

手持式 SF₆密度继电器校核仪的研制

王文华, 孟祥海, 田海波, 茹世豪, 王 英, 吕志伟

(国网晋城供电公司, 山西 晋城 048000)

摘要: 针对目前 SF₆ 密度继电器校验仪器功能单一和便携性差的问题, 研制了一种新型手持式 SF₆ 密度继电器校核仪。该校核仪由信号变送器和检测主机组成, 采用射频技术互联, 信号变送器以快接插头方式与密度继电器和二次线缆双向连接, 可获取、传输和发射信号, 检测主机采用单片机控制微型电动气缸并进行压力调节, 自动采集存储数据。应用结果表明: 该校核仪接线快捷, 使用方便, 实现了信号变送器和检测主机无线连接, 校验与校核同步测试, 极大提高了工作效率。

关键词: 手持式; 射频技术; 快接插头; 单片机; 同步测试

Research on new type handheld collating device of SF₆ density relay

WANG Wenhua, MENG Xianghai, TIAN Haibo, RU Shihao, WANG Ying, LV Zhiwei

(State Grid Jincheng Power Supply Company, Jincheng 048000, China)

Abstract: In order to solve the problems of single function and poor portability in checking device, a new type handheld collating device of SF₆ density relay is designed. The collating device consists of signal transmitter and detection host composed by the radio frequency technology. The signals are received and transmitted by signal transmitter which connected with density relay and secondary wire. The detection host store the result of the measurement which controlled the mini electric pneumatic to change the pressure of the relay. The field detective data show that the collating device has advantages of wireless communication, simple structure and operation, which checked and collated simultaneously and efficiently.

Key words: handheld; radio frequency technology; shortcut plug, microcontroller; synchronous test

0 引言

SF₆ 具有卓越的电绝缘性和灭弧特性, 广泛应用于断路器、变压器和 GIS 等电力设备中^[1-2]。SF₆ 气体的泄漏及在寒冷状态下的液化会导致设备绝缘性能的下降, 甚至出现严重的事故等^[3-5]。SF₆ 密度继电器是 SF₆ 电力设备监视报警仪表, 在 SF₆ 气体发生泄漏或液化时, 密度继电器会通过保护回路发出报警信号, 直至闭锁开关的动作, 以保护设备, 防止事故的发生^[6-7]。传统 SF₆ 密度继电器校验仪

采用机械式手工操作, 体积大且笨重, 需外接气源^[8-9]。目前, 市场出现了电动校验仪, 可实现自动控制压力, 自动采集处理数据^[10-11], 但仍存在较多问题。

1) 主机便携性差, 一般为 10 kg 左右, 在现场表计较多时需要全场搬运, 费时费力, 对于较高位置的表计还需将仪器抬到高处寻找合适位置摆放。

2) 现场密度继电器校验需外接气源, 试验过程中使用气瓶中的 SF₆ 气体, 试验完毕回收利用, 增加了工序, 增大了仪器尺寸和重量。

3) 使用鳄鱼夹的线缆对二次信号进行采集, 夹接二次接头容易脱落或短路, 误发信号, 尤其是对较高位置的表计, 二次接头位置背向人员, 不仅接线困难, 更大大增加了人员坠落风险。

4) 保护回路信号核对需在校验结束后将二次接头盒恢复连接, 再次进行降压和加压, 重复工作, 效率低且污染环境。

基于以上问题, 本文设计了一种新型手持式密度继电器现场校核仪, 由信号变送器和检测主机组成, 采用射频技术互联, 利用设备本体内 SF₆ 作为气源, 体积小, 重量轻。信号变送器以快接插头方式与密度继电器和二次线缆双向连接, 可获取、传输和发射无线信号。检测主机双手左右握持, 采用单片机控制微型电动气缸进行压力调节, 自动采集存储数据。

1 系统总体方案

根据现场使用经验, 结合 SF₆ 密度继电器校验与校核的具体要求, 运用微机自动控制技术, 提出一种新型手持式校验校核方案。使用该方法主机尺寸重量完全符合手持式仪器要求, 均为锂电池供电, 检测主机实现双手左右握持操作, 无须将密度继电器与设备本体分开, 信号无须线缆传输, 可自动对其进行校验与校核同步测试, 具备语音提示功能。校核仪工作原理如图 1 所示。

