

片式元件生产车间数据采集及防错系统的设计和应用

何炳林^{1, 2}

(1. 广东省科学院电子电器研究所, 广东 广州 510400; 2. 广东省电子技术研究所, 广东 广州 510630)

摘要: 随着工业 4.0 时代的推进, 国内片式元件制造企业正致力于实现智能制造与数字化管理。针对国内片式元件制造企业在生产过程对全面监控及精确防错管控人员、机器、材料和方法的需求, 提出并实现了一套完善的数据采集与防错系统。本文详细阐述了系统的总体设计框架、关键技术及实现方式, 并探讨了其在提升生产效率、降低生产成本及优化生产管理方面的潜在价值。该系统已在多家片式元件制造企业投入使用, 运行稳定可靠。

关键词: 数据采集; 数据存储; 防错系统; 片式元件; 生产车间

中图分类号: TP302.1 **文献标识码:** A

1 引言

随着工业 4.0 时代的来临, 国内的片式元件 (包括片式电阻、电容和电感) 制造企业正积极迈向智能制造与数字化管理的转型之路。这一转型不仅要求实时采集生产过程中的温度、压力、速度等实时数据, 还需对设备的运行状态、产量、效率、工艺及品质数据进行全面监控。尤为重要的是, 对生产的防错管控提出了更为严苛的标准。

以物料管理为例, 为了防止发错料, 车间采取了一系列严谨措施。物料到达车间线边仓后, 物料员会进行首次全面检查, 确认无误后再交付生产线。随后, 操作员在上机前再次核对物料, 确保无误后通知 QC 进行物料确认。一旦 QC 确认物料正确, 生产便正式展开。首件产品完成后, 还需进行首件检验, 确保无误后方可进行批

量生产。若中途需要更换物料, 则需重复上述部分流程, 但首件检验环节可省略。然而, 这种依赖人工核对的方式既耗时又费力, 且难以完全杜绝错料问题。

更进一步说, 部分客户对片式元件制造企业的防错管控要求更为精细, 涉及机台、人员及工艺参数等多个方面。显然, 传统的人工核对方式已无法满足这些需求, 亟需借助先进的技术手段提升防错管控效率。

目前, 虽然国内有高校和研究机构在 SMT 生产线、汽车零配件生产线、发动机装配生产线和油泵装配线等领域开展了防错系统的研究, 但针对片式元件制造车间防错系统的研究尚属空白。因此, 对片式元件制造车间数据采集与防错系统 (下文简称“本系统”) 的研发不仅具有紧迫性, 更为未来快速开发其他制造行业生产车间的相关系统奠定了坚实基础。

2 系统技术方案

2.1 系统架构

本系统总体设计框架如图 1 所示，由设备层、采集层、数据库层、接口层和应用层共同构成。在这个框架中，管理员通过 Web 界面维护设备、员工、防错规则、工艺参数和采集配置参数等基础数据，并将其存储于数据库中。

对于没有通信接口的设备，操作员需通过 PDA 手动采集数据，并通过 Web 服务接口上传至数据库进行存储。而对于具备通信接口的设备，数据采集软件则从数据库中下载采集配置参数，按照这些参数自动连接设备并采集所需数据，随后上传至数据库。数据采集软件还提供了对设备进行读写的采集接口，供防错终端使用。这些接口不仅用于设置设备参数，还能实时获取设备的运行数据和状态信息。

防错终端则配备了条码扫描界面，用于在新一批产品生产时录入生产批号、工号、材料条码等信息。当生

产过程中需要更换材料时，也能通过防错终端重新录入材料信息。完成条码扫描并提交校验后，防错终端会调用 Web 服务提供的防错接口，该接口依据数据库的防错规则进行逻辑处理，将防错记录存储至数据库，并将结果返回至防错终端进行展示。此外，防错终端还提供了报工界面，用于录入合格数、废品数及工艺参数。提交校验后，同样通过调用 Web 服务的报工接口进行处理，并将报工记录存储至数据库。

若防错不通过，防错终端将控制设备锁定，禁止开机生产。具备解锁权限的人员可通过解锁界面录入解锁原因，随后防错终端将解锁设备并允许生产，同时将放行记录通过 Web 服务接口保存至数据库。

