

一种基于 LoRa 的加油站智慧支付系统设计与实现

李俊 敖岸 刘杰

(中国石化广东石油分公司 广东 广州 510000)

摘要 针对加油行业车牌付、刷脸付等支付技术部署成本高、客户接受程度低等问题,提出一种基于 LoRa (Long Rang) 的智慧支付解决方案。规划系统整体架构,以 SX1268 为核心设计采集终端,优化 LoRa 网关,设计车辆加油场景并落地应用。实践结果证明:系统运行效果良好,LoRa 相比 Wi-Fi、ZigBee 技术在传输距离、功耗、稳定性等方面有明显优势,在未来智慧加油站建设中具有广阔的应用前景。

关键词 物联网 LoRa 智慧支付 系统设计

中图分类号 TP3

文献标志码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2024.11.010

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SMART PAYMENT SYSTEM OF GAS STATION BASED ON LORA

Li Jun Ao An Liu Jie

(Sinopec Guangdong Branch, Guangzhou 510000, Guangdong, China)

Abstract Aimed at the problems of high deployment cost and low customer acceptance of payment technologies such as license plate payment and face payment in the gas industry, a LoRa-based smart payment solution is proposed. The overall system architecture was planned. The collecting terminal and the LoRa gateway based on SX1268 were designed and optimized. The vehicle refueling scene was designed and applied. Practical result shows that the system runs well and LoRa has obvious advantages over Wi-Fi and ZigBee technologies in terms of transmission distance, power consumption, stability. LoRa has broad application prospects in the construction of smart gas stations in the future.

Keywords Internet of things LoRa Smart payment System design

0 引言

随着互联网、人工智能、物联网等新技术的快速发展和应用,传统加油行业正在发生翻天覆地的变化。

为争夺市场和客户资源,中石化、中石油、外资和民营油站都在探索使用新技术创新客户体验和服务模式,以提升现场服务效率和客户满意度。

优化加油支付过程是提升效率的关键。因此,目前各企业都聚焦于支付环节的技术创新,尤其在车牌付和刷脸付方面做了许多积极尝试,但效果不甚理想。一方面,车牌付需部署车辆抓拍摄像枪和边缘计算服务器,同步改造加油机显示屏,成本很高,不适合大规模部署。另一方面,刷脸付虽然成本可控,但因涉及个人隐私,客户接受程度低,推广难度大。最后,无论采

用哪种方式,加油支付过程仍需客户或加油员实际操作,不能做到真正的无感支付体验,更多的只是一种新体验噱头,对提升现场服务效率帮助甚微。

基于以上原因,结合当前 LoRa、NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) 等物联网技术的发展状况,本文设计一种基于 LoRa 的加油站智慧支付解决方案。借助低功耗广域网 (Low Power Wide Area Network, LPWAN) 技术低功耗、低带宽、低成本、远距离等优点^[1],实现 LoRa 技术在加油行业的商业化应用,解决了成本、稳定性、耗电量等问题,为客户提供高效的智慧支付服务。

1 系统总体设计

LoRa 是 Semtech 公司 2013 年发布的基于 1 GHz 以

下频谱的超远距低功耗数据传输技术,其在 433 MHz 频带接收灵敏度可达 -148 dBm,在空旷区域覆盖范围可达 15 km 以上,同等条件下电池寿命是其他 LPWAN 技术的 3 到 5 倍^[2]。此外,LoRa 采用线性调频扩频调制技术,使用不同扩频因子的终端即使使用相同频率同时发送也不会相互干扰,提高了网络效率和抗干扰能力。因此,LoRa 与传统的短距离无线传输技术(如 Zigbee、Wi-Fi 等)相比,具备传输距离远^[3]、抗干扰能力强、功耗低等优点,可以解决远距离传输和低功耗两者不可兼得的矛盾^[4],特别适合于长距离发送小数据量且使用电池供电方式的物联网应用场景^[5]。与 NB-IoT 技术相比,LoRa 则在功耗和响应实时性方面性能更优^[6]。