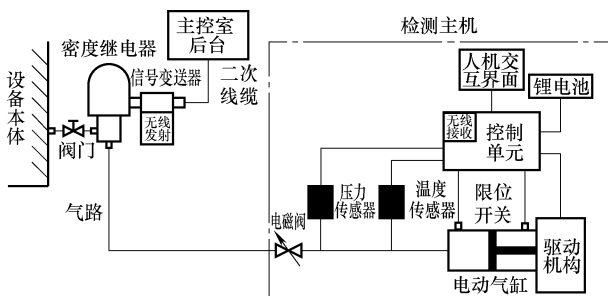


图 1 校核仪工作原理图

Fig. 1 Working principle diagram of collating device

将信号变送器串联接入密度继电器与二次线缆中间, 报警闭锁信号通过无线发射器传送

给检测主机, 同时通过二次线缆向主控室后台传送。检测主机气路接口与密度继电器相连, 打开主机气路电磁阀, 连通两者间气路, 关闭密度继电器与本体设备气路阀门, 通过微机控制电动气缸可以改变密度继电器内气体压力, 限位开关控制气缸活塞行程。以只有报警功能密度继电器为例, 当压力降低到出现报警信号时, 检测主机接收到信号变送器无线信号, 播放“报警起动”语音, 电动气缸停机记录经过温度换算为 20 ℃ 的报警值^[12-13], 同时在校核室后台核对报警信号是否出现, 再次起动电动气缸。当压力升高到报警复归时, 播放“报警复归”语音, 电动气缸停机记录经过温度换算为 20 ℃ 的报警复归值, 同时在校核室后台核对报警信号是否消失。密度继电器闭锁功能实现过程相同, 校核完毕后电动气缸自动复位, 电磁阀关闭。在整个校核过程中, 若出现过电流、电动机堵转时, 自动紧急停机并发送故障报警信息。

2 系统硬件

系统硬件设计如图 2 所示。以微机控制器为核心, 校核仪具有人机交互界面、电动气缸、射频模块、信号变送模块和电动机驱动模块等硬件模块。下面对其中主要的几个改进模块进行介绍。

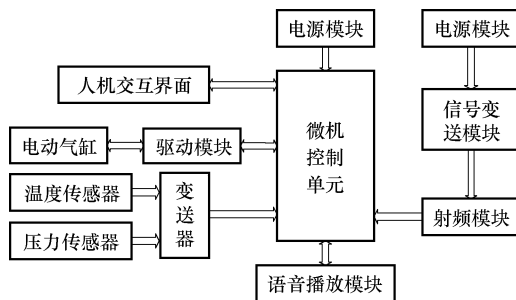


图 2 硬件设计方案

Fig. 2 System constitute of hardware

2.1 电动气缸

电动气缸是检测主机的核心模块, 其性能直接影响气压调节能力, 尺寸、重量决定主机

便携性。电动气缸由 T 形直线丝杆推杆和气缸组成，图 3 为微型电动气缸设计图。

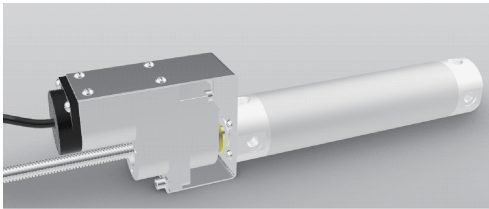


图 3 微型电动气缸设计图
Fig. 3 Mini electric pneumatic

气缸直径影响活塞受力截面积，决定电动推杆所需推力，表 1 为不同直径气缸在相对压力 0.4 MPa 和 0.7 MPa 下推力计算表。气缸输出力等于压强与活塞截面积的乘积。由于气缸在低速运动下活塞会受到摩擦力作用，主要为静摩擦力、滑动摩擦力和粘性摩擦力。受缸径、运动速度和压差等影响，尤其是压差的增大使密封圈更加紧密贴近气缸内壁，从而增大摩擦力。在运动速度小于 10 mm/s，综合最大摩擦力在相对压力 0.4 MPa 和 0.7 MPa 时按 50 N 和 70 N 粗略计算^[14-15]。气缸行程影响容积，决定调压能力，表 2 为不同行程气缸压力调节测试表。

表 1 气缸推力计算

Tab. 1 Thrust calculation of pneumatic

缸径/mm	气缸输出力/N		电动机构所需推力/N	
	0.4 MPa	0.7 MPa	0.4 MPa	0.7 MPa
25	250	400	300	470
32	410	660	460	730
40	640	1 020	690	1 090

