

# 一种高可靠低压电器试验系统设计

王爱军<sup>1</sup> 郭庭海<sup>1</sup> 吴亚琼<sup>1</sup> 周逸群<sup>2</sup> 胡新成<sup>1</sup> 盛喆<sup>1</sup> 王硕坤<sup>1</sup>

(1. 河南省产品质量检验技术研究院 河南郑州 450047 2. 郑州大学物理学院 河南郑州 450001)

摘要：为应对日益扩大的低压电气测试领域的需求，提升低压电器产品测试的自动化与可靠性，本文提出了一种高可靠低压电器试验系统。系统整合电气控制系统、总控制室及数据采集系统，通过现场总线技术精确调控试验环节，满足不同低压电器试品的多样化试验需求。同时提供直观易用的人机交互界面，简化操作并提升数据获取效率。通过搭建试验系统进行低压电器的通断能力试验和电寿命试验，验证系统设计的可行性和有效性。研究结果表明，该系统集成了多种试验电路、自动化程度高、可靠性强、操作便捷，能够满足交流 1200V 以下各种低压电器的试验需求，对低压电器测试领域提高生产效率和检验水平方面有一定的意义。

关键词：低压电器现场总线技术通断能力试验电寿命试验

## 1. 引言

在低压电气产品检测领域，传统低压电器试验检测设备主要依赖于交流接触器和断路器相配合的工作机制，并通过时间继电器和中间继电器的控制来执行试验<sup>[1]</sup>。然而，由于断路器和交流接触器的合闸电磁铁存在固有的动作时间，导致每个试验周期内的通电时间和试验周期之间的间隔时间存在很大的不准确<sup>[2]</sup>。此外，当需要改变试验方案时，检测设备的线路往往需要重新布线，这无疑增加了操作的复杂性和时间成本<sup>[3]</sup>。随着生产技术的不断进步，现代检验检测设备对功能完整性、系统可靠性以及适应不同试品类型进行多样化试验的能力提出了更高的要求。设备不仅需要具备高度的自动化程度，以减轻操作人员的负担，提高试验效率，还要求具有高可靠性，以确保试验过程安全可靠和试验数据的准确性。因此，研发一种集成多种试验、自动化程度高、可靠性强、操作便捷的低压电器试验系统很有必要。

## 2. 试验系统总体设计

为满足不断变化的检测需求，本文提出一种自动化程度高、集成度好、稳定可靠的低压电器试验系统。试验系统主要由集中控制系统、电气控制系统、数据采集系统以及三类试验区域构成，可以满足不同试品的多种试验要求，同时提高低压电器试验的自动化程度和可靠性，系统总体结构框图如图 1 所示。

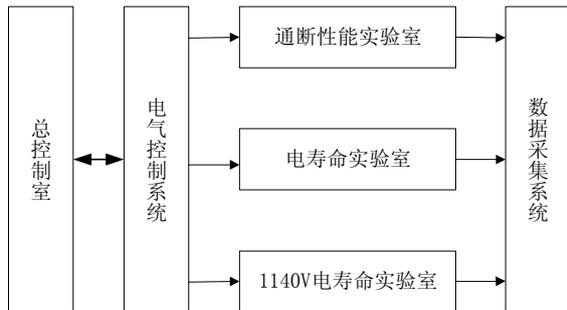


图 1 系统总体结构框图

试验系统通过集中控制系统发出指令，经由电气控制系统协调与调度各试验环节。电气控制系统负责控制三个核心试验区域：通断能力试验区、电寿命试验区以及 1140V 电寿命试验区，确保各试验区域高效协同工作，满足不同低压电器测试的具体需求。同时，数据采集系统将采集到各区域的电压、电流等数据上传至集中控制系统，存储、处理并进行波形实时显示。此外，本试验系统具备高灵活性和适应性，支持交流电压达 1200V、电流不超过 15kA 的各类低压电器进行通断能力测试、小型断路器短路试验，以及低压电器寿命试验。

