

上海轨道交通 2 号线信号数据传输系统典型故障分析及维护对策

沈 丰

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司,200235,上海 //助理工程师)

摘 要 分析了上海轨道交通 2 号线信号数据传输系统的典型故障的发生原因,并提出了针对性的故障处理办法,总结了常规化维护措施。开启 MOXA 交换机网络风暴抑制功能,并优化网络配置结构,升级终端服务器固件,加强对中央 H3C 网络管理系统的巡视等措施能有效提高信号数据传输系统的安全性、可靠性及运行稳定性。

关键词 城市轨道交通;信号数据传输系统;故障分析;维护措施

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.04.032

Typical Fault Analysis and Maintenance Countermeasures for Signal Data Transmission System in Shanghai Metro Line 2

SHEN Feng

Abstract The cause of typical faults in Shanghai Rail Transit Line 2 signal data transmission system is analyzed, targeting which specific fault treatments are proposed and maintenance countermeasures are summarized. There are measures that can effectively improve the safety, reliability and operation stability of signal data transmission system, such as turning on the internet storm suppression function of MOXA exchanger, optimizing internet configuration structure, upgrading terminal server hardware, and reinforcing monitoring on central H3C internet management system.

Key words urban rail transit; signal data transmission system; fault analysis; maintenance countermeasures

Author's address Telecom & Signal Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

上海轨道交通 2 号线(以下简为“2 号线”)DTS(信号数据传输系统),在整个信号系统中负责集中站与集中站间的数据转发、校验和控制,犹如人体中的大动脉一般,起着至关重要的作用。2016 年,2 号线东延伸段(张江高科站—浦东国际机场站)的

东环网 DTS 发生了数次故障。这些故障影响范围大、面积广,处理时间长,严重影响了运营秩序,并造成了不良的社会影响。

通过不断改造、升级及优化,目前的环网系统速度快、容量大、性能相对稳定,信号传输的可靠性也有改善,但仍会发生故障。本文基于对 DTS 故障的分析,制定出合理、有效的预防维护措施及方法,以确保 DTS 的稳定与安全。

1 2 号线 DTS 的构成

2 号线信号系统通信线路由 2 个独立工作的环网组成:徐泾东站至龙阳路站为西环网范围,龙阳路站至浦东国际机场站为东环网范围。

环网各节点(交换机)通过光纤直接串连在 1 条首尾相连的闭合环型通信线路中,只要任何 1 个节点发生故障,就有可能造成该环网的中断或瘫痪。而在主备热冗余环网(见图 1)中,即使其中 1 个环网发生了故障,信号系统也能迅速切换至正常环网继续工作。为保证通信的稳定,2 号线 DTS 采用主备热冗余环网结构。其中,主环网为 LAN A(局域网 A),备环网为 LAN B(局域网 B),各站 MOXA Switch 交换机为中继节点。

