

广州地铁3号线车门控制器 非易失性存储器故障分析

夏耀天, 金文涛, 李豪达

(广州地铁运营事业总部 基地维修中心, 广东 广州 510310)

摘要: 分析了广州地铁3号线车门控制器非易失性存储器故障原因, 发现该故障与存储器外围电路有关, 并提出了解决措施, 已得到现场试验验证。

关键词: 广州地铁3号线; 车门控制器; 非易失性存储器; 故障

中图分类号: U231

文献标识码: B

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.01.106

广州地铁3号线列车使用的是IFE公司生产的RLS-E2型电控塞拉门, 根据规程要求在大修时需更换车门控制器(下称门控器)内部存储器。该存储器是一种自带电池的NVRAM(Non-Volatile Random Access Memory非易失性存储器), 型号为DS1220。在首次进行更换存储器后的运营中, 门控器出现了故障, 对正线车辆运营造成了影响, 为此对该问题进行了研究, 查明了原因, 制定了解决措施, 并进行了验证。

1 故障情况

列车在正线运行动车时, 车辆显示屏出现车门红点, 瞬间恢复, 运行一段时间后再次出现同样故障, 在运行速度达到50 km/h时车辆屏显示牵引封锁/任意车门打开信息, 车门图标半红半黑、红点、小锁轮流显示。行调组织司机操作车门旁路后恢复正常, 列车运行至折返线退出服务。

检修人员在列车回库后读取了该门控器故障信息, 发现该门控器最新故障数据存储记录的时间都为2032年12月03:48:23, 故障描述从代码13报至代码20, 如图1所示。故障记录显示的故障时间、故障描述都与实际不符, 表明门控器内部故障存储信息出现异常。

现场恢复该车门切除装置, 进行多次开关车门动作, 未出现故障。重启门控器, 发现该门控器错误指

示灯闪烁, 同时蜂鸣器发出蜂鸣声, 车门打开指示灯不停闪烁, 车门不能正常开关, 初步认为该故障与门控器有关, 更换新门控器后故障消除。

2032-12-16 03:48:23	13	Short circuit at the output A1 of the DCU	B
	Active	Door mode indicator	d
2032-12-16 03:48:23	14	Short circuit at the output A2 of the DCU	B
	Active	Door status indicator	d
2032-12-16 03:48:23	15	Short circuit at the output A3 of the DCU	B
	Active	Warning buzzer	d
2032-12-16 03:48:23	16	Short circuit at the output A4 of the DCU	B
	Active	-	d
2032-12-16 03:48:23	17	Short circuit at the output A5 of the DCU	B
	Active	Electromagnetic brake at LDCU	d
2032-12-16 03:48:23	19	Short circuit at the output A6 of the DCU	B
	Active	-	d
2032-12-16 03:48:23	20	Short circuit at the output A7 of the DCU	B
	Active	Electromagnetic brake at MDCU	d

图1 门控器故障记录

2 故障分析

2.1 NVRAM的原理

NVRAM是一种计算机内存, 它可以在断电的情况下保持数据, 这是与普通计算机内存(RAM)不同的地方。该型号的NVRAM内部封装有静态随机存储器(SRAM)、电池电源切换电路(controller)以及锂电池(battery), 如图2所示。依靠锂电池保持其数据在掉电后不消失。电池电源切换电路则保证在电源切换时封锁内存的读写信号, 避免其数据被错误修改。该芯片可以在断电后保持内部存储的数据信息不丢失, 同时又具有SRAM(静态随机存储器)高速访问的优点。

2.2 NVRAM的作用

根据车门控制器维护手册中的说明, 该存储器的作用为存储故障数据, 但经过测试发现, 其作用远不止于此。

使用编程器读取NVRAM内数据, 发现有初始化(INIT)、时间(Time)、循环(Cycles)、故障(Faults)等信息, 如图3所示。结合门控器的电路原理图和门控器功能描述, 初步推断其存储了故障次数、开关门