电气控制系统拓扑图如图 2 所示，其中控制室的 PLC 通过 USB 与监控计算机相连，与各试验区的 PLC 以工业现场总线相连。控制软件向 PLC 发出命令，PLC 根据预设程序控制执行机构的动作，设备的动作信息通过两级 PLC 实时反馈给控制软件。同时，在试验公共区域布置有紧急停止按钮、柱灯、烟雾传感器和门锁等辅助设备，以便紧急处理，确保试验安全。

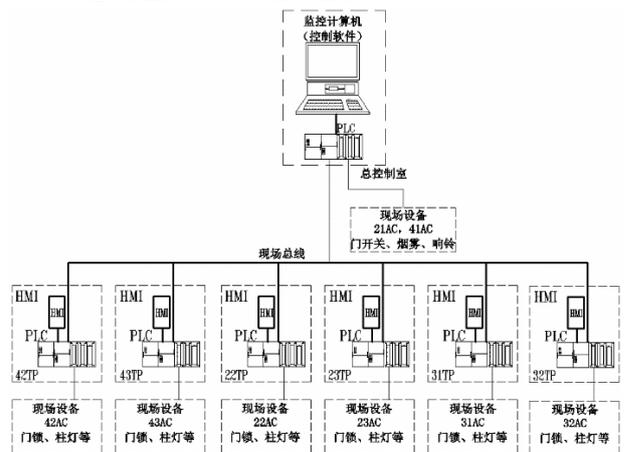


图 2 电气控制系统拓扑图

## 3. 系统可靠性设计

低压电器试验系统运行过程中，系统的可靠性直接关系到试验结果的准确性和试验过程的安全性。本文设计的低压电器试验系统，在多个方面进行可靠性设计与

优化，以确保试验的高效、稳定与安全运行。

(1)在电源供电方面,电寿命试验室和 1140V 电寿命试验室均采用独立变压器供电的方式,保证两个试验室之间的电源互不干扰,并且能够根据不同的试验需求提供稳定的电源供应;最大电流能力的设定也充分考虑试验的需求,确保试验过程中的电源稳定性;同时,不间断电源的配备以及模拟屏、紧急停止按钮等辅助设备的设置,进一步提高系统的可靠性和安全性。

(2)在系统通信方面,通过运用工业现场总线技术,实现对设备的精确控制,提高系统的控制能力。现场总线技术的应用不仅提升了设备的响应速度和准确性,而且减少了信号传输过程中的干扰和误差,从而提高了整个系统的可靠性。

(3)在电气控制方面,通过布置监控主机、总控制柜以及各个试验区的独立控制柜等设备,实现对试验过程的全面监控和控制;利用回路断路器的自动分离脱扣功能,在试品出现异常情况时能够及时切断电源,防止试验装置损坏;另外,在电气控制系统加入与试验相关的控制与硬件保护功能,进一步提升了系统的安全性。

#### 4. 软件系统设计

##### 4.1 数据采集系统设计

采用计算机数据采集及处理系统,在试验过程中对电源电压、试品端口电压、试验电流等信号进行采集、存储、分析、处理、显示,数据采集程序流程如图 3 所示。利用所采集的电压、电流信号可计算出实时功率、功率因数等数值,以便进行波形分析。

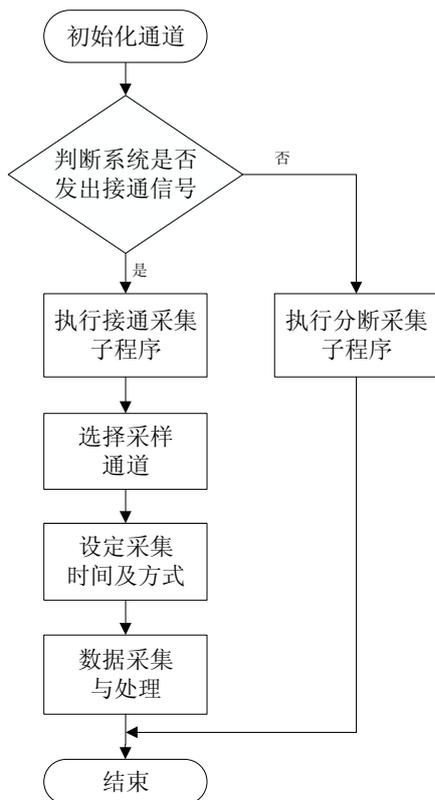


图 3 数据采集主程序流程图

##### 4.2 人机交互界面设计

人机交互界面是试验系统的重要组成部分,界面设计注重直观性、易用性和高效性,便于进行相关参数设置、模式选择、试验进程监控、试验数据获取、结果呈现以及系统相关操作。人机交互界面的布局清晰明了,功能模块划分明确,提供了丰富的操作选项和参数设置功能,以满足试验人员的不同需求。试验参数设置界面如图 4 所示。



