

# 核电数字化控制系统与第三方系统接口研究

尤 兵

(福清核电有限公司,福建 福清 350318)

**摘 要:**随着数字化控制系统 DCS 广泛应用于核电厂,核电厂主控室也在向功能更完善、布局更集中的先进主控室过渡,这一技术特点使得主控室操纵员主要依赖操作员站上的显示器和键盘鼠标实现对电厂工艺系统的监控,因此需要将 DCS 以外的第三方仪控系统系统与 DCS 系统进行信息与监控集成。基于此需求,介绍了接口设计的一般原则,具体阐述了福清核电 DCS 系统与第三方仪控系统接口设计,并以 DCS 与 KRT 系统接口为实例,论述了采用 I/A 平台 FDSI 模块实现第三方仪控系统接口的具体实施。

**关键词:**数字化控制系统;第三方仪控系统;网络通信;硬接线

中图分类号:TN919

文献标识码:A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.211389

中文引用格式:尤兵.核电数字化控制系统与第三方系统接口研究[J].电子技术应用,2021,47(8):76-80.

英文引用格式:You Bing. Research of the communication between the third-party system and digital control system of nuclear power plant[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(8): 76-80.

## Research of the communication between the third-party system and digital control system of nuclear power plant

You Bing

(Fujian Fuqing Nuclear Power Co., Ltd., Fuqing 350318, China)

**Abstract:** As the DCS is widely used in nuclear power plants, the main control room of nuclear power plants is also transitioning to an advanced main control room with better functions and more centralized layout. This technical feature makes the main control room operator mainly rely on the CRT and keyboard and mouse on the operator station to realize the monitoring of the plant process system, so it is necessary to integrate the third-party system with the DCS system for information and monitoring. Based on this requirement, this paper introduces the general principles of interface design, specifies the interface design between DCS system and third-party system of Fuqing Nuclear Power Plant, and discusses the implementation of using FDSI module of I/A platform to realize the interface between third-party system, taking the interface between DCS and KRT system as an example.

**Key words:** DCS; third-party system; network communication; hardwired connection

### 0 引言

目前核电厂一般采用全范围数字化控制系统(Digital Control System, DCS)系统<sup>[1]</sup>,从系统结构上分为一层(自动控制和保护层)和二层(电厂操作和管理信息层)<sup>[2]</sup>。一层划分为安全级的保护和监视系统、非安全级控制和监视系统,安全级系统主要完成紧急停堆、专设安全设施及支持系统驱动、事故后监视和处理等安全级功能,非安全级系统主要完成在正常工况下电厂运行监控等非安全级功能;二层亦称电厂计算机信息和控制系统,主要承担电厂数字化操作任务,电厂计算机信息和控制系统通过电厂机组网络获得电厂的输入数据并进行处理,然后把处理结果送到显示装置,为电厂运行人员提供电厂状态的信息及操作指导,同时接受操纵员的命令,把命令传递到一层,实现对电厂的操作。

核电厂采用 DCS 对控制系统实施数字化后,绝大部分工艺系统都由 DCS 进行统一的监测和控制,但也有部分系统由于控制算法以及控制手段比较独特,不宜纳入 DCS 平台进行控制,而采用了由其他供货商提供的仪控平台进行控制。在数字化电厂中,这一部分控制系统统称为第三方仪控系统。鉴于这些第三方系统一般都是专用于某一具体的工艺设备,因此也可称为第三方专用仪控系统,如图 1 所示。

第三方仪控系统具有一定的独立性,但相关工艺参数信息仍需要送进过程控制系统,参与过程控制。在核电厂数字化后,先进主控室的设计目标是功能更完善、布局更集中<sup>[3]</sup>,操纵员能从主控室工作站中对全厂工艺过程及设备进行监视和控制,因此进行信息集成非常必要,单独为每个第三方专用系统设置人机界面变得不再

