

一种永磁操作机构特征量自动采集测试系统设计

侯晓亮

通号(长沙)轨道交通控制技术有限公司, 湖南 长沙

收稿日期: 2026年8月9日; 录用日期: 2026年9月2日; 发布日期: 2026年9月9日

摘 要

高压真空断路器作为电力系统中一种重要的开关器件, 检测其机械特性和分合闸线圈电流能够及时发现断路器的潜在故障, 为相关检修提供依据, 保障电力系统的安全运行。文章针对传统永磁操作机构特性测试中存在的特征量缺失(如线圈操作电流、控制电压及电源状态等)、数据采集与整合依赖人工录入等问题, 设计了一种永磁操作机构特征量自动采集测试系统。通过选择合适的传感器及相关硬件并设计配套硬件电路, 实现了断路器的全自动控制、信息的全自动采集, 有效提升了工作效率, 减少了试验过程中的人为因素风险, 增加了试验安全性。为验证测试系统性能, 开展了正常分合闸行程特征量提取、控制电压变化下分合闸特征量提取, 以及分合闸电流特征量提取三组测试。试验结果表明, 该系统相较于传统永磁操作机构特征量采集, 在稳定度、便捷性上有着良好的优越性, 不仅提高了永磁操作机构特征量采集的效率, 还可为永磁操作机构的研究及智能化监测提供数据支撑。

关键词

操作机构, 特征, 自动, 采集, 测试系统

Design of an Automatic Feature Acquisition and Testing System for Permanent Magnet Operating Mechanism

Xiaoliang Hou

CRSC (Changsha) Rail Transit Control Technology Co., Ltd., Changsha Hunan

Received: August 9, 2026; accepted: September 2, 2026; published: September 9, 2026

文章引用: 侯晓亮. 一种永磁操作机构特征量自动采集测试系统设计[J]. 电路与系统, 2026, 15(3): 125-138.
DOI: 10.12677/ojcs.2026.15311

Abstract

As critical switching components in power systems, high-voltage vacuum circuit breakers can reveal potential faults by detecting their mechanical characteristics and the currents in the opening/closing coils, providing a basis for maintenance and ensuring the safe operation of power grids. Conventional characteristic testing systems for permanent magnet operating mechanisms suffer from prominent drawbacks: they fail to capture key parameters, including coil operating current, coil voltage, and power supply status, and rely on manual data entry for acquisition and integration. To address these limitations, an automatic acquisition and testing system for characteristic parameters of permanent magnet operating mechanisms is proposed in this paper. Appropriate sensors and hardware modules are selected, and corresponding hardware circuits are designed to realize fully automatic control of circuit breakers and unattended data collection. The proposed system effectively improves test efficiency, eliminates human-induced risks during experiments, and enhances overall test safety. Three groups of verification tests are carried out to evaluate the system performance, including the extraction of stroke characteristic parameters under normal opening/closing operations, characteristic parameter acquisition under variable control voltages, and sampling of opening/closing coil current characteristics. Experimental results demonstrate that compared with traditional acquisition equipment for permanent magnet operating mechanisms, the developed system achieves superior stability and user-friendliness. It not only boosts the efficiency of characteristic parameter collection, but also furnishes reliable data support for further research and intelligent online monitoring of permanent magnet operating mechanisms.

Keywords

Operating Mechanism, Characteristic, Automatic, Gather, Test System

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着供电领域对智能化的需求不断提高, 状态监测、故障诊断、风险预测和健康评估等技术已成为行业研究重点。高压真空断路器作为电力系统中一种重要的开关器件, 检测其机械特性和分合闸线圈电流能够及时发现断路器的潜在故障, 为相关检修提供依据, 保障电力系统的安全运行[1]。操作机构作为断路器的核心关键, 其状态评估和故障诊断算法研究与训练, 需依靠大量原始数据积累和特征数据综合分析, 也是断路器走向智能化的技术核心的基础和关键。传统永磁操作机构在特性测试时, 关键特征量采集不全面, 缺少线圈操作电流、控制电压及电源状态等重要参数, 且数据采集与整合仍采用人工录入方式, 致使试验数据对比分析困难, 无法适应技术快速发展的需求, 大幅降低了工作效率, 并增加了人为因素带来的风险。

2. 总体方案设计

本文提出的永磁操作机构特征量自动采集测试系统, 总体方案主要由 4 大部分组成, 分别为: 结构单元、硬件控制系统、数据采集系统、数据管理系统。其中, 结构单元为系统硬件设备安装空间及工作面; 硬件控制系统为电源系统及强电回路驱动; 数据采集系统为自动采集测试系统提供传感器数据高速采集; 数据管理系统为控制核心和数据处理, 负责发送控制指令、特征量采集、数据存储、测试管理等。其组成架构详见图 1。

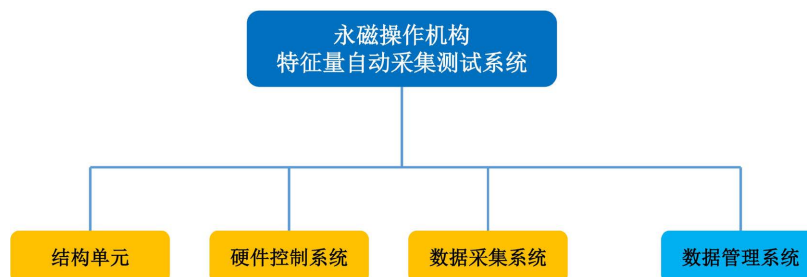


Figure 1. System composition architecture diagram
图 1. 系统组成架构图

2.1. 自动采集测试系统硬件及电路设计

以永磁操作机构特征量自动采集测试系统功能需求和测试的特征量采集为前提, 对硬件及电路做如下设计。

1) 硬件控制系统设计

自动采集测试系统的硬件核心为工控主机, 负责运行系统程序发出控制指令、通信指令、数据采集与存储指令、运算与显示指令等, 并存储数据。通过选择合适的传感器及相关硬件, 设计硬件电路[2], 实现了断路器的全自动控制、信息的全自动采集[3]。电源经 UPS 电源输出稳定 AC220V 电源, 工控主机则分别与高压直流电源、数据采集模块、嵌入式控制模块、I/O 模块等建立通讯关系。分合闸控制指令由工控主机经嵌入式控制模块向被测永磁操作机构控制回路输出有源控制信号; 数据采集模块采集特征量并回传至工控主机; 高压直流电源根据试验需求, 可程序控制输出不同的电源电压值, 并向被测永磁操作机构输出储能及分、合闸控制电源, 其输出电流电压均可任意调控; 显示器显示程序操作界面及采集数据参数与图谱波形。详见图 2。

