

doi: 10.7690/bgzd.2018.11.008

军工装备制造现场接地网智能防腐监控装置设计

徐曼菲¹, 吴宏超¹, 彭俊², 李晓寅³

(1. 中国兵器装备集团自动化研究所智能制造技术研发中心, 四川 绵阳 621000;

2. 湖南华南光电(集团)有限责任公司, 湖南 常德 415000;

3. 中国兵器工业标准化研究所装备标准化研究室, 北京 100089)

摘要: 为解决军工制造生产现场接地网易遭受土壤环境的电化学腐蚀, 同时还遭受泄流电流引起的电腐蚀, 严重危害军用装备制造和人身安全的问题, 提出一种基于 PLC 的军用制造行业接地网电化学保护和腐蚀监控智能控制设计方案。采用外加电流阴极保护, 硬件部分结合西门子 S7-300 平台, 软件部分运用 Step7 软件, 实现对生产现场接地网的免开挖防腐和控制。结果表明: 该方案能满足对离散制造行业生产现场接地网的远程控制与监控, 确保军用生产设备的安全、经济、稳定运行。

关键词: 数据采集; 智能监控; 接地网; 电化学腐蚀; PLC

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Design of Intelligent Anticorrosion Monitoring Device for Grounding Grid of Military Equipment Manufacturing

Xu Manfei¹, Wu Hongchao¹, Peng Jun², Li Xiaoyin³(1. *Research & Development Center of Intelligent Manufacturing Technology, Automation Research Institute of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China;*2. *Hunan Huanan Opto-electro-sci-tech (Group) Co., Ltd., Changde 415000, China;*3. *Research Room of Equipment Standardization, China Ordnance Industrial Standardization Research Institute, Beijing 100089, China)*

Abstract: In view of the military manufacturing production site, the grounding grid not only by the electrochemical corrosion of soil environment, but also caused by discharge current electric corrosion, which caused serious damage to the equipment and personal safety. In order to overcome the above problems, this paper presented an intelligent control design scheme for electrochemical protection and corrosion monitoring of grounding grid in military manufacturing industry based on PLC, the design adopted the impressed current cathodic protection, hardware used the Siemens S7-300 experiment platform and software used Step7, which realized the free of the excavation of grounding systems located in soil corrosion protection and control, at the same time, the system integrated data processing, collection, analysis and feedback command. The results show that the design satisfied the remote control and monitoring of the grounding grid in the discrete manufacturing industry and ensured the safety, economic and stable operation of the military production equipment.

Keywords: data acquisition; intelligent monitoring; grounding grid; electrochemical corrosion; PLC

0 引言

制造业的快速发展将带动智能工业建设及改造需求的快速增长^[1], 加快促进信息技术与制造技术智能融合发展, 推进生产现场过程数字化、网络化、智能化, 培育新型管控模式, 全面提升企业研发、生产、管理和服务的智能化水平^[2]。在我国, 军工装备制造接地主要有工作和防雷接地, 材料普遍采用扁钢或者镀锌钢, 长期埋于地下 0.3~0.8 m 的土壤中, 易发生严重腐蚀, 导致截面减小、热稳定性不够、接地电阻增大^[3]。由于腐蚀造成的断裂以及电阻增大等因素引起的装备生产设备事故时有发生,

接地网腐蚀与防护已成为我国离散制造行业迫切需要解决的问题^[4-5]。

近年来, 为了更好地实现各种制造设备现场数据的状态自检自控自维护, 在接地网的设计和建设阶段, 常通过加大接地体的截面或采用导电防腐涂料等方法进行保护, 既增加了钢材的消耗量, 又造成了材料的不必要浪费^[6]; 采用 IGBT 或 MOSFET 作为功率变换电路中的高频开关器件, 恒电位仪输出调整时, 容易出现开关关断不及时、过流过载等问题^[7-9]。以上方式存在效率低、稳定性差和可靠性较低等问题。