采集的原始数据、防错记录、报工记录、放行记录和机台利用率等报表展示，以及设备状态、稼动率等动态数据的看板展示，都是直接从数据库获取数据。对于 MES、ERP 等外围系统，本系统提供了 Web 服务接口，以便它们与本系统进行交互和数据共享。

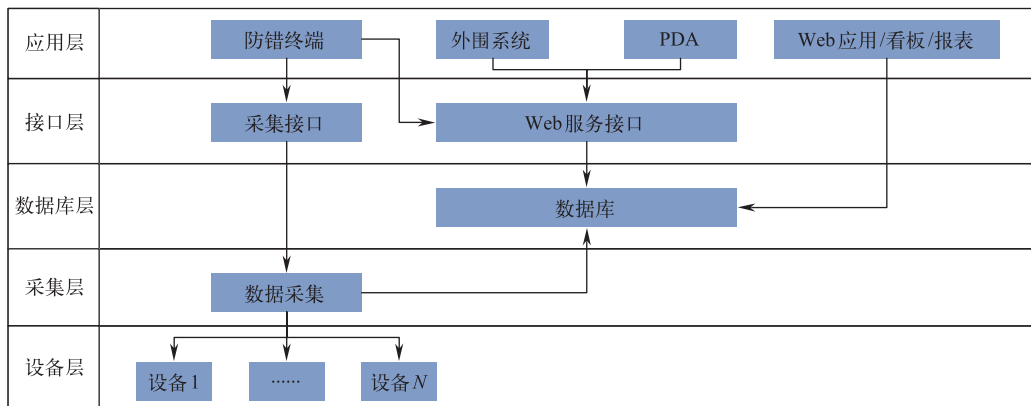


图 1 系统设计框架

2.2 关键技术

(1) 数据采集技术 片式元件的生产工艺涉及多个复杂工序，每个工序均依赖于不同的生产设备。在数据采集方面，我们将其划分为自动采集和手动采集两种方式。手动采集主要针对那些非自动化设备或未配备自动信息采集功能的自动化设备，通过手工填表、条码扫描及手持终端等手段^[1]，精准捕捉所需数据。而自动采集则专为那些配备通信接口的设备设计，能够实现高效、实时的数据采集。接下来，本文将详细介绍以下几种主要的数据采集技术。

1) PLC 数据采集：当设备由 PLC 控制时，PLC 会将设备数据存储在内部存储器中。PLC 通常配备串口和网口作为通信接口，主流品牌包括西门子、三菱、欧姆龙、松下和基恩士等。采集 PLC 数据主要有三种方式，具体选择取决于项目的规模和预算。第一种方式是采用专业的数据采集软件，如 PTC 公司的 KEPServerEX 或亚控的 KingIO Server，或采用工业网关，通过软件配置进行数据采集。第二种方式是利用 PLC 厂商提供的通信库或第三方开源通信库，通过调用 API 实现数据采集。例如，西门子提供的 Prosave S7 通信库支持西门子 S7 系列 PLC

通信，而 EasyModbus 开源通信库则支持 Modbus TCP/UDP/RTU 与 PLC 的通信。第三种方式是根据 PLC 的通信协议自主开发通信库，然后调用该通信库的接口进行数据采集。

2) 工控机数据采集：对于由工控机控制的设备，工控机通常会将设备数据保存在数据库或文件中。通过网口，系统可以从数据库或文件中提取所需数据。然而，由于不同设备在数据库中保存的表结构或在文本中的保存格式可能有所差异，因此我们的系统需要维护工控机的数据采集配置模板。这些模板需明确记录数据类型（数据库或文件），对于数据库，还需记录数据库服务器的 IP 地址、数据库名称、登录用户名及密码，以及需要采集的数据表和字段。对于文件，模板则需记录文件的存储路径、文件类型及数据的保存格式。数据采集软件将根据这些配置模板的参数进行数据采集。

