

文章编号: 2095-2163(2020)04-0090-05

中图分类号: TH39; TP272

文献标志码: A

PCS7 在反应釜压强控制系统中的应用研究

冯益林¹, 余粟², 王盟¹

(1 上海工程技术大学 电子电气工程学院, 上海 201620; 2 上海工程技术大学 工程实训中心, 上海 201620)

摘要: 本文为了保证化工生产过程中的安全稳定运行,同时促进产量的提高,提出一种控制反应釜压强的方案。该方案基于 PCS7 过程控制系统为平台,采用 SIMATIC S7-400 为控制器实现对反应釜压强的控制并完成废料的回收。系统分析了影响压强的各方面因素,并用连续过程控制程序(CFC)编程,对各 PID 控制器的参数进行调节,使整个系统达到稳态。仿真结果表明,该控制方案能够很好地满足控制要求,回收效果明显,实现了系统稳定,产量得到了最大化提高。

关键词: 反应釜压强; PCS7; CFC; 回收; PID 控制; 斜坡函数

Application of PCS7 in Pressure Control System of Reactor

FENG Yilin¹, YU Su², WANG Meng¹

(1 School of Electronic and Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2 Engineering Training Center, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] In order to ensure the safe and stable operation of the chemical production process and to maximize the output, a scheme of controlling the pressure of the reactor was proposed. Based on PCS7 process control system and SIMATIC S7-400 controller, the pressure of reactor was controlled and the waste was recovered. We analyzed various factors affecting pressure systematically, and used the Continuous Function Chart (CFC) to program and adjust the parameters of each PID controller to make the whole system reach a steady state. The simulation results show that the control scheme can meet the control requirements well with an obvious recovery effect. The system was stable and the output was maximized. It provides a new idea for the continuous control of industrial process and has a certain popularization value.

[Key words] Reactor pressure; PCS7; CFC; Recovery; PID control; Slope function

0 引言

在工业生产中,反应釜应用广泛,但由于其是一个非线性、滞后性强、耦合性强的多输入输出系统,因此在不同生产系统中需要给出不同的控制方案。在研究反应釜的压强控制的基础上,更深层次的分析了回收物料,综合考虑节能减排,提出了反应釜压强控制系统及产物的回收和产量的最优控制。

影响压强的因素主要有:反应釜温度、催化剂流量、产物浓度及废料回收等方面。通过控制温度实现控制压强,其中任一个调节量改变时,都会影响其它被调量。需要在分支系统均稳定的情况下,整个系统才能达到安全稳定的状态。整个系统方案使用 PCS7 在 SMPT-1000 平台上进行,选择合适的控制变量,准确控制产物的浓度或流量以达到控制目的,实现效益最大化。

1 系统分析

1.1 工艺要求

原料 A 与原料 B 由进料泵输送进入混合罐 (V101) 内混合,反应所需的催化剂 C 由输送泵

(P103) 从反应器顶部加入^[1-2]。在反应过程中,反应放热强烈,因此反应釜 (R101) 采用夹套式水冷却。反应转化率与反应温度、停留时间、反应物料浓度及混合配比有关,反应体系气相压力对温度敏感,在冷却失效产生的高温条件下^[3],过高的气相压力使反应器存在爆炸的风险。在反应器顶部设一路抑制剂,当反应釜压强过高危及安全时,通入抑制剂 F 使催化剂 C 迅速中毒失活,从而中止反应^[4]。反应釜 (R101) 底部出口生成物含有产品 D、杂质 E,催化剂 C、以及未反应的原料 A 和少量原料 B,为了回收原料 A,在反应器下游设置闪蒸罐 (V102),将混合生成物中过量的原料 A 分离提纯。闪蒸罐 (V102) 顶部采出混合物为气相,首先进入冷凝器 (E102) 与冷却水进行换热冷凝,冷凝后的混合物进入冷凝罐 (V103),通过循环泵 (P106) 再送入混合罐 (V101) 循环利用。闪蒸罐 (V102) 底部的混合生成物经输送泵加压,送到下游分离工序,进行提纯精制,以分离出产品 D^[5],整个生产工艺流程如图 1 所示。

