

环路检测与预防技术白皮书

Copyright © 2022 新华三技术有限公司 版权所有，保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

除新华三技术有限公司的商标外，本手册中出现的其它公司的商标、产品标识及商品名称，由各自权利人拥有。

本文中的内容为通用性技术信息，某些信息可能不适用于您所购买的产品。

目 录

1 概述.....	1
2 各类防环技术简介.....	1
2.1 生成树简介	1
2.2 环路检测简介.....	2
2.3 RRPP 简介	3
2.4 ERPS 简介	4
2.5 Smart Link 简介	4
2.6 防环技术技术汇总与比较.....	7
3 数据中心组网中的环路与防环技术	9
3.1 典型应用场景简介	9
3.2 环路点简介	10
3.2.1 环路点一	10
3.2.2 环路点二	10
3.2.3 环路点三	10
4 园区组网中的环路与防环技术.....	11
4.1 典型应用场景简介	11
4.2 环路点	11
4.2.1 环路点一	11
4.2.2 环路点二	12
4.2.3 环路点三	12

1 概述

网络管理员通常会在网络的关键位置部署多条链路，来提高网络的可靠性，这种部署方式很容易产生二层环路，造成网络资源浪费、网络带宽急剧下降甚至网络不可用等问题。我司设备可以使用多种技术进行二层环路的检测、预防和消除，如 STP、RRPP、ERPS、环路检测等，这些技术都能够有效避免广播风暴。

首先，本文将针对我司的各类二层防环协议，根据他们的技术特点以及应用场景进行归纳并进行横向比较，以帮助用户更好地应用这些协议。相关协议的详细原理以及作用机制，请参考该协议的技术白皮书。

在本文的最后，以我司提出的几种经典解决方案中的组网为案例，进行实际的应用分析，介绍各个组网中二层环路的发生情况以及适用的防环协议。

2 各类防环技术简介

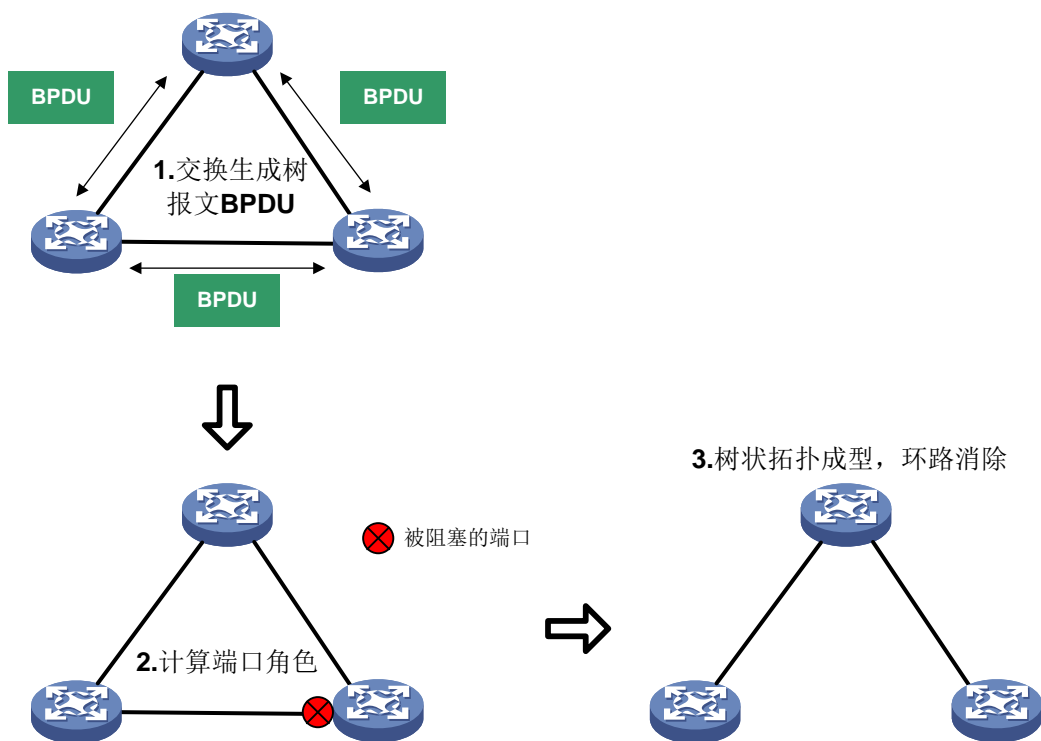
2.1 生成树简介

生成树通过选择性地阻塞网络中的冗余链路来消除二层环路。我司的生成树功能包括 STP（Spanning Tree Protocol，生成树协议）、RSTP（Rapid Spanning Tree Protocol，快速生成树协议）、PVST（Per-VLAN Spanning Tree，每 VLAN 生成树）、MSTP（Multiple Spanning Tree Protocol，多生成树协议）四类生成树协议，四类生成树协议均能够消除二层环路，并且拥有不同的功能：

