

面向新工科建设的新型周浸腐蚀试验箱

孙明明¹, 李擎², 林颖¹, 韩守梅¹

(1.北京科技大学 自然科学基础实验中心, 北京 100083; 2. 北京科技大学 自动化学院,
北京 100083)

摘要:周浸腐蚀试验箱是钢铁冶金材料测试领域应用普遍的科研仪器, 对其进行面向新工科建设的改进研发具有较高的育人价值。立足工程教育要求、注重学科交叉融合, 新型试验箱应用新型帕尔贴原理制冷/制热器件实现了小型化和低成本; 将试验周期与帕尔贴片热迁移周期协调以实现绿色节能; 加入紫外光源进一步完善了箱内大气环境模拟条件。该新型试验箱的控制系统设计是电工电子实验课程面向非电专业新工科建设的新设内容, 体现了工程实践技能、融合创新能力培养的要求; 其绿色节能、低成本小型化的特点满足学校传统优势学科新工科建设的育人需要。

关键词:周浸腐蚀; 新型试验箱; 新工科建设; 工程实践育人

中图分类号: (请在 <http://www.ztflh.com> 查询) **文献标识码:**

A New Type of Alternate Immersion Cyclic Corrosion Tester for Emerging Engineering Education

SUN Mingming¹, LI Qing^{1,2}, Lin Ying²

(1.School of XX, XX University, Beijing 100084, China ;2. XXXXXX Co., Ltd, City, Postal code, China)

1 着眼新工科建设, 深挖科研仪器的工程实践育人潜力

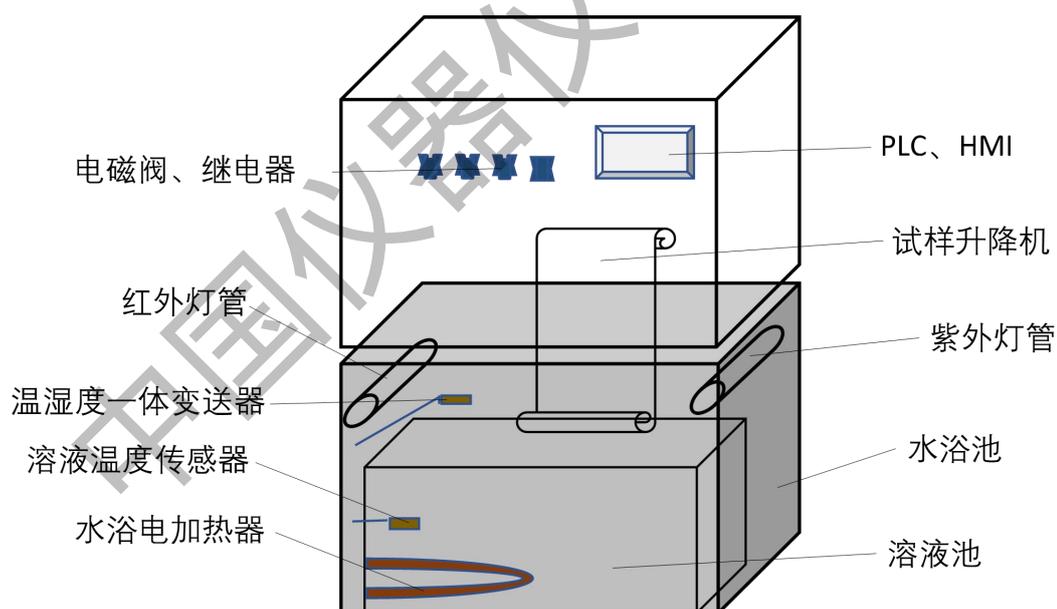
自 2017 年新工科建设的“复旦共识”达成至今, 国内各高校已快马加鞭的建设了 6 年多的时间。进入 2023 年, 新工科建设明显加速, 建设成果不断涌现, 以北京科技大学为例, 学校成功获批了“智能建造”和“智能采矿工程”两个新工科专业, 并继续申报了“材料智能技术”、“碳中和科学与工程”等新工科专业。这些建设成果, 着眼于目前和未来的社会需求, 在学校传统优势专业和新兴专业学科交叉的基础上申办而来, 符合国家发展战略和未来社会需求。