作者简介: 冯益林(1993-),男,硕士研究生,主要研究方向:智能控制; 余粟(1962-),女,教授,硕士生导师,主要研究方向:计算机科学。

收稿日期: 2019-12-16

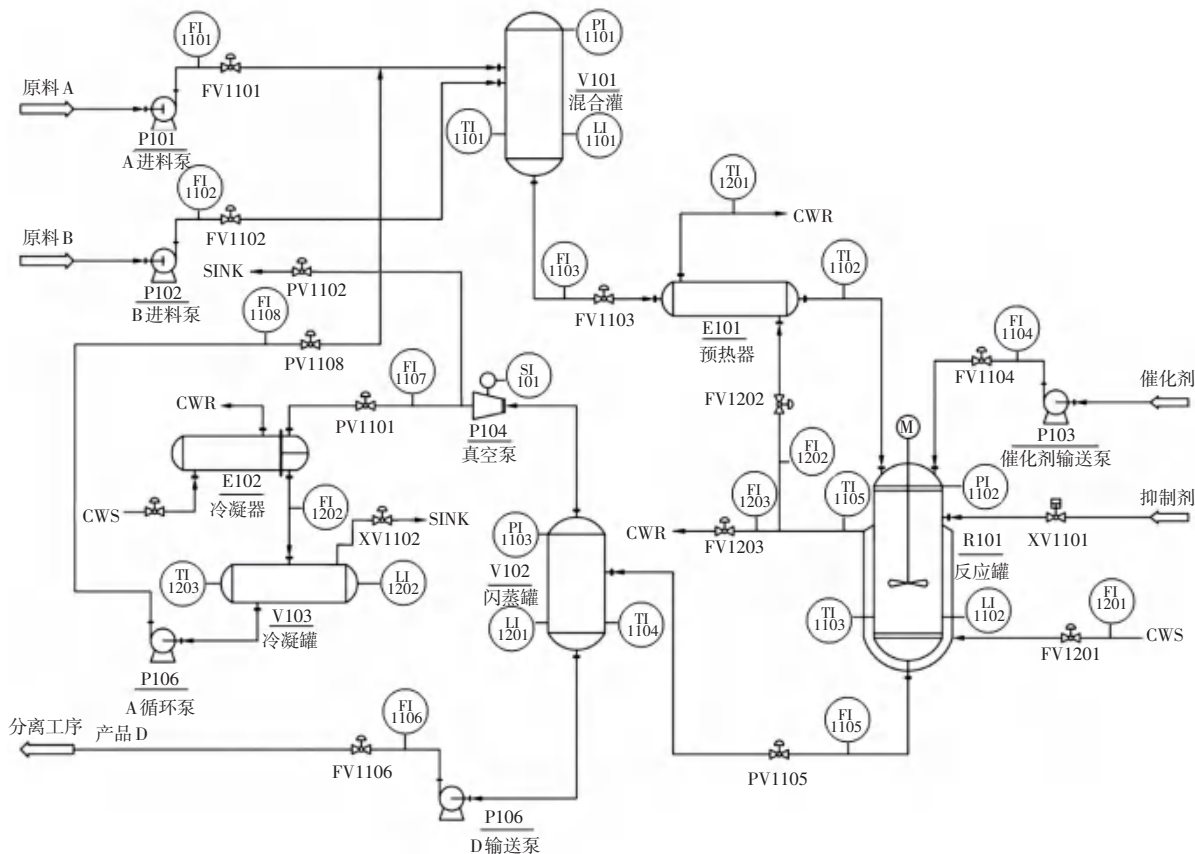


图 1 生产工艺流程图

Fig. 1 Process flow chart

1.2 系统安全要求

在化工生产过程中,混合罐、反应釜等罐式设备不能出现抽空或满罐现象。已知反应釜的压强不能超过 350KPa,如超压则会引起反应釜超压爆炸等安全事故,导致化学反应无法继续进行。如遇紧急情况,可添加反应抑制剂使催化剂失去活性,中止反应。反应釜压强的有效控制影响着反应的进行以及各项安全问题。

2 反应釜压强控制系统的设计

反应釜压强控制系统采用 PCS7 过程控制,其属于一种分布式控制系统,可以根据需要选用不同的功能组件进行系统组态。由于整个系统是一个连续自动控制的过程,对反应釜的进料和出料都有不同程度的影响。在进料口方面,主要影响因素是催化剂的流量以及反应釜的液位。物料 A、B 进料流量比例要求为 3:1,由于反应釜空间有限及液位要求,故实际控制物料 A、B 的进料速率不能过快,否则会引起气相物质积压,增大压强。在设定流量控制系统时,使流量严格按照实际的比例进行设定,使用常数为 0.78 的乘法器,设定反应釜液位 50%,控制 B 物料的泵开度。影响出口流量的因素主要是

