

铁路GSM-R系统核心网改造工程方案研究

周海龙

(中国铁路呼和浩特局集团有限公司, 呼和浩特 010050)

摘要: 基于铁路 GSM-R 系统核心网改造的需求, 提出改造方案。针对 MSC 改造, 提出 R4 网络架构主备 MSC 方式和 R4 网络架构 MSC Pool 方式, 并进行方案比选; 针对 SGSN 改造, 提出兼容两种 BSC/PCU 的组网方案, 并进行方案比选; 针对 GGSN 改造, 提出两种冗余方式。并从站址选择、承载网通道提出了相应需求。最后探讨新旧核心网设备割接的方案。

关键词: GSM-R 核心网; 冗余组网; MSC; SGSN; GGSN; 业务割接

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)09-0036-06

Research on Railway GSM-R System Core Network Transformation Project Scheme

Zhou Hailong

(China Railway Hohhot Group Co., Ltd., Hohhot 010050, China)

Abstract: Based on the demand of core network transformation of GSM-R system, this paper proposes core network transformation schemes. For MSC transformation, the master/standby MSC mode of R4 network architecture and MSC pool mode of R4 network architecture are proposed, and the schemes are compared. For SGSN transformation, a network scheme compatible with two BSC/PCUs is proposed, and the scheme is compared. For GGSN transformation, two redundant modes are proposed. The corresponding requirements for site selection and bearer network channel are put forward. Finally, the cutover scheme of old and new core network equipment is discussed.

Keywords: GSM-R core network; redundant networking; MSC; SGSN; GGSN; service cutover

1 研究背景

国内铁路从 2006 年随客专开始大规模建设 GSM-R 系统, 经过十几年的发展, 全路 GSM-R 网

络已形成一定规模, 并不断发展完善, 核心网的架构也基本形成。截至 2022 年底, 已完成全部 19 个核心网节点建设, 无线网络覆盖里程近 9 万 km, 用户近 40 万, 覆盖了高铁、客专、城际、重载铁路和部分普速铁路, 提供了列车运行控制类、调度指挥类、列车运行安全监控类、运营维护类等多种业务, 适应了当前铁路快速发展, 为铁路运输安全、提高运输效率起到了非常重要的保障作用。GSM-R 核心网作为整个 GSM-R 系统的关键设备, 具备数据管理、接入

收稿日期: 2023-06-08; 修回日期: 2023-09-10

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划科研专项(J2021Z506)

作者简介: 周海龙(1975—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信、信号、牵引供电领域规划, 邮箱: zhl48466@sina.com。

和移动性管理、鉴权、数据路由等多项核心功能，对 GSM-R 业务正常运转发挥关键和基础作用。

GSM-R 核心网按路局集中部署，部分按全路集中部署，一旦故障将影响整个路局甚至全路的路 GSM-R 业务。因此 GSM-R 核心网的规划、建设和改造，一直以来备受关注。各路局 GSM-R 核心网随本局 GSM-R 网络工程建设，历经十余年发展，逐步达到更新改造期限，陆续开展 GSM-R 核心网改造工程。GSM-R 核心网改造，除设备老化、故障率升高、备品备件不足等问题引起的改造需求外，还有满足相关标准要求的改造需求，主要有以下两方面：

1) 《铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 设计规范》(TB 10088-2015) 提出核心网 SGSN、GGSN 设备宜冗余设置^[1]；

2) 《铁路通信网络安全技术要求 第 3 部分：铁路数字移动通信系统 (GSM-R)》(Q/CR 783.3-2022) 提出路局集中设置的核心网设备宜同城异址部署^[2]。

因此，为了 GSM-R 线路语音及数据业务正常使用，提高行车安全保障能力，及时消除安全隐患，GSM-R 核心网改造不是简单的设备更新替换^[3]，需要结合运维需求，基于相关标准，在设备功能、组网以及部署等方面提出优化完善的方案。