在加油站实际场景中,现场环境较为复杂,无线信号传输受到钢筋混凝土墙体等障碍物屏蔽较为严重,且不同油站通信距离差异较大(最远通信距离超过 150 m,最近的通信距离小于 20 m)。而且大部分油站坐落在城区,各类无线设备干扰较为严重(尤其是 2.4 G 频段的干扰),使得 Wi-Fi 和 Zigbee 等技术的应用效果大打折扣。此外,受设备防爆标准限制,设备供电只能采用小容量电池方式,为延长电池单次充电服务时长,提升支付服务体验,无线通信的超低功耗成为必要条件。

本文正是基于以上考虑,借助 LoRa 的优点解决了业务场景应用需要,设计加油行业物联网智慧支付系统,架构如图 1 所示,由采集层、汇聚层及应用层三个层次组成^[7]。

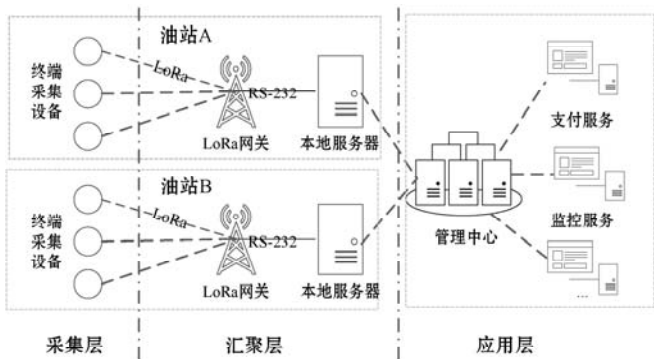


图 1 系统总体设计

1) 采集层。终端采集设备安装在加油枪枪托上,由智能传感器和 LoRa 数据传输模块组成。其作用是感应安装在加油车辆油箱口的无源 RFID 标签,识别并读取用户信息,通过 LoRa 网络将数据传输到汇聚层。除此以外,数据采集设备还需要定期上传设备自身状态信息。

2) 汇聚层。主要包含 LoRa 网关和本地服务器,部署在油站营业室内。LoRa 网关负责监听并接收所

有终端设备数据,并通过 RS-232 接口与本地服务器直连的方式传输数据。本地服务器接收到终端设备数据用户信息后,通过算法将其与加油记录精确匹配,为后台自动免密扣款做好准备。此外,服务器对终端设备的网络准入进行控制,防止恶意接入或篡改,确保数据通信和应用安全。

3) 应用层。云端管理中心处理所有油站本地服务器的支付请求,与银行系统联机完成交易实时扣款,并返回支付结果到站级服务器。此外,管理中心通过分析终端设备上传的信息,监控终端设备运行状态。

2 系统硬件设计

本系统设计的硬件中包含两个核心设备:采集终端和 LoRa 网关。上述两个设备的微控制器电路均采用 ST 公司的 MCU 芯片 STM32F103RET6,该芯片基于 ARM Cortex-M3 架构,具有低功耗、低电压等特点,并具有出色的实时表现,其最大 72 MHz 的工作频率和 512 KB 的存储空间足以胜任本系统的业务。LoRa 通信方面,两个设备均集成基于美国 Semtech 的 SX1268 射频芯片开发的即时数传模块 RT2616。SX1268 是 Semtech 新一代的 LoRa 芯片,也是 SX1278 时隔 5 年后的升级版,在 LoRa 调制下,最高接收灵敏度可以达到 -148 dBm;同时集成了功率放大器(PA),其最大发射功率可达 $+22$ dBm。当其工作在 DC-DC 供电方式下,其接收电流最低可达 4.2 mA,可以实现真正意义上的低功耗。相比上一代产品,SX1268 具有更高灵敏度、更远的传输距离、更好的综合性能^[8]。

2.1 采集终端设计

本系统所设计的终端采集设备如图 2 所示,其同时具备无源超高频识别(UHF RFID)和数据上传的功能。此外,该设备符合国家规定的油站工作环境本安级防爆标准,防爆等级为 Ex ib IIB T4 Gb,满足了在加油站实际应用的前提条件。

