式 Mbus 通讯; 智能水表

Design and Implementation of Low-power Water-meter Based on Three-dimensional-matrix Photoelectric Reading Circuit

Chen Zhongku^{1,2}, Niu Xiaomin¹, Zhang Linsheng², Sang Xiaotian¹, Li Yuewei², Hu Bin²

(1. Hanwei Electronic Group Corporation, Zhengzhou 450001, China;

2. Zhengzhou Hanwei Intelligent Instrument Co., Ltd, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Intelligent water meter provides an important support for water supply companies to grasp the situation of water users and solve the difficulty of meter reading. However, the traditional photoelectric direct reading intelligent water meter has many problems, such as high power consumption, complex circuit, huge volume, poor long-term stability and so on. Through the research and analysis of the key technology of water meter, a design scheme of water meter based on three-dimensional matrix circuit reading wheel code plate is put forward. It adopts the design idea of separated Mbus communication circuit with STM8L051 ultra-low power consumption single chip microcomputer as the control core, which effectively solves the problems of high power consumption and long-term stability of intelligent water meter. The intelligent water meter is miniaturized. The experimental data show that the optoelectronic direct reading intelligent water meter designed according to the three-dimensional matrix circuit has stable communication, low power consumption, high acquisition efficiency and long-term stability and reliability.

Keywords: three dimensional matrix circuit; low power design; separated Mbus communication; intelligent water meter

0 引言

随着城市规模不断扩大和人口大量集中, 机械水表在供水管理方面也越来越不能适应社会发展, 出现了许多弊端, 同时伴随着微电子技术的快速发展以及国家相关政策的推动, 水表的智能化将是一个必然的发展趋势^[1-2]。智能化水表的推行, 不但可以提高供水公司的工作效率, 解决供水公司抄表困难、实时掌握用户用水情况, 也可在技术上为节约用水、合理用水创造条件^[2]。光电直读液封水表作为新一代智能水表代表, 采用光、电一体化技术及绝对式光电编码器原理, 解析出码盘的绝对角度位置——水表示数^[3-4]。光电直读智能水表是将光电对射控制电路灌封到码盘腔中, 随时通过 Mbus 两线载波原理将读取到水表的示数传给集中采集器, 以取代人工现场读取计算和分析, 从

而提高效率^[5]。

光电直读水表作为智能水表一种, 实际应用中多达 500 台以上甚至上千台水表接入到集中采集器, 较大的水表功耗必将影响集中器的采集和效率, 增加布线成本^[2]。另外, 水表体积越来越小, 臃肿庞大的电路已不能满足要求, 需要以紧凑的电路设计出文档的产品^[6-7]。鉴于此本文提出一种基于三维矩阵电路读取字轮码盘的水表设计方案, 它采用 STM8L051 超低功耗单片机为控制核心的分离式 Mbus 通讯电路设计构思, 有效解决了光电直读水表功耗高和长期稳定性得不到保障问题, 使智能水表小型化。实验数据表明, 依据本文方案设计的光电直读智能水表通讯稳定, 功耗低, 采集效率高, 长效工作稳定可靠。

1 光电直读水表原理

光电直读智能水表由表壳、转动叶轮、齿轮计数器和光电对射控制电路组成, 并将光电对射控制电路灌封到码盘腔中。光电对射控制电路是智能水表的核心部件, 也是本文论述的重点。

收稿日期: 2018-10-13; 修回日期: 2018-10-26。

作者简介: 陈仲库(1979-), 男, 河南潢川人, 硕士, 工程师, 主要从事电子微控系统以及智能仪表技术与应用方向的研究。

光电直读智能水表采用微电子技术, 它不需人工操作, 通过电子方式判断红外收发光电对管是否穿过码盘预留孔位, 软件编解码解析码盘所在位置, 依次解析 4 位码盘位置即水表当前用水示数, 并将水表示数传给集中器, 实现直读目的。读表时总线瞬时载波供电, 在不影响正常水表机械读数情况下, 通过二总线 (MBUS) 将数据回传给集中器, 由集中器判断区间用水量。为确保集中器抄表稳定可靠, 每只水表地址唯一, 集中器以电压脉冲方式下发读取指令, 水表以拉电流方式回复水表示数, 水表间互不干扰, 通讯稳定可靠^[8-10]。

