

商用车 FOTA 远程升级仪表问题研究

李志宁, 李猛震, 聂泽宇, 李军龙, 段冲磊, 马伯祥,
王柏淇, 陈嘉慧, 吴承泽
一汽解放商用车开发院电控系统开发部

【摘要】 本文针对通过 FOTA 远程升级商用车仪表失败的问题进行研究。根据 FOTA 系统升级仪表的原理及 FOTA 系统设计方案制定台架及实车试验方案, 并采用黑盒试验场景分析法设计试验用例。通过台架试验、实车试验分析问题产生的原因, 并分析研究问题解决方案。通过优化后的 FOTA 系统设计方案, 提升 FOTA 系统升级车辆仪表的可靠性及鲁棒性。

【关键词】 固件无线更新, 远程升级, 固件软件包, 仪表

Research on the Problem That Commercial Vehicles FOTA System Remote Upgrade Instrument Failure

Li Zhining, Li Mengzhen, Nie Zeyu, Li Junlong, Duan Chonglei, Ma Boxiang,
Wang Baiqi, Chen Jiahui, Wu Chengze

FAW JIEFANG Commercial Vehicle Development Institute Electronic Control System Development Department

Abstract: This article studies the problem that commercial vehicle IC upgrade failure by FOTA remote upgrade. According to the principle of instrument upgrading of FOTA system and the design scheme of FOTA system, develop the bench and real vehicle test scheme, and design the test cases by the black box test scenario analysis method. Through bench test, real car test to analyze the cause of the problem, and analyze the solution of the problem. Through the optimized FOTA system design scheme, improving the reliability and robustness of vehicle IC upgraded by FOTA remote upgrade system.

Key words: FOTA, remote upgrade, firmware software package, IC

引言

随着智能化、网联化及电动化等车辆技术的发展, 用户对车辆智能网联的相关功能需求日益增加, 各主机厂对车辆智能网联功能迭代需求也日趋增加。主机厂可借助 FOTA 技术实现产品功能更新迭代, 节省车辆下线、车辆控制到用户现场的更新成本。FOTA 技术既可提升主机厂对市场问题的响应速度及市场用户对产品功能的满意度, 还可节省用户对车辆维修保养的时间成本。本文将对通过 FOTA 技术远程升级仪表失败的问题进行分析研究, 通过试验定位产生问题的原因并提出优化方案, 以此提升 FOTA 系统升级车辆控制器的可靠性及鲁棒性, 进而提升用户对车辆 FOTA 远程升级技术的信任度及对用户市场服务的满意度。

1 FOTA 远程升级仪表原理

根据车辆及车辆 ECU 升级需求, 可通过 FOTA 云端系统筛选固件软件包及待升级车辆, 根据筛选结果向待升级车辆部署 FOTA 升级任务。升级任务执行策略满足后 FOTA 系统可向待升级车辆的 FOTA 主节点传输固件软件包。本文阐述的通过 FOTA 系统远程升级 IC 的过程, 因此固件软件包为 IC 固件软件包。IC 固件软件包下载完成且车辆状态满足后, 车端 FOTA 主节点向车端 FOTA 交互端节点推送升级任务通知。用户可根据 FOTA 交互端节点的提示完成 FOTA 升级操作。车端 FOTA 主节点将 IC 固件软件包通过 USB 传输

给 FOTA 交互端节点, 用户通过 FOTA 交互端确认升级后, FOTA 交互端将 IC 固件软件包通过 USB 传输给 IC, 传输完成且 IC 检验通过后 IC 进入升级。IC 升级完成后向 FOTA 交互端节点发送升级完成状态, FOTA 交互端节点将升级完成状态发送给 FOTA 主节点, FOTA 主节点将升级任务完成状态发送给 FOTA 云端系统。