3) LCR 测试仪数据采集：LCR 测试仪是一种专门用于电子元件测试的设备，能够测量电感（L）、电容（C）和电阻（R）等关键参数。该测试仪通常配备串口、GP-IB（通用接口总线）和网口作为通信接口，其中 GP-IB 接口因其国际通用性和标准性而被推荐用于数据采集，确保了与各种仪器的兼容性。在 GP-IB 协议中，SCPI（可编程仪器标准命令）是一套用于控制可编程测试测量仪器的标准语法和命令^[2]。SCPI 的通用性使得使用相同指令和参数控制不同功能的仪器成为可能，同时它也与 IEEE488.1、VXI 总线、RS-232C 和 LXI 总线等仪器接口兼容，展现出优异的兼容性。

（2）防错技术 又称愚巧法或防呆法，其核心思想在于预防过程失误的发生。它通过自动作用、报警、标识和分类等手段，确保即使在作业人员未特别关注的情况下也能避免失误。防错设计的根本目的在于通过对源头的精确控制和严格检查，实现产品零缺陷的终极目标^[3]。

在众多实践中，汪勤^[4]利用条码技术，实现了 SMT 上料的精准防错。付玉祥^[5]将 RFID 技术巧妙地融入 SMT 生产制造流程，显著提升了生产制造的防错能力。梁勇^[6]借助条形码与工件的唯一对应关系，确保了汽车零部件加工和装配前后工序的精确连锁防错。唐渊^[7]运用 RFID 技术，在油泵装配前自动比对物料数据与系统中的 BOM 清单，有效防止了错装、漏装的问题。

由此可见，RFID 技术和条码技术是生产车间防错的两大利器，具体选择哪种技术，取决于具体的应用场景

和需求。本系统针对片式元件生产车间，以防错理论为指导，利用条码识别技术和数据库技术，实现了上料的精准防错管控。

（3）数据存储技术 本系统选择关系型数据库 SQL Server 作为存储设备、员工信息、防错规则、工艺参数和采集配置参数等基础数据，以及防错记录、报工记录、放行记录的存储工具。然而，对于生产车间实时采集的数据，由于其具有实时性、顺序性并带有时间戳，且采集点众多、频率高，对数据库的写入能力、数据压缩能力、查询响应能力及实时分析能力均提出了极高要求。关系型数据库在这些方面往往难以完美满足。因此，本系统决定采用时序数据库来保存这些采集数据。

随着工业 4.0 和物联网的蓬勃发展，市面上涌现出众多优秀的时序数据库，如 InfluxDB、TDengine、OpenTSDB 等，它们各自适用于不同的业务场景^[8]。其中，TDengine 作为一款开源、高性能、云原生的时序数据库，专为物联网、车联网、工业互联网等场景优化设计，能够高效处理大量设备、数据采集器产生的海量数据，并提供实时监控、预警和商业洞察功能。鉴于其卓越的性能和适用性，本系统最终选择 TDengine 作为存储采集数据的时序数据库。

3 系统硬件设计

本系统的硬件构成主要包括看板、PDA、防错终端及服务器等核心组件。其中，看板可选用 LED 屏、液晶拼接屏和 DLP 大屏，每种显示屏均具备其独特性和适用场景。鉴于液晶拼接屏在需要大面积显示和高分辨率的专业场景中表现出色，本系统最终选用液晶拼接屏作为看板设备。

在 PDA 的选择上，我们深知不同行业对 PDA 的需求和标准存在差异。因此，本系统主要选购那些具备出色扫描能力、电池续航能力强、通信稳定、坚固耐摔且易于携带的 PDA 设备，以确保在各种工作环境下都能稳定高效地运行。

服务器的选型则遵循稳定性、针对性、小型化和够用等原则。其中，稳定性尤为关键。对于本系统而言，数据库服务器采用了高性能的 CPU 和大容量的内存及硬盘，以确保数据处理的高效性和稳定性；而 Web 服务器则注重大容量的内存配置，对硬盘容量和 CPU 主频的要求相对较为宽松。

此外，本系统的防错终端硬件框架如图2所示。该终端以一款ARM9芯片作为主控芯片，外围扩展了液晶显示及按键电路，构建出直观便捷的人机界面。同时，通过扩展I/O电路，实现对设备运行状态的精准检测及设备锁机控制。此外，终端还配备了串口、网口和USB接口，便于与PLC、扫描枪、工控机、数据库服务器、Web服务器及测试仪等设备进行连接和通信，从而确保整个系统的顺畅运行和高效协作。