循环次数、开关门循环时间等信息。

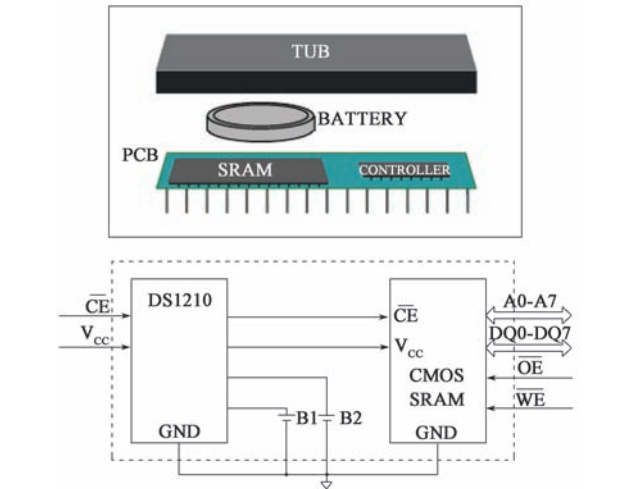


图 2 DS1220 NVRAM 内部示意图

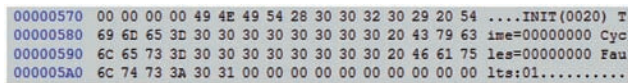


图 3 NVRAM 内部存储信息

使用逻辑分析仪采集运行 83 ms 时间内存储器各引脚信号, 发现其整个存储地址空间都有读写操作, 其中部分地址读写次数超过 1 000 次以上, 在上电后立刻写入数据并周而复始地进行读写操作。由此可以推断该存储器还作为门控器单片机的外部拓展 RAM, 存储软件运行过程中的变量或常量。

2.3 NVRAM 的失效类型

根据 NVRAM 的器件特点和功能, 推断其失效类型及表现如下:

1) NVRAM 内部电池失效

内部电池失效时, NVRAM 对于门控器而言仅仅是一个普通的 SRAM, 外部电源断电重新上电后, 内部的数据为随机数据, 上电后的门控器会报故障存储器故障, 该故障需通过更换 NVRAM 来消除。

2) NVRAM 内部数据掉电期间发生改变

若 NVRAM 内部电池切换电路出现故障, 在 NVRAM 断电时, 有可能造成内部数据变化。门控器启动后会对 NVRAM 内部分数据进行读取校验, 以识别该 NVRAM 数据是否正常。若在掉电时 NVRAM 内部数据被修改, 上电后的门控器会报存储器故障。该故障可通过对 NVRAM 进行清零操作来排除。

3) SRAM 故障

NVRAM 本质上是一个电池供电的 SRAM, 因此 SRAM 可能出现的故障同样也会在 NVRAM 上出现。SRAM 故障有很多种类, 如无法写入数据、无法读取数据、无法写 1、无法写 0、地址线串位、数据线串位等。NVRAM 不仅记录故障数据及车门参数, 还作为单片机外部 RAM, 存放着程序运行时的临时变量, 因此若发生 SRAM 故障, 会导致门控器逻辑功能紊乱, 出现信号输出错误及总线数据混乱现象。

从该车门的故障现象来看, 门控器并未死机或是出现上述第 1、2 种故障现象, 而是出现半红半闪、红点、小锁轮流出现的情况, 因此可以认为其程序依然运行, 但其存储在 NVRAM 中的临时变量因为本身或相关电路发生故障导致其发出信息紊乱, 表现为功能紊乱, 同时也造成故障信息出现紊乱。

3 试验验证

故障门控器在车门试验台进行了多次测试再未出现故障, 结合在列车故障回库的情况, 推测该故障具有一定的随机性, 与存储器存在关联。为了查明故障门控器 NVRAM 的故障原因, 分 2 步进行测试。

3.1 NVRAM 离线测试

制作 NVRAM 离线测试工装, 以此检测 NVRAM 本身是否存在缺陷。测试程序包含数据突变测试、地址线移位测试、地址线突变测试、数据线移位测试、数据读写及掉电测试等 5 方面内容。

经过 24 h 的连续测试, 测试工装未报告错误, 因此据此认为故障门控器上新更换的 NVRAM 是无缺陷的。

3.2 NVRAM 在板测试

门控器的程序烧录在单片机外部的 EEPROM 上。利用此特性, 将 NVRAM 离线测试程序移植到门控器上, 以此检验 NVRAM 及其外围电路是否存在缺陷。测试程序包含地址线移位测试、地址线突变测试、数据线移位测试、March-C 算法测试、数据读写测试等 6 方面内容。