产物流量和回收的控制,提升负荷模块的设定值。

2.1 反应釜温度控制系统的设计

根据化学反应工艺要求,为确保化学反应的充分进行、提高产物量浓度以及保证较高的反应速率,设定反应釜温度值为 95 °C,温度控制采用负反馈单闭环控制系统。在控制部分,根据预设条件分为两部分进行,汇编程序在结构化控制语言 SCL 模块中编译完成。在反应釜温度(TI1103)低于 88 °C 时,温度 PID 控制器(TIC1103)控制冷却剂的水阀(FV1203)开度大小,在温度高于设定值时,直接将阀门开度调至 100%,及时冷却反应釜,避免因温度压强剧增引起炸罐事故。温度控制系统流程如图 2 所示。

2.2 催化剂流量控制系统的设计

催化剂作为原料加入 A、B 的混合物中,为使化学反应达到最高效率,单位时间内催化剂的反应量必须是物料 B 反应量的三分之一。催化剂的流量不仅会影响化学反应速率,还会影响产物的浓度。当催化剂流量过高时,反应剧烈且温度(TI1102)提升快,反应釜的压强(PI1102)迅速增大、可控性差,不仅会导致严重的安全问题,也会导致产物浓度较

低不符合标准;流量较低时,则反应缓慢,温度上升缓慢,即使压强此时稳定,但是产物浓度极低,导致产量较少甚至不合格。图 3 中乘法器用于控制催化剂与 A、B 物料的混合比例,系统使用 PID 控制器自动控制催化剂控制阀的开度。控制系统组态结构如图 3 所示。

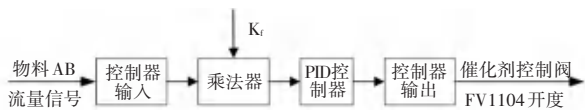


图 3 催化剂流量控制系统组态结构图

Fig. 3 Configuration diagram of catalyst flow control system

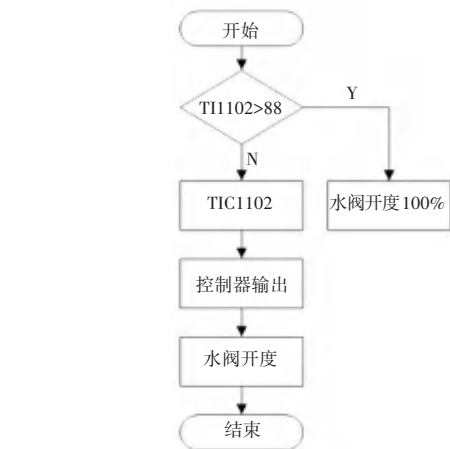


图 2 温度控制系统设计的流程图

Fig. 2 Flow chart of temperature control system design

2.3 反应釜液位控制系统的设计

反应釜中主要是物料 A、B 的混合物和催化剂以及反应的生成物,其中部分物质为气相,其它均为液态混合物。反应釜液位(LI1102)的控制同样涉及到反应釜的安全和反应的进行,液位过高会导致反应釜中气相物质空间相对变小,气相物质不能及时参加反应,引起压强逐渐增大,存在炸罐危险;液位过低则会引起化学反应不充分或反应速度大于进料速度,出现空罐的现象,最终都会导致反应停止。在此先设计一个单回路控制系统,在组态好控制回路后,进行 PID 参数设定,通过选择合适的参数使其达到最佳的控制效果。最终选择比例系数为 40,积分时间为 50 s 的 PI 控制器即可达到需要的效果,此时控制器具有较强的抗干扰能力。反应釜液位控制系统 CFC 程序设计如图 4 所示。