FOTA 远程升级 IC 原理如图 1 所示。

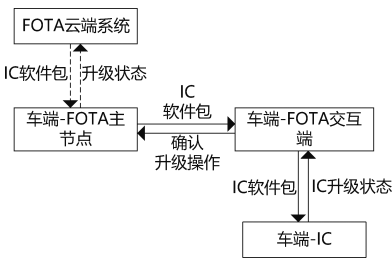


图 1 FOTA 远程升级 IC 原理

2 FOTA 远程升级仪表问题分析

2.1 问题描述

在通过 FOTA 系统远程升级 IC 的测试过程中, 通过 FOTA 系统向测试车辆部署有文件缺失或者文件名错误的 IC 固件软件包, 其中文件缺失或者文件名错误的 IC 固件软件包是指组成 IC 固件软件包的某一个或者某几个文件缺失或者文件名错误。该 IC 固件软件包可下载到车端并且可根据

FOTA 交互端节点提示进行升级。用户确认升级后，FOTA 交互端节点提示“仪表控制器正在升级，请等待”，而仪表一直未显示升级提示界面，直至 FOTA 交互端节点提示“车辆控制器升级失败，车辆当前不可使用，请联系服务站进行维修”。

2.2 问题复现

通过 FOTA 系统向实车部署有文件缺失或者文件名错误的 IC 固件软件包，该 IC 固件软件包可向测试车辆交互端推送 IC 升级任务通知。用户通过测试车辆交互端提示点击升级操作，待确认升级后，测试车辆交互端界面提示“IC 正在升级，请等待”。实车验证结果与台架一致。车辆未重新上电则交互端界面一直提示“车辆控制器升级失败，车辆当前不可使用，请联系服务站进行维修”，该问题将影响用户用车。

2.3 预期结果

通过 FOTA 系统向车辆部署有文件缺失或者文件名错误的固件软件包，FOTA 交互端节点提示“仪表软件包错误，仪表暂不更新”，并且可通过车辆交互端的功能按键关闭该提示页面。

2.4 问题解析

根据仪表 FOTA 远程升级原理及台架试验、实车复验结果，有文件缺失的 IC 固件软件包在车辆状态满足的情况下可进入升级且 FOTA 交互端节点提示升级失败。根据 FOTA 系统升级车辆控制器的流程解析如下：

- 1) 该 IC 固件软件包可成功下载到车端，并且通过了车端校验。
- 2) 车端 FOTA 主节点接收到该 IC 固件软件包后可向 FOTA 系统交互端节点推送 IC 升级任务通知，该 IC 固件软件包下载成功后可通过 FOTA 主节点校验。
- 3) FOTA 系统交互端节点接收到该 IC 固件软件包，并传输给 IC 后可提示 IC 进入升级，表明 IC 对该固件软件包检验错误或者未进行校验；或者 IC 端校验正确，但 IC 和 FOTA 交互端节点的交互协议未匹配。

- 综上，根据问题分析该问题可能由以下三方面引起：
- 1) 车端未对 IC 固件软件包进行校验。
- 2) 仪表对该类错误固件软件包检验错误。
- 3) 仪表与 FOTA 系统交互端通信协议错误。

3 FOTA 远程升级仪表试验设计

3.1 台架试验环境设计

3.1.1 台架硬件试验环境设计

该台架硬件试验环境包含监测设备、仿真设备、FOTA 云端系统、程控电源及根据车型拓扑连接的车端系统。一般车端 FOTA 系统至少包含 FOTA 主节点、交互端节点及待升级车辆控制器。本文研究问题为 FOTA 远程升级仪表失败问题分析，故待升级控制器为 IC。

仪表控制器 FOTA 远程升级台架硬件试验环境如图 2 所示。

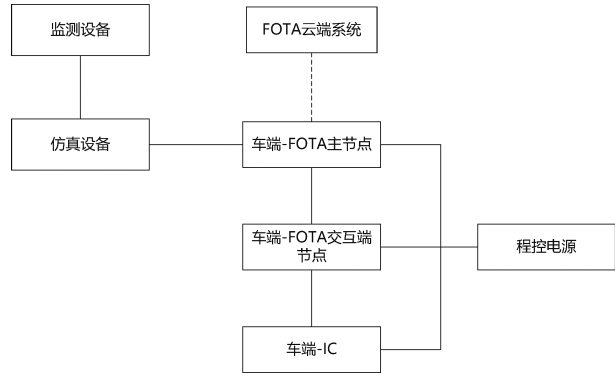


图 2 FOTA 远程升级 IC 台架硬件试验环境

3.1.2 台架软件试验环境设计

通过监测设备配置软件测试工程，根据 FOTA 升级策略可通过该工程可仿真车辆状态。在该问题研究过程中，车辆应保持安全状态，保障用户通过交互端确认升级后可车辆 IC 控制器可进入升级。

