

SIPDS 系统通讯故障典型案例分析

汤娴竹

中国民用航空西南地区空中交通管理局贵州分局，贵州省贵阳市，550001；

摘要：本文以 SIPDS 系统（综合信息显示系统）的一起典型故障为例，深入剖析了故障的成因、处理流程及提出相应的优化方案。SIPDS 系统作为空管自动化的关键辅助设施，在保障航空运输安全中发挥着重要作用。通过对故障发生、排查及修复过程的详细梳理，本文揭示了系统设计、硬件配置中存在的潜在问题，并提出了相应的改进建议。通过对此次案例总结分析，希望对 SIPDS 系统的维护有所帮助。

关键词：SIPDS；消息服务；堆叠

DOI：10.69979/3041-0673.25.07.098

引言

SIPDS 系统是集气象、航行情报、飞行计划等多类信息于一体的综合信息处理与显示系统。其稳定运行对于减轻管制人员工作负荷、提高工作效率具有重要意义。然而，在实际运行中，SIPDS 系统也会面临着各种问题。

本文首先介绍贵阳 SIPDS 系统的架构和现场运行环境，再详细描述故障现象和处置过程。通过对故障原因的深入剖析，揭示了交换机堆叠失效、服务器脑裂及 MQ 连接池耗尽等问题根源，通过分析具体故障案例，总结经验教训，提出优化建议，更好的提升系统的整体运行的稳定性和安全性。

1 SIPDS 现场环境介绍

SIPDS 管制综合信息显示系统是空管自动化的辅助配套设施，主要完成对气象信息、航行情报信息、空军活动信息、专机保障信息、通用航空信息、设备停机维护信息、管制运行信息和其他静态航行资料信息的处理、显示和查询，流量控制信息的发布、解除、显示和查询，班前准备、交接班以及管制排班等的服务功能，为管制员提供丰富详实的航行情报信息、气象情报信息以及各种静态资料，并且将各种信息综合到一个界面上切换显示，方便管制人员对各种信息的获取。SIPDS 系统服务器、交换机等核心处理硬件部署在贵阳空管小区设备大厅内，终端采用下层式主机分布方式，部署在空管小区及塔台的机房内，通过光纤矩阵的方式连接至各管制席位。

为了保障 SIPDS 系统稳定可靠运行，网络采用双链路热备冗余网络运行设计，分别为 LAN A 和 LAN B。两个双核心交换机分别作为 LAN A 和 LAN B 的核心结点，负责两个网络的独立运行。所有服务器和终端工作站均配置双网卡，分别接入到 LAN A 和 LAN B 中，系统过经防火墙、路由器与其他外部系统联通。

SIPDS 系统软件架构采用 C/S 架构。客户端软件为终端上安装的 SIPDS 终端软件，该软件作为用户交互的主要界面，负责与服务器进行数据交互和业务处理。服务器端软件则集中部署在机房的虚拟化服务器集群中，通过虚拟化技术实现资源的灵活调配和高可用性保障。客户端主要配置信息为消息服务地址和 WEB SERVICE 服务地址。在系统运行过程中，客户端软件通过调用服务端提供的标准 WEB SERVICE 接口，实现对业务数据的增删改查等核心操作。同时，采用基于主题的发布/订阅机制，客户端通过订阅服务端消息服务的特定主题，能够实时接收业务数据状态变化的推送通知，确保用户席位能够及时获取最新信息。以下为前后台通讯的主要配置参数项。

(1) 消息服务

消息服务由 ACTIVE MQ 中间件实现，分别部署在 SIPDS 两台应用服务器上，单节点运行，主要负责终端程序与后台服务之间的消息通信。

(2) WEB SERVICE 服务

WEB SERVICE 服务分别部署在 TONG WEB 容器上，TONG WEB 部署在两台应用服务器上，负责为终端程序提供所有增删改查接口调用，双节点做负载均衡同时运行。