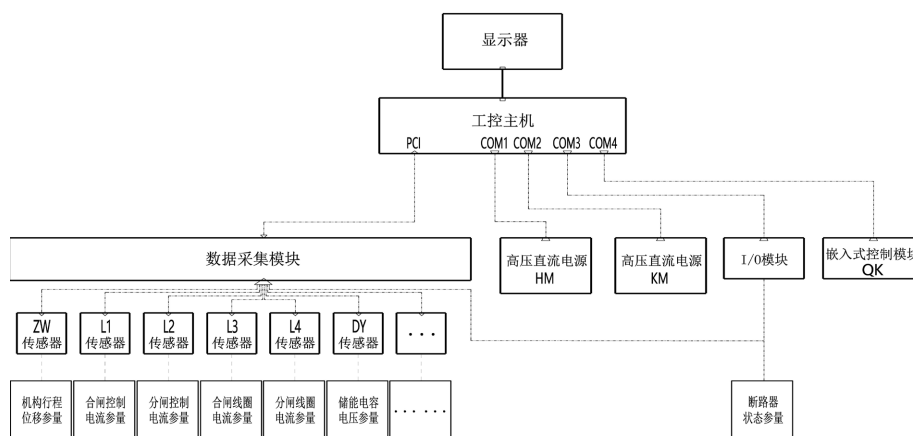


Figure 2. System hardware architecture
图 2. 系统硬件架构图

2) 数据采集系统设计

数据采集系统由数据采集模块、I/O 模块、采样电阻 $R1\sim R5$ 、霍尔电流传感器 $L1\sim L4$ 、位移传感器 ZW、电压传感器 DY、低压直流开关电源模块 Z15 和 Z24、采样转接航插 CZ1~CZ5 等组成[4]。其中, 位移传感器 ZW 为角度位移传感器(也可为直线位移传感器)经采样转接航插 CZ3 布置于被测操作机构传动路径中, 用于采集行程相关特征量; 霍尔电流传感器 $L1$ 、 $L2$ 布置于被测永磁操作机构分合闸控制回路

中,用于采集分合闸控制回路电流特征量;霍尔电流传感器 L3、L4 经采样转接航插 CZ1、CZ2 布置于被测永磁操作机构分合闸线圈回路中,用于采集分合闸线圈电流特征量,电压传感器 DY 布置于永磁操作机构的储能回路,用于负责采集储能电压特征量。

由低压直流开关电源模块 Z15 和 Z24 提供上述传感器工作电源, 具体的特征量采集流程为: I/O 模块负责采集断路器触头状态(即永磁操作机构分合闸状态), 经采样转接航插 CZ5 将采样回的开关量转换为模拟量发送至数据采集模块, 以通讯方式将状态信息报送给工控主机的软件系统, 为测试平台提供特征量采集过程起始依据。由工控主机发送的分合闸控制信号触发数据采集模块启动, 霍尔电流传感器 L1~L4 及位移传感器 ZW 经对应采样电阻采集特征量上传至数据采集模块; 电压传感器 DY 将采集储能电压特征量传输至数据采集模块。详见图 3。

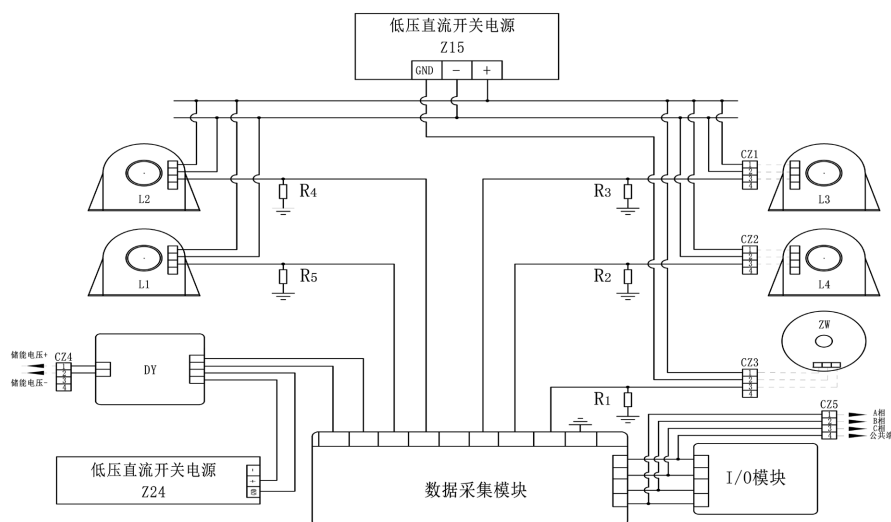


Figure 3. Schematic diagram of data acquisition
图 3. 数据采集原理图

3) 数据采集核心元件选型

位移传感器 ZW 可选用角/直线位移传感器，4~20 mA 信号抗干扰能力强，适配工业测试现场长距离布线需求；角度传感器覆盖 0~360° 全量程、直线位移传感器量程 50 mm，可完整捕捉断路器分合闸机械行程、转角全过程，满足机械特性测试量程要求。

霍尔电流传感器 L1~L4 采用不同量程霍尔传感器，区分主线圈大电流与控制回路小电流测量；隔离式霍尔方案不破坏原有一次回路接线，可同步采集分闸瞬时冲击电流、稳态控制电流，精准分析线圈动作电气特性。