在 FOTA 远程升级车辆控制器过程中，车辆安全状态与 FOTA 系统设计及车型设计相关，一般包含以下六个方面：

- 1) 台架环境保持 IGON。
- 2) 程控电源电压 24V 以上。
- 3) 仿真档位置于空挡。
- 4) 仿真车速为 0。
- 5) 仿真发动机转速为 0。
- 6) 仿真刹车制动有效。

FOTA 远程升级 IC 台架软件试验环境如图 3 所示。

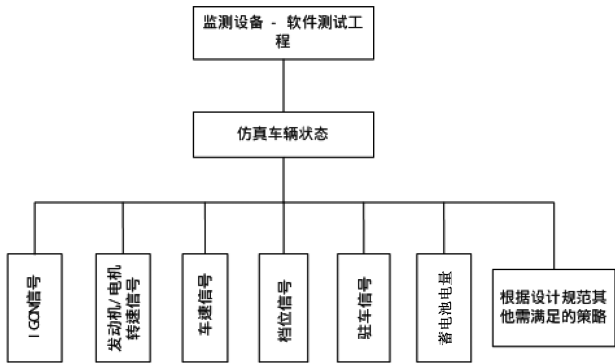


图 3 FOTA 远程升级 IC 台架软件试验环境

3.1.3 台架试验流程设计

通过 FOTA 系统向测试系统部署升级任务，启动程控电源向测试系统供电，仿真实车 IGON、KL30、GND 供电并设置程控电源电压为 24V+。车端 FOTA 主节点固件软件包，固件软件包下载完成后，FOTA 主节点向交互端节点推送升级任务通知，根据交互端提示信息点击 FOTA 升级操作。通过仿真系统仿真车辆车速、档位、驻车、发动机转速等车辆状态。通过交互端确认升级并且车辆状态安全，则交互端提示 IC 进行升级，交互端将信息传输到 IC 后显示正在升级提示信息。待 IC 升级完成后 FOTA 系统交互端提示升级结果信息，该次试验结束。