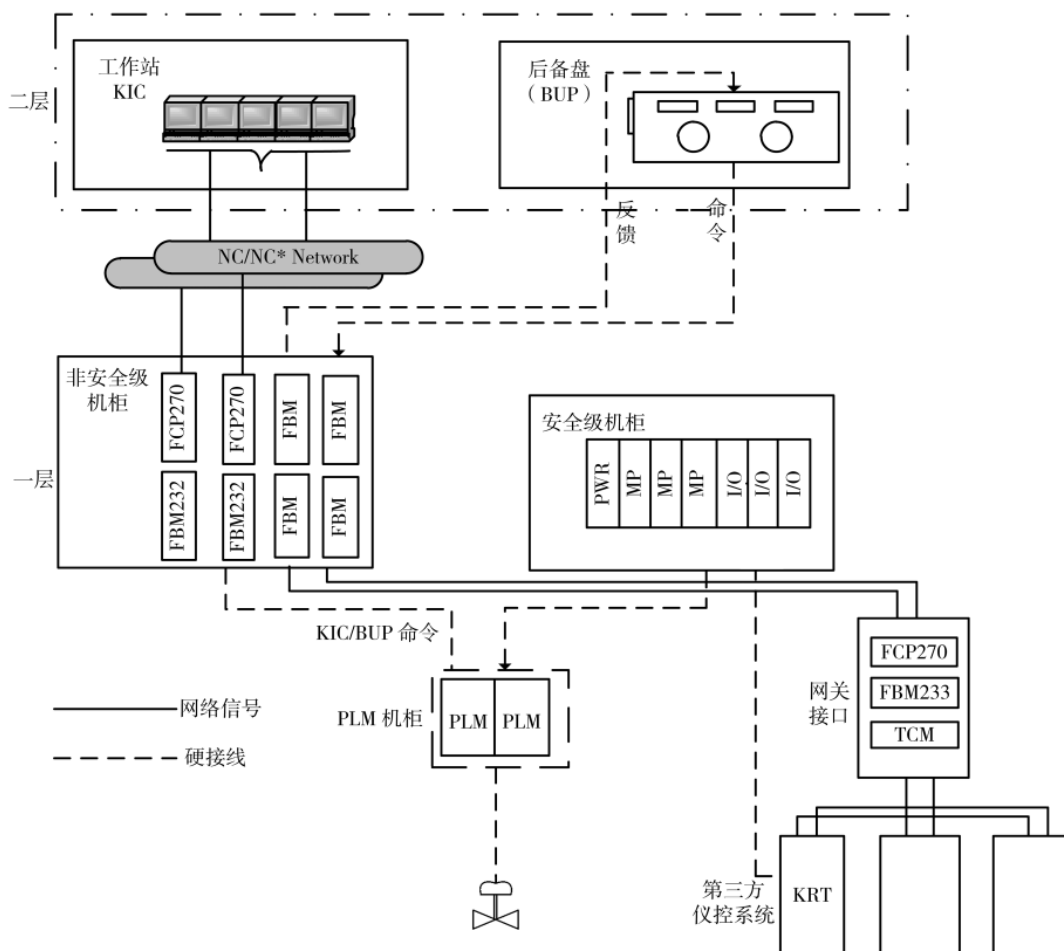


图1 DCS 结构及第三方接口示意图

可行<sup>[4]</sup>。需要将第三方仪控系统的信息集成进 DCS,即第三方仪控系统与 DCS 间存在信息交换,因此需要设计 DCS 与第三方仪控系统间的接口。

## 1 接口设计方案

### 1.1 接口方案对比

控制系统与其他系统通信有两种方式:(1)硬接线方式,指的是两个系统间以控制/测量电缆进行数据交换,每对电缆交互一个信号;(2)通信网关方式,与硬接线对应,通信方式(如 MODBUS/RTU、MODBUS/TCP)则以双绞线或光纤方式,通过网络传输协议在两个系统间进行数据交换,每对线缆交换的信号通常是批量信号。