表 2 气缸压力调节测试表

Tab. 2 Testing data of pneumatic

气缸参数		密度继电器参数(相对压力)			压力变化范围
缸径/mm	行程/mm	P_e /MPa	P_1 /MPa	P_2 /MPa	/MPa
25	75	0.6	0.55	0.5	0.18
	100				0.25
32	75	0.6	0.55	0.5	0.31
	100				0.41
40	75	0.6	0.55	0.5	0.47
	100				0.62

根据推力和调压能力测算，以及考虑不同设备气路差别和预留裕度，气缸选用 CDG1BN32-75 型。该气缸为铝材质缸体，抗压轻便尺寸小，最高使用压力 1 MPa，活塞内置磁环，可以辅助安装磁性开关进行限位。T 形直线丝杆推杆由直流减速电动机和直线丝杆减速装置组成，丝杆兼作活塞杆，大大减轻重量。选用 DC 24 V 电源供电，最大推力 900 N，推力裕度充足，可将气缸压力推至相对压力 0.7 MPa。

2.2 信号变送模块

信号变送模块主要由信号转换器和两个信号快接插头组成，图 4 为信号转换器工作原理图。

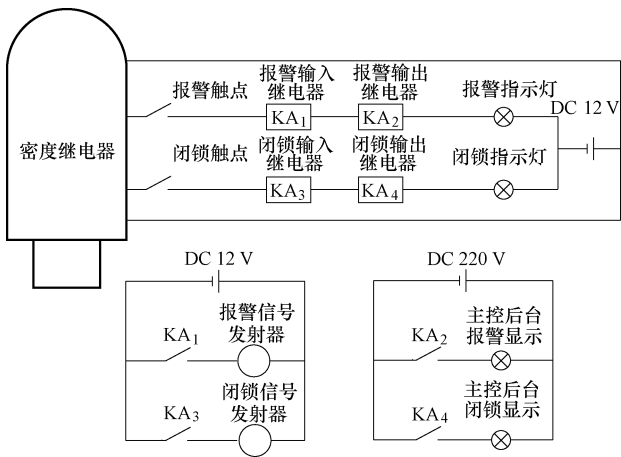


图 4 信号转换器工作原理图

Fig. 4 Working principle diagram of signal converter

密度继电器常开触点两对，分别为报警和闭锁，无信号为常开状态，有信号后变为闭合。报警输入继电器控制信号发射器，报警输出继电器控制二次线缆通断，切换电压 DC 220 V。当出现报警信号时，KA₁ 和 KA₂ 继电器动作，报警指示灯亮，报警输入继电器控制报警信号发射器向检测主机发送报警信号，报警输出继电器控制二次线缆形成通路，主控室后台显示报警信号。报警复归后，KA₁ 和 KA₂ 继电器失电，报警灯灭，报警信号发射器停止发送信号，主控室后台报警信号消

失。闭锁信号动作过程与报警信号相同。

信号快接插头分为两个：一个与密度继电器信号接头插接；一个与二次线缆接头插接。密度继电器部分插头存在差异，主要有针式、蝶形和出线式^[16]，输入输出插头设计为可随意更换。

2.3 射频无线模块

选用 JK24A 无线 2.4 G 遥控模块进行信号无线传输，发射模块 JK24A-TXL 安装在信号变送器内，接收模块 JK24A-RXM 安装在检测主机内，采用 2.4 G 跳频技术，多路同时工作无干扰，响应速度快，输入低电平有效，输出高电平有效，电路设计如图 5 所示。KA₁ 与 KA₃ 通过射频无线模块 P1r 和 P2t 两路开关量，分别将报警和闭锁信号无线传输给单片机 IO₂ 和 IO₃ 两个终端口。

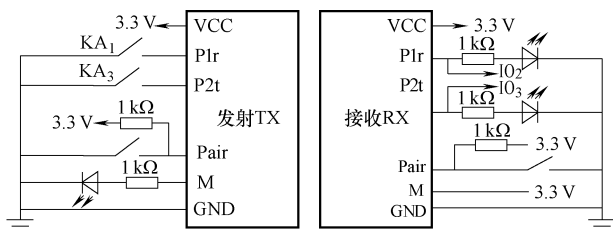


图 5 射频无线模块电路图

Fig. 5 Circuit diagram of RF wireless

经开关动作测试仪检测，从报警闭锁信号发出（消失）至单片机检测到信号的时间小于 50 ms，如表 3 所示，符合设计要求。

表 3 动作时间测试

Tab. 3 Action time testing

信号类型	动作时间/ms				
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次
报警	45	43	43	44	41
报警复归	41	42	43	43	45
闭锁	40	41	43	44	46
闭锁复归	44	43	42	45	44