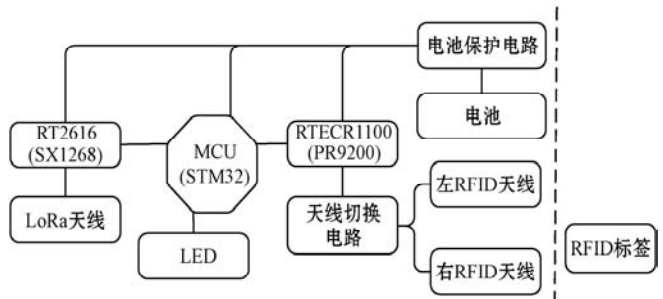


图 2 采集终端结构示意图

采集终端读取的位于加油车辆油箱口的 RFID 标签采用的是无源超高频电子标签,工作频率在 860 MHz

到 960 MHz 之间,耦合方式为电磁反向散射耦合,具有体积小、免维护、低成本、使用寿命长等特点,符合应用场景实际需要。

智能传感模块(RTECR1100)负责感应上述 RFID 标签,读取标签 TID 和 EPC 区域的数据,并通过特定的校验算法识别标签的合法性。该模块以 PHYCHIPS 公司最具性价比的 PR9200 芯片为核心,工作电流小于 200 mA,具备每秒大于 50 张标签的群读能力,读取性能和稳定性出色。模块天线采用左右圆极化双天线,在降低系统对天线方位敏感度的同时,兼容不同车型油箱位置,进一步提高读取成功率。

LoRa 数据传输模块工作在定点传输数据模式,负责将数据发送到 LoRa 网关,即智能传感模块采集到用户标签数据后,完成加密和生成 CRC 校验码,组装数据报文,通过即时数传模块(RT2616)上传至网关。

采集终端使用松下 18650 锂电池供电,容量 3 400 mAh,具有安全性能高、使用寿命长等特点。考虑到现场部署终端节点较多、频繁充电麻烦且影响客户体验,为最大化延长电池服务时长,在终端内置了唤醒-休眠电路。在油枪被提起时唤醒电路加电工作,完成数据采集后重新进入休眠状态,有效降低了系统功耗。采集终端按工作电流 200 mA,单月工作 1 500 次、单次工作时长 5 s 进行测算,单月耗电约 416 mAh;考虑待机耗电预计单月 396 mAh,单月心跳包耗电 80 mAh。设备整体单月耗电量约在 892 mAh,电池理论续航时间可达 114 天。

2.2 LoRa 网关设计

本系统结合实际场景需要,设计一种优化的私有 LoRa 网关方案。该方案使用私有协议,支持信道 LBT,数据传输加密,可构建多节点有序传输、数据安全性高、抗干扰性强的 LoRa 网络,其网络架构如图 3 所示。

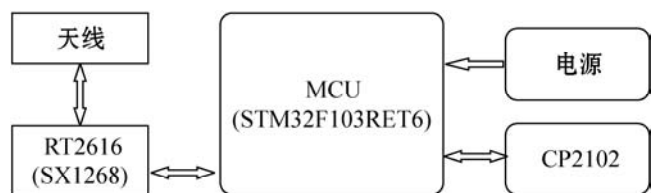


图 3 LoRa 网关结构示意图

现在大多数公司采用的 LoRa 网关是基于美国 Semtech 公司提供的 SX1301 模块作为射频芯片,注重支持多通道和大连接,但成本比 SX1268 昂贵很多^[9-10]。本系统设计的应用场景单个加油站节点较少(小于 100 个节点),但是加油站数量多(大于 2 000 个),因此综合考虑成本、性价比、自身的网络需求等因素后,没有采用 SX1301 芯片网关,而是通过 MCU

(STM32)与 RT2616 数传模块组建一个小型网关,实现快速搭建一个星型私有网络、同时降低系统整体实施成本的目的,网关结构如图 3 所示。

LoRa 网关的数传模块 RT2616 工作在监听模式,负责监听信道中的数据,接收采集终端传输的数据,并将数据通过 CP2102 构建的 USB/RS232 转换器传输至本地服务器。

3 系统软件设计

3.1 软件流程设计

本系统使用 Keil 公司的 RTX 实时操作系统(RTOS)作为采集终端的嵌入式系统。RTX 是一个专为 ARM 及 Cortex M 系列处理器开发的实时操作系统,提供及时响应和高可靠性是其主要特点,这符合加油站支付场景对产生数据快速响应和处理的要求。

系统的软件流程设计如图 4 所示,包含了 RFID 标签读取的超时退出机制和设备的休眠机制,其目的是降低功耗。设备的休眠和唤醒采用事件驱动机制,既能有效节能又能保证数据传输的实时性,同时终端节点在上传数据前需要进行信道的冲突检测,提高系统的整体抗干扰能力。