在此背景下, 电工电子实验课程积极寻找新的教学载体, 以适应日益重要的工程教育目

标；同时，结合电工类实验课程授课对象的专业分布特点，结合我校办学特色，特选择了周浸腐蚀试验箱的电气控制系统开发作为教学案例进行课题研究，形成学科交叉的教学案例，在培养学生工程实践技能的同时，增强学生跨专业的融合创新意识。

周浸腐蚀试验是钢材加速腐蚀试验的主要方式,可用于耐火、耐候钢,高强度耐候桥梁钢,耐腐蚀重轨钢等钢种的研发工作。周浸腐蚀试验设备主要有三种形式:(1)采用可升降的试验架,试验架定期地下降到溶液中和上升到空气中,实现试验架上样品的浸润与干燥交替;(2)采用轮式结构(如六角形的 Ferris 轮),试验轮缓慢旋转,试验轮底部浸泡在溶液中,使得安装在试验轮的试验在旋转到试验轮底部是浸泡到溶液中,而当试验旋转到一定高度时,试样处于空气中;(3)把试样固定在试样箱体中,试验溶液定期注入和抽出试验箱,从而实现试样的浸润和干燥的交替。

目前文献多为对轮式结构的周浸试验系统的研究,轮式周浸试验箱的优点是结构简单、可同时完成多种材料加速腐蚀试验;其缺点是空间利用率低、对大尺寸试验友好度差等。课题结合电工电子技术实验面向非电专业新工科建设的教学改革方向,研发采用带可升降试



验架形式的周浸试验为基本结构,以带可升降试验架形式的周浸试验箱为基本结构,研究其电气控制系统的实验教学潜力。

图1 试样升降式周浸腐蚀试验箱总体结构示意图

传统升降式周浸试验箱的各功能模块总体结构如图1。各功能模块及其相应作用有:1)传动系统。由步进电机、减速机、轴联轴器、升降机构共同组成。通过步进电机、减速机和升降机构实现试样的浸入腐蚀溶液及上升至箱内空气中。2)溶液加热机构。试验槽为耐腐蚀

亚克力材质方形槽，试验时放入水浴槽内，由水浴槽内电加热管进行水浴温控；3) 试样温度控制系统。由红外灯、透光玻璃、红外测温仪组成；通过红外线的凡是加热试样表面透光玻璃起到隔绝箱内湿气的作用，保护红外灯的电源线路。

2 赋能工程实践教学，采用新技术改造科研仪器

目前市场主流周浸腐蚀试验箱普遍采用市电工况下的轴流风机、红外电加热管、电热丝工业加热管等执行器件，试验箱在面向工程育人领域存在以下缺点：(1) 体积大，占地面积高；(2) 结构复杂，成本高；(3) 安全性差；(4) 功率大，耗能高；(5) 操作人员技术要求高。以上缺点决定了传统试验箱无法满足面向新工科建设的工程教学要求，亟需采用新技术、面向新的育人需求，打造适应当前教学改革任务的新型试验箱。

2.1 采用半导体制冷技术打造安全可靠、安静稳定的小型化工程育人平台

半导体制冷，又称热电制冷，是一种热泵原理的制冷方式。热电制冷是具有热电能量转换特性的材料，在通过直流电时具有制冷功能，由于半导体材料具有最佳的热电能量转换性能特性，所以热电制冷称为半导体制冷。

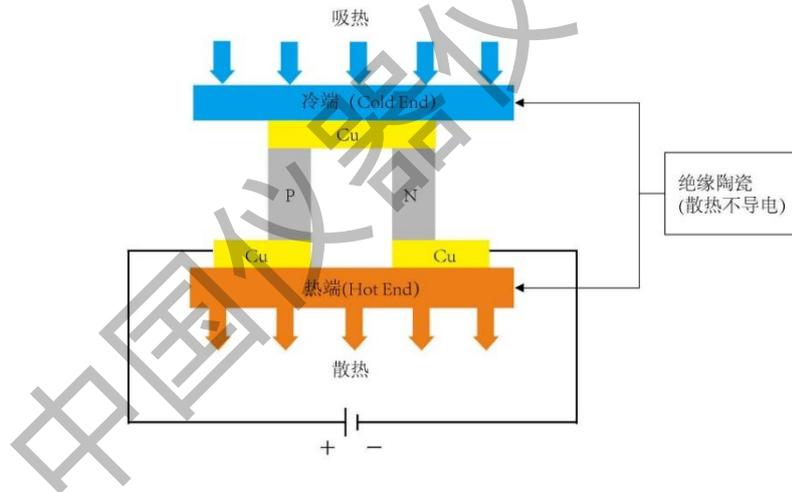


图2 热电致冷工作原理

半导体制冷器的尺寸小，可以制成体积不到 1cm^3 的制冷器；重量轻，微型制冷器能够做到只有几十克甚至数克；无机械传动部分，工作中无噪音，无液态、气态工作介质，因而不污染环境，制冷参数不受空间方向以及重力影响，在大的机械过载条件下，能够正常地工作；作用速度快，使用寿命长，且易于控制。

