

第 1 章

系 统 概 述

1.1 系统概述

区域智能电网运行监控与分析决策系统具备实时监控、运行分析、调度计划、调度管理、智能分析决策等功能，为电网调度、电网监控、运行方式、自动化等专业提供技术支持。该系统由基础支撑平台、数据采集交互、运行监视、控制与防误、电网分析、故障预警与分析决策、培训仿真、运行分析评价、综合数据平台等功能模块构成。通过各专业部门的协同工作，对输电网络进行主动式实时监视和安全运行控制，实现超前预警；通过对运行信息的采集、整合、分析和挖掘，支持辅助决策，实现对输电网络的运行优化；面向调度中心全专业提供智能化的业务支撑手段，确保电网安全可靠，灵活协调，经济环保，运行高效。从而全面提升调度驾驭大电网和优化资源配置能力、纵深风险防范能力、科学决策管理能力、灵活高效调控能力和公平友好市场调配能力。

1.2 系统架构

区域智能电网运行监控与分析决策系统由基础支撑平台、数据采集交互、运行监视、控制与防误、电网分析、故障预警与分析决策、培训仿真、运行分析评价、综合数据平台等功能模块构成，如图 1-1 所示。



图 1-1 体系架构

系统通过统一的基础支撑平台为各类应用提供支撑，通过实时与服务总线实现数据共享和应用交互，并通过综合数据平台实现综合的存储、挖掘及信息展示。

- 数据采集与交互：包括数据采集、数据转发、数据集成与服务等各类功能。
- 运行监视：提供电网稳态监视、暂态监视、环境监视、节能环保监视、在线计算、事件记录、在线预警等功能。

- 运行控制与防误：提供电网运行手动操作、自动控制功能，以及各类防误措施。
- 电网分析：提供了一般的电网网络分析技术，如状态估计、潮流计算等。
- 运行分析与评价：其功能是利用实时监控与预警等各应用的输出结果，对电网安全水平、经济运行水平、计划执行情况进行统计分析，为调度运行值班人员及时掌握电网和技术支持系统的运行情况及后续分析提供支持。
- 综合数据平台：为数据挖掘和其他分析技术提供数据基础，让他 1-2 所示。