FOTA 远程升级 IC 台架试验流程如图 4 所示。

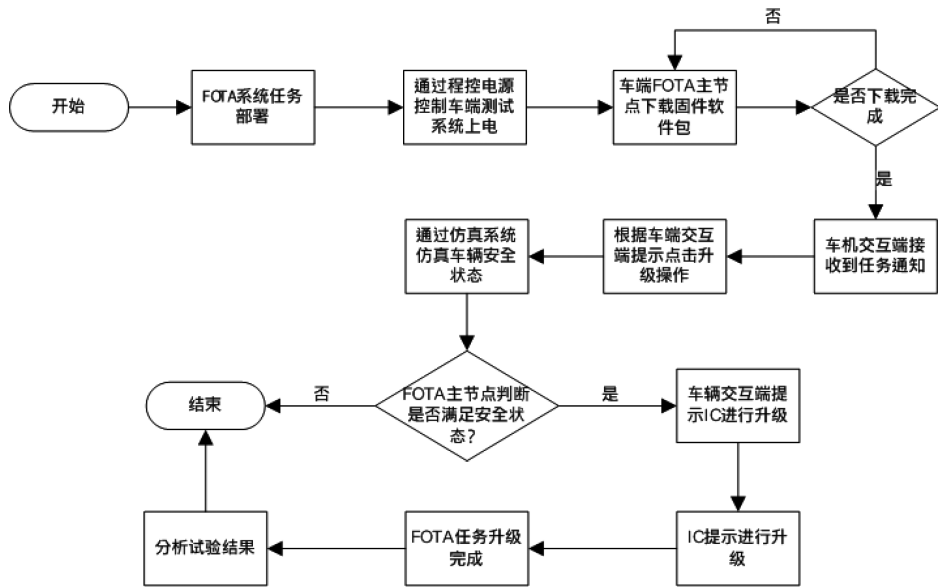


图 4 FOTA 远程升级 IC 台架试验流程

3.2 实车试验环境设计

3.2.1 实车环境设计

该试验车辆包含 FOTA 主节点、FOTA 交互端节点及 IC，车辆电瓶及其他控制器可正常工作。

在 FOTA 系统远程升级车辆控制器过程中，车辆上电后需要保持安全状态，一般包含以下五方面，实际检测状态与 FOTA 系统及车型配置相关：

- 1) 车辆停放在停车位平稳安全区域。
- 2) 车辆上电后未踩油门加速，车速为 0。
- 3) 车辆上电后未启动发动机。
- 4) 车辆上电后档位置于空档。

5) 车辆上电后拉起驻车制动器。

3.2.2 实车试验流程设计

通过 FOTA 系统向测试车辆部署 IC 升级任务。在升级任务执行前保障车辆停在停车位等平稳安全区域。测试车辆上电，即车辆处于 IGON 状态。IC 固件软件包下载完成后，车辆交互端接收到升级任务通知，在通过交互端确认开始升级前保障车速、档位、发动机、驻车制动器等在处于要求的安全状态。根据交互端提示点击 FOTA 升级操作，车辆交互端及 IC 提示“仪表控制器正在升级，请等待”，待任务升级完成后车辆交互端提示升级结果，该次试验结束。

FOTA 远程升级 IC 实车试验流程如图 5 所示。

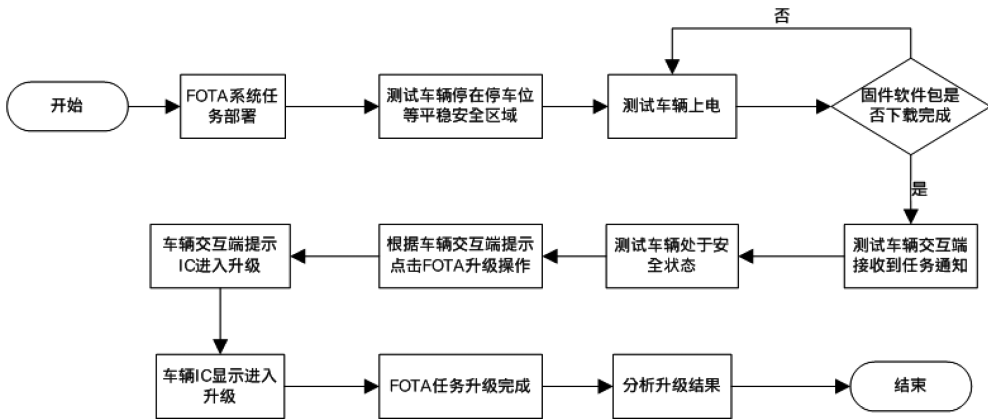


图 5 FOTA 远程升级 IC 实车试验流程

3.3 试验用例设计

各主机厂或者不同车型仪表升级的软件包的文件组成不同，本文以 IC 固件软件包中包含 2 个文件为例，假定固件软件包中包含的文件分别为 FOTA _ install.xml、ICAPP. tar. bz2、根据问题分析及 FOTA 远程升级仪表的原理，可采用黑盒测试方法中场景分析法设计试验用例，设计过程如下所示。

Step1：确认基本流及备选流，见表 1。

表 1 基本流及备选流

基本流	FOTA 系统部署升级任务、车端 FOTA 主节点下载固件软件包、车端 FOTA 主节点校验固件软件包、车端 FOTA 交互端节点提示升级通知、待升级节点校验固件软件包、待升级节点进入升级、升级完成、车端交互端节点退出 FOTA 界面
-----	---