测试时, 使用故障门控器及正常门控器, 与若干个新旧 NVRAM 进行组合对比试验。测试结果如表 1。

表 1 故障门控器与正常门控器对比试验结果

门控器	NVRAM	状况
故障门控器	旧 NVRAM	测试正常
故障门控器	故障时的新 NVRAM	数据读写测试出现错误
故障门控器	同批购买的新 NVRAM	数据读写测试出现错误
故障门控器	原厂新 NVRAM 样片	数据读写测试出现错误
正常门控器	旧 NVRAM	测试正常
正常门控器	故障时的新 NVRAM	测试正常
正常门控器	同批购买的新 NVRAM	测试正常
正常门控器	原厂新 NVRAM 样片	测试正常

测试结果表明, 故障门控器与旧 NVRAM 搭配无问题, 而与其他无论何种新的 NVRAM 搭配都会出现问题; 正常门控器无论与何种 NVRAM 搭配, 测试均无问题。因此可以排除安装在故障门控器上的新 NVRAM 存在缺陷。

考虑到 2 种门控器比照试验用的 NVRAM 均是相同的, 唯一不同的仅有门控器本身。因此对 NVRAM 的外围电路进行了互换试验, 试验对象为地址总线上的 74HC573 锁存器, 如图 4、图 5 所示。

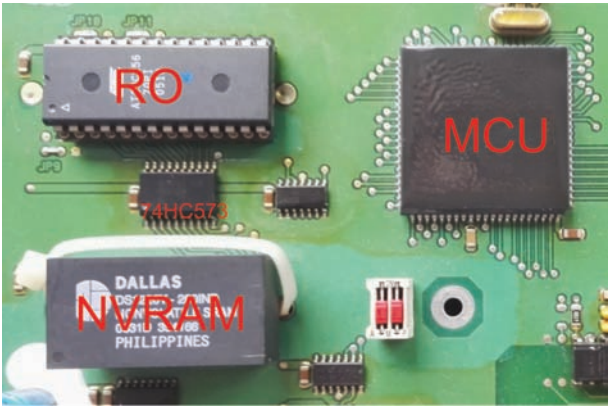


图 4 门控器 PCB 板局部图

将故障门控器上的 74573 芯片拆下，换上一个全新的 74573 芯片，并把正常门控器上的 74573 芯片拆下，换上故障门控器上的 74573 芯片。分别对这 2 个门控器进行测试，测试结果如表 2。

表 2 74573 芯片互换对比试验结果

门控器	74573 芯片	NVRAM	状况
故障门控器	新 74573	旧 NVRAM	测试正常
故障门控器	新 74573	故障时的新 NVRAM	测试正常
故障门控器	新 74573	同批购买的新 NVRAM	测试正常
故障门控器	新 74573	原厂新 NVRAM 样片	测试正常
正常门控器	故障门控器的 74573	旧 NVRAM	测试正常
正常门控器	故障门控器的 74573	故障时的新 NVRAM	数据读写测试出现错误
正常门控器	故障门控器的 74573	同批购买的新 NVRAM	数据读写测试出现错误
正常门控器	故障门控器的 74573	原厂新 NVRAM 样片	数据读写测试出现错误