收稿日期: 2018-07-29; 修回日期: 2018-09-11

作者简介: 徐曼菲(1991—), 女, 重庆人, 硕士, 助理工程师, 从事数字化管控、数据采集研究。

基于以上情况，笔者设计了一种基于 PLC 智能控制技术的接地网电化学保护和腐蚀监控系统，采用外加电流阴极保护的方法来避免接地网腐蚀，通过西门子 S7-300 编程模块，搭建智能监控系统，提升军用装备离散生产过程的智能化水平，实现生产现场数据的安全、稳定、可靠采集与实时传输。

1 基本原理

阴极保护的原理是通过对生产现场金属构件施加一个阴极电流使其阴极极化(阴极电位向负方向变化，阳极电位向正方向变化，使腐蚀电池的电位差减小，腐蚀电流急剧降低)，从而达到防腐保护的目的^[10]。阴极保护原理极化如图 1 所示。

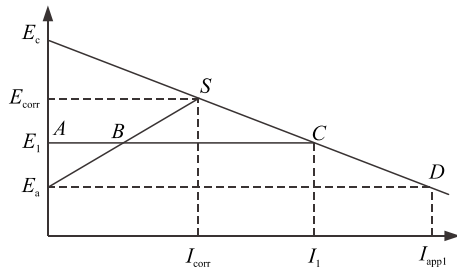


图 1 阴极保护原理极化

金属表面阳极和阴极的开路电位分别是 E_a 和

E_c 。金属腐蚀时，由于极化作用，阳极和阴极的电位都接近于交点 S 所对应的电位 E_{corr} ，与此相对应的腐蚀电流为 I_{corr} 。

如果从外部把电流送入系统，使金属阴极极化，此时电位从 E_{corr} 向更负的方向变动，阴极极化曲线从 S 向 C 点方向延长。

当金属电极电位极化到 E_1 ，这时所需的极化电流为 I_1 ，相当于线段 AC 。线段 AC 由 2 部分组成，其中线段 BC 这部分电流是外加的，而线段 AB 这部分电流是阳极腐蚀所提供的电流，表明金属还未停止腐蚀。

如果使金属极化到更低的电位，例如达到 E_a ，这时由于极化使金属表面各个区域的电位都等于 E_a ，即等于最活泼的阳极点的开路电位，腐蚀电流就为零，金属达到完全保护，这时所加的电流 I_{appl} 即为金属达到完全保护所需的电流。