电压传感器 DY 采用储能电容电压分压器, 实现电容电压实时连续采集, 用于判断储能机构储能电压变化, 为断路器动作能量分析提供电压数据支撑。

I/O 模块搭载 RS232 通用通讯接口,可与上位机、采集卡互联互通;采集触头状态,实现测试流程自动启停、状态反馈闭环控制。

数据采集模块采用数据采集卡 PCI-6143, PCI 总线直连工控主机, 16 位高精度分辨率、单通道 250 kS/s 高速采样、8 路同步采集通道, 可同步接入多路位移、电流、电压传感器模拟信号; 高采样速率完整捕捉分合闸毫秒级瞬态过程, 多通道同步采集保证电气、机械数据时序对齐, 满足同步测试需求。

整体选型统一采用工业标准模拟量输出、通用供电与通讯协议,设备兼容性强,抗现场电磁干扰,硬件量程覆盖断路器机械、电气测试指标,可更好搭建一体化同步测试系统。详见表1。

Table 1. Reference selection of main sensors and data acquisition cards
表 1. 主要传感器及数据采集卡参考选型

序号	名称	型号规格	核心参数
1	角位移传感器	B100LA-3006-24VA420	测量范围：0~360° 输出范围：4~20 mA
2	直线位移传感器	KTC2-50mm	测量范围：50 mm 输出范围：4~20 mA
3	分闸线圈电流霍尔传感器	CSM050LT	测量范围：±50 A 输出范围：±50 mA
4	合闸线圈电流霍尔传感器	CSM200LT	测量范围：±200 A 输出范围：±100 mA
5	分闸控制电流霍尔传感器	CSM050LT	测量范围：±50 A 输出范围：±50 mA
6	合闸控制电流霍尔传感器	CSM050LT	测量范围：±50 A 输出范围：±50 mA
7	储能电容电压分压器	SIN-DZU-300V	测量范围：±50 A 输出范围：4~20 mA
8	I/O 模块	C2000-A2-SDD8080-AC2	通讯接口：RS232 输出范围：0~20 mA
9	数据采集卡	PCI-6143	总线类型：PCI 分辨率：16 位 最大采样率：250 kS/s/通道 通道数量：8 路

4) 硬件电路设计

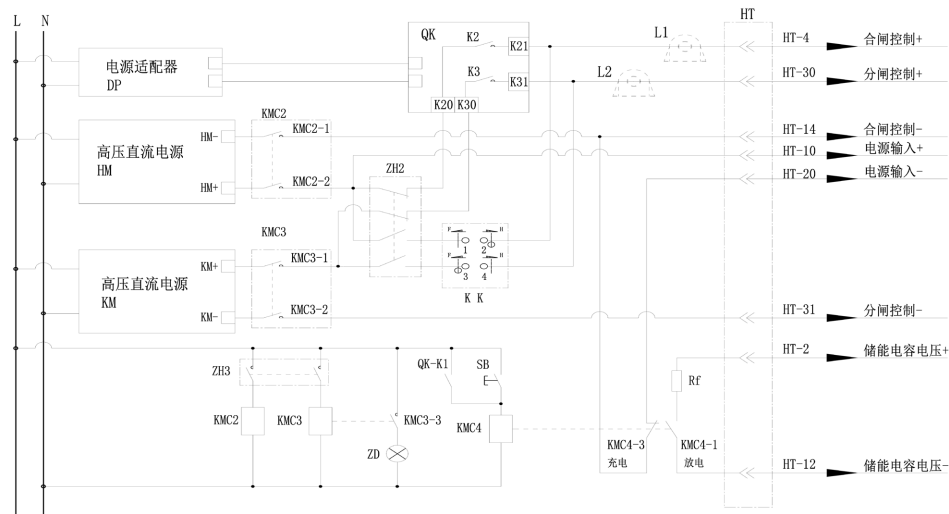


Figure 4. Schematic diagram of hardware control circuit
图 4. 硬件控制电路原理图

硬件电路分为驱动电源回路和放电回路。驱动电源回路由高压直流电源 HM、KM，电源适配器 DP、嵌入式控制模块 QK 组成[5]。具体驱动电源控制流程如下：将旋转开关 ZH3 旋至闭合，接触器 KMC2、KMC3 线圈得电，由其常开触点闭合导通高压直流电源 HM、KM 输出回路，当转换开关 ZH2 为自动档位时(原理图纸默认状态)，分、合闸控制指令以通讯方式自工控主机软件控制系统经由嵌入式控制模块 QK-K2、QK-K3 输出，至被测永磁操作机构控制回路；当转换开关 ZH2 为手动档位时，则由分合闸旋鈕

KK 向被测操作机构下达分、合闸控制指令。当放电回路工作时，可由嵌入式控制模块 QK-K1 程控放电，亦可通过按钮 SB 人工手动放电，即工控主机系统程序控制嵌入式控制模块 QK-K1 或按钮 SB 接通回路，接触器 KMC4 线圈得电，由触点 KMC4-1 闭合，使释能电阻 Rf 为储能电容放电；由触点 KMC4-3 断开切断电源输出回路，使供电和放电操作不得同时启动，形成供放电联锁保护。详见图 4。

2.2. 自动采集测试系统的特征量采集提取

本文提出的永磁操作机构特征量自动采集测试系统基于 PCI-6143 数据采集卡完成软件系统开发。针对数据采集及信息集成系统采集信号的分类进行分析，结合数据采集及信息集成系统设计功能，包括采集数据、处理数据、数据咨询、数据传输等[6]，整个系统大致分为四个层次，分别是运行界面、采集软件主程序、各个功能模块程序以及构成各个功能模块的子模块。主要完成与第三方数据采集卡通信、设备控制、实时特征量数据采集并进行存储，同时可对存储到的数据进行回读，输出报表或者波形图。详见图 5。