(3) 网关

网关机服务器主要部署负责引接外部系统数据的接口程序。通过网关控制台实现对气象数据、飞行计划、航行通告等其他外部数据引接程序的控制。

(4) SCHEDULER 服务

SCHEDULER 服务。负责定时清理过期的业务数据（气象数据，流控数据等），监控业务数据的状态变化。部署在两台应用服务器上，单节点运行。

(5) NEC 集群管理

NEC 集群服务。负责管理应用服务器中部署的相关程序，包括 SCHEDULER 服务、ACTIVE MQ 服务，实现双

机热备。

2 故障现象

2.1 客户端网络通讯故障

SIPDS 系统所有席位客户端无法正常使用，提示网络通讯故障，同时 SIPDS 系统监控上两台虚拟化应用服务器出现一般严重告警，提示 ZABBIX 代理不可用，虚拟化 MQ 服务器出现灾难告警，提示 MQ 服务器异常。

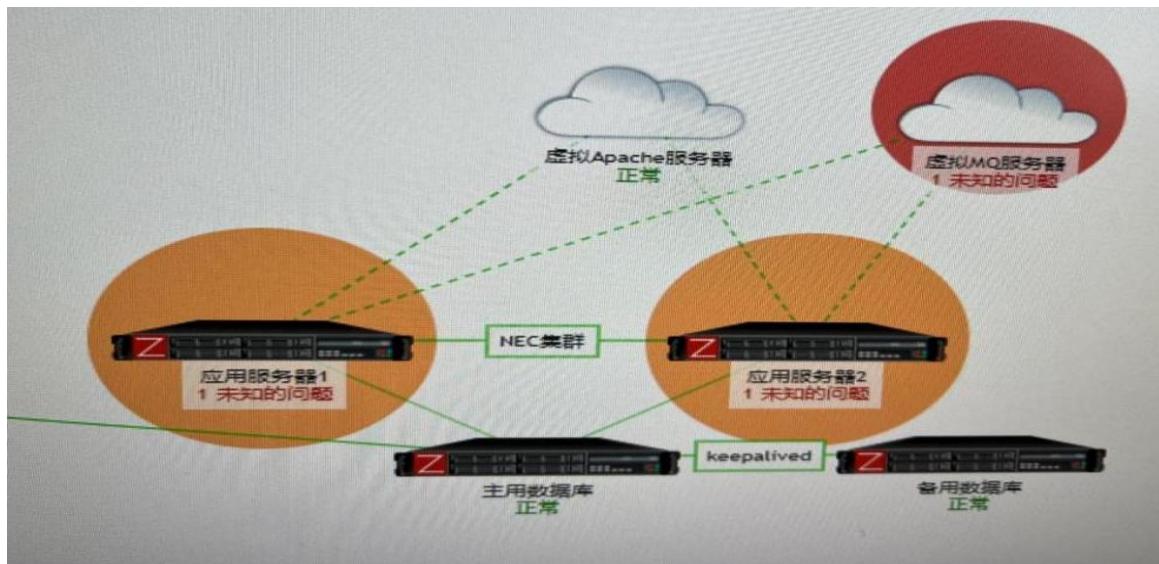


图 1 SIPDS 系统监控告警

2.2 无法连接 ACTIVE MQ 服务器

经初步排查 SIPDS 两台虚拟化应用服务器异常关机，重新启动后，通讯故障问题得到解决客户端开始陆续恢复，但仍有部分终端异常登录后弹出告警：无法连接 ACTIVE MQ 服务器，客户端仍然无法使用。

3 故障处置与排查

根据系统监控中虚拟化应用服务器和 MQ 服务器的告警提示，首先检查了 SIPDS 系统相关服务器，经查 SIPDS 系统两台虚拟化应用服务器出现异常关机，立即重启两台应用服务器后，系统各用户终端陆续恢复。然而，