图 4 试验参数设定界面

试验参数设置界面采用模块化的设计,在试验开始前需对相应的参数进行设置。设置不同的试验模式,既可以操作试验设备单次通断,也可以设置循环时间、循环次数以及每次循环的接通与分断时间进行循环试验,控制软件向 PLC 发出命令,PLC 根据预设程序控制执行机构的动作,同时设备的动作信息实时反馈给 PLC,在控制软件上显示。

另外,数据交互界面采用了图形化显示方式,实时将试验过程中的电压、电流等信号以波形图的形式呈现在界面上,如图 5 所示。通过波形图,能够直观地反映试品在试验过程中的通断状态以及电压、电流的变化情况。此外,还集成了数据分析和处理功能操作,可以通过界面对采集的数据进行相应的分析处理。

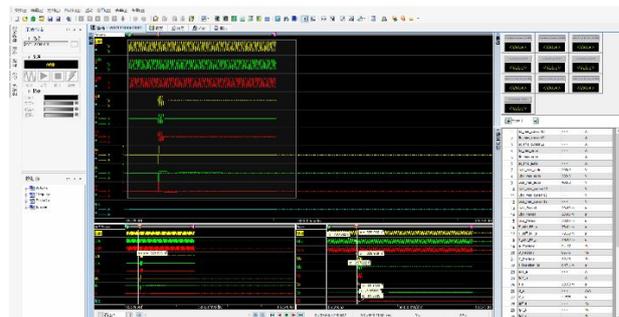


图 5 数据交互界面

#### 5. 实验与结果分析

为验证低压电器通断能力试验系统工作的稳定性和可行性,以低压断路器为研究对象,分别进行通断能力试验和电寿命试验,并在试验后验证低压断路器是否满足国家标准要求。

##### 5.1 低压断路器的通断能力试验

在低压电器检测领域，低压断路器的通断能力试验是评估其性能和安全性的重要手段。本试验主要对低压断路器的额定运行通断能力进行测试，断路器的通断能力试验主要包括额定运行短路分断能力、额定极限短路分断能力、最大短时耐受电流下的短路分断能力等。以额定运行短路分断能力为例，试验的操作顺序为：O-t-CO-t-CO，O表示一次断开操作；CO表示接通操作后经过适当的间隔时间后紧接着一次分断操作<sup>[4]</sup>。短路分断示波图如图6所示。

从图中可以看出，该产品分断能量为 38.26 kA<sup>2</sup>s、通断时间为 6.1ms，开断时的触头间的电弧电压呈现明显上升，电弧通过引弧跑道快速进入灭弧室，在灭弧室腔体内被熄灭。