- **STP**：由 IEEE 制定的 802.1D 标准定义。运行该协议的设备通过彼此交互信息发现网络中的环路，并有选择地对某些端口进行阻塞，最终将环路网络结构修剪成无环路的树型网络结构，从而防止报文在环路网络中不断增生和无限循环，避免设备重复接收相同的报文，造成报文处理能力下降。
- **RSTP**：由 IEEE 制定的 802.1w 标准定义，它在 STP 基础上进行了改进，实现了网络拓扑的快速收敛。STP 新选出的根端口和指定端口需要经过两倍的状态迁移延迟时间后才能进入转发状态；而 RSTP 更加“快速”，当一个端口被选为根端口和指定端口后，满足一定条件时，端口可以不经等待、快速迁移至转发状态，从而缩短了网络最终达到拓扑稳定所需要的时间。
- **PVST**：STP 和 RSTP 在局域网内的所有 VLAN 都共享一棵生成树，不能按 VLAN 阻塞冗余链路，所有 VLAN 的报文都沿着一棵生成树进行转发。而 PVST 则可以为每个 VLAN 计算一棵生成树，能够有效地提高链路带宽的利用率。PVST 可以简单理解为在每个 VLAN 上运行一个 RSTP 协议，不同 VLAN 之间的生成树完全独立。通过为不同的 VLAN 计算不同的树状拓扑，还可以使得不同 VLAN 的流量沿着不同的路径转发，以实现业务数据的负载分担。
- **MSTP**：由 IEEE 制定的 802.1s 标准定义。MSTP 把一个交换网络划分为多个域，每个域内形成多棵生成树，生成树之间彼此独立。每个域通过设置 VLAN 与生成树的对应关系，区分不同的树。与 PVST 不同的是，PVST 会为每个 VLAN 单独计算生成树，在 VLAN 数量较多时，系统负担较重。而 MSTP 可以实现多个 VLAN 共享一棵树，或者一个 VLAN 单独计算一棵树，

配置较灵活。通过为不同的 VLAN 计算不同的树状拓扑，还可以使得不同 VLAN 的流量沿着不同的路径转发，以实现业务数据的负载分担。

图2-1 生成树工作机制示意图



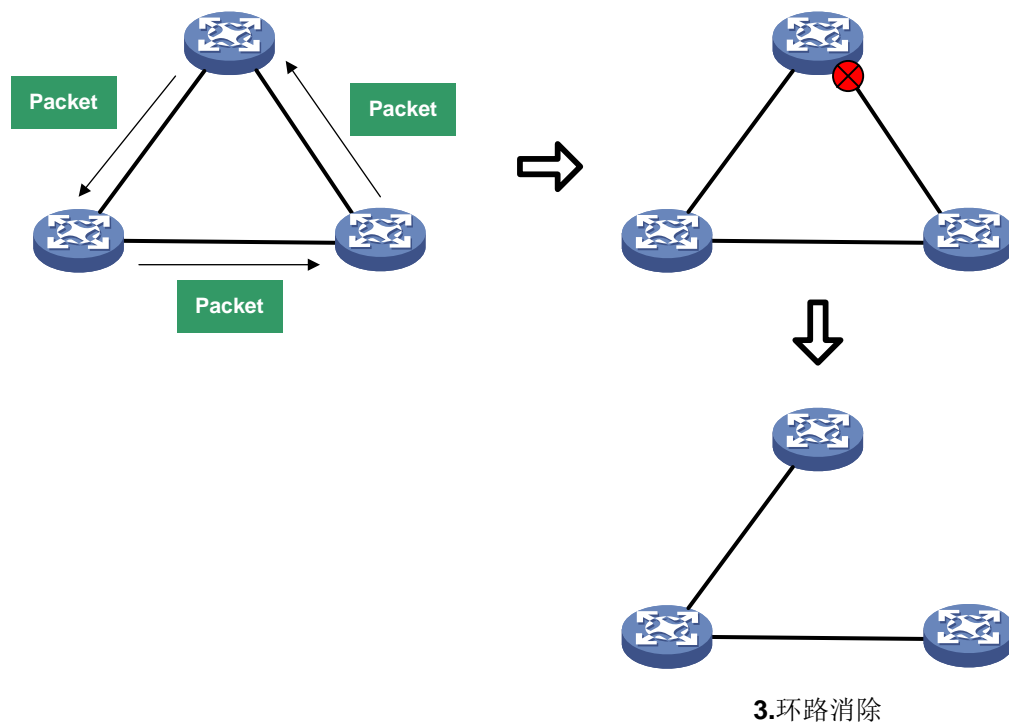
2.2 环路检测简介

环路检测通过定期发送专门用于检测环路的报文来确认是否存在环路。若设备上的端口收到了由本设备发出的环路检测报文，就认定该端口所在链路存在环路。检测到环路后，环路检测功能可以生成日志信息来通知用户，并根据事先的配置来选择对出现环路的端口采取的措施（如阻塞、关闭端口等）。环路消失后，环路检测功能还可以将阻塞或关闭的端口自动恢复到正常转发状态。