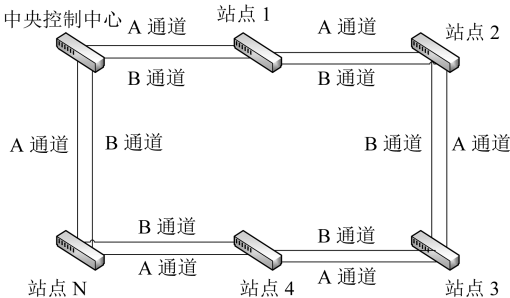


图 1 主备热冗余环网结构示意图

各站点中的 NVLE(非安全逻辑仿真控制器)、SCW(人机对话工作站)、Rugged TerminalServer(终

端服务器)及 AP(无线访问接入点)等设备,均通过交换机进行数据传输与转换协议的处理(见图 2)。

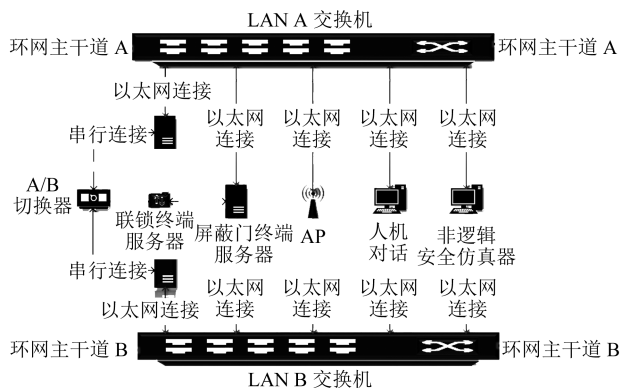


图 2 2 号线站点联锁设备通信连接示意图

2 DTS 典型故障

2 号线 DTS 故障类型主要有:交换机阈值过高,造成交换机宕机;终端服务器串口数据异常,影响联锁通信等。

2.1 交换机阈值过高

2.1.1 故障现象

在浦东机场站、创新中路站及川沙站等多个集中站,ATS(列车自动监控)面板显示比实际滞后,控制中心调度员及车站值班员无法通过人工操作来干预。

2.1.2 故障分析

利用 Wireshark 抓包软件对交换机通信数据进行长时间检测发现,当交换机 CPU(中央处理器)阈值 $\geq 90\%$ 时,通道内存在大量的 RSTP(快速生成树协议)广播数据包。

使用 FLUKE 网络分析仪长时间监测全网通信状态,并汇总数据进行分析发现,大量的 RSTP 广播数据包是造成交换机阈值过高的主要原因。这些数据包主要流经 LAN A 或 LAN B 交换机的 1-8 端口(连接屏蔽门终端服务器的端口)、4-1 及 4-2 端口(连接环网主干道的端口)。

进一步分析发现:如 MOXA PT7828 交换机 CPU 阈值 $\geq 50\%$,则说明交换机处理的网络数据量极大;当长时间阈值 $\geq 90\%$ 时,容易发生交换机宕机,从而使所有连接交换机的终端都无法通信;屏蔽门终端服务器发生异常,是交换机阈值过高的原因之一。

2.1.3 故障处理

当交换机阈值异常时,可开启 MOXA 交换机的

广播风暴抑制功能。这一处理措施可抑制环网中广播帧数量的急剧增加,从而有效缓解交换机阈值过高的现象。

环网中的屏蔽门终端服务器数量较多,其故障数也居高不下。由于屏蔽门终端服务器跨接 LAN A 与 LAN B,并分布在全网的每个节点上,因此,屏蔽门终端服务器一旦发生故障,就会有较高的概率导致双网同时发生故障,进而使信号系统瘫痪,形成极大安全隐患。对此提出割接屏蔽门终端服务器及 AP 至单网的解决方案:将广兰路站、创新中路站、川沙站、徐泾东站和虹桥 2 号航站楼站的屏蔽门终端服务器及 AP 割接至 LAN A,将张江高科站、凌空路站、远东大道站、海天三路站和浦东国际机场站的屏蔽门终端服务器及 AP 割接至 LAN B。

长时间的运营效果显示:通过开启 MOXA 交换机网络风暴抑制功能,优化网络结构并将屏蔽门终端服务器与 AP 割接至单网后,再未发生过类似故障。

2.2 终端服务器串口数据异常

2.2.1 故障现象

2016 年 6 月,2 号线的多个集中站上行进路无法正常排列,联锁失去通信;创新中路集中站控制线切断,相关联锁区域大范围列车无速度码,且人工无法干预操作等。经检查,确诊为创新中路 60 终端服务器串口数据异常故障。重置相关端口后,设备恢复正常运行。该故障造成列车晚点 15 min。

2.2.2 故障分析

利用 telnet 远程虚拟终端服务和要登入的终端服务器 IP(互联网协议)地址,观察串口通信数据,发现联锁通信数据中断。检查联锁 CPU 板的相应通信通道发现,联锁系统正常将数据转发至联锁终端服务器,而终端服务器并未正常转发,导致邻站间联锁数据中断,无法正常排列进路,区间内列车均收不到正常速度码。

使用 FLUKE 网络分析仪长时间监测联锁通信终端服务器。分析监测数据发现,联锁终端服务器发生了数据环绕现象。邻站联锁系统通信数据通过 RS 910 终端服务器后,先进行协议转换(RS 232 串口通讯协议转 RJ 45 网线 TCP/IP 协议),再基于安全型 TCP/IP 协议传输。可见,信号数据在传输前需经过 TCP/IP 三次握手。简单来说,TCP/IP 三次握手过程为:设备 A 先产生 1 个随机序列号(Seq Number),并发送给设备 B;设备 B 在序列号数值上

加 1 形成确认号 (ACK Number), 并发给设备 A, 表示设备 B 已经收到设备 A 的发送请求, 且允许通信; 设备 A 收到正确的 ACK Number 后, 再加 1, 并发送给设备 B, 完成 TCP/IP 三次握手。其中 Seq Number 是随机产生的二进制数。Seq Number 在达到上限后, 如再加 1, 就归位成 0, 进而形成数据环绕, 无法完成 TCP/IP 三次握手, 使通信中断。