硬接线方式的特点是:信号传输中转环节少,对现场信号的反应快速、可靠,目前大部分电厂、设计院仍认为它是信号接入 DCS 的最可靠、快速的方式。因此,在通信方式逐步应用的情况下,对可靠性、实时性和确定性要求很高的联锁与控制,目前仍然保留了硬接线方式<sup>[5-6]</sup>。但每个信号使用一对线,信号很多、传输距离很长时,需要经过电缆沟、电缆井、电缆桥架等敷设到现场,设计、施工难度和成本大幅上升,且很容易引入干扰,影响精度,信号线连接比较繁杂,对于检查和维护来说也需要巨大的工作量,特别是在需要增加仪表或改变测量控制

点的位置、功能时,困难十分巨大。

相对于硬接线,通信方式可通过一对线缆批量传输数据,可以减少大量的输入输出模块,相应地可以减少大量的电缆和接线头,大大地节省投资;并且在传输过程中,信号精度不会受影响。因此,对于一些数据传输量大,而信号安全和实时性要求不是特别严格的情况下,选用通信网关方式便十分有意义。

### 1.2 接口方案选择

第三方专用仪控系统与 DCS 之间交互的信号可大致分为以下两类。

(1)重要性较高,对通信可靠性和实时性要求较高,但数量不是特别多,例如:参与跳堆或者专设安全设施驱动的信号、参与其他逻辑联锁和保护的信号、事故后监测系统显示记录的信号等安全级信号以及对响应时间要求较高的其他信号,如事故追忆系统。

(2)重要性次之,对实时性要求不是特别高,一般可以是秒级,信号数量较多,这一类信号有报警、指示信号以及用于记录的非安全级数据信息。

#### 1.2.1 重要信号选用硬接线方案

以反应堆保护系统(Reactor Protect System, RPS)为例,为尽可能减少设计基准事件对电厂安全和设备的影响,

需要反应堆保护系统尽可能快地进行动作,即对通道响应时间要求极高,按照 RPS 技术规格书要求,停堆通道时间应在 200 ms 内,专设安全设施驱动通道时间应在 300 ms 内<sup>[7]</sup>。根据福清核电 RPS 系统结构特点,在停堆通道输出各通道的 4 取 1 脱扣信号后,将脱扣信号输入安全专设系统,由安全专设系统产生专设驱动信号,在最坏情况下安全专设系统需要 6 个处理器扫描周期才能捕捉到相应两个保护通道的信号<sup>[8]</sup>,运算后产生输出,并通过逻辑优选模块将信号送至现场。由于逻辑优选模块的响应时间为 42 ms,因此真正的安全专设部分响应时间需要在 258 ms 以内,即每个扫描周期(包括 Tricon 输入轮询时间、用户程序执行时间、输出轮询时间)必须在 43 ms 内完成。而福清核电所采用的安全级 DCS 平台 Tricon 平台中程序扫描周期最短只能设为 20 ms<sup>[9]</sup>,但限于 Tricon 主处理器卡件的性能、安全专设逻辑程序的规模以及技术规格书对控制处理器空闲时间的要求,扫描周期定为 43 ms 左右已经是对处理器处理能力的挑战。如果网络通信卡件以通信方式接入,那么还需要算上第三方仪控系统处信号转换时间、打包时间、协议转换时间;若采用 Modbus RTU/ASCII 等串行网络,还需要算上可观的网络传输时间,专设通道响应时间将无法保证在 300 ms 以内。

因此,对于需要送入 Tricon 驱动安全专设的重要保护信号需要采用硬接线方案,而不能使用通信方案。此外,其他信号如事故追忆系统,事件分辨率精度要求是 1 ms,虽然理论上可以在第三方仪控系统打上时间戳后再将数据一起打包送至 DCS,但通常考虑到经济性,第三方仪控系统所采用的平台一般很少具有时戳标记功能。因此,一般采用硬接线将信号接至 DCS 端子上,由 DCS 进行时间标记。同理,对其他的重要信号,基于硬接线实时性强和可靠性高的特点,也采用硬接线方案。