2 系统总体架构

本设计总体由阴极保护单元、腐蚀余量检测单元与基于 wifi 的无线数据传输和远程监控单元 3 部分组成，系统总体功能设计如图 2 所示。

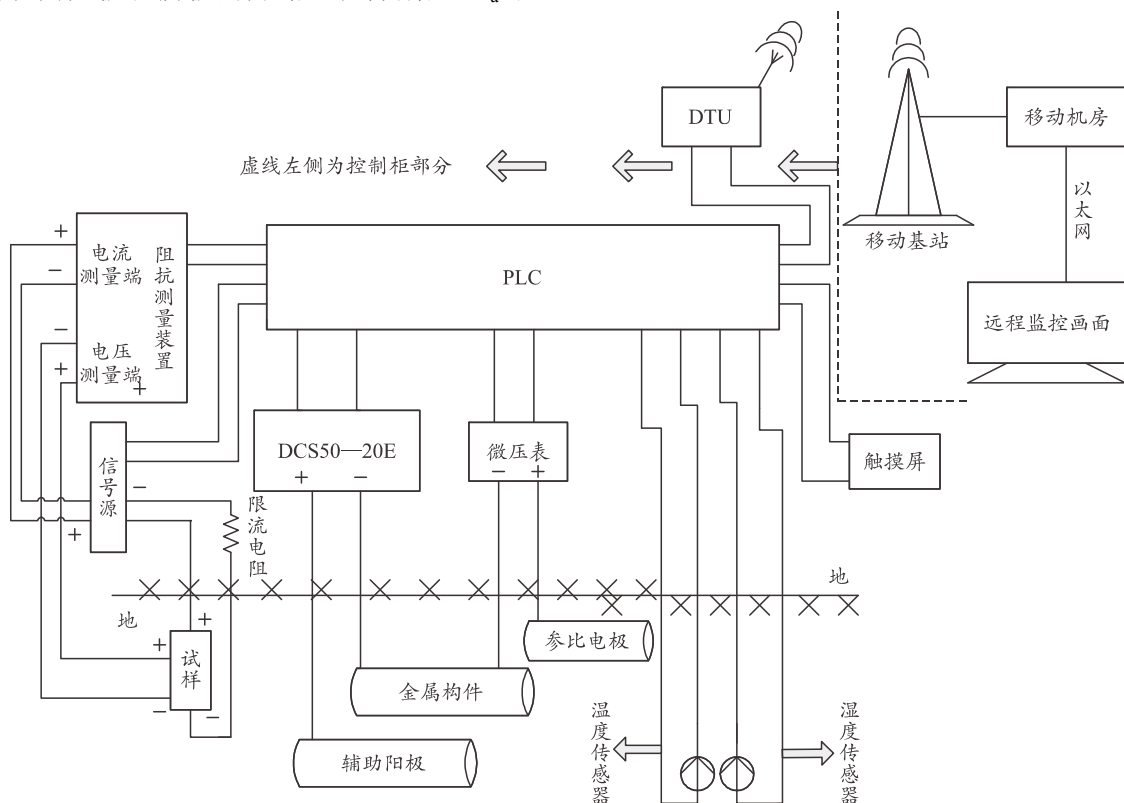


图 2 系统功能设计

阴极保护单元：该单元由可编程控制器、直流电源、辅助阳极和参比电极组成。信号测量端口分

别与参比电极模块和生产现场接地网相连接，测量实际保护电位，根据检测的电位，通过 PID 控制直

流电源的输出电压或电流。

无线数据远程监控单元：人机界面采用工业级 ET100 触摸屏，保护电位的设定，控制参数的设置等系统数据均可通过触摸屏进行设置，可编程控制器系统通过 RS232 接口连接，根据设计好的通信协议，可以远传控制、检测直流电源的输出电压、电流、接地网的电位高低，设置系统的工作模式。

腐蚀余量检测单元：主要采用与接地网同材质的线圈作为探头，线圈缠绕在一绝缘体上，绕制时采用双螺旋反向缠绕的方式，让线圈产生的电感量相互抵消。为保证测量到整个接地网的腐蚀状态，采取一定面积的接地网配备一个探头，定时测量线圈阻值的变化，根据阻值的变化得出腐蚀情况。腐蚀余量检测线圈如图 3 所示。

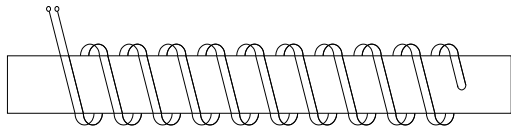


图 3 腐蚀余量检测线圈

3 系统硬件设计

3.1 硬件接线设计

本装置硬件部分的设计主要基于 S7-300，可编程控制部分主要包括 24 V 直流电源模块、CPU 模块、模拟量输入/输出模块和触摸屏显示模块，系统具体实现如图 4 所示。