由上述分析可知, 联锁通信终端服务器 RS 910 本身存在固件缺陷。这是导致邻站联锁通信中断的主要原因。

2.2.3 故障处理

将该故障现象及相应的大量数据报告递送至供应商后, 由供应商对固件升级补丁。该故障得以修复。

2.3 多站点与控制中心通信中断

2.3.1 故障现象

2016 年 1 月 26 日, 2 号线东环网 DTS 通信中断故障, 凌空路站 61 网段交换机宕机。此次故障造成凌空路站、远东大道站和浦东国际机场站 61 网段的交换机、NVLE 和终端服务器通信中断。重启凌空路 61 网段交换机后, 设备恢复正常运行。

2.3.2 故障分析

2 号线东环网 60 网段交换机逻辑连接示意图如图 3 所示。图 3 中, 张江高科站为 master 交换机, 4-1 端口为逻辑断点 (防止环网形成环路)。

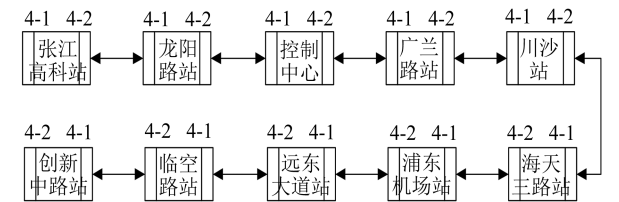


图 3 2 号线东环网 60 网段逻辑连接示意图

2 号线东环网 61 网段的交换机逻辑连接示意图如图 4 所示。图 4 中, 浦东机场站为 master 交换机, 4-1 端口为逻辑断点。

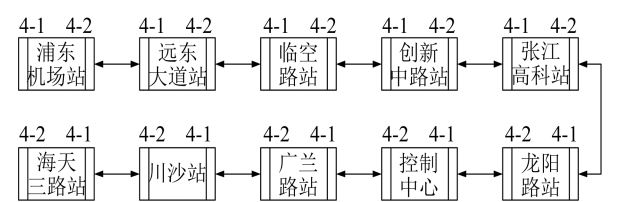


图 4 2 号线东环网 61 网段逻辑连接示意图

2 号线 DTS 系统环网交换机所用的 MOXA PT-7828 系列交换机, 采用自主研发的 Turbo Ring

专用协议, 其主交换机会通过监测物理层信号来主动侦测环网中的各交换机是否发生断电或线路断开等故障。如有交换机发生故障, 则启用备用线路隔开故障点。在 2 号线东环网 60 网段中, 张江高科站为逻辑主交换机, 张江高科站的 4-1 端口与创新中路站的 4-2 端口之间为逻辑断点。如果广兰路站的交换机发生断电或线路断开等故障, 则 Turbo Ring 协议会启用张江高科站的 4-1 端口与创新中路站的 4-2 端口之间的物理线路, 使环网中只有广兰路站这 1 个站点受影响。然而, 在日常运营中, 交换机宕机时有发生, 且宕机时交换机在物理层仍有连通, 故 Turbo Ring 协议不会启用备用线路。在此情况下, 只要广兰路站发生宕机, 就会造成控制中心与广兰路站至川沙站都没有通信。

2.3.3 故障处理

鉴于故障起因分析, 安排抢修人员到机房查看交换机、NVLE 和终端服务器的通信状态和灯位。

当抢修人员配有笔记本电脑时: 抢修人员将故障范围内及邻站每个机房的 RS 530 A/B 切换器切换到正常网段; 人工配置笔记本电脑的 IP 地址 (IP 地址不得与网内其它信号设备相同) 后, 将笔记本电脑插入交换机插口连接交换机; 打开 MOXA PT-7828 专用软件, 点击 Boardcast Search 按钮, 以查看界面中的信息; 若环内 1 个或多个交换机并未在显示菜单中, 则初步判断离本站最近的逻辑站点交换机可能存在故障; 对故障网段交换机进行重启。

当抢修人员未配有笔记本电脑时: 可通过信号机房内的 NVLE 进行操作; 按照 DTS 交换机逻辑连接结构使用 ping 命令来排查大致故障点; 如离本站最近的逻辑站点交换机无法 ping 通, 基本可以判断该站交换机发生故障; 重启故障交换机, 确认其重启成功、无告警, 且各连接端口通信正常, 则故障排除。