采用这一技术，首先可以将新型周浸腐蚀试验箱工作电压降至 24V 左右，大大提高了安全性；同时为试验箱的低功耗、小型化创造了必要条件。

2.2 充分利用新技术手段，打造宽温域试验环境

传统周浸试验设备只有加热系统，降温仅仅依靠自然降温，大大降低了试验效率，影响试验数据的完备性。在增加制冷能力的改进上，市面传统的制冷系统为机械压缩式制冷系统，包括压缩机、冷凝器、过滤器、电磁阀、膨胀阀、蒸发器、储液器、制冷剂，通过管路将各个元件链接起来。压缩机制冷的缺点有低温启动难，冬天制热效率低，怕震动，不能倾斜，更不可以随意颠倒。系统维护时需要火工作业来更换损坏元件。

项目采用的半导体制冷器是由半导体制冷片、散冷片、散热片等构成，通过电缆连接起来。半导体制冷是建立于塞贝克效应、珀尔帖效应、汤姆逊效应、焦耳效应、傅立叶效应共五种热电效应基础上的制冷新技术。通过调节工作电流的大小，可方便调节制冷速率；通过切换电流方向，可使制冷器从制冷状态转变为制热工作状态。



图3 半导体制冷器在试验箱的安装

结合周浸腐蚀试验的空气、溶液交替腐蚀的主要工序，充分利用半导体制冷器的热迁移原理，完成热量在溶液、空气中的迁移利用，实现节能的目标。

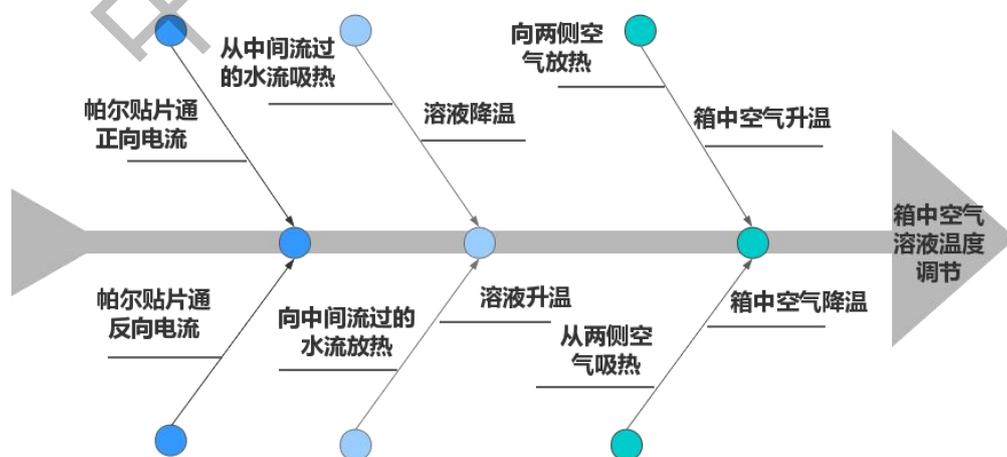


图4 半导体制冷技术在试验箱气液温度调控中的集成应用

试验中，溶液需要提高温度时，给帕尔贴片正向通电，让其从中间流过的水流中吸收热量，通过风扇将温度均匀地分散在试验箱的空气中，从而使溶液降温，又利用了多余的热量来使空气升温，实现了高温空气环境的模拟，充分高效利用能源。反之，当下方溶液需要降低温度时，给帕尔贴片反向通电，让其从两侧的空气中吸收热量，将热量释放在中间的水流，从而使溶液升温，又使空气降温，实现了低温空气环境的模拟。