2 GSM-R核心网冗余组网方案

本文主要针对路局集中设置的移动交换中心 (MSC)、服务 GPRS 支持节点 (SGSN)、网关

GPRS 支持节点 (GGSN) 等核心网设备的冗余组网等提出改造方案。

2.1 MSC冗余组网方案

路局既有 MSC 有 R99 和 R4 两种架构，R99 架构的 MSC 未进行冗余组网，R4 架构的 MSC 采用主备冗余组网方式。根据《铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 总体技术要求》(TB/T 3324-2021)，更新后的 MSC 应进行冗余组网，且可采用两种冗余备份组网方式^[4]，方式一：R4 网络架构主备 MSC 方式，方式二：R4 网络架构 MSC Pool 方式。

2.1.1 R4网络架构主备MSC方式

1) 网络架构

基于 R4 网络架构的 MSC 由 MSC Server 和媒体网关 (MGW) 组成，实现控制层面和承载层面的分离。路局核心网设置 2 套 MSC，每套 MSC 由 1 套 MSC Server 和 1 套 MGW 组成。

MGW 负责承载层面，通过 2 M 链路的路局的无线子系统 BSC，有线调度通信系统 FAS、铁路电话程控交换网 PSTN 等相关通信系统，CTCS-3 级列控系统 RBC^[5]、机车同步操控系统 AN 等应用业务系统互联；通过 2 M 链路的全路共用设备北京、武汉 STP 互联，实现与全路共用设备 HLR、SCP、SMSC 等互联；通过 2 M 链路相邻局 MSC 互联。

MSC Server 负责控制层面，通过 IP 链路 2 个 MGW 以及对端 MSC Server 互联，实现信令交互及心跳检测。

网络结构如图 1 所示。

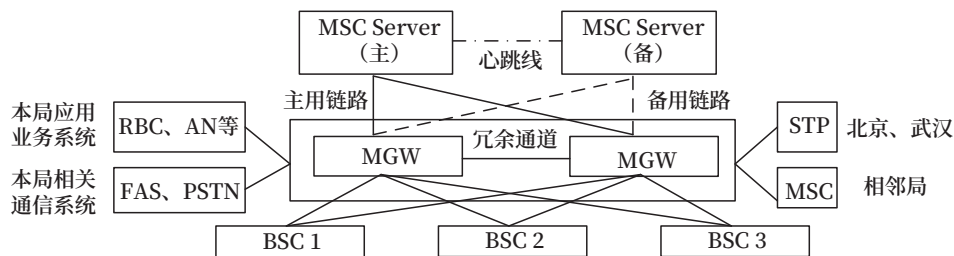


图1 R4网络架构主备MSC方式组网架构示意

Fig.1 Network architecture diagram of master/standby MSC mode of R4 network architecture

2) 冗余机制

该方案采用双归属和 MiNi-Flex 技术，主用、备用两个 MSC Server，同一个 MGW 归属于两个 MSC Server，正常运行情况下，MGW 只注册到

主用 MSC Server 上，而当该 MSC Server 发生故障时，MGW 可注册到备用 MSC Server 上，继续为此 MGW 下管理的用户提供业务。MSC Server 之间的主备倒换通过心跳检测实现。BSC 通过两套

MGW 连接到主、备 MSC Server 上，两套 MGW 负荷分担，提高 MGW 层面的可靠性。

2.1.2 R4网络架构MSC Pool方式

1) 网络架构

基于 R4 网络架构的 MSC 由 MSC Server 和 MGW 组成，实现控制层面和承载层面的分离。路局核心网设置 2 套或 2 套以上 MSC，每套 MSC 由 1 套 MSC Server 和 1 套 MGW 组成，组成 MSC Pool。