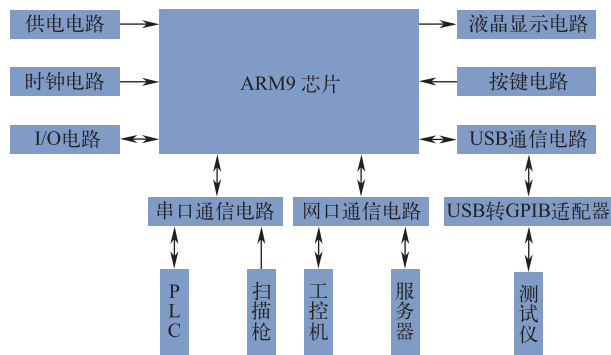


图2 防错终端硬件框架

4 系统软件开发

本系统的软件架构涵盖了五个核心部分：防错终端嵌入式软件、数据采集软件、Web防错软件、PDA软件及报表看板软件。

防错终端嵌入式软件是基于Vxworks操作系统精心打造的，涵盖了BSP（板级支持包）、设备驱动程序和应用软件的开发，以及TFFS文件系统构建。其中，应用软件的开发是本文的重点，它实现了上料扫描、报工产量录入、防错结果的实时显示、设备锁机控制及解锁放行等功能。为确保软件模块间的低耦合和模块内部的高内聚，我们采用了GAMMA Erich等人总结的软件设计模式^[9]，并使用C++语言编写，从而显著提升了软件的可维护性、可复用性及对客户需求变化的快速响应能力。上料防错管控流程如图3所示。

数据采集软件的主要职责在于实现采集配置参数的下载、定期采集与数据的稳定保存，以及参数的灵活设置。为了提升软件的复用性并缩短开发周期，我们巧妙地整合了PLC厂商提供的通信库与第三方开源通信库。采用C++语言编写，确保了软件的稳定性与高效性。此外，我们还提供了一套统一的API接口，方便其他系统或模