图2-2 环路检测工作机制示意图

1.端口收到本设备发出的环路检测报文

2.判定端口出现环路，进行阻塞或关闭等操作



2.3 RRPP简介

在工业级应用场景中，拓扑的稳定性要求高，生成树协议在大型网络中收敛速度较慢，无法满足要求。我司的私有协议 RRPP（Rapid Ring Protection Protocol，快速环网保护协议）是一种收敛时间与网络直径无关的以太网防环链路层协议，可以实现 50ms 以内的收敛速度，在网络直径较大的网络中较生成树协议优势明显。

RRPP 还具有如下特点：

- 在以太网环完整时能够防止数据环路引起的广播风暴，而当以太网环上的链路断开时能迅速启用备份链路恢复环网上各个节点之间的通信链路。
- 在相交环拓扑中，各个环路独立计算，一个环拓扑的变化不会引起其他环的拓扑震荡，数据传输稳定。
- 可以通过配置多个 RRPP 域，使得不同 VLAN 的数据流量在环网中沿着不同的路径转发，实现负载分担。

图2-3 RRPP&ERPS 工作机制示意图

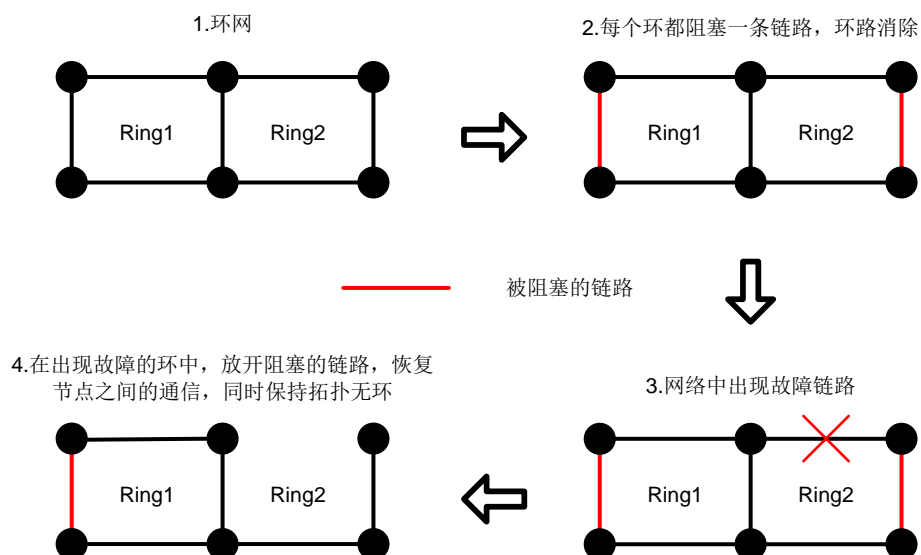
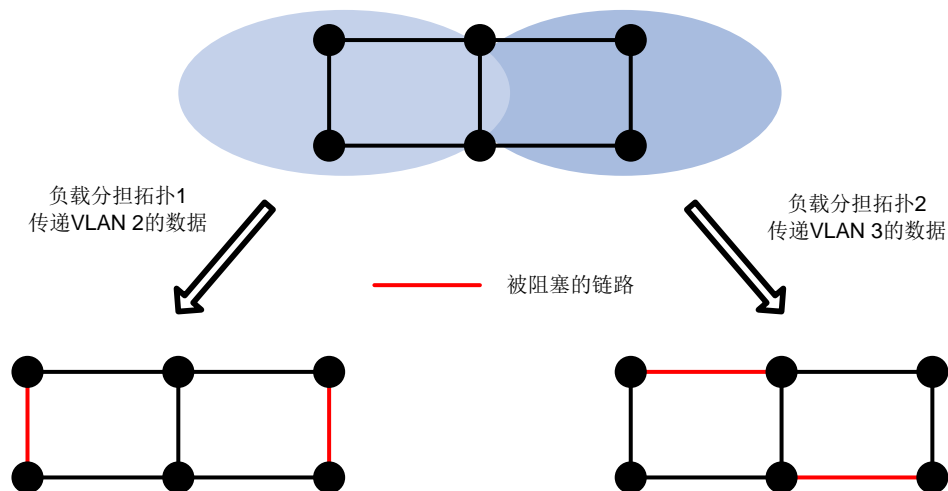


图2-4 RRPP&ERPS 负载分担示意图



2.4 ERPS简介

ERPS (Ethernet Ring Protection Switching, 以太环网保护倒换) 的防环思想、环路避免机制与RRPP 类似，请参见“[2.3 RRPP 简介](#)”。