3 常规的维护措施

本文基于 2 号线 DTS 典型故障的故障处理办法和预防经验, 总结了常规的维护措施。

措施 1: 定期查看控制中心的 H3C 网络管理系统。增加中央网络管理系统的巡检频次及内容, 通过控制中心 H3C 网络管理系统的 SNMP (简

单网络管理协议)功能来监测全网中间设备是否正常。监测内容包括:网络管理系统有无设备不可达、离线状态等告警;查看各站点交换机阈值是否 $\leq 50\%$,利用 ping 命令测试各网络节点间通道是否正常等。

措施 2:定期查看终端服务器通信状态。每日必须通过“Telnet +电脑 IP 地址”命令远程登入各终端服务器以查看通信状态。登入终端服务器后,在 Serial Port 串行端口菜单中查看数据统计,正常的字节传输速度应为 15bit/s, 正常的 packet 数据包传输速度应为 1packet/s;若数据包传输量之和为 0,则串口通信已经中断,需立即处理。

措施 3:定期查看 AP 是否正常。每日必须通过“Telnet +电脑 IP 地址”命令来远程登入 AC 无线管理交换机,获取 AP 登入权限,以查看 AP 工作状态。

措施 4:下载分析交换机系统数据及日志。在每次中央 H3C 网管系统告警后,需要下载 MOXA 交换机系统数据及日志并进行分析。交换机系统数据及日志可通过 Edscfgui 专用软件和虚拟终端(VTY)等多种方式下载。其中,使用 Edscfgui 专用软件最为方便,使用 RJ 45 网线连接笔记本电脑与交换机空闲端口,并将该端口 VLAN ID(虚拟局域网账号)改成 VLAN 1(管理 ID)。打开专用软件 Edscfgui. exe 后,输入交换机 IP 地址与密码登入交换机管理模式,选择 Configuration 配置菜单中的 Export Configuration 输出系统配置文件命令进行下载。

(上接第 124 页)

3 结语

目前地铁专用无线通信系统的技术相对比较成熟,调度功能较丰富,在地铁通信中占据重要地位。本文结合全自动运行的实际场景,总结了列车唤醒无线车载台的自检项,为实现无线通信系统与全自动运行智能化系统的深度集成提供参考。

参考文献

[1] 靳强. 地铁无线通信系统现状及其发展趋势[J]. 信息通信,

措施 5:下载分析终端服务器系统日志。当终端服务器发生串口通信数据异常时,及时下载 RS 910 终端服务器系统日志数据,以便分析查找故障原因。

4 结语

本文分析了 2 号线 DTS 设备发生故障的原因,总结了相关的维护经验。主要的故障处理措施及维护措施为:开启 MOXA 交换机网络风暴抑制功能,并优化网络配置结构;升级终端服务器固件;加强对中央 H3C 网络管理系统的巡视,定期查看终端服务器通信状态,查看 AP 是否正常。

这些经验也总结在《2 号线设备排故手册》和《2 号线信号 DTS 传输系统维规》中。实践结果表明,这些故障预防措施做到了事前控制,能有效降低 DTS 设备故障发生率,保证了设备的稳定运行。

参考文献

[1] 上海铁路通信工厂. 上海 2 号线东延伸工程和西西延伸工程 DTS 系统维护、操作和培训手册[Z]. V1.2 版,上海:上海铁路通信工厂,2011.
[2] 邹永进,张莲. 利用 CISIO 交换机抑制 IP 城域网中的广播风暴[J]. 网管员世界,2010(13): 37.
[3] 张绍杰,邢静波,刘亚静. 以太网交换技术研究综述[J]. 山东轻工业学院学报(自然科学版),2005(2): 31.
[4] 严义,包键,吴文渊. 终端服务器的设计与应用[J]. 中国数据通信,2004(2): 43.
[5] 马金. 传输系统常见故障分析及处理[J]. 中国新通信,2013,(4): 18.

(收稿日期:2020-08-31)

2016(2): 211.

[2] 杜平海. 全自动运行系统车载设备与车辆新增电气接口分析[J]. 铁道通信信号,2019(8): 90.
[3] 雷建成,张超,吕浩炯,等. 智慧城轨下智能列车运行技术的研究与展望[J]. 现代城市轨道交通,2020(8): 38.
[4] 冯玮. 城市轨道交通全自动运行列车休眠与唤醒的执行方式[J]. 城市轨道交通研究,2019(增刊 2): 106.
[5] 郭宝军. 地铁专用无线系统设计[D]. 兰州:兰州交通大学,2016.
[6] 刘默,朱爱俊. 全自动运行模式下 TETRA 专用通信系统的应用与展望[J]. 城市轨道交通研究,2019(增刊 2): 99.

(收稿日期:2020-09-29)