块与数据采集软件进行无缝交互，实现了数据的流畅共享与高效利用。数据采集流程如图4所示。

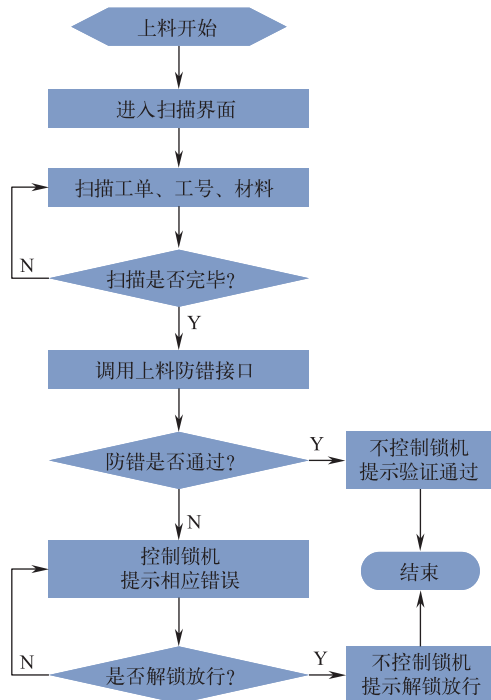


图3 上料防错管控流程

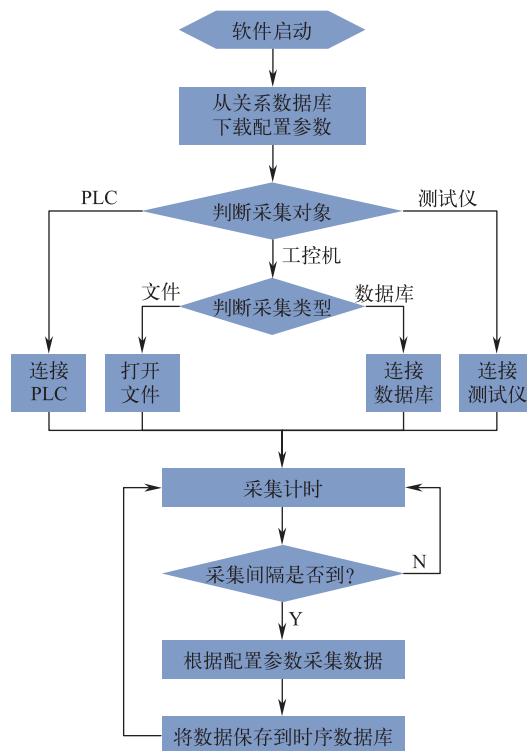


图4 数据采集流程

Web 防错软件以 B/S 架构为基础，前端运用先进的 ASP.Net 技术，后端则依托稳定高效的 SQL Server 数据库。该软件主要负责设备、员工信息、防错规则、工艺参数和采集配置参数等基础数据的维护，以及上料和报工防错处理等功能。我们还利用轻量级的 WebAPI 开发了一套对外接口，使得防错终端、PDA 及各类外围系统能够无缝集成与调用，增强了系统的灵活性和扩展性，同时确保了数据交互的准确与高效。

在 PDA 软件的开发上，我们深入研究了原生开发、H5 开发及混合开发等多种模式。鉴于 React Native 在跨平台开发、原生性能、组件库丰富性、高效开发流程、强大社区支持及易于集成等方面的优点，我们最终选择了这一开源的跨平台移动应用开发框架。通过 React Native，我们成功实现了工单扫描和手动采集数据的功能，为用户提供了更加便捷高效的操作体验。

在报表软件的选择上，我们对比了市场上多款产品，最终选用了 FineReport 作为报表和看板的开发工具。这主要是因为其强大的报表和数据可视化功能、简单直观

的操作界面、安全可靠的数据处理能力、高度的可扩展性及卓越的性能表现。利用 FineReport 的可视化设计界面，可以轻松创建各类报表，包括原始数据、防错记录、报工记录、放行记录及机台利用率等。同时，它还能通过看板实时展示设备状态、稼动率等动态数据，为用户提供全面且实时的数据监控与分析功能。

通过这一系列软件的协同工作，本系统实现了高效、准确的数据采集、处理与展示，以及实现了人、机、料、法的精确防错管控，为企业的生产管理提供了强有力的支持。

5 系统应用

本系统已成功应用于国内多家片式元件制造企业，现以本系统在某电阻制造企业的丝印车间的应用为例进行说明。本系统需要采集 104 台丝印机，包含和博、思元、东京焊接等多种机型。采集的数据包括印刷压力、印刷头速度、印刷总数量、稼动率、运行时间和停止时间等数据，如图 5 所示。

机台号	产品型号	车间	区域	数据类型	发生时间	数据值	班次	工单号
AS732	0805	印刷一车间	新区	运行时间 (分)	2023-09-13 07:46:00	52	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	停止时间 (小时)	2023-09-13 07:46:00	1	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	印刷压力	2023-09-13 07:41:00	0	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	报警总数 (次)	2023-09-13 07:41:00	0	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	稼动率 (%)	2023-09-13 07:41:00	70.6	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	停止时间 (分)	2023-09-13 07:41:00	59	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	印刷总数量 (片)	2023-09-13 07:41:00	5384	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	停止时间 (小时)	2023-09-13 07:41:00	1	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	运行时间 (分)	2023-09-13 07:41:00	47	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	运行时间 (小时)	2023-09-13 07:41:00	4	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	印刷头速度 (mm/Sec)	2023-09-13 07:41:00	180	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	印刷压力	2023-09-13 07:36:00	0	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	停止时间 (分)	2023-09-13 07:36:00	59	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	稼动率 (%)	2023-09-13 07:36:00	70.3	零班	CR0105033250UI780400SK
AS732	0805	印刷一车间	新区	报警总数 (次)	2023-09-13 07:36:00	0	零班	CR0105033250UI780400SK

图 5 采集的数据

本系统需要实现特殊品生产专人专机管控，保证具有权限的人员、机台才能生产指定规格的产品；需要实现印刷项目管控，保证当前的印刷项目跟生产流程系统的同步；需要实现基片、丝网、浆料和刮胶的防错管控，

保证正确的设备上使用正确的材料进行生产；需要实现工艺参数防错，保证正确的设备使用正确的工艺参数进行生产，降低产品的不良品率。防错终端应用软件主界面如图 6 所示，看板展示如图 7 所示。