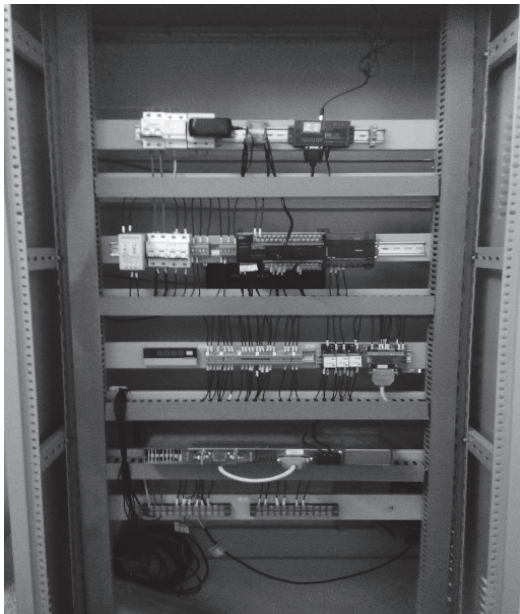


图 4 系统控制柜结构设计

本系统主电源为 220 V 单相正弦交流电，经 4 个空气保护开关分成 4 路独立电源，分别给 PLC、

AC-DC 的 24 V 直流电源、控制电源、备用电源供电，还有一路电源经过熔断器直接与 2 只高压指示灯相连，一只为柜内照明，另一只为电源指示。24 V 直流电源是满足系统检测仪表的供电电源，系统中可编程控制器有 40 个 I/O，其中 24 个漏型/源型直流 24 V 输入，16 个继电器输出，4 个模拟量输入点、2 个模拟量输出点。在主体上安装 2 个串行通信选件板 (RS-232C*1 端口或 RS-422A/485*1 端口)，因包含 USB 端口，最多可有 3 个串口通信端口，可轻松实现同时连接计算机、PT、CP1H、各种组件 (变频器、温度调节、智能传感器等)。

其中从 KA0-KA1 2 个中间继电器接在 CP1H-XA40DT-D 本体的 DO 上，KA1 是对索罗森 40-25E 直流电流上电进行控制，即工作在手/自动模式下，电源使能、停止信号，本地控制输出和显示由 DO 控制输出。

其中输入 4 路 DI，分别采集供电电源 OK 信号，电源输出模式反馈信号，硬件详细接线如图 5。

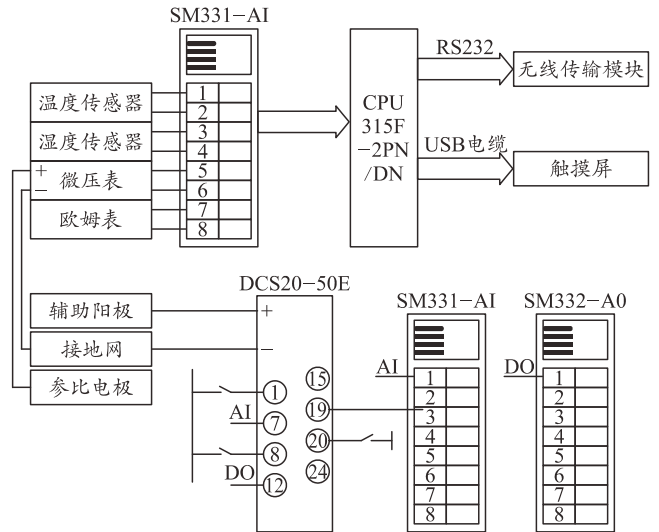


图 5 硬件接线

温度/湿度信号、电位信号和余量检测信号通过模拟输入模块 SM331 接入可编程控制器的 CPU315，ET100 触摸屏与可编程控制器通信采用 USB 电缆，显示采集的数据，并通过 CM8150P 型号 DTU 进行数据的远程传输监控。由于电压电流的变化会引起电位变化，根据测得的实际电位值，在 PLC 中通过 PID 控制算法输出电压或电流值给 SM332，从而控制直流电源的输出，进而保护接地网电位稳定在 -1 200 mV，防止接地网的腐蚀^[11]。

3.2 阴极保护设计

将辅助阳极铂钯合金与直流电源 DCS20-50E

正极相连，接地网与直流电源负极相连。在图 5 中，7 号端口代表输出电流测量端，19 号端口代表输出电压测量端，两接口分别接于 SM331 模拟量输入模块，送入 PLC 用于检测接地网直流电源输出的电压和电流值，1 号端口为电源输入接口，用 220 V 单向交流电供电，通过空气开关控制通断，8 号与 20 号为电流电压前面板控制，同样采用空气开关控制通断，12 号与 24 号接口短接，接入 SM332 模拟输出模块，经过 7 号与 19 号检测出的电压和电流值经与设定值比较后，经 PID 控制调节，返回控制直流电源输出电压。