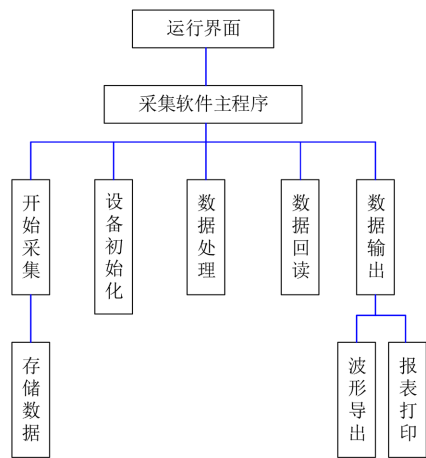


Figure 5. Test system software design hierarchy diagram
图 5. 测试系统软件设计层次图

1) 电流特征量提取

分合闸电流特征量提取如图 6 所示(以合闸电流为例):

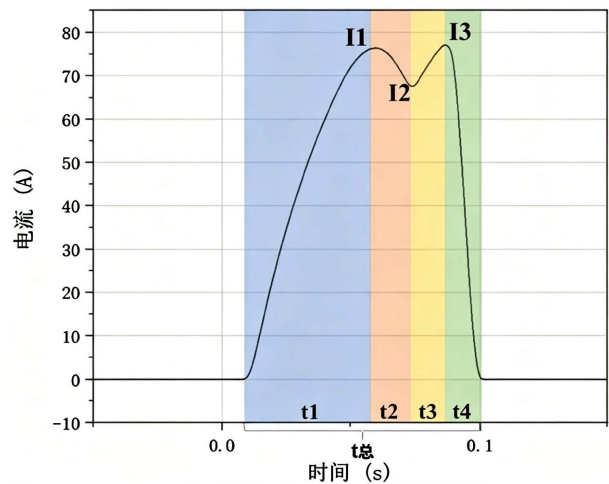


Figure 6. Schematic diagram of characteristic quantity acquisition for closing current
图 6. 合闸电流特征量采集示意图

I1: 分合闸线圈电流中第一次波峰对应的幅值。

I2: 分合闸线圈电流中波谷对应的幅值。

I3: 分合闸线圈电流中第二次波峰对应的幅值。

t1: 分合闸电流阶段 1 时长(0→第一波峰)。

t2: 分合闸电流阶段 2 时长(第一波峰→波谷)。

t3: 分合闸电流阶段 3 时长(波谷→第二波峰)。

t4: 分合闸电流阶段 4 时长(第二波峰→0)。

t 总: 分合闸电流曲线总时间。

2) 行程特征量提取

行程(角位移)特征量提取如图 7 所示(以分闸为例):

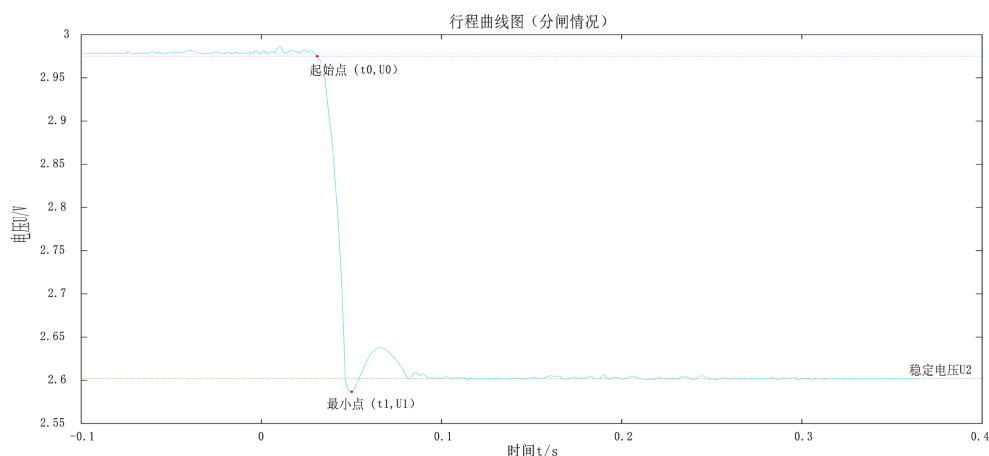


Figure 7. Schematic diagram of mechanical stroke feature quantity collection

图 7. 机械行程特征量采集示意图

其中有:

U0 ——起始电压

U1 ——最大/小电压

U3 ——稳定电压

t0 ——起始时间

t1 ——最大/最小电压对应的时间

d ——合闸/分闸总行程

v ——平均速度

另外, 对应机械部分, 如图 8 所示:

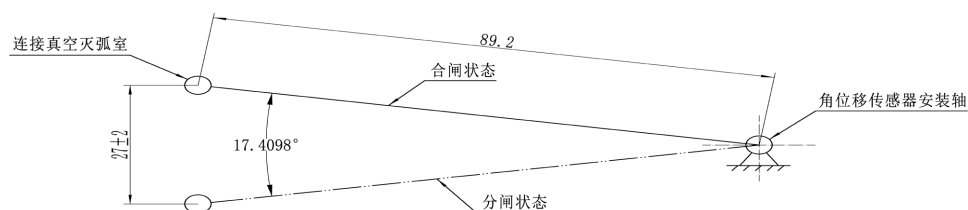


Figure 8. Mechanical schematic diagram of stroke angle

图 8. 行程 - 角度机械原理图

角度 φ 和直线位移 d 之间的换算关系如下：

$$d = 2\sin(\varphi/2) * L \approx \varphi * L$$

3) 特征量算法流程

特征量算法如流程图图 9 所示：

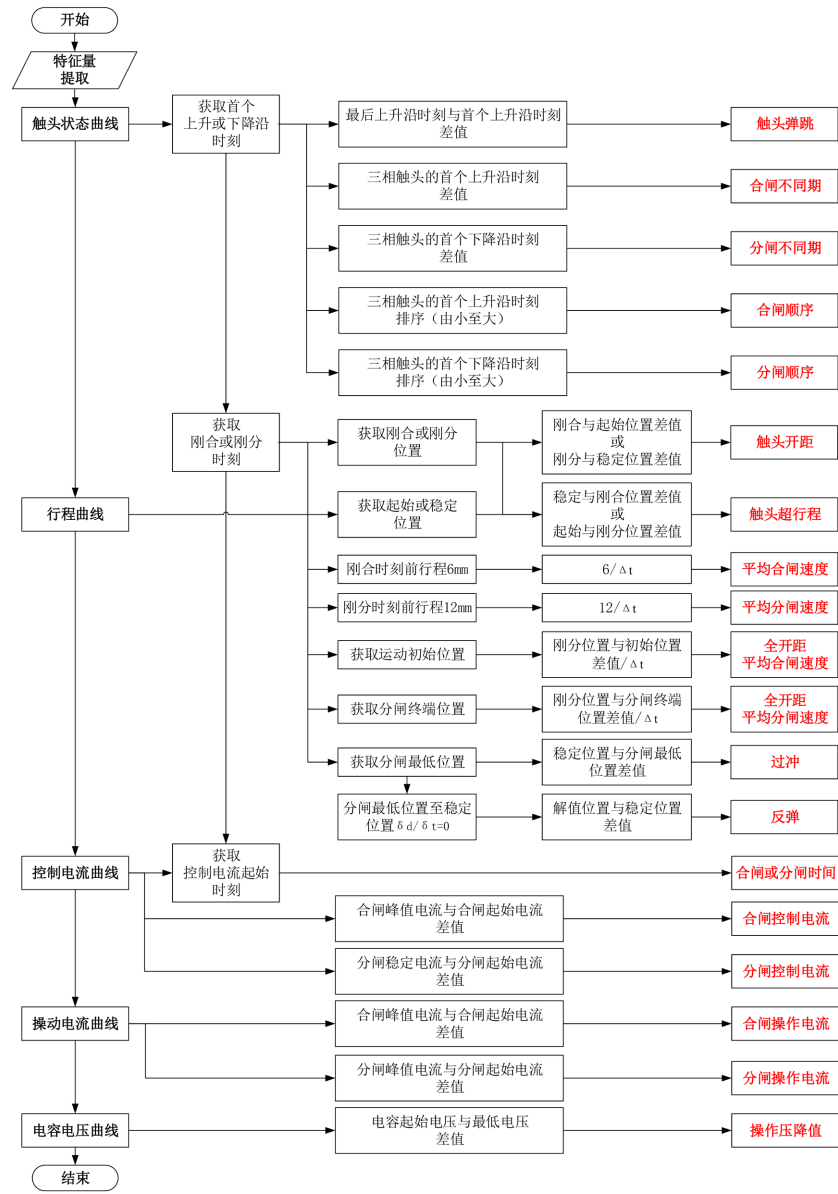


Figure 9. Feature-quantity algorithm flowchart
图 9. 特征量算法流程图

3. 试验验证

为掌握永磁操作机构特征量自动采集测试系统性能的稳定性与测试精度，本文随机选取一台配置永磁操作机构的 27.5 kV 真空断路器进行测试，开展正常分合闸行程特征量提取、控制电压变化下分合闸特征量提取，以及分合闸电流特征量提取三组试验验证，具体试验结果如下。

测试结果 1:

正常分合闸的行程曲线如图 10 所示:

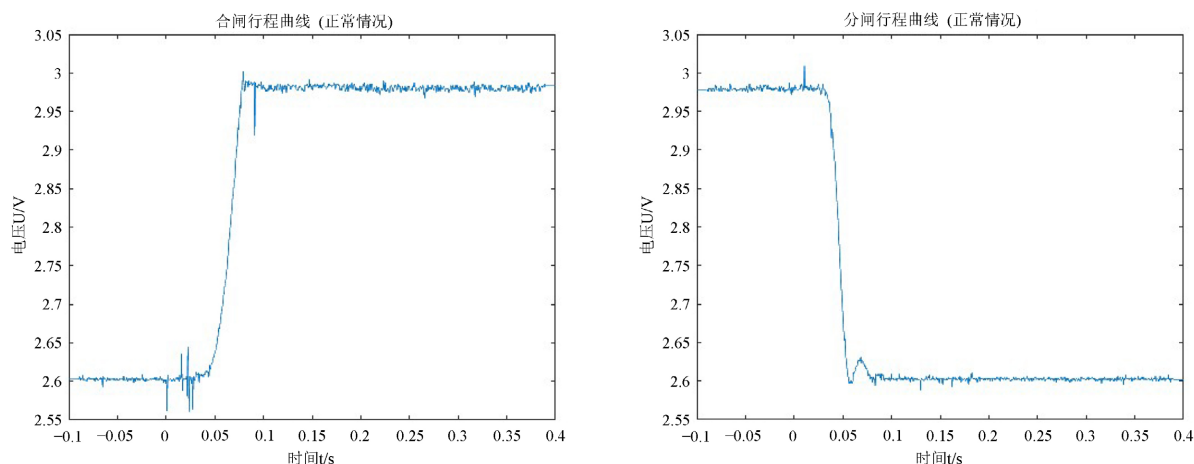


Figure 10. Schematic diagram of travel curve

图 10. 行程曲线示意图

对应的特征量提取结果如表 2 和表 3 所示, 即:

Table 2. Extraction of closing characteristics under normal conditions

表 2. 正常情况下合闸特征量提取

组别	U0/V	U1/V	U3/V	t0/s	t1/s	d/mm	v/m·s ⁻¹
1	2.602	2.989	2.983	0.023	0.076	29.157	0.541
2	2.603	2.986	2.975	0.035	0.080	28.383	0.864
3	2.602	2.989	2.974	0.028	0.087	28.405	0.818
4	2.604	2.988	2.984	0.035	0.079	29.083	0.744
5	2.601	2.985	2.977	0.037	0.080	28.719	0.722
6	2.603	2.987	2.982	0.030	0.079	28.950	0.765
7	2.600	2.985	2.977	0.029	0.083	28.781	0.648
8	2.603	2.990	2.979	0.032	0.082	28.781	0.742
9	2.602	2.989	2.977	0.026	0.080	28.616	0.647
10	2.602	2.993	2.981	0.029	0.077	28.970	0.683
平均	2.602	2.988	2.979	0.030	0.080	28.785	0.717