仍有部分客户端未恢复，联合厂家进一步排查，通过分析系统日志和监控数据，发现 ACTIVE MQ 服务的连接池已被占满，导致部分客户端无法获取与 ACTIVE MQ 的连接。ACTIVE MQ 服务作为消息中间件，负责系统各组件之间的通信，其连接池被占满使系统无法响应未获取连接的客户端与后台之间的通信请求。SIPDS 后台服务模块设计中 ACTIVE MQ 服务为单节点运行，通过操作 NEC 集群软件将 ACTIVE MQ 服务从负载较高的应用服务器 1 切换到应用服务器 2 上面运行，重新释放被占用的连接资源，使得异常的客户端逐步恢复了与 MQ 服务的正常连接。

该界面展示了 NEC 集群控制台。顶部显示“集群正常运行”。下方有“sipds-cluster”树状菜单，包含“服务器”、“组”、“互斥规则一览”等子项。在“服务器”下，显示了“app1”和“app2”的状态：app1 已启动，app2 已启动。在“组”下，列出了“activemq-failover”、“apache-failover”、“scheduler-failover”、“smap-failover”，其中“activemq-failover”在 app1 上已停止，在 app2 上已启动；“apache-failover”、“scheduler-failover”在 app1 上已启动，在 app2 上已停止；“smap-failover”在 app1 上已启动，在 app2 上已停止。

图 2 NEC 集群控制台

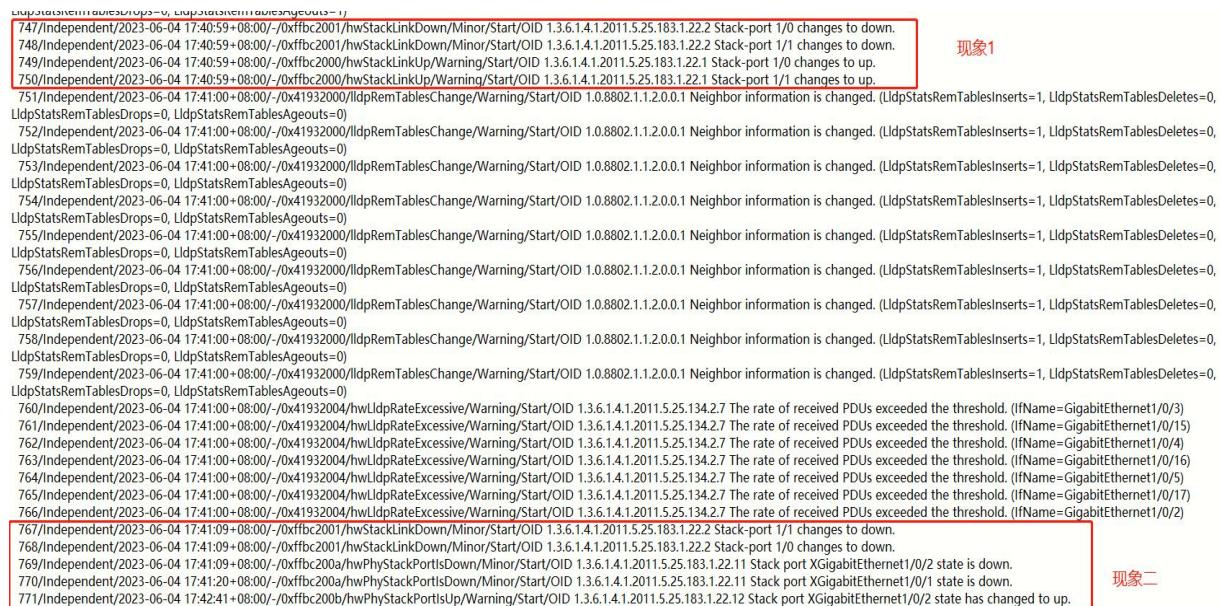
4 故障原因分析

调查发现主要故障原因为：服务器区两台华为 S5720 交换机堆叠线路失效后重启，导致网络全部中断，进而诱发 SIPDS 系统两台虚拟化应用服务器异常关机。以下对故障现像分别做原因阐述。