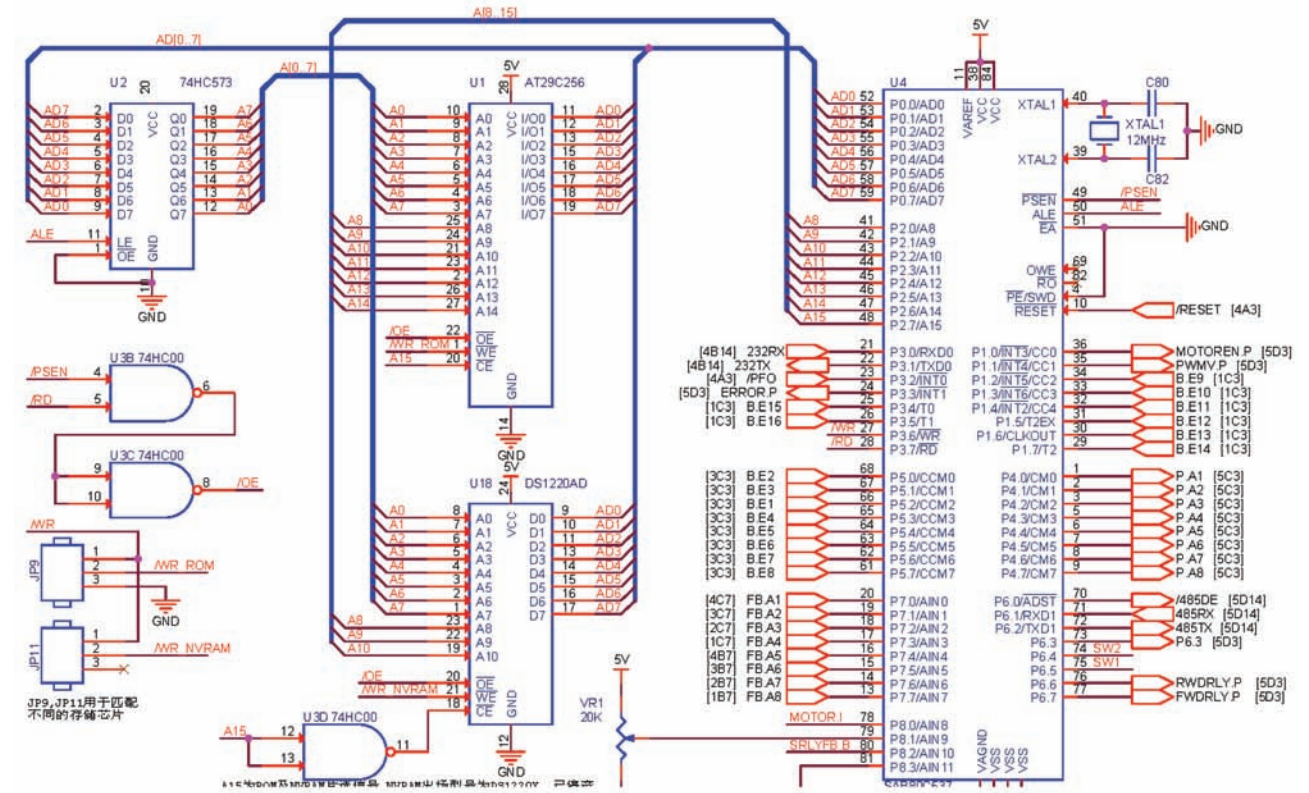


图 5 门控器 NVRAM 相关电路原理图

故障门控器在更换了 74573 芯片后，所有测试均通过。而正常门控器在使用故障门控器的 74573 芯片后，仅旧 NVRAM 测试通过，新 NVRAM 测试异常，与表 1 中的故障门控器表现一致，故障发生了转移。

根据上述试验情况，可以认为故障门控器上的 74573 芯片存在异常，其与旧 NVRAM 还可以配合使用。但在与新 NVRAM 配合时，在大规模数据读写过程中，其会导致 NVRAM 数据出错。结合前面的故障现象分析，正是由于故障门控器的新 NVRAM 在运行中出现了数据错误，存储在 NVRAM 中的临时变量错误导致门控器与诊断系统的通信数据紊乱，最终表现为车辆

显示屏显示紊乱、车门功能异常，同时也造成了其内部存储的信息出现紊乱。这个与当时正线报的故障现象是基本相符的。

更进一步的测试发现，74573 芯片导致的故障是在大规模的写操作完成后发生的，即对存储器全部地址进行写操作后再进行全部读取，随机出现部分地址数据读出错误；而当进行单次读写操作时，所有读出的数据均正常，说明数据读取错误的原因并非数据未正确写入。由于现场设备无法完全采集 NVRAM 数据读写的全过程，因此大规模的数据写入后出现随机读取错误的原因尚无法完全查明，推断是由于门控器存储