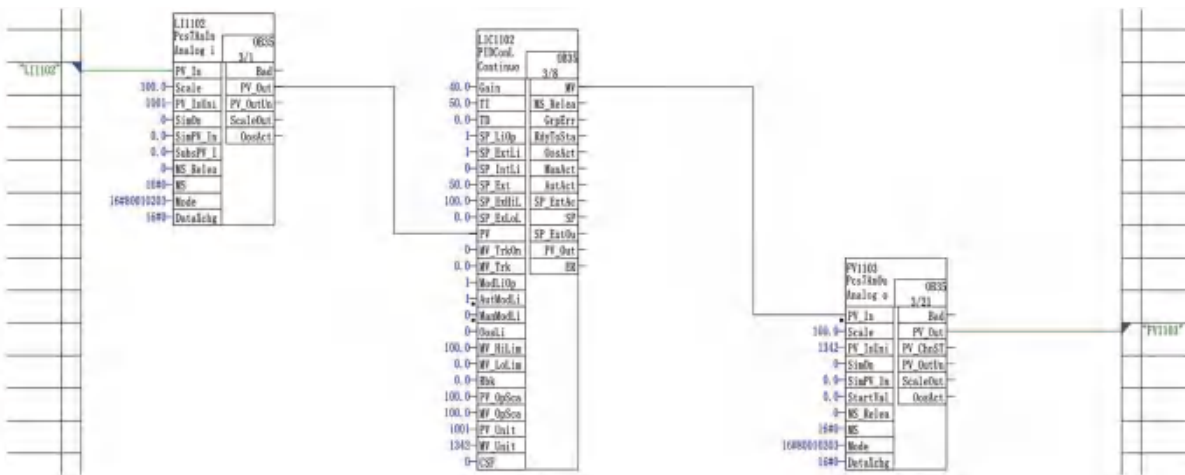


图 4 反应釜液位控制系统 CFC 程序设计图

Fig. 4 CFC programming drawings of reactor level control system

2.4 回收量控制系统的设计

回收量控制系统主要是控制回收的时间。若提前回收,则会导致闪蒸罐液位下降,甚至出现空罐的现象,而没有产量;若回收时间较晚,加上反应釜本

身的滞后性严重,整个系统反应滞后,导致反应釜温度控制器不起作用,压强迅速上升,引起反应釜炸裂。所以,本文设计回收系统时,在控制物料 A、B 流量时在 CFC 程序中加入选择模块,目的是为了减

小控制器的滞后性。此模块的 $IN1$ 表示由 A 物料控制的 B 物料的流量, $IN2$ 表示回收时 B 物料的流量, 由于在乘法器、选择器等模块在整个系统中需要处理计算等响应问题, 有一定的延时和滞后, 影响整个系统运行的稳定性。所以在开车程序中设计了在

系统运行之后的 30 s 内赋值 $IN1 = 1, IN2 = 0$, 之后由 $IN2$ 独立控制, 避免系统响应不及时而带来的误差和不稳定性, 提高了系统的鲁棒性。回收量控制系统 CFC 程序设计如图 5 所示。