半导体制冷只要采用半导体制冷片作为特种冷源，在技术应用上具有明显的优势和特点：

(1) 绿色环保：不需要任何制冷剂，没有污染源；可连续工作，没有旋转部件，不会产生回转效应，没有滑动部件，是一种固体片件；

(2) 无噪音：与传统的机械式制冷器件不同，热电制冷器在工作过程中基本上不会产生任何电子干扰信号，它可以与敏感的电子感应器相连接，并不会干扰其工作。另外，它在运行过程中也不会产生任何噪音；

(3) 制冷&制热快速切换：半导体制冷片具有两种功能，既能制冷，又能加热，且制冷和制热可以快速切换，因此使用一个片件就可以代替分立的加热系统和制冷系统。

(4) 精准温控：半导体制冷片是电流换能型片件，通过输入电流的控制，可实现在 0.1 °C 范围内精确地控制温度。再加上温度检测和控制手段，很容易实现遥控、程控、计算机控制，便于组成自动控制系统。

(5) 高可靠性：由于全部为固态基构造，热电制冷器具有很高的可靠性。尽管某种程度上与应用条件有关，但是典型热电制冷器的寿命一般可以达到 200,000 小时以上。

(6) 降低到环境温度以下：传统的散热器需要将温度升高到环境温度以上才可以使用，与其不同的是热电制冷器具有将物体温度降低到环境温度以下的的能力。

2.3 深度优化新技术下的试验程序，打造绿色节能的试验平台

使用半导体制冷技术，能量利用率明显高于现在市面上流通的依靠强制对流循环、压缩机等的试验箱；不需要任何制冷剂，没有污染源；不产生污染物，具有极高的环境友好度；实现加热溶液、制冷空气，并加以反向电流实现制冷空气、加热溶液，实现节能。通过步进电机、减速机和升降机构实现试样的浸入腐蚀溶液及上升至性箱内空气中。通过半导体制冷器和水浴槽内电加热管进行水浴温控，具备以下有点：

(1) 稳定性强：周浸腐蚀箱需要保证试件在箱内的化学环境在一定时间内保持一定的稳定性，以保证实验结果的准确性和可靠性。

(2) 温度控制：腐蚀实验对温度的要求较高，需要能够对试件进行温度控制，使其在一定温度下发生腐蚀反应。该产品能实时监测温度，进行升温和降温，并创新性使用了半导体制冷器来对溶液进行降温。

(3) 环境保护：由于实验中使用的化学试剂对环境的危害较大，周浸腐蚀箱需要具备特殊的设计，以保护环境和操作人员的安全。本项目用升降式试管架代替了轮式试管架，减少了溶液的溅起，并且用半导体制冷剂取代了压缩机，更加绿色环保。

(4) 模拟真实环境：增加了紫外线照射功能，对溶液环境和大气环境都进行了模拟，更贴近真实环境，更全面地检验被测物。

3 立足实验室实践教学，打造新型周浸腐蚀试验箱

其电气控制基本原理，挖掘出适合进行教学化改造的内容，打造电工实验电气控制部分内容的高阶实验内容。为保持实验内容的连续性、进阶性，课程选择周浸腐蚀试验箱的基本电气控制作为实验改革的进阶内容。

表 1 电气控制部分基本与进阶内容的对比

	基本内容/(装载车往返控制)	进阶内容/(周浸腐蚀试验箱电气控制)
内容一	小车 A、B 点往返	样品气、液中循环
内容二	小车 A 停留装载货物	样品腐蚀液中浸泡
内容三	小车 B 点停留卸载货物	样品大气(模拟)晾晒
内容四	——	紫外、红外灯延时开关控制
内容五	——	大气、溶液温度控制

从表 1 可以看出，周浸腐蚀试验箱的电气控制基本逻辑与现有实验内容有较好的衔接、继承性和扩展度，是很好的面向非电专业、尤其是我校传统特色专业人才培养的实验教学案例，增强了工程实践育人的环节。

3.1 新型周浸腐蚀试验箱的总体设计

设备为上下结构，上部为试验用工作室，包括腐蚀溶液槽、试件挂架、温控装置、加湿装置、红外干燥灯、风道循环等；下部为机械安装区，包括溶液泵等；右侧为电气控制柜和仪表测控装置安装位置。试验系统由箱体、悬挂试件的挂架、腐蚀溶液槽、烘烤干燥装置、传动机构、试样温控装置、溶液加热装置、空气循环装置及电气控制系统组成。箱体底部安装 4 只滑轮，方便箱体的移动和搬运。设计图如图 5 所示。