ERPS 与 RRPP 的区别在于：

- ERPS 是 ITU-T 定义的标准协议，可以兼容其他厂商的设备。
- RRPP 是我司私有协议，无法兼容不支持 RRPP 协议的设备。

2.5 Smart Link简介

Smart Link 专用于在双上行组网中实现主备链路的冗余备份。Smart Link 具有如下特点：

- 实现主备链路的快速切换,切换时间可小于 1 秒。
- Smart Link 可以通过多 Smart Link 组的设置,使得不同的 VLAN 流量沿着不同的 Smart Link 组路径进行转发,实现负载分担。

如[图 2-5](#)所示,Device C 和 Device D 通过双上行链路连接上游设备。如果不使用 Smart Link,Device C 和 Device D 的上行端口均传递数据,会在 Device C、Device B、Device A 和 Device E 之间产生环路(Device D 同理)。使用了 Smart Link 后,Device C 和 Device D 的两个上行接口加入 Smart Link 组。正常情况下,Device C 和 Device D 上的两个上行端口只有一个处于转发状态,另一个口被阻塞,处于待命状态,消除了环路。

处于转发状态的端口出现链路故障时,Smart Link 会快速将原本处于待命状态的端口切换到转发状态,并阻塞出现链路故障的端口,实现转发链路的切换,如[图 2-6](#)。