3.3 防腐监控设计

温度、湿度、接地电位、电阻值 4 组采集数据经 SM331 模拟输入模块传入 S7-300 的 CPU，触摸屏与 PLC 本体通信可以通过 USB 电缆，将系统所用到的模拟量和数字量，设置对应的变量地址，然后将触摸屏上的地址与 PLC 本体内设置变量对应一致，在触摸屏上进行组态，触摸屏上可显示系统状态，保护电压、保护电流、土壤温度和土壤湿度。

4 总体软件设计

本设计运用了 Step7 软件，采用梯形图对总电源，本地与远程的切换，直流电源在恒电压、恒电流、恒电位 3 种模式的选择以及温度湿度等变送信号的采集与转换、触摸屏的显示等进行了在线编程。

Step7 软件组态主要包括创建 Step7 项目，插入 S7-300 工作站，创建程序编辑窗口，在 OB 中编辑梯形图程序，最后运行程序，具体操作步骤如下：

- 1) 桌面 simatic manager 图标，运行 Step7 软件。
- 2) 创建新项目，点击 File-New，在 Name 中输入接地网装置，点击 OK 完成创建，如图 6 所示。

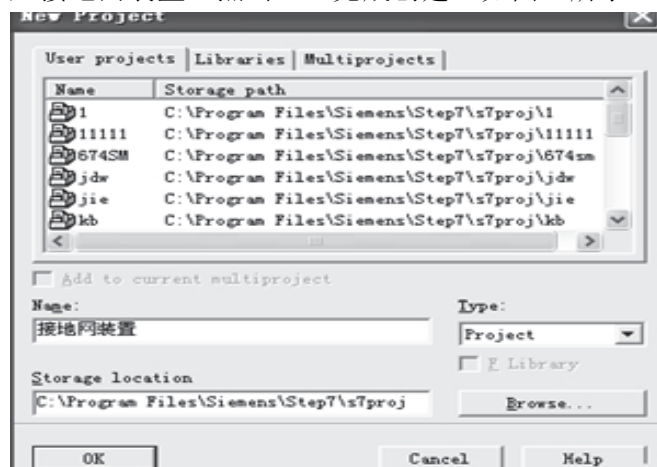


图 6 Step 接地网项目创建

3) 插入 S7-300 工作站后，屏幕上创建新项目，单击工作站图标 SIMATIC 300(1)，在右视图内硬件配置图标 Hardware，自动打开硬件配置(HW Config)窗口。

4) SIMATIC 300 左侧的+符号展开目录，并于 RACK-300 子目录下的 Rail，插入 S7-300 的机架，如图 7 所示。

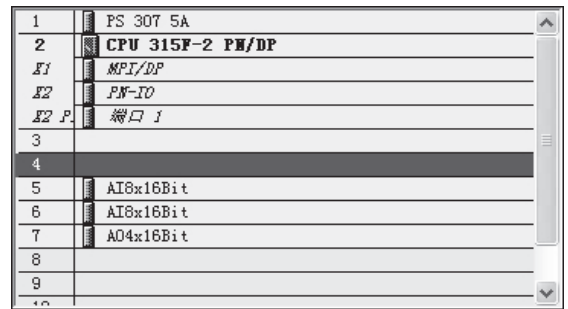


图 7 工作站设置界面

4.1 AD 数据采集

传感器所产生的 4~20 mA 变送信号送到 SM331 模拟输入模块后，转换成 0~27 648 的整形数。由于要对 PLC 内部相应的信号进行比较运算需要实际的工程量，在此次 PID 控制电位中，运算后的结果输出仍是工程量，再转换成工程量对应的整形数，传给 SM332 模拟量输出模块，去控制直流电源的输出。程序流程如图 8 所示。