4.1 服务器区交换机堆叠失效并重启的原因

两台服务器区交换机型号为华为 S5720，均为单电源设备，承载 SIPDS 系统管理网络和业务网络。两台交换机通过两个万兆光口进行堆叠连接，形成逻辑上的单

一交换单元。故障期间堆叠交换机堆叠接口出现异常波动可能与光模块不稳定有关，发生了间歇性断开后又重新连接的现象。由于未配置 MAD 等网络故障检测机制检测，堆叠口异常时会导致堆叠分裂，此时两台交换机配置完全相同，会以相同的 IP 地址和 MAC 地址与网络中的其他设备交互，这样就导致 IP 地址和 MAC 地址冲突，引起整个网络故障。待堆叠接口恢复连接时，堆叠配置重新选举，此时备机堆叠优先级小，会重启设备重新加入堆叠中，因此会存在设备重启现象。



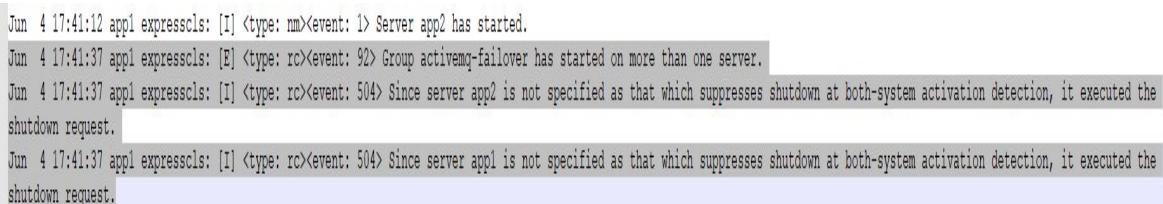
747/Independent/2023-06-04 17:40:59+08:00/-0xffffc2001/hwStackLinkDown/Minor/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.183.1.2.2 Stack-port 1/0 changes to down.
 748/Independent/2023-06-04 17:40:59+08:00/-0xffffc2001/hwStackLinkDown/Minor/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.183.1.2.2 Stack-port 1/1 changes to down.
 749/Independent/2023-06-04 17:40:59+08:00/-0xffffc2000/hwStackLinkUp/Warning/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.183.1.2.1 Stack-port 1/0 changes to up.
 750/Independent/2023-06-04 17:40:59+08:00/-0xffffc2000/hwStackLinkUp/Warning/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.183.1.2.1 Stack-port 1/1 changes to up.
 751/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932000/lldpRemTablesChange/Warning/Start/OID 1.0.8802.1.1.2.0.0.1 Neighbor information is changed. (LldpStatsRemTablesInserts=1, LldpStatsRemTablesDeletes=0, LldpStatsRemTablesDrops=0, LldpStatsRemTablesAgeouts=0)
 752/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932000/lldpRemTablesChange/Warning/Start/OID 1.0.8802.1.1.2.0.0.1 Neighbor information is changed. (LldpStatsRemTablesInserts=1, LldpStatsRemTablesDeletes=0, LldpStatsRemTablesDrops=0, LldpStatsRemTablesAgeouts=0)
 753/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932000/lldpRemTablesChange/Warning/Start/OID 1.0.8802.1.1.2.0.0.1 Neighbor information is changed. (LldpStatsRemTablesInserts=1, LldpStatsRemTablesDeletes=0, LldpStatsRemTablesDrops=0, LldpStatsRemTablesAgeouts=0)
 754/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932000/lldpRemTablesChange/Warning/Start/OID 1.0.8802.1.1.2.0.0.1 Neighbor information is changed. (LldpStatsRemTablesInserts=1, LldpStatsRemTablesDeletes=0, LldpStatsRemTablesDrops=0, LldpStatsRemTablesAgeouts=0)
 755/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932000/lldpRemTablesChange/Warning/Start/OID 1.0.8802.1.1.2.0.0.1 Neighbor information is changed. (LldpStatsRemTablesInserts=1, LldpStatsRemTablesDeletes=0, LldpStatsRemTablesDrops=0, LldpStatsRemTablesAgeouts=0)
 756/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932000/lldpRemTablesChange/Warning/Start/OID 1.0.8802.1.1.2.0.0.1 Neighbor information is changed. (LldpStatsRemTablesInserts=1, LldpStatsRemTablesDeletes=0, LldpStatsRemTablesDrops=0, LldpStatsRemTablesAgeouts=0)
 757/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932000/lldpRemTablesChange/Warning/Start/OID 1.0.8802.1.1.2.0.0.1 Neighbor information is changed. (LldpStatsRemTablesInserts=1, LldpStatsRemTablesDeletes=0, LldpStatsRemTablesDrops=0, LldpStatsRemTablesAgeouts=0)