(续)		表 2 试验场景		
备选流 1	车端 FOTA 主节点校验失败	场景 1-待升级控制器升级成功	基本流	
备选流 2	待升级节点校验失败	场景 2-车端 FOTA 主节点校验失败	基本流	备选流 1
备选流 3	FOTA 交互端节点提示错误	场景 3-待升级节点校验失败	基本流	备选流 2
		场景 4-FOTA 交互端节点提示错误	基本流	备选流 3

Step2：根据基本流及备选流确定试验场景，见表 2。

Step3：根据试验场景设计试验用例，见表 3。

表 3 试验用例			
用例组 ID	用例 ID	试 验 用 例	预 期 结 果
TG1	TG1_TC1	IC 固件软件包正确	1. FOTA 交互端提示仪表升级成功 2. 确认升级后交互端提 IC 升级总 3. IC 显示升级信息 4. FOTA 云端提示仪表升级成功
TG2	TG2_TC1	IC 固件软件包检验信息错误	1. FOTA 交互端未提示仪表升级任务通知 2. FOTA 云端提示 IC 固件包检验错误
TG3	TG3_TC1	IC 固件软件包 FOTA_install.xml 名称错误	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示“仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面
	TG3_TC2	IC 固件软件包 ICAPP.tar.bz2 名称错误	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示“仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面
	TG3_TC3	其他 ECU 固件软件包文件名名称错误	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示“ECU 固件软件包错误，ECU 暂不更新” 3. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面
TG4	TG4_TC1	IC 固件软件包 FOTA_install.xml 缺失	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示“仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面
	TG4_TC2	IC 固 件 软 件 包 ICAPP.tar.bz2 缺失	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示“仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面
	TG4_TC3	其他 ECU 固件软件包文件缺失	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示“ECU 固件软件包错误，ECU 暂不更新” 3. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面
TG5	TG5_TC1	IC 固件软件包 FOTA_install.xml 内容错误	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示“仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面
	TG5_TC2	IC 固件软件包 ICAPP.tar.bz2 内容错误	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示“仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面
	TG5_TC3	其他 ECU 固件软件包文件内容错误	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示“ECU 固件软件包错误，ECU 暂不更新” 3. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面

4 FOTA 远程升级仪表问题定位

N 次（N≥3）试验执行结果见表 4。

4.1 试验问题验证

按照台架试验流程及试验用例执行测试，每个用例执行

表 4 试验执行结果

用例组 ID	用例 ID	试验结果描述	试验结论
TG1	TG1_TC1	1. FOTA 交互端提示仪表升级成功 2. 确认升级后交互端提 IC 升级总 3. IC 显示升级信息 4. FOTA 云端提示仪表升级成功	PASS
TG2	TG2_TC1	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 云端提示 IC 固件包检验错误	PASS
TG3	TG3_TC1	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知，确认升级后交互端提示 IC 升级中 2. IC 未提示升级信息 3. FOTA 系统交互端一直提示 IC 升级中直至提示车辆控制器不可使用	FAIL
	TG3_TC2	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知，确认升级后交互端提示 IC 升级中 2. IC 未提示升级信息 3. FOTA 系统交互端一直提示 IC 升级中直至提示车辆控制器不可使用	FAIL
	TG3_TC3	1. FOTA 交互端提示 ECU 升级任务通知 2. 确认升级后交互端提示 “ECU 固件软件包错误，ECU 暂不更新” 3. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS
TG4	TG4_TC1	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知，确认升级后交互端提示 IC 升级中 2. IC 未提示升级信息 3. FOTA 系统交互端一直提示 IC 升级中直至提示车辆控制器不可使用	FAIL
	TG4_TC2	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知，确认升级后交互端提示 IC 升级中 2. IC 未提示升级信息 3. FOTA 系统交互端一直显示 IC 升级中直至提示车辆控制器不可使用	FAIL
	TG4_TC3	1. FOTA 交互端提示 ECU 升级任务通知 2. 确认升级后交互端提示 “ECU 固件软件包错误，ECU 暂不更新” 3. 可通过 FOTA 交互端关闭提示页面	PASS
TG5	TG5_TC1	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. 确认升级后交互端提示 “仪表软件包错误，仪表暂不更新” 3. 可通过 FOTA 交互端关闭提示页面	PASS
	TG5_TC2	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. 确认升级后交互端提示 “仪表软件包错误，仪表暂不更新” 3. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS
	TG5_TC3	1. FOTA 交互端提示 “ECU 固件软件包错误，ECU 暂不更新” 2. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS

4.2 试验结果分析及定位

根据 TG1_TC1 试验执行结果，可证明 IC 可通过 FOTA 系统升级成功；根据 TG2_TC1 试验执行结果，可证明 FOTA

车端可对 IC 固件软件包进行校验；根据 TG5_TC1、TG5_TC2、TG5_TC3 可知 ECU 和 IC 对内容错误的固件软件包均可检验成功；根据 TG3_TC1、TG3_TC2、TG3_TC3、TG4_TC1、TG4_TC2 及 TG4_TC3 用例执行结果可知 IC 对文件缺

失或者文件名称不对的 IC 固件软件包检验错误；根据 TG5 试验用例执行结果可知若 IC 固件包错误可向 FOTA 系统交互端提示错误信息，即 IC 与 FOTA 系统交互端通信协议正确。

综上，本文中该问题因为仪表对有文件缺失或者文件名错误的 IC 固件软件包校验错误所引起。

5 FOTA 远程升级仪表问题解决方案

5.1 设计方案

根据试验问题定位及 FOTA 系统升级仪表原理，可从仪表对固件软件包的校验机制优化设计方案。在 IC 固件软件包检验机制中增加对 IC 固件软件包完整性、文件名正确性的验证机制。用户通过 FOTA 交互端确认升级，IC 接收到

IC 固件软件后即对 IC 固件软件包进行检验，首先检验软件包是否完整，即组成固件软件包的文件是否有缺失。如果文件有缺失，则仪表发送文件缺失错误类型，FOTA 交互端接收到错误类型后根据通信协议向用户提示 IC 升级包错误。若完整性校验通过，则对软件包名称进行校验，如果 IC 固件软件包中包含错误的文件名称，则仪表发送文件名称错误类型，同理 FOTA 交互端接收到错误类型后根据通信协议向用户提示 IC 升级包错误。若固件软件包文件名称校验通过，则对软件包内容进行校验，同样地校验失败则仪表发送文件错误类型，FOTA 交互端接收到错误类型后根据通信协议向用户提示 IC 升级包错误。若 IC 固件软件包完整性、文件名称及内容均校验通过，则仪表可进入升级并且可升级成功。