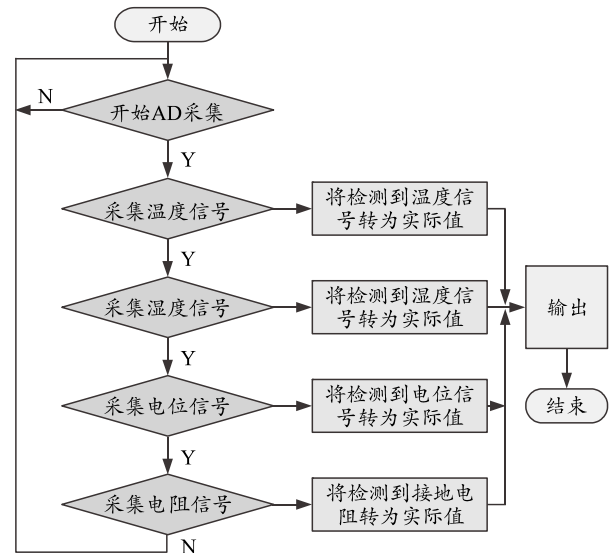


图 8 程序流程

4.2 工作方式切换

直流电源有恒电压、恒电位和恒电流 3 种工作方式，电压电流的改变会引起接地电位的改变，此次分别设置 3 个控件用来切换。当选中恒电位模式时，将事先设定好的电位值和采集的实际电位值送

给 PID 的 SP_INT 和 PV_INT 接口, 采样周期 T_i 为 500 ms, 比例系数为 0.3, 两参数经过 MOVE 指令传给 PID 控制器, 再经过 SM332 模拟输出模块去控制直流电源, 使接地电位稳定在 $-1\ 200\ \text{mV}$; 当选中恒电压或恒电流模式时, 采用比较方式, 通过触摸屏上自动设置对电压、电流实行控制。程序流程如图 9, 部分电位、电流自适应模式如图 10 所示。

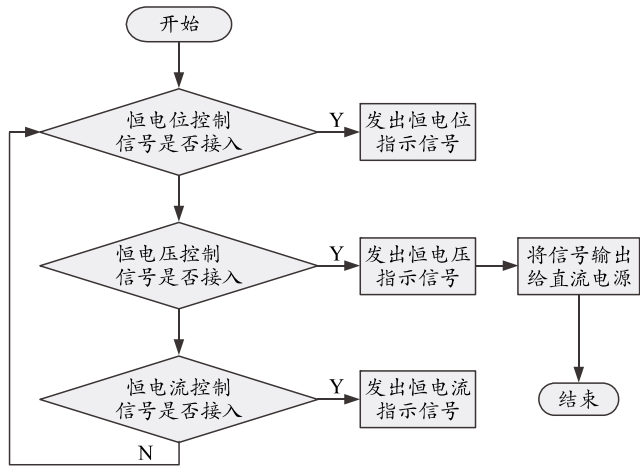
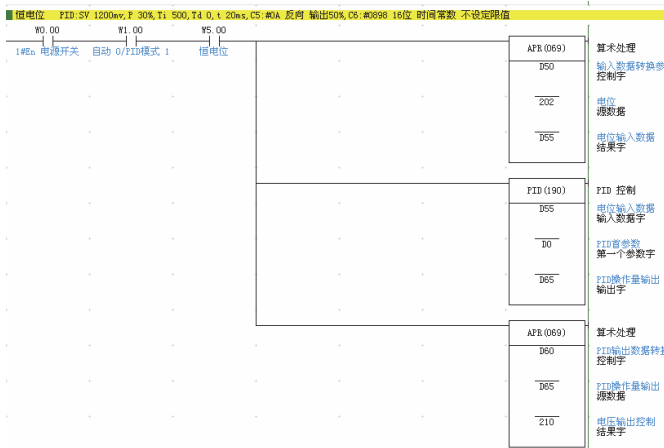
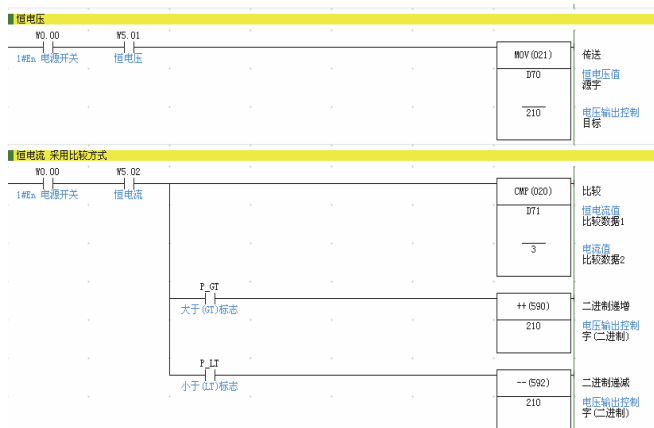