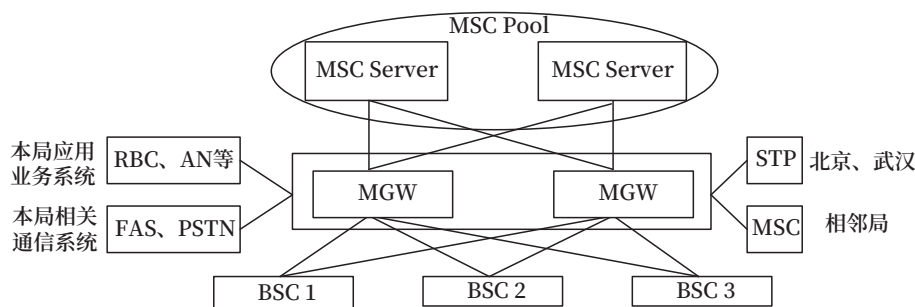


图2 R4网络架构MSC Pool方式组网架构示意

Fig.2 Network architecture diagram of MSC Pool mode of R4 network architecture

2) 冗余机制

该方式采用 A-Flex 技术，互为冗余的 MSC 组成 MSC Pool，BSC 能够同时连接两个 MSC Server，MSC 间采用负荷分担，从而能够实现 MSC 级别的容灾。该方式的关键技术在于实现负载均衡，可以通过 BSC 或 MGW 实现负载均衡。位于 MSC Pool 内的两个 MSC 互相备份各自的内容，当某个 MSC 中存储的用户信息发生变化时，会将此信息传送到池内另一个 MSC 中。两个 MSC 的数据实时同步，当池内某个 MSC 故障时，被叫将送到池内另一个 MSC 处理。

MSC Pool 方案中一个 Pool 内的两个 MSC 之间没有心跳检测，当 BSC、STP、FAS 等外部网元检测到主用 MSC 的链路故障时（传输通道故障或主用 MSC 故障），会自动选择到备用 MSC 的链路，实现主备 MSC 的倒换。

2.1.3 方案比选

方式一的优势与既有方式相同，编号方案简单，由于备用 MSC 为非激活状态，与主用 MSC 使用同一个信令点码，故不需为其再分配信令点码，目前此方式在路内应用较为广泛、成熟，技术支撑有保障；不足之处在于存在当采用数据同步功

能倒换时有短暂业务中断的情况，大约 5 min 后方可恢复正常。

MGW 负责承载层面，通过 2 M 链路的路局的无线子系统 BSC，有线调度通信系统 FAS、铁路电话程控交换网 PSTN 等相关通信系统，CTCS-3 级列控系统 RBC、机车同步操控系统 AN 等应用业务系统互联；通过 2 M 链路的全路共用设备北京、武汉 STP 互联，实现与全路共用设备 HLR、SCP、SMSC 等互联；通过 2 M 链路相邻局 MSC 互联。

网络结构如图 2 所示。

能倒换时有短暂业务中断的情况，大约 5 min 后方可恢复正常。

方式二的优势在于网络容灾和合理分配网络资源方面，在一定程度上网络可以自动调整负载；不足之处为数据配置复杂，2 套 MSC 均需要设置信令点编码，且池内每个 MSC 需要配置池内所有位置区信息。

上述两种方案均能满足核心网 MSC 设备的冗余需求，在核心网改造过程中需根据路局需求、设备供应、既有设备支持能力等情况进行选择。

2.2 SGSN冗余组网方案

路局既有 SGSN 大部分未采用冗余组网，《铁路数字移动通信系统（GSM-R）设计规范》（TB 10088-2015）要求 SGSN 宜进行冗余组网，因此，更新改造后的 SGSN 需依据标准采用冗余组网方案。SGSN 的冗余组网有两种方式，取决于无线子系统 BSC/PCU。

1) BSC/PCU 不支持 Gb Flex 功能的情况下，BSC/PCU 只能连接到一个 SGSN，SGSN 故障时，人工倒接至备用 SGSN，该方式为冗余 SGSN 的冷备工作方式。

2) BSC/PCU 支持 Gb Flex 功能的情况下，

BSC/PCU 可以连接到 2 个 SGSN, 2 个 SGSN 组成 SGSN Pool, 为负荷分担的工作方式。BSC/PCU 按照预置的负荷分担原则选择池组内一个 SGSN 服务, 某个 SGSN 故障时, 正在建立的业务, BSC/PCU 可以选择 Pool 内另一个 SGSN 完成业务, 已经在故障 SGSN 建立业务的用户可通过手动迁移方式由池组内其他 SGSN 接入^[6-7], 该方式为冗余 SGSN 的热备工作方式。

在 SGSN 进行了冗余改造, 接入既有 BSC/PCU (不支持 Gb Flex 功能) 和未来新设 BSC/PCU (支持 Gb Flex 功能), 可考虑以下两种组网方式。