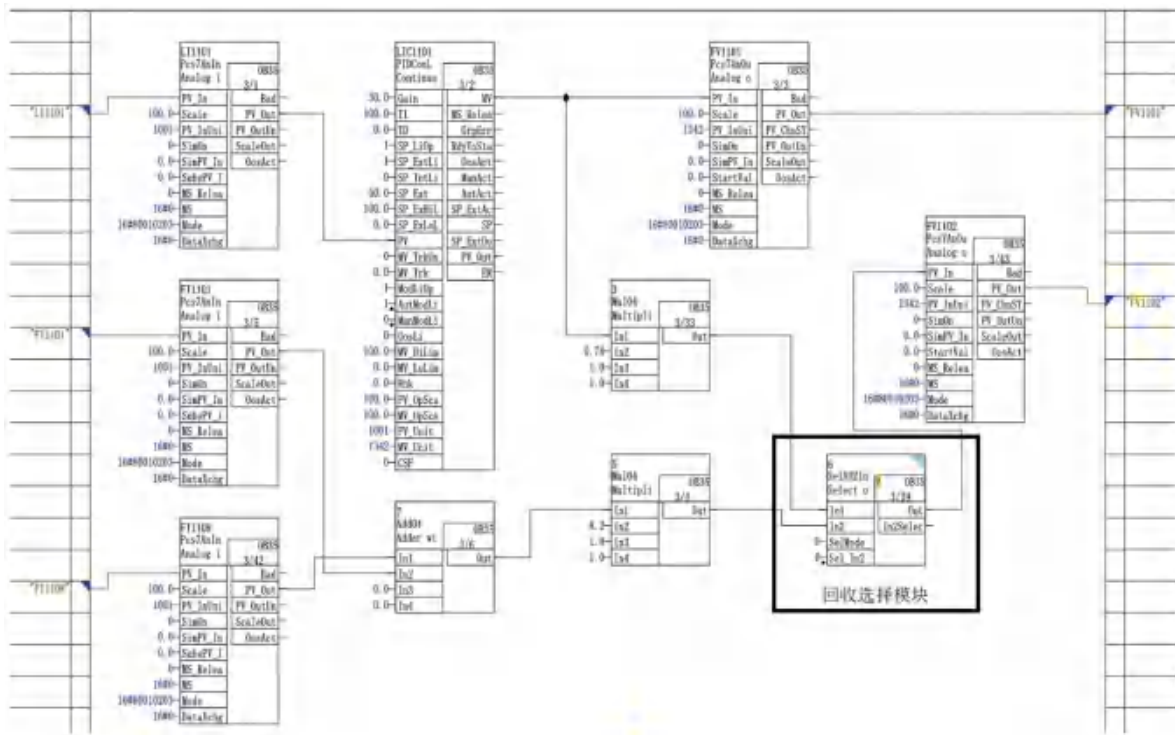


图 5 回收量控制系统 CFC 程序设计图
Fig. 5 CFC program design of recovery control system

3 系统产品的优化

在工业生产中, 产物质量是考核生产效益的重要标准, 产物质量数值上等于产物浓度与产物流量及时间的乘积。通常在其它安全指标符合标准的情况下, 生产线都会追求效益的最大化, 即在最短的时间内实现产物浓度的最大值以及稳定状态。但是浓度的大小并不是随意可控的, 其需要与整个化学反应控制系统相匹配。系统规定, 当产物浓度达到 80% 时, 产物达到合格标准。所以, 在最短的时间内将产物浓度达到 80%, 并在之后的过程中确保系统稳定进行, 浓度始终高于 80% 即可。

系统产品的优化主要是利用斜坡函数对产物流量进行优化控制。在 SCL 中自定义编译斜坡函数, 形成 CFC 模块并将输出管脚 (out) 连接到流量控制器的外给定管脚 (Sp_Ext)。此前, 在提升负荷方面, 预先设定产物流量为 7.5 kg/s, 此时产量为 12 552 kg, 没

有达到理想的最大值。在开车程序中设定目标值, 最终在产物流量为 7.82 kg/s 时, 符合该系统的产物累积量达到了最大值 12 937 kg, 在调试过程中, 尝试继续增大流量值, 此时反应釜压强迅速增大, 高于 350 KPa 时, 出现了炸罐现象。如图 6 所示。

4 系统运行与实现

经过不断的调试, 系统方案运行结果如图 7 所示。可以看到曲线平滑成一水平直线, 各项参数都达到了稳定状态。即使反应釜的压强 (PI1102) 在 680-1 000 s 之间存在波动, 在生产时间到 760.67 s 时, 压强达到了峰值 130.45 kPa, 该数值在安全范围之内, 并不影响整个系统的安全运行。系统达到稳态时各项参数如下: 反应釜压强 125.7 kPa、液位 $50 \pm 5\%$ 、催化剂流量 0.25 kg/s、产物流量 7.82 kg/s、产物累积量 12 937 kg。此为该系统设计方案中的最大值。