图 9 工作模式切换流程



(a) 恒电位自适应模式



(b) 恒电流自适应模式

图 10 工作方式自适应梯形

4.3 触摸屏组态

打开 Kinco HMIware 触摸屏编辑软件, 创建工程, 工程名为“接地网防腐蚀保护装置”, 如图 11 所示。



图 11 组态项目创建

在元件库窗口 HMI 中选择 ET100 触摸屏, 在 PLC 中选择 SIEMENS 300 可编程控制器, 在通信连接处选择串口连接, 将触摸屏与可编程器连接起来, 右击 ET100 触摸屏, 选择编辑组态, 即可对触摸屏进行界面组态。如图 12 所示, 触摸屏上操作“界面 1”, “参数显示”分别显示“土壤温度”“土壤湿度”“接地电位”“探头阻值”, “控制电源”框能够显示电源的“开关状态(绿色为电源开, 黑色为电源关)”, 并能通过“电源开关”实现对直流电源的启停操作; “保护电压”和“保护电流”分别显示直流电源输出的电压和电流; “手/自动切换开关”当开关打到自动情况下系统将根据电位自动调节电源输出, 达到设定的保护电位, 当打到手动情况下, 将通过调节直流电源前面板上的调节旋钮来对接地电位进行调节。



图 12 采集输出界面组态

触摸屏操作“界面 2”, 在参数界面的“PID 参数设置”框内, 点击“电位设定值”, 输入要保护的电位, 通过调节 PID 的“比例带”“积分”“微分”3 个控制参数, 使接地电位达到需要的值。当选择恒电压控制时, 点击“电压输出值”, 可通过改变直流电源的电压值, 使腐蚀电流达到最小, 接地网达