方案一：冗余的 SGSN 分担冷备 + 热备

方案一的组网结构如图 3 所示：不支持 Gb Flex 功能的 BSC/PCU, 一部分 (图 3 中 BSC/PCU1 和 BSC/PCU2) 通过帧中继方式连接到 1 个 SGSN, 另外一部分 (图 3 中 BSC/PCU3 和 BSC/PCU4) 通过帧中继方式连接到另外 1 个 SGSN, 为分担冷备方式；新设的 BSC/PCU (图 3 中 BSC/PCU5) 通过 IP 方式连接到 2 个 SGSN, 为热备工作方式。

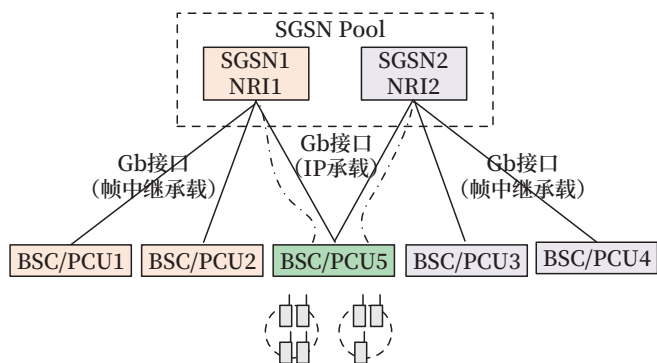


图3 BSC/PCU与冗余SGSN的组网架构（分担冷备+热备）
Fig.3 BSC/PCU and redundant SGSN network architecture
(shared cold standby + hot standby)

在这种方式下, SGSN1 和 SGSN2 分配独立的 RAI (路由区标识)^[8] 和 IP 地址, 相互之间独立工作, 其冷备和热备的工作方式互不影响。SGSN1 和 SGSN2 较为均匀的分担了网内 BSC/PCU 的业务, 尤其在路局内没有支持 Gb Flex 功能的 BSC/PCU 情况下, 2 个 SGSN 均能对外提供服务, 不存在单

纯冷备的情况, 设备的利用率比较高, 且故障风险有所分担。

方案二：冗余的 SGSN 冷备 + 热备

方案二的组网结构如图 4 所示：不支持 Gb Flex 功能的 BSC/PCU (图 4 中 BSC/PCU1 ~ BSC/PCU4) 通过帧中继方式全部连接到 1 个 SGSN, 另外 1 个 SGSN 冷备；新设的 BSC/PCU (图 4 中 BSC/PCU5) 通过 IP 方式连接到 2 个 SGSN, 为热备工作方式。

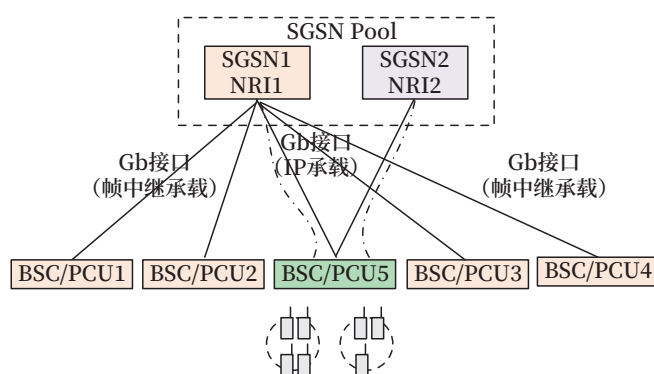


图4 BSC/PCU与冗余SGSN的组网架构（冷备+热备）
Fig.4 BSC/PCU and redundant SGSN network architecture
(cold standby + hot standby)

在这种方式下, SGSN1 和 SGSN2 分配独立的 RAI 和 IP 地址, 相互之间独立工作, 其冷备和热备的工作方式互不影响。SGSN1 承载业务较多, 在路局内没有支持 Gb Flex 功能的 BSC/PCU 情况下, SGSN2 只作冷备, 设备的利用率比较低, 且一旦 SGSN1 故障, 风险较为集中。