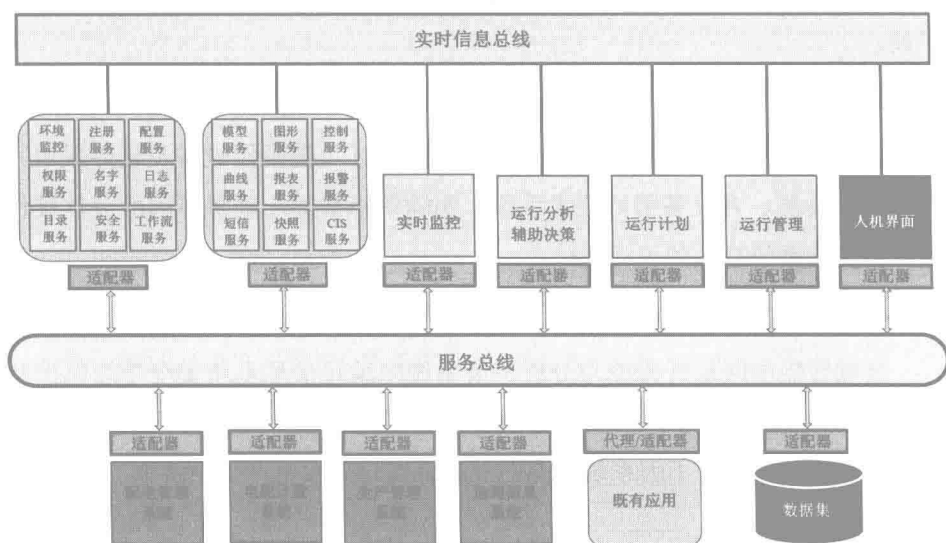


图 1-2 数据架构

1.3 总体技术特点

1. 标准化

区域智能电网运行监控与分析决策系统符合国际、国内、行业各类主流标准，标准化程度高，便于集成、互通。

2. 开放性

区域智能电网运行监控与分析决策系统的软硬件平台具有良好的开放性和广泛的适应性，基础支撑平台及应用功能模块均基于相关国际、国家、行业及企业标准开发，基础支撑平台可插入任何符合相关标准的应用模块或子系统，同时支持模块或子系统间的数据和功能交互，系统规模和功能可按需扩展。

3. 可靠性

区域智能电网运行监控与分析决策系统通过关键硬件设备及软件采用冗余配置、集群、容灾备用等技术手段，消除单点故障，确保不因部分软硬件故障而影响系统功能的正常运行。

4. 安全性

区域智能电网运行监控与分析决策系统应满足信息系统安全等级保护及电力二次系统安全防护相关标准、规范的要求。系统在运行过程中应不影响电力系统的安全性，不因系统本身的故障或错误导致电网安全事故。

5. 易用性

区域智能电网运行监控与分析决策系统可提供方便易用的操作、维护和管理界面，系统功能组织合理、界面美观易懂，操作方便快捷。使用人员无需经过复杂的培训即可掌握并使用此系统。

6. 可维护性

区域智能电网运行监控与分析决策系统具备系统自检、性能预警、事件

告警、故障诊断等功能，可对系统软硬件设备进行全面的监测，并具备统一的管控界面，方便管理人员及时发现并排除系统隐患及故障。

7. 可管理性

区域智能电网运行监控与分析决策系统具备软硬件设备集中管控能力，所采用的软硬件设备应具有良好的可管理性，可自动报告自身状态或响应状态查询指令，可响应运行控制指令（启动/停止、主/备切换等）。