### 1.2.2 非重要信号选用通信方案

福清项目中,DCS 二层所用的 ADACS 平台在工业界应用业绩相对较少,与其他工业控制设备间的接口能力不够强,同时,第三方仪控系统的相关信息需要送入 DCS 一层参与过程控制,因此采用二层 ADACS 平台与第三方系统接口的方案不太可行。DCS 一层所用的安全级平台 Tricon 与非安全级平台 I/A,在工业控制领域有较多的应用业绩,在多年的发展过程中,这两个平台为保证与其他系统兼容,开发出了遵从主流通信协议的通信接口模块,能够比较可靠地与支持同样协议的其他厂商设备进行通信集成。

Modbus 协议目前是工业领域全球最流行的协议,此协议支持传统的 RS-232、RS-422、RS-485 和以太网设备,遵从该标准的不同厂商生产的控制设备可以连成工业网络,进行集中监控,因此许多工业设备都在使用 Modbus 协议作为兼容他方系统的通信标准。此协议包括 ASCII、RTU、TCP 模式等,没有规定物理层,只定义了

控制器能够识别和使用的消息结构,而不管它们经过何种网络进行通信。其中,ASCII 模式指串行 MODBUS 网络上以 ASCII(美国标准信息交换代码)模式通信;RTU 模式指的是在串行 Modbus 网络中以 RTU(远程终端单元)模式通信,在消息帧中的每个 8 bit 字节包含两个 4 bit 的十六进制字符,这种方式的主要优点是在同样的波特率下,可比 ASCII 方式传送更多的数据;TCP 模式指在 TCP/IP 网络中进行传输<sup>[10-11]</sup>。

鉴于 Modbus 的优点以及第三方仪控系统绝大部分都支持 Modbus 协议标准的特点,在设计中使用 I/A 平台与第三方仪控系统进行接口,将大大减少二次开发的工作量,且由于是标准化设备,已在多个项目中对接口进行验证,通信可靠性和稳定性有较好的保证,切合核电控制系统的相关要求。在本项目中,为保证接口的传输效率,串行网络中将只使用 RTU 模式实现 DCS 与第三方仪控系统的通信,信号传输距离较长时采用光纤介质,增加远距传输能力和抗干扰能力。

### 1.3 接口设计

在福清项目中,由于多数第三方仪控系统在 DCS 交互重要信号的同时,也将大量用于报警、指示和记录的非重要信号送入 DCS,因此单纯采用硬接线和通信方式两者中的任何一个都无法真正切合通信接口的设计要求。因此,鉴于接口交换数据的现实情况,采用硬接线与通信方式结合的设计方案,即重要信号采用硬接线接入 DCS,报警、指示、记录等非重要信号采用通信方式送入 DCS。以堆外核测系统为例,其与 DCS 之间接口设计如下:

(1)用于安全级的保护和控制的信号通过硬接线送到保护系统机柜;用于对数据进行记录、指示和报警的安全级信号通过硬接线接入到后备盘;用于过程控制过程的信号通过硬接线接入到非安全级控制机柜;

(2)其他非重要信号通过通信方式送至非安全级机柜,通过 DCS 一二层之间的网络接口送至二层 ADACS 平台。

其他第三方仪控系统与 DCS 接口采用与堆外核测系统相同的设计原则进行设计,但对于一些存在较少接口数据的第三方仪控系统,送入 DCS 的信号也是用于画面显示的非重要信号,也采用硬接线方式,如地震仪表系统,每个机组只有 2 个信号送入 DCS,若采用通信网关,将增加不必要的投资,因此以硬接线方式送入非安全级 DCS 部分的数字量输入模块,最终送二层 ADACS 平台用于产生报警。