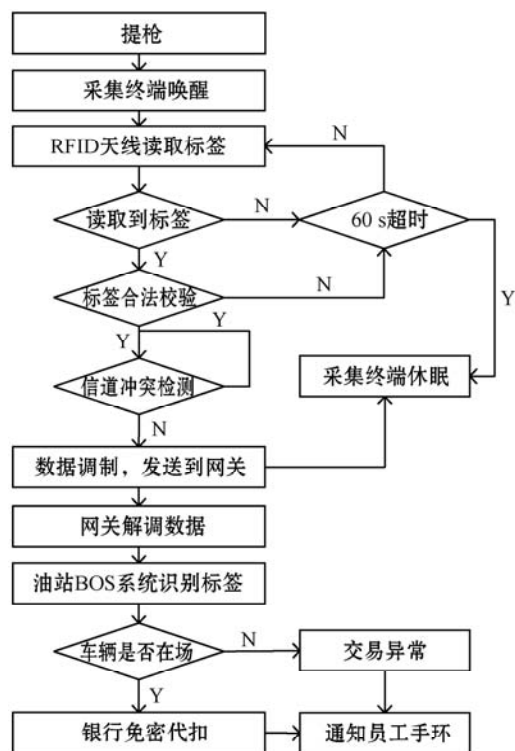


图 4 软件流程设计

3.2 数据传输协议

采集终端与 LoRa 网关的数据传输采用报文的形式,如图 5 所示。报文约定开始符和结束符,传输中的

报文内容为业务数据和报文签名。业务数据包含设备地址(2 个字节,每个 LoRa 节点地址具有唯一性)、标签 TID(12 个字节,用户标签的唯一标识)、电池剩余电量百分比(1 个字节)、报文类型(1 个字节,分业务报文和心跳报文)、扩展字段(12 个字节,预留)共计 28 个字节。基于该报文数据,云端管理中心对所有节点设备健康状态以及剩余电量进行有效监控和预警,提高系统整体运行效率和稳定性。

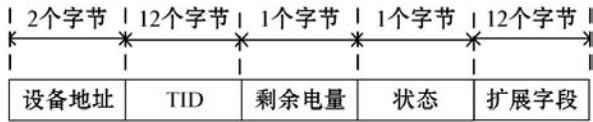


图5 数据报文协议

3.3 安全机制设计

3.3.1 标签合法性校验

车联网的蓬勃发展使得越来越多的汽车元器件中部署了 RFID 标签,这些标签也可能在加油服务过程中被采集终端设备感应读取从而形成干扰。因此,本系统设计标签合法性校验功能,如图 6 所示。

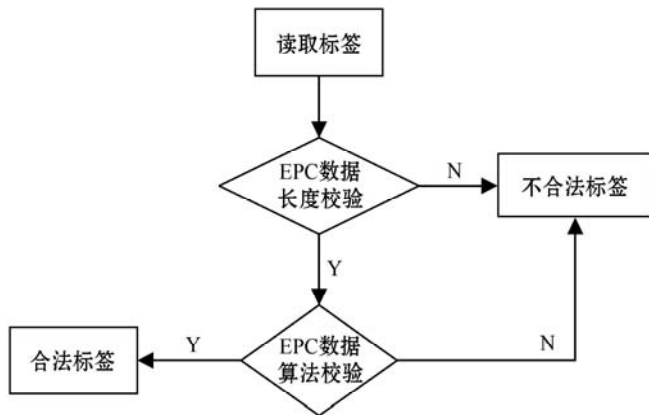


图6 标签合法性识别流程

制作标签时通过自定义算法生成一段带有校验码的字符串,且字符串与标签的 TID 建立一对一的绑定关系,写入标签的 EPC 区域。采集终端读取标签数据后,通过长度校验和算法校验判别标签的合法性。

3.3.2 数据传输安全

方案中的信道数据传输需要高安全性、高可靠性作保障,以防止数据传输过程被恶意窃听或篡改,导致资金损失。因此,本系统设计数据传输加密机制,采集终端向 LoRa 网关进行数据传输时,使用 CRC 校验保证数据完整性。业务数据使用改进的 Caesar 密码算法进行加密,同时对加密的业务数据进行签名,有效确保了数据通信安全。