1.4 主要技术指标

1. 可靠性指标

系统中关键设备 MTBF>17000 小时。

系统能长期稳定运行，在值班设备无硬件故障和非人工干预的情况下，主/备设备不发生自动切换。

由于偶发性故障而发生自动热启动的平均次数应小于 1 次/3600 小时。

所有设备的寿命在正常使用（具有一定备品条件）情况下 ≥ 10 年。

所有设备（含电源）在给定条件下运行，连续 4000 小时内不需要人工调整和维护。

2. 实时性指标

遥测量超越定值变化（越阈值）传输到主站时间，或在循环传送方式下，重要遥测量更新时间不超过 3 秒。

遥测量从前置采集通道输入越死区传送至后台画面显示时间间隔不超过 3 秒。

遥测量（数据转发）从前置采集通道输入至后台画面显示时间间隔不超过 3 秒。

遥信变位传送时间不超过 2 秒。

遥信量从前置采集通道输入信号至后台画面显示时间间隔不超过 2 秒。

遥信量（数据转发）从前置采集通道输入信号至后台画面显示时间间隔不超过 2 秒。

遥控/遥调从选择到执行或撤消命令下发的时间小于 2 秒。

系统实时数据扫描时间周期为 1~10 秒，可调。

外部网络通信的实时数据传送和接收采集周期为 2~10 秒，可调。

90%以上实时监视画面调出响应时间不大于 2 秒。

画面实时数据更新周期为 1~10 秒，可调。

工作站画面调用响应时间不大于 2 秒。

模拟盘数据量刷新周期为 3~10 秒，可调。

系统时间与标准时间的误差小于 1 秒。

系统频率采集周期为 1 秒，外部频率采集设备必须满足这一要求。

SOE 记录应精确到毫秒级。

3. 正确性指标

（1）SCADA 指标

遥测误差 $\leq 1.5\%$ 。

越死区传送整定最小值 0.5%（额定值）。

遥信动作准确率 $\geq 99\%$ 。

遥控准确率 $\geq 99\%$ 。

遥调准确率 $\geq 99\%$ 。

系统与标准时间误差 $\leq 1\text{ms}$ （利用 GPS）。

（2）PAS 指标

状态估计遥测估计合格率 $\geq 95\%$ 。

状态估计月可用率 $\geq 95\%$ 。

状态估计单次计算时间 < 5 秒。

调度员潮流计算结果误差 $\leq 2.5\%$ 。

调度员潮流月合格率 $\geq 95\%$ 。

调度员潮流单次潮流计算时间 ≤ 5 秒。

短期负荷预测月负荷预报准确率 $\geq 95\%$ 。

短期负荷预测月最高(低)负荷预报准确率 $\geq 95\%$ 。

短期负荷预测日负荷预报准确率 $\geq 95\%$ 。

短期负荷预测月(年)度累计最高(低)负荷预报准确率(连续6个月) $\geq 95\%$ 。

短期负荷预报平均误差 $< 3\%$ 。

取实时数据后仿真计算潮流与所取数据比较,电压幅值差 $< 0.015\text{pu}$ (标幺值),相角差 $< 2^\circ$ 。

操作响应时间 < 3 秒,故障响应时间 < 3 秒。

4. 负载率指标

电网正常情况下主要节点(服务器和前置机)CPU负载 $\leq 30\%$ (10秒平均值)。

电网事故情况下主要节点(服务器和前置机)CPU负载 $\leq 50\%$ (10秒平均值)。

任何情况下,在任意5分钟内,系统主局域网的平均负荷率不超过20%,主局域网双网以分流方式运行时,每一网络的负载率应小于12%;以保证一网故障时,单网负载率不超过24%。

电网正常运行状态下,系统负载率的测试条件为采集和处理厂站的正常数据及各种正常的系统操作,电网事故状态下系统负载率的测试条件为采集及处理事故厂站的雪崩数据、非事故厂站的正常数据,以及各种正常的系统操作。

5. 可靠性指标

年可用率 $\geq 99.99\%$ 。

运行寿命 ≥ 12 年。

冗余热备用节点之间实现无扰动切换,热备用节点接替值班节点的切换时间 ≤ 5 秒(主/备通道的切换时间 ≤ 20 秒)。

冷备用节点接替值班节点的切换时间 ≤ 5 分钟。

任何时刻冗余配置的节点之间可相互切换，切换方式包括手动和自动两种方式。

任何时刻保证热备用节点之间数据的一致性，各节点可随时接替值班节点投入运行。

设备电源故障实现无缝切换，对双电源设备无干扰。

6. 容量指标

(1) 监视规模（表 1-1）

表 1-1 监视容量

编号	监视量	容量值
1	实时数据库	
1.1	模拟量	200000
1.2	状态量	1000000
1.3	遥控量	50000
1.4	遥调量	50000
1.5	计算点	100000
2	历史数据库	
2.1	每分钟的点数据（保存 3 年）	200000
2.2	每 15 秒的点数据（保存 6 个月）	10000
2.3	每秒钟的点数据（保存 90 天）	5000

2. 分析计算规模

应用数据库如表 1-2 所示。

表 1-2 应用数据库

编号	监视量	容量值
1	公司数	50
2	区域数	400

续表

编号	监视量	容量值
3	厂站数（电厂、500/220 千伏以上变电站）	1000
4	电网计算节点数	50000
5	网络支路数	80000
6	重要联络线	500
7	机组	5000

1.5 系统运行环境

1. 安装地点

系统设备安装在自动化机房，全部设备组屏安装，且在标准机架上固定。

2. 通信条件

自动化机房必需具备的通信接口有：

- 与调度数据网网络接口。
- 市、县间光纤通道光纤接口。
- 与各厂站专线接口。

3. 安装环境

主站系统设备应在下述环境中运行：

- 温度为 15~30℃。
- 湿度为 20%~80%。
- 铺设防静电地板。
- 满足设备的散热要求，所有设备均不能放置在封闭的狭小空间内。
- 尘埃的粒径 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的个数 ≤ 18000 粒/ cm^3 。
- 无线电干扰场强，在频率范围 0.15~1000Mhz 时不大于 126dB。
- 机房内磁场干扰场强不大于 800A/m。