2 系统硬件设计

光电对射电控制电路由三维矩阵光电读码电路、低功耗微控电路、Mbus 通讯载波解码电路组成。将众多水表连接到水表集中器上, 水表功耗是智能水表设计关键技术之一。

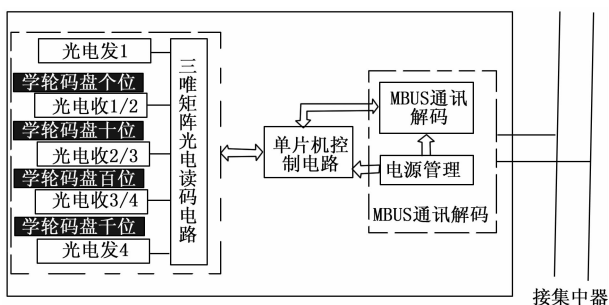


图 1 光电直读水表原理框图

2.1 低功耗微控电路

基于单片机控制电路是智能水表的控制核心, 负责对码盘判断和解析集中器读表指令。选用的 STM8L051 是一款性价比很高的超低功耗单片机, 8 KB Flash 满足程序空间要求, 256 byte EEP 可存储水表地址等关键参数, 单片机最低运行功耗能达到 5.1 μA , 内部时钟能扩频到 16 MHz, 多达 40 个外部中断源和 5 μs 快速唤醒时间满足低功耗设计要求, TTSOP20 封装尺寸体积仅 5.5 mm * 5.5 mm, 节省了设计空间^[5]。设计中除电源和复位管脚外均配置为 IO, 系统使用内部 16 MHz 和 32.768 kHz 晶体在低功耗和通讯时使用, 内部晶体温漂小于 5%, 本文设计通讯波特率为 2400 bps, 温漂满足设计要求^[6]。

另外考虑到水表长期稳定工作和单片机的灌电流能力, 而未直接使用单片机 IO 驱动红外对管, 需要用三极管驱动处理。

VCC 端通过三极管后, 给红外接收和发射公共端提供电源, 考虑到单片机上电复位后一般是高电平, 以防误动作, 故而选择 PNP 三极管。红外对管收发距离设计在 7.5 ~ 10 mm 之间, 电流约 1.5 mA, 红外发射管压降为 1.8 V, 红外管限流电阻 $R = (3.3 - 0.7 - 1.8) / 0.0015 \approx 510 \Omega$ 。红外接收管为三极管型, 接收到信号导通, 不接受信号状态未定, 增加下拉电阻, 一般选择 100 k Ω , 此时确保满足要求情况下功耗最小。

2.2 三维矩阵光电读码电路

由光电直读水表工作原理可知, 水表有 4 个圆形码盘, 每个码盘上刻有 0~9, 水流时齿轮带动码盘转动, 能显示 0000~9999, 码盘的径向有大小不同 3 个孔位, 码盘两侧分别接收侧立板和发送侧立板, 侧立板各有 5 组红外发射管或红外接收管, 解析红外发射是否被红外接收管接收到来判断码盘所处的位置。5 组红外对管能组合 $2^5 = 32$ 种状态编码, 分别表示 0~9 所在位置^[6]。