3 系统软件

3.1 主程序

校核仪的软件程序主要由测控程序和中断服务程序两部分构成，校核仪程序框图如图 6

所示。

中断服务程序主要进行压力信号采样和温度信号采样，中断信号分别为报警、闭锁、闭锁复归和报警复归。测控程序主要由自检程序、校验程序、校核程序和故障报警程序四部分构成。自检程序通过限位开关控制电动气缸处于压缩状态，等待 SF₆ 气体注入。校验程序自动控制电动气缸压力调节，对采样的触点信号进行识别，并对采样的压力值和温度值进行换算存储。校核程序控制电动气缸压力调节，当出现触点信号时立即停机，对采样的压力值和温度值进行换算存储，等待该信号核对完毕，人工起动后校核下一个触点信号，直至完毕。故障报警程序主要为保护电动机，当在整个校验或校核过程中出现过电流、堵转等情况时，电动机立即停转并报故障报警信号。

3.2 人机交互界面

运用 5 英寸彩色 EZUIH050 电容触摸屏设计人机交互界面，主要有欢迎界面、自检界面、目录界面、校验界面和校核界面。目录界面主要包含密度继电器校验、密度继电器校核、历史数据浏览和系统设置。校验界面包含压力设置输入框、报警闭锁及复归值显示框和上下限位动作显示框，并设置有急停、起动、保存、校核和返回按钮，校核按钮可直接进入校核界面。校核界面与校验界面基本相同，起动按钮改为点动按钮。

4 校核仪现场测试验证

对校核仪进行总体性能测试，验证了电动气缸容积和推力、信号变送器可靠性及主机检测准确度等，现场测试如图 7 所示。

气缸容积经测试符合要求，表 4 为不同密度继电器指示变化范围，可以看出降压值在报警闭锁值以下，升压值与当前压力基本相同。对于不同设备气路结构，压力变化范围与表 4 中略有不同，但裕度满足要求。