 758/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932000/lldpRemTablesChange/Warning/Start/OID 1.0.8802.1.1.2.0.0.1 Neighbor information is changed. (LldpStatsRemTablesInserts=1, LldpStatsRemTablesDeletes=0, LldpStatsRemTablesDrops=0, LldpStatsRemTablesAgeouts=0)
 759/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932000/lldpRemTablesChange/Warning/Start/OID 1.0.8802.1.1.2.0.0.1 Neighbor information is changed. (LldpStatsRemTablesInserts=1, LldpStatsRemTablesDeletes=0, LldpStatsRemTablesDrops=0, LldpStatsRemTablesAgeouts=0)
 760/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932004/hwLdpRateExcessive/Warning/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.134.2.7 The rate of received PDUs exceeded the threshold. (IfName=GigabitEthernet1/0/3)
 761/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932004/hwLdpRateExcessive/Warning/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.134.2.7 The rate of received PDUs exceeded the threshold. (IfName=GigabitEthernet1/0/15)
 762/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932004/hwLdpRateExcessive/Warning/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.134.2.7 The rate of received PDUs exceeded the threshold. (IfName=GigabitEthernet1/0/4)
 763/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932004/hwLdpRateExcessive/Warning/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.134.2.7 The rate of received PDUs exceeded the threshold. (IfName=GigabitEthernet1/0/16)
 764/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932004/hwLdpRateExcessive/Warning/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.134.2.7 The rate of received PDUs exceeded the threshold. (IfName=GigabitEthernet1/0/5)
 765/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932004/hwLdpRateExcessive/Warning/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.134.2.7 The rate of received PDUs exceeded the threshold. (IfName=GigabitEthernet1/0/17)
 766/Independent/2023-06-04 17:41:00+08:00/-0x41932004/hwLdpRateExcessive/Warning/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.134.2.7 The rate of received PDUs exceeded the threshold. (IfName=GigabitEthernet1/0/2)
 767/Independent/2023-06-04 17:41:09+08:00/-0xffffc2001/hwStackLinkDown/Minor/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.183.1.2.2 Stack-port 1/1 changes to down.
 768/Independent/2023-06-04 17:41:09+08:00/-0xffffc2001/hwStackLinkDown/Minor/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.183.1.2.2 Stack-port 1/0 changes to down.
 769/Independent/2023-06-04 17:41:09+08:00/-0xffffc2004/hwPhyStackPortsDown/Minor/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.183.1.22.11 Stack port XGigabitEthernet1/0/2 state is down.
 770/Independent/2023-06-04 17:41:20+08:00/-0xffffc2004/hwPhyStackPortsDown/Minor/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.183.1.22.11 Stack port XGigabitEthernet1/0/1 state is down.
 771/Independent/2023-06-04 17:42:41+08:00/-0xffffc2008/hwPhyStackPortsUp/Warning/Start/OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.183.1.22.12 Stack port XGigabitEthernet1/0/2 state has changed to up.