## 2 接口实施方案

### 2.1 外部设备接口模块介绍

在 I/A 平台中,专用于支持第三方设备接口模块称为外部设备接口模块(Foreign Device System Integrator, FDSI),主要设备型号为 FBM230/231/232/233。其中,FBM230/231 可通过串行口与第三方设备进行通信,



FBM230 共可支持 4 个串行口,并可由软件进行独立配置,配置为 RS485 时,每个端口最多可带 16 个设备负载;FBM231 具有 FBM230 相同的功能,但可成对使用,组成冗余通信网络。FBM232/233 使用 10/100M 以太网与第三方设备进行通信,FBM232 提供一个 10/100M 以太网接口与第三方设备进行通信,FBM233 与 232 具有相同的功能,但可成对使用,提供冗余通信网络。

FBM23X 系列 FDSI 支持协议重构技术,即使用同一种通信卡件,通过运行于计算机上的协议配置软件配置协议解析模块,配置软件按照设计约定配置完相应参数后,以插件形式将“扩展标记语言(eXtensible Markup Language, XML)格式文件下装到 FDSI 的 EEPROM 中,实现对不同协议的支持。如果针对一种协议就开发一种通信卡件,由 I/A 系统支持的上述协议类型可知,那将是一个可观的数量,因此使用协议重构技术,而不是针对一种通信协议配备一种通信卡件,大大减少了备件数量,降低了维护难度<sup>[12]</sup>。可重构设计是一种提供能够适应变化需要的设计方法<sup>[13]</sup>,一般采用软件可重构技术<sup>[14]</sup>。

## 2.2 Modbus 接口实施方案

FDSI 卡件构成了第三方通信的硬件接口,如前所述,必须使用协议配置软件配置协议参数(如协议标准、波特率或 IP 地址等),并在对应的 FCP 上位机中使用 I/A 系统维护软件将协议驱动模块 IO Device Driver 下装至 FDSI 中以后, FDSI 才能起到通信接口的作用。下装的协议驱动模块与运行于控制器 FCP270 中的设备控制块 ECB 一起,构成了第三方通信的软件接口,使得 DCS 具有相应协议解析能力。其中协议驱动模块负责收发与第三方设备的通信帧,并依据协议对通信帧进行解析,将数据通过现场总线接口与上游控制器进行交互,设备驱动块(Equipment Control Block, ECB)的作用是接口模块 FBM23x 通信设备在控制器中的逻辑映像,并对来自现场的数据进行存储,供控制器中其他控制功能块(Function Block)读取数据,对现场设备状态进行诊断,实际上是控制器与接口模块的软件接口。本项目接口设计中需要使用到 3 种 ECB 块,即:ECB200、ECB201、ECB202,其中 ECB200、ECB202 是 ECB201 的父 ECB,直接与 FDSI 交互数据(ECB200 用于与单个 FDSI, ECB202 用于冗余 FDSI), ECB201 与父 ECB 交互数据,并向控制功能块传输现场数据,以及将控制功能块数据下传至 FDSI<sup>[15]</sup>。FDSI、ECB 以及所支持的控制功能块之间的关系如图 2 所示。

为讨论方便,以 DCS 与辐射仪表监测系统为例对接口实施方案进行阐述,通信接口需求如下:安全级部分有 64 个仪表信号需要送入 Tricon 用于事故后参数监测及安全级控制,如前述,该部分通过硬接线实现;此外共有 52 个非安全级就地处理箱与 DCS 存在通信,由于每个就地处理箱(Local Process Display Unit, LPDU)传递的数据量不是很大,通过 DCS 对每个 LPDU 读取 10 个保持寄存器的值(只读,6 位地址码 43xxxx)。鉴于系统间