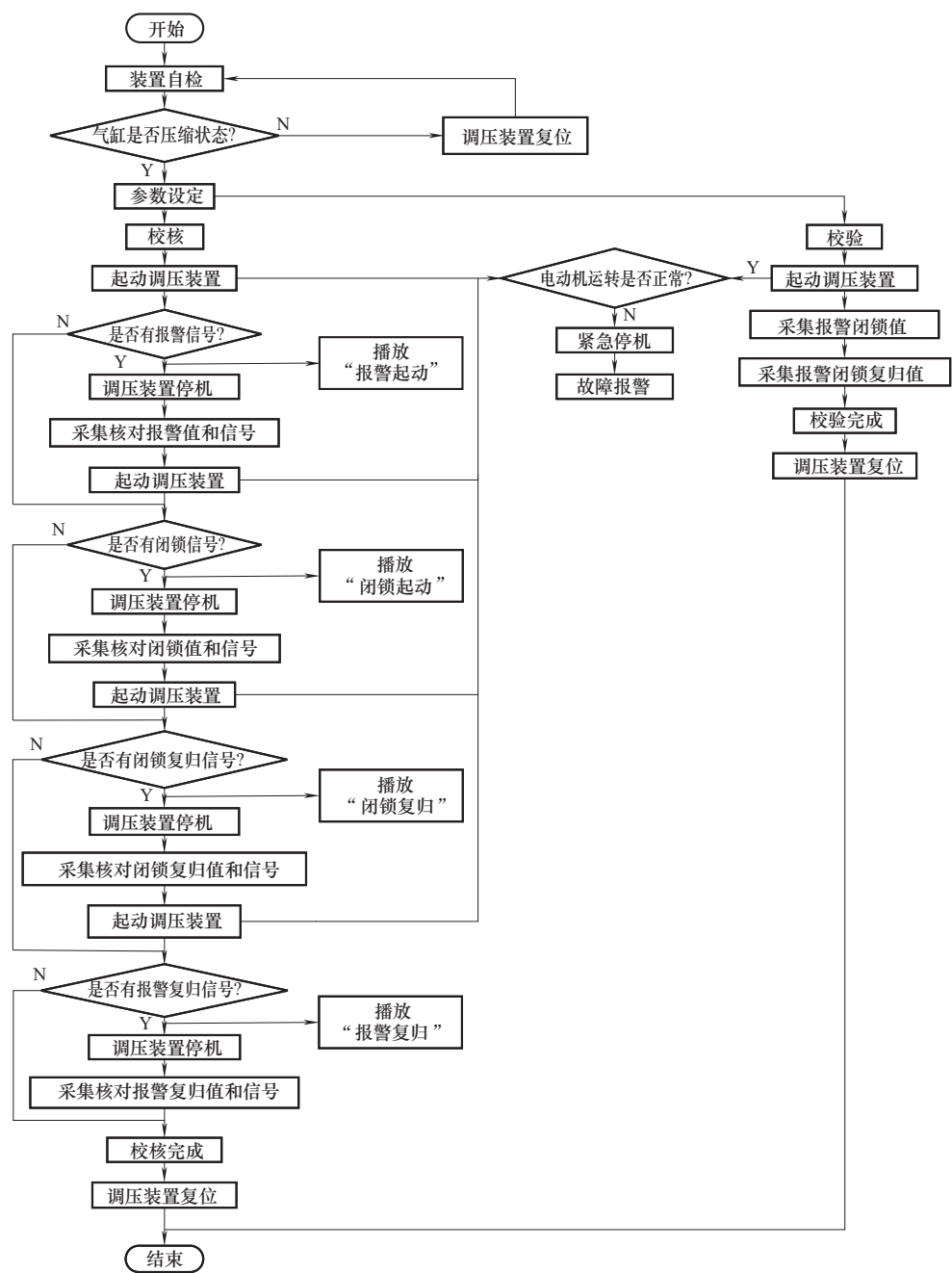


图 6 校核仪程序框图

Fig. 6 Block diagram of collating device program



图 7 校核仪现场测试图

Fig. 7 Field test of collating device

信号变送器经测试符合要求，表 5 为信号变送器测试数据。在密度继电器发出报警信号时，主控室后台显示低气压报警，信号变送器黄灯亮、主机语音播报“报警起动”。闭锁、闭锁复归和报警复归动作均正常。

检测主机与 ATSJ902 型 SF₆ 密度继电器校核仪进行了测试对比，表 6 为校验数据，检测

结果基本一致。检测主机对同一块密度继电器重复 5 次测试数据基本相同, 数据重复性较好, 如表 7 所示。

表 4 电动气缸测试数据

Tab. 4 Testing data of pneumatic

密度继电器参数(相对压力) /MPa				压力变化范围 /MPa	
P_d	P_e	P_1	P_2	降压	升压
0.43	0.40	0.30	—	0.12	0.43
0.52	0.50	0.45	—	0.19	0.51
0.62	0.60	0.53	0.50	0.30	0.61
0.65	0.60	0.55	0.50	0.32	0.64

表 5 信号变送器测试

Tab. 5 Testing data of signal converter

表计 参数	表计参数 /MPa	信号 类型	后台 信号	变送器 信号	主机 信号
P_1	0.55	报警	有	有	有
		复归	有	有	有
P_2	0.50	闭锁	有	有	有
		复归	有	有	有

表 6 检测主机测试数据

Tab. 6 Testing data of detection host

表计 参数	参数 /MPa	信号 类型	ATSJ902 测 试值/MPa	校核仪测 试值/MPa	厂家标 准/MPa
P_1	0.55	报警	0.547	0.545	0.55±
		复归	0.544	0.541	0.02
P_2	0.50	闭锁	0.496	0.492	0.50±
		复归	0.495	0.491	0.02

表 7 数据重复性测试

Tab. 7 Testing of data repeatability

参数 /MPa	信号 类型	动作时间/ms					重复性 误差(%)
		1 次	2 次	3 次	4 次	5 次	
0.55	报警	0.544	0.545	0.546	0.545	0.546	≤0.5
	复归	0.541	0.541	0.542	0.540	0.542	
0.50	闭锁	0.491	0.493	0.491	0.492	0.493	≤0.5
	复归	0.491	0.490	0.491	0.492	0.490	