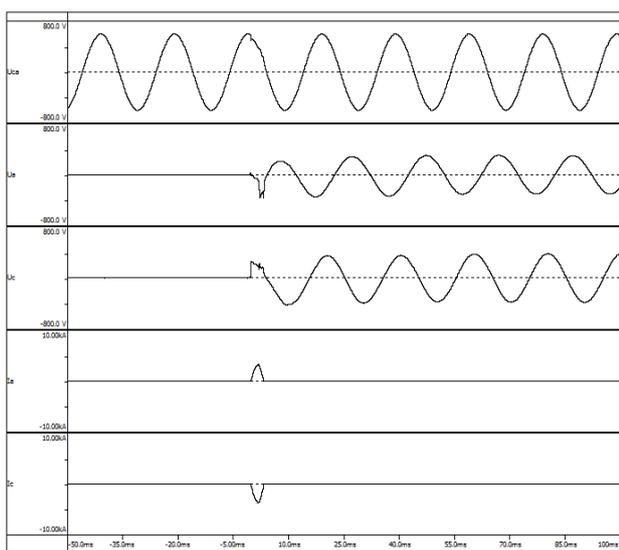


图6 短路分断示波图

试验完成后，进行泄漏电流和介电强度验证。泄漏电流测试结果均满足设计要求，可顺利通过介电强度试验，表明该产品在经受短路冲击后仍能保持良好的绝缘性能。此外，产品拆开，动、静触头没有严重烧蚀现象，电接触性能正常；短路试验后，产品能顺利通过介电绝缘性能测试以及过载试验，满足 GB/T 10963.1-2020 国家标准要求。

### 5.2 低压断路器电寿命试验

低压断路器电寿命试验是评估其在连续操作条件下的电气性能稳定性和耐久性的关键环节。在本次试验中，为研究低压断路器电寿命性能退化过程，选用塑料外壳式断路器，依据《GB/Z 22074 塑料外壳式断路器可靠性试验方法》标准对低压断路器进行电寿命性能退化试验<sup>[5]</sup>。三相电流电压试验波形图如图6所示。

在试验过程中，按照设定的操作次数 4000 次进行循环操作，操作频率根据电流大小的不同而有所区别。对于电流大于 32A 时，操作频率设为 120 次/h。通过这样的循环操作，模拟小型断路器在实际使用中的工作情况，

以检验其电寿命性能。

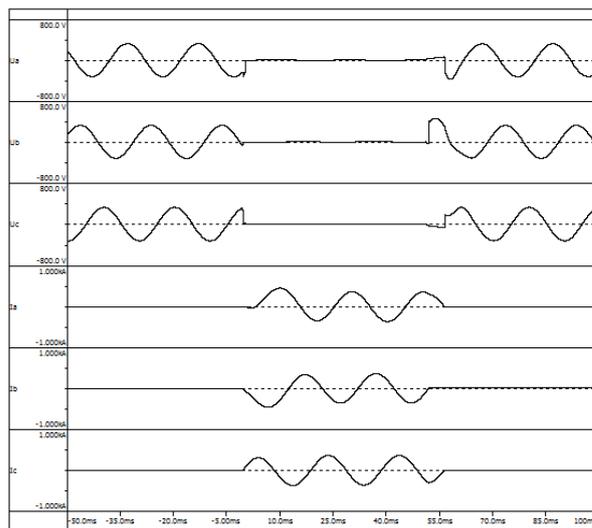


图7 三相电流电压试验波形图

试验完成后，对低压断路器是否出现过磨损、动触头位置和指示装置位置是否一致、外壳是否损坏至能被试指触及带电部件、电气或机械连接是否松动以及密封化合物是否渗漏等进行验证，未出现不良现象，试验后的断路器符合要求。此外，对断路器进行介电强度和脱扣特性验证，未发生闪络或击穿现象，且脱扣时间在规定的范围内，断路器的介电强度和脱扣特性符合标准要求。

### 6. 总结

本文设计了一种高可靠性低压电器试验系统，介绍了其系统总体设计、可靠性设计、数据采集系统和人机交互界面。通过对低压电器的通断能力与电寿命试验，验证了低压电器试验系统的设计性能和可靠性，为低压电器测试领域的研发、生产和质量控制提供有力支撑。

#### 参考文献：

- [1] 郇悦月. 电气工程中电气自动化融合技术的应用价值[J]. 模具制造: 1-3.
- [2] 袁学兵, 赵虎, 蔡明阳. 塑壳断路器短路分断试验研究[J]. 电器与能效管理技术, 2020, (06): 1-4.
- [3] 吕力. 微型断路器短路分断能力改进研究[J]. 现代建筑电气, 2023, 14(05): 16-23.
- [4] 陈西. 新型短路测试装置的研制[J]. 电工电气, 2020, (11): 66-68.
- [5] 李林. 低压断路器触点电气寿命试验及预测研究[D]. 西安理工大学, 2021

作者简介：王爱军（1982-），男，研究生学历，博士学位，高级工程师，从事检验检测。

基金项目：河南省市场监督管理局科研项目（项目编号：2021SJ28）