Table 3. Extraction of opening characteristics under normal conditions

表 3. 正常情况下分闸特征量提取

组别	U0/V	U1/V	U3/V	t0/s	t1/s	d/mm	v/m·s ⁻¹
1	2.981	2.593	2.596	0.030	0.063	29.481	1.249
2	2.984	2.594	2.601	0.025	0.061	29.263	1.079
3	2.983	2.596	2.608	0.031	0.060	28.645	1.456
4	2.980	2.593	2.602	0.035	0.061	28.901	1.597
5	2.980	2.593	2.596	0.032	0.058	29.273	1.490

续表

6	2.980	2.591	2.604	0.027	0.057	28.750	1.449
7	2.975	2.594	2.602	0.037	0.061	28.509	1.611
8	2.979	2.595	2.604	0.031	0.057	28.693	1.694
9	2.978	2.594	2.603	0.036	0.062	28.652	1.557
10	2.977	2.598	2.602	0.032	0.059	28.704	1.530
平均	2.980	2.594	2.602	0.032	0.060	28.887	1.471

测试结果 2:
控制电压变化下, 分合闸的行程曲线图如图 11 所示:

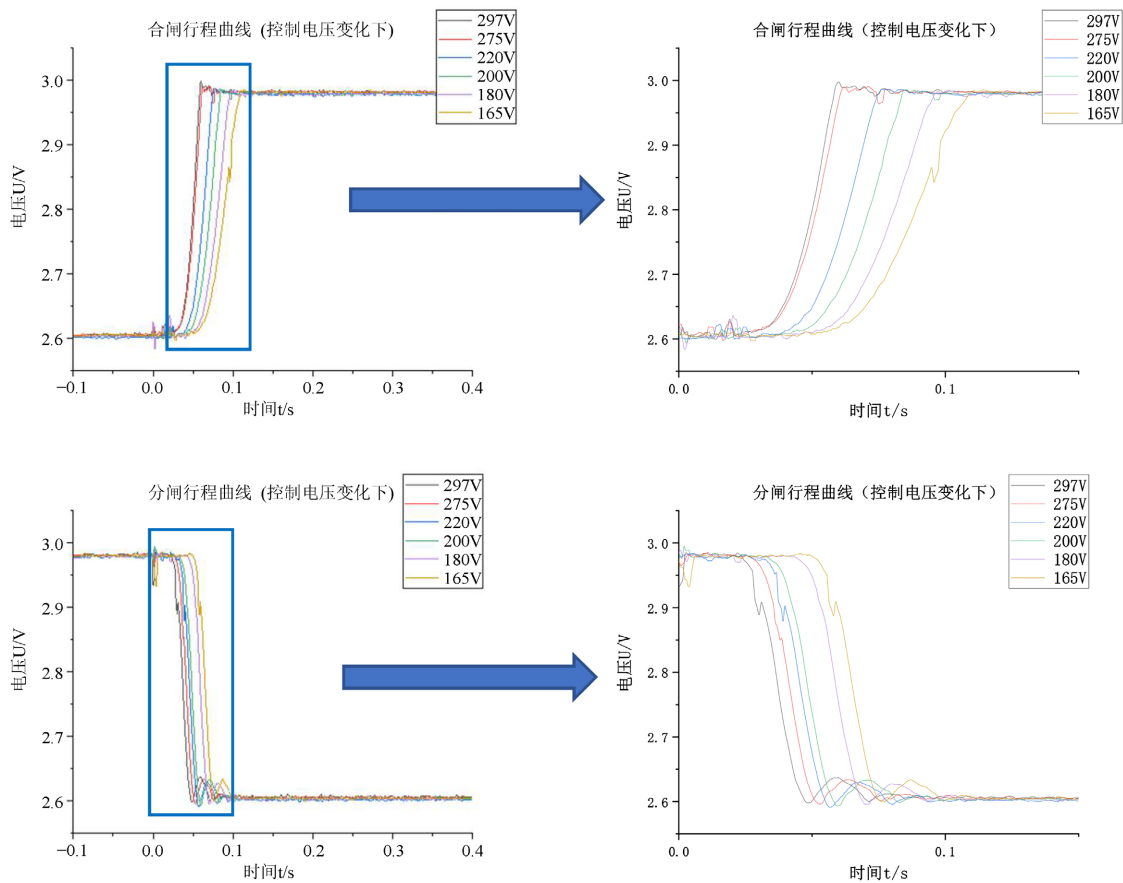


Figure 11. Schematic diagram of stroke curve under control voltage variation
图 11. 控制电压变化下行程曲线示意图

对应的特征量提取结果如表 4 和表 5 所示, 即:

Table 4. Extraction of closing characteristics under control voltage changes
表 4. 控制电压变化下合闸特征量提取

电压	组别	U0/V	U1/V	U3/V	t0/s	t1/s	d/mm	v/m·s ⁻¹
297 V (135%)	1	2.604	2.998	2.983	0.028	0.062	29.013	0.952
	2	2.606	2.993	2.983	0.027	0.058	28.849	1.015