4 结束语

本文设计的手持式 SF₆ 密度继电器校核仪

采用双手左右握持方式, 通过射频技术将检测主机与信号变送器无线连接, 信号插头方便快捷, 校验与核对信号同步自动测试, 具有电动机过电流、堵转保护功能, 并可进行语音提醒, 实现了仪器小型化和智能化, 为 SF₆ 密度继电器校核提供了很好的技术手段。该系统设计合理, 人机交互界面良好, 使用方便, 抗干扰能力强, 稳定性好, 准确度高, 符合现场校核的要求。EA

参考文献

- [1] 李永祥, 王天正, 李艳鹏, 等. 基于红外成像检漏技术的 GIS 设备气体泄漏异常分析 [J]. 高压电器, 2016, 52 (7): 185-191.
- [2] 龙军, 罗立波, 等. 一种免拆卸校验的 SF₆ 气体密度继电器的研制 [J]. 高压电器, 2019, 55 (7): 242-247.
- [3] 张作鹏, 熊刚, 唐巾鸿, 等. 非接触式 SF₆ 密度继电器校验试验平台的研制 [J]. 电测与仪表, 2012, 49 (1): 41-44.
- [4] 古玲霞. 一种全温度 SF₆ 气体密度继电器校验装置的研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
- [5] 尹承尚, 贺长生. SF₆ 密度继电器现场校验方法的分析 [J]. 高压电器, 1996, 32 (5): 23-25.
- [6] 周启义, 张泽强, 顾军, 等. 一种 SF₆ 气体密度继电器校验用的装配接头的研制 [J]. 高压电器, 2015, 51 (10): 145-149.
- [7] 输变电设备状态检修试验规程: Q/GDW 1168—2013 [S].
- [8] 六氟化硫气体密度继电器校验规程: DL/T 259—2012 [S].
- [9] 朱芳菲, 孟玉婵, 郑铤. SF₆ 气体分析技术 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1998.
- [10] 王春宁, 王家政. SF₆ 气体密度在线监测装置 [J]. 高压电器, 2003, 39 (6): 79-80.
- [11] 陈金祥. SF₆ 密度继电器现场校验仪的研制 [J]. 高压电器, 2003, 39 (5): 67-69.

(下转第 85 页)

参考文献

- [1] 王安, 阎对丰, 崔东, 等. 大容量试验短时交流电流测量系统有效值的量值溯源和不确定度评定 [J]. 高压电器, 2014, 50 (4): 72-76.
- [2] 王安, 姚斯立, 阎对丰, 等. 新一代的大容量试验测量系统 [J]. 高压电器, 2012, 48 (6): 38-43.
- [3] 陈奎. 变压器短路试验方法及发展 [J]. 变压器, 2000, 37 (1): 49-53.
- [4] 陈奎. 大型变压器短路试验方法及四台变压器短路试验情况简介 [J]. 变压器, 1998, 35 (1): 12-16.
- [5] 电力变压器第 5 部分 承受短路的能力: GB 1094.5—2008 [S].
- [6] 何东升, 许呈盛, 刘光琪, 等. 电力变压器短路承受能力试验相电流精确测量方法 [J]. 电器与能效管理技术, 2018, 14 (7): 42-45.
- [7] 何东升, 林志力, 许呈盛, 等. 配电变压器突发短路试验中电流测试方法改进及应用 [J]. 电气应用, 2018, 21 (11): 50-53.

作者简介



汪海波

汪海波 (1983—) 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事输电设备大容量试验检测工作。

(收稿日期: 2021-04-14)

(上接 79 页)

- [12] 王贺, 潘奕捷, 王柏淞, 等. 多普勒展宽测温验证实验中的精确控温系统研究 [J]. 中国测试, 2020, 46 (8): 9-14.
- [13] 曾倩, 袁海文, 秦业. 报表自动生成及其在设备检测系统中的应用 [J]. 中国测试, 2010, 36 (1): 67-71.
- [14] 崔宗伟. 气缸低速摩擦力特性的研究及其建模与仿真 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- [15] 陈剑锋. 基于 LuGre 摩擦模型的气缸摩擦力实验研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [16] 马丽强, 李小靖, 闫杰, 等. SF₆ 密度继电器校验用的通用信号采集线的设计 [J]. 中小企业管理与科技, 2013 (1): 207-208.

作者简介



王文华

王文华 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力设备高压试验工作。

孟祥海 (1989—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力设备状态检测工作, 通信作者。

(收稿日期: 2021-02-26)