图2-5 Smart Link 组网图

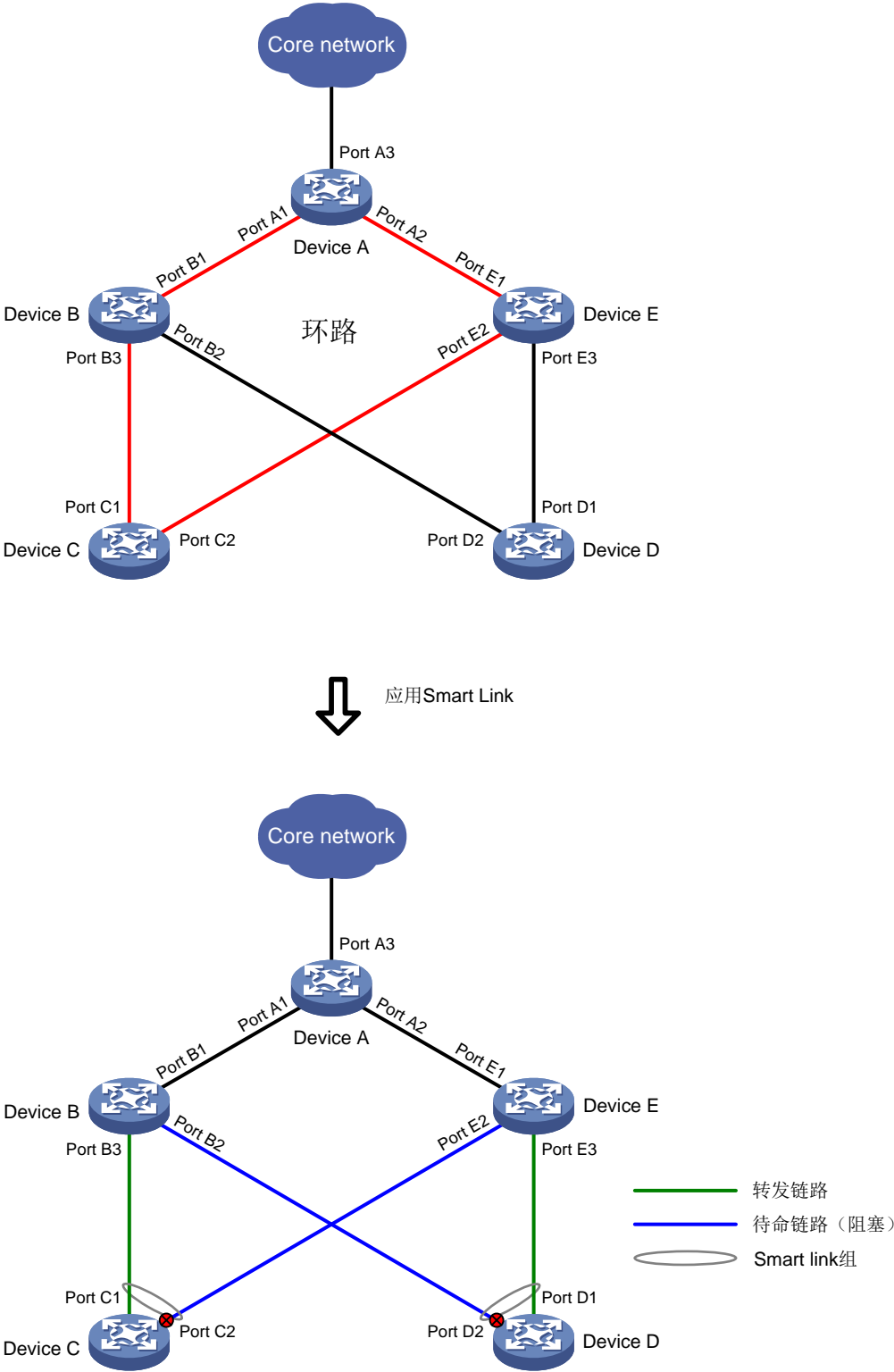
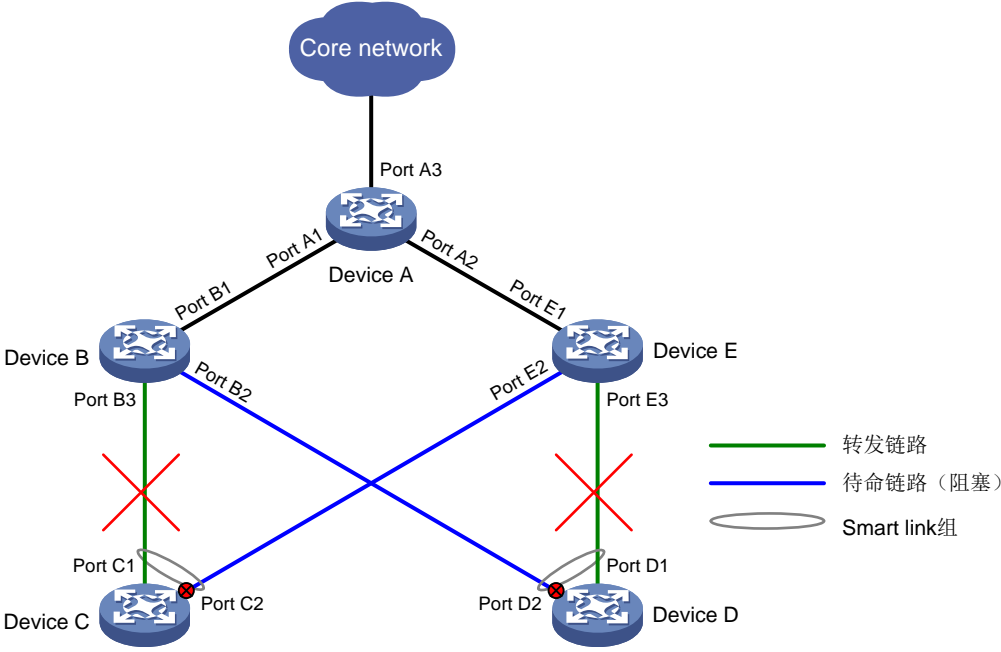
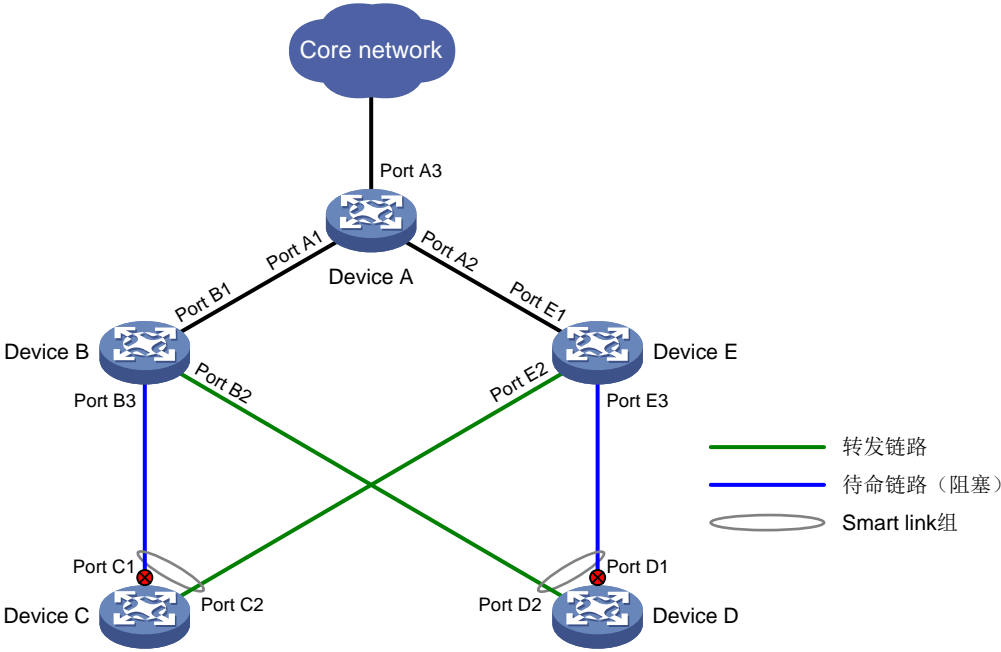