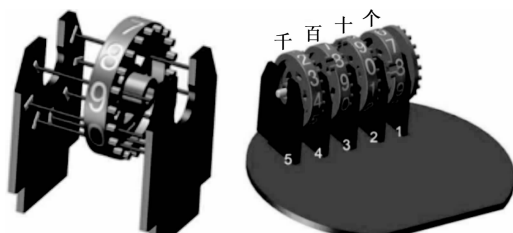


图 3 水表读取码盘 3D 演示图

4 个码盘两侧设计有 5 组红外对管, 考虑到低功耗及电路优化, 设计上采用三维矩阵扫描方式, 即使先使一组码盘所在的公共端导通, 同时给某一个红外发射管电平信号, 让该红外发射管导通, 此时别的红外发射管不允许导通, 然后读取与此红外发射管对面的红外接收管的状态, 判断是否通过码盘小孔, 以此方式, 读取一个码盘的 5 个红外接收管状态后, 即可根据状态编码表判断该码盘所在的位置, 以此判断其他 3 个码盘位置, 将读取数据由微控单元转换成水表示数。此电路有效解决了功耗问题和小孔串光干扰问题, 并通过 14 个 IO 口实现了 20 对光电对管的控制, 简化了电路, 提高了稳定性, 并且每一块侧立板仅有接收管或发射管, 电路板复用效率高。上述原理工作过程简述如下:

- 1) 第 1 通道导通, 别的通道均关闭, 即 Q1 导通, Qn 不导通;
- 2) 第一组发射管导通, 别的发射管均关闭, 即 S1-1 导通, 别的均不导通;
- 3) 扫描导通的红外发射管对应的红外接收管状态, 即读取 R1-1 状态;
- 4) 如此循环, 依次导通剩余四组对管, 并扫描对应的接收管状态, 即循环依次导通 S1-2 读取 R1-2 状态, 直

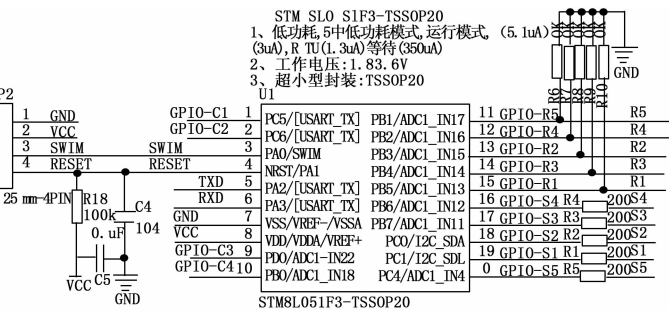


图 2 低功耗微控电路

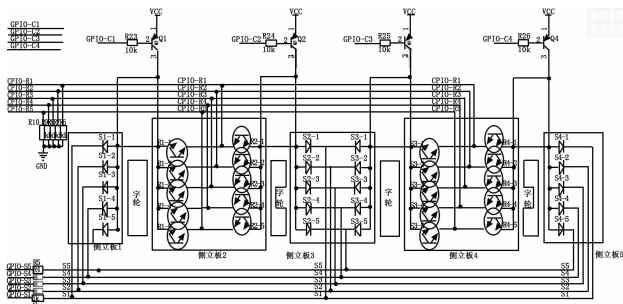


图 4 三维矩阵光电读码电路原理图

到读完 R1-5;

5) 获取并暂存第 1 位码盘所在位置信息, 即读取了一位码值;

6) 重复上述动作, 依次导通剩余 3 通道, 并读取存储对应码值, 即如上循环, Q2 导通, 其余 Q 不导通, 重复上述步骤, 完成 4 位码盘所在位置信息, 即将水表机械示数读取出来。

三维矩阵电路优势:

1) 较少的 IO 口实现了较多 IO 才能实现的功能, 减少体积和单片机资源;

2) 驱动电流小, 三维扫描方式, 每次只需要 1.5 mA 电流;

3) 抗干扰强, 每次只开通一通道或 1 路发射, 仅接收与发射管对应的接收管, 强光或外界不受干扰;

4) 运行逻辑简单, 仅仅需要开通某一通道, 置位某一位, 扫描对应位状态即可;

