

电力通信网络中SDH设备的冗余设计研究

苏 婧

锡林郭勒供电公司 内蒙古 锡林郭勒 011400

摘 要：在当代电力通信网络的设计与维护中，同步数字系列（SDH）设备的冗余设计策略显得尤为重要。这一策略不仅是提高网络可靠性的基础，也是确保数据传输不被中断的关键。在传统的SDH网络配置中，由于物理线路的局限性及设备本身的故障概率，网络的稳定性和数据完整性常常面临严峻挑战。冗余设计作为一种有效的解决方案，通过设置备份系统和双路传输路径，极大增强了网络在面对硬件故障、软件缺陷或外部干扰时的韧性。

关键词：电力通信网络；SDH设备；冗余设计

SDH设备是电力通信网络的核心，负责高效可靠地传输大量数据。鉴于通信的重要性和稳定性要求，SDH设备的冗余设计方法，包括保护环设计、网络拓扑冗余配置及保护切换技术，旨在提升系统可靠性和容错能力，并通过测试验证了设计的有效性。

1 SDH 设备冗余设计方法

1.1 SDH设备保护环设计原理及实施方法。保护环核心设计原理，通道保护环（如二纤双向通道环），原理：采用“并发优收”机制，业务信号同时在工作通路和保护通路中传输（1+1保护）。接收端根据信号质量（如误码率）择优接收，倒换基于单个通道状态判断。特点：无需协议控制，倒换速度快（ $\leq 50\text{ms}$ ），配置简单，适用于接入层或低阶业务保护。复用段保护环（如二纤双向复用段环），原理：利用时隙分割技术，光纤一半容量传工作业务，另一半作为共享保护容量。故障时通过APS协议（K1/K2字节）协调相邻节点切换，实现容量复用。特点：支持额外业务传输，容量利用率高，但需协议交互，倒换时间略长（ $50\text{ms}\sim 200\text{ms}$ ），适用于汇聚层/核心层高阶业务保护。实施方法与关键技术，通道保护环配置步骤，业务配置：工作通路：主用路由直连节点（如A→B→C）。保护通路：反向路由配置（如A→D→C），形成环网。时隙分配：工作通道时隙标记为红色，保护通道标记为蓝色，未配置保护业务标记为绿色。倒换验证：模拟断纤后，接收端自动切换至保护通路信号。复用段保护环实施要点，APS协议配置：节点间通过K1/K2字节传递故障位置和倒换请求，触发双端切换（故障两侧节点同步动作）。设计注意事项，协议协同：复用段保护需严格同步APS协议时序，避免因节点时钟差异导致切换失败。容量匹配：通道环适于少量业务点对点保护，复用段环适合多节点大容量业务疏导。环网节点数不宜过多（典型 ≤ 16 个），否则延长倒换时

间。防误操作：配置智能防误系统，防止人为操作中断保护链路。实施效果：正确配置后，通道保护环倒换时间 $\leq 50\text{ms}$ ，复用段环 $\leq 200\text{ms}$ ，电力通信网可用性可达99.999%。核心枢纽建议叠加设备冗余与跨机房容灾，形成多级保护。

1.2 SDH设备网络拓扑冗余配置技巧。多重环网嵌套设计，分层环拓扑，核心层：部署高阶STM-64/STM-256环网，采用四纤双向复用段保护环（4F-BLSR），支持50ms级故障切换与额外业务承载。汇聚层/接入层：嵌套低阶STM-4/STM-16通道保护环（PP环），实现“双发选收”机制，确保继保等关键业务零中断。跨环互联：通过双节点分插复用器（ADM）连接不同层级环网，避免单节点失效导致跨环业务中断。地理分散布点，关键枢纽站点设备部署间距 $\geq 20\text{km}$ ，规避区域性灾害风险（如地震、洪水）。链路冗余强化，双归接入，核心节点通过独立双光缆连接相邻站点，物理路由分离（如不同管井/杆路）。配置1+1 SNCP子网连接保护，主备链路同步传输，接收端实时择优切换。节点级容灾策略，双设备热备，核心站点部署双ADM设备交叉互联，配置1:1交叉板卡备份，故障时业务无缝迁移至备用设备。电力场景特殊配置，业务优先级标记，对继电保护、调度电话等业务配置最高QoS等级，确保倒换时优先保障。防误操作锁，网管系统启用拓扑变更确认机制，强制审核关键节点配置变更。

1.3 SDH设备保护切换技术原理及应用。保护切换技术原理，通道级保护（如SNCP），双发选收机制：业务信号在工作/保护通道并发传输，接收端基于信号质量（误码率、光功率）实时择优接收，无需协议交互。切换触发条件：光功率衰减 $> 3\text{dB}$ 、信号丢失（LOS）或误码率 $> 10^{-6}$ 等7级门限触发，切换时间 $\leq 50\text{ms}$ 。复用段保护（如MSP环），APS协议控制：通过K1/K2字节传递故