图2-6 Smart Link 链路切换示意图



主链路故障，端口状态快速切换



2.6 防环技术技术汇总与比较

上述防环技术的技术优势、适用场景以及应用限制如[表 2-1](#)所示。

表2-1 防环技术汇总归纳表

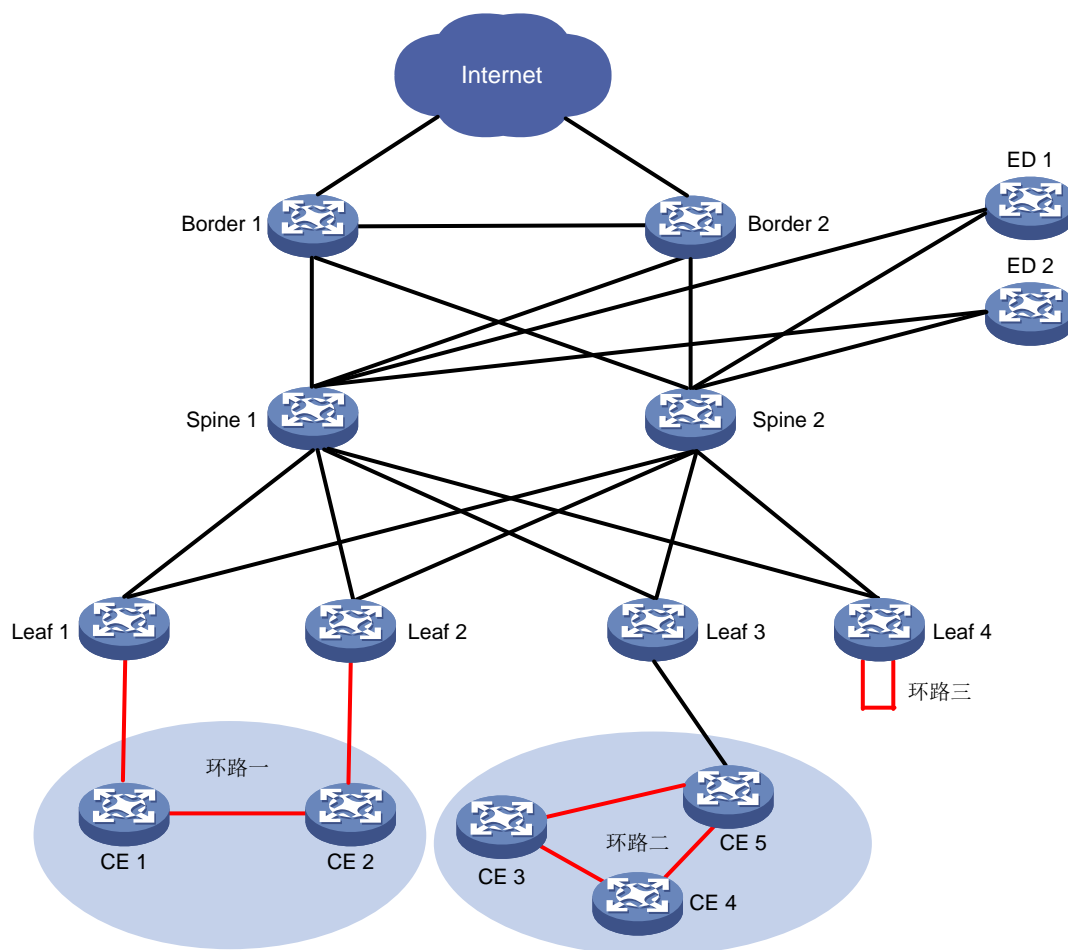
协议类型	技术优势	适用场景	应用限制
生成树	<ul style="list-style-type: none"> 生成树是 IEEE 的标准协议，兼容性好 生成树支持任意的物理拓扑，没有环网拓扑的模型限制 	<ul style="list-style-type: none"> 网络半径小、组网较为简单的场景 多厂商互通场景 	<ul style="list-style-type: none"> 物理拓扑变化后收敛时间较长（秒级），并且收敛时间会随着网络半径的增大而延长 仅 PVST 和 MSTP 可以实现负载分担，但是配置较复杂
RRPP	<ul style="list-style-type: none"> 拓扑收敛速度快,收敛时间可以小于 50ms 收敛时间与网络直径无关，适用于大规模网络 一个环的拓扑变化不会影响其他环的拓扑，数据传输较为稳定 	<ul style="list-style-type: none"> 网络半径较大、对收敛性能要求高的工业级场景 纯我司设备场景 	<ul style="list-style-type: none"> 支持的组网类型较固定 配置比较复杂 扩展性不佳，网络扩容时，容易引起断流或者环路 兼容性差，无法与不支持 RRPP 的设备互通
ERPS	<ul style="list-style-type: none"> 拓扑收敛速度快,收敛时间可以小于 50ms 收敛时间与网络直径无关，适用于大规模网络 一个环的拓扑变化不会影响其他环的拓扑，数据传输较为稳定 EPRS 是标准协议，可以和其他厂商的设备互通 	<ul style="list-style-type: none"> 网络半径较大、对收敛性能要求高的工业级场景 多厂商互通场景 	<ul style="list-style-type: none"> 支持的组网类型较固定 配置比较复杂 扩展性不佳，网络扩容时，容易引起断流或者环路
Smart Link	<ul style="list-style-type: none"> 主备链路切换速度快，切换速度可小于 1 秒 配置简单 负载分担实现简单，可充分利用上行带宽 	<ul style="list-style-type: none"> 拥有冗余备份的双上行链路，且需要进行主备链路快速切换的场景 	<ul style="list-style-type: none"> 只能用于双上行组网 缺少检测机制，上行链路的中间传输设备或传输链路发生故障时，无法自行检测出这些故障并进行链路切换，需要配合其他功能的检测机制才能完成链路切换
环路检测	支持多种环路处理方式，包括阻塞端口、断开链路、禁止MAC地址学习等	<ul style="list-style-type: none"> VXLAN 组网中，站点二层网络与 VXLAN 网络形成环路的场景，或站点内部存在环路的场景 MPLS L2VPN 以及 VPLS 组网中，站点二层网络与 MPLS L2VPN 网络或 VPLS 网络形成环路的场景，或站点内部存在环路的场景 组网简单的二层环路场景 	<ul style="list-style-type: none"> 环路检测功能不能与其他二层防环协议同时使用 使能多个 VLAN 的环路检测会加重系统的负担 环路检测功能需要先检测到环路才能消除环路，中间存在时间间隔，无法快速消除环路