到完全保护；选择恒电流控制时，点击“电流输出值”，通过改变直流电源输出的电流值，对接地网进行腐蚀保护。参数配置界面如图 13 所示。

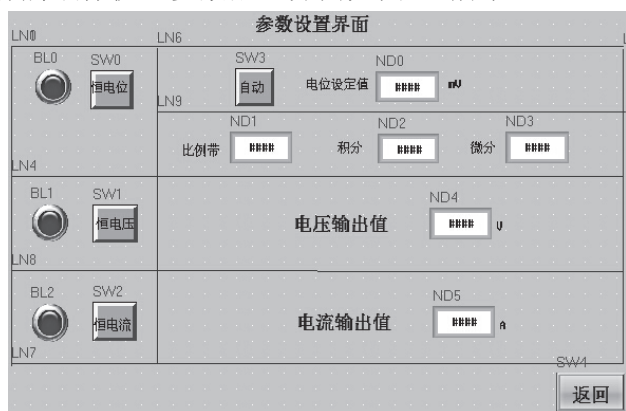


图 13 参数设置界面

恒电压模式下，在电压输出值控件内输入电压值，电源将在固定的设定电压下自动调节电流输出。

恒电流模式下，在电流输出值控件内输入电流值，电源将在固定的设定电流下自动调节电压输出。

点击“菜单”弹出快速选择栏，可以查看“电位曲线”“电阻曲线”“电压曲线”“电流曲线”“温度曲线”和“湿度曲线”的变化。

曲线查询界面如图 14，单击“开启缩放功能”后，双击曲线，在某段曲线起始处单击并拖拽到结束处后松开，即可查看选择部分曲线的放大状态。

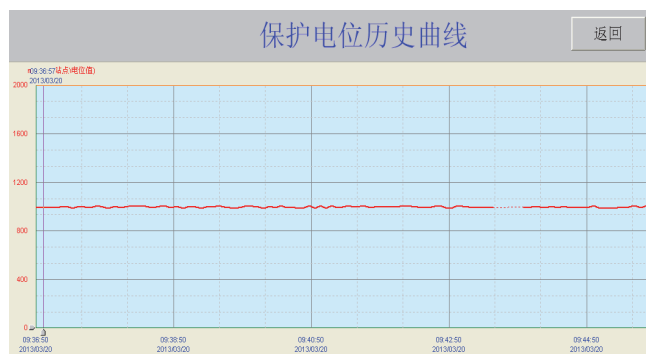


图 14 电位曲线查询界面

5 结束语

为保障制造业装备现场数字化信息链的完整性，笔者提出了一种以强制电流法为主要手段的接地网阴极保护装置的实现方案，主要结论如下：

1) 基于 PLC 智能控制技术设计的军工装备制造现场接地网电化学保护和腐蚀监控，将为军用生

产现场提供一个简单可靠的接地网状态检测工具，同时克服传统对接地网实现开挖防腐等成本消耗，实现在不停电和不对现场接地网进行大面积开挖的情况下，指导工程技术人员对接地网的腐蚀情况进行检测，减少其工作的盲目性和工作量，从而有效保证军用装备系统的安全运行。

2) 通过采用 PID 控制策略结合设计的组态界面来改变控制系统的运行模式，以及手动状态下操作整套设备，数据实时传输和远程监控为无人值守的装备生产车间现场提供了技术保障。从总体来看，该系统可以满足装配生产线接地网智能阴极保护的监控设计要求，具备可靠性高、操作简单方便和人机界面友好的优点。

参考文献：

- [1] 刘勇, 张亮. 发展智能制造, 促进兵器装备集团制造业转型升级: 兵器装备集团智能制造技术与高端装备产业发展思考[J]. 兵工自动化, 2017, 36(1): 1-6.
- [2] 周济. 智能制造: “中国制造 2025” 的主攻方向[J]. 中国机械工程, 2015, 26(17): 2273-2284.
- [3] 李风雷, 刘勇, 刘建秋. 接地网腐蚀与防护研究进展[J]. 工业建筑, 2012, 42(s1): 783-785.
- [4] 荆晶. 接地网腐蚀状态预测方法[D]. 长沙: 湖南大学, 2016: 3-6.
- [5] 陈轩. 面向 MES 的离散制造车间 SCADA 系统设计开发[D]. 南京: 南京理工大学, 2017: 8-12.
- [6] 杜京义, 周艳玲, 赵向军, 等. 接地网腐蚀状态监测传感器的优化布置方法[J]. 西安科技大学学报, 2017, 37(1): 141-148.
- [7] 雷锦荣. 10 kV 配电网中变配电设备安装技术[J]. 装备制造技术, 2017(2): 271-272.
- [8] KIM M K, BAE H S, SUH B S. Comparison of IGBT and MOSFET inverters in low-power BLDC motor drives[C]//Power Electronics Specialists Conference, 2006. Pesc '06. IEEE, 2017: 1-4.
- [9] HAZRA S, DE A, CHENG L, et al. High Switching Performance of 1700-V, 50-A SiC Power MOSFET Over Si IGBT/BiMOSFET for Advanced Power Conversion Applications[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 31(7): 4742-4754.
- [10] 郭宇. 船舶与海洋结构物阴极保护电位数值仿真与优化设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013: 4-10.
- [11] 陈燕武, 陈勇. 一种应用于多路大功率 LED 的无源电流平衡电路[J]. 兵工自动化, 2016, 35(11): 28-31.