4. 电源

单相电压 $220V \pm 5\%$ ，暂无三相供电要求。	
频率 $50Hz \pm 0.2\%$ 。	
要求 UPS 供电，最好做到双回路、双 UPS 供电，不仅是向 UPS 提供双回路电源，而且是两套 UPS 设备；相关系统设备分成两组分别接在两台 UPS 输出上。	
5. 机房接地	

要求接地电阻 <1 欧姆，如果整栋大楼合用接地装置则接地电阻宜小于 0.5 欧姆。

防雷保护接地与机房接地分开。

第2章

基础平台技术

2.1 运行服务总线

运行服务总线是连接区域智能电网运行监控与分析决策系统各功能模块的逻辑总线，其包括服务注册中心、实时总线和服务总线，提供横向和纵向互联的基础设施，是系统内部以及与其他系统互联互通的载体。

2.1.1 高速实时总线

高速实时总线实现进程间（计算机间和内部）的高速数据通信，具有消息的注册/撤销、发送、接收、订阅、发布等功能，以接口函数的形式提供给各类应用；提供基于 UDP 和 TCP 的两种实现方式，具有组播、广播和点对点传输形式，支持一对多、一对一的信息交换场合，支持快速传递遥测数据、开关变位、事故信号、控制指令等各类实时数据和事件。

高速实时总线同时存在于内平台和外平台，为电网实时监视控制类应用提供支撑与服务，为实时监视控制、网络安全分析、动态稳定预警、实时调度计划类的各功能应用提供实时数据的交换服务。内平台高速实时总线的基础

本要求为安全、稳定、高速、可靠。外平台高速实时总线为内平台的镜像，为管理信息大区内的应用提供实时数据交换服务。通过内平台高速实时总线，应能过物理隔离访问到有必要的管理信息大区数据。

1. 高速实时总线架构

高速实时总线提供进程间、主机间、现场间和跨安全区通信机制，此外还提供进程注册信息、消息事件、通信管道等管理机制。

(1) 进程间通信架构

高速实时总线负责本机内不同进程间的通信交互。不同进程间进行本地通信时调用高速实时总线接口，可实现基于共享内存的高速实时通信，由总线保证报文交互的有序性和时效性，其原理图如图 2-1 所示。