3 数据中心组网中的环路与防环技术

3.1 典型应用场景简介

图3-1为常见的 Spine-Leaf 数据中心组网架构,数据中心内部的接入用户通过 VXLAN 网络或 VLAN 网络实现互通。为了避免单点故障,与外部网络进行互通的 Border 设备以及数据中心内的 Spine 设备均设置了两台,并且部署了两台 ED 设备,使用 VXLAN-DCI 隧道与其他数据中心互联。在该网络中,由于 Leaf 设备连接的本地站点情况复杂,十分容易出现环路。

图3-1 数据中心组网图



3.2 环路点简介

3.2.1 环路点一

1. 环路点描述

连接不同 Leaf 设备的 CE 1 和 CE 2，除了通过 Leaf 设备经过 VXLAN 或 VLAN 网络进行互通，还可以通过直连的二层网络进行互通，VXLAN 或 VLAN 网络与二层网络之间形成了环路，容易引起广播风暴。

2. 防环技术

在 Leaf 1 和 Leaf 2 上，开启环路检测功能后：

- 在 VXLAN 网络中，Leaf 1 或 Leaf 2 会自动禁止出现环路的 AC 进行 MAC 地址学习，同时将其阻塞，以消除环路。
- 在 VLAN 网络中，Leaf 1 或 Leaf 2 可以关闭、阻塞检测到环路的端口或禁止出现环路的端口进行 MAC 地址学习，以消除环路。

3.2.2 环路点二

1. 环路点描述

Leaf 3 连接的站点内部，CE 3、CE 4 和 CE 5 在二层网络中两两互联，形成环路，从而引起广播风暴，CE 3、CE 4 和 CE 5 在互通时可能出现业务中断等风险。

2. 防环技术

可以通过以下防环技术消除 Leaf 3 站点内的环路：

- 在 CE 3、CE 4 和 CE 5 上，开启生成树协议，生成树协议能够识别环路并自动计算出阻塞的端口，通过阻塞端口实现环路的消除。
- 在 CE 3、CE 4 或 CE 5 任一设备上开启环路检测功能，环路检测功能会自动检测出现环路的端口并将其阻塞或关闭，以消除环路。