5) PCB 重复应用高, 5 块立板只需一种 PCB 板即可, 电路板两边可选择性作为接收或发射元件。

2.3 分离式 MBUS 通讯电路

由智能表工作原理, 集中器发送的高电平 DC24V, 低电平 DC12V 信号, Mbus 通讯电路将电平转换后给单片机, 设计单压差是 10V 左右, 为使信号更稳定可靠, 增加稳压管钳位, 如果电压低于 20 V 则认为是低电平, 高于 24 + 0.7 V 认为是高电平, 同时驱动三极管, 接收到的信号与单片机 TTL 电平相位相反。考虑到功耗和成本问题, 本文设计未选用集成 IC^[11-12]。

水表接收到集中器信号后, 将读取到的水表示数以拉电流方式回复为集中器。通过 DZ1 瞬间将低电位钳位, 与 Q2, Q3 及电阻配合调制 RXD 信号。所述 TXD 发送调制转换电路 (图 5) 通过 R13, Q1, R14 调整发送电流, Mbus 设计回流在 14~20mA 之间。

回流计算公式:

$$I_c = (VCC - 0.7) / (R13 + R14 * (1 + \beta)) * \beta$$

使用桥接芯片 D0 设计的水表接线无方向性, 使用 LDO 电源芯片 U2 给水表光电及控制电路提供稳定的电源, 这种分离器件方式价格相对便宜, 功耗低, 体积小, 转换效率高, 稳定可靠。

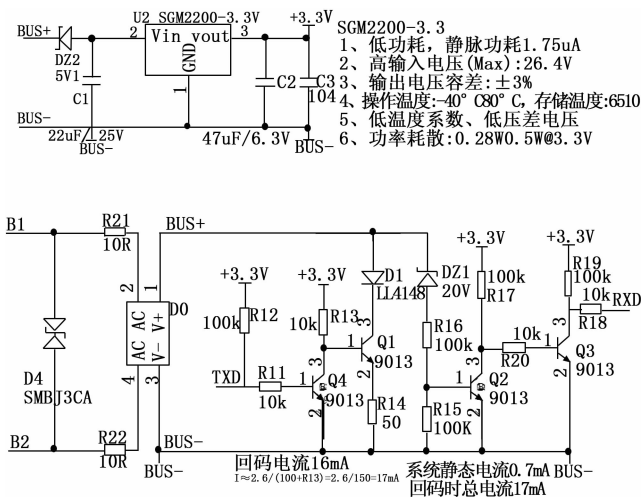


图 5 分离式 Mbus 通讯电路

3 系统软件设计

为保证基于三维矩阵智能水表准确读取表盘示数并且能准确有效地与上一级设备数据交换 (集中采集器读表), 系统需在低功耗模式下运行, 系统软件在硬件配合情况下工作, 水表嵌入式软件包括系统软件, 三维矩阵读码软件协调完成, 并按照水表行业 A188 协议解析执行。以下分别介绍。

3.1 系统软件工作过程

智能水表工作原理和它应用的远程抄表系统可知, 抄表系统面对众多并联的水表用户, 这些水表通过 Mbus 总线接入集中采集器, 抄表系统按地址读取每只智能水表, 每只水表在总线上都有唯一编号^[5]。总线上电每只水表接通电源, 初始化水表内部参数, 这些参数包括水表地址, 内部 eep, 通讯参数, 水表特征参数等等, 如果参数错误, 将提取上次读表示数并终止读表, 等待集中器抄表时将上次数据和故障代码一并上传; 如果参数正确, 将按地址先后顺序进行一次三维矩阵读码, 按地址先后顺序读码, 可以降低总线上众多水表同时读表负载压力, 此时将数据缓存后系统进入低功耗休眠状态, 直到有上一级集中器扫描到此地址的水表——抄表, 唤醒水表后, 水表将再一次三维矩阵读码, 为保证数据准确性, 将两次读码进行比较, 不一致将再次读取, 三次不一致将放弃读取, 认为该地址水表有问题, 上传时将上次存储的数据连同故障代码一并上传; 若两次比较一致将按照水表通讯协议将读取到的示值上传集中器并进入深度休眠状态, 直到下一次集中器抄表唤醒。工作流程如图 6 所示。