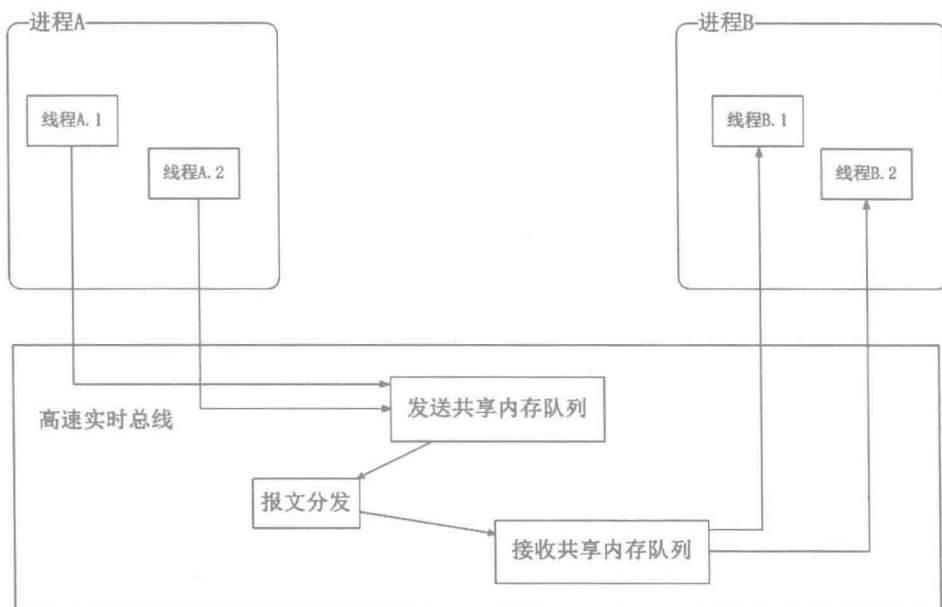


图 2-1 高速实时总线本机通信原理图

进程 A 的多个线程与进程 B 线程间通信过程如图 2-1 所示，进程 A 的线程 A.1 与进程 B 的线程 B.1 通信，通过高速实时总线共享内存为每个进程分配特定的发送和接受共享内存队列，发送端将数据放入发送共享内存队列并

通知高速实时总线，高速实时总线获取发送共享内存队列中的数据，经过分发报文逻辑的判断，将发送共享内存队列中的报文按照目标进程的目标线程分发到接收共享内存队列，队列按照先后顺序保证报文的收发顺序，且总线管理所有队列的存取操作保证报文的时效性。为了保证线程与线程之间的通信能够准确到达，高速实时总线引入了 vlink 机制，在每个线程对之间建立特殊的 vlink 对应关系，防止报文转发错误。当然两个进程间也可通过事件号和回调函数方式传输数据。

(2) 主机间通信架构

高速实时总线负责本异机间不同进程的通信交互。异机不同进程间通信时调用高速实时总线接口，可实现基于 UDP、组播、TCP 方式的高速实时通信，由总线保证报文交互的有序性和时效性，其架构图如图 2-2 所示。

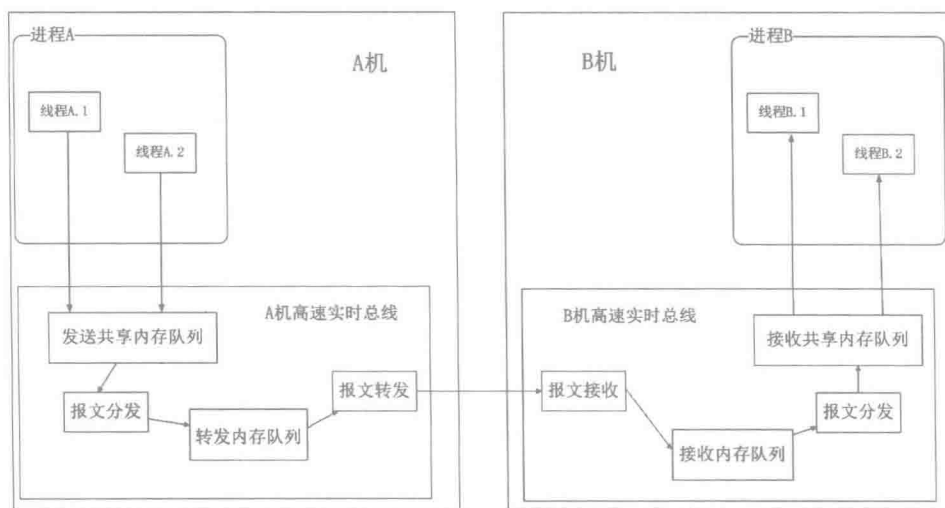


图 2-2 高速实时总线异机通信原理图

A 机上的进程 A 的多个线程与 B 机上的进程 B 线程间通信过程如图 2-2 所示，进程 A 的线程 A.1 与进程 B 的线程 B.1 通信，发送端将数据放入发送共享内存队列并通知高速实时总线，高速实时总线获取发送共享内存队列中的数据，经过分发报文逻辑的判断，将发送共享内存队列中的报文按照目标节点放入 B 机的转发内存队列（高速实时总线为每一个能够通信的节点建立