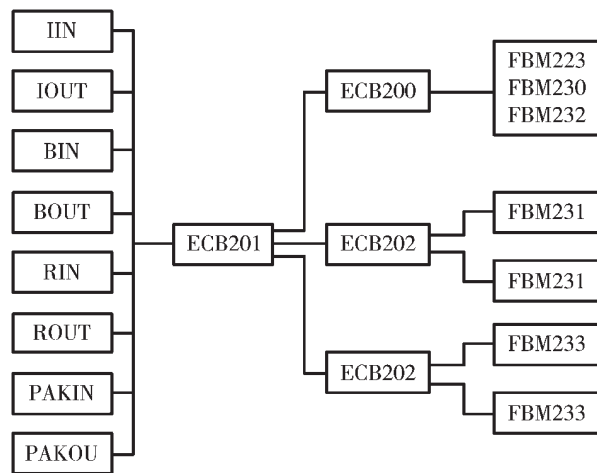


图 2 功能块与 ECB、FDSI 间关系示意图

通信的实际需求,采用 Modbus/RTU 协议比较合适,考虑到通信可靠性,接口要求采用冗余通信方式,因此可以选用 FBM231。但考虑到 FBM231 数据处理速率较低、响应时间较长,因此采用两块 FBM230 一起组成冗余网。由于在 DCS 机柜至就地处理箱距离较远,RS485 网络采用差分电平传输信号,传输距离较远。参考 RS485 工业总线标准,在使用 0.56 mm 双绞线作为传输介质时,波特率为 2 400 b/s 时,最大距离为 1 800 m;波特率为 4 800 b/s 时,最大距离为 1 200 m;波特率为 9 600 b/s 时,最大距离为 800 m,即数据传输速率与距离成负相关关系。考虑到数据传输效率,对距离进行均衡,将波特率参数配置为 9 600 b/s。因此 DCS-KRT 接口采用 RS485 网络,并利用 485 总线支持多机通信(FBM230 每个端口支持多达 16 个)的功能组成总线网,由于一块 FBM230 最多可以挂接 64 个 LPDU(4 个端口),因此接口共需要 2 块 FBM230(组成冗余网络)。相应的参数配置见表 1。

表 1 ECB202 参数配置表

参数名	参数值	备注
NAME	158601	FDSI 设备 ID, LetterBug
TYPE	ECB202	ECB 类型
DESCRP	MODBUS RTU GATEWAY	描述
PERIOD	1	周期(设为 500 ms)
PHASE	0	相位
DEV_ID	158601	FDSI 设备 ID, LetterBug
HWTYP	230	硬件类型
SWTYPE	231	软件类型
FILEID	158601.XML	配置文件名
WDTMR	10	看门狗定时器
SFILID	MODBUS.ZIPH	协议驱动模块名

## 3 结论

本文主要阐述了核电厂第三方仪控系统接口的设计原则,具体说明了接口采用硬接线与通信集成的方式实现通信接口设计的方法,并说明了采用 Modbus/RTU

实施数字化控制系统与辐射仪表监测系统接口的设计过程及实施方法。由于 Modbus/TCP 协议与 Modbus/RTU 在协议解析上完全一致,两者仅是网络介质的区别,实施难度相差不大,表明采用硬接线加通信网关的设计方案是基本可行的,在福清核电项目中也予以了成功应用。从网络通信方案在实时性方面的特点看,接口方案设计中需要结合信号传输响应时间和可靠性的要求综合考虑,必要时需要将部分网络通信的信号改为硬接线传输。