3.2 三维矩阵读码设计

三维矩阵读码电路是智能水表的核心技术, 通过电路方式能减少了硬件资源, 避免了红外接收对管受强光或外红光干扰, 同时减少了布线空间, 能实现紧凑型结构。由三维矩阵电路原理可知: 它采用依次打开控制位和依次置位发射位、并同时扫描接收位的三维矩阵协调完成工作。4

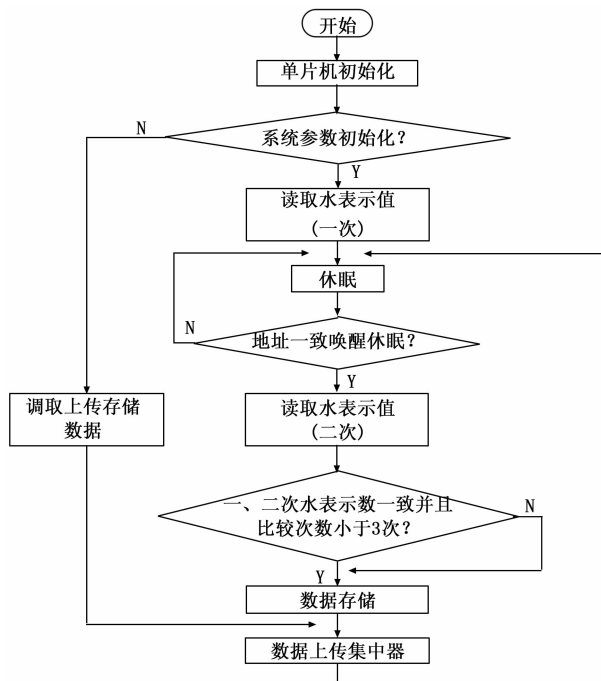


图 6 系统工作流程图

位码字依次由 4 通道控制, 每位码字两边对应的 5 对红外接收、发射对管, 并依次循环置位和扫描读取这五组对管。工作流程如图 7, 抄读完 4 通道数据后, 将数据缓存, 等待系统控制或读取。

接收对管采用高低电平方式判断是否通过码盘小孔, 通过为 1, 不通过为 0。但在实际应用过程中, 考虑到红外对管发射或接收传感器失效或衰减问题。软件设计中增加一种处理机制, 通过单片机内部 ADC 转换器读出是否接收到信号。

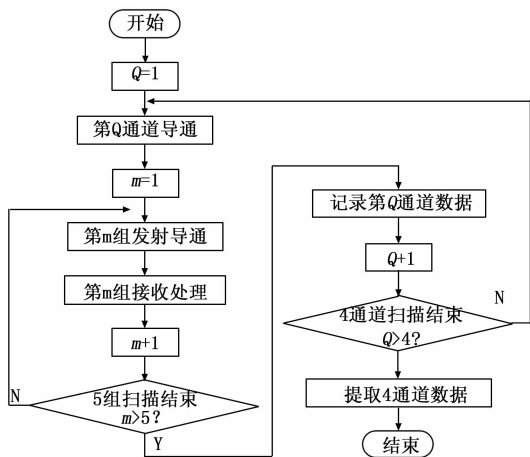


图 7 三维矩阵读码软件流程图

4 实验结果与分析

将文中提出的基于三维矩阵光电读码电路和分离式 Mbus 通讯电路设计的低功耗电路, 应用在直饮智能光电直读水表上, 分别进行功耗实验测试和长期稳定性测试。

4.1 系统功耗实验测试

实验目的: 测试本文设计的光电直读直饮智能水表运行功耗和总线带载能力。

实验方法: 集中器读取直饮水表计量数值, 分别记录不同状态下电流情况。

测试条件: 集中器下行载波信号 $VH = 27\text{ V}$, $VL = 18\text{ V}$; 环境温度 $25\text{ }^\circ\text{C}$, 相对湿度 $55\%RH$ 。