上述两种方案均能满足 SGSN 冗余组网的需求, 需针对 BSC/PCU 支持 Gb Flex 功能的情况、维护工作量等方面综合考虑方案的选取。

2.3 GGSN冗余组网方案

GGSN 同 SGSN 类似, 路局既有 GGSN 大部分未采用冗余组网, 《铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 设计规范》(TB 10088-2015) 要求 GGSN 宜进行冗余组网, 因此, 更新改造后的 GGSN 需依据标准采用冗余组网方案。

冗余的 GGSN 采用热备工作方式, 2 套 GGSN 使用相同的逻辑地址、不同的物理地址, 同时接入

网络,可采用两种工作方式:在负荷分担的工作方式下,2套GGSN配置相同的权重,均对外提供服务;在主/备工作方式下,可配置主用GGSN的优先级更高,负责承担业务。2套GGSN间建立心跳以及数据备份通道,当检测到1套GGSN故障时,业务自动倒换至另1套GGSN。

3 其他提高可靠性策略

1) 同城异址部署

根据《铁路通信网络安全技术要求 第3部分:铁路数字移动通信系统(GSM-R)》(Q/CR 783.3-2022)提出路局集中设置的核心网设备宜同城异址部署的要求,核心网在改造过程中,在具备条件的情况下,需考虑将冗余的2套核心网设备部署在同一城市不同站址的2个机房,从集中维护力量的角度考虑,应选择路局所在地城市,具有外部冗余供电、承载网资源丰富的机房。

2) 承载网通道冗余

核心网设备需要与局内无线子系统、FAS、应用业务系统互联,与其他局核心网设备互联,互联通道由传输系统和铁路数据网提供。为保障互联网元之间的可靠连接,网元之间的互联通道应冗余考虑,并由不同的物理路由提供。

4 设备入网割接方案

每个路局的核心网设备(MSC、SGSN、GGSN)承担了本局所有的GSM-R业务,涉及的业务系统较多,新设核心网设备替换既有核心网设备的割接工作也非常关键且复杂,从时间上大概可分为入网调测、业务割接两个阶段进行。

1) 入网调测

入网测试即新设核心网设备利用新分配的网络数据接入GSM-R网络,实现与其他相关核心网设备的互联互通。在此阶段,新设核心网设备不承担现网业务,需要利用测试基站进行各类业务测试,验证设备功能和性能。

2) 业务割接

待入网调测完成后,即可进入业务割接阶段。业务割接即为将既有设备业务逐步割接至新设设备的过程,主要是既有线子系统接入新设核心网设备、新设核心网设备与相关通信系统、应用业务系统的互联。为保障割接的安全可靠,尽量减少对业务运用的影响,业务割接^[9]需要申请天窗点,并分批次完成,可以分为各线无线子系统接入新设MSC、SGSN(包括MSC与RBC、AN等既有电路域应用业务系统的互联),新设MSC与FAS互联,新设MSC与PSTN互联,GGSN与分组域应用业务系统互联等几部分逐一割接^[10]。新旧核心网在网内并存过渡的时间较长,待所有业务割接完成,既有核心网设备即可退网。

5 结论与建议

铁路GSM-R核心网在十余年的发展过程中,积累了丰富的运营维护经验,因此对核心网改造的需求更加明确,思路更加清晰,进行优化完善后,形成一个互联互通、安全可靠的GSM-R核心网络,能够更好地满足铁路运输生产指挥的需求,进一步为铁路下一代移动通信系统的发展奠定基础。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局.铁路数字移动通信系统(GSM-R)设计规范:TB 10088-2015[S].北京:中国铁道出版社,2015.
- [2] 中国国家铁路集团有限公司.铁路通信网络安全技术要求 第3部分:铁路数字移动通信系统(GSM-R):Q/CR 783.3-2022[S].北京:中国铁道出版社有限公司,2022.
- [3] 刘盛尧,李坚.既有铁路GSM-R系统工程设计研究[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(10):48-53.
Liu Shengyao, Li Jian. Engineering Design of Existing Railway GSM-R System[J]. Railway Quality Control, 2021, 18(10): 48-53.
- [4] 李莉.GSM-R MSC备份方案研究[J].铁路技术创新,2011(S1):110-113.