#### 参考文献

- [1] 王远隆.核电数字化仪控系统结构比较分析[J].中国核电, 2011, 9(4): 121-129.
- [2] 朱雯,王强.CPR1000 核电站全厂数字化仪控系统不同 DCS 平台的比较分析[J].电子测试, 2013, 4(8): 68-70.
- [3] 福清核电.福清核电 1、2 号机组 DCS 技术规格书[Z].福清:福清核电, 2011.
- [4] 福清核电.电站计算机信息和控制系统手册[Z].福清:福清核电, 2011.
- [5] 福清核电.电厂过程控制机柜系统手册[Z].福清:福清核电, 2011.
- [6] 福清核电.Hardware\_software design[Z].福清:福清核电, 2011.
- [7] 福清核电.Software requirements specifications[Z].福清:福清核电, 2011.
- [8] 罗炜,刘宏春,冯威,等.基于 Tricon V10 PLC 平台的核电厂保护系统设计[J].核动力工程, 2015, 36(6): 115-119.
- [9] 福清核电.1E software design description[Z].福清:福清核电, 2011.
- [10] 温克强.MOVBUS 通讯协议在 DCS 与 PLC 通讯中的应用[J].石油化工自动化, 2005(6): 65-67.
- [11] 程雪婷.解析 Modbus-RTU 协议关键内容及其在智能电器中的应用[J].低压电器, 2010(1): 23-25.
- [12] 周纯杰,刘华成,尤兵,等.文本型字符显示器中可重构通信的方法与实现[J].计算机科学与工程, 2010, 32(2): 142-145.
- [13] 陈曾胜.基于可重构理论的智能仪器设计[D].合肥:合肥工业大学, 2002.
- [14] 周纯杰,向纯洁,陈辉,等.可重构技术及其在网络控制系统中的应用综述[J].控制与决策, 2007, 22(11): 1201-1207.
- [15] 福清核电.I/A series system field device system integrators user's guide[Z].Foxboro: I/A Series Electronic Documentation, 2009.

(收稿日期: 2021-02-08)

#### 作者简介:

尤兵(1983-),男,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:核电站仪表控制。



扫码下载电子文档

(上接第 75 页)

- [2] 储胜,张艳馥.垃圾分类立法对城市生活垃圾回收物流的影响[J].物流技术与应用, 2020, 25(4): 134-136.
- [3] 夏钦.在垃圾分类持久战中摸索“北京模式”[J].工会博览, 2020(11): 1.
- [4] 杜欢政,刘仁仁.我国城市生活垃圾分类收集的难点及对策[J].新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2020, 41(1): 134-144.
- [5] 张雨康,蔡威,陈文浩,等.智能垃圾分类系统研究文献综述[J].中国设备工程, 2020(9): 31-33.
- [6] 余汉生,陈瑶.智能垃圾分类回收系统设计应用研究[J].包装工程, 2018, 39(18): 154-159.
- [7] 尤肖肖,孔春香.智能垃圾桶的创新设计[J].科技资讯, 2019, 17(12): 19-20, 22.
- [8] 吕程熙.基于深度学习实现自动垃圾分类[J].电子制作, 2019(24): 36-38.
- [9] 吴碧程,邓祥恩,张子懂,等.基于卷积神经网络的智能垃圾分类系统[J].物理实验, 2019, 39(11): 44-49.
- [10] 张居彦.移动 App 设计工具 Inventor[J].电子世界, 2013(15): 170-171.
- [11] 王家兵,杨志刚,吴洪明.Arduino 高精度静压液位测量与控制系统[J].仪表技术与传感器, 2013(8): 44-46, 53.
- [12] 蔡睿妍.Arduino 的原理及应用[J].电子设计工程, 2012, 20(16): 155-157.
- [13] 广州汇承信息科技有限公司.HC-05 蓝牙串口模块规格书[EB/OL].(2020-06-03)[2020-07-29].http://www.hc01.com/products/3.
- [14] 陈钢.基于 Android 的智能家居蓝牙控制系统设计[J].智能建筑与智慧城市, 2016(9): 50-51.
- [15] 胡珂.基于 Arduino 的智能小车测距安全行驶系统的研究[D].西安:长安大学, 2015.

(收稿日期: 2020-07-29)

#### 作者简介:

黄鹏(1998-),男,本科,主要研究方向:物联网工程。

徐燕(1983-),女,博士,讲师,主要研究方向:物联网在物流领域的实现与应用。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所