图 3 堆叠端口异常重启日志

4.2 应用服务器关机的原因

由于两台服务器区华为交换机堆叠失效，导致其中一台交换机发生了重启，网络全部中断，中断期间两台 SIPDS 虚拟化应用服务器检测不到对方存在，都各自启动了 MQ 服务进程。5 分钟后，故障交换机重启完毕，重新加入堆叠中网络恢复，根据 SIPDS 系统两台应用服务器的后台服务部署规则，MQ 负责终端与后台 TONG WEB

之间通信，在集群中应采用主备模式运行，即同一时间只允许一个 MQ 服务进程处于活动状态，保证消息处理的唯一性和数据的一致性。正常情况下只能有一台服务器运行 MQ 服务进程，在网络恢复瞬间，由于缺乏有效的冲突检测和仲裁机制，此时两台服务器各自启动的 MQ 服务进程形成了双主现象发生了冲突，产生服务器脑裂问题，系统自动关闭了两台应用服务器。



```

    Jun 4 17:41:12 appl expresscls: [I] <type: nm><event: 1> Server app2 has started.
    Jun 4 17:41:37 appl expresscls: [E] <type: rc><event: 92> Group activemv-failover has started on more than one server.
    Jun 4 17:41:37 appl expresscls: [I] <type: rc><event: 504> Since server app2 is not specified as that which suppresses shutdown at both-system activation detection, it executed the shutdown request.
    Jun 4 17:41:37 appl expresscls: [I] <type: rc><event: 504> Since server app1 is not specified as that which suppresses shutdown at both-system activation detection, it executed the shutdown request.
  
```

图 4 应用服务器关机

4.3 重启应用服务器后部分终端未恢复的原因

经排查确认，根本原因是其中一台客户端在重新连

接服务器的过程中出现异常。该客户端未能成功建立与 MQ 服务的有效连接，但由于其重连机制存在缺陷，该客

客户端仍在持续不断地尝试重新连接 MQ 服务进程。这种异常行为导致 MQ 服务的连接池资源被快速耗尽，MQ 服务作为系统的核心消息中间件，其连接池资源是有限的。当异常客户端持续占用连接资源，连接池达到最大容量限制后，其余正常客户端无法获取新的连接，从而引发

了大面积的客户端连接故障。

为了尽快恢复客户端与消息服务的连接，通过操作 NEC 集群软件将 MQ 服务进程从应用服务器 1 切换到应用服务器 2 上运行，释放了被异常客户端占用的连接资源，各用户终端陆续恢复与 MQ 服务器的连接。

Name ↑	Number Of Consumers	Messages Enqueued	Messages Dequeued	Operations
ActiveMQ.Advisory.Connection	0	134815	0	Send To Active Subscribers Active Producers Delete
ActiveMQ.Advisory.Consumer.Topic.SIPDS_TOPIC_ZUGY	0	1285	0	Send To Active Subscribers Active Producers Delete
ActiveMQ.Advisory.MasterBroker	0	1	0	Send To Active Subscribers Active Producers Delete
ActiveMQ.Advisory.Producer.Topic.SIPDS_TOPIC_ZUGY	0	133528	0	Send To Active Subscribers Active Producers Delete
ActiveMQ.Advisory.Queue	0	1	0	Send To Active Subscribers Active Producers Delete
ActiveMQ.Advisory.Topic	0	3	0	Send To Active Subscribers Active Producers Delete
iMC_DMA_M2S	0	0	0	Send To Active Subscribers Active Producers Delete
iMC_DMA_S2M	0	0	0	Send To Active Subscribers Active Producers Delete
SIPDS_TOPIC_ZUGY	49	299726	15568964	Send To Active Subscribers Active Producers Delete