续表

297 V (135%)	3	2.605	2.998	2.982	0.028	0.060	28.822	0.994
	4	2.605	2.993	2.982	0.030	0.062	28.859	1.148
	5	2.605	2.990	2.982	0.031	0.062	28.787	1.080
	平均	2.605	2.994	2.983	0.029	0.061	28.866	1.038
275 V (125%)	1	2.603	2.990	2.983	0.030	0.072	29.002	1.185
	2	2.606	2.989	2.983	0.028	0.064	28.815	0.857
	3	2.606	2.991	2.983	0.028	0.071	28.797	1.171
	4	2.606	2.991	2.982	0.032	0.074	28.755	1.246
200 V (91%)	5	2.603	2.989	2.980	0.035	0.065	28.814	1.021
	平均	2.605	2.990	2.982	0.030	0.069	28.837	1.096
	1	2.603	2.988	2.977	0.037	0.097	28.654	0.861
	2	2.601	2.986	2.979	0.042	0.095	28.861	0.705
180 V (82%)	3	2.600	2.986	2.987	0.036	0.086	29.608	0.625
	4	2.603	2.987	2.978	0.038	0.089	28.641	0.748
	5	2.602	2.986	2.979	0.039	0.096	28.883	0.853
	平均	2.602	2.987	2.980	0.038	0.092	28.929	0.758
165 V (75%)	1	2.602	2.985	2.979	0.046	0.101	28.870	0.715
	2	2.604	2.986	2.981	0.049	0.100	28.833	0.818
	3	2.602	2.985	2.981	0.045	0.101	28.917	0.684
	4	2.605	2.983	2.980	0.048	0.100	28.693	0.791
165 V (75%)	5	2.606	2.986	2.981	0.051	0.101	28.644	0.764
	平均	2.604	2.985	2.981	0.048	0.101	28.791	0.755
	1	2.603	2.981	2.981	0.056	0.115	28.858	0.631
	2	2.604	2.984	2.981	0.052	0.110	28.834	0.644
165 V (75%)	3	2.605	2.983	2.981	0.056	0.113	28.731	0.656
	4	2.604	2.982	2.979	0.056	0.113	28.655	0.630
	5	2.604	2.981	2.978	0.052	0.108	28.561	0.659
	平均	2.604	2.982	2.980	0.054	0.112	28.728	0.644

Table 5. Extraction of opening characteristics under control voltage changes**表 5.** 控制电压变化下分闸特征量提取

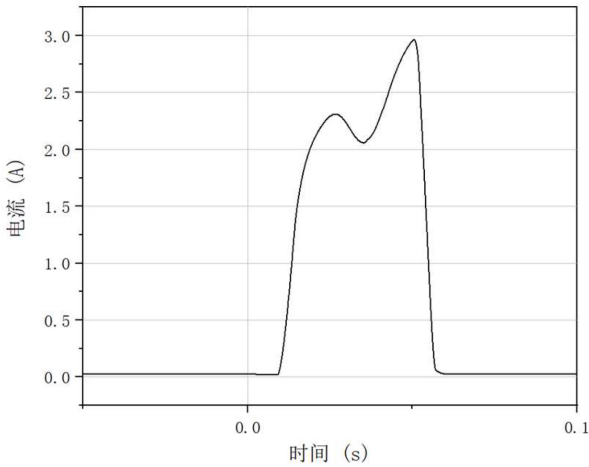
电压	组别	U0/V	U1/V	U3/V	t0/s	t1/s	d/mm	v/m·s ⁻¹
297 V (135%)	1	2.981	2.595	2.605	0.029	0.052	28.726	1.676
	2	2.982	2.597	2.609	0.033	0.053	28.502	1.801
	3	2.977	2.596	2.606	0.029	0.052	28.385	1.657
	4	2.981	2.598	2.604	0.024	0.049	28.804	1.692
	5	2.980	2.598	2.606	0.028	0.052	28.551	1.665
	平均	2.980	2.597	2.606	0.028	0.052	28.593	1.698
275 V (125%)	1	2.981	2.597	2.607	0.025	0.049	28.622	1.751
	2	2.979	2.595	2.601	0.027	0.051	28.882	1.698

续表

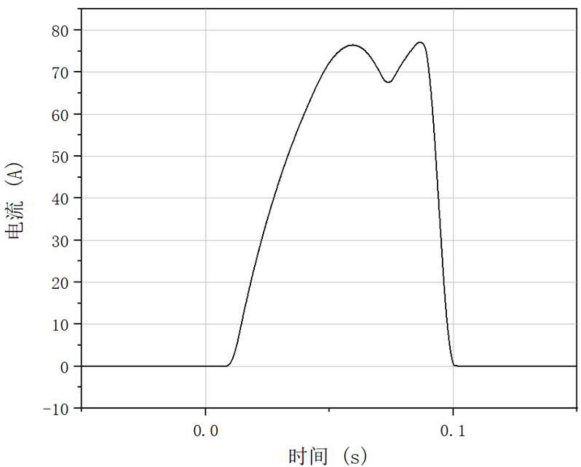
275 V (125%)	3	2.980	2.595	2.603	0.026	0.050	28.830	1.686
	4	2.981	2.593	2.605	0.025	0.050	28.724	1.642
	5	2.981	2.596	2.605	0.028	0.053	28.720	1.647
	平均	2.980	2.595	2.604	0.026	0.051	28.755	1.685
200 V (91%)	1	2.981	2.592	2.604	0.048	0.073	28.795	1.713
	2	2.978	2.594	2.602	0.035	0.058	28.786	1.721
	3	2.978	2.593	2.604	0.035	0.059	28.633	1.655
	4	2.979	2.599	2.604	0.034	0.059	28.666	1.639
180 V (82%)	5	2.978	2.595	2.602	0.041	0.065	28.782	1.508
	平均	2.979	2.595	2.603	0.038	0.063	28.732	1.647
	1	2.982	2.597	2.602	0.047	0.071	28.997	1.569
	2	2.980	2.597	2.606	0.039	0.064	28.617	1.606
165 V (75%)	3	2.977	2.596	2.605	0.046	0.070	28.452	1.594
	4	2.977	2.594	2.603	0.049	0.073	28.608	1.633
	5	2.978	2.594	2.604	0.048	0.072	28.616	1.623
	平均	2.979	2.596	2.604	0.046	0.070	28.658	1.605
	1	2.979	2.590	2.600	0.047	0.071	28.980	1.648
	2	2.980	2.600	2.605	0.052	0.077	28.623	1.688
	3	2.979	2.593	2.603	0.058	0.082	28.722	1.735
	4	2.978	2.594	2.602	0.044	0.069	28.718	1.664
	5	2.978	2.592	2.604	0.071	0.096	28.634	1.335
	平均	2.979	2.594	2.603	0.054	0.079	28.735	1.614