3.3.3 交易安全的双重保障

在交易安全保障方面,虽然识别匹配用户信息出错或被篡改的概率很低,但是为确保资金万无一失,系

统设计基于车牌识别技术的双重校验机制。车辆进站时,AI 摄像机会识别车牌号,后台系统发起支付前,检验用户线上签约的车牌号是否在加油站,如签约车辆不在现场则交易失败,有效确保用户资金安全。

4 应用场景设计与实测

实际应用场景设计如图 7 所示,描述如下:客户驾车停稳在加油区域,加油员提枪为客户加油;安装在油枪枪托的终端采集设备中的智能传感器,感应到客户车辆油箱盖内侧的无源 RFID 标签,读取客户 ID 信息,通过 LoRa 数传模块上传数据到 LoRa 网关并与本地服务器通信,实现客户 ID 与加油记录自动关联;加油结束挂枪后,系统后台自动完成对客户绑定银行卡的免密扣款,支付成功信息通知到加油员智能手环和油机屏幕,客户驾车离开。整个支付过程无须员工和客户做任何操作,实现了真正意义上的加油无感支付。

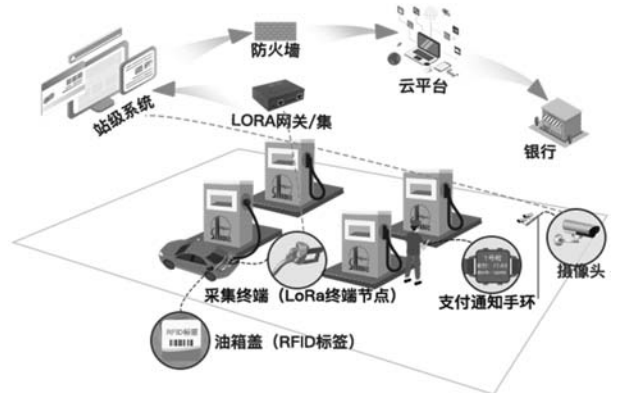


图7 智慧支付系统场景设计

在项目实施初期的探索过程中,为科学评估和选定最优方案,选取了 30 座试点加油站,按场地情况和所处环境分成 6 组进行测试,分组方法见表 1(场地面积大、场地离营业室远的加油站通信距离较长,城区站的频段干扰较大)。

表1 试点加油站分组表

类别	A 组	B 组	C 组	D 组	E 组	F 组
最大通信距离/m	<20	<20	>20 <40	>20 <40	>40 <60	>40 <60
位置	城区	郊区	城区	郊区	城区	郊区
数量	5	5	5	5	5	5

对上述加油站先后采用 Wi-Fi、Zigbee、LoRa 三种无线通信技术进行组网实测,针对系统的网络连通率和电池续航能力两个核心指标进行分析,结果见表 2。每个加油站每种组网方式取连续时间段内的 1 000 笔实际交易,站级系统记录每次交易时收到采集终端发来

的数据并做标记,有数据标记的计为该次交易的网络连通成功。续航天数则按设备充满电安装后开始计算到电量低于 10% 结束。

表 2 测试结果

组别	Wi-Fi		Zigbee		LoRa	
	连通率/%	续航天数	连通率/%	续航天数	连通率/%	续航天数
A 组	70.32	6.5	73.74	15.5	96.26	78.5
B 组	72.76	9.0	75.38	19.0	97.74	86.5
C 组	69.52	6.0	70.94	13.5	97.30	78.0
D 组	71.90	8.5	72.64	14.0	94.58	87.0
E 组	64.74	5.5	67.62	10.0	95.12	76.5
F 组	62.80	7.0	69.74	12.0	99.46	80.5

测试结果表明,LoRa 相比 Wi-Fi 和 Zigbee 在网络连通率和续航天数上优势明显,整体表现非常稳定,在不同油站数值波动幅度很小,非常符合系统大规模推广的要求。

截至目前,本系统已在国内某省区域内 628 座加油站部署应用,通过实践验证了系统运行效果。图 8 是 2021 年 1 月所有油站每天交易笔数和网络连通率趋势,可以看到在系统大规模推广的情况下,日均交易笔数超过 6 000 笔,网络连通率表现仍然非常稳定,始终保持在 95% 以上,达到了系统设计预期效果。