障位置与倒换指令,协调故障点相邻节点同步执行桥接与倒换动作。容量共享设计:二纤环:光纤50%容量传工作业务,50%作共享保护池;四纤环:专用保护光纤支持额外业务传输,故障时优先丢弃低优先级业务。设备级保护,关键板卡1+1热备:交叉连接单元实时同步数据,主备切换触发时间 $\leq 10\text{ms}$ 。双节点容灾:核心站点部署双ADM设备,单节点失效时通过SNCP或VRRP协议切换业务。典型应用场景,电力通信网络,继电保护业务:配置1+1 SNCP通道保护,确保切换零中断,优先级标记为最高QoS等级。光线路保护设备:直连式光功率监测模块,识别断纤后触发OLP设备切换,替代人工割接。跨协议协同,BFD+动态路由:结合OSPF/BGP协议,通过BFD毫秒级检测链路状态,触发路由收敛加速至1秒内。VRRP网关冗余:主备网关状态同步,切换时间 $\leq 3\text{秒}$,保障IP业务连续性。实施注意事项,时钟同步:优先采用BITS源+线路抽钟双备份,避免切换过程因时钟失步导致误码。切换时长控制:通道保护环节点数 ≤ 16 个,避免因协议处理延迟突破50ms阈值;复用段环需优化APS协议交互时延,实测工程场景允许 $\leq 200\text{ms}$ 。防误操作:网管系统启用配置变更审核锁,禁止非授权修改保护组参数。

1.4 SDH设备冗余设计如何提高系统可靠性和容错能力。链路层冗余:双路径容错,保护环架构,通道保护环(如SNCP):业务信号在工作/保护通道并发传输(1+1模式),接收端根据光功率、误码率实时择优接收,单链路故障切换时间 $\leq 50\text{ms}$ 。复用段保护环(如MSP):光纤50%容量用于工作业务,50%作为共享保护池;故障时通过K1/K2字节触发APS协议,相邻节点协同完成桥接倒换(切换时间 $\leq 200\text{ms}$)。地理路由分离:工作/保护链路敷设于不同管道或杆路,规避同缆中断风险。节点级冗余:硬件与协议协同,双设备热备,核心站点部署双ADM设备,交叉连接单元采用1+1实时镜像,主控板故障时备用板卡10ms内接管业务。网关层启用VRRP协议,主备设备通过心跳检测(间隔 $\leq 1\text{秒}$)实现3秒内业务切换。板卡冗余设计,电源模块、交叉板、时钟板等关键组件配置N+1备份,单板失效时自动切换至备用单元。支持“热插拔”更换故障模块,避免系统停机维护。系统级容灾:立体防护体系,时钟同步冗余,主用BITS时钟源+备用线路抽钟双备份,防止切换过程时钟失步引发误码。电源多级备份,双路市电输入+UPS+柴油发电机三级保障,供电中断切换时间 $\leq 10\text{ms}$ 。跨机房部署,核心设备分散于 $\geq 20\text{km}$ 距离的异地机房,防范区域性灾害(地震、洪水)。电力场景强化设计,业务优

先级保障,继电保护、调度电话等关键业务标记最高QoS等级,倒换时优先抢占保护资源。防误操作机制,网管系统配置拓扑变更锁,禁止非授权修改保护组参数。

2 SDH设备冗余设计对通信稳定性和数据传输效率的影响

通信稳定性提升机制。故障快速自愈,通道级保护(如SNCP):采用“双发选收”机制,接收端实时检测光功率/误码率,50ms内切换至备用通道,保障业务零中断。复用段保护环(如MSP):通过K1/K2字节传递故障信息,四纤环允许200ms内完成跨节点协同倒换,抵御多点故障。节点级容灾,核心站点部署双ADM设备,交叉板卡1+1热备,单板故障切换时间 $\leq 10\text{ms}$ 。网关冗余(VRRP协议)实现3秒内设备级故障切换,避免单点失效导致全网瘫痪。抗灾能力强化,工作/保护链路地理隔离(分管道敷设),规避同缆中断风险。异地机房部署(间距 $\geq 20\text{km}$),防范区域性灾害。智能业务调度,关键业务(如继电保护)标记最高QoS优先级,倒换时优先抢占带宽资源,保障高价值数据传输效率。效率制约因素,带宽分割损耗,二纤复用段环需预留50%带宽作保护容量,四纤环虽支持额外业务传输,但故障时会优先丢弃低优先级业务。SNCP通道保护需双发业务,实际有效带宽利用率 $\leq 50\%$ 。协议开销增加,APS协议交互、VRRP心跳检测等冗余控制信令占用约3%-5%带宽资源。动态路由(如OSPF/BGP)需定期同步拓扑信息,增大网络负载。