测试设备: 电压表, 电流表, 示波器

数据记录如表 1 所示。

表 1 实测智能水表功耗数据记录

测试项目	测试数据	备注
1 待机状态电流	0.71mA	通电未读码盘和通讯状态
2 读码盘状态电流	1.51mA	读取码盘平均电流
3 回码拉电流	16mA	回复集中器拉电流(瞬间)
4 系统工作电压	3.21~3.27V	微控中心工作电压

从测试数据看, 待机电流 0.71 mA , 集中采集器每通道最大接入 127 路, 4 通道 512 路负载计算, 在回码时, 总电流也不大于 110mA 。若施工预留 20% 余量, 总线理论可满足 4.5 km 长度。

4.2 长期稳定性实验测试

将基于三维矩阵电路的光电直读智能水表模拟实际应用, 在实验平台观察长期稳定性。实验按每 10 分钟或每天读取一次循环水读表示值。实验平台及实验数据如下。分别记录了单只水表连续 30 天曲线图和 3 只水表 40 余天曲线记录。



图 8 实验测试平台

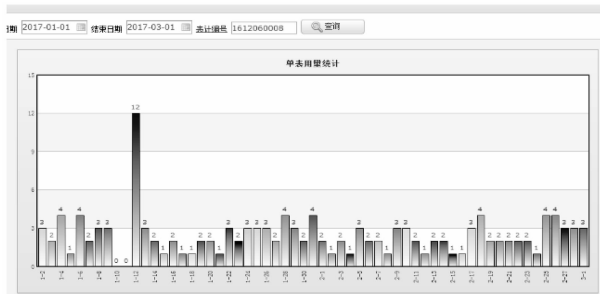


图 9 单只水表运行记录

5 结束语

基于三维矩阵光电读码电路的超低功耗水表设计, 已批量应用于小体积直饮水户表上。并在郑州某供水公司长

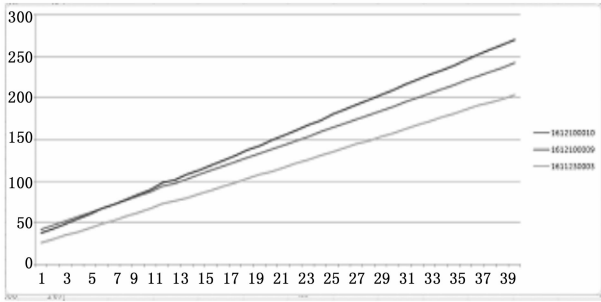


图 10 水表长期运行数据曲线记录

期使用,从使用 2 年运行情况看,抄表数据准确率 100%,单表运行功耗小于 1.4 mA,最远距离达到 1400 m,现场每只集中器挂载 450 只水表以上,运行平稳无异常出现,基本解决了光电直读水表低功耗问题和长期稳定性问题。

创新点,将三维矩阵光电读码电路和分离式 MBUS 载波电路搭载低功耗微控电路有效应用在光电直读水表上,通讯距离更远,减小了产品结构空间,长期稳定性更优。本文设计方案价格相对便宜,具有很好的应用前景和扩展优势。

参考文献:

[1] 陈晓燕. 浅谈新型水表在供水企业的应用 [J]. 计量技术, 2016, (7) 77-79.

