

重载组合列车 LTE 通信设备 SIM 卡可靠性研究

何强

国能朔黄铁路 河北 肃宁 062350

【摘要】：本文介绍了重载组合列车 LTE 通信设备 SIM 卡识别故障的原因分析和解决方案。弹片式连接方式的 SIM 卡在振动环境下出现不识别卡的故障无法从根本上彻底消除，从长远考虑，车载 LTE 通信设备需要采用 ESIM 方案，保障 LTE 模块与 SIM 卡之间通信的可靠性，从而更好的保障两万吨重载组合列车的安全开行。

【关键词】：SIM 卡；车载 LTE 通信设备；ESIM

2014 年 9 月朔黄铁路 TD-LTE 宽带移动通信系统开通试运营，这是我国首次将 TD-LTE 宽带移动通信技术应用于铁路通信上，世界首次搭载 TD-LTE 通信系统 30 吨轴重 2.5 万吨重载列车成功开行。列车开行期间，采用地面 TD-LTE 通信系统、机车无线重联系统、CIR 一体化通信电台、可控列尾四种新型基础设施，为重载列车开行提供了科技支持和设备保障，车载 LTE 通信设备的通信可靠性和稳定性极大影响着重载组合列车的安全运行。车载 LTE 通信设备的通信板包含专网 LTE 通信模块和 SIM 卡，SIM 卡信息读取异常引起的长时间脱网会导致重载组合列车单网通信中断。为了保证列车运行安全，单网通信中断后运用部门会将两万吨组合列车分解成两个单元万吨继续运行，大大影响运输效率。因此，需对 SIM 卡的原理进行分析，找到识别错误的根本原因，并提出有效的解决方案。

1 背景介绍

SIM 卡是数字蜂窝移动电话的用户识别卡，全称是“用户识别模块”。移动电话机与 SIM 卡共同构成移动通信终端设备。无论是 GSM 系统还是 CDMA 系统，数字移动电话机用户在“入网”时会得到一张 SIM 卡。SIM 卡就是一个在内部包含大规模集成电路的卡片，卡片内部存储了数字移动电话客户的信息、加密密钥等内容，它可供网络对客户身份进行鉴别，并对客户通话时的语音信息进行加密。SIM 卡的使用，完全防止了并机和通话被窃听行为，并且 SIM 卡的制作是严格按照国际标准和规范来完成的，它使客户的正常通信得到了可靠的保障。SIM 卡在系统中的应用，使得卡和手机分离，一张 SIM 卡唯一标识一个客户。

SIM 卡采用新式单片机及存储器管理结构，因此处理功能大大增强，其智能特性的逻辑结构是树型结构。全部特性参数信息都是用数据字段方式表达，SIM 卡内部包含了与用户有关的、被存储在用户这一方的信息，包括：

(1) 国际移动用户识别号码 (IMSI)。IMSI 是全球统一

编码的唯一能识别用户的号码，它使用网络来识别用户归属于哪一个国家、哪一个电信经营部门，甚至归属于哪一个移动业务服务区。

(2) 用户的密钥和保密算法。用户密钥和保密算法既能鉴别用户身份，防止非法进入网络，又能使无线信道上传送的用户数据不会被窃取，杜绝了“盗号并机”现象。

(3) 个人密码 (PIN 码) 和 SIM 卡解锁密码 (PUK 码)。PIN 码是 SIM 卡的个人密码，可防止他人擅自使用 SIM 卡。当 PIN 码按错后，需 PUK 码来解锁。

(4) 用户使用的存储空间。用户可将一些固定短消息、号码簿等个人信息存入 SIM 卡中。

USIM 是 Universal Subscriber Identity Module (全球用户识别卡) 的缩写。全球用户身份模块 (USIM)，也叫做升级 SIM，是在 UMTS (全称为 Universal Mobile Telecommunication System--通用无线通信系统) 3G 网络的一个构件。除能够支持多应用之外，USIM 卡还在安全性方面对算法进行了升级，并增加了卡对网络的认证功能，这种双向认证可以有效防止黑客对卡片的攻击。该技术可以作为 GSM 网络的另一种高速数据业务载体，它将成为第二代到第三代移动通信 SIM 卡良好过渡的技术依托，该技术早在 1991 年就被提出来作为研究方向，UMTS 除支持现有的一些固定和移动业务外，还提供全新的交互式多媒体业务。UMTS 使用 ITU 分配的、用于陆地和卫星无线通信的频带。它可通过移动或固定、公用或专用网络接入，与 GSM 和 IP 兼容。