3.2.3 环路点三

1. 环路点描述

在 Leaf 4 上，从一个接口发往站点内的报文可能直接从另一个接口接收到，从而形成环路。在图 3-1 中将此情况简化为 Leaf 4 在站点内的两个接口直连。

2. 防环技术

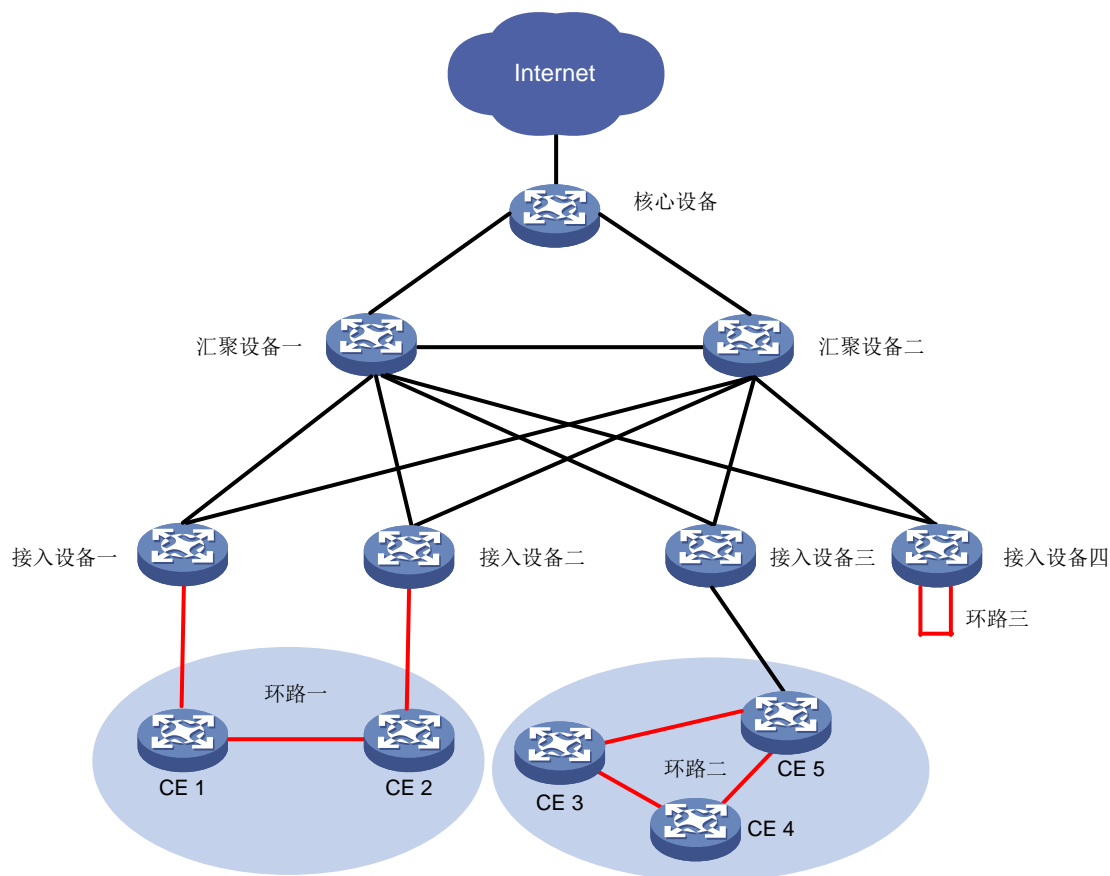
在 Leaf 4 上可以开启环路检测功能。开启环路检测功能后，环路检测功能会自动检测出现环路的端口并将其阻塞或关闭，以消除环路。

4 园区组网中的环路与防环技术

4.1 典型应用场景简介

如图4-1所示的园区接入网络中,汇聚设备和接入设备使用 Spine-Leaf 结构的 VXLAN 网络或 VLAN 网络进行部署, 并部署一台核心设备作为园区的网关与外部网络进行通信。

图4-1 园区组网图



4.2 环路点

4.2.1 环路点一

1. 环路点描述

连接不同接入设备的用户终端 CE 1 和 CE 2, 除了通过接入设备经过 VXLAN 或 VLAN 网络进行互通, 还可以通过直连的二层网络进行互通, VXLAN 或 VLAN 网络与二层网络之间形成了环路, 容易引起广播风暴。

2. 防环技术

在接入设备一和接入设备二上, 开启环路检测功能后:

- 在 VXLAN 网络中,接入设备一或接入设备二会自动禁止出现环路的 AC 进行 MAC 地址学习,同时将其阻塞,以消除环路。
- 在 VLAN 网络中,接入设备一或接入设备二可以关闭、阻塞检测到环路的端口或禁止出现环路的端口进行 MAC 地址学习,以消除环路。

4.2.2 环路点二

1. 环路点描述

接入设备三连接的站点内部,用户终端 CE 3、CE 4 和 CE 5 在二层网络中两两互联,形成环路,从而引起广播风暴。CE 3、CE 4 和 CE 5 在互通时可能出现业务中断等风险。

2. 防环技术

可以通过以下防环技术消除接入设备三站点内的环路:

- 在 CE 3、CE 4 和 CE 5 上,开启生成树协议,生成树协议能够识别环路并自动计算出阻塞的端口,通过阻塞端口实现环路的消除。
- 在 CE 3、CE 4 或 CE 5 任一设备上开启环路检测功能,环路检测功能会自动检测出现环路的端口并将其阻塞或关闭,以消除环路。

4.2.3 环路点三

1. 环路点描述

在接入设备四上,从一个接口发往站点内的报文可能直接从另一个接口接收到,从而形成环路。在 [图 4-1](#) 中将此情况简化为 Leaf 4 在站点内的两个接口直连。

2. 防环技术

在 Leaf 4 上可以开启环路检测功能。开启环路检测功能后,环路检测功能会自动检测出现环路的端口并将其阻塞或关闭,以消除环路。