了转发队列), 队列按照先后顺序保证报文的收发顺序, 总线管理所有队列的存取操作, 报文转发逻辑负责将报文按照先后顺序和指定的发送方式发送给 B 机的接收程序, B 机接收后放入接收队列, 再由 B 机的分发逻辑判断并放入 B 进程的接收共享内存队列中。同样, 为了保证线程与线程之间的通信能够准确到达, 异机间也引入了 vlink 机制, 防止报文转发错误。当然异机的两个进程间也可通过事件号和回调函数方式传输数据。

在同一个现场内的所有主机间都建立链路, 比如图 2-3 所示的四台主机组成的一个现场, 现场内每台机器都与其他所有机器间建立链路并保证能够在任意两台主机间都可以相互通信。这样做可以保证异机间的报文通信迅速到达, 无需中转。

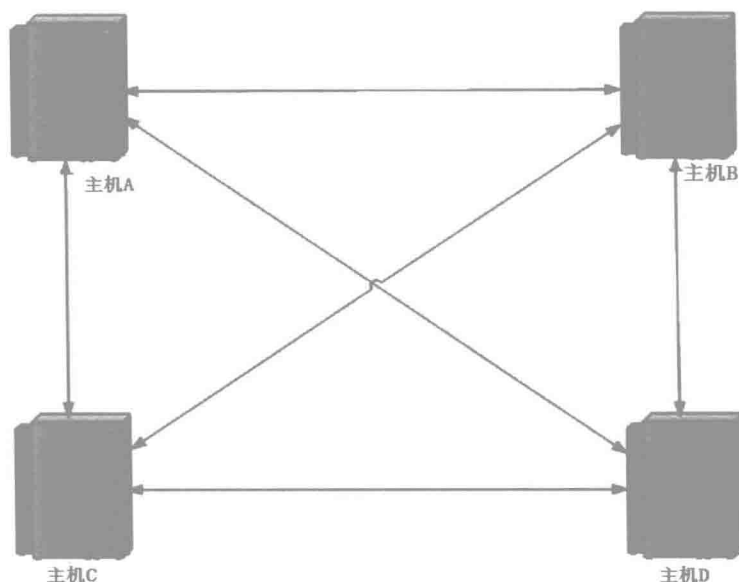


图 2-3 主机间链路组织方式

(3) 现场间通信架构

现在电力二次系统的建设规模越来越大, 系统在单个安全区内的部署规模可以达到近百台主机, 且各类应用的建设周期不同。例如 SCADA 会先上线, 各类高级应用会后续不断开发上线。为了解决大集群部署和分阶段部署的难

题，防止大集群中个别节点的故障引起的系统震荡，以及新上线应用对已上线应用的影响，高速实时总线引入了多现场技术，将紧密相关且同时上线的应用归入一个现场，把相互间交互数据有限的应用以及分批上线的应用归入不同的现场，现场间的通信由高速实时总线代理节点完成，避免了不同现场间的通信相互扰动，降低系统紊乱的可能性，增强系统安全性和部署的灵活性，其架构图如图 2-4 示。