程序的 ROM 和 NVRAM 都挂在同一个总线上, 74573 芯片的异常导致了数据交换过程中 NVRAM 的数据被异常修改。

为了验证该问题是否具有普遍性, 选择了一整列车 36 个门控器进行了更换对比试验。第一步, 更换所有门控器的 NVRAM, 不更换 74573 芯片; 第二步, 在第一步的基础上, 更换其中 11 个门控器的 74573 芯片。结果发现, 第一步有 25 个门控器无法通过在板测试, 在列车调试中有 7 个出现了异常; 第二步中更换了 74573 芯片的门控器可以通过在板测试, 同时在列车上调试也未出现故障。这个结果说明, 该故障的确与 74573 芯片存在关联, 同时该故障具有一定的偶发性, NVRAM 在板测试能够发现 74573 芯片存在异常。

4 应对措施

根据试验结果, 决定在进行门控器内部存储器更换作业的同时进行 NVRAM 在板测试。对于无法通过在板测试的门控器, 更换其 74573 芯片, 保证其能通过 NVRAM 在板测试。然后, 将门控器安装在车门试验平台上进行车门有电功能试验, 进行功能确认。

5 结语

通过采用上述措施, 经过 3 个批次共 38 个门控器

近 1 年的测试, 再未出现由存储器导致的程序紊乱故障, 降低了故障率, 确保门控器按照规程完成大修作业。目前, 该存储器更换作业正在有序地开展。

此外, 此次故障也暴露出门控器在软件设计上可能存在的缺陷, 程序对存储在外拓展 RAM 中涉及到车门控制的数据未进行有效的校验, 无法保证数据的有效性及其正确性, 无法排除错误数据, 从而导致车门故障。这些问题需要门控器制造商在设计过程中考虑并加以改进。

参考文献:

[1] 西门子(中国)有限公司. 广州地铁三号线客室门维护手册[Z]. 广州: 西门子(中国)有限公司, 2008.
[2] 冯军宏, 简维廷, 刘云海. SRAM 故障模型的检测方法与应用[J]. 中国集成电路, 2008(11): 65-68.
[3] 蒋登峰, 周娟. 随机存取存储器故障分析及测试方案实现[J]. 中国计量学院学报, 2010(3): 257-262.
[4] Maxim Integrated. DS1220 Datasheet [Z]. USA: Maxim Integrated, 2011. [2016-07-16]. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1220AB-DS1220AD.pdf>.

作者简介: 夏耀天(1987-), 男, 工程师, 主要从事地铁车辆检修与维护工作。

广告索引

深圳市宝创科技有限公司(封 2- 前插 1)
株洲时代新材料科技股份有限公司(前插 2)
广州金升阳科技有限公司(前插 3)
咸阳亚华电子电器有限公司(前插 4)
湖南中车时代电动汽车股份有限公司(前插 5-6)
苏州康开电气有限公司(前插 7)
中铁检验认证株洲牵引电气设备检验站有限公司(前插 8-9)
株洲庆云电力机车配件工厂有限公司(前插 10)
汕头华兴冶金设备股份有限公司(前插 11)
宁夏银利电气股份有限公司(前插 12)
株洲中车时代电气股份有限公司(中插 1)
湖南中车时代通信信号有限公司(中插 2)
株洲中车时代电气股份有限公司半导体事业部(中插 3)

株洲中车时代装备技术有限公司(中插 4-5)
襄阳中车电机技术有限公司(中插 6-7)
宝鸡中车时代工程机械有限公司(中插 8)
宁波中车时代传感技术有限公司(中插 9)
株洲时代电气绝缘有限公司(中插 10)
上海意兰可电力电子设备有限公司(后插 1)
深圳通业科技股份有限公司(后插 2)
雷莫电子(上海)有限公司(后插 3)
温州市龙电绝缘材料有限公司(后插 4)
舟山市普陀庆丰铁路通信仪表厂(后插 5)
株洲变流技术国家工程研究中心有限公司(后插 6)
宁波中车新能源科技有限公司(后插 7)
安徽省康利亚股份有限公司(后插 8)
江苏瑞铁轨道装备股份有限公司(封 3)
深圳市中电华星电子技术有限公司(封 4)