(上接第 257 页)

安装了太阳翼和大型在轨可展开天线的航天器,采用数字化模型将机、电、热等专业知识进行综合,按照设计数据开展虚拟的入轨展开试验,对入轨后温度、展开轨迹、展开过程干涉情况、阻力矩、动力学特性、电缆运动情况进行分析,实现可视化显示,并给出试验结论和建议。

4 总结

本文分析了航天器试验数据的典型特征,设计了用于航天器试验的大数据系统,阐述了航天器试验大数据系统的典型应用与展望。大数据技术的引入提高了航天器试验数据的采集、存储、处理、分析和应用水平。航天器试验的信息化建设任重道远,需根据航天器系统工程特点,密切关注且积极引入当今世界先进的信息化技术和管理思想,并做好本地化工作,实现航天器试验全业务、全过程、全要素的数字化、模型化、可视化、网络化、智能化,从而提高航天器研制水平。

参考文献:

[1] 花禄森,等. 系统工程与航天系统工程管理 [M]. 北京:中国宇航出版社,2007.
 [2] 何友,朱扬勇,赵鹏,等. 国防大数据概论 [J]. 系统工程与电子技术, 2016, 38 (6): 1300-1305.
 [3] 张浩,秦威,鲍劲松. 制造业大数据 [M], 上海: 上海科学技术出版社, 2016.

[2] 李浩,田野,杨大伟. 水表抄表方式的优缺点及应用前景分析 [J]. 山东水利, 2015 (10): 55-56.
 [3] 陈利芳. 智能远传水表及抄表系统的应用 [J]. 中国水利, 2004 (15): 62.
 [4] 李恩屹. 电子水表传感处理技术的应用分析 [J]. 大科技, 2016, (35): 245.
 [5] 姚灵. 水表自动抄表系统技术现状与发展趋势 [J]. 上海计量测试, 2008 (3): 2-5.
 [6] 姚俊杰,张新晨. 基于超长距低功耗数据传输技术与无线通信技术的智能水表系统 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (5): 282-285.
 [7] 吴建斌,成亚. 基于 STM32 低功耗远传水表的硬件设计 [J]. 微机处理, 2018 (1): 23-27.
 [8] 郭惠均. 智能水表核心技术分析 [J]. 科技创新导报, 2012 (25): 49-49, 51.
 [9] 姚灵. 电子水表传感与信号处理技术 [J]. 自动化仪表, 2009 (3): 1-5.
 [10] 夏水斌,余鹤,何行,等. 水电气多表合一数据自动采集系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (3): 141-144, 149.
 [11] 徐晴,刘建,田正其,等. 水、热、气、电四表合一数据采集系统的研究与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (3): 217-221.
 [12] 王鲁红,叶显苍,姚灵. 智能水表核心技术的分析与展望 [J]. 工业计量, 2010 (4): 29-32.
 [4] 李杰. 工业大数据: 工业 4.0 时代的工业转型与价值创造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
 [5] 马建光,姜巍. 大数据的概念、特征及其应用 [J]. 国防科技, 2013, 34 (2): 10-17.
 [6] 王季希,李大耀,张永维. 卫星设计学 [M], 北京: 中国宇航出版社, 2014.
 [7] Apache Spark. Spark Streaming programming Guide. [EB-OL]. (2018-09-23). <http://spark.apache.org/docs/latest/streaming-programming-guide.html>.
 [8] Presto. Presto Overview [EB-OL]. (2018-09-23). <https://prestodb.io/overview.html>.
 [9] Apache Kylin. Apache Kylin 概览 [EB-OL]. (2018-09-23). <http://kylin.apache.org/cn>
 [10] 张引,陈敏,廖小飞. 大数据应用的现状与展望 [J]. 计算机研究与发展, 2013, 50 (z2): 216-233.
 [11] 冯文婧,潘宇倩,白东炜,等. 应用层次分析法的航天器健康评估方法 [J]. 航天器工程, 2014, 23 (2): 12-18.
 [12] 吴军. 智能时代—大数据与智能革命重新定义未来 [M], 北京: 中信出版社, 2016.
 [13] 冯伟泉,李春杨,姚建廷,等. 航天器 AIT 模型与试验有效性评估方法 [J]. 航天器环境工程, 2015, 32 (3): 229-235.
 [14] 赵雯,廖馨,代坤,等. 虚拟试验验证技术发展思路研究 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (3): 437-439.