图 5 ACTIVE MQ 与 SIPDS 连接资源

5 改进措施

5.1 配置方面

由于 SIPDS 系统的两台服务器区华为交换机堆叠失效，且未配置快速检测机制，导致堆叠链路恢复后，根据堆叠算法，其中一台交换机发生了重启。在重启期间，网络全部中断导致 SIPDS 系统的两台集群应用服务器无法检测到彼此的存在，均判定自己为主机，进而引发集群脑裂。

为解决这一问题，在两台服务器区交换机中增了加 MAD 检测配置，降低堆叠分裂对业务的影响。由于堆叠系统中所有成员交换机都使用同一个 IP 地址和 MAC 地址（堆叠系统 MAC），一个堆叠分裂后，可能产生多个具有相同 IP 地址和 MAC 地址的堆叠系统。为防止堆叠分裂后，产生多个具有相同 IP 地址和 MAC 地址的堆叠系统，引起网络故障，必须进行 IP 地址和 MAC 地址的冲突检查。

MAD（多主检测）是一种用于检测和处理堆叠分裂的协议，能够有效防止堆叠分裂后产生多个具有相同 IP 地址和 MAC 地址的堆叠系统，从而避免网络振荡和通信故障。当堆叠链路发生故障导致堆叠分裂时，MAD 会

通过竞争机制确定主堆叠系统，防止相同的 MAC 地址、IP 地址引起网络振荡，竞争失败的堆叠系统内成员交换机的所有业务端口会被关闭，保持主机正常。经测试服务器区交换机配置 MAD 检测后，能够快速检测堆叠分裂，并在堆叠链路恢复后重新选举主堆叠系统，确保 SIPDS 网络的稳定性和冗余性。

5.2 软件方面

SIPDS 终端软件和服务器软件存在问题，导致异常终端不断重连占用 MQ 资源。

协调 SIPDS 厂家评估客户端协调 SIPDS 厂家评估客户端程序修改，增加重连次数限制和退避机制等方式避免终端多次异常连接抢占 MQ 进程导致其他终端无法连接。对服务端的 MQ 服务进程的管理逻辑进行优化，解决在网络中断情况下，两台服务器均打开 MQ，导致网络恢复后系统发生脑裂而自动关机的问题，确保只有一个 MQ 服务进程处于活动状态。

5.3 维护方面

加强对 SIPDS 系统及虚拟化管理平台的巡视力度，细化日常维护巡视项目，在每日巡视中增加系统监控告

警音的检查，防止告警音被关闭而导致无法及时掌握系统异常的情况发生。通过两小时一次的巡视，主动了解和关注系统的性能及工作状态。通过开展案例分析进一步加强人员对系统故障的应急处置能及常见故障处理能力。

6 总结

此次故障暴露出了前期SIPDS系统中网络配置上的不足，网络架构缺乏有效的堆叠故障检测和快速恢复机制，以及服务器软件在网络中断时采取了不恰当的处理方式，缺乏对关键服务进程的冲突检测，暴露出系统在客户端重连机制和MQ服务资源管理方面存在改进空间。此次案例后积极与厂家协调，在网络配置和软件工作机制方面均进行了优化。在网络方面增加MAD检测机制，

在软件工作机制方面优化终端软件的重连机制，并在修改后对调整项进行测试确保配置正常起效。同时也反映出在日常巡视方面，需加强对SIPDS系统ACTIVE MQ服务连接池情况、网络状态和集群健康状态等方面的检查。通过这些改进措施，提升了SIPDS系统的整体稳定性和可靠性，确保系统在未来的运行中更加稳健和高效。

参考文献

- [1] 华为技术有限公司. 华为S700交换机配置指南 [M]
- [2] 民航数据通信有限责任公司. 综合显示系统SIPDS服务端配置手册 [M]
- [3] 武萍. SIPDS空管综合信息处理及显示系统典型案例分析 [J]. 数字通信世界, 2018, (06): 224