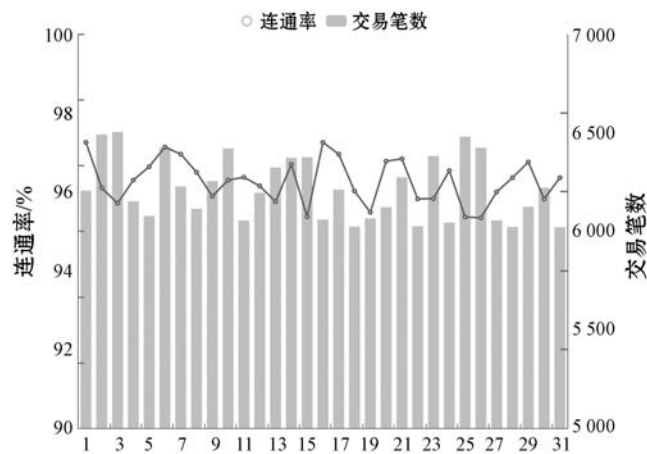


图 8 系统交易笔数与网络连通率趋势

5 结 语

本文将低功耗广域网技术应用于加油行业智慧支付场景中,通过构建低功耗、远距离 LoRa 无线网络,实现了真正的无感支付,降低了投入成本,提高了加油服务效率,受到客户欢迎。

本文对系统总体架构、软硬件设计、应用场景设计等进行详细介绍和分析。从实测结果可知,系统组网

便捷、运行稳定,并且成本低,能很好地满足加油智慧支付需求。对于下一步的工作,我们计划将场景延伸,进一步探索 LoRa 技术在智慧加油站与智慧油库中的应用。

参 考 文 献

- [1] 郑宁,杨曦,吴双力. 低功耗广域网络技术综述[J]. 信息通信技术,2017,11(1):47-54.
- [2] LoRa Alliance. A technical overview of LoRa and LoRaWAN [EB/OL]. (2017-06-10) [2021-05-18]. https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf.
- [3] 唐周益丹,姜宁康. 基于 LoRa 的长距离室内定位的研究[J]. 计算机应用与软件,2018,35(4):148-154,219.
- [4] 董慧,黄世震. 基于 LoRa 技术的智慧农业系统设计与实现[J]. 微机机与应用,2017,36(22):106-108.
- [5] 赵静,苏光添. LoRa 无线网络技术分析[J]. 移动通信,2016,40(21):50-57.
- [6] 祁海禄. 基于 LoRa 的停车位状态信息采集系统设计[J]. 测试技术学报,2018,32(3):207-214.
- [7] 杨磊,梁浩泉,张正,等. 基于 LoRa 的物联网低功耗广域系统设计[J]. 信息通信技术,2017,11(1):40-46.
- [8] 宋维,周新虹. 基于 LoRa 技术的智慧校园物联网数据网关的设计与实现[J]. 信息技术与信息化,2020(11):208-212.
- [9] Sasi3n F, Gachet D, Buenaga M, et al. A dictionary based protocol over LoRa (long range) technology for applications in internet of things[C]//International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence, 2017: 140-148.
- [10] 陈孝松. LoRa 低成本全双工网关的设计与实现[J]. 无线电通信技术,2019,45(2):206-209.

(上接第 45 页)

- [7] 王金龙,宋斌,丁锐. Node.js:一种新的 Web 应用构建技术[J]. 现代电子技术,2015,38(6):70-73.
- [8] 朴灵. 深入浅出 Node.js[M]. 北京:人民邮电出版社,2013:63-65.
- [9] 朱海萍,丁西,刘链. Web 前端中基于 MVVM 框架的技术应用研究[J]. 科技资讯,2020,18(30):8-10.
- [10] 李更天,韩雷,郭庆祝. 基于 J2EE 的船舶机务管理信息系统研究[J]. 港口科技,2007(3):18-21.
- [11] 中国国家标准化管理委员会. 船舶维修保养体系第 3 部分:船舶维修保养的分级、周期代码及周期允差:GB/T 16558.3-2009[S]. 2009.
- [12] 中国国家标准化管理委员会. 船舶维修保养体系第 2 部分:船舶维修保养体系代码:GB/T 16558.2-2009[S]. 2009.