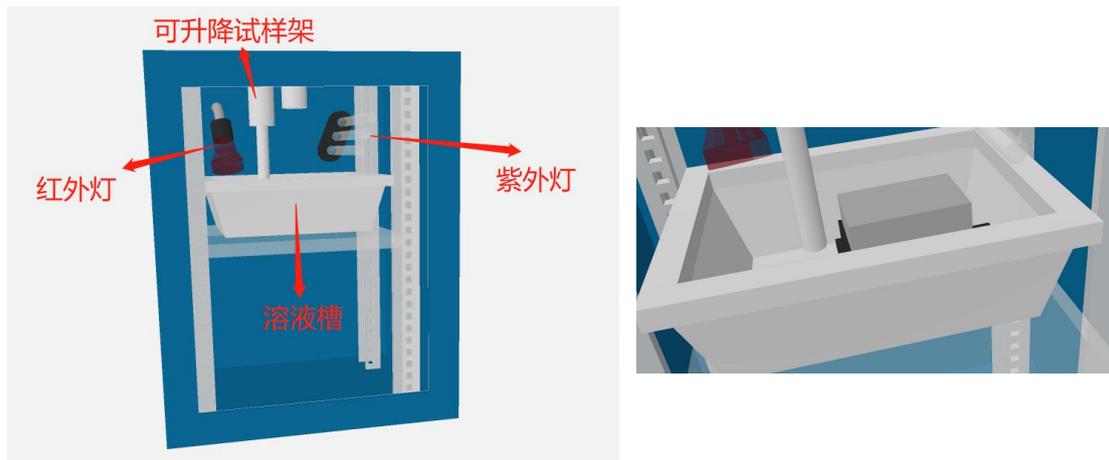


图5 新型周浸腐蚀试验箱的整体和局部设计图



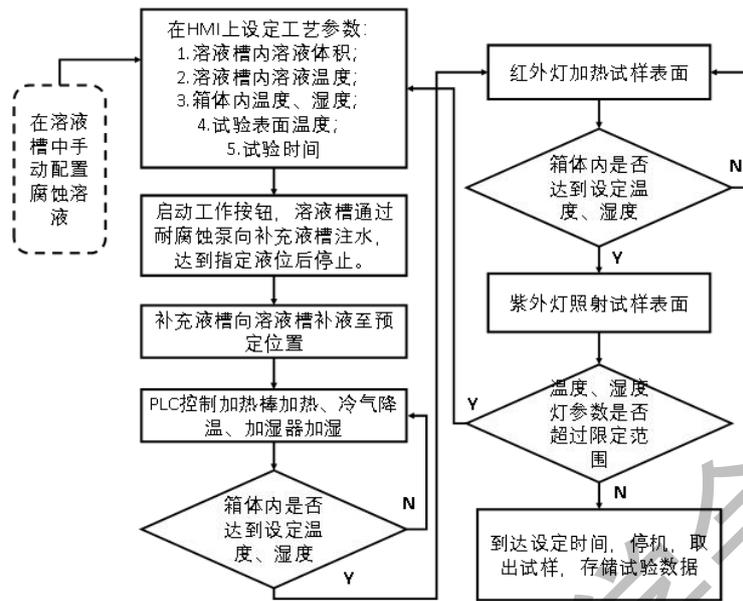
图6 新型周浸腐蚀试验箱的整体和局部设计图

试验箱的各功能模块及其相应作用有：1) 传动系统。由步进电机组成。通实现试样的浸入腐蚀溶液及上升至箱内空气中。2) 溶液加热机构。试验槽为耐腐蚀亚克力材质方形槽，使用帕尔贴片实现对溶液和空气的周期性温度控制；3) 试样温度控制系统。由红外灯、透光玻璃、红外测温仪组成；通过红外线加热试样表面透光玻璃起到隔绝箱内湿气的的作用。总体结构如图6。

3.2 新型周浸腐蚀试验箱的电气控制设计

新的周浸腐蚀试验箱控制系统计划构建一套基于 PLC 的控制系统，由 SIMITIC 的 S7-1200PLC 和 TP700 触摸屏组成，利用 TIA 博途软件进行组态，由 Fameview 画面软件实现对试验箱的监控，发出控制指令；PLC 接受运行信号，并通过继电器、电磁阀等执行机构来