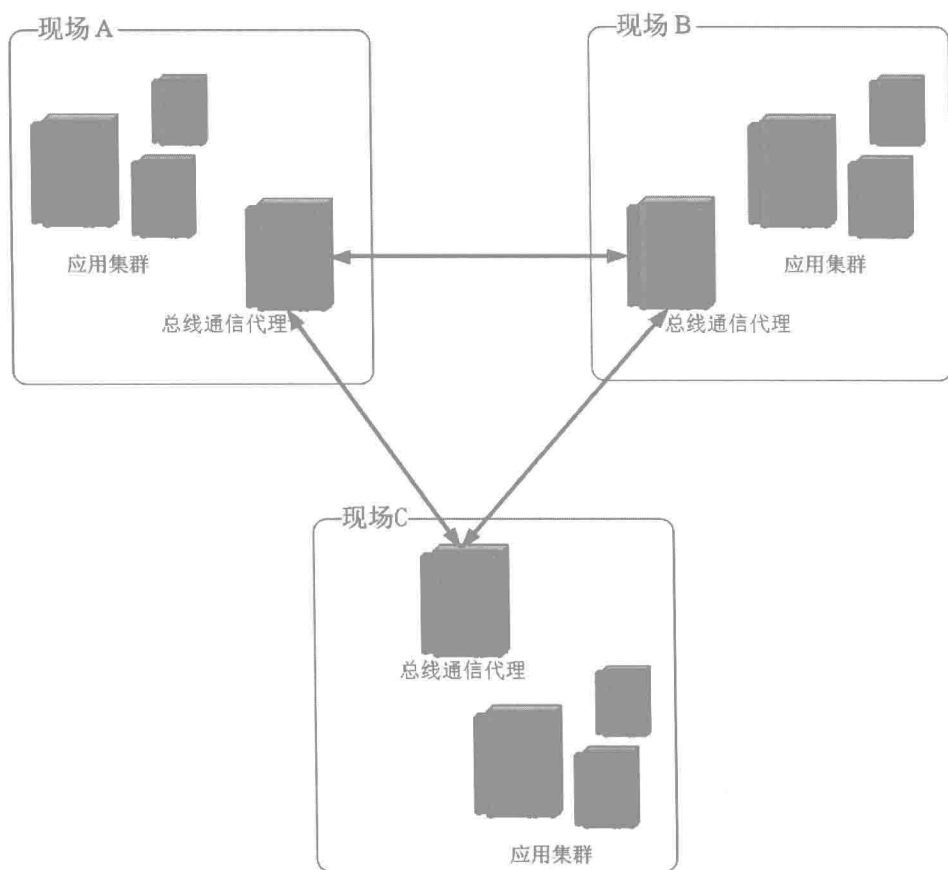


图 2-4 多现场通信架构

同一现场内的通信主机由发送方和接收方的两台主机间直接通信。通信不需要经过转发节点，通信效率非常高，适合于应用内部或紧密关联的多个

应用间大量实时数据的传输。

不同现场间的通信需要经过总线代理节点转发，如图 2-5 所示。即 A 现场 A 机的进程与 B 现场 B 机的进程通信，需要表明所通信现场的现场名，从而通知高速实时总线，此类报文需要通过代理转发。

此时，报文转发程序会将这类带有目标现场名的报文转发给 A 现场高速实时总线转发代理，由它通过分析现场名将报文转发给 B 现场高速实时总线转发代理，并由其根据主机名、vlink 等信息转发给 B 主机的接收程序，后续逻辑与上一章节中的描述类似。对于事件报文，只要在转发代理程序处注册为跨现场转发事件即可实现事件报文的透明转发，即不需要发送方明确接收方的现场名即可实现跨现场转发，方便大量的实时数据同步，比如实时库跨现场同步等。