3 SDH设备冗余设计如何满足电力通信网络的高要求

3.1 分层冗余架构适配电力业务等级。核心层四纤复用段环(MSP),抗多点故障:专用保护光纤承载额外业务,故障时通过K1/K2字节触发保护倒换($\leq 200\text{ms}$),支持继电保护等高实时业务。带宽预留:50%容量作为保护池,关键业务(如调度电话)标记最高QoS优先级,倒换时优先抢占资源。接入层二纤通道保护环(SNCP),1+1双发选收:工作/保护通道并发传输,接收端基于光功率、误码率实时择优,切换时间 $\leq 50\text{ms}$,满足配网自动化需求。地理隔离:工作/保护光缆分沟道敷设,规避同缆中断风险。

3.2 关键业务强化保障。继电保护零中断方案,独占式通道:为继电保护业务分配专用VC-4通道,配置1+1 SNCP保护,切换时间压缩至20ms以内。双节点互保:变电站部署双ADM设备,主控板1+1热备(切换 $\leq 10\text{ms}$),单节点失效时自动切换路由。安全隔离机制,物理隔离:生产控制大区与管理信息大区采用独立VCG虚级联组,业务硬管道隔离。防误操作:网管系统启用

拓扑变更锁，禁止非授权修改保护组参数。

3.3 电力场景特殊优化。抗恶劣环境设计，供电冗余：双路市电输入+智能蓄电池组（-43V低压关断），支持 ≥ 4 小时后备供电。防雷击保护：铁塔地网与机房地网焊接连通（网格 $\leq 3\text{m} \times 3\text{m}$ ），抑制雷击浪涌干扰。时钟同步加固，四重同步体系：主用BITS时钟源+备用线路抽钟+SDH内部时钟+1588v2协议，主备切换时钟偏差 $\leq 1\mu\text{s}$ 。高效运维支撑，智能网管：SNMP协议实时监控VC-12级业务状态，自动定位光缆劣化段落（误码率 $> 10^{-6}$ 触发预警）。快速割接：采用OTN融合组网，业务迁移耗时缩短至10分钟，减少停电窗口。

4 SDH 设备冗余设计相关网络问题及解决方案

4.1 网络环路问题及处理。问题表现，广播风暴，冗余链路物理成环但未启用SDH层保护机制时，可能触发交换机二层环路，导致广播风暴与MAC地址表震荡。例：某电力站双ADM设备间多条光路形成物理环，激活交换机组播泛洪，CPU占用率达100%。保护倒换失效，因人工误配置导致工作/保护路径形成逻辑环，SNCP倒换功能异常，引发业务断续中断。解决方案，启用协议控制，交换机部署STP/RSTP协议阻塞冗余端口，或启用Loop Detection功能自动关闭环路端口；SDH网管严格校验拓扑逻辑，确保工作/保护路径物理分离且无交叉连接。光纤标识管理，工作/保护光缆分别标记红/蓝护套，施工时强制分管道敷设，降低同缆中断风险。

4.2 ECC通信异常与优化。问题根源，网关网元间冗余链路过多时，DCC通道拥塞引发ECC风暴，导致网管脱管或误码。例：某地电网因未划分ECC子网，30节点环网故障时全网网元失联。解决措施分层路由隔离，核心层与接入层划分独立ECC区域，网关网元启用OSPF路由协议替代默认DCN路由。带宽预留控制，限制单个网元的DCC通道 ≤ 3 条，预留20%带宽用于ECC管理流量。

4.3 电力业务优先级冲突。风险场景，继电保护与普通业务共享保护通道，倒换时低优先级业务抢占资源导致保护动作延迟。优化方案，硬管道隔离，为继电保护分配专用VC-4通道，配置1+1 SNCP保护（切换 $\leq 20\text{ms}$ ），禁止其他业务复用。QoS动态调度，启用基于EXP的队列调度，故障时自动丢弃低优先级业务（如视频监控）保障保护通道带宽。

总之，SDH设备的冗余设计不仅是电力通信网络稳定运行的技术保障，也是提升网络应对多变故障环境能力的有效手段。通过对高级冗余技术的深入研究和应用，可以显著提升电力通信网络的操作灵活性、可靠性和安全性。

参考文献

- [1]王海云.电力通信网络中SDH设备的冗余设计分析.2023.
- [2]张慧园,关于电力通信网络中SDH设备的冗余设计研究.2022.