仪表对固件数据包校验设计方案图 6 所示。

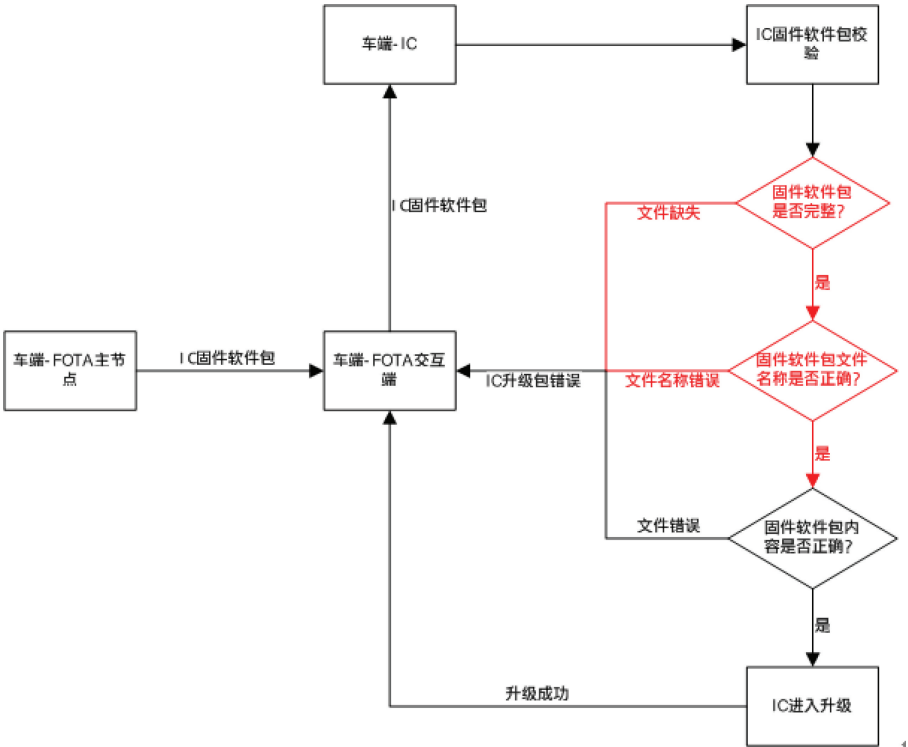


图 6 仪表校验固件数据包原理

5.2 设计方案确定

5.2.1 设计方案验证

根据 FOTA 远程升级 IC 台架试验流程、FOTA 远程升级

IC 实车试验流程及试验用例，根据试验用例表验证优化后的设计方案，所有用例在台架试验及实车试验均可执行成功，且并未引发新的试验问题。

台架试验、实车试验试验执行结果见表 5。

表 5 优化方案试验执行结果

用例组 ID	用例 ID	试验结果描述	试验结论
TG1	TG1_TC1	1. FOTA 交互端提示仪表升级成功 2. 确认升级后交互端提 IC 升级总 3. IC 显示升级信息 4. FOTA 云端提示仪表升级成功	PASS
TG2	TG2_TC1	1. FOTA 交互端未提示仪表升级任务通知 2. FOTA 云端提示 IC 固件包检验错误	PASS

(续)			
用例组 ID	用例 ID	试验结果描述	试验结论
TG3	TG3_TC1	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示 “仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS
	TG3_TC2	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示 “仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS
	TG3_TC3	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示 “ECU 固件软件包错误，ECU 暂不更新” 3. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS
TG4	TG4_TC1	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示 “仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS
	TG4_TC2	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示 “仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS
	TG4_TC3	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示 “ECU 固件软件包错误，ECU 暂不更新” 3. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS
TG5	TG5_TC1	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示 “仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS
	TG5_TC2	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示 “仪表软件包错误，仪表未进行升级” 3. IC 未显示升级信息 4. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS
	TG5_TC3	1. FOTA 交互端提示仪表升级任务通知 2. FOTA 交互端提示 “ECU 固件软件包错误，ECU 暂不更新” 3. 可通过 FOTA 交互端按键关闭提示页面	PASS

5.2.2 设计方案确定

通过多次、多轮、多场景台架及实车验证，优化后的升级方案解决了由于文件缺失或者文件名称错误的 IC 固件软件包导致 FOTA 系统远程升级 IC 失败的问题，并且该设计方案已应用实车上。

6 结论

本文对 FOTA 系统远程升级仪表过程中，由于 IC 固件

软件包文件名称错误及文件缺失导致仪表升级失败的问题进行深入的研究，并在研究过程中设计了完整的台架试验、实车试验方案，完整的台架试验、实车试验方案为其他 FOTA 系统问题提供了问题分析及定位思路。本文根据问题分析及定位提出了该问题的优化解决方案，提高了 FOTA 系统远程升级车辆控制器的稳定性及鲁棒性，进而提升用户对车辆 FOTA 远程升级技术的信任度及用户市场服务的满意度。

参 考 文 献

[1] 马伯祥, 李志宁, 聂泽宇, 等. OTA 系统远程固件升级问题分析 [C]//2020 年中国汽车工程学会年会论文集. 北京: 机械工业出版社, 2020: 1493-1497.

[2] LI Z N, MA B X, NIE Z Y, et al. The Task Distribution Problem Analysis of Vehicle ECU Upgrade via OTA [C]//2021 中国汽车工程学会年会论文集精选. 1341-1354.