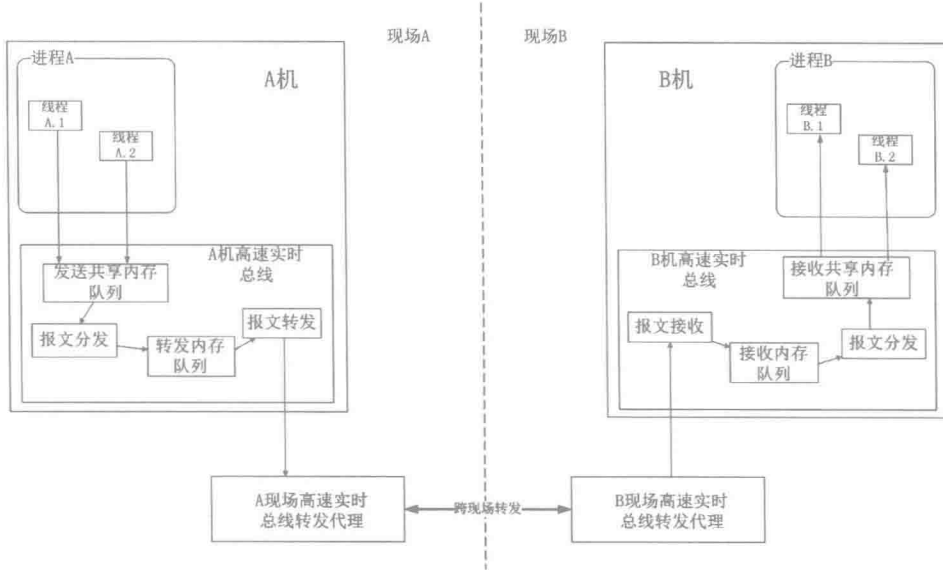


图 2-5 多现场转发

(4) 跨安全区通信架构

高速实时总线负责跨安全区的通信交互。对于安全 I 区与安全 II 区间的通信，由于中间设置了防火墙，对通信链路的建立有明确的限制，高速实时

总线采用跨现场通信方式，且设置为安全 I 区的跨现场通信代理主动与安全 II 区跨现场通信代理建立固定端口的链路，并通过配置使其通信方式遵循防火墙各类安全设置，比如对协议、原目标 IP、端口等的限制策略等。

对于安全 I/II 区与安全 III 区间的通信，由于有单向隔离装置，采用了跨隔离装置代理程序，且根据内外网分为内网代理和外网代理，其通信架构图如图 2-6 所示。

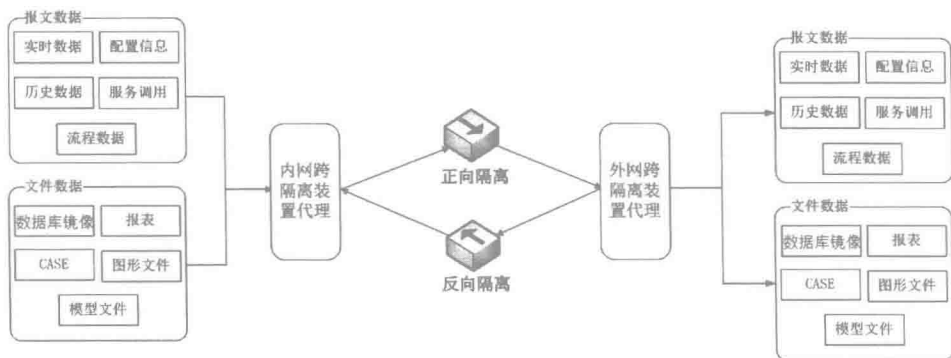


图 2-6 跨隔离装置转发

高速实时总线内网跨隔离装置代理负责通过正向隔离装置与外网跨隔离装置代理建立通信联系，并处理由外网代理通过反向隔离装置文件传输程序转到内网的文件，将其组织成报文或将文件直接转发到目的节点；高速实时总线外网跨隔离装置代理负责接收内网代理的通信请求，并将报文或文件转发给外网相关节点，同时将外网发往内网的文件通过反向隔离装置文件转发程序发往内网，也可以将外网发往内网的报文转成 XML 或符合反向隔离装置转发要求的文件格式并交由反向文件转发程序转发给内网。

高速实时总线的内外网跨隔离装置转发代理是根据隔离装置特性编写的转发程序，其能够适应目前国内各类型隔离装置的通信安全方面的要求，将内外网数据在符合单向通信的安全规范的前提下转发，其转发的数据类型包括报文数据（比如实时数据、历史数据、配置信息、服务调用、流程数据等）和文件数据（比如数据库镜像文件、报表模版、CASE 文件、图形文件、模型文件等）。