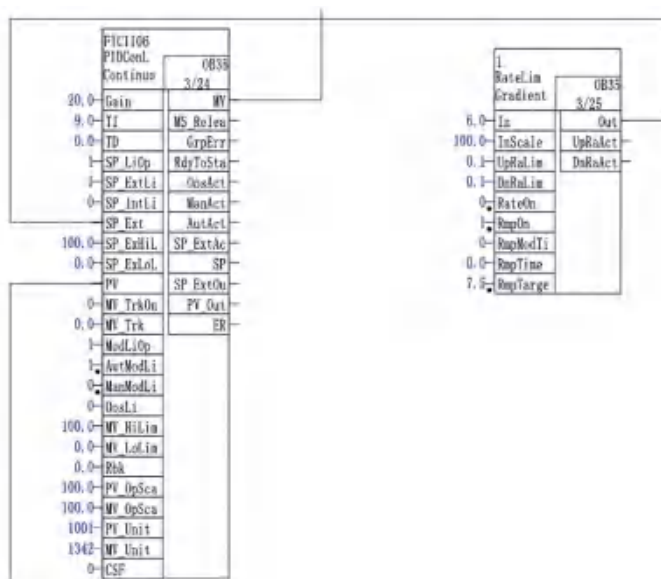


图6 斜坡函数控制模块 CFC 程序设计图

Fig. 6 CFC programming diagram of slope function control module



图7 生产线控制结果图

Fig. 7 Control result diagram of production line

5 结束语

本文针对化工生产过程中的反应釜系统设计, 主要对反应釜压强的控制和对产量的最大化追求。分析了影响压强的4个因素, 并依此设计出了合理完整的控制系统方案, 在产物控制方面, 进行了优化, 经过对系统的不断的调试和研究, 找到了该系统下产量的最大值。最后利用PCS7集散控制系统在SMPT-1000的实验平台上完成了验证, 各项参数的曲线都趋于稳定, 达到实际生产的控制要求, 具有较高的可行性。

参考文献

- [1] 王捷, 艾红. 基于PCS7的锅炉控制系统设计与实现[J]. 化工自动化及仪表, 2015, 42(1): 82-85+89.
- [2] 刘力溥, 袁建华, 陈庆, 等. 基于PCS7的工业生产连续过程控制系统的设计与实现[J]. 工业控制计算机, 2018, 31(7): 24-26.
- [3] 钱琳琳, 朱博帆, 何毅晨, 等. 基于PCS7的聚合反应器系统控制策略仿真实现[J]. 自动化与仪表, 2017, 32(6): 51-56.
- [4] 宋玉琴, 李超, 程诚, 等. 基于SIMATIC PCS7的化工反应釜综合控制系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2018, 37(5): 9-13.
- [5] 董哲, 谢龙, 张倩. 基于PCS7和SMPT-1000的锅炉控制系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2016(1): 107-110.
- [6] 汪官勇, 余粟. 基于PCS7的锅炉控制系统设计[J]. 自动化仪表, 2019, 40(2): 88-91.
- [7] 马听, 张贝克. 深入浅出过程控制: 小锅带你学过程控制[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [8] 张春晓. 基于SMPT-1000的锅炉系统控制方案设计及其实现[D]. 北京: 北京化工大学, 2013.
- [9] 倪晓杰, 马彦霞, 薄翠梅, 等. 基于PCS7的锅炉控制系统的设计和实现[J]. 控制工程, 2011, 18(6): 927-930.
- [10] 荀鹏飞, 荀延龙. 基于PCS7及SMPT-1000的蒸发器控制系统设计[J]. 电子设计工程, 2017, 25(15): 113-116.
- [11] 史冬琳, 李峰, 蔡子强, 等. 基于PCS7的锅炉顺序控制系统设计[J]. 东北电力大学学报, 2015, 35(6): 45-49.

(上接第89页)

- [3] 郑燕. 浅谈《Java程序设计》教学中存在的不足及改进方案[J]. 科学咨询(科技·管理), 2015(5): 121.
- [4] 黄大明, 秦钢年, 等. 提高实验教学人才培养功能适应创新人才培养[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(6): 126-129.
- [5] 陈昌鑫, 马英卓, 代月松, 等. 基于LabVIEW的虚拟实验系统设计[J]. 电子科技, 2011, 24(7): 85-87.
- [6] 宁芬, 周庆华, 唐立军, 等. 基于LabVIEW与Access的虚拟实验教学系统[J]. 智能计算机与应用, 2016, 6(5): 81-84.
- [7] 魏芸. 基于LabVIEW虚拟实验系统的研究[J]. 智库时代, 2018(45): 183-184.

- [8] 陈忠霞, 常龙, 黄云前, 等. 基于LabVIEW的高校实验信息管理系统[J]. 微型机与应用, 2016, 35(8): 76-78.
- [9] 梁蓓, 王鑫, 蒋平, 等. 虚拟实验系统应用于模拟电子技术教学[J]. 教育教学论坛, 2019(19): 265-267.
- [10] 张海波. 计算机网络虚拟实验教学平台的设计与实现探索[J]. 现代交际, 2018(21): 199+19.
- [11] 刘恩华. 基于LabVIEW的虚拟电子信息类实验教学系统的设计与研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
- [12] 宁芬. 基于LabVIEW的虚拟实验教学系统的研究与实现[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2017.