2 问题分析

2.1 SIM 卡电路电性能临界

SIM 卡接口信号主要包括 USIM_PWR、USIM_CLK、USIM_RST、USIM_DATA 四种信号。其中 USIM_PWR 为 SIM 卡电源信号，USIM_DATA 为 SIM 卡数据信号，USIM_CLK 为 SIM 卡时钟信号，USIM_RST 为 SIM 卡复位信号。SIM 卡座应该放

在距离模块接口较近的位置，走线一般不超过 10cm，避免因走线过长，使得波形发生严重变形，从而影响信号的通信。

在 USIM_PWR 上加一个 1uF 的电容，其余 USIM_CLK、USIM_RST、USIM_DATA 加 33pF 对地电容。此外，这四个信号线都要增加 TVS 管来防静电，且 TVS 管要靠近 USIM 卡座放置。4 个信号应符合 3GPP 标准 SIM 卡接口部分的电性能指标要求，不能存在指标临界的情况，否则会导致通信异常，SIM 卡读取失败。

2.2 卡座弹片形变量

LTE 车载设备采用抽屉式 SIM 卡座，包含底座和抽屉盖板两部分，相关尺寸是弹片高度和内窗高度，SIM 卡的厚度要求是 $0.76 \pm 0.08\text{mm}$ 。卡座中弹片形变量为：内窗高度一卡厚度一弹片高度。为了保证 SIM 卡与弹片充分接触，弹片必须产生足够的形变量。

表 1 卡座机械性能

名称	标准	说明
接触压力		0.2N $\pm$ 0.6N
接触位置	ISO 7816-2	
铜片		
材料		65-0.4Y-0.15
电镀		镍上镀金 15u"
绝缘材料		热塑性塑料

2.3 弹片氧化

卡座弹片和 SIM 卡触片都是铜基材+镀镍层+镀金层，这是电连接器行业主流的工艺。镀金层很薄，存在很多微孔，通过有机物封堵剂堵住微孔，隔断镍层与空气接触，但时间长了之后还是长出少量氧化膜蔓延在金属表层，使金属失去光泽。模块或 SIM 卡使用的时间越久，镀层磨损越严重，表面产生的氧化物越多，出现故障的几率越大。

为了进一步确认卡座弹片和 SIM 卡触片的状态，可对 SIM 卡进行表面形貌分析（SEM）和成分分析（EDS）。SEM 主要用于样品表面的微观形貌与结构的表征，EDS 用于元素定性和半定量分析。

通过将现场故障 SIM 卡座和新的 SIM 卡座、出过故障的 SIM 卡和新 SIM 卡对比测试，结果如下：

（1）使用时间长的 SIM 卡座弹片存在较严重的划痕，甚至部分区域的镀金层被磨穿，露出镍层，弹片边沿存在不导电的有机异物、氧化物；

（2）使用时间短的 SIM 卡座弹片有轻微划伤，接触部位周围存在较多有机异物、氧化物；

（3）SIM 卡接触部位存在较严重的划痕，纵向和横向都有，表面存在较多的有机异物、氧化物。

2.4 卡座弹片与 SIM 卡之间异物

触片不是绝对平整的，另外金属层的硬度很小，卡座弹片和 SIM 卡触片是通过若干个小微丘接触导通的。车载振动环境会引起 SIM 卡座弹片与 SIM 卡触片产生微动摩擦，将弹片和 SIM 卡触片的镀金层表面的氧化膜、灰尘等物质推至弹片接触区域，从而割断电信号，导致不识别卡的故障。此时若重装 SIM 卡，弹片将异物推开，恢复接触，故障消失。甚至可能因微动摩擦将异物推开，即出现运行中自动恢复的情况。

急剧降温时，异物变硬，更容易顶起弹片，割断电信号，从而使不识别卡的故障集中爆发。

3 解决方案

3.1 定期清洁 SIM 卡

朔黄铁路东西跨度大、海波落差大、山区隧道长等自然因素造成机车车载设备运行环境恶劣，冬季高寒、夏季高温、隧道灰尘大、电磁干扰强，为了保证车载 LTE 通信设备正常识别 SIM 卡，可以结合机车修程，定期清洁 SIM 卡表面附着的不导电异物。可采用棉签蘸酒精后擦拭 SIM 卡触片的方法，擦拭十几个来回，直到 SIM 卡触片可以看到明显的金属反光。图 1 和图 2 为通过 SEM 检查颗粒异物是否被清除，从图中可以看出，清洗后异物明显减少。