测试结果 3:

分、合闸电流曲线如图 12 所示:



(a) 分闸曲线



(b) 合闸曲线

Figure 12. Opening and closing current curve
图 12. 分、合闸电流曲线

分合闸电流特征量提取结果如表 6 和表 7 所示:

Table 6. Extraction results of closing current characteristics

表 6. 合闸电流特征量提取结果

组别	回路电流/A			时间间隔/s				总时间
	I1	I2	I3	阶段 1	阶段 2	阶段 3	阶段 4	
1	76.1409	65.9535	76.7678	0.0499	0.0144	0.0124	0.0141	0.0908
2	75.9462	65.9535	77.6108	0.0497	0.0143	0.0137	0.0137	0.0913
3	74.2504	63.9128	74.0990	0.0508	0.0152	0.0121	0.0134	0.0915
4	76.2276	66.2563	78.2810	0.0504	0.0145	0.0148	0.0150	0.0945
5	76.5523	66.5267	77.6322	0.0499	0.0142	0.0129	0.0135	0.0904
6	77.5015	67.5424	80.1715	0.0493	0.0140	0.0146	0.0145	0.0923
7	73.8841	63.5118	75.2008	0.0512	0.0155	0.0153	0.0154	0.0973
8	75.6764	65.6184	77.8055	0.0502	0.0145	0.0151	0.0150	0.0947
9	75.7404	65.6293	77.2647	0.0502	0.0146	0.0139	0.0163	0.0949
10	75.8393	65.6941	76.9949	0.0501	0.0151	0.0136	0.0156	0.0944
平均	75.7759	65.6599	77.1828	0.0502	0.0146	0.0138	0.0147	0.0932

Table 7. Extraction results of characteristics of opening current

表 7. 分闸电流特征量提取结果

组别	回路电流/A			时间间隔/s				总时间
	I1	I2	I3	阶段 1	阶段 2	阶段 3	阶段 4	
1	2.1261	1.7366	2.7617	0.0132	0.0091	0.0164	0.0057	0.0443
2	2.1626	1.7967	2.8339	0.0138	0.0094	0.0158	0.0057	0.0447
3	2.2224	1.8857	2.7083	0.0173	0.0090	0.0140	0.0120	0.0522
4	2.2244	1.8929	2.8201	0.0154	0.0098	0.0165	0.0057	0.0474
5	2.2455	1.9418	2.8160	0.0161	0.0103	0.0164	0.0056	0.0483
6	2.1261	1.7366	2.7617	0.0132	0.0091	0.0164	0.0057	0.0443
7	2.1626	1.7967	2.8339	0.0138	0.0094	0.0158	0.0057	0.0447
8	2.2224	1.8857	2.7083	0.0173	0.0090	0.0140	0.0120	0.0522
9	2.2244	1.8929	2.8201	0.0154	0.0098	0.0165	0.0057	0.0474
10	2.2455	1.9418	2.8160	0.0161	0.0103	0.0164	0.0056	0.0483
平均	2.1962	1.8507	2.7880	0.0152	0.0095	0.0158	0.0069	0.0474

将本文提出的自动采集测试系统与手动测试进行对比, 结果表明两者试验数据基本一致; 但手动测试受人为操作影响, 个别样本波动较大, 需进行补测或重新取样, 且单次测试耗时较长, 易造成人力成本浪费。实际运行测试证明, 该系统具备数据同步采集、存储与实时显示功能[7]。相较于传统永磁操作机构特征量采集方式, 本系统在稳定性和便捷性方面具有明显优势, 不仅显著提升了特征量采集效率, 还可为永磁操作机构的研究及智能化监测提供数据支撑。

4. 结论与展望

本文结合 GB 1984《高压交流断路器》与 GB/T 11022《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》中关于操作机构的相关要求,在数据处理与显示单元的控制下利用数据采集回路单元对永磁操作机构的电流、电压、行程位移等特征量进行采集提取,实现了永磁操作机构系统化采集多特征量的自动化控制,提高了工作效率,减少了试验过程中人为因素风险,增加了试验安全性,推动了真空断路器操作机构测试方法的技术发展;同时,该自动化平台也可复用于不同类型弹簧操作机构的研究和特征量采集,可为电力系统智能化与电力设备状态监测技术发展提供有效的数据支撑。诚然,本测试系统虽已实现了自动化测试功能,但仍有诸多方面有待完善。具体而言,后续可进一步开展实验曲线的多特征量融合处理与对比分析,增设振动信号采集模块,并引入寿命试验过程中数据采集的自动控制机制。在今后的研究中,可围绕上述方向深入开展工作,以期实现永磁操作机构全生命周期自动测试平台的优化设计。

参考文献

- [1] 朱宁宁. 真空断路器综合特性检测系统的研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连交通大学, 2021.
- [2] 周广文. 真空断路器分合闸线圈电流检测及故障诊断系统设计[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连交通大学, 2023.
- [3] 杨泽. 10 kV 真空断路器机械特性的在线监测与故障诊断研究[D]: [硕士学位论文]. 恩施: 湖北民族大学, 2023.
- [4] 侯晓亮, 张成, 刘志国, 等. 一种操作机构数据采集系统与方法[P]. 中国, CN202310301122.3. 2023-07-11.
- [5] 侯晓亮, 张成, 刘志国, 等. 操作机构数据采集系统及其驱动回路模块、方法[P]. 中国, CN202310599119.4. 2023-09-29.
- [6] 王天宇. 数据采集及信息集成系统设计与应用[J]. 科技风, 2020(2): 97.
- [7] 张阳, 徐建源, 李斌. 高压真空断路器运动特性数据采集系统设计与实现[J]. 东北电力技术, 2012, 33(11): 1-4+23.