图6 防错终端应用软件主界面



图7 看板展示

6 结束语

本系统已成功应用于国内多家片式元件制造企业，为企业带来了诸多显著益处，涵盖了生产效率的提升、成本的节约、质量的改进及管理效率的优化等多个方面。

在生产过程中，本系统全面实施了人、机、料、法的防错防呆机制，有效促进了生产的标准化和规范化进程。通过降低误用材料的风险，本系统显著提升了产品质量，大幅减少了废品率，为企业带来了实质性的经济效益。

本系统为每一批产品都详细记录了防错信息，如图 8 所示。当产品出现问题时，企业能够迅速追溯到具体的生产环节和责任人，从而迅速定位问题并进行针对性的

改进。这极大地提高了企业的问题解决效率，提升了产 品质量管理水平。

车间	工单条码	机台号	工序	校验结果	错误原因	校验物料条码列表	操作员	班次
1	CR0106100310UI699800SK	AS1512	非0欧印电阻	OK		*C66#S3H0793A...	DH08811	B1
1	CR0103022250UI773200SK	AS1511	印面电极	OK		*C33D#S3H018...	DH10696	C1
1	CR0106267010UI560500SK	AS1512	非0欧印电阻	OK		*H66#G236040,...	DH08811	B1
1	CR0106027150UI706000SK	AS1512	非0欧印电阻	OK		*C66#S3H0613A...	DH08811	B1
1	CR0103022250UI773300SK	AS1511	印面电极	OK		*C33D#S3H086...	DH10696	C1
1	CR0103022250UI773300SK	AS1511	印面电极	NG	A与流程系统在途工序(E)不符;	*C33D#S3H086...	DH10696	C1
1	CR0103022250UI773400SK	AS1511	印面电极	OK		*C33D#S3H089...	DH10696	C1
1	CR0103022250UI773400SK	AS1511	印面电极	NG	丝网寿命: 超次;	*C33D#S3H089...	DH10696	C1
1	CR0106027150UI706100SK	AS1512	非0欧印电阻	OK		*C66#S3H0633A...	DH08811	B1
1	CR0103047250UI773500SK	AS1511	印面电极	OK		*C33D#S3H054...	DH10696	C1
1	CR0106270010UI698200SK	AS1512	非0欧印电阻	OK		*H55#G230312,...	DH08811	B1
1	CR0103047250UI773600SK	AS1511	印面电极	OK		*C33D#S3H078...	DH10696	C1
1	CR010660R410UI501200SK	AS1512	非0欧印电阻	OK		*C56#S3H0643A...	DH08811	B1
1	CR0103047250UI773700SK	AS1511	印面电极	OK		*C33D#S3H005...	DH10696	C1

图 8 防错记录

借助实时数据采集和监控功能，本系统为企业提供了全面、准确的生产情况反馈。企业得以更加清晰地掌握生产进度、设备状态、员工绩效等关键信息，为生产决策提供有力支持。这有助于企业优化生产流程、提升生产效率、降低运营成本，实现可持续发展。

参考文献

[1] 高燕. 现场数据采集技术与智能制造系统研究 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2016 (18): 145-146.

[2] 马敬川, 严军, 陆纳, 等. 智能气表功耗检测系统的设计与实现 [J]. 电子测量技术, 2018, 41 (15): 46-49.

[3] 赵华坚, 奚立峰. 应用防错技术实现质量零缺陷 [J]. 工业工程与管理, 2002 (4): 46-49.

[4] 汪勤. 表面贴装上料防错和追溯系统的设计与实现 [D]. 苏州: 苏州大学, 2015.

[5] 付玉祥. 基于 RFID 的 SMT 生产制造管理系统研究 [D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2021.

[6] 梁勇. 基于条形码技术的生产过程防错监控系统 [D]. 广州: 广东工业大学, 2007.

[7] 唐渊. 油泵装配线作业过程防错技术与应用 [D]. 南昌: 南昌大学, 2020.

[8] 钟子涵, 张立臣. 基于时序数据库的 CPS 实时监控系统设计 [J]. 现代计算机, 2021, 27 (25): 102-106.

[9] GAMMA E, HELM R, JOHNSON R, et al. 设计模式可复用面向对象软件的基础 [M]. 李英军, 马晓星, 蔡敏, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2000.

收稿日期: 2024-05-14