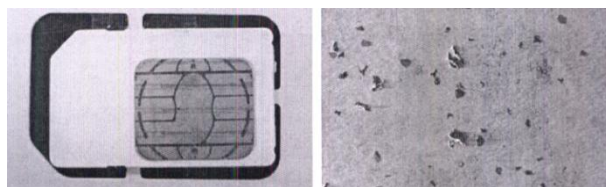


图 1 SIM 卡清洗前状态

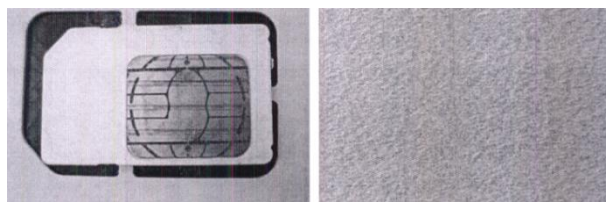


图 2 SIM 卡清洗后状态

3.2 SIM 卡触片加干性润滑膜

振动磨损破坏触片镀层，加剧氧化物的产生，是造成不识别卡的重要原因，若增加润滑膜，应可以有效减缓划伤，降低不识别卡的风险。但是涂敷干性润滑膜的工序比较复杂，包括清洁、65℃预热、涂敷、晾干、80℃烘烤等步骤，需要 SIM 卡厂家提供技术指导。

干性润滑膜是由不可燃的全氟化碳溶剂混合全氟聚醚油及低分子量聚四氟乙烯颗粒,并添加耐热、抗腐蚀等添加剂配制而成的干性触点润滑剂。此氟素触点润滑剂干燥后在工件表面形成一层均匀润滑薄膜,具有不沾灰尘、不扩散的特性,设计用于保护开关触点或连接器中的贵金属(金/银)不受外界侵蚀。具有如下性能特点:

(1) 优异的高低温性和润滑性,低摩擦系数和挥发损失,无油扩散现象;

(2) 良好的通电能力,不会影响开关的导电性和邻近的导体或部件的电阻;

(3) 优异的抗氧化及化学药品腐蚀性能,并可防止硅污染所引起的接触不良;

(4) 排水、防潮、保护金属不受侵蚀,与绝大多数塑胶和弹胶体相容性良好。

3.3 改用 ESIM 卡

不识别 SIM 卡故障是弹片式连接方式在振动环境下的硬伤,无法完全杜绝。为了从根本上解决接触不良导致的 SIM 卡识别故障,可以采用 ESIM 的方案。

ESIM 卡,即 Embedded-SIM,嵌入式 SIM 卡。ESIM 卡的概念就是将传统 SIM 卡直接嵌入到设备芯片上,而不是作为独立的可移除零部件加入设备中。未来通用的 ESIM 标准建立将为普通消费者、企业用户节省更多移动设备使用成本,并带来更多的便利、安全性。

EIM 得以蓬勃发展的关键,源于 ESIM 技术的几个核心特征:

参考文献:

[1] YD/T 2630.1-2013,900/1800MHz TDMA 数字蜂窝移动通信网 SIM-ME 接口技术要求 第1部分:SIM 应用[S].

[2] 易睿得.LTE 系统原理及应用[M].北京:电子工业出版社,2012(1).

作者简介:何强,1981年3月,男,江苏盐城人,大学本科,工程师,从事机务技术管理,研究方向:铁路机务运用及技术管理等。

(1) 不占空间,因其在制造过程中被嵌入到设备中,相比实体卡 SIM 卡片能够节省更多的空间;

(2) 能适应异常恶劣的环境,与设备集成的方式相比较插拔式的传统 SIM 卡,能够耐高温、防尘、抗震,具备适用面更广的电气特性;

(3) 灵活性,灵活的选择运营商网络、OTA 空中下载方式动态写入用户签约信息,可以实现产品销售后的用户自主激活;

(4) ESIM 基于安全域的体系架构及 PKI 安全基础设施的引入,提供了更高的安全性。

以紫光同芯微电子的 THD89 1.0.1 型 ESIM 为例,支持 DFN8 (3*3) 和 DFN8 (5*6) 两种封装。使用环境温度范围 -40℃至 105℃,FLASH 支持 50 万次的读写操作。应用时如果将 ESIM 芯片直接焊接到设备通信板上,那么通信板其他故障同样会导致 ESIM 无法使用,就需要发卡部门重新写卡,严重影响机车运用效率。为此,可以设计一个转接小板,将 ESIM 芯片焊接到小板上,然后通过接插件将小板插入通信板 ESIM 插座,这样既保证了 ESIM 芯片的接插牢固,又提高了使用灵活性。一旦通信板发生故障,可以将 ESIM 转接小板取下,装到新的通信板上,实现板件的快速更换。

4 总结

重载组合列车车载 LTE 通信设备弹片式连接方式的 SIM 卡在振动环境下出现不识别卡的故障无法从根本上彻底消除,只能通过定期清洁或增加干性润滑膜的方式尽量提高可靠性。从长远考虑,需要采用 ESIM 方案,保障 LTE 模块与 SIM 卡之间通信的可靠性,从而更好的保障两万吨重载组合列车的安全开行。