控制试验箱内的设备。



S7-1200 系统包括电源模块、CPU 模块、数字 I/O 模块、模拟量 I/O 模块和以太网通信模块，图 2 为 PLC 系统的硬件配置。PLC 所采集和输出的信号通过以太网通信模块传送到上位机，同操作员站的 HMI 系统监测整个系统的工作状况。为实现系统最基本运行感知能力，选择 WZP-270 温度传感器作为溶液温度传感器；

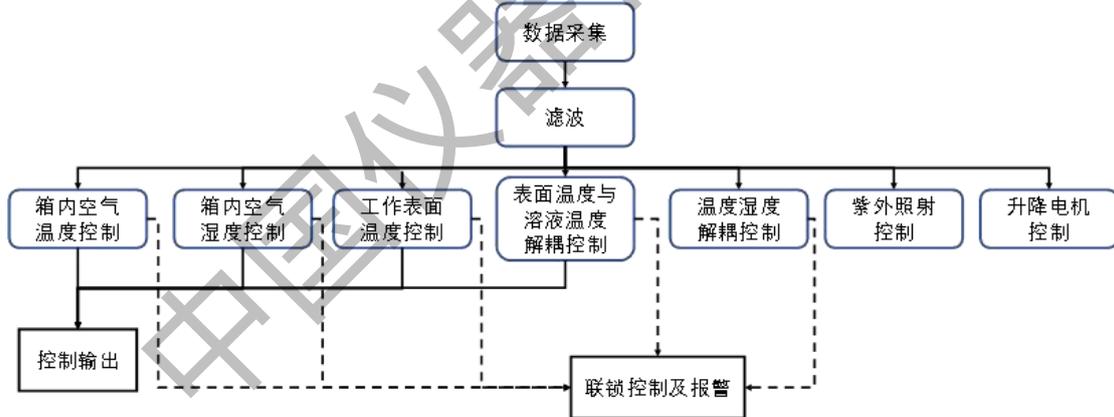


图 7 新型周浸腐蚀试验箱的电气控制设计

温湿度分体式变送器（两线制 4-20mA 输出）作为空气温湿度传感器，作为基本传感器。

产品拟采用数据采集系统、自动调控技术和相应执行机构，在操作界面与仪器底层运行功能模块之间，设计开发出一套专用智能系统，使该设备各个功能模块的信息集中显示、参数调节及指令下达界面相对集中。产品拟采用触摸屏进行信息显示及操作指令下达，配合按键、旋钮等物理手段，完成参数的调节操作，报警功能，利用智慧屏自带的蜂鸣器，实现高温报警、参数锁止功能和联网功能。

4 总结

秉持着绿水青山就是金山银山的理念，站在人与自然和谐共生的高度，推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展，为实现“碳中和”战略做出贡献。所有的设计都要在减少环境污染的前提下，最大化利用能源。同时基于电工电子技术，赋能冶金、材料相关专业的的发展，实现学科交叉融合，打破行业壁垒。本着科教兴国的战略思想，对电工电子实验教学进行改革，为学校中非电专业学生，尤其是冶金、材料相关专业学生的工程实践教学提供更强大丰富的支撑，促进他们的就业，进而助力相关行业发展。

设备在面向新工科的育人中，具备一下优点：

(1) 实验教学中的钢铁冶金领域：该产品可用于电工电子实验教学中的钢铁冶金领域的实验研究，提供控制腐蚀环境的功能，帮助学生深入理解材料腐蚀的原理和机制。

(2) 跨专业融合创新意识和能力培养：由于该产品适用于多个专业领域的实验开展，同学们可以跨专业进行合作和创新，通过探索不同领域的应用场景，提升其跨学科的综合能力和创新能力。

(3) 提供实验环境的稳定性和可控性：通过温度和湿度的精确控制，该产品可以提供稳定的实验环境，确保实验结果的准确性和可重复性。

(4) 数据分析和报告撰写：用户可以根据实验结果进行数据分析，借助产品提供的数据记录功能和实验参数调整，撰写详尽的实验报告，提实验分析能力。

设备的研发得到了学校 2023 年度实验室研究项目支持；第一阶段研发成果，在 2023 年 CIMC “西门子杯”中国智能制造挑战赛智能制造创新研发